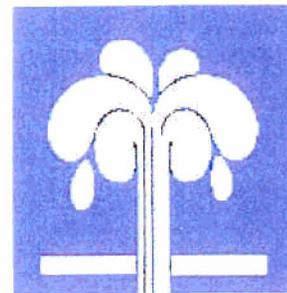
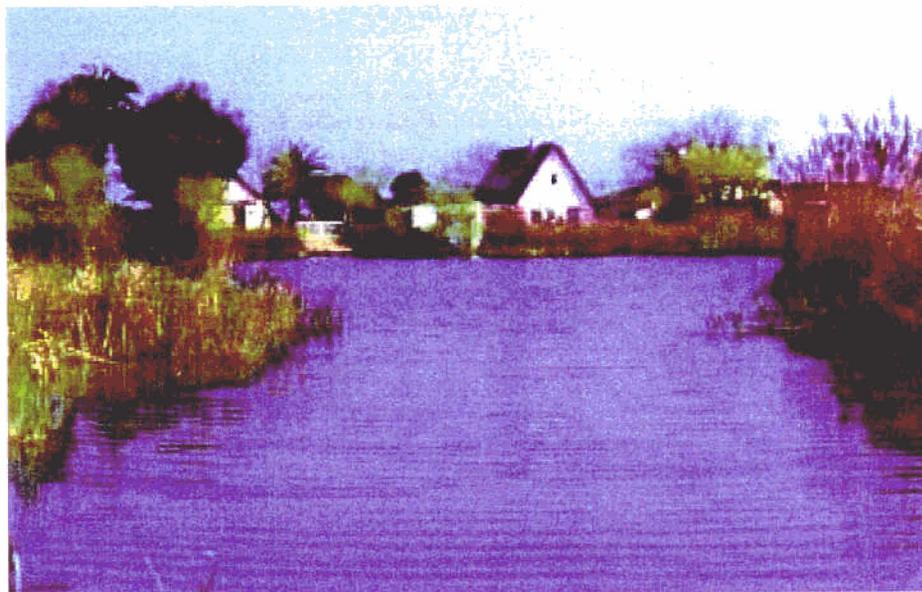


62923



**ESTADO DE LA INTRUSIÓN DE AGUA DE MAR EN LOS
ACUÍFEROS COSTEROS ESPAÑOLES. AÑO 2000**

VOLUMEN II



**CUENCAS MEDITERRÁNEAS I:
SEGURA, JÚCAR Y BALEARES**



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

El presente informe ha sido realizado como proyecto propio por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), actuando como:

Director del estudio:

Juan Antonio López Geta

Coordinador:

Juan de Dios Gómez Gómez

Autores del informe:

Informe final: Juan de Dios Gómez Gómez

Cuenca del Segura: Luis Javier Lambán Jiménez

Cuenca del Júcar: Juan de Dios Gómez, Bruno Ballesteros Navarro y Julio López López

Baleares: José María López García

INFORME	Identificación: H5 - 1 - 2005
	Fecha: 14 de junio de 2005
TÍTULO: Estado de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros españoles. Año 2000. Volumen II. Cuencas Mediterráneas I: Segura, Júcar y Baleares.	
PROYECTO: Estado de la intrusión de agua de mar en los acuíferos costeros españoles. Año 2000.	
RESUMEN <p>Este proyecto recoge el conocimiento actual sobre los acuíferos costeros de las cuencas Segura, Júcar y Baleares y su estado de contaminación por efecto de la intrusión de agua marina. Se ha estudiado cuál es el origen y las causas de la intrusión marina en cada caso concreto y su relación con otros aspectos tales como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica. Así mismo se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.</p> <p>Para el estudio y control de estos procesos es necesario conocer el modelo geológico e hidrogeológico de los diferentes acuíferos. Conocido éste, se han realizado para cada acuífero un análisis del contenido y evolución del ion cloruro y de la conductividad eléctrica, como parámetros más característicos para detectar la intrusión salina, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente al marino y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello se ha llevado a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, que permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.</p>	
Revisión Nombre: Juan Antonio López Geta Unidad: Hidrogeología y Aguas Subterráneas Fecha:	Autores: Juan de Dios Gómez Gómez Bruno Ballesteros Navarro Julio López López Luis Javier Lambán Jiménez Jose María López García Responsable: Juan Antonio López Geta

INDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	ALCANCE Y OBJETIVOS.....	7
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO	8
4.	CUENCA DEL SEGURA	10
4.1.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.31 CAMPO DE CARTAGENA	10
4.2.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.33 DE ÁGUILAS.....	31
5.	CUENCA DEL JUCAR	49
5.1.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.10 PLANA DE VINAROSZ-PEÑÍSCOLA.....	49
5.2.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.11 PLANA DE OROPESA-TORREBLANCA	57
5.3.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.12 PLANA DE CASTELLÓN.....	65
5.4.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.21 PLANA DE SAGUNTO	73
5.5.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.25 PLANA DE VALENCIA NORTE.....	81
5.6.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.26 PLANA DE VALENCIA SUR.....	91
5.7.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.38 PLANA DE GANDIA-DENIA.....	102
5.8.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.47 DE PEÑÓN-MONTGÓ-BERNIA	114
5.9.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.48 ORCHETA	128
6.	CUENCA DE BALEARES	141
6.1.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.01 ANDRATX.....	141
6.2.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.02 DEIÁ.....	149
6.3.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.03 PUIG ROIG	151
6.4.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.04 FORMENTOR	153
6.5.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.06 FONTS DE SÓLLER	155

6.6.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.11 LLANO DE INCA - SA POBLA	157
6.7.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.12 CALVIÁ.....	170
6.8.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.13 NA BURGUESA.....	175
6.9.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.14 LLANO DE PALMA	179
6.10.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.16 MARINETA	190
6.11.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.17 ARTÁ	199
6.12.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.20 MARINA DE LLEVANT.....	202
6.13.	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.21 LLUCMAJOR - CAMPOS	211
7.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	224
7.1.	Cuenca del Segura	224
7.2.	Cuenca del Júcar.....	225
7.3.	Cuenca de Baleares. Mallorca	227

1. INTRODUCCIÓN

La costa española, con más de 6.000 km de longitud, alberga un gran porcentaje de la población del país. En esa franja se desarrolla una intensa actividad turística, urbana, agrícola e industrial, y en ella los acuíferos costeros adquieren una importancia estratégica como fuente inmediata y a menudo única de los recursos hídricos necesarios para el desarrollo socioeconómico de estas áreas. Como ejemplo, la población de los municipios costeros de Cataluña alcanzaba unos 2.728.000 habitantes en 1996, lo que supone un 45 % de la población total de esta Comunidad Autónoma concentrada en un 7 % de su superficie total. Otra prueba de esta circunstancia se observa en la Comunidad Valenciana donde una población de 2.099.343 habitantes (52 % de su población total) ocupa un área costera de 3.311 km² (14 % de su superficie total).

Tabla 1. Longitud de costa por áreas del litoral español.

LITORAL ESPAÑOL	Longitud de costa (km)
Atlántico norte	1 993
Atlántico suroccidental	250
Mediterráneo	1 661
Baleares	672
Canarias	1 545
Total	6 121

Longitud de costa

- Atlántico norte
- Atlántico suroccidental
- Mediterráneo
- Baleares
- Canarias

Área	Porcentaje
Atlántico norte	33%
Atlántico suroccidental	4%
Mediterráneo	27%
Baleares	25%
Canarias	11%

La considerable demanda de agua en estas zonas implica una explotación intensa de los acuíferos que provoca la aparición del fenómeno de intrusión marina, el cual pone en peligro la sostenibilidad de los aprovechamientos. Pero la salinización de los acuíferos puede tener otros orígenes, como la presencia de formaciones geológicas salinas, aguas salinas fósiles, contaminación agrícola o industrial, etc.

Todo ello ha motivado al Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y a otros organismos de investigación (fundamentalmente universidades) a estudiar los problemas de los acuíferos costeros durante décadas. Para profundizar en su conocimiento se han aplicado tanto métodos clásicos como novedosos, como el análisis hidroquímico de iones mayoritarios y minoritarios, clasificación de facies, isótopos, técnicas geoestadísticas, geofísica y modelación matemática. Cabe destacar los trabajos basados en el análisis hidroquímico y estudio de isótopos, así como los que aplican análisis hidroquímico, clasificación de facies y métodos estadísticos.

En un acuífero costero, existe una relación de equilibrio natural entre el agua subterránea dulce que descarga al mar y el agua salada de origen marino, que penetra parcialmente tierra adentro en forma de cuña apoyada en la base del acuífero en su forma más usual.

Este equilibrio natural puede verse alterado por la acción humana al modificar la descarga de agua dulce al mar, fundamentalmente debido a extracciones por bombeos en el acuífero, provocando la penetración de la cuña de agua marina tierra adentro. Otras modificaciones del ciclo hidrológico, como por ejemplo la construcción de presas, pueden también alterar el equilibrio agua dulce / agua salada.

Podemos definir, por tanto, a la intrusión marina, como el movimiento permanente o temporal del agua salada tierra adentro, desplazando al agua dulce. Esta intrusión provocará el aumento de la salinidad en las aguas subterráneas con la consiguiente contaminación del acuífero costero.

La intrusión marina es un proceso dinámico donde el frente de agua salada avanza tierra adentro en los periodos de menor recarga del acuífero y retrocede hacia el mar cuando la recarga es mayor.

Existen otros mecanismos de salinización diferentes que pueden producirse individualmente o acompañar a la intrusión, como por ejemplo la disolución de sales y lixiviado de minerales, evaporación, mezcla con otras aguas salinizadas o presencia de aguas connatas salinas. El estudio de estos mecanismos es fundamental para la gestión eficaz y racional de los acuíferos costeros.

El estudio de la intrusión marina se puede abordar de forma simplificada, considerando al agua salada y al agua dulce como dos fluidos inmiscibles que forman una superficie de separación neta o brusca entre las dos aguas. Esta superficie teórica se denomina interfase. La interfase correspondería a la posición de la mezcla del 50% de agua dulce y el 50% de agua salada. Esta simplificación permite calcular la posición teórica del contacto agua dulce / agua salada de forma sencilla.

Otra forma más realista de abordar el estudio de la intrusión marina es la de considerar el agua dulce y el agua salada como dos fluidos miscibles, de tal forma que el paso de un fluido a otro se produce a través de una "zona de mezcla" o "zona de transición".

Las características químicas y físicas de la zona de mezcla dependerán del grado de mezcla en cada punto, y de los procesos químicos de interacción con la matriz del acuífero. El espesor de la zona de mezcla dependerá de la hidrodinámica del medio y de las características de difusividad y dispersividad del acuífero.

2. ALCANCE Y OBJETIVOS

El presente proyecto pretende mejorar el conocimiento que sobre los acuíferos costeros españoles se dispone en la actualidad y estimar su estado de contaminación por efecto de la intrusión reciente o pasada de agua marina. El documento contiene la información básica actualizada relativa a los fenómenos de intrusión en los acuíferos costeros españoles procedente de los distintos organismos o entidades que han realizado estudios o trabajos al respecto. Se ha estudiado cuál es el origen y las causas de la intrusión marina en cada caso concreto y su relación con otros aspectos tales como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica. Así mismo se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

Para el estudio y control de estos procesos es necesario conocer el modelo geológico e hidrogeológico de los diferentes acuíferos. Conocido éste, se han realizado para cada acuífero un análisis del contenido y evolución del ion cloruro y conductividades, como parámetros más característicos para detectar la intrusión salina, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente al marino y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello es conveniente llevar a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, cuyo estudio combinado permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.

Con los trabajos realizados se pretende básicamente mejorar el conocimiento y control de la intrusión marina en los acuíferos costeros españoles con objeto de reducir los problemas existentes. Se pueden desglosar los objetivos en los siguientes puntos:

- 1º. Recoger en un documento la información básica actualizada relativa a los fenómenos de intrusión marina en los acuíferos costeros españoles, procedente de los distintos organismos o entidades que hayan realizado estudios o trabajos al respecto.
- 2º. Determinar la situación actual y evaluar el grado de intrusión salina en los acuíferos costeros españoles.
- 3º. Analizar el origen y las causas de la intrusión en cada caso concreto y su relación con otros aspectos como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica.
- 4º. Proponer actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos costeros, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

En el funcionamiento hidráulico de los acuíferos costeros que se encuentran en conexión con el mar se produce, en condiciones normales, una salida de flujo subterráneo de agua dulce hacia el mismo, ejerciendo una presión sobre el agua salada que ocupa el subsuelo marino. Por su menor densidad el agua dulce tiende a situarse por encima de la salada formando una cuña cuya potencia disminuye al aproximarse a la costa. El contacto entre ambos tipos de agua no es nítido, sino que se produce una zona de mezcla que se conoce como interfase. La posición de esta interfase es variable en función de la magnitud del flujo subterráneo de agua dulce hacia el mar. Así cuando se produce una disminución en este flujo de salida, bien sea por un incremento en las extracciones realizadas en el acuífero, bien por una reducción en la infiltración de agua de lluvia o por cualquier otra causa, la cuña de agua salada avanza hacia el interior del acuífero, en mayor medida cuanto mayor sea esta disminución. Así se desarrolla en esencia el fenómeno de la intrusión marina.

Para el estudio y control de estos procesos es necesario en primer lugar conocer el funcionamiento hidráulico de los acuíferos costeros a partir de su litología, geometría y parámetros hidrodinámicos.

El análisis de la piezometría permite determinar la distribución de los gradientes hidráulicos y sentidos del flujo subterráneo en todo el acuífero, facilitando la detección de zonas en las que la circulación del agua subterránea se invierte discurriendo desde la costa hacia el interior provocando la intrusión de agua salada.

Los descensos de la piezometría están frecuentemente ligados a las extracciones realizadas en el acuífero mediante pozos y sondeos, por lo que resulta también de gran ayuda el conocimiento de la distribución y cuantía de las explotaciones para predecir o explicar los procesos de intrusión.

Pero son además estos sondeos los que nos sirven como puntos de control mediante el muestreo y análisis de las aguas que captan. Con este objeto se diseñó la red de intrusión que gestionaba el IGME hasta el año 2000 y en la que se realizaban dos campañas de medición de cloruros y conductividad al año. Estos son los dos parámetros más característicos para detectar la intrusión salina por sus elevados valores en el agua del mar, aunque en ocasiones pueden tener un origen diferente y llevar a conclusiones equivocadas. Por ello es conveniente llevar a cabo un análisis hidroquímico más completo con atención al conjunto de iones mayoritarios, minoritarios y relaciones iónicas, cuyo estudio combinado permite obtener conclusiones más certeras sobre el origen y desarrollo de los procesos de salinización.

También resulta de ayuda en este sentido la medición estratificada de cloruros y el registro continuo de conductividades, aunque su objetivo principal es la definición de la geometría de las interfases y de su posición en los acuíferos.

A partir de toda esta información procesada y analizada, y de los estudios previos realizados por el ITGE y otros organismos, se puede tener una visión actualizada de la situación de los acuíferos costeros españoles y un conocimiento más profundo del origen y desarrollo de los procesos de intrusión que les afectan.

Por otra parte el conocimiento del estado y casuística de cada acuífero permite proponer las actuaciones más adecuadas para cada caso destinadas a controlar y reducir en la medida de lo posible los efectos negativos de estos fenómenos de salinización del agua subterránea en áreas costeras.

4. CUENCA DEL SEGURA

4.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.31 CAMPO DE CARTAGENA

4.1.1. Descripción hidrogeológica.

La unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena (07.31) se encuentra situada al SE de la Región de Murcia y S de la Provincia de Alicante. Presenta una extensión superficial de unos 1440 km² (ITGE, 1994) y se encuentra constituida por seis acuíferos distintos pertenecientes al Triásico, Tortonense, Andalucense, Plioceno (Campo de Cartagena y Cabo Roig) y Cuaternario. Solamente los cuatro últimos presentan posibilidades de intrusión marina al corresponder su límite oriental con la línea de costa.

El acuífero Andalucense se encuentra constituido principalmente por calizas bioclásticas o calcarenitas, excepto en la zona más septentrional, donde predominan materiales de naturaleza detrítica (areniscas, arenas y arcillas). Presenta un espesor medio relativamente constante de unos 125 m aumentando ligeramente hacia la costa, aunque puntualmente se diferencian surcos como los de Sucina, Gea y Truyols (200–250 m) o umbrales como el de Cabezo Gordo (80 m). El impermeable de base lo constituye el Tortonense margoso. Los límites occidental y septentrional corresponden con el afloramiento de los materiales acuíferos al ponerse en contacto con las margas del Tortonense superior. Al NE, desde San Miguel de Salinas hasta la línea de costa, el límite del acuífero viene dado por la falla de San Miguel. Por último, en el sector meridional, entre las proximidades de Corvera y la playa de los Alcázares, el límite viene impuesto por diversos accidentes tectónicos que hundan los materiales del Andalucense a gran profundidad haciendo imposible su seguimiento (ITGE, 1994). De acuerdo con dichos límites el acuífero presenta una extensión superficial de unos 570 km². La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia (~ 1,5 hm³/año) y por la intercomunicación con los acuíferos suprayacentes a través de sondeos (~ 28,5 hm³/año). La descarga se produce principalmente como consecuencia de la extracción por bombeo (~ 12,3 hm³/año) (ITGE, 1994).

El acuífero Plioceno se encuentra constituido por areniscas. Presenta un espesor variable diferenciándose surcos (40-110 m) y umbrales (6-15 m). El impermeable de base lo constituye el Andalucense. Al Norte y en su sector más occidental, desde las proximidades de La Murta hasta el Sur de la Sierra de Escalona, el límite del acuífero viene dado por el afloramiento del Plioceno al ponerse en contacto con las margas del Andalucense. Al Este, el acuífero se encuentra delimitado por una falla aproximadamente coincidente con el cauce del río Seco. Por el Sur, en el sector más oriental, el límite del acuífero se considera abierto existiendo una recarga procedente de las Sierras Béticas. Al Oeste de Cartagena dicho límite viene dado por el impermeable de base. Finalmente, el límite Oeste se interpreta como debido a la falla oriental del horst de la Sierra de Los Victorias, de dirección NO-SE. De acuerdo con dichos límites el acuífero presenta una extensión superficial de unos 817 km². La recarga se produce por infiltración del agua de lluvia (~ 2,6 hm³/año), intercomunicación con el Cuaternario a través de sondeos (~ 23,7 hm³/año) y aportes laterales (4,4 hm³/año). La descarga se produce como consecuencia de la extracción por bombeo (~ 6,3 hm³/año) y recarga hacia los acuíferos inferiores (~ 14,2 hm³/año) (ITGE, 1994).

El acuífero Cabo Roig se encuentra constituido por los mismos materiales permeables del acuífero anterior (Plioceno). Presenta un espesor medio de unos 70 m y se encuentra

delimitado al Sur, por la falla del río Seco anteriormente comentada; al Norte y Oeste, por el impermeable de base (Andaluciense margoso) y al Este, por el mar mediterráneo. La extensión superficial del mismo de acuerdo con estos límites es de unos 61 km². La recarga se produce por infiltración tanto del agua de lluvia (~ 1,4 hm³/año) como de los excedentes de riego (0,2 hm³/año). La descarga se produce como consecuencia de la extracción por bombeo (~ 7,4 hm³/año) (ITGE, 1994).

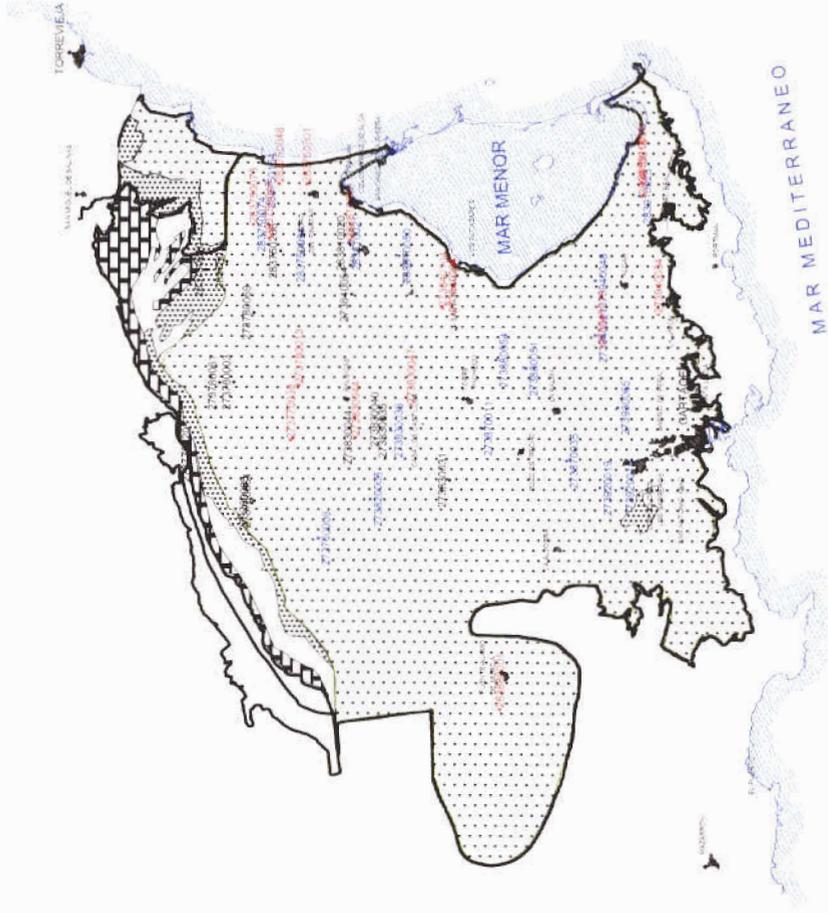
Por último, el acuífero Cuaternario se encuentra constituido por gravas, arenas, limos, arcillas y caliches. Su espesor no suele alcanzar los 50 m, a excepción de zonas próximas a la costa en las que puede llegar hasta 150 m. El impermeable de base es diferente según el sector, aunque tienden a predominar las margas del Terciario. Sus límites, por lo general, se encuentran constituidos por los materiales impermeables que afloran en los bordes del Campo de Cartagena. La extensión superficial del mismo es de unos 1135 km². La recarga se produce por infiltración tanto del agua de lluvia (~ 46 hm³/año) como de los excedentes de riego (~ 23 hm³/año). La descarga se produce como consecuencia de la extracción por bombeo (~ 2 hm³/año), recarga hacia los acuíferos inferiores debido a la intercomunicación a través de sondeos (~ 38 hm³/año) y salidas al mar (~ 5 hm³/año) (ITGE, 1994).

En la Figura 1 se presenta un mapa hidrogeológico simplificado de la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena, diferenciándose entre los afloramientos permeables principales de los acuíferos que presentan riesgo de intrusión marina: calcarenitas del Andaluciense, areniscas del Plioceno y materiales detríticos del Cuaternario.

Con respecto al funcionamiento hidrogeológico, la compleja estructura tectónica interna de la depresión y el carácter discordante de muchas de sus formaciones, hace que en muchas zonas exista una conexión hidráulica entre los diversos acuíferos, la cual se ha visto incrementada por las actividades antrópicas destinadas a la captación de aguas subterráneas. Los sondeos mal contruidos, muy abundantes en la zona, producen una recarga hacia los acuíferos inferiores. En el sector litoral, se localizan los acuíferos profundos del Andaluciense y del Plioceno, así como el acuífero superficial del Cuaternario. En los dos acuíferos profundos el gradiente se encuentra condicionado por las explotaciones, observándose un flujo centrípeto hacia San Pedro del Pinatar y San Javier. En principio, no parece existir conexión entre el mar y estos dos acuíferos, observándose muy próximas al litoral cotas piezométricas de -55 m.s.n.m (Plioceno) y de -40 m.s.n.m. (Andaluciense). Ello se interpreta como debido a la existencia de una falla próxima a la costa y de orientación N-S que condiciona la morfología lineal esta. El acuífero Cuaternario presenta actualmente un flujo generalizado hacia el mar. Como consecuencia de los bombeos masivos se produce una inversión del flujo en el acuífero Cuaternario existiendo un claro proceso de intrusión marina.

4.1.2. Evolución piezométrica

Los datos piezométricos considerados corresponden a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE. Con objeto de caracterizar el estado actual de los diferentes acuíferos se han elaborado los mapas de isopiezas correspondientes a los periodos abril y octubre-noviembre de 1999 para cada uno de los acuíferos anteriormente comentados: Andaluciense, Plioceno y Cuaternario. En el acuífero Cabo Roig (Plioceno) el escaso número de puntos de control actualmente operativos no permite este tipo de representación.



AFILORAMIENTOS O SUBAFILORAMIENTOS
ROCAS PERMEABLES



ANDALUCIENSE (Calizas bioclásticas o calcarenitas)



PLIOCENO (areniscas)



CUATERNARIO (Gravas y arenas)

PUNTOS DE AGUA
RED DE CONTROL DEL ITGE



273840054 Punto de control y número (ANDALUCIENSE)



273880031 Punto de control y número (PLIOCENO)



273840054 Punto de control y número (CUATERNARIO)

O - NO

E - SE

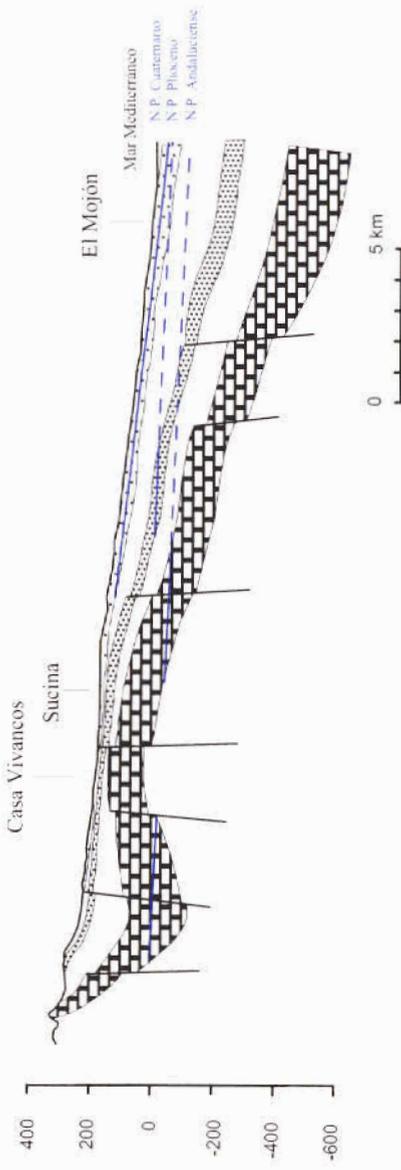


Figura 1.- Mapa y esquema hidrogeológico simplificado correspondiente a la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena

En relación con el acuífero Andaluciense, a pesar de la escasez de puntos de control y de las simplificaciones de la interpolación realizada, puede observarse que la principal zona de recarga se encuentra en las sierras situadas al Norte del Campo de Cartagena, apreciándose además una cierta recarga procedente del Cabezo Gordo (Figura 3). Los mínimos piezométricos se localizan en las inmediaciones de San Pedro del Pinatar y San Javier, provocados por la mayor concentración de las explotaciones en este sector, alcanzándose cotas de -40 m (punto de control 2738-4-0054). Si se comparan los mapas de isopiezas obtenidos con los correspondientes a 1988-89 (ITGE, 1994) y se representa la evolución piezométrica temporal durante el periodo 1974-2000 (Figura 2), se observa la existencia de dos tendencias: a) recuperación significativa de niveles en el sector suroriental (a excepción del punto 2738-4-0054) y b) descenso gradual y continuado de los niveles en la parte más noroccidental (representado por el resto de puntos de control). No existen, por lo general, diferencias significativas entre los periodos de control considerados (abril y octubre-noviembre de 1999), a excepción del punto 2737-7-0020, en el que se observa una diferencia piezométrica de unos 8 m.

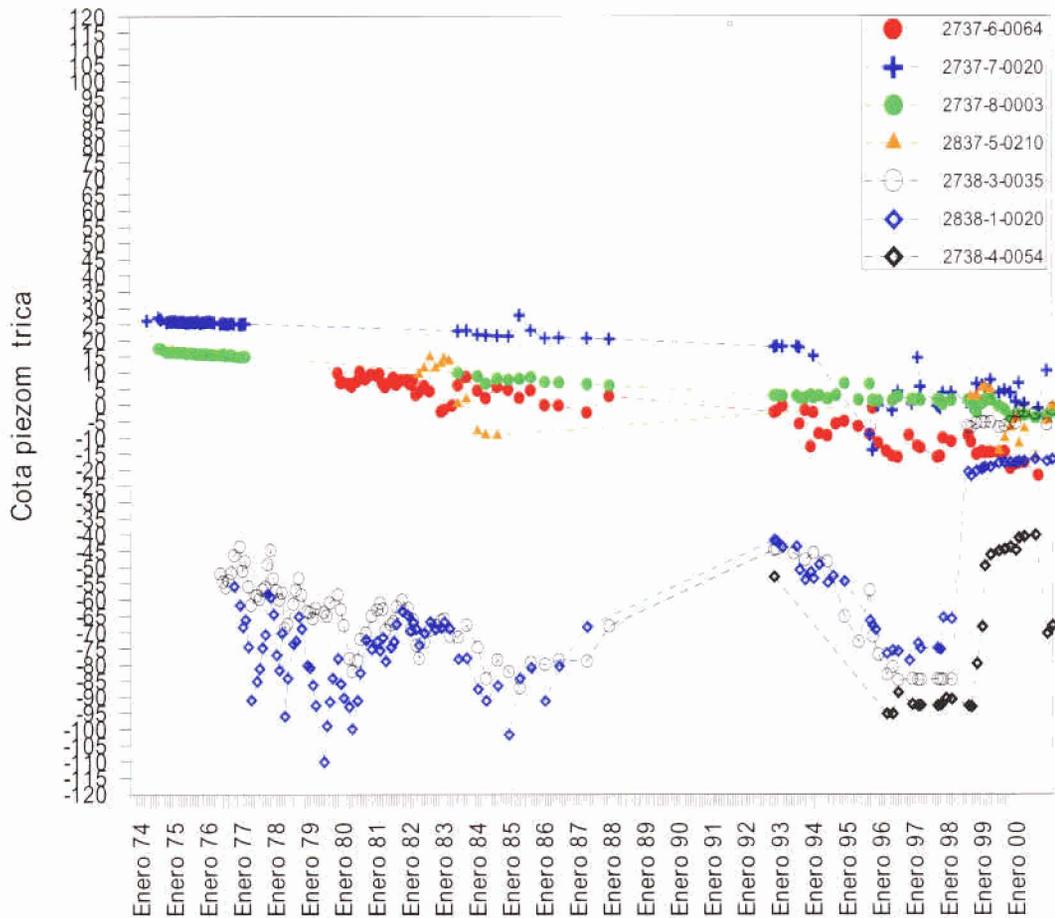
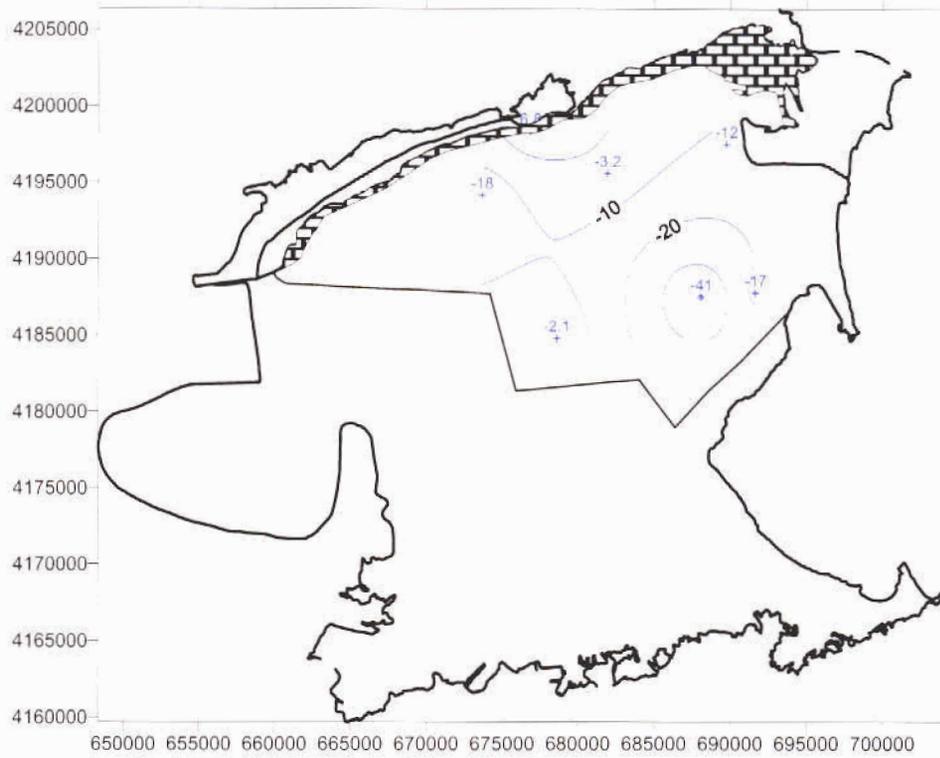


Figura 2. – Evolución piezométrica en los puntos de control correspondientes al acuífero Andaluciense durante el periodo 1974-2000

PIEZOMETRIA ANDALUCIENSE (ABRIL 1999)



PIEZOMETRIA ANDALUCIENSE (OCTUBRE-NOVIEMBRE 1999)

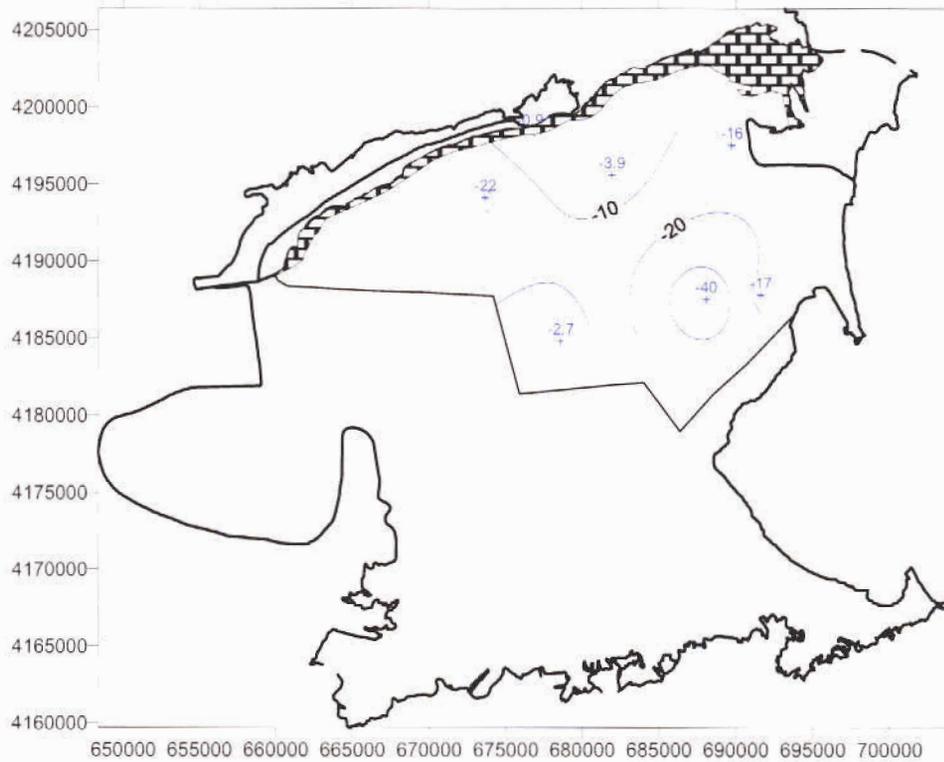


Figura 3. - Isopiezas tentativas (simplificadas) correspondientes al acuífero Andaluciense durante abril y octubre-noviembre de 1999

Con respecto al acuífero Plioceno, puede observarse de nuevo un mínimo piezométrico (~ 56 m) en la zona comprendida entre San Pedro del Pinatar y San Javier, coherente con la ya comentada mayor concentración de explotaciones de este sector (mayor densidad de captaciones y caudales de extracción). En el sector central (alrededores de Torre Pacheco) el sentido del flujo subterráneo es O-E, pudiendo existir una cierta recarga procedente de los materiales triásicos del Cabezo Gordo. En el sector más meridional, el flujo subterráneo parece tener un sentido S-N, resultado de la recarga procedente de las sierras de Cartagena-La Unión (Figura 5). Si se comparan los mapas de isopiezas obtenidos con los correspondientes a 1988-89 (ITGE, 1994) y se representa la evolución piezométrica temporal durante el periodo 1974-2000, se observa, por lo general, un ascenso de niveles durante el periodo 1988-1993 así como una posterior estabilización (Figura 4). Los puntos 2738-8-0051 y 2738-3-0036 (sector central) son los que experimentan una mayor recuperación con respecto a 1988, con un ascenso aproximado de 30-40 m. Por el contrario, el punto 2838-1-0021 (alrededores de San Pedro del Pinatar y San Javier) tras la recuperación observada durante 1988-1998, los niveles vuelven a descender alcanzando valores próximos a los previos a 1988 (~ 56 m) dando lugar a la depresión piezométrica anteriormente comentada (Figura 6).

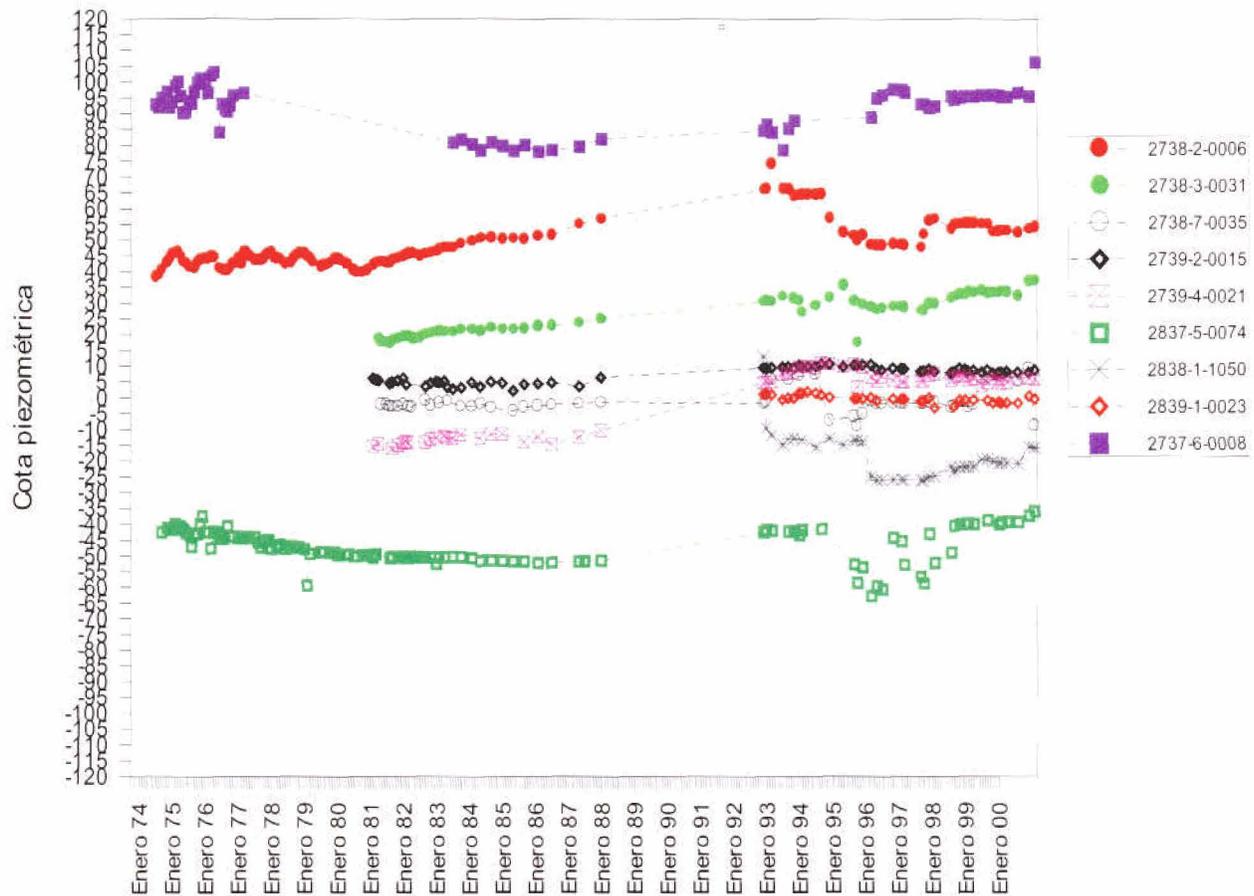
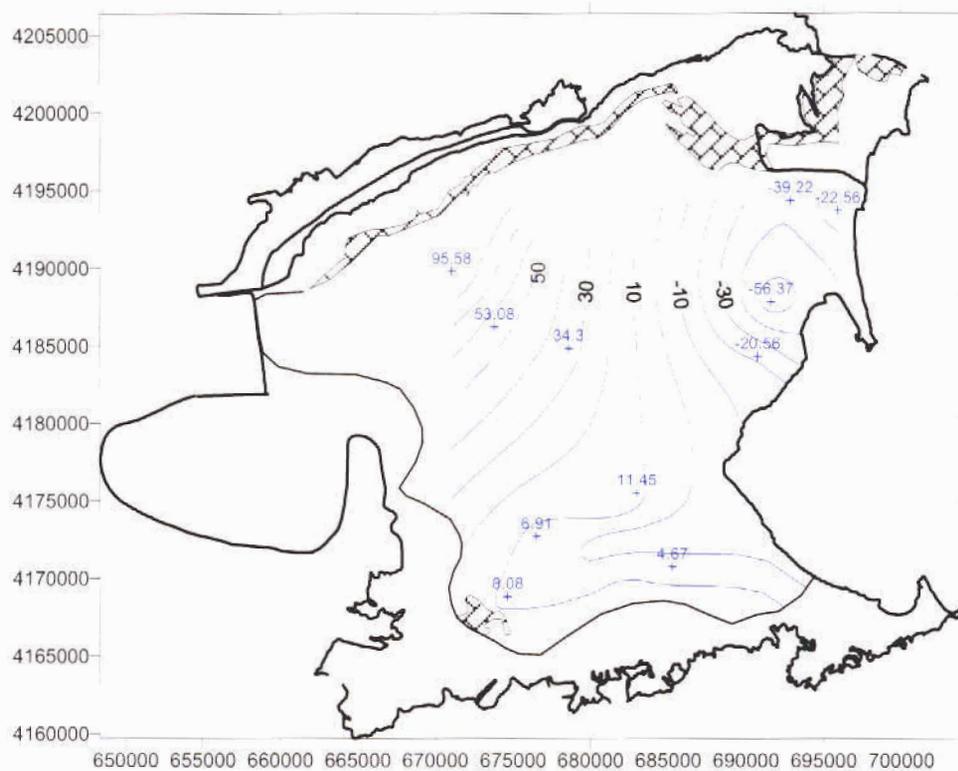


Figura 4. – Evolución piezométrica en los puntos de control correspondientes al acuífero Plioceno durante el periodo 1974-2000 con una tendencia hacia la estabilización y/o ligera recuperación de niveles

PIEZOMETRIA PLIOCENO (ABRIL 1999)



PIEZOMETRIA PLIOCENO (OCTUBRE-NOVIEMBRE 1999)

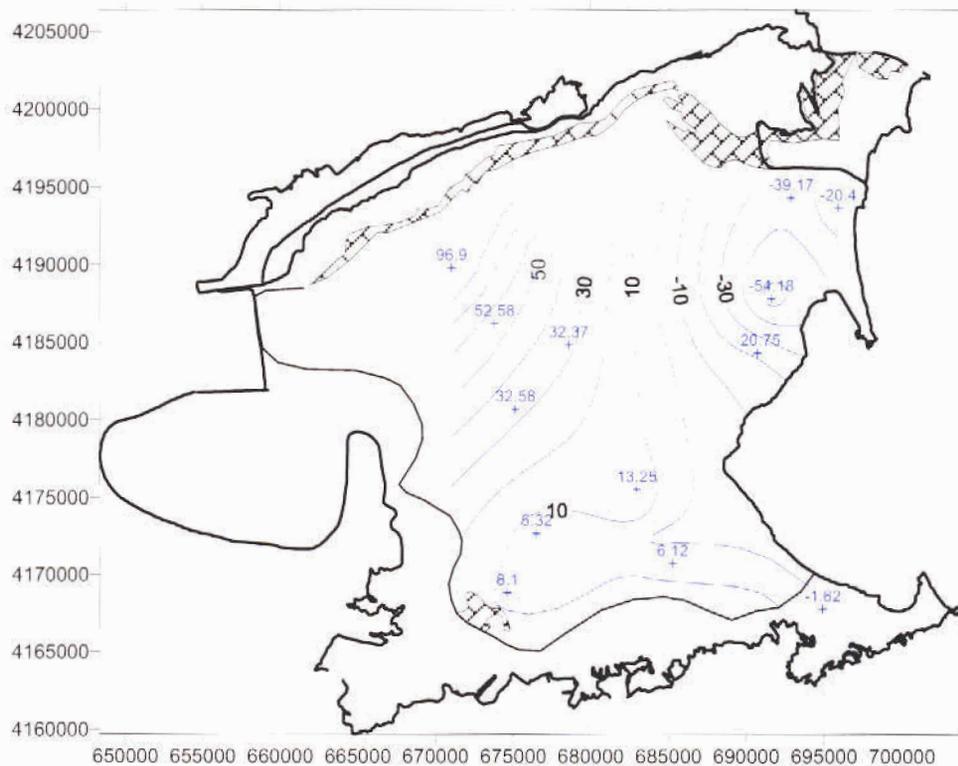


Figura 5. - Isopiezas tentativas (simplificadas) correspondientes al acuífero Plioceno durante abril y octubre-noviembre de 1999

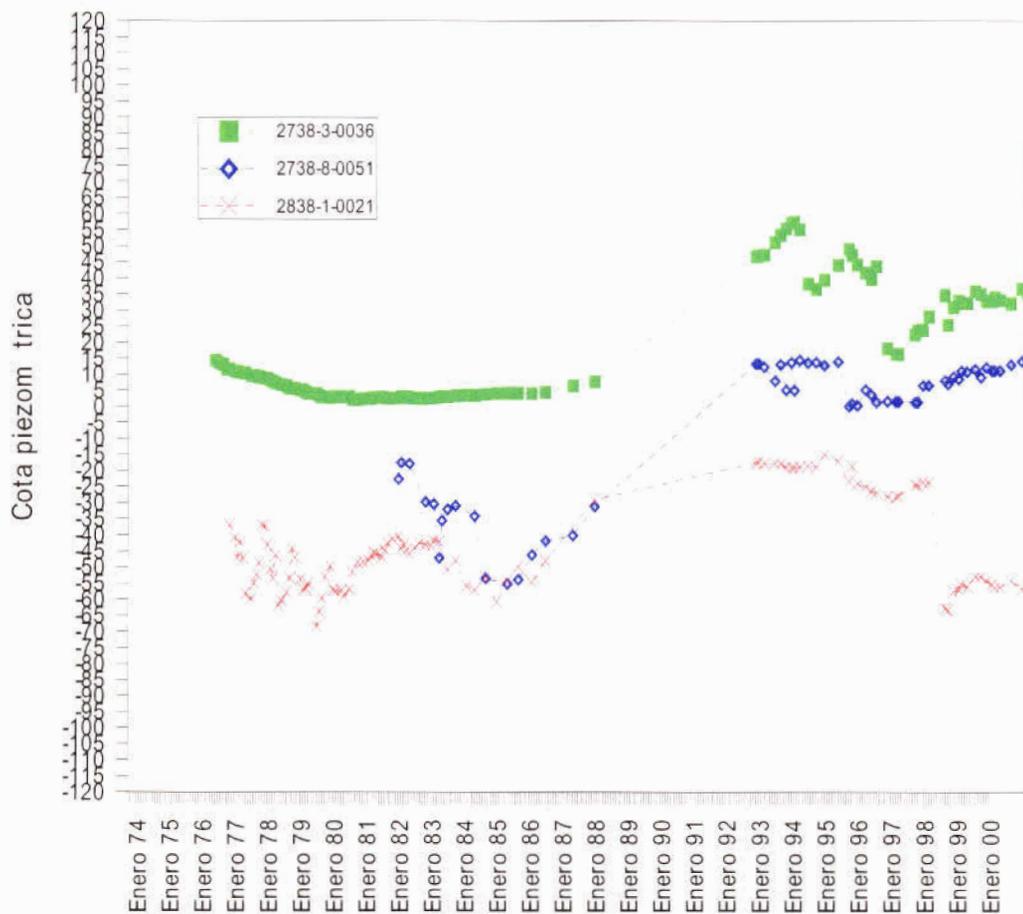
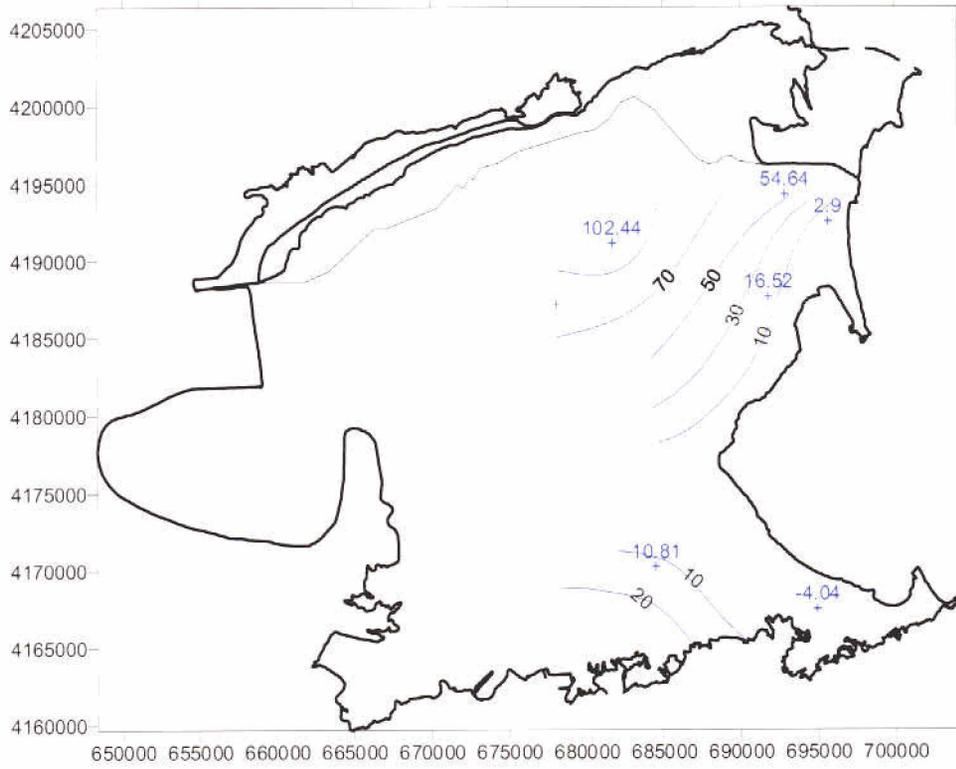


Figura 6. – Evolución piezométrica en los puntos de control correspondientes al acuífero Plioceno durante el periodo 1974-2000 con una tendencia claramente ascendente o descendente con respecto a 1988.

Con respecto al acuífero Cuaternario, en la mitad norte del Campo de Cartagena se observa un flujo subterráneo NO-SE hacia el mar, con cotas piezométricas comprendidas entre 1,27 y 104 m. En la mitad sur, sin embargo, el sentido de flujo es S-N, modificándose hacia el NE en las inmediaciones de El Algar, con una cota piezométrica comprendida entre - 9 y 10,9 m (Figura 7). Si se comparan los mapas de isopiezas obtenidos con los correspondientes a 1988-89 (ITGE, 1994) y se representa la evolución piezométrica temporal durante el periodo 1974-2000 (Figura 8), se observa, por lo general, una tendencia a la estabilización de niveles. El punto 2738-3-0044 (sector central) ha experimentado una recuperación significativa de desde 1987 (18,9 m) hasta 1999 (26,77 m). Los puntos 2838-1-0010, 2738-4-0094 y 2739-4-0016, sin embargo, experimentan un cierto descenso del orden de unos 5 a 8 m.

PIEZOMETRIA CUATERNARIO (ABRIL 1999)



PIEZOMETRIA CUATERNARIO (OCTUBRE-NOVIEMBRE 1999)

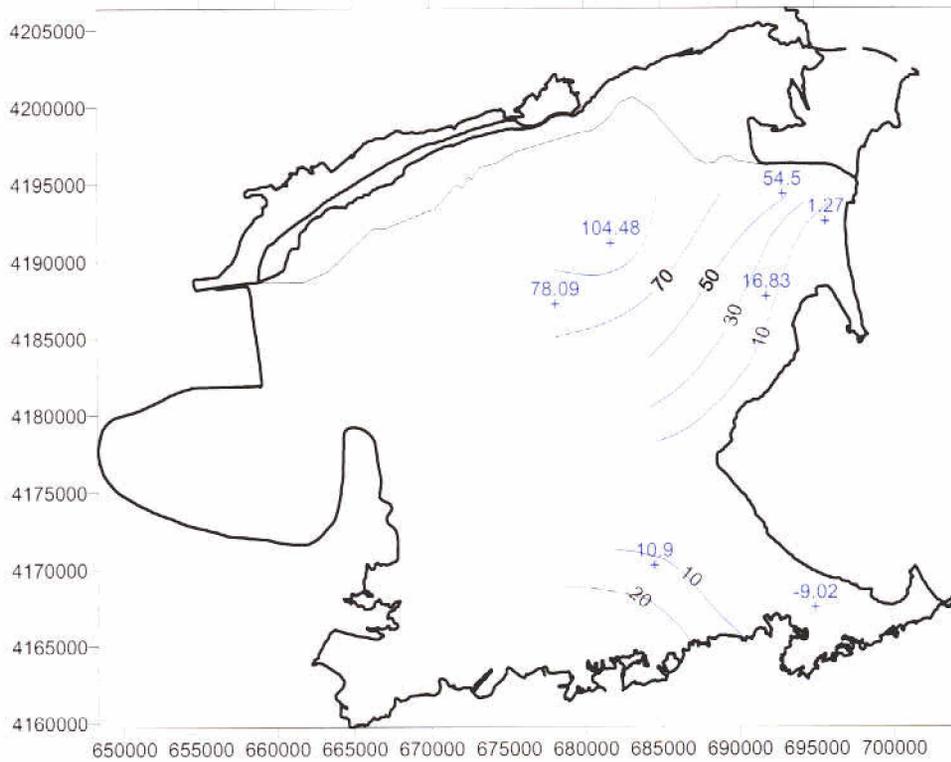


Figura 7. - Isopiezas tentativas (simplificadas) correspondientes al acuífero Cuaternario durante abril y octubre-noviembre de 1999

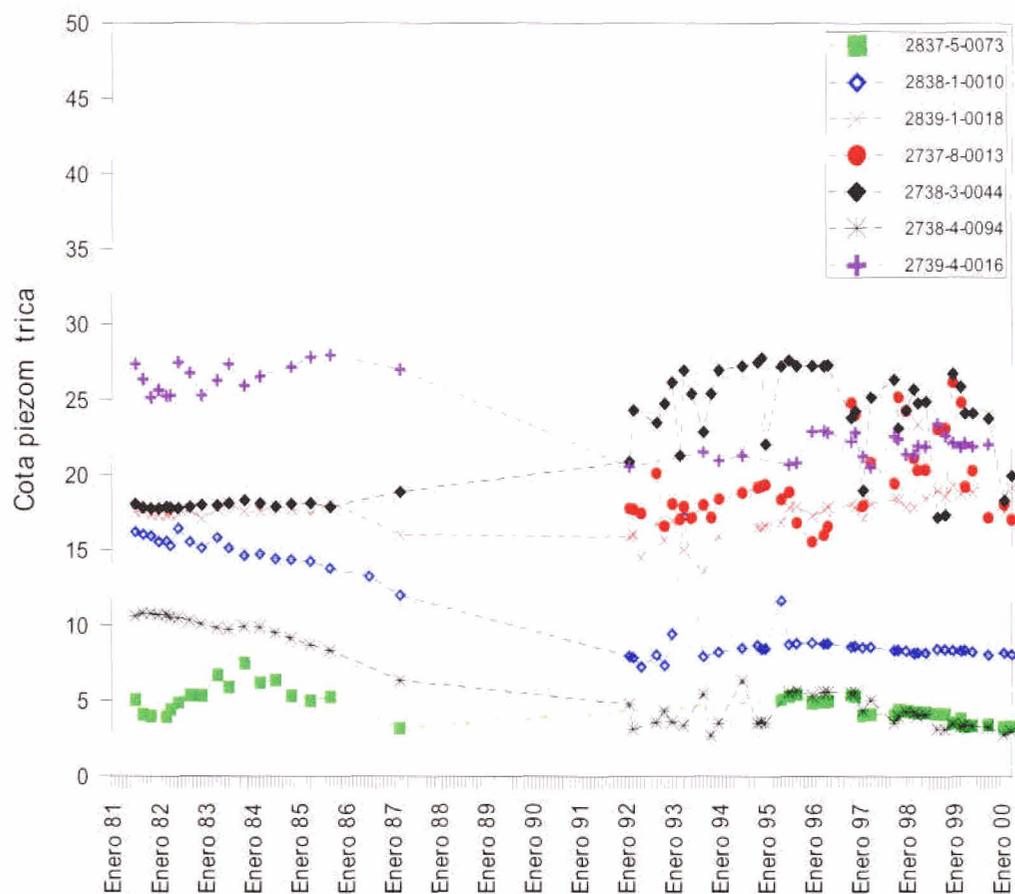


Figura 8. – Evolución piezométrica en los puntos de control correspondientes al acuífero Cuaternario durante el periodo 1974-2000 con una tendencia hacia la estabilización y/o ligera recuperación de niveles

4.1.3. Hidrogeoquímica

En relación con el acuífero Andaluciense, la representación y estudio de los análisis químicos correspondientes a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE (junio de 1999), pone de manifiesto la presencia de aguas cloruradas-sulfatadas sódicas con un contenido variable en calcio y magnesio. Se observa, además, un claro enriquecimiento en cloruro y CE hacia el sector suroccidental, pasando de valores de 106 mg/l y 994 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2837-5-0209) a 1101 mg/l y 6722 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2738-3-0040), así como un ligero enriquecimiento de dichos parámetros hacia la línea de costa, pasando de 408 mg/l y 2352 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2737-8-0069) a 428 mg/l y 3692 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2837-5-0206) (Figura 9). Con respecto a las relaciones iónicas, el estudio preliminar de la campaña anteriormente comentada (junio de 1999) pone de manifiesto, en principio, la presencia de una relación $r\text{Cl}/r\text{Na}$ (0,83 a 1,12) ligeramente inferior a la del agua del mar. Las relaciones $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ (0,76 a 1,59) y $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ (1,61 a 7,30) son inferiores al agua del mar, mientras que la relación $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ (0,42 a 2,25) es claramente superior.

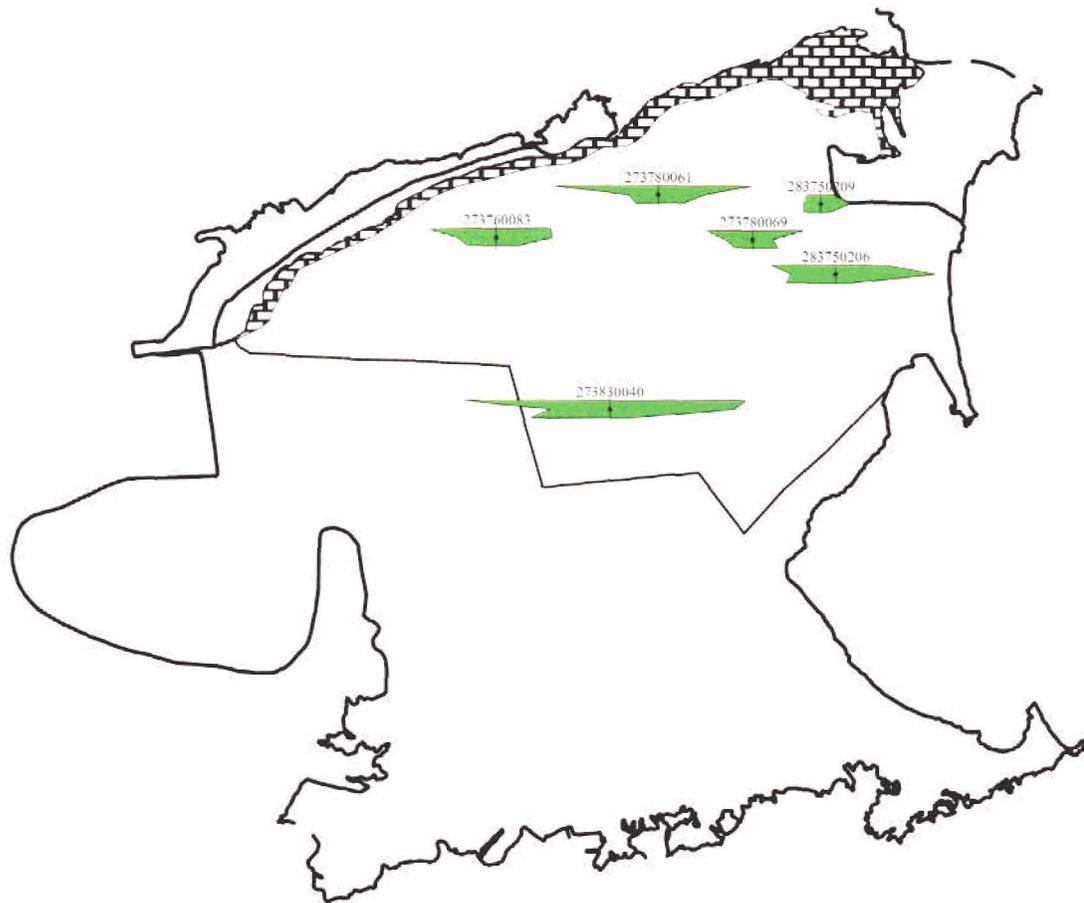


Figura 9. - Diagramas de stiff modificados correspondientes a la campaña de junio de 1999 en el acuífero Andaluciense

La relativa complejidad de los procesos hidrogeoquímicos implicados, así como el escaso número y características de los puntos de control considerados, sin embargo, hace que este tipo de análisis no sea suficiente como para poder caracterizar adecuadamente la hidrogeoquímica de las aguas subterráneas y, por consiguiente, el estado de la intrusión marina. Por ello, se ha realizado un estudio algo más detallado de las relaciones iónicas considerando además de la campaña comentada (junio 1999), el valor medio correspondiente al periodo 1992-2000. Previamente y con objeto de estudiar la evolución química experimentada por el agua durante el periodo 1992-2000 (puntos de la red de control del ITGE) se ha representado la evolución temporal de la CE, cloruro y sodio para cada punto de muestreo (Figura 10).

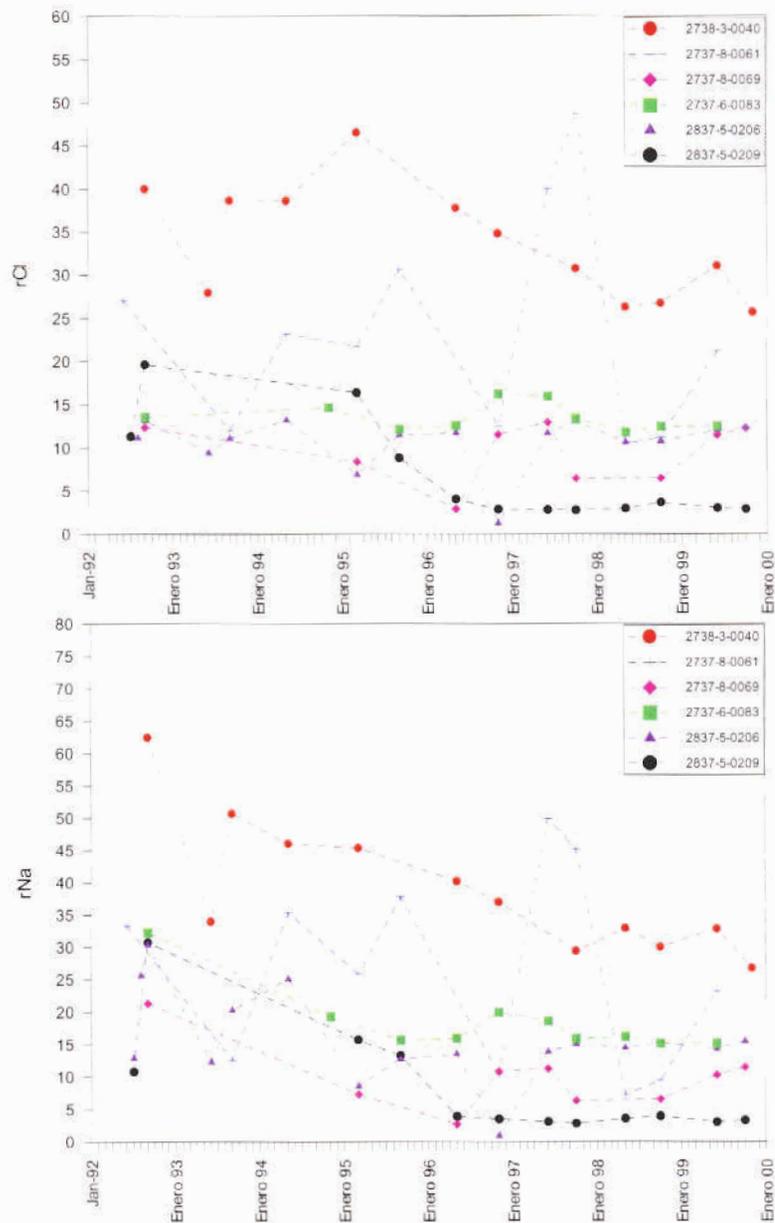


Figura 10. - Evolución temporal del contenido en cloruro y sodio en los puntos de control de la red del ITGE durante el periodo 1992-2000 (Andaluciese)

Este tipo de representación permite poner de manifiesto las observaciones siguientes:

- a) Presencia de una mayor mineralización y de un mayor contenido en cloruro y sodio en el sentido: 2737-5-0209, 2737-8-0069, 2737-6-0083/2837-5-0206, 2737-8-0061 y 2738-3-0040. Dicha proporción tiende a mantenerse a lo largo de todo el periodo considerado.
- b) Descenso generalizado tanto de la mineralización como del contenido en cloruro y sodio durante el periodo 1992-1996 (independientemente del punto de control considerado). Dicho descenso se interpreta como la continuación de la recuperación observada desde 1985 debida a la influencia de las aguas procedentes del trasvase, al ser estas últimas de mejor calidad que

las del acuífero (ITGE, 1994). Desde finales de 1996 hasta la actualidad, el contenido en dichos parámetros tiende por lo general a estabilizarse.

c) El punto 2737-8-0061 se caracteriza por presentar fuertes oscilaciones en su composición química con respecto al resto de puntos de control.

Teniendo en cuenta que la mineralización relativa entre los puntos de control tiende a mantenerse durante el periodo 1992-2000, se ha considerado el valor medio para dicho periodo como representativo de la composición química en cada uno de los puntos de muestreo considerados. El estudio conjunto de las relaciones iónicas (junio de 1999 y valor medio 1992-2000) permite observar como en todos los puntos $rCl/rNa \leq 1$ y $rCa/rMg \sim 1$, diferenciándose tres tipos de agua principales (Figura 11):

Grupo 1: representado por los puntos 2737-8-0069, 2737-8-0061 y 2737-5-0209. Se caracterizan por presentar unas relaciones $rSO_4/rCl \leq 1$; rSO_4/rCa , rSO_4/rMg , HCO_3/Ca y $HCO_3/Mg \sim 1$, así como $rCa - rSO_4 \sim 0$. Este grupo parece representar la composición química característica inicial o menos alterada del acuífero carbonatado (calizas bioclásticas o calcarenitas del Andaluciense) donde los procesos dominantes es la disolución de calcita, dolomita y yeso o anhidrita. Las oscilaciones observadas a lo largo del tiempo en el punto 2737-8-0061 se atribuyen a la existencia de un posible proceso de mezcla como resultado de una conexión hidráulica entre el Andaluciense y el Triás Bético subaflorante en el horst de Sucina-Riquelme (ITGE, 1994).

Grupo 2: representado por los puntos 2837-5-0206 y 2737-6-0083. Se caracteriza por presentar un cierto exceso de sulfato con respecto al calcio y al magnesio (rSO_4/rCa y $rSO_4/rMg > 1$) así como un contenido en $rCa - rSO_4 < 0$. Todo ello parece indicar la existencia de un cierto proceso de disolución incongruente de dolomita. Las relaciones HCO_3/Ca y HCO_3/Mg son menores a 1 y $rSO_4/rCl \geq 1$. En 2837-5-0206 se observa la existencia de un cierto enriquecimiento en sales en el sentido N-S (a partir del punto 2737-5-0209) y O-E (a partir de 2737-8-0061) lo cual podría indicar la posible existencia de un cierto proceso de intrusión marina. Sin embargo, los altos valores de las relaciones rSO_4/rCl y $rSO_4 - rMg/rCl$, la relación $(rNa+rK)/(rCa+rMg) < 1$ y la relación $rCl/rNa < 1,16$ no parecer corroborar dicha hipótesis.

Grupo 3: representado por el punto de control 2738-3-0040. Se trata de un punto alejado de la línea de costa y próximos a los límites del acuífero (Figura 9). Se caracterizan por presentar la mayor mineralización así como por la presencia de una mayor exceso en sulfato con respecto al calcio y al magnesio al compararlo con el grupo 2. Presenta relaciones rSO_4/rCa y $rSO_4/rMg \gg 1$; HCO_3/Ca y $HCO_3/Mg \ll 1$ así como un contenido en $rCa - rSO_4 \ll 0$, poniendo de manifiesto de nuevo un proceso de disolución incongruente de dolomía aunque más acusado con respecto al grupo anterior.

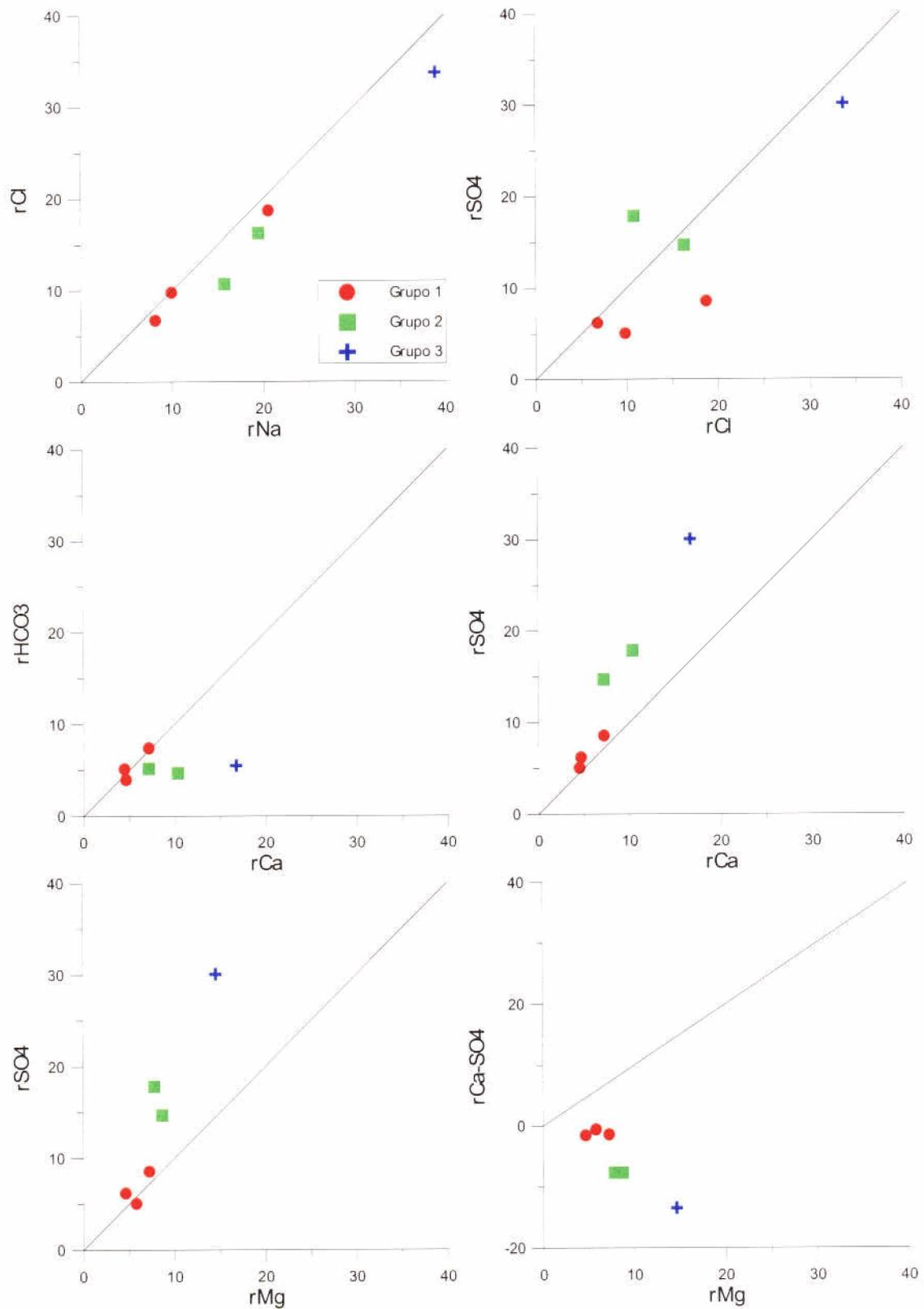


Figura 11. - Principales grupos de agua diferenciados en el acuífero Andalucense a partir de las relaciones iónicas rCl/rNa , rSO_4/rCl , HCO_3/Ca , rSO_4/rCa , rSO_4/Mg y $rCa-rSO_4/Mg$.

De todo lo comentado se deduce que en el acuífero andalucense no parece observarse la presencia de intrusión marina en ninguno de los puntos de control considerados. Con respecto al acuífero Plioceno, la representación y estudio de los análisis químicos correspondientes a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE (noviembre de 1999) pone de manifiesto la presencia de aguas cloruradas-sulfatadas con predominio del cloruro, excepto en las inmediaciones de la localidad de La Palma (puntos de control 2739-4-0048 y 2738-7-0011b) donde el anión predominante es el sulfato. En cuanto a los cationes, se observa un predominio del sodio seguido generalmente por el magnesio y después el calcio (Figura 12).

Se ha representado la evolución química experimentada por el agua durante el periodo 1992-2000 (puntos de la red de control del ITGE) con la finalidad de obtener, en la medida de lo posible, los valores medios representativos para dicho periodo. Dado que en todos los casos (a excepción del punto de control 2738-7-0011) el contenido en los elementos mayoritarios tiende a permanecer relativamente constante, se ha considerado el valor medio correspondiente a dicho periodo como representativo para cada uno de los puntos de control. En el caso del punto 2738-7-0011 el brusco cambio observado tanto en la mineralización como en las relaciones iónicas principales induce a pensar en una causa externa al muestreo (modificación en el punto de muestreo y/o características del mismo), por lo que se han considerado por separado los valores medios representativos de los subperiodos 1992-1995 (2738-7-0011a) y 1995-2000 (2738-7-0011b) respectivamente.

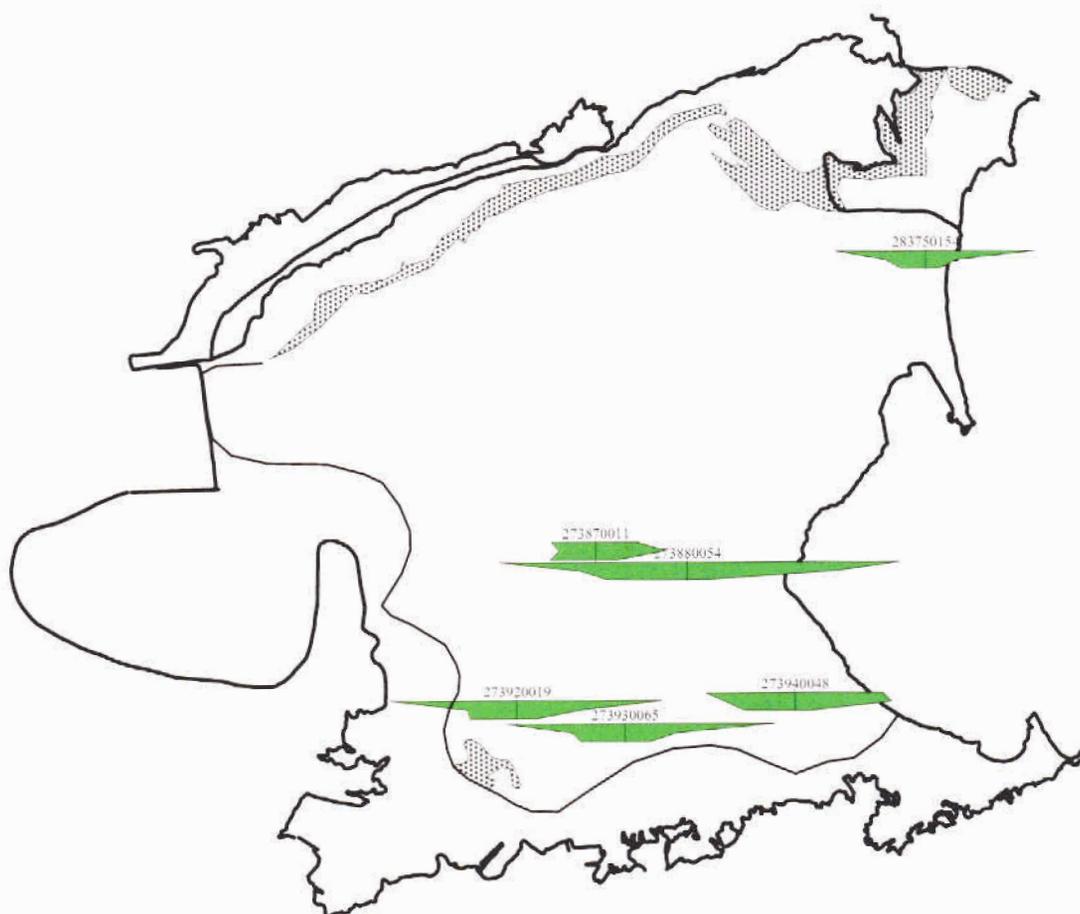


Figura 12. - Diagramas de stiff modificados correspondientes a la campaña de noviembre de 1999 en el acuífero Plioceno.

El estudio conjunto de las relaciones iónicas (noviembre de 1999 y valor medio 1992-2000) permite diferenciar los siguientes tipos de agua preliminares (Figura 13):

Grupo 1: representado por los puntos 2739-4-0048, 2738-7-0011b y 2837-5-0094. Se caracterizan, en general, por presentar relaciones rCl/rNa , rSO_4/rCl , HCO_3/Ca y HCO_3/Mg próximas a 1 así como $(rNa+rK)/(rCa+rMg) < 1$. Dentro de este grupo se pueden diferenciar a su vez otros dos:

- a) 2738-7-0011b y 2837-5-0094: con relaciones rSO_4/rCa y rMg/rCa próximas a 1 y $rCa-rSO_4/rMg \sim 0$; evidenciando procesos de disolución de dolomita y de anhidrita o yeso
- b) 2739-4-0048: caracterizado por presentar un cierto exceso de sulfato y magnesio con respecto al calcio.

Grupo 2: representado por los puntos de control 2739-2-0019, 2739-3-0065 y 2837-5-0154. Este grupo se caracteriza por presentar una relación rCl/rNa próxima a 1,16, un mayor contenido en cloruro (menor rSO_4/rCl y mayor rCl/rNa con respecto al grupo anterior) así como una relación $(rNa+rK)/(rCa+rMg) > 1$. Todo ello parece poner de manifiesto la presencia de un proceso de intrusión marina. Sin embargo, los puntos 2739-2-0019 y 2739-3-0065 se encuentran demasiado alejados de la costa, por lo que únicamente podría existir intrusión en el punto 2837-5-0154 situado muy próximo a la línea de costa.

Grupo 3: representado por los puntos 2738-7-0011a y 2738-8-0054. Se caracterizan por presentar un mayor grado de mineralización con respecto a los grupos anteriores aunque presentan diferencias significativas en cuanto a su composición química. El punto 2738-8-0054 se caracteriza por presentar relaciones rCl/rNa y rMg/rCa próximas a 1, $rSO_4/rCa \gg 1$, $rSO_4/rCl < 1$, HCO_3/Ca y $HCO_3/Mg \ll 1$. Se observa un exceso de sulfato con respecto al magnesio y calcio. Los mayores contenidos en cloruro y sodio, así como la relación rCl/rNa próxima a 1, se interpretan como resultado de un proceso de disolución de halita (característica del Keuper de las Cordilleras Béticas). Con respecto al punto 2738-7-0011a, se caracteriza por presentar una composición química más próxima al grupo 2. Es decir, rCl/rNa próxima a 1,16, mayor contenido en cloruro ($rSO_4/rCl \ll 1$) así como una relación $(rNa+rK)/(rCa+rMg) > 1$. Todo ello parece indicar la posible existencia de un proceso de intrusión marina.

Con respecto al acuífero Cuaternario, la representación y estudio de los análisis químicos correspondientes a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE (mayo-junio de 1999) pone de manifiesto la presencia de aguas cloruradas-sulfatadas a cloruradas con predominio del cloruro sobre el sulfato. En cuanto a los cationes, se observa un predominio del sodio seguido generalmente por el magnesio (ITGE,1990). El contenido en cloruros y la conductividad eléctrica es muy elevada aún en zonas alejadas de la línea de costa (782 mg/L y 4522 $\mu S/cm$ en el punto 2638-8-0001), aunque los mayores valores de dichos parámetros se observan en la costa, al NO de la localidad Los Alcázares; 1910 a 2307 mg/L y 8672 a 9822 $\mu S/cm$ en los puntos 2738-4-0094 y 2738-4-0104 respectivamente (Figura 14).

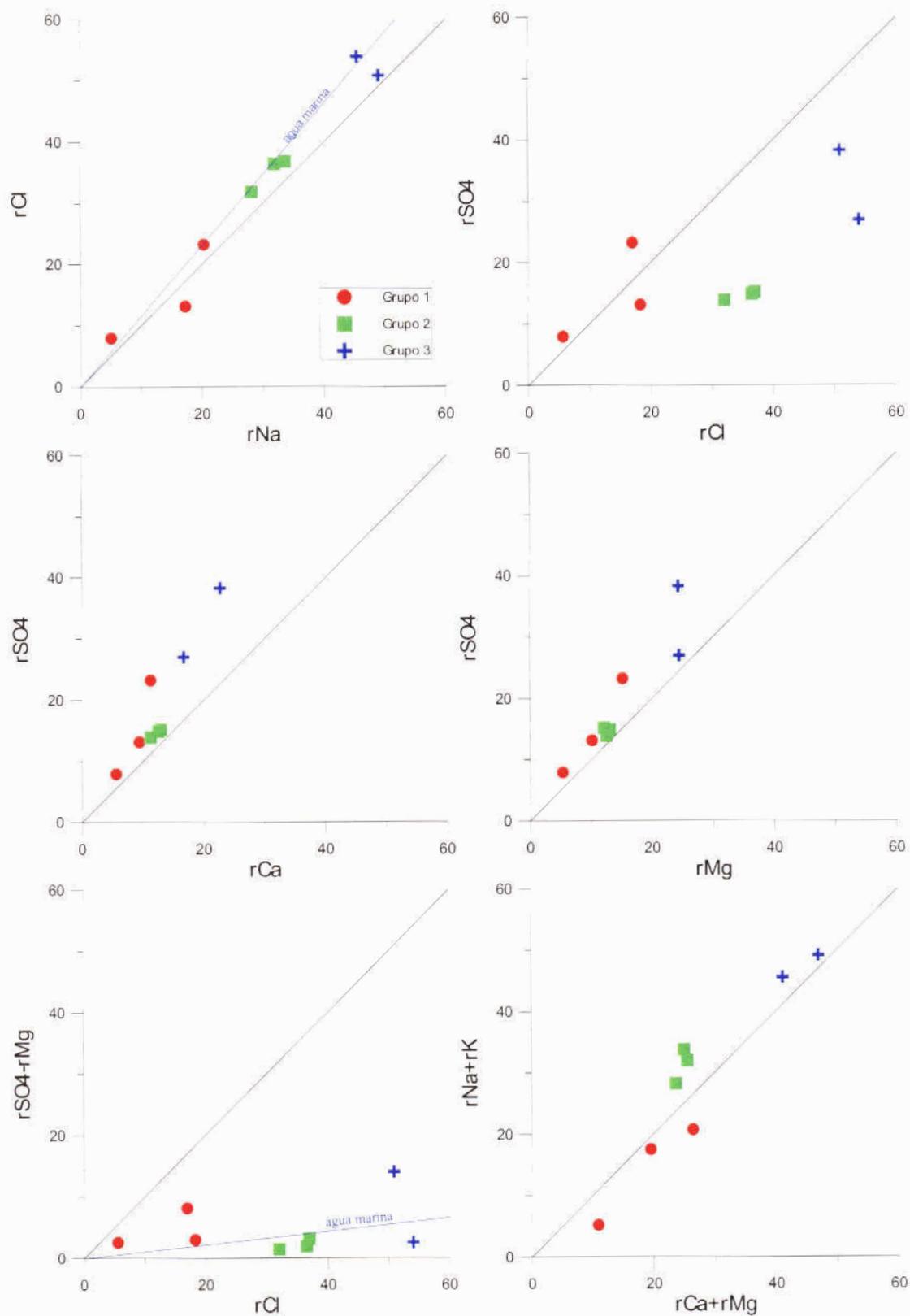


Figura 13. - Principales grupos de agua diferenciados en el acuífero Plioceno a partir de las relaciones iónicas rCl/rNa , rSO_4/rCl , rSO_4/rNa , rSO_4/rMg , rSO_4-Mg/rCl y $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$.

Se ha representado la evolución química experimentada por el agua durante el periodo 1992-2000 (puntos de la red de control del ITGE) con la finalidad de obtener, en la medida de lo

posible, los valores medios representativos para dicho periodo. Dado que en todos los casos el contenido en los elementos mayoritarios tiende a permanecer relativamente constante, se ha considerado el valor medio correspondiente a dicho periodo como representativo para cada uno de los puntos de control.

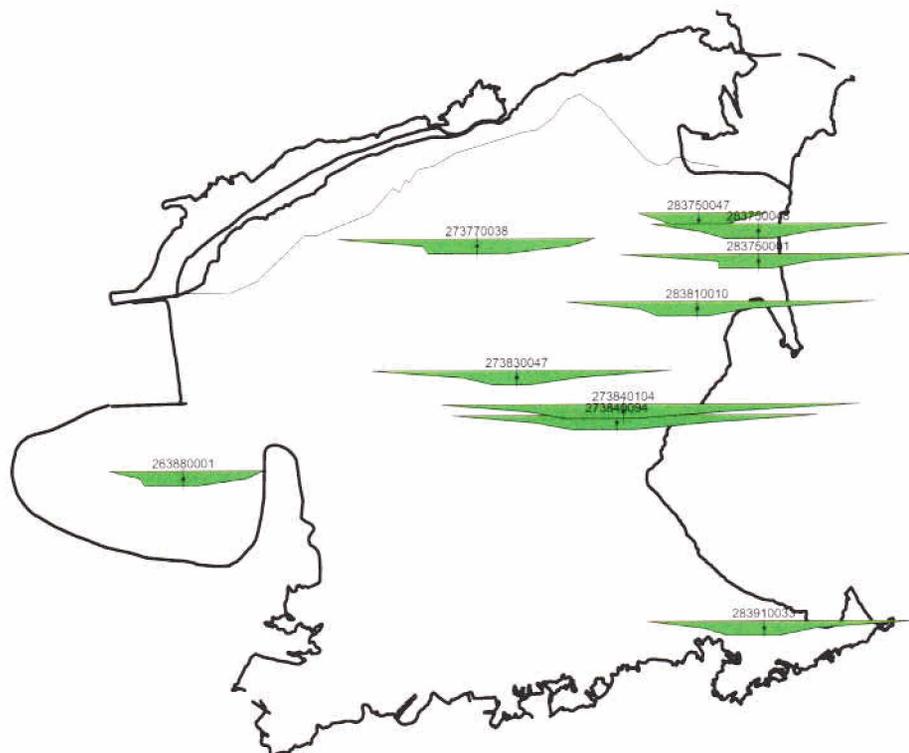


Figura 14. - Diagramas de stiff modificados correspondientes a la campaña de mayo-junio de 1999 en el acuífero Cuaternario.

El estudio conjunto de las relaciones iónicas (mayo-junio de 1999 y valor medio 1992-2000) permite diferenciar los siguientes grupos de agua preliminares (Figura 15):

Grupo 1: representado por los puntos de control: 2638-8-0001 y 2737-7-0038. Se trata de puntos alejados de la línea de costa que se caracterizan por presentar $rCl/rNa \leq 1$, mayores relaciones $rSO4/rCl$, $rSO4/rNa$ y $rSO4-rMg/rCl$, así como un cierto exceso de sulfato con respecto al magnesio y al calcio ($rSO4/rMg$ $rSO4/rCa > 1$) y un contenido en $rCa-rSO4 < 0$. Dicha caracterización química se interpreta como debida principalmente a la influencia de las evaporitas del Keuper. La relación rCl/rNa próxima a 1 se interpretan como resultado de un proceso de disolución de halita (característica del Keuper de las Cordilleras Béticas). El exceso de sulfato con respecto al calcio y el magnesio y la proporción $rCa-rSO4 < 0$ parece indicar un cierto proceso de disolución incongruente de dolomita.

Grupo 2: representado por los puntos de control: 2837-5-0047, 2837-5-0048 y 2738-3-0047 más próximos a la línea de costa. Se caracterizan por presentar rCl/rNa , $rSO4/rCa$, $rSO4/rMg$, $HCO3/Ca$ y $HCO3/Mg \sim 1$ así como un mayor contenido en cloruro con respecto al sulfato (menores relaciones $rSO4/rCl$ y $rSO4-rMg/rCl$). Por lo general, se caracterizan además por presentar una mayor relación $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$. Constituye un tipo de agua intermedio entre los grupos 1 y 3. Este grupo parece representar la composición química característica inicial del acuífero con cierta influencia de los materiales del Keuper, aunque el mayor

contenido en cloruro con respecto al sulfato así como las relaciones rSO_4-rMg/rCl y $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$ no descartan completamente la presencia de un cierto proceso de intrusión marina.

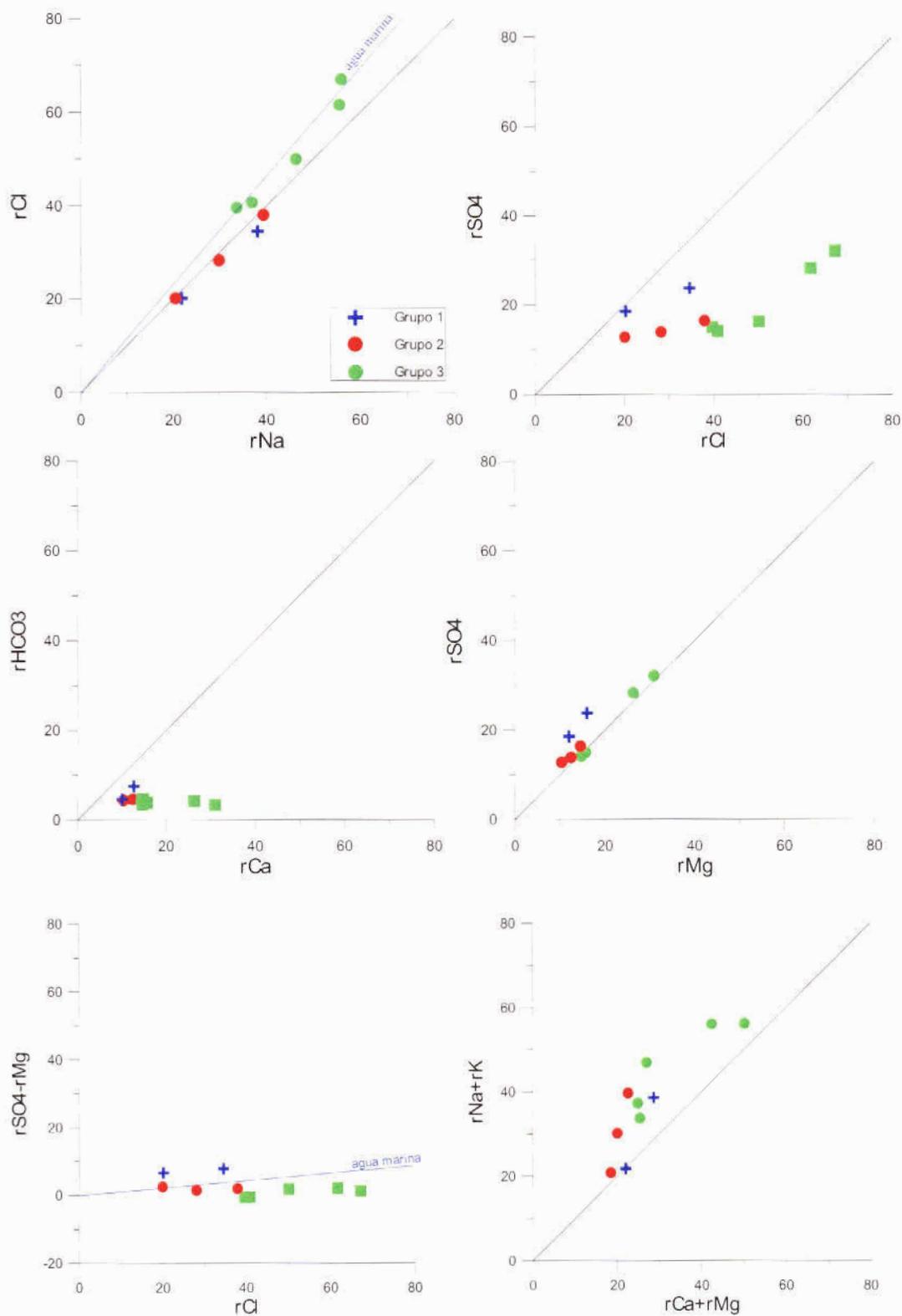


Figura 15. - Principales grupos de agua diferenciados en el acuífero Cuaternario a partir de las relaciones iónicas rCl/rNa , rSO_4/rCl , $rHCO_3/rCa$, rSO_4/rMg , rSO_4-Mg/rCl y $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$.

Grupo 3: representado por los puntos de control: 2738-4-0104, 2738-4-0094, 2838-1-0010, 2837-5-0001 y 2839-1-0033. Se trata de puntos próximos a la línea de costa que se caracterizan por presentar una mayor mineralización (mayor conductividad eléctrica y mayor contenido en cloruro y sodio), rCl/rNa próxima al agua del mar (1,08 a 1,20), $rSO_4/rCl < 1$ y $rSO_4/rMg \sim 1$. Todo ello unido a las relaciones rSO_4-rMg/rCl y $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$ parece indicar la existencia de un proceso de intrusión marina. Dentro de este grupo, los puntos 2738-4-0104 y 2738-4-0094 se caracterizan por presentar, además, HCO_3/Ca y $HCO_3/Mg \ll 1$, un predominio del sulfato con respecto al calcio y magnesio, así como un contenido en $rCa-rSO_4 \ll 0$, lo que podría indicar además la existencia de un cierto proceso de disolución incongruente de dolomita.

De todo lo comentado hasta el momento, se puede decir que en la actualidad los acuíferos que parecen presentar mayores problemas de intrusión marina son el Plioceno (Grupo 3) y el Cuaternario (Grupo 2 y 3). Si se representan conjuntamente las relaciones iónicas principales para cada uno de los acuíferos considerados, se puede observar claramente como, en general, al pasar de los puntos representativos del acuífero Andaluciense hacia los puntos del acuífero Cuaternario se observa un aumento de la relación rCl/rNa (pasando a tomar valores próximos a la del agua del mar), un incremento de las relaciones rSO_4/rCl y rSO_4-rMg/rCl así como un aumento de la relación $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$ (Figura 16).

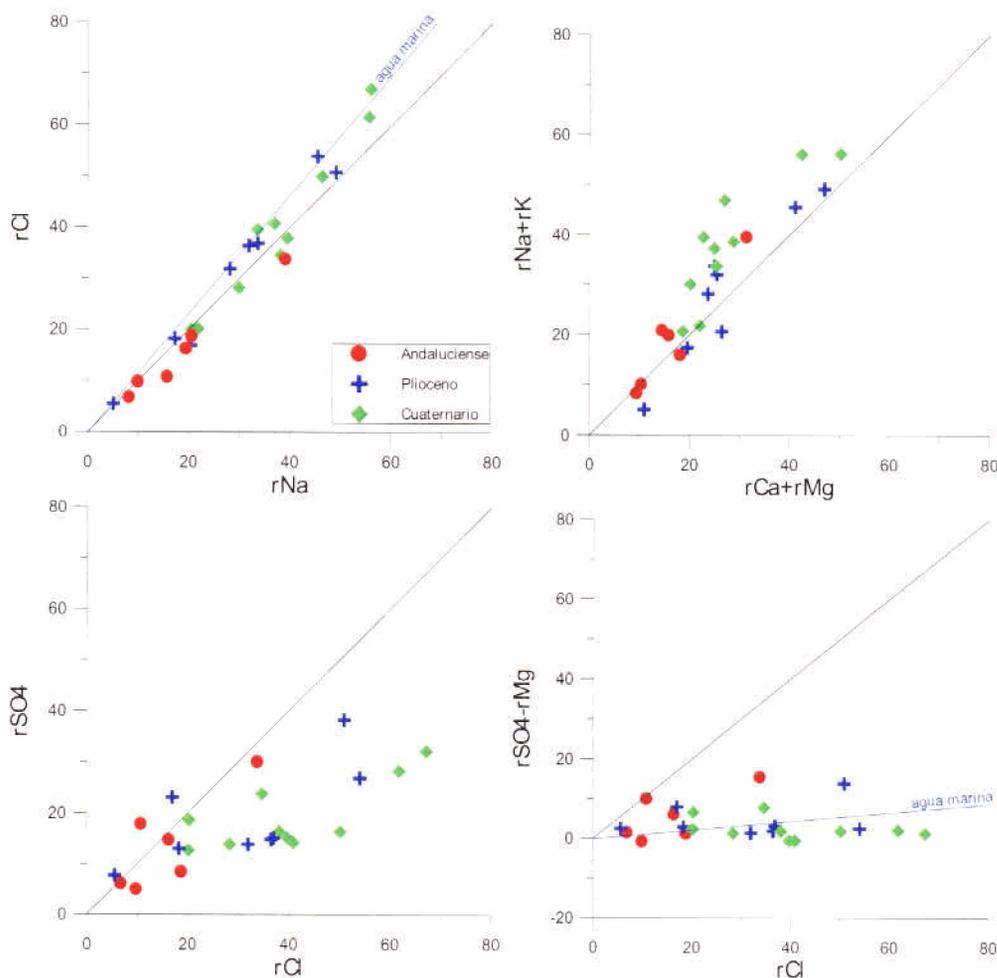


Figura 16. - Relaciones iónicas rCl/rNa , $(rNa+rK)/(rCa+rMg)$, rSO_4/rCl y rSO_4-rMg/rCl obtenidas para la unidad hidrogeológica del Campo de Cartagena (acuíferos Andaluciense, Plioceno y Cuaternario).

4.1.4. Estado actual de la intrusión, evolución previsible y posibles actuaciones

El estudio realizado permite concluir que en la actualidad los acuíferos que parecen presentar un proceso de intrusión marina son el Plioceno y, fundamentalmente, el Cuaternario. No obstante, la superposición de distintos procesos hidrogeoquímicos con resultados similares en la composición química del agua, unido al complejo funcionamiento hidrogeológico como consecuencia de la conexión hidráulica existente entre los diversos acuíferos considerados (provocada por la compleja estructura tectónica y acentuada por las actividades antrópicas), hace aconsejable la realización de estudios complementarios encaminados a confirmar y mejorar los resultados preliminares obtenidos. Para ello, se propone la realización tanto de estudios hidrogeoquímicos específicos detallados (mediante la utilización por ejemplo de diversos códigos de especiación y simulación hidrogeoquímica) como, fundamentalmente, de estudios isotópicos, de gran interés en este caso dado que permitirían discernir y/o identificar aquellos procesos difícilmente caracterizables considerando únicamente la composición química del agua subterránea. Los resultados obtenidos permitirían establecer una mejor caracterización hidrogeoquímica e isotópica regional así como plantear el mantenimiento, modificación y/o ampliación de la red actual de observación con objeto de realizar un adecuado control y seguimiento de la intrusión. Ello permitirá realizar una gestión coherente en cada momento con las características y evolución de la intrusión.

4.2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.33 DE ÁGUILAS

4.2.1. Descripción hidrogeológica

La unidad hidrogeológica de Aguilas (07.33) se encuentra constituida por dos acuíferos costeros principales: Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca.

El acuífero Aguilas-Cala Reona se encuentra situado en el extremo sur de la provincia de Murcia, en las inmediaciones del límite con la provincia de Almería y más concretamente, en los alrededores de las localidades de Aguilas y Cala Reona (principalmente zona de la Rambla de Cañaretos). Presenta una extensión aproximada de unos 51 km² y ocupa la zona costera comprendida entre la playa de El Hornillo y la localidad de El Pozo del Esparto. Se encuentra delimitado en su parte septentrional y oriental por los materiales de baja permeabilidad (cuarcitas y esquistos del Permotriásico) correspondientes al Complejo Alpujárride. Con respecto al extremo occidental, a pesar de la escasa información hidrogeológica disponible, se considera, de acuerdo con el Plan Hidrológico de la Cuenca del Segura (CHS, 1997), que el acuífero se encuentra delimitado por el afloramiento del mismo tipo de materiales (Complejo Alpujárride) existente en las proximidades de la localidad El Pozo del Esparto. El límite suroriental viene dado por la línea de costa.

El acuífero Cope-Cala Blanca se encuentra situado a unos 7 km. al E de Aguilas, presenta una extensión de unos 51 km² y ocupa la zona costera existente al norte de Cabo Cope, desde Calabardina hasta las ramblas del Garrotillo y del Cantal. Al igual que el acuífero Aguilas-Cala Reona, se encuentra delimitado por los afloramientos permotriásicos del Complejo Alpujárride que actúan como impermeable de base, salvo por su límite oriental, donde el acuífero se encuentra delimitado por la línea de costa.

Ambos acuíferos se encuentran constituidos por calcarenitas y areniscas del plioceno, así como por materiales cuaternarios suprayacentes (conglomerados y gravas principalmente). Con respecto al espesor del acuífero, los materiales cuaternarios se caracterizan por presentar una gran variabilidad oscilando entre los 5 y 80 m. Los materiales correspondientes al plioceno, sin embargo, presentan un espesor relativamente constante de unos 70-80 m, tendiendo a aumentar su potencia en dirección a la costa donde alcanzan los 100 m de potencia. Por lo general el conjunto no suele sobrepasar los 130 m de espesor. La cota de muro de ambos acuíferos se encuentra generalmente por debajo de la cota cero, siendo en la línea de costa aproximadamente de -100 m (ITGE, 1990).

En las Figuras 1 y 2 se presenta un mapa hidrogeológico simplificado correspondiente a los acuíferos Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca, diferenciándose entre los afloramientos permeables principales (calcarenitas y areniscas del Plioceno; gravas y arenas del Cuaternario) y los afloramientos o subafloramientos del impermeable de base (cuarcitas y esquistos del Permotriásico).

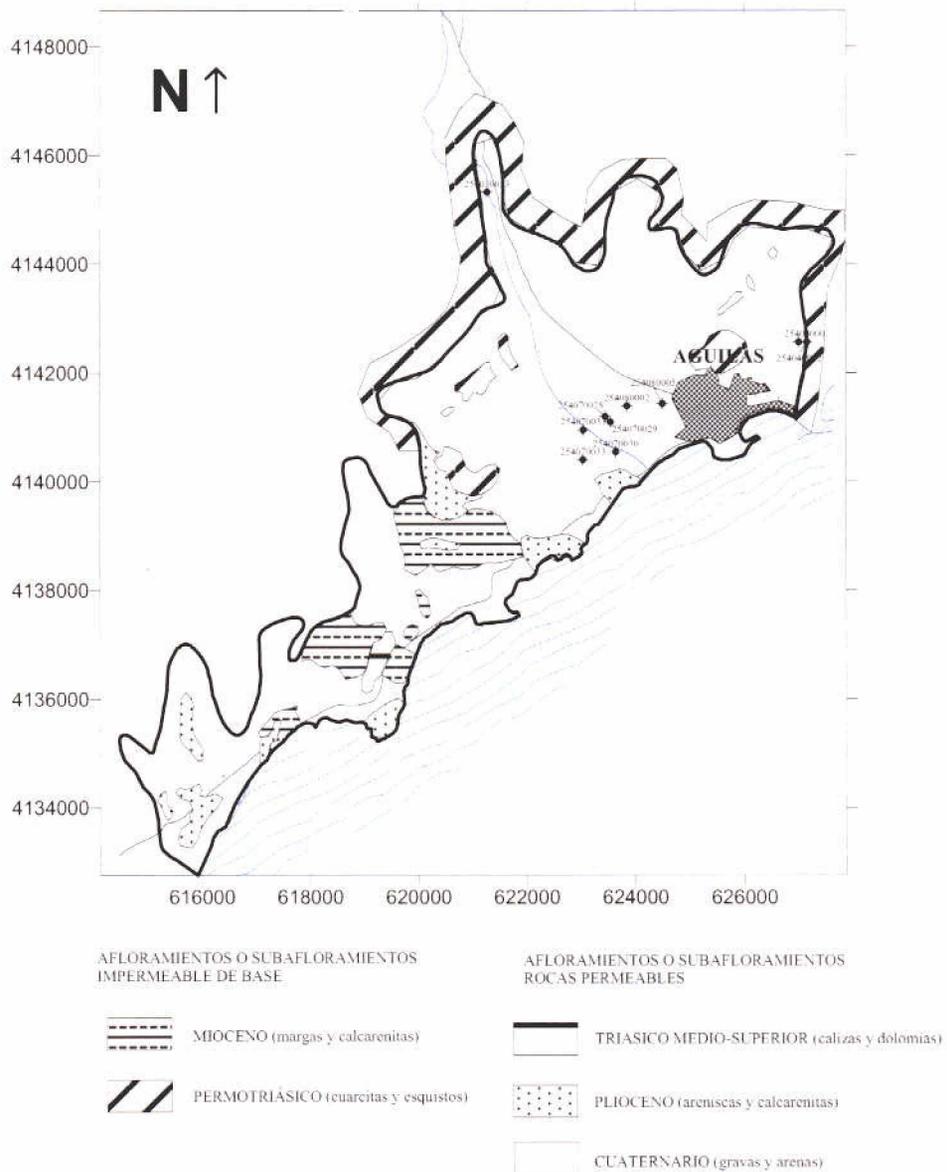


Figura 1.- Mapa y esquema hidrogeológico simplificado correspondiente al acuífero Aguilas-Cala Reona.

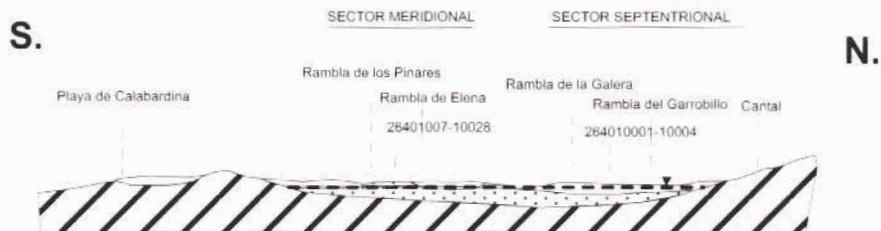
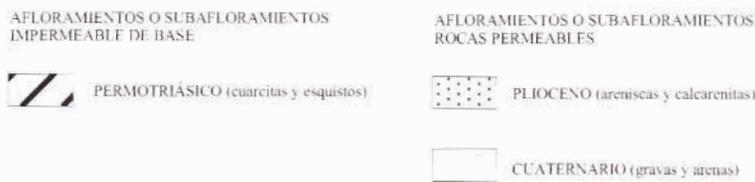
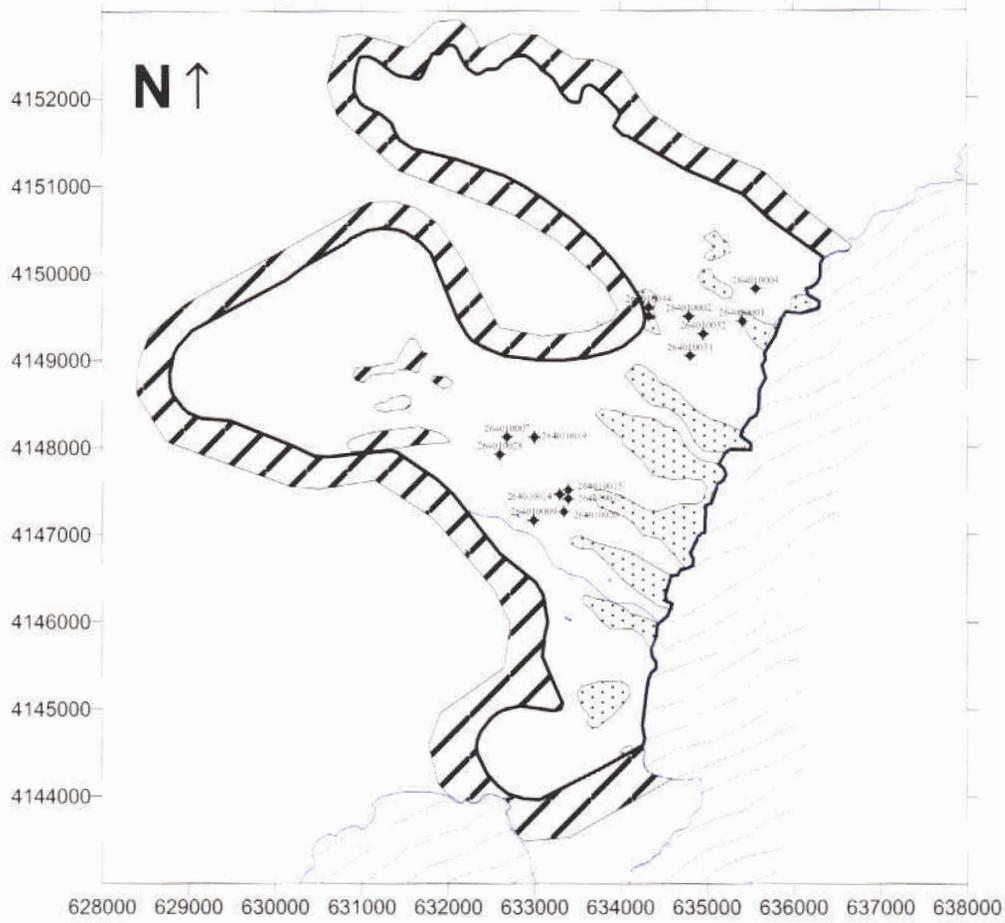
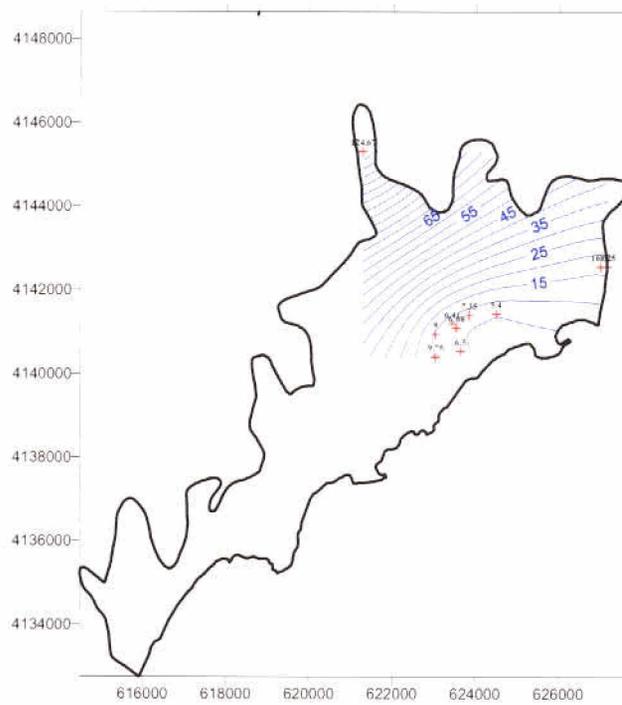
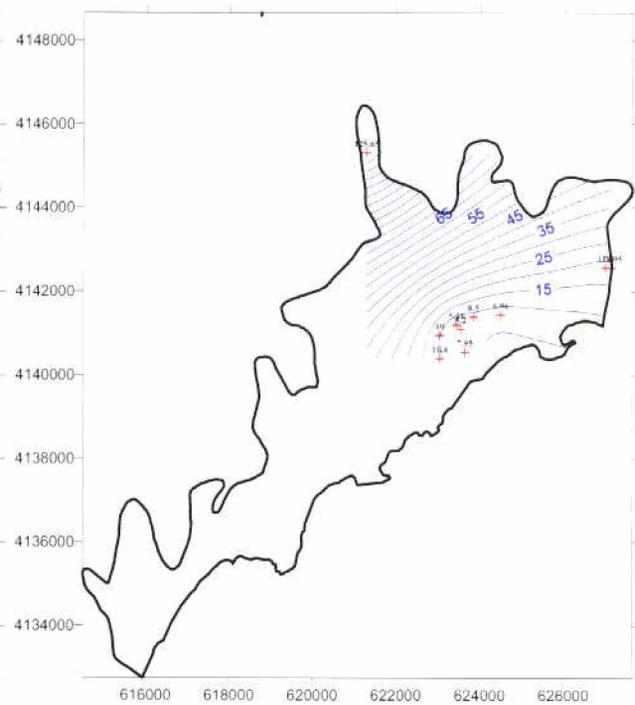


Figura 2.- Mapa y esquema hidrogeológico simplificado correspondiente al acuífero Cope Cala-Blanca.

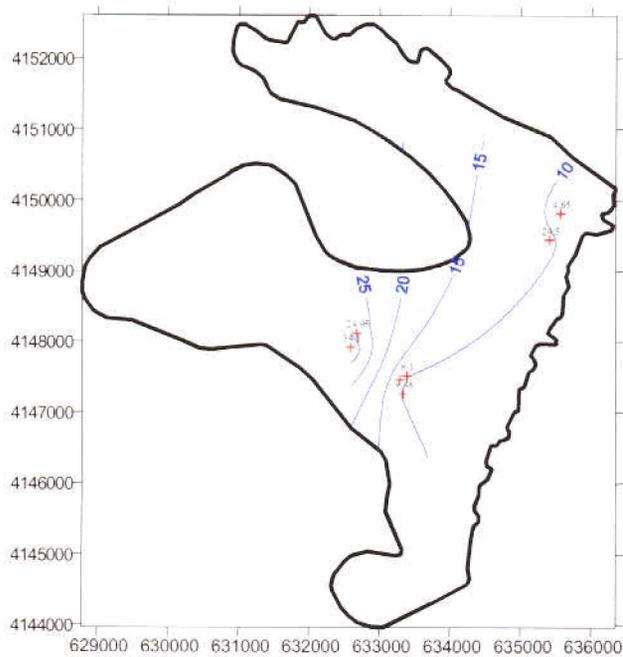
AGUILAS-CALA REONA (FEBRERO-MARZO 1989)



AGUILAS-CALA REONA (SEPTIEMBRE 1989)



COPE-CALA BLANCA (FEBRERO-MARZO 1989)



COPE-CALA BANCA (SEPTIEMBRE 1989)

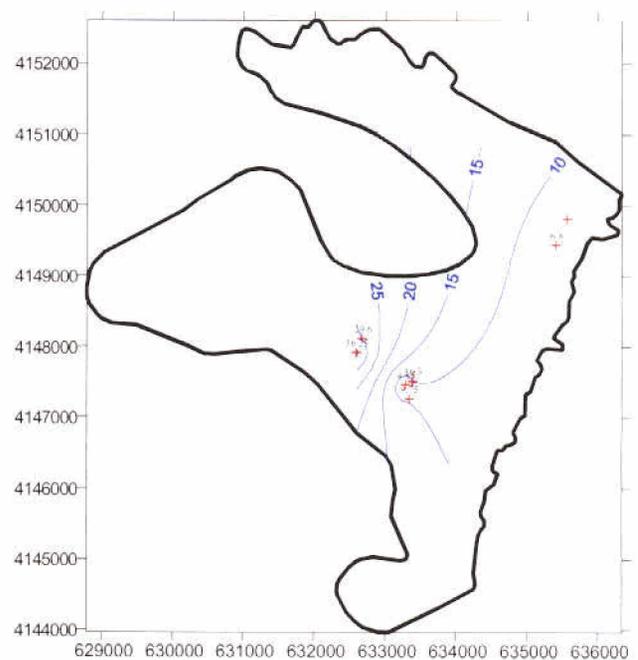


Figura 3.- Isopiezas tentativas (simplificadas) correspondientes a los acuíferos Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca durante febrero-marzo y septiembre de 1989 (ITGE, 1989)

Con respecto al funcionamiento hidrogeológico, en general se trata de acuíferos poco conocidos. La recarga se produce principalmente por la infiltración del agua de lluvia, sin despreciar la escorrentía superficial proveniente de las estribaciones montañosas (constituidas por materiales de baja permeabilidad) que rodean a ambos sistemas. No obstante, dicha escorrentía parece encontrarse concentrada, aprovechando diversas ramblas, por lo que la recarga procedente de la misma se considera en principio de escasa importancia (IGME, 1981). La recarga media estimada por infiltración de agua de lluvia es de 0,4 a 0,9 hm³/año (Aguilas-Cala Reona) y de 0,5 a 0,9 hm³/año (Cope-Cala Blanca) (ITGE, 1989). Los estudios realizados hasta el momento indican la existencia de un flujo subterráneo hacia la costa. En Aguilas-Cala Reona, la dirección principal de flujo es NO-SE, observándose un máximo piezométrico en el extremo septentrional del acuífero. Con respecto a Cope-Cala Blanca, la dirección principal de flujo es O-E, observándose las mayores cotas piezométricas en el sector situado al norte del Ventorrillo. La descarga se produce principalmente como consecuencia de la extracción por bombeo y por la salida de agua al mar. No se tienen datos suficientes para determinar los parámetros hidráulicos de estos acuíferos. En las Figuras 1 y 2 se presenta un corte hidrogeológico esquemático preliminar correspondiente a ambos acuíferos (IGME, 1981).

4.2.2. Evolución piezométrica

Los datos piezométricos disponibles corresponden tanto a las campañas realizadas en el ámbito del proyecto “Estudio de la intrusión marina en acuíferos costeros de Murcia y Alicante” (ITGE, 1990), como a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE. El escaso número de puntos de control actualmente operativos (2540-7-0028 en Aguilas-Cala Reona y 2640-1-0015 en Cope-Cala Blanca) no permite realizar un mapa de isopiezas representativo de la situación actual de estos acuíferos. Es por ello que se ha estudiado principalmente la evolución piezométrica experimentada en dichos puntos partiendo de la situación piezométrica definida en 1989 (ITGE, 1990). Los mapas de isopiezas correspondientes a febrero-marzo y septiembre de 1989 se presentan en la Figura 3. Como puede observarse, a pesar de la escasez de puntos de control y de las simplificaciones de la interpolación realizada, en ambos casos se observa una dirección de flujo hacia el mar (NO-SE en Aguilas-Cala Reona y O-E en Cope-Cala Blanca). En Aguilas-Cala Reona la mayor concentración de sondeos y, por lo tanto, los mínimos piezométricos se localiza en la parte suroriental del sistema, en las inmediaciones de la Rambla del Cañarete. En Cope-Cala Blanca el mayor número de sondeos y las menores cotas piezométricas se observan en el sector meridional. Las escasas diferencias observadas para ambos acuíferos entre los periodos considerados se atribuye a la recarga que provocaron las lluvias torrenciales ocurridas a final del verano de 1989 (según ITGE, 1990). La representación de la evolución piezométrica en los puntos de control durante el periodo 1984-2000 (Figura. 4) permite observar una significativa recuperación de niveles. En el punto 2540-7-0028 se pasa de una cota piezométrica de 0,41 (noviembre 1984) a 14,51 (noviembre 1999), mientras que en el punto 2640-1-0015 se pasa de una cota piezométrica de 8,9 (mayo 1987) a 31,3 (abril 2000).

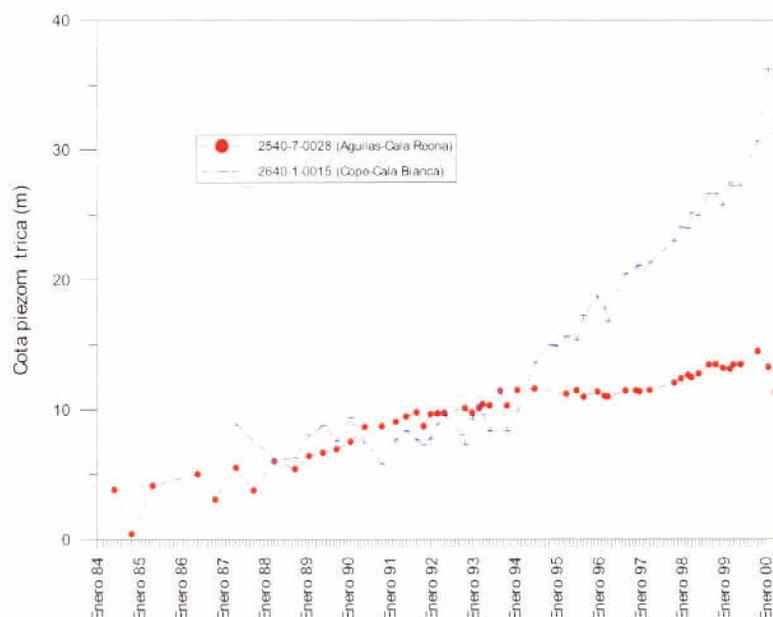


Figura 4. – Evolución piezométrica en los puntos de control correspondientes a los acuíferos de Aguilas- Cala Reona (2540-7-0028) y Cope-Cala Blanca (2640-1-0015) durante el periodo 1984-2000.

De ello se deduce que, si se consideran los puntos de control como representativos del acuífero en el que se encuentran, y se tiene en cuenta, además, que dichos puntos corresponden a los de menor cota piezométrica durante 1989, ambos acuíferos presentan una significativa recuperación, sí bien, en el acuífero Cope-Cala Blanca dicha recuperación parece ser mayor a partir de 1994. La continua recuperación de niveles, en un periodo con una precipitación media igual o inferior a la del periodo 1984-1994, se atribuye a una disminución progresiva de la explotación coherente con el aporte de caudales procedentes del exterior.

4.2.3. Hidrogeoquímica

Los análisis químicos disponibles corresponden tanto a las campañas realizadas en el ámbito del proyecto “Estudio de la intrusión marina en acuíferos costeros de Murcia y Alicante” (ITGE, 1990), como a los puntos de control que forman parte de la red actual del ITGE. Tras un tratamiento preliminar y selección de los datos disponibles, la metodología aplicada ha sido diferente en función de la campaña de muestreo considerada. Los datos correspondientes a la primera campaña han permitido establecer una caracterización hidrogeoquímica regional preliminar teniendo en cuenta la distribución química espacial durante 1989. Por el contrario, los análisis químicos realizados durante 1980-2000 han permitido estudiar la evolución química experimentada en los cuatro puntos de control actualmente disponibles. La integración de todos los resultados permite elaborar un diagnóstico preliminar acerca del estado actual de la intrusión en los acuíferos de Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca.

4.2.4. Materiales y métodos

Los análisis químicos que se poseen hasta el momento corresponden a las siguientes campañas y puntos de muestreo:

a) campaña 1989: durante esta campaña se realizaron un total de 22 y 24 análisis químicos en los acuíferos Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca respectivamente, distribuidos entre los meses de febrero-marzo y septiembre. Estos análisis fueron realizados tanto por el Laboratorio del Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE) como por el Laboratorio del IRYDA. En Aguilas-Cala Reona el error en el balance iónico es inferior al 4% para el 77 % de los análisis considerados (error máximo 15,47 %). Se ha comparado el porcentaje de error del balance iónico con la conductividad eléctrica, obteniéndose un único análisis con un error claramente superior al admisible (según Custodio y Llamas, 1983) correspondiente al punto 2540-7-0028 (13/9/1989). En Cope-Cala Blanca el error en el balance iónico es inferior al 4% para el 91 % de los análisis considerados (error máximo 5,78 %), no obteniéndose ningún análisis con un error claramente superior al admisible.

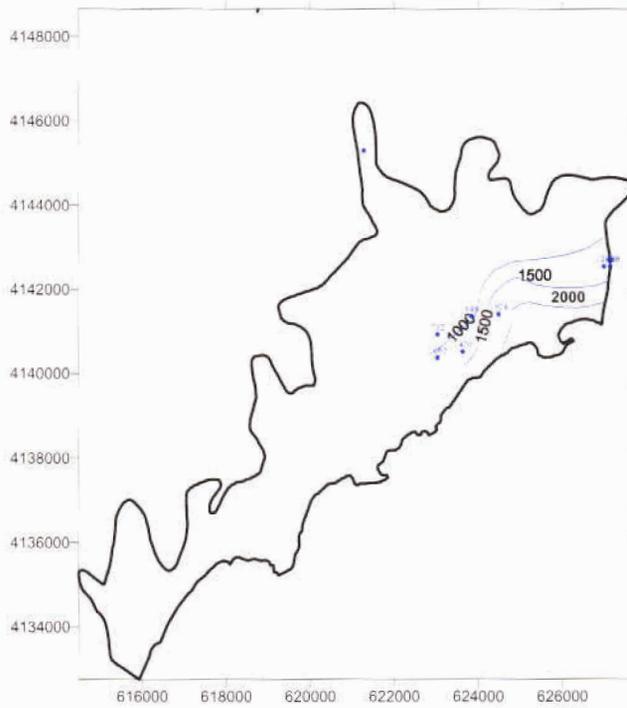
b) campaña 1980-2000: corresponde a una campaña de muestreo sistemático con una frecuencia de muestreo de anual a bianual realizados en los puntos que forman parte de la red actual del Instituto. En la actualidad existen cuatro puntos de control de la calidad química: 2540-7-0028, 2540-4-0003, 2640-1-0002 y 2640-1-0014. De estos cuatro puntos, los dos primeros se encuentran situados en el acuífero Aguilas-Cala Reona, mientras que los otros dos se encuentran en el acuífero Cope-Cala Blanca. Se ha comparado el porcentaje de error del balance iónico con la conductividad eléctrica, eliminándose los análisis con un error superior al admisible (según Custodio y Llamas, 1983).

4.2.5. Análisis de los datos, presentación y discusión de resultados

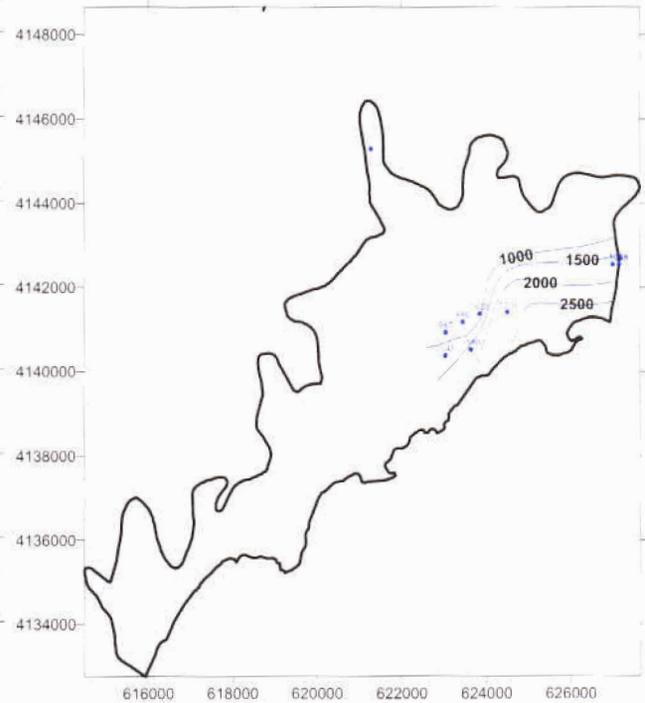
Acuífero Aguilas-Cala Reona

El análisis de los datos químicos correspondientes a la campaña 1989 permite observar que se trata de aguas cloruradas sódicas con contenidos variables en sulfato, calcio y magnesio. Si se prescinde del punto 2540-3-0033 (con una composición y relaciones iónicas ligeramente distintas al resto de puntos considerados) se observa, además, la existencia de un claro enriquecimiento en cloruro y CE en dirección a la línea de costa. Dicho enriquecimiento se observa, por ejemplo, a lo largo de la línea hipotética de flujo representada por los puntos: 2540-7-0031, 2540-7-0033, 2540-7-0030 y 2540-8-0005 entre la Rambla de Cañarete y el Charcón (Figuras 5 y 6). A lo largo de dicha línea se observa como el contenido en cloruros aumenta progresivamente de 732 a 1924 mg/l (febrero-marzo 1989) y de 987 a 2210 mg/l (septiembre 1989), mientras que la conductividad eléctrica también aumenta de 3840 a 7987 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (febrero-marzo 1989) y de 4180 a 8350 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (septiembre 1989). Es importante destacar además el elevado contenido en cloruro y CE (~ 1200 a 1500 mg/l y ~ 5000 a 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$) obtenido en el sector NE muy próximo al límite oriental del acuífero (puntos 2540-4-0001 y 2540-4-0002), situado únicamente a unos 2 km de la línea de costa. En cuanto a las relaciones iónicas, la relación $r\text{Cl}/r\text{Na}$ es muy próxima al agua del mar (a excepción del punto 2540-3-0033) independientemente de la época del año considerada, obteniéndose un rango de valores comprendidos entre 1,01-1,25 (febrero-marzo 1989) y 1,04-1,28 (septiembre 1989). Con respecto al resto de relaciones iónicas, las relaciones $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ (0,43 a 2,28), $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ (4 a 22,34) e icb (-0,05 a 0,21) son inferiores al agua del mar, mientras que la relación $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ (0,3 a 0,94) es claramente superior.

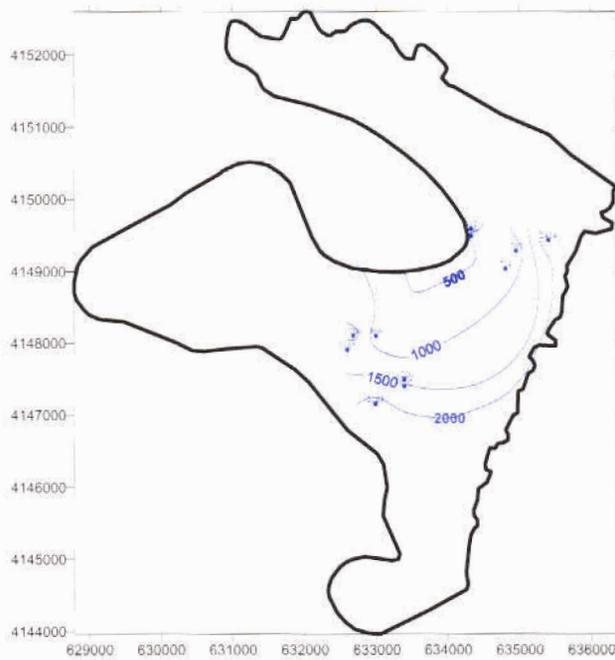
AGUILAS-CALA REONA (FEBRERO-MARZO 1989)



AGUILAS-CALA REONA (SEPTIEMBRE 1989)



COPE-CALA BLANCA (FEBRERO-MARZO 1989)



COPE-CALA BANCA (SEPTIEMBRE 1989)

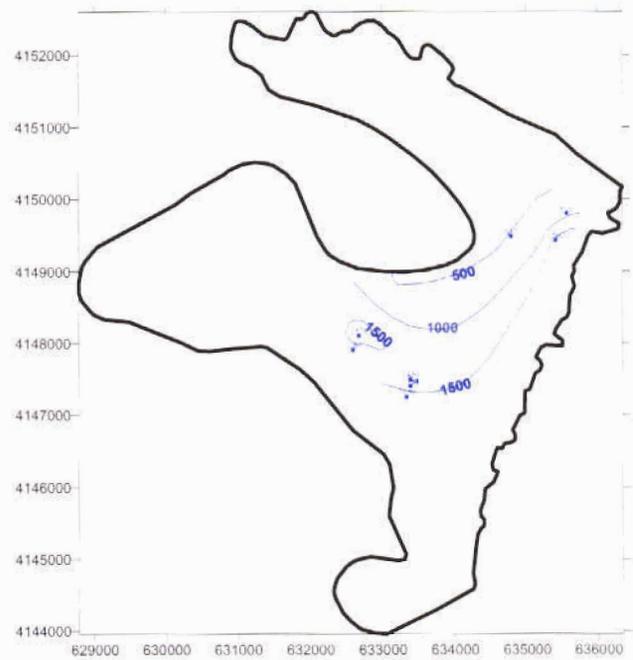
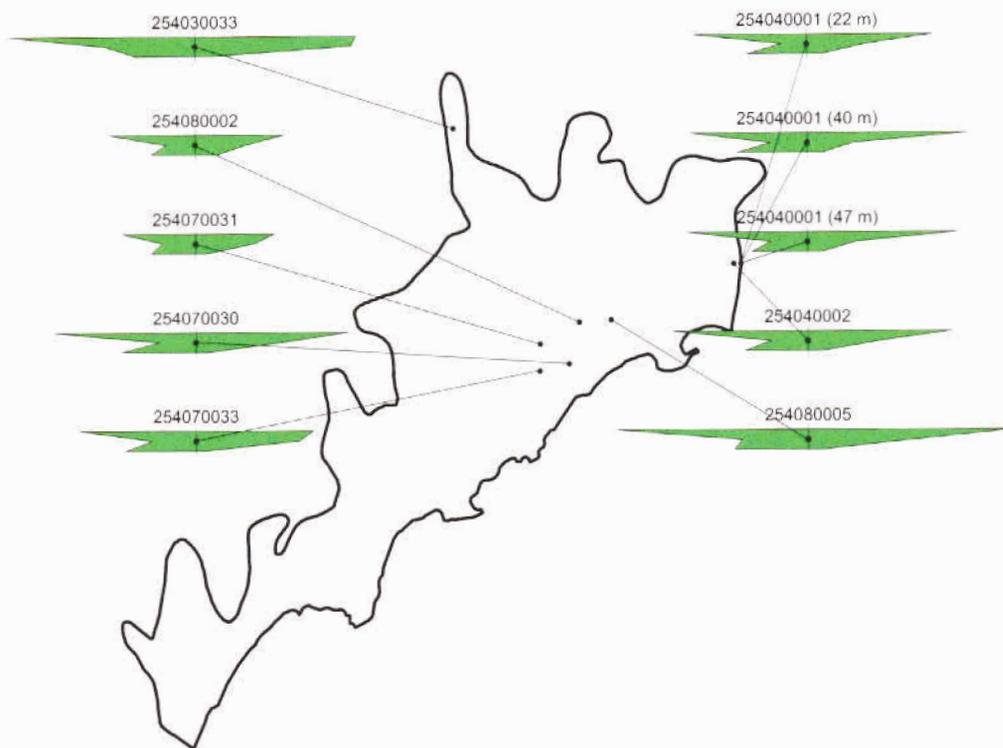


Figura 5.- Mapas de isocloruros tentativos (simplificados) correspondientes a los acuíferos Aguilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca durante febrero-marzo y septiembre de 1989 (ITGE, 1989)

CAMPAÑA FEBRERO-MARZO DE 1989



CAMPAÑA SEPTIEMBRE DE 1989

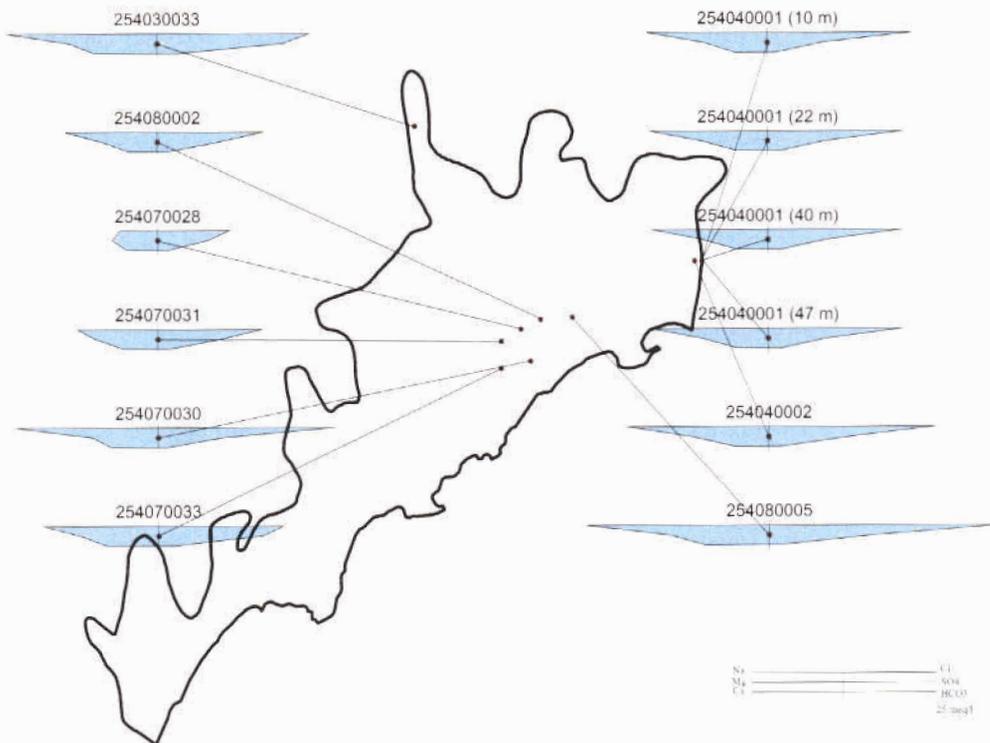


Figura 6.- Diagramas de stiff modificados correspondientes a las campañas de febrero-marzo y septiembre de 1989 en el acuífero Aguilas-Cala Reona

Por otro lado, con objeto de estudiar la evolución química experimentada por el agua durante el periodo 1980-2000 (puntos de la red de control del ITGE) se han representado mediante columnas logarítmicas verticales todos los análisis químicos correspondientes a dicha campaña (puntos de control 2540-7-0028 y 2540-4-0003) (Figura 7). Este tipo de representación permite observar de nuevo una composición clorurada sódica predominante a lo largo del periodo considerado. Sin embargo, se observan también análisis, sobretudo hacia finales de dicho periodo, con un menor contenido en sodio y, fundamentalmente, en cloruro. Si se representa la evolución temporal de los elementos mayoritarios para cada punto de muestreo (Figura 8), se observa un claro paralelismo entre cloruro y sodio, así como una disminución progresiva de dichos elementos a partir de 1995 (a excepción de los análisis realizados en 1998). Por otro lado, la relación rCl/rNa disminuye a partir de esta misma fecha alejándose progresivamente de la del agua marina (Figura 8).

La composición clorurada sódica predominante, la relación rCl/rNa obtenida, así como el claro aumento tanto de los cloruros como de la CE en dirección a la línea de costa, parece poner de manifiesto la existencia de intrusión marina. Sin embargo, el resto de relaciones iónicas no parecen en principio coherentes con dicho proceso. Si se comparan los resultados obtenidos durante febrero-marzo y septiembre de 1989, se observa una clara disminución en el contenido en calcio y bicarbonato así como un ligero aumento en magnesio y cloruro durante el verano. Ello se interpreta como debido a que, durante el verano, la Comunidad de Regantes de Aguilas utiliza menos agua procedente del Alto Guadalentín, cuya composición química es predominantemente bicarbonatada cálcica, lo que podría explicar en parte las bajas relaciones rMg/rCa y $rCl/rHCO_3$ obtenidas con respecto al agua del mar. Por otro lado, los altos valores de la relación rSO_4/rCl podrían relacionarse con la existencia de un proceso de disolución de las evaporitas existentes en el Complejo Alpujárride. Un caso extremo de este último proceso vendría dado por el punto 2540-3-0033 en el que se observa un mayor contenido en sulfato así como una relación rSO_4/rCl muy próxima a 1 independientemente del periodo de muestreo considerado. En este punto, a pesar de los elevados contenidos en cloruro y sodio, se descarta la posible existencia de intrusión marina debido a su menor relación rCl/rNa (0.86 a 0.98) así como, sobretudo, al hecho de encontrarse el fondo de la captación a una cota de + 80 m sobre el nivel del mar. En general, sería conveniente realizar un estudio hidrogeoquímico regional más detallado con objeto de evaluar que parte del cloruro y del sodio procede de la intrusión marina y que parte procede de la posible disolución de evaporitas del Complejo Alpujárride. La disminución progresiva del cloruro y el sodio a partir de 1995 con relaciones rCl/rNa cada vez más alejadas de la del agua del mar, parece indicar una cierta tendencia hacia la recuperación del acuífero. Dicha recuperación sería coherente con la progresiva disminución de la extracción de aguas subterráneas como consecuencia de la llegada del agua procedente del Alto Guadalentín. Este hecho sería la causa tanto de la recuperación de los niveles piezométricos anteriormente comentada, como, probablemente, de la mejora de la calidad química del acuífero resultado de una mezcla con el agua de recarga bicarbonatada cálcica procedente del Alto Guadalentín.

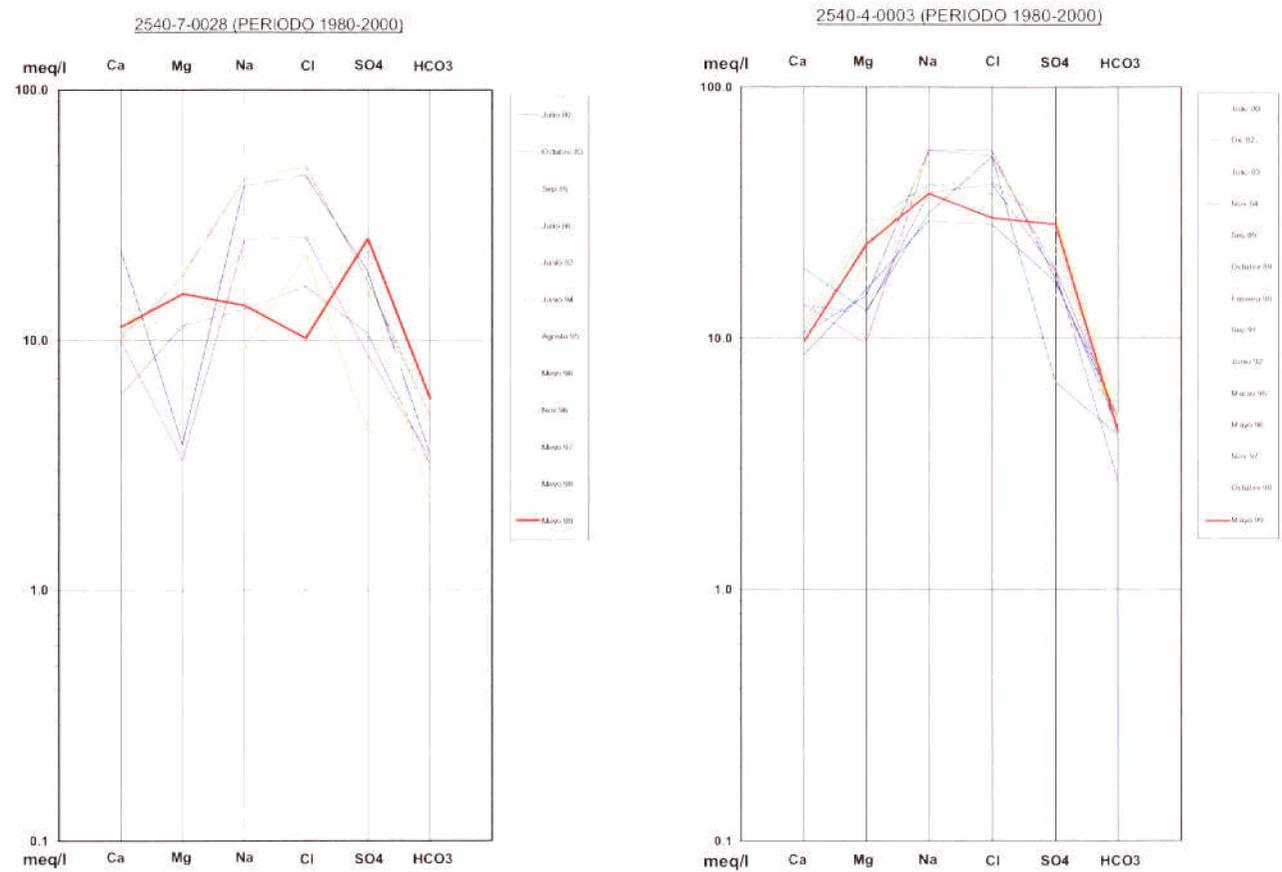


Figura 7.- Columnas logarítmicas verticales correspondientes a la campaña 1980-2000 en el acuífero Aguilas-Cala Reona (puntos de control 2540-7-0028 y 2540-4-0003)

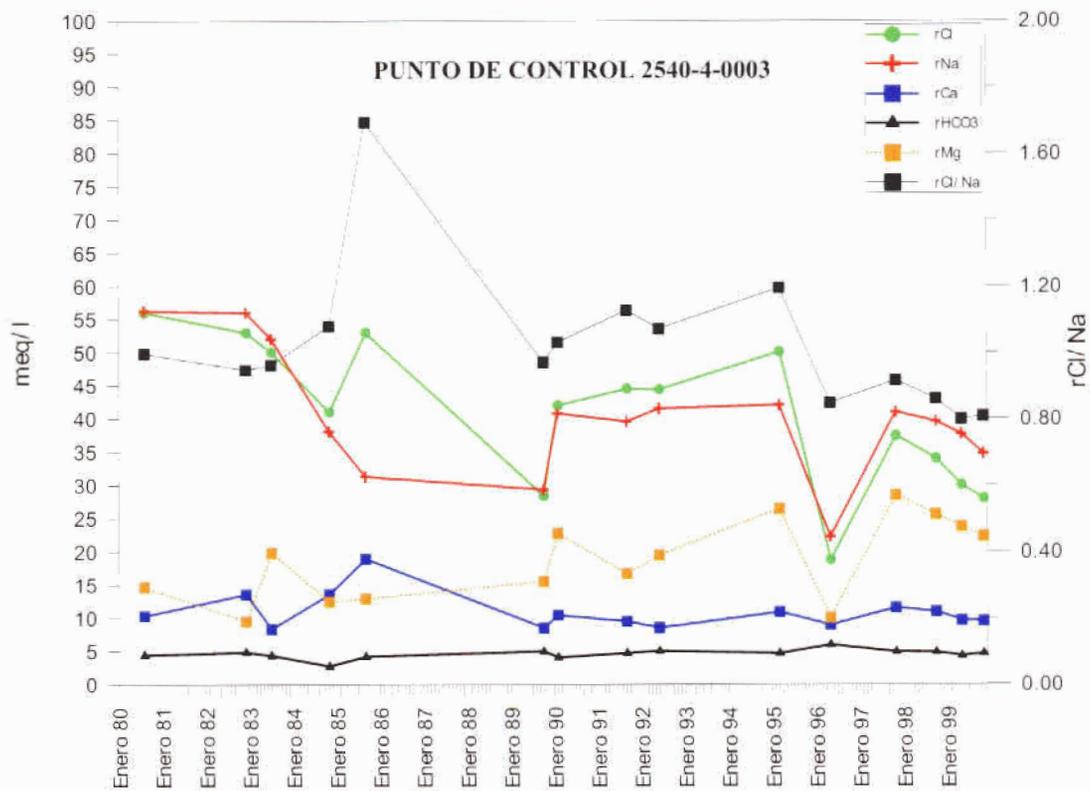
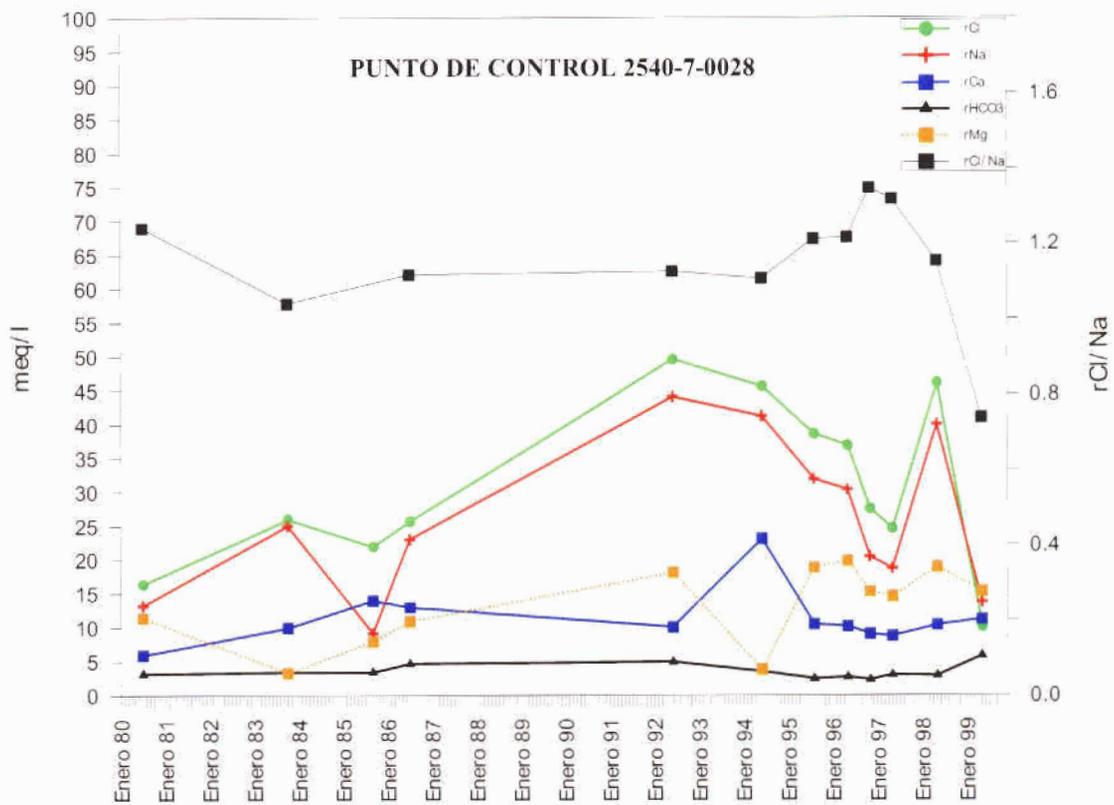


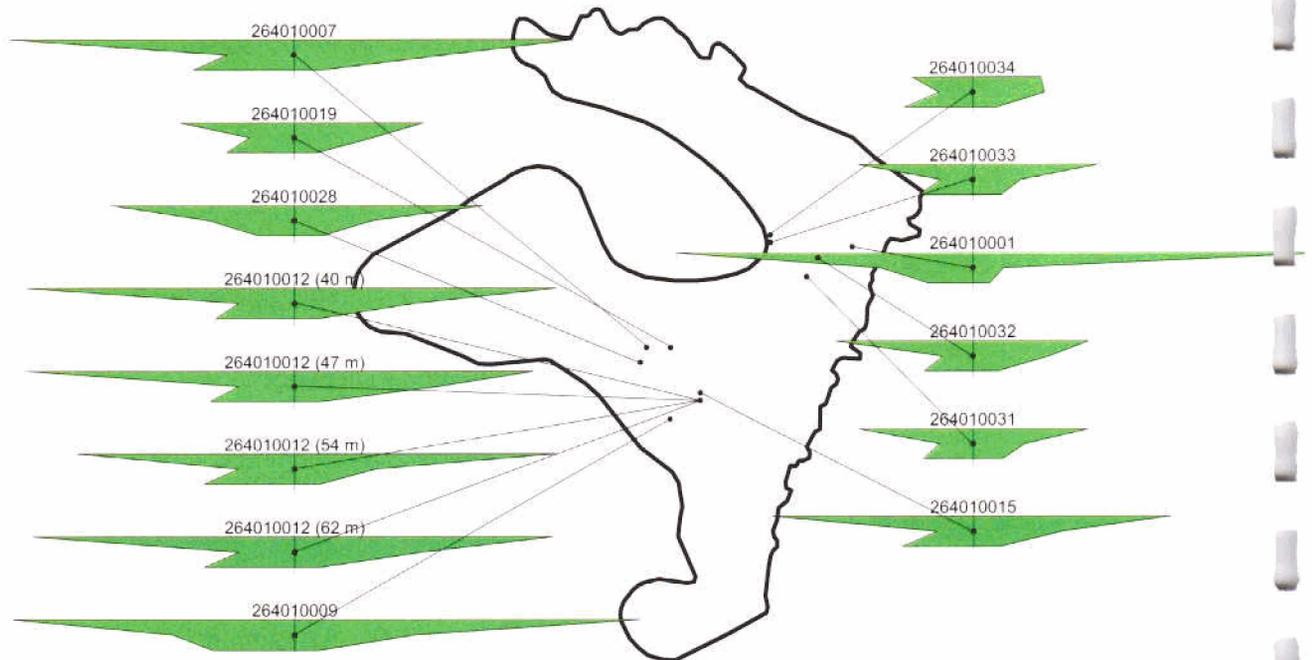
Figura 8.- Evolución temporal de los elementos mayoritarios y rCl/rNa en el punto de control 25400028 (periodo1980-2000)

Acuífero Cope-Cala Blanca

El análisis de los datos químicos correspondientes a la campaña 1989 permite observar que, al igual que en el caso anterior, se trata de aguas cloruradas sódicas con contenidos variables en sulfato, calcio y magnesio. En general, pueden diferenciarse dos sectores con características hidrogeoquímicas diferentes, uno más septentrional, entre las ramblas de la Galera y del Garrobillo, y otro más meridional, entre las ramblas de Elena y de los Pinares. Independientemente de la época de muestreo, el sector septentrional (a excepción del punto 2640-1-0001 situado a unos 350 m de la costa) se caracteriza por presentar un contenido en cloruro menor (entre 412 y 810 mg/L), así como, en general, una menor mineralización (CE entre 2705 y 3600 $\mu\text{S}/\text{cm}$). El sector meridional, por el contrario, se caracteriza por presentar un mayor contenido en cloruro (entre 806 y 2165 mg/L) y una mayor mineralización (CE comprendida entre 3790 y 7645 $\mu\text{S}/\text{cm}$). En ambos sectores se observa además un claro enriquecimiento en cloruro y CE en dirección a la línea de costa, tal y como puede observarse a lo largo de la hipotética línea de flujo representada por los puntos: 2640-1-0019, 2640-1-0012 y 2640-1-0009 (sector meridional) o por los puntos: 2640-1-0034, 2640-1-0032 y 2640-1-0001 (sector septentrional) (Figuras 5 y 9). En el sector meridional, muestras tomadas a diferente profundidad (punto 2640-1-0012) no permiten apreciar un aumento significativo del contenido en cloruro ni de la CE con la profundidad. Con respecto a las relaciones iónicas, las mayores discrepancias obtenidas entre ambos sectores corresponden a la relación $r\text{Mg}/r\text{Ca}$, obteniéndose menores contenidos relativos en calcio (y fundamentalmente en magnesio) en el sector septentrional con respecto al meridional. Es decir, por lo general, la relación $r\text{Mg}/r\text{Ca}$ en el sector septentrional tiende a presentar un valor medio menor (0,76) con respecto al sector meridional (1,56), mucho más próximo a la del agua del mar. La relación $r\text{Cl}/r\text{Na}$ se mantiene muy próxima a la del agua del mar independientemente de la época de muestreo y periodo considerado (valor medio entre 1,07 y 1,17), produciéndose un ligero enriquecimiento en sodio con respecto al agua del mar (sobretudo en el sector meridional). Con respecto al resto de relaciones iónicas, las relaciones $r\text{Cl}/r\text{SO}_4$ (entre 2,22 y 2,39), $r\text{Na}/r\text{SO}_4$ (entre 1,89 y 2,22) y $r\text{Cl}/r\text{HCO}_3$ (entre 4,89 y 10) son claramente inferiores a las del agua de mar, pareciendo poner de manifiesto la existencia de un exceso de sulfato y bicarbonato.

Por otro lado, con objeto de estudiar la evolución química experimentada por el agua durante el periodo 1980-2000 (puntos de la red de control del ITGE) se han representado mediante columnas logarítmicas verticales todos los análisis químicos correspondientes a dicha campaña (Figura 10). Los puntos y periodos de muestreo correspondientes a Cope-Cala Blanca son: 2640-1-0002 (1980-2000), 2640-1-0009 (1985-1995) y 2640-1-0014 (1991-2000). Las columnas logarítmicas verticales obtenidas permite observar dos tipos de agua claramente diferenciadas: 1) cloruradas sódicas (puntos de control 2640-1-0002, 2640-1-0009 y, en parte, 2640-1-0014) y 2) sulfatadas magnésico-cálcicas (punto 2640-1-0014). Si se representa la evolución temporal de los elementos mayoritarios para cada punto de muestreo (Figura 11), se observa un claro paralelismo entre cloruro y el sodio, así como un claro cambio de la composición química en el punto 2640-1-0014 a mediados de 1995 (pasando de una composición clorurada sódica a una sulfatada magnésico-cálcica).

CAMPAÑA FEBRERO-MARZO DE 1989



CAMPAÑA SEPTIEMBRE DE 1989

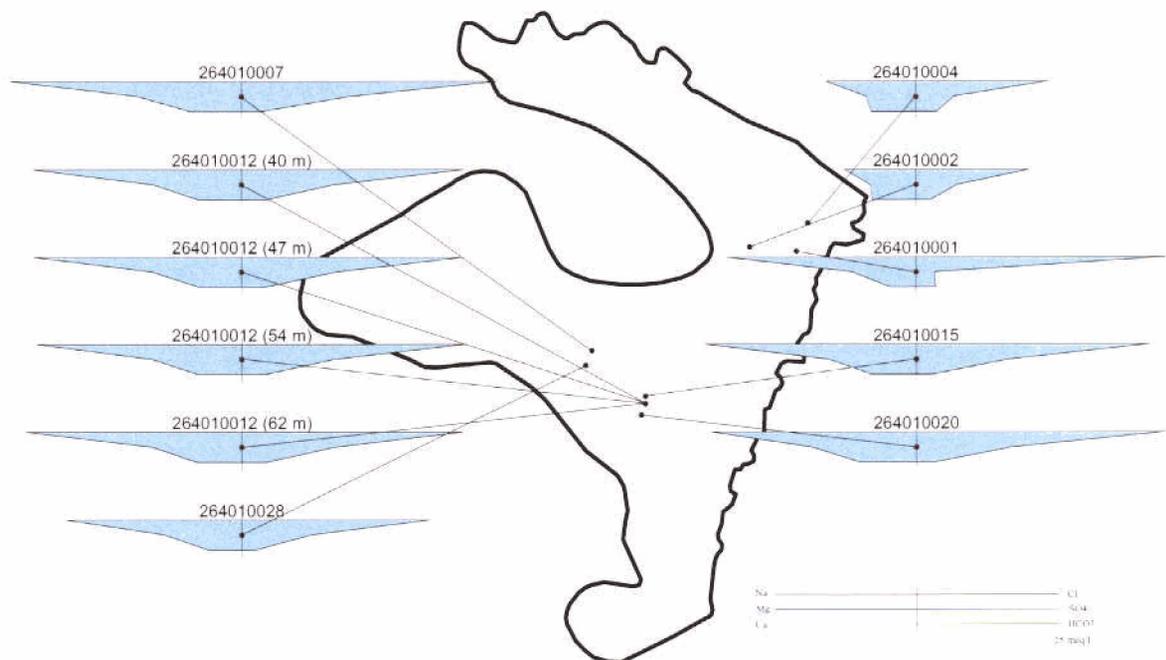


Figura 9.- Diagramas de stiff modificados correspondientes a las campañas de febrero-marzo y septiembre de 1989 en el acuífero Cope-Cala Blanca

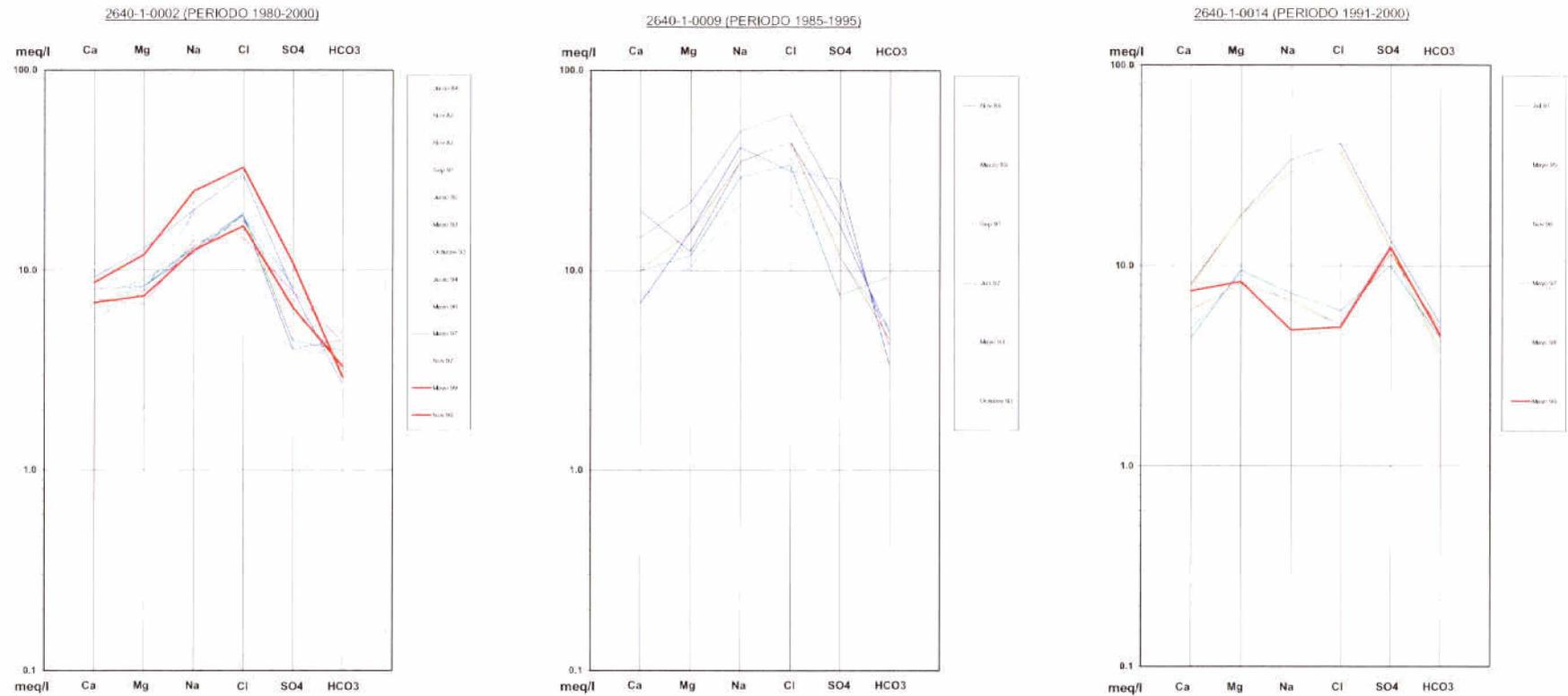


Figura 10. - Columnas logarítmicas verticales correspondientes a la campaña 1980-2000 en el acuífero Cope- Cala Blanca (puntos 2640-1-0002, 2640-1-0009 y 2640-1-0014)

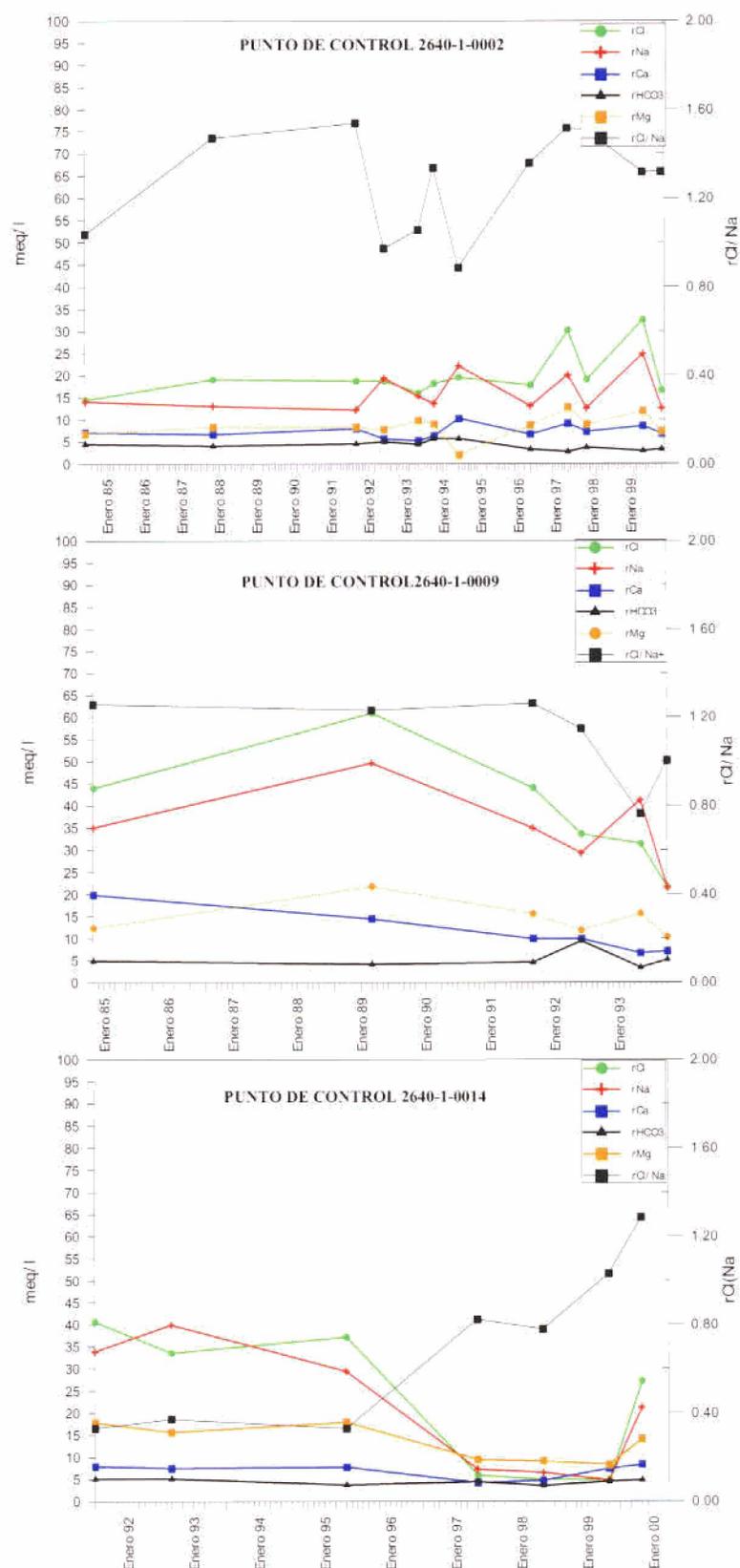


Figura 11. - Evolución temporal de los elementos mayoritarios y rCl/rNa en el punto de control 2640-1-0002, 2640-1-0009 y 2640-1-0014 (periodo1980-2000)

La composición clorurada sódica predominante, la relación rCl/rNa obtenida, así como el claro aumento tanto de los cloruros como de la CE en dirección a la línea de costa, parece poner de manifiesto la existencia de intrusión marina. Dicho proceso, si exceptuamos el punto 2640-1-0001, presenta una mayor importancia en el sector meridional (mayor contenido en cloruros, conductividad eléctrica y rMg/rCa) con respecto al sector septentrional, lo cual resulta coherente con la existencia de un mayor número de captaciones y, por lo tanto, de una mayor explotación. Si se comparan los resultados obtenidos durante febrero-marzo y septiembre de 1989, se observa una disminución en el contenido en calcio y bicarbonato así como un aumento en magnesio y cloruro durante el verano. Una posible explicación sería, al igual que ocurría en Águilas-Cala Reona, que durante el verano se extrae más agua del acuífero y se importa menos agua del Alto Guadalentín, cuya composición química es predominantemente bicarbonatada cálcica. Sin embargo, en este caso dicha interpretación no parece tan clara debido a la compleja situación existente con respecto a la procedencia del agua utilizada para regadíos en esta zona, ya que el aporte de agua procedentes de otras comarcas no se produce de forma regular sino únicamente cuando sobra agua. Los bajos valores de la relación rCl/rSO_4 podrían relacionarse con la existencia de un proceso de disolución de las evaporitas existentes en el Complejo Alpujárride. Con respecto al claro cambio de la composición química en el punto 2640-1-0014 a mediados de 1995 (pasando de una composición clorurada sódica a una sulfatada magnésico-cálcica), dado que la profundidad del punto 2640-1-0014 (130 m) es superior a la del punto 2640-1-0009 (76 m), y a falta de más información, los resultados obtenidos parecen indicar una tendencia hacia la recuperación del acuífero en su sector meridional (seguramente relacionada con una disminución de la explotación como consecuencia del agua de riego procedente del exterior). Este hecho sería la causa tanto de la recuperación de los niveles piezométricos, como, probablemente, de la mejora de la calidad química del acuífero resultado de una mezcla con el agua de recarga procedente del exterior. No obstante, es importante destacar el reciente incremento en cloruro y sodio obtenido en el último de los análisis realizados (9/11/2000) lo que podría indicar el inicio de un nuevo proceso de intrusión. En el sector septentrional, representado por el punto 2640-1-0002, se mantiene la caracterización realizada para 1989 aunque observándose también un aumento de la mineralización (fundamentalmente cloruro y sodio) en los análisis realizados en mayo de 1997 y 1999.

4.2.6. Estado actual de la intrusión, evolución previsible y posibles actuaciones

El análisis preliminar realizado pone de manifiesto la no existencia de suficientes puntos de control en la actualidad como para conocer más adecuadamente el estado de la intrusión marina en los acuíferos Águilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca. No obstante, los escasos datos disponibles parecen indicar una tendencia hacia la recuperación de los niveles así como hacia una cierta estabilización o disminución en la salinidad del agua subterránea. Dicha tendencia resulta coherente con la disminución en la explotación experimentada como consecuencia de la importación de aguas procedentes del exterior. Por tanto, de mantenerse las condiciones actuales, el proceso de intrusión marina tenderá a estabilizarse. Sin embargo, dado que los datos disponibles parecen reflejar que en el pasado estos acuíferos han estado afectados por un proceso de intrusión mucho más acusado, se considera que cualquier ligero aumento desordenado de la explotación podría provocar un nuevo avance de la intrusión con el consecuente aumento de la salinización, sobre todo en aquellas zonas en las que tradicionalmente ha existido una mayor explotación (como por ejemplo en el sector meridional del acuífero Cope-Cala Blanca). Es por ello que sería recomendable la realización de campañas de muestreo y estudios hidrogeoquímicos e isotópicos complementarios

orientados a conocer más detalladamente el origen de la salinización, intentando discernir entre la salinidad debida a la disolución de halita presente en los materiales del Keuper y la producida por intrusión marina. Dichos estudios facilitarían el diseño y establecimiento de una red de observación más adecuada con objeto de realizar un control y seguimiento de la intrusión, permitiendo conocer el estado cuantitativo y químico de las masas de agua subterránea implicadas y realizar una gestión coherente en cada momento con el estado y evolución de la intrusión.

5. CUENCA DEL JUCAR

5.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.10 PLANA DE VINARÓZ-PEÑÍSCOLA

5.1.1. Descripción hidrogeológica

La Plana de Vinaroz-Peñíscola constituye una llanura de derrame fluviotorrencial generada en clima árido, en la que se diferencian tres niveles: formación detrítica superior, formación margoarcillosa intermedia y sustrato calizo profundo.

La formación superior, de edad miocuaternaria, constituye un acuífero formado por arenas, gravas y conglomerados con algo de arcillas. Su potencia varía de 0 a unos 125 m aumentando desde los bordes interiores hacia la costa. La formación intermedia está constituida por un paquete fundamentalmente margoarcilloso de edad miocena que separa los acuíferos superior e inferior, comportándose como acuitardo-acuicludo, y con un espesor de 0 a 250 m desde el interior a la costa. Bajo ella se sitúa el acuífero calizo mesozoico de edad probablemente jurásica al sur de la Plana y cretácica al norte.

Los límites hidrogeológicos del acuífero mio-cuaternario están definidos al norte por las calizas cretácicas de la Sierra de Montsía, que lo alimentan lateralmente. Por el sur la formación arcillosa miocena lo aísla de los macizos carbonatados de las Sierras de Irta y Valdancha. Al oeste, entre Calig y Alcanar tiene límite abierto con la Plana de Cenia-Tortosa. El límite oriental es abierto, permitiendo la conexión hidráulica con el mar. El acuífero inferior calizo presenta límites cerrados al norte y sur, recibiendo una aportación lateral importante a través del límite occidental.

El flujo subterráneo transcurre en general en sentido NO-SE, aunque en los sectores de Vinaroz y Benicarló se invierte el sentido debido a la intensa explotación de los recursos, con entradas de agua de mar. La alimentación del acuífero superior, según balance medio estimado para el período 1948-83, procede en su mayor parte de la infiltración por retorno de riego ($23,5 \text{ hm}^3/\text{año}$), infiltración de lluvia ($12,5 \text{ hm}^3/\text{año}$) y alimentación lateral ($12 \text{ hm}^3/\text{año}$). Las salidas se producen por bombeos ($37 \text{ hm}^3/\text{año}$), descarga al mar ($7 \text{ hm}^3/\text{año}$), y alimentación diferida al acuífero inferior ($4 \text{ hm}^3/\text{año}$).

El acuífero calizo inferior se recarga fundamentalmente mediante alimentación lateral ($28 \text{ hm}^3/\text{año}$), y en menor medida por infiltración de lluvia ($3 \text{ hm}^3/\text{año}$) y alimentación diferida del acuífero detrítico suprayacente ($4 \text{ hm}^3/\text{año}$).

En cuanto a los parámetros hidrogeológicos característicos del acuífero detrítico superior, se observan transmisividades entre 250 y $1200 \text{ m}^2/\text{día}$ y coeficientes de almacenamiento del 5 al 15 %. El acuífero inferior presenta transmisividades de $4.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en las calizas jurásicas, $2.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en las calizas aptienses y $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en las calizas del cretácico superior. El coeficiente de almacenamiento, propio de acuíferos confinados, se estima del orden de 10^{-3} .

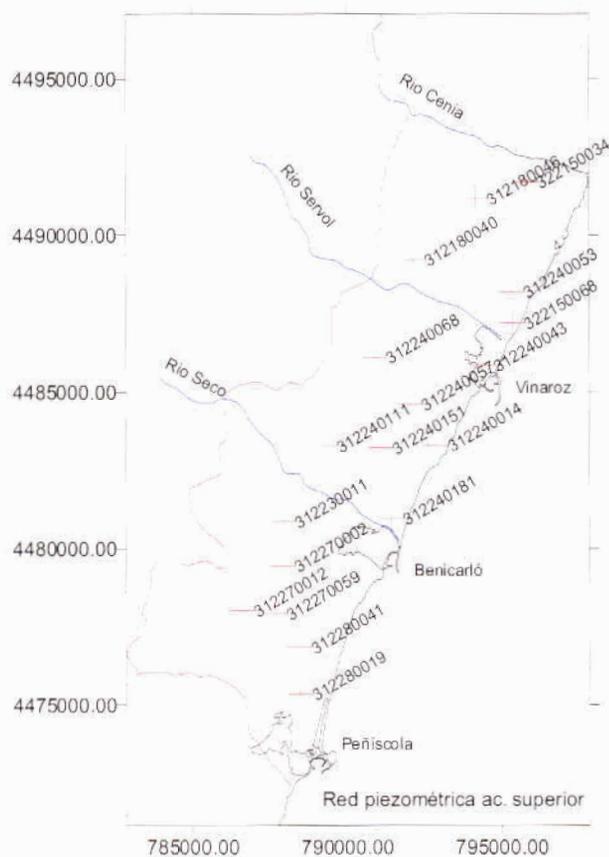
5.1.2. Análisis de la piezometría y su evolución.

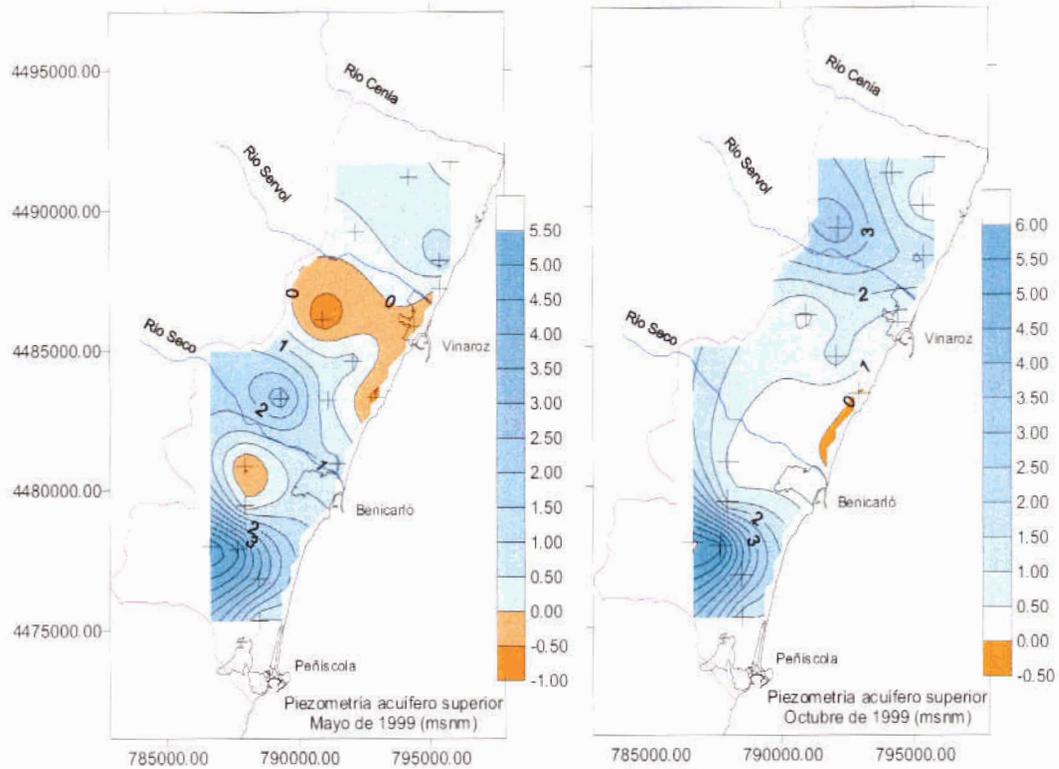
En el mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1999 se observan sendas de depresiones piezométricas al oeste de las localidades de Vinaroz y Benicarló con cotas por debajo del nivel del mar, entre 0 y -1 m, que se extiende en el caso de Vinaroz hacia el sur de esta ciudad. Se trata de unas zonas de intensa explotación de los recursos subterráneos para usos fundamentalmente agrícolas. La piezometría se recupera estacionalmente según se observa en el mapa correspondiente a octubre de 1999, si bien se mantiene una ligera depresión residual entre las localidades citadas, próxima a la línea de costa. Esta explotación provoca el desarrollo de una intrusión marina sostenida en las áreas costeras próximas a ambas ciudades, como se refleja en los siguientes apartados.

Red de piezometría

Red de piezometría.	Cota (msnm)	Profundidad (m)
31218004	52.11	120
31218004	41.83	60
31223001	30.01	35
31224001	9.07	11.5
31224004	16.04	26
31224005	17.09	24
31224005	24.65	26
31224006	40	105
31224011	42	120

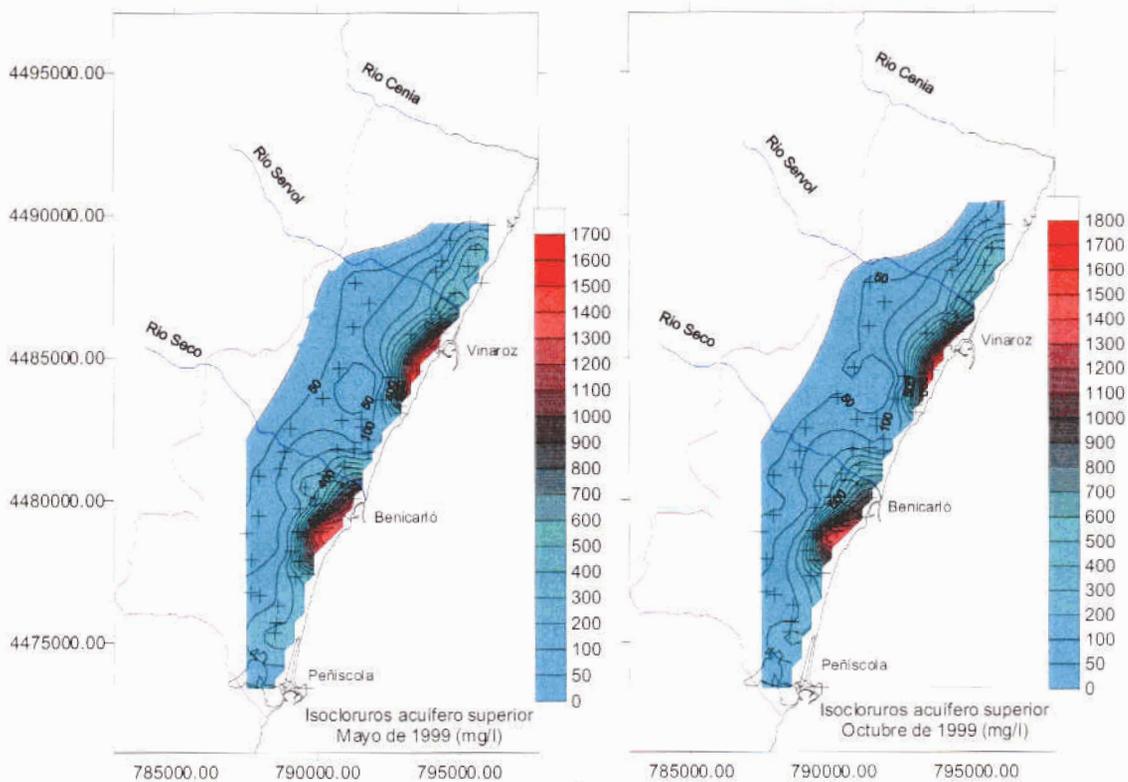
Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
31224015	26.66	40
31224018	11.68	15
31227000	19.91	23
31227001	34.35	36
31227005	29.04	60
31228001	9.46	30
31228004	14	14.5
32215003	38.16	42
32215006	27.42	30



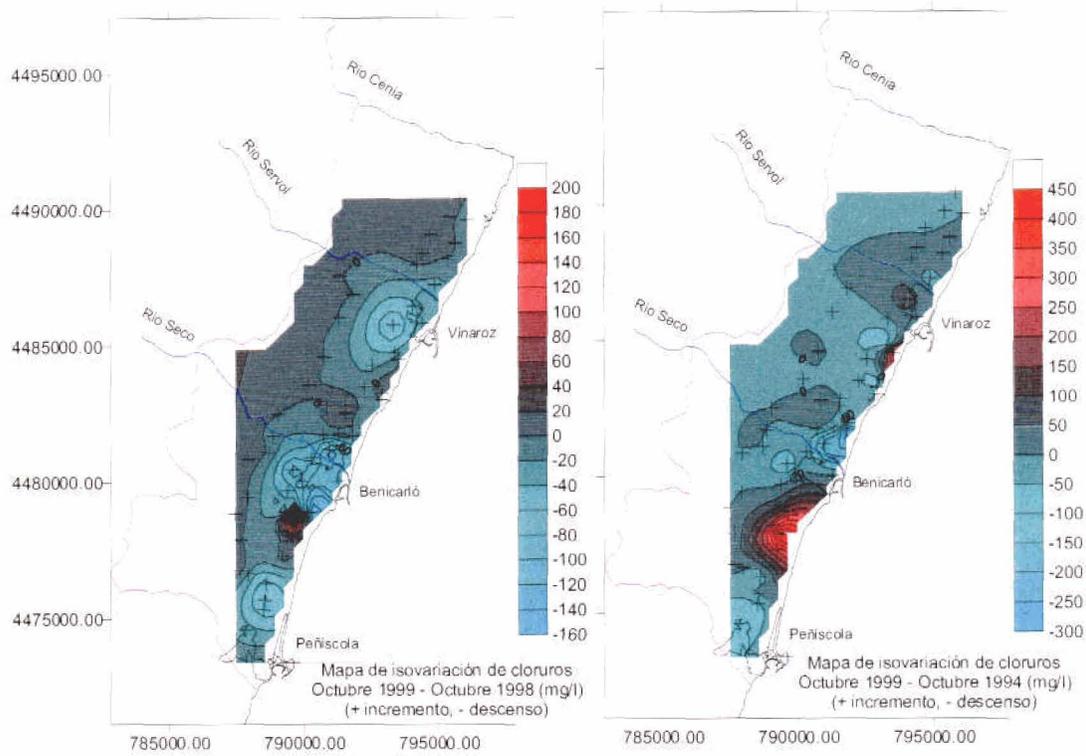


5.1.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Como consecuencia de la intensa explotación de las aguas subterráneas para uso agrícola en el entorno de las localidades de Vinaroz y Benicarló se observan en estas dos franjas costeras unos altos contenidos en cloruros procedentes de la intrusión de agua marina en el acuífero,



que se mantienen a lo largo de todo el año. Los mapas de isocloruros de mayo y octubre de 1999 correspondientes a las redes del ITGE, muestran concentraciones de cloruros que superan los 1600 mg/l al sur de Vinaroz y los 1300 mg/l al sur de Benicarló.

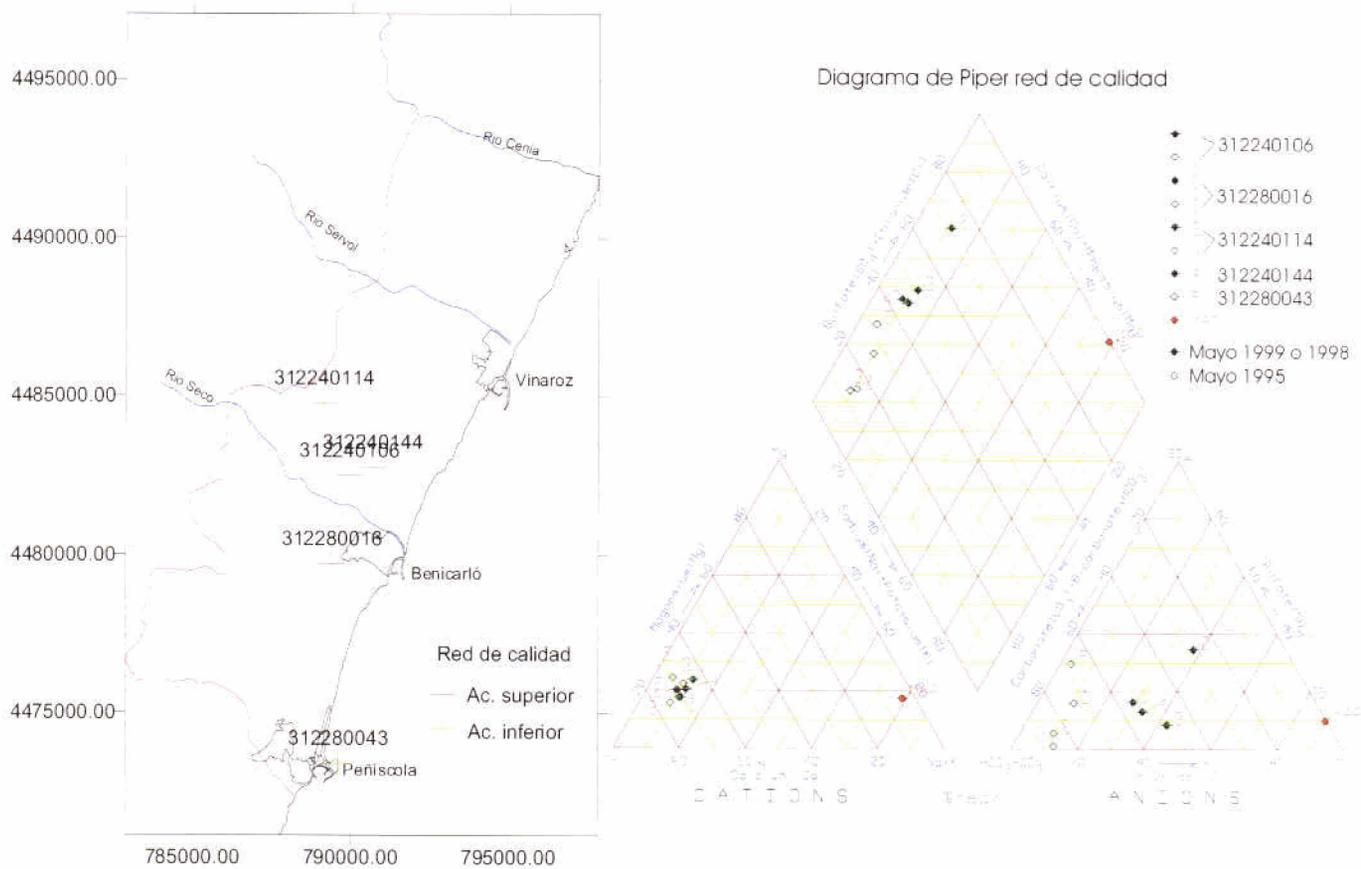


Se aprecia un ligero empeoramiento a corto plazo (1 año) en cuanto a contenido en cloruros en gran parte del acuífero, mientras que a medio plazo (5 años) se observa que el incremento de la salinización ha sido bastante acusado en las dos zonas antes citadas (sur de Vinaroz y Benicarló). Al sur de Benicarló, el aumento acumulado de la concentración de cloruros respecto a 1994 asciende en algún punto hasta 450 mg/l, y hasta 250 mg/l en las proximidades de Vinaroz. Con ello se deduce que la intrusión marina no sólo se mantiene sino que progresa con intensidad en estas áreas.

5.1.4. Caracterización de facies hidroquímicas.

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado los datos relativos a los puntos de la red de calidad disponibles para los años 1995 y 1999. Dos de estos puntos corresponden al acuífero inferior y tres al superior, pero sólo de dos de los puntos del acuífero superior y de uno del inferior se tienen datos para ambos años. El punto 312240114, correspondiente al acuífero inferior, presentaba una facies bicarbonatada cálcica en 1995 evolucionando hacia bicarbonatada-clorurada cálcica en 1998, como síntoma evidente de la mezcla progresiva del agua del acuífero con agua de mar, con un porcentaje creciente de ésta. En el punto 312280016 característico del acuífero superior en el entorno de Benicarló, se observaba en 1995 una facies bicarbonatada cálcica, que en 1999 pasó a clorurada-sulfatada cálcica, de lo que se deduce que se encuentra en fase de avance de la intrusión marina, con influencia además de la contaminación de origen agrícola que produce un aporte adicional de sulfatos

procedentes de los abonos. El punto 312240106, también del acuífero superior pero al norte de Benicarló y más al interior, también presentaba en 1995 facies bicarbonatada cálcica, evolucionando en menor medida hacia bicarbonatada-clorurada cálcica debido a una menor afección de la intrusión en este sector.



5.1.5. Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del ITGE controlados en 1995 y 1999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
312240106	0.954	0.432	0.330	0.286	6.784	1.941	1.476	0.576	0.592	1.41
312280016	1.150	0.453	0.247	0.250	8.416	0.747	0.549	0.924	0.113	3.357
312240144	--	0.622	--	0.302	--	1.643	--	0.397	--	1.467
312240114	1.092	0.563	0.210	0.370	7.118	1.151	0.092	0.198	0.677	1.467
312280043	1.799	--	0.350	--	21.243	--	9.361	--	0.169	--
Agua de mar (2)	0.837	--	4.354	--	0.005	--	0.111	--	613.29	--

(1) r=meq/l ; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970.

Del análisis de la relación rNa/rCl en 1995 se observa que en los cuatro puntos muestreados, correspondientes a los acuíferos superior e inferior, presentaban valores superiores al del agua del mar junto con bajos contenidos en cloruros, que indicaban la ausencia de intrusión marina. Sin embargo en 1999 se observa un ligero incremento general del contenido en cloruros acompañado de una disminución del índice rNa/rCl lo que indica un incipiente efecto de la intrusión marina en fase de avance. El caso del punto 312280006, en el sector suroeste de Benicarló, es el más acusado con un mayor incremento del índice de cloruros. En este punto el aumento de la relación rSO_4/rCl alejándose del valor correspondiente al mar, puede indicar un aporte adicional de sulfatos por efecto de la contaminación por abonos agrícolas.

La relación $rHCO_3/rCl$ muestra la misma tendencia generalizada a una ligera salinización.

5.1.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero.

A partir de los tres puntos de la red de calidad que se controlan actualmente, correspondientes al sector central del acuífero superior, se observan en esta zona aguas de calidad general mala con altos contenidos en nitratos (entre 115 y 320 mg/l en mayo de 1999) como consecuencia del uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. Esta contaminación de origen agrícola debe extenderse probablemente a gran parte del acuífero, puesto que las prácticas son similares en toda su superficie. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, en el entorno de las localidades de Vinaroz y Benicarló. Se observan en estas dos franjas costeras unos altos contenidos en cloruros que se mantienen a lo largo de todo el año, superando en mayo y octubre de 1999 los 1600 mg/l al sur de Vinaroz y los 1300 mg/l al sur de Benicarló.

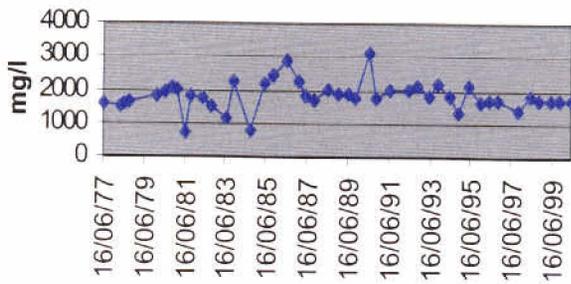
En el resto del acuífero no se aprecia actualmente afección por la intrusión marina. En el estudio de la evolución de cloruros desde octubre de 1994 hasta octubre de 1999 se aprecia un incremento del contenido en este parámetro en los sectores antes citados, con incrementos acumulados de hasta 450 mg/l al sur de Benicarló y 250 mg/l al sur de Vinaroz.

El análisis de las relaciones iónicas permite apreciar un ligero incremento de la salinización en el sector central, más acusado cuanto más próximo a la zona sur de Benicarló, no disponiendo de puntos de control en el resto del acuífero que permitan un análisis más detallado.

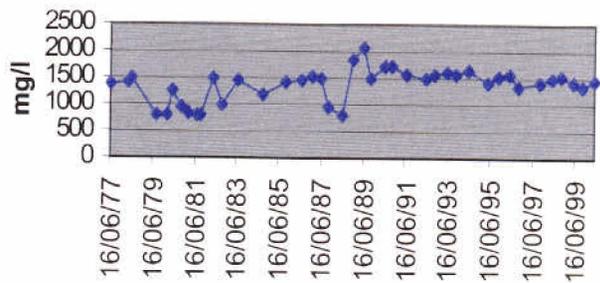
5.1.7. Evolución previsible y posibles actuaciones.

Del análisis de los gráficos de evolución de cloruros se aprecia que el grado de salinización en los dos sectores más afectados (Benicarló y Vinaroz), parece haberse estabilizado desde principios de los años 90, manteniendo los valores que ya se alcanzaban a finales de los 70. Al norte de Vinaroz (312240005) también se observa esta estabilización pero con valores por debajo de los 200 mg/l de Cl, representando una recuperación respecto a los años 70 cuando se superaban los 400 mg/l.

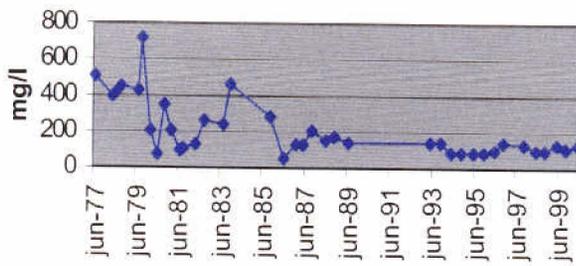
Evolución CI. 312240019



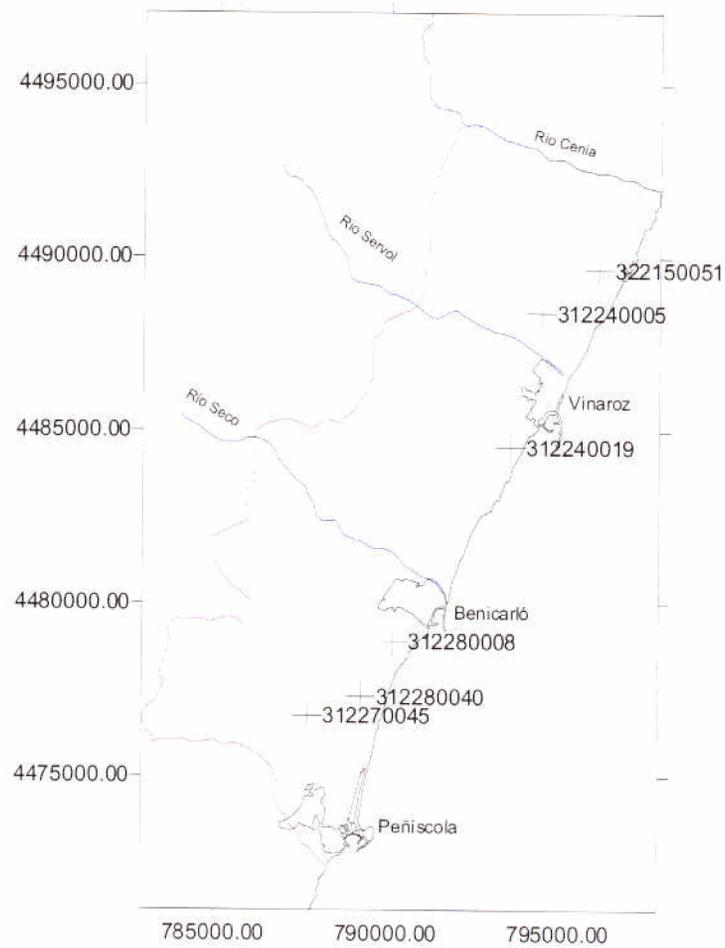
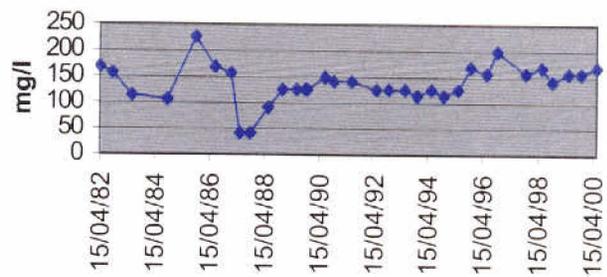
Evolución CI. 312280008



Evolución CI. 312240005



Evolución CI. 312270045



Se aprecia un incremento importante de los contenidos en nitratos en el sector central, que probablemente tenga lugar también en el resto del acuífero como consecuencia de las prácticas agrícolas con uso abusivo de abonos.

Para evitar un mayor avance de la intrusión e incluso conseguir una recuperación progresiva de las zonas del acuífero afectadas sería necesaria una redistribución de las captaciones de agua subterránea para uso agrícola hacia zonas con menor aprovechamiento, y la reducción de las extracciones en los sectores más explotados.

Sería útil además optimizar la ubicación de los puntos de control de la red de calidad, con sustitución de algún punto de la zona central por otros al norte y sur del acuífero, así como la inclusión de algún punto representativo del acuífero inferior. Los efectos de la redistribución de las extracciones pueden ser simulados previamente mediante un modelo matemático de flujo y transporte, con objeto de determinar los emplazamientos idóneos para las nuevas captaciones y sus efectos en la evolución de la calidad del agua en el acuífero.

5.2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.11 PLANA DE OROPESA-TORREBLANCA

5.2.1. Descripción hidrogeológica

La Plana de Oropesa-Torreblanca es una llanura de derrame fluviotorrencial de origen árido que se extiende paralela al litoral en dirección NE-SO, con una longitud de 21 km y una anchura variable entre 2'5 y 6 km. Se pueden diferenciar una llanura costera sensiblemente horizontal y una rampa de erosión hacia los bordes de los macizos calcáreos circundantes.

Como acuífero de la Plana de Oropesa se considera la formación de edad pliocuaternaria constituida por conglomerados brechoides, heterogéneos y heterométricos, alternantes con lentejones de arenas gruesas, limos y arcillas, sobre los que se encuentran depósitos recientes como conos de deyección, coluviones, aluviones, dunas costeras, depósitos de marjal y turberas, éstos últimos muy desarrollados en la zona de Torrenosta. El espesor del acuífero crece hacia la costa hasta un máximo de unos 85 m en las desembocaduras de los ríos San Miguel y Chinchilla.

El impermeable de base lo constituyen las margas y arcillas del Mioceno, que incluyen alguna intercalación conglomerática y de calizas. Los límites hidrogeológicos del acuífero pliocuaternario están definidos al norte por los afloramientos calizos cretácico-jurásicos de la Sierra de Irtá. El límite occidental está constituido por calizas masivas gargasienses y aptienses en conexión hidráulica con el pliocuaternario, excepto en las inmediaciones del barranco de Chinchilla y río San Miguel donde aflora el impermeable mioceno de base. Por el sur limita con las calizas cretácicas de la Sierra de Oropesa. El límite oriental es abierto, permitiendo la conexión hidráulica con el mar.

El flujo subterráneo transcurre en general en sentido NO-SE, aunque en los sectores del barranco de Chinchilla y este de Torreblanca se invierte el sentido debido a la intensa explotación de los recursos, provocando la entrada de agua de mar. La alimentación del acuífero detrítico, según balance medio estimado para el período 1948-83, procede en su mayor parte de la infiltración por retorno de riego (12'7 hm³/año), infiltración de lluvia (7 hm³/año) y alimentación lateral de los acuíferos calizos de borde (4'3 hm³/año). Las salidas se producen por bombeos (18'6 hm³/año), descarga al mar (3'9 hm³/año), y surgencias (1'5 hm³/año).

Las transmisividades observadas en el acuífero pliocuaternario varían entre 100 y 2500 m²/día y los coeficientes de almacenamiento entre el 2 y el 12 %.

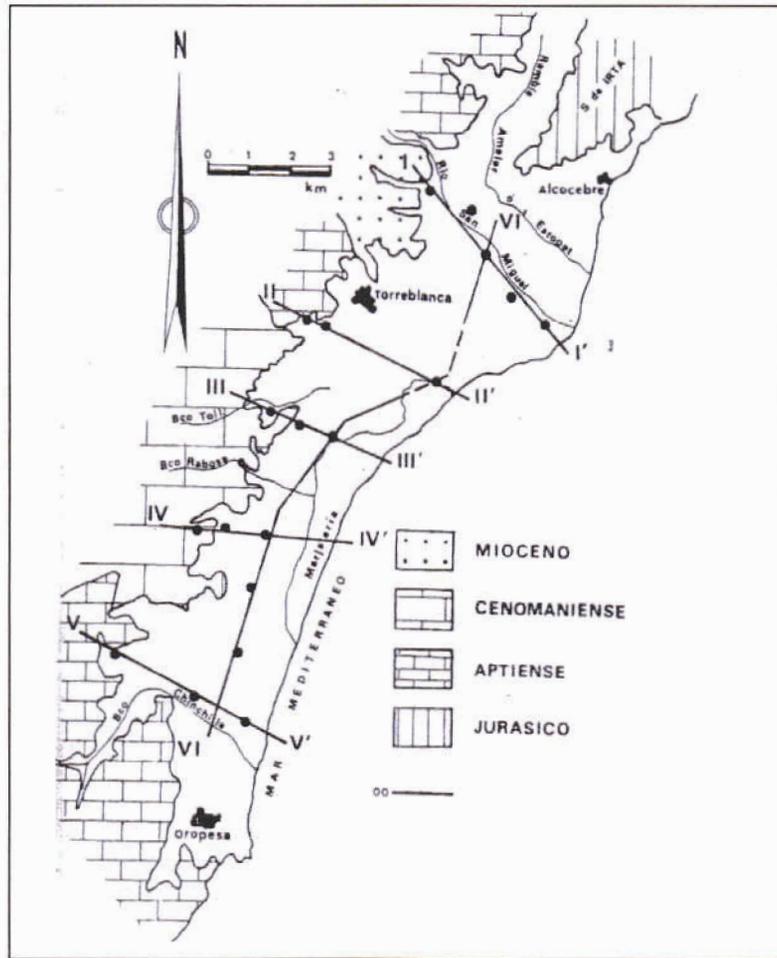


Figura 1.- Mapa geológico de la Plana de Oropesa-Torreblanca (según Morell, 1989).

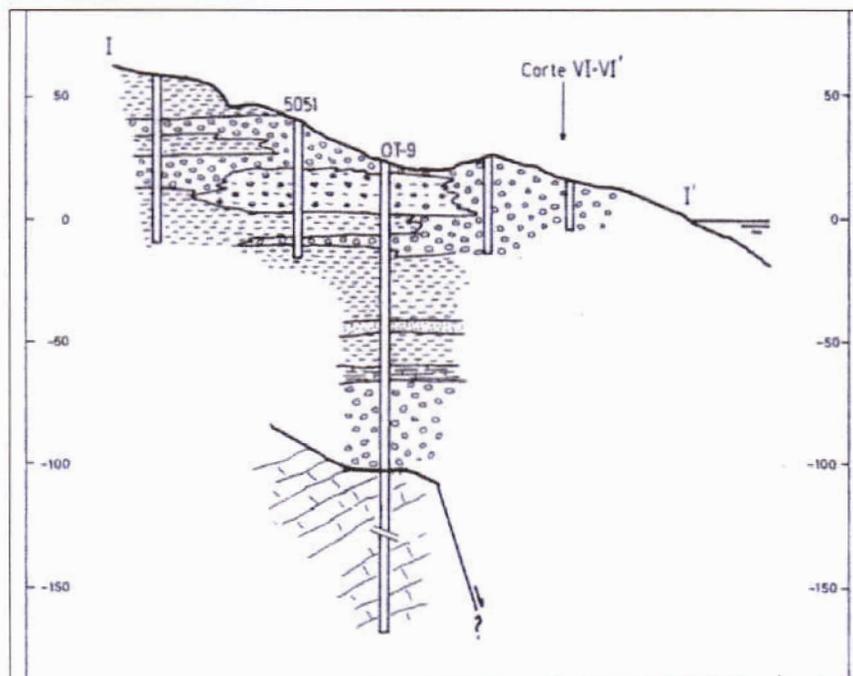


Figura 2.- Corte geológico (según Morell, 1989).

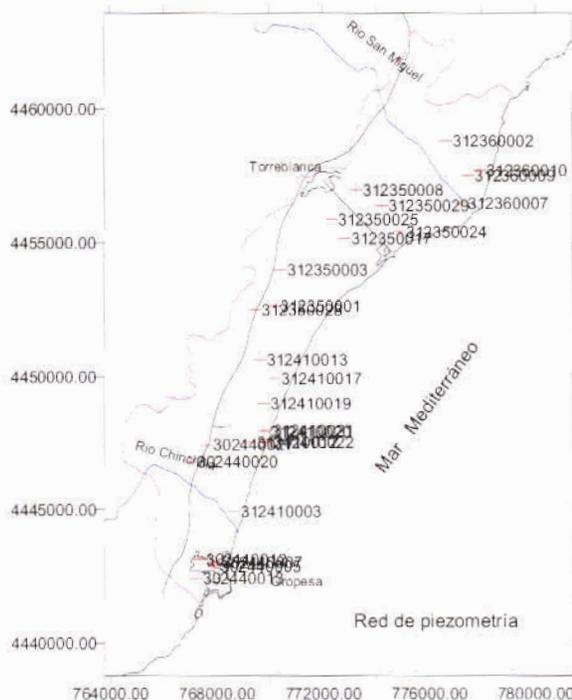
5.2.2. Análisis de la piezometría y su evolución

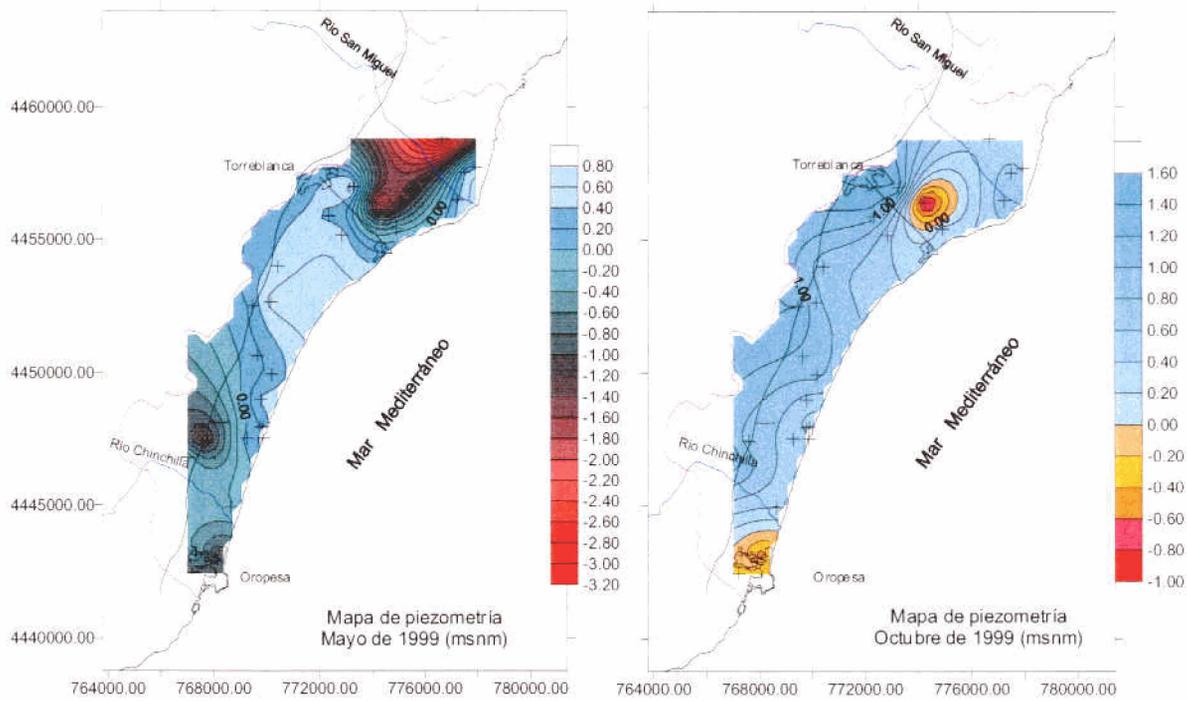
En el mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1999 se observan tres depresiones piezométricas, una más acusada al este de Torreblanca que alcanza los 3 mbnm, y otras dos en el entorno del barranco de Chinchilla y de Oropesa con niveles de hasta -1 m. Las dos primeras son zonas de intensa explotación de los recursos hídricos subterráneos para usos fundamentalmente agrícolas, mientras que en el entorno de Oropesa la explotación es escasa y la depresión puede estar relacionada con la escasez de la alimentación lateral procedente de la Sierra de Oropesa. La piezometría experimenta una recuperación estacional según se observa en el mapa correspondiente a octubre de 1999, si bien se mantienen dos depresiones residuales junto a las localidades citadas, con niveles entre 0'5 y 1 m por debajo del nivel del mar.

Red de piezometría

Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
30244000	4.34	8
30244000	4.6	9
30244001	6.79	11
30244001	18.51	30
30244002	33.79	51.2
30244002	33.71	38
31235000	2.09	250
31235000	17.82	160
31235000	25.86	41.6
31235001	4.73	12.25
31235002	7.21	18.5
31235002	4.84	50.5
31235002	28.64	35.8

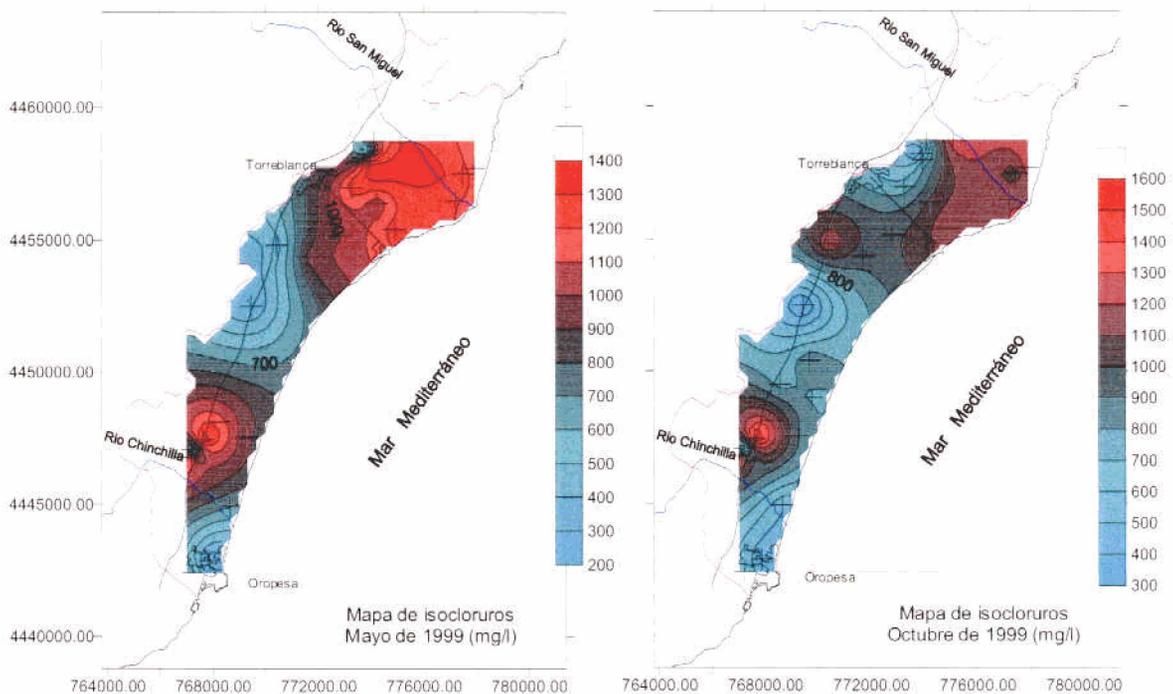
Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
31235002	15.4	20
31236000	24.48	36.5
31236000	12.9	15.85
31236000	9.68	10.5
31236001	9.01	12.35
31241000	9.68	11.1
31241001	7.61	31.6
31241001	15.12	177
31241001	3.76	6.15
31241001	2.17	4.15
31241002	2.05	5.5
31241002	2.15	4.5
31241002	1.99	3.5



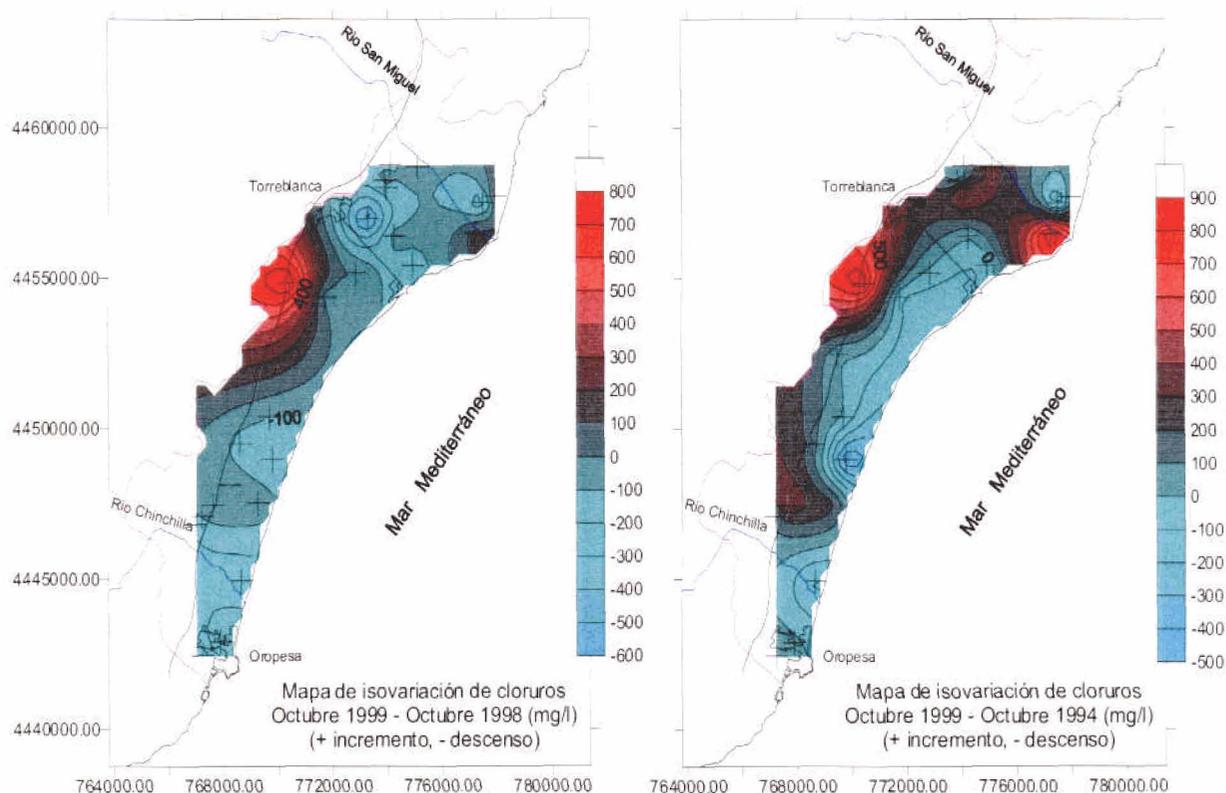


5.2.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El mapa de isocloruros correspondiente a mayo de 1999 revela que en la práctica totalidad del acuífero se superaban los 300 mg/l, con una amplia zona en la mitad norte y en las proximidades del barranco de Chinchilla donde se superaban los 1000 mg/l, alcanzando máximos por encima de los 1300 mg/l. En octubre de 1999 se mantiene la salinización generalizada en todo el acuífero, si bien se suavizan los máximos en la mitad norte hasta algo más de 1200 mg/l y se incrementan en la mitad sur hasta casi los 1600 mg/l.



Se aprecia una ligera mejoría a corto plazo (1 año) en el contenido en cloruros en gran parte del acuífero, excepto en el sector central al sur de Torreblanca donde se llega a incrementar en más de 600 mg/l. Por otra parte a medio plazo (5 años) se observa que el incremento de la salinización se extiende por casi todo el acuífero, acumulando ascensos máximos por encima de los 800 mg/l al sur de Torreblanca y en la desembocadura del río San Miguel. Con ello se deduce que la intrusión marina no sólo se mantiene sino que progresa de forma persistente en casi todo el acuífero, mediante el ascenso de la zona de mezcla agua dulce-salada en las zonas interiores más explotadas, y el avance de esta interfase desde la costa, sobre todo en la desembocadura del río San Miguel.



5.2.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado los datos relativos a los tres puntos de la red de calidad disponibles para los años 1995 y 1999. Los puntos 312350013 y 312410024, correspondientes al sector central del acuífero, presentaban una facies clorurada cálcico-sódica en 1995, mientras que en el 302440013, junto a la localidad de Oropesa, la facies era clorurada sódica. En 1999 las facies se mantienen en estas zonas acentuándose el porcentaje de cloruros en todas ellas. Parece evidente por tanto la mezcla progresiva del agua del acuífero con agua de mar, con un porcentaje creciente de ésta.

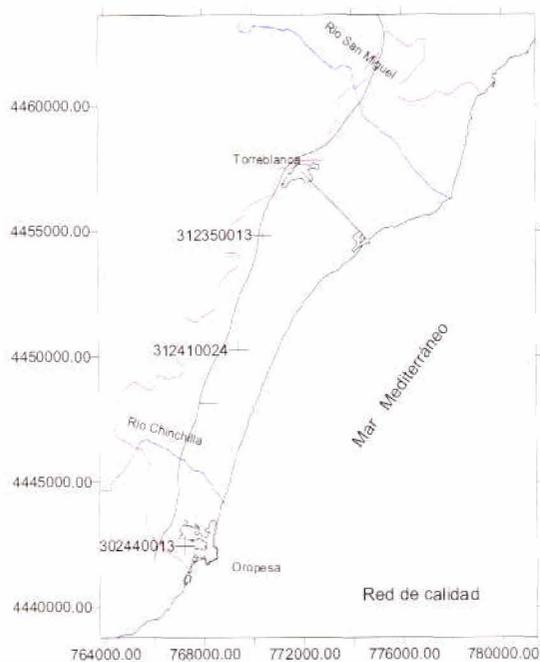
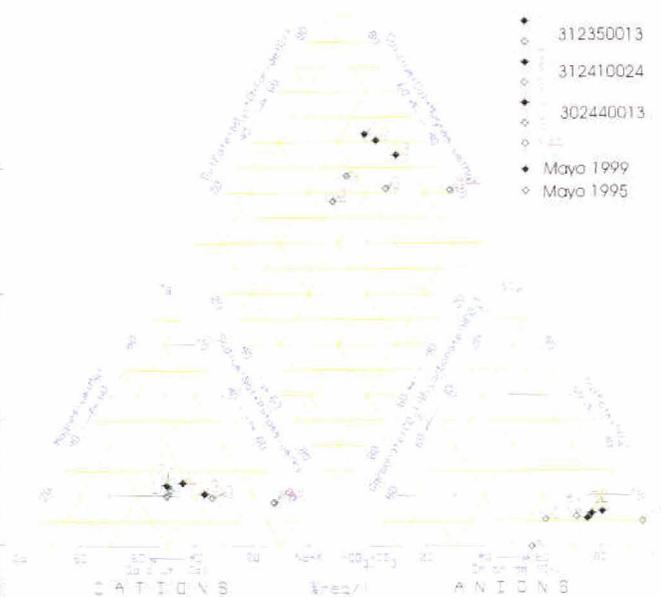


Diagrama de Piper red de calidad



5.2.5. Análisis de relaciones iónicas

Los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del ITGE controlados en 1995 y 1999 se exponen en la tabla adjunta.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
312350013	0.811	0.552	0.492	0.633	0.599	0.269	0.192	0.159	8.152	12.298
312410024	0.796	0.585	0.591	0.788	0.767	0.232	--	0.185	7.052	13.088
302440013	0.871	0.691	0.778	0.785	0.339	0.167	0.180	0.188	13.539	17.826
Agua de mar (2)	0.837	--	4.354	--	0.005	--	0.111	--	613.29	--

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970.

Los valores correspondientes a la relación rNa/rCl observados en los tres puntos de la red de calidad en 1995, son valores similares al del agua de mar, que junto con contenidos en cloruros moderadamente altos, indicaban un cierto grado de salinización por intrusión marina. En 1999 se observa un incremento general del contenido en cloruros acompañado de una disminución del índice rNa/rCl, que refleja una fase de avance importante de la intrusión marina. La disminución de los valores correspondientes a la relación rHCO₃/rCl en 1999, es otra prueba de los efectos del avance de la intrusión. Igualmente el índice rMg/rCa muestra esa creciente influencia del agua de mar con su incremento en los tres puntos muestreados.

5.2.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

Con los datos de los tres puntos de la red de calidad que se controlan actualmente, correspondientes dos de ellos al sector central del acuífero (312350013 y 312410024) y el tercero a las proximidades de la localidad de Oropesa (302440013), se observan en estas zonas aguas de calidad general mala con altos contenidos en cloruros (entre 430 y 470 mg/l en mayo de 1999 en la zona central, y 630 mg/l junto a Oropesa) procedentes de la intrusión marina. Hay que destacar que la práctica totalidad del acuífero superaba en octubre de 1999 los 400 mg/l de Cl⁻, y más de dos tercios del mismo los 800 mg/l en la misma fecha. Las zonas más afectadas por este fenómeno se sitúan inmediatamente al norte del barranco de Chinchilla, donde se observa un cono de ascenso salino que alcanza casi los 1600 mg/l de Cl⁻, otro domo de ascenso al suroeste de Torreblanca con casi 1200 mg/l, y una zona de avance de la intrusión a partir de la desembocadura del río San Miguel que se extiende río arriba y alcanza contenidos en cloruros de 1300 mg/l. La contaminación de origen agrícola se hace más patente al sur de Torreblanca (312350013) con 96 mg/l de nitratos en mayo de 1999, aunque debe extenderse probablemente a gran parte del acuífero, puesto que las prácticas son similares en casi toda su superficie.

Con el análisis de la evolución de cloruros desde octubre de 1994 hasta octubre de 1999 se aprecia un incremento del contenido en este parámetro en los sectores más afectados, con incrementos acumulados por encima de los 800 mg/l al suroeste de Torreblanca y desembocadura del río San Miguel, y de 300 mg/l en el barranco de Chinchilla.

El análisis de las relaciones iónicas confirma ese importante incremento de la salinización en los tres puntos de la red de calidad, no disponiendo de análisis completos en el resto del acuífero que permitan un análisis más detallado.

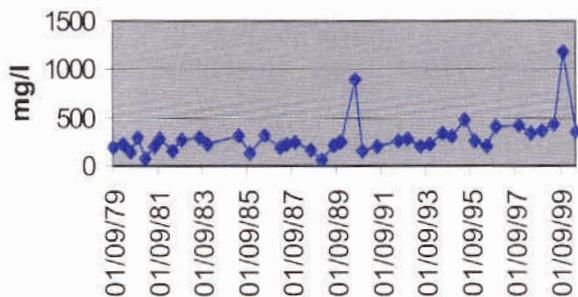
5.2.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La evolución de cloruros en tres puntos representativos de los sectores más afectados por la intrusión, muestra una tendencia ascendente desde el inicio del control a finales de los años setenta. El incremento ha sido más acusado en el punto 302440027 correspondiente a la zona del barranco de Chinchilla. Se produjo una recuperación a principios de los 90 en las zonas sur y norte, pero a partir de 1993 vuelve a empeorar la situación hasta la actualidad.

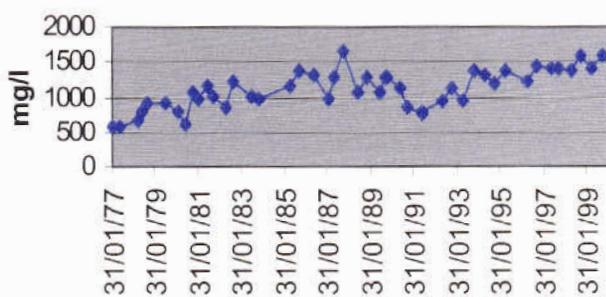
Para evitar un mayor avance de la intrusión e incluso conseguir una recuperación progresiva de las zonas del acuífero afectadas podría ser útil una redistribución de las captaciones de agua subterránea para uso agrícola hacia zonas con menor aprovechamiento, y la reducción de las extracciones en los sectores más explotados. Por otra parte se podría estudiar la utilización de la recarga artificial como instrumento de ayuda para la recuperación del acuífero.

Sería útil además la inclusión de al menos un punto más de control de la red de calidad, en la zona norte del acuífero. Los efectos de la redistribución de las extracciones y posibles acciones de recarga artificial, pueden ser simulados previamente mediante un modelo matemático de flujo y transporte, con objeto de determinar los emplazamientos idóneos para las nuevas captaciones y sus efectos en la evolución de la calidad del agua en el acuífero.

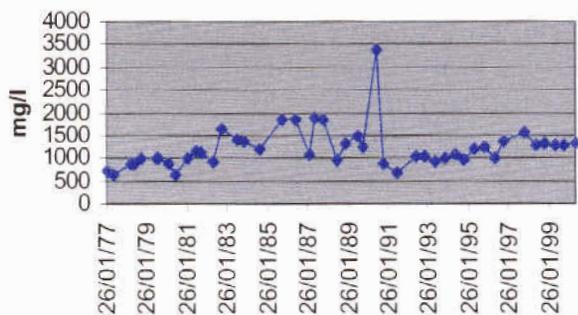
Evolución CI. 312350013



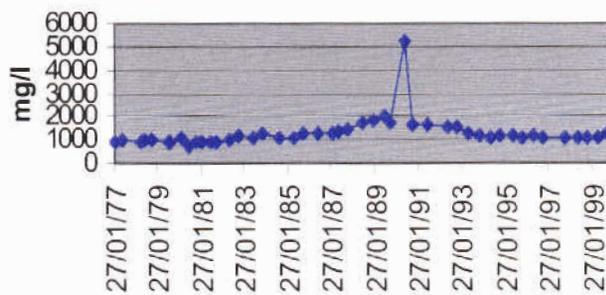
Evolución CI. 302440027



Evolución CI. 312360006



Evolución CI. 312360010



5.3. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.12 PLANA DE CASTELLÓN

5.3.1. Descripción hidrogeológica

La formación acuífera está constituida por un conjunto de sedimentos terciarios y cuaternarios. Los materiales cuaternarios corresponden a paquetes de gravas, arenas y conglomerados embutidos en una matriz eminentemente limo-arcillosa. Este conjunto, de origen continental (mantos de arroyada, abanicos aluviales, terrazas, etc.), marino (cordón litoral) y mixto (limos de albuferas y marismas, limos pardos y dunas litorales), descansa indistintamente según las zonas sobre materiales mesozoicos, los cuales constituyen un segundo acuífero, o sobre sedimentos terciarios miocenos. Estos últimos están integrados por areniscas y arcillas o margas, con cambios laterales de facies a conglomerados poligénicos, y con calizas margosas a techo, considerándose los paquetes permeables como parte integrante del acuífero de la Plana de Castellón, junto con la formación cuaternaria.

La heterogeneidad en la composición y distribución espacial de los materiales constituyentes del acuífero, con frecuentes cambios laterales de facies, hace difícil establecer una continuidad de estratos.

Los límites hidrogeológicos del acuífero mio-cuaternario están definidos por los afloramientos de materiales mesozoicos y el mar Mediterráneo. El límite oriental es abierto, permitiendo la conexión hidráulica con el mar. Al norte limita con las calizas cretácicas del Sistema Javalambre-Maestrazgo con las que existe igualmente conexión hidráulica. El límite occidental es abierto en su mayor parte por el contacto con calizas y dolomías del Muschelkalk y Jurásico, y con areniscas del Buntsandstein, con algún tramo cerrado por afloramiento de materiales impermeables del Keuper y Bunt. El límite meridional es igualmente abierto, tratándose de un límite convencional con los materiales detríticos del acuífero de la Plana de Sagunto.

El espesor de los sedimentos mio-cuaternarios aumenta en general de oeste a este superando los 250 metros, aunque disminuye de nuevo en las proximidades de la costa. El flujo subterráneo transcurre en general desde el interior hacia el mar, aunque en algunos sectores se invierte el sentido debido a la intensa explotación de los recursos. La alimentación del acuífero procede en su mayor parte de la transferencia lateral de los sistemas acuíferos de borde, y en menor medida de la infiltración por retorno de riego, del río Mijares y del agua de lluvia.

En cuanto a los parámetros hidrogeológicos característicos del acuífero se ha observado que las captaciones existentes en la Plana presentan cuadales específicos entre 1 l/s.m y 20 l/s.m, las transmisividades están comprendidas entre 500 m²/día y 6000 m²/día, el coeficiente de almacenamiento varía entre 5 y 15% y la permeabilidad entre 30 y 120 m/día.

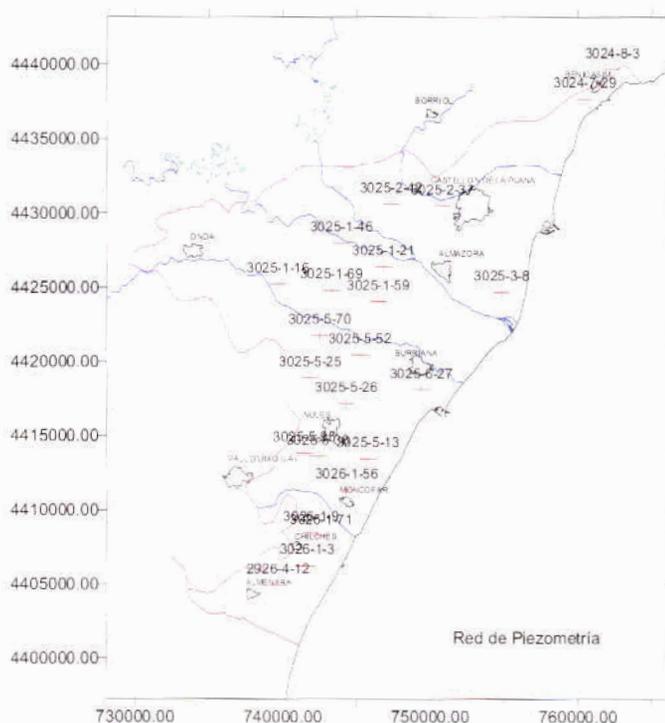
5.3.2. Análisis de la piezometría y su evolución

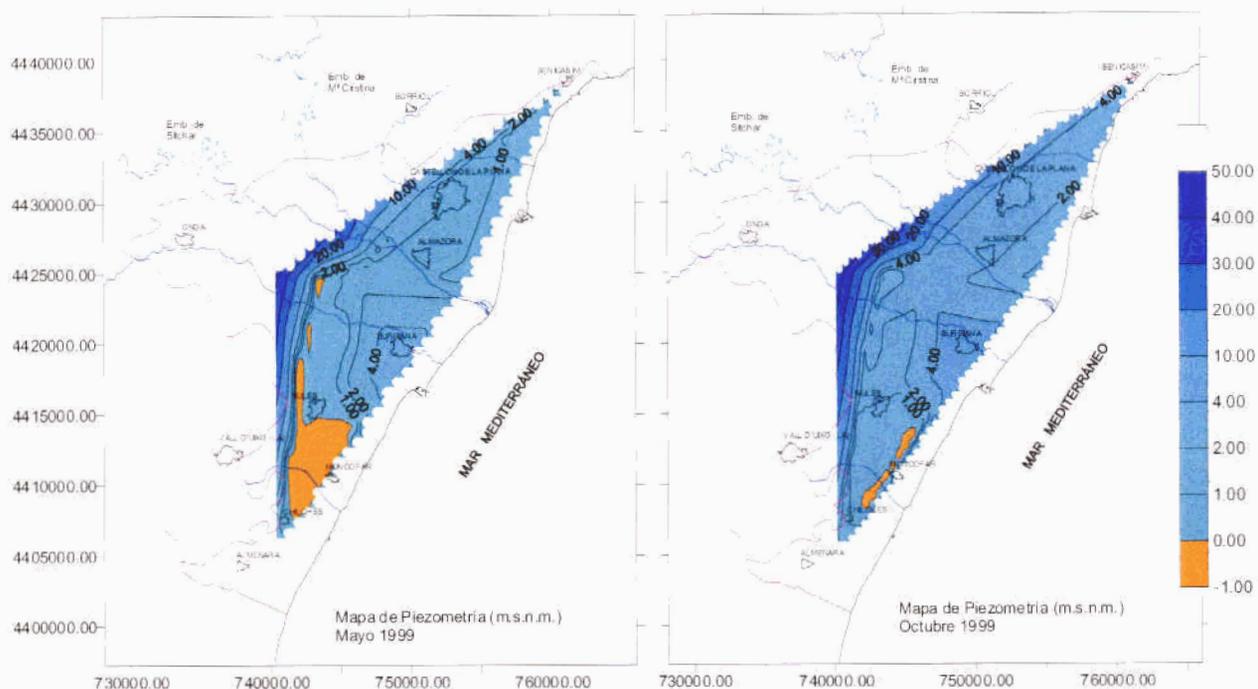
En el mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1999 se observa una zona de depresión piezométrica en el triángulo Chilches-Moncófar-Nules con cotas por debajo del nivel del mar (hasta casi -1 m), que se extiende hacia el norte de la última localidad. Se trata de una zona donde tradicionalmente se lleva a cabo una intensa explotación de los recursos subterráneos para usos fundamentalmente agrícolas. No obstante se advierte una recuperación estacional apreciable en octubre de 1999, si bien en el entorno de Chilches y Moncófar se mantienen los niveles ligeramente deprimidos. Esta situación provoca el desarrollo de la intrusión marina, como se aprecia en los siguientes apartados.

Red de piezometría

Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
2926-4-	9.34	7.77
3024-7-	33.29	36
3024-8-3	36.1	42
3025-1-	86.76	60
3025-1-	61.84	69
3025-1-	87.41	114
3025-1-	45.45	72
3025-1-	54.35	107
3025-2-	51.62	65.5
3025-2-	77.61	93
3025-3-8	4.08	5.15
3025-5-	3.28	15

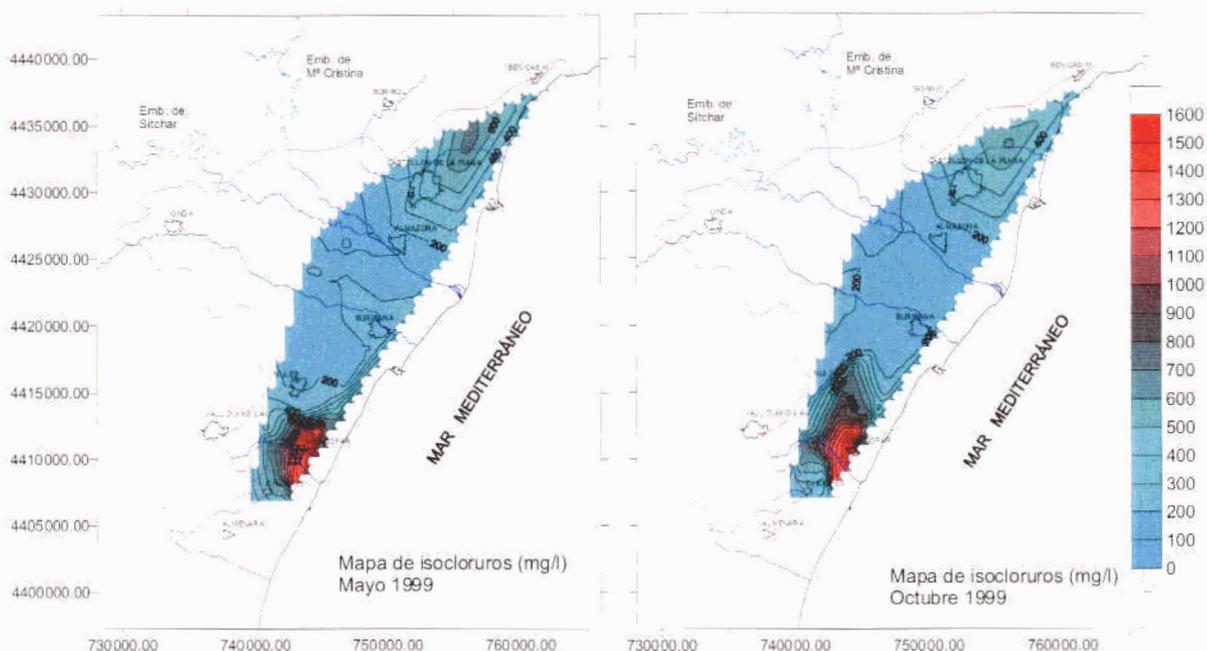
Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
3025-5-25	46.81	50
3025-5-26	20.38	23.1
3025-5-35	24.43	74
3025-5-36	19.55	49
3025-5-52	34.51	39.4
3025-5-70	55.15	66.1
3025-6-27	12.94	15
3026-1-3	4.14	--
3026-1-9	11.29	--
3026-1-56	7.11	20.94
3026-1-71	7.12	13.98



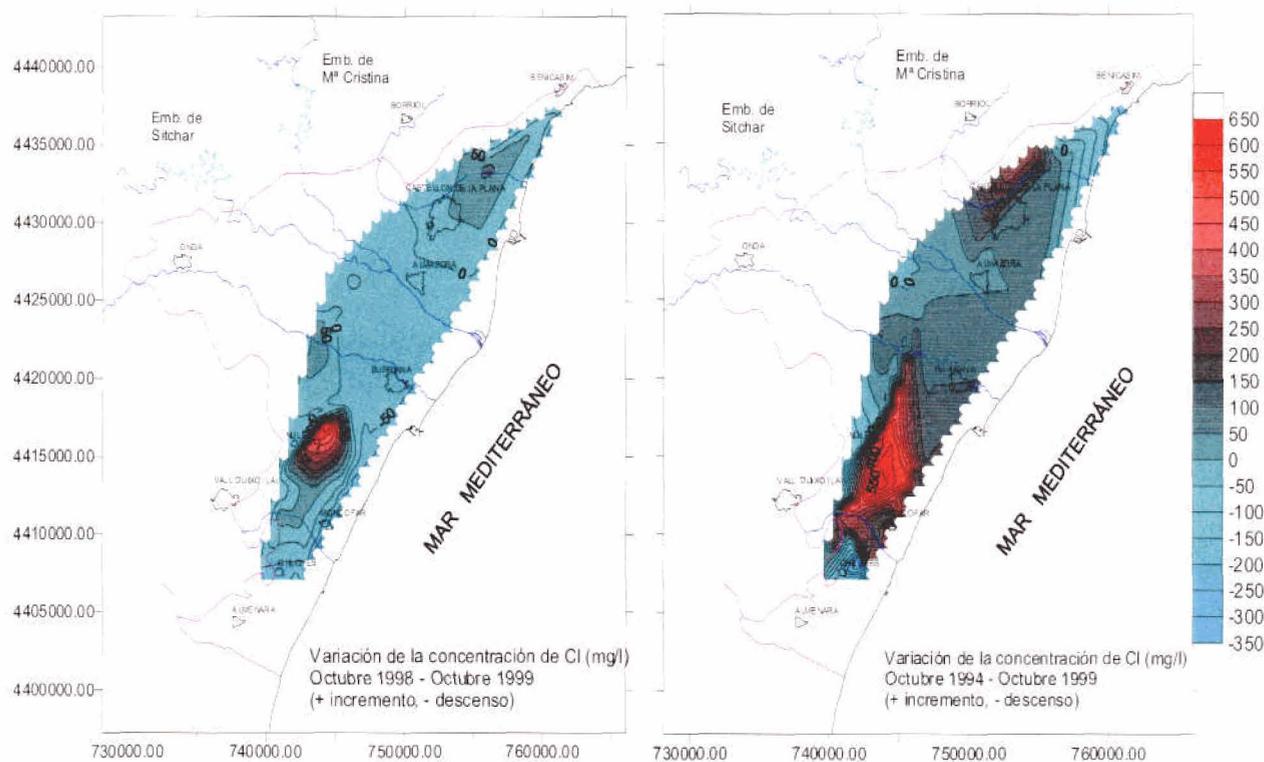


5.3.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Como consecuencia de la intensa explotación de las aguas subterráneas para uso agrícola en la zona de Chilches-Moncófar-Nules y para uso urbano y agrícola entre Castellón y Benicasim, se observan en estas dos áreas unos altos contenidos en cloruros procedentes de la intrusión de agua marina en el acuífero, con formación de domos salinizados en ambas. Los mapas de isocloruros de mayo y octubre de 1999 correspondientes a las redes del ITGE, muestran concentraciones de cloruros que superan los 1600 mg/l en la zona sur y los 600 mg/l en la norte.



En los mapas de evolución de cloruros a corto y medio plazo (1 y 5 años) se observa un empeoramiento de la situación con incremento de la intrusión en las dos áreas antes citadas, especialmente acentuado en la zona sur, donde respecto a 1994 el aumento acumulado de la concentración de cloruros asciende en algún punto a 600 mg/l, y a 250 mg/l en la norte. Se aprecia un empeoramiento general a medio plazo en toda la zona controlada, aunque respecto a 1998 se tiene una recuperación en el sector central (entorno del río Mijares).



5.3.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado los puntos de la red de calidad para los años 1995 y 1999. El punto 3024-7-1 (1 en el diagrama), representativo del sector norte entre Castellón y Benicasim, presentaba una facies clorurada sódica-cálcica en 1995 evolucionando hacia clorurada sódica en 1999, como consecuencia de los efectos de la intrusión marina que conlleva la mezcla del agua del acuífero con agua de mar, con un porcentaje creciente de ésta. En el punto 3026-1-41 (6) característico del sector Chilches-Moncófar-Nules, se observaba en 1995 una facies clorurada cálcica-magnésica-sódica de lo que se deduce que se encontraba en fase de avance de la intrusión pero sin haber alcanzado en aquel momento el tipo clorurado sódico, que indica el estado más avanzado de la intrusión marina. En cuanto al resto de los puntos muestreados en 1995 y 1999 presentan facies sulfatada cálcica o cálcica-magnésica que revelan la mala calidad del agua del acuífero influenciada probablemente por el uso abusivo de los fertilizantes agrícolas, si bien no se muestran afectados por la intrusión marina.

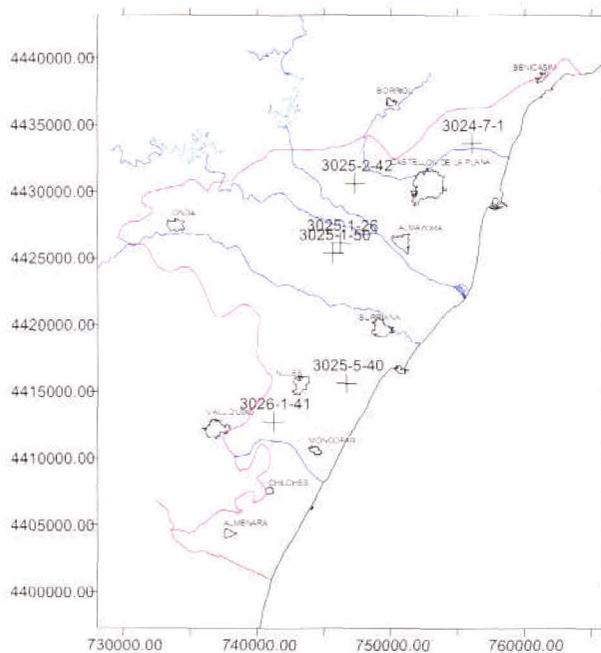
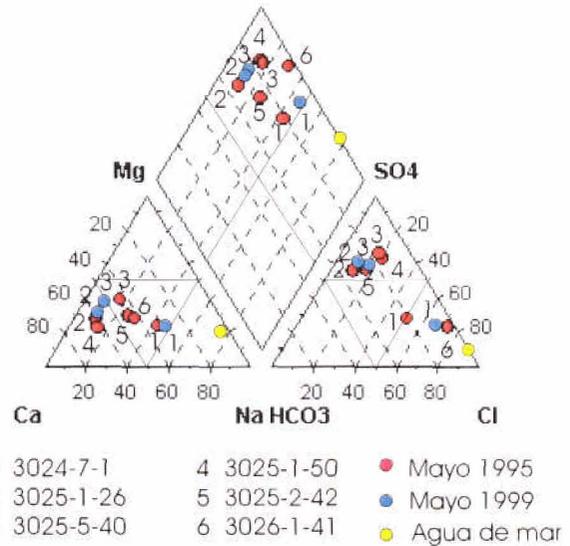


Diagrama de Piper red de calidad



5.3.5. Análisis de relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del ITGE controlados en 1995 y 1999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
3026-1-41	0.452	--	0.678	--	0.046	--	0.322	--	33.001	--
3025-5-40	1.143	0.706	0.891	0.746	0.827	1.336	3.751	3.167	2.398	3.018
3025-2-42	2.025	--	0.679	--	1.583	--	3.545	--	1.439	--
3025-1-50	1.020	--	0.364	--	0.709	--	3.040	--	1.918	--
3025-1-26	1.179	0.919	0.452	0.528	3.179	2.151	5.385	4.475	0.959	1.326
3024-7-1	0.873	0.745	0.721	0.754	0.413	0.124	0.556	0.376	9.365	20.252
Agua de mar (2)	0.837	--	4.354	--	0.005	--	0.111	--	613.29	--

(1) r=meq/l ; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970. (cambiar por análisis más reciente)

Del análisis de la relación rNa/rCl en 1995 se observa que únicamente el punto 3026-1-41, representativo del sector Chilches-Moncófar-Nules, presentaba un valor inferior al del agua del mar junto con un alto contenido en cloruros, lo que indica que se trata de una zona afectada por la intrusión marina en fase de avance. También el punto 3024-7-1 en el sector norte entre Castellón y Benicasim presentaba un valor similar al del agua del mar con alto índice de cloruros, haciéndose notar igualmente los efectos de la intrusión aunque en menor grado. El resto de puntos ubicados en la zona central del acuífero presentaban valores correspondientes a agua dulce, aunque la evolución en 1999 revela un aumento en la salinización aproximándose los índices rNa/rCl a los del agua del mar.

Las relaciones $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$ y $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$ presentan una misma tendencia siendo los valores correspondientes a los puntos 3026-1-41 y 3024-7-1 los que más se aproximan a los del agua del mar, confirmando el desarrollo en estos sectores de la intrusión marina. En la zona central se aprecian altos valores de estos índices como prueba del predominio de la facies sulfatada del acuífero y la escasa presencia de mezcla con agua de mar.

5.3.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

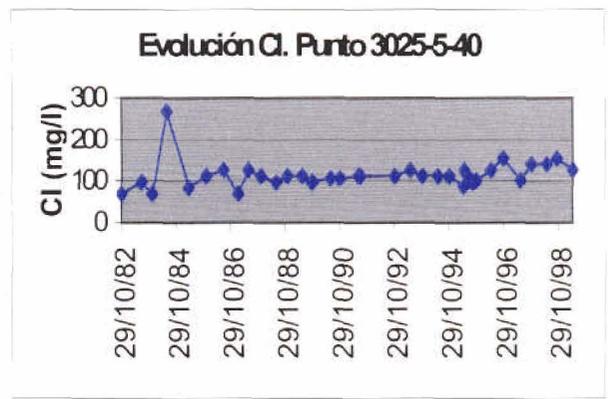
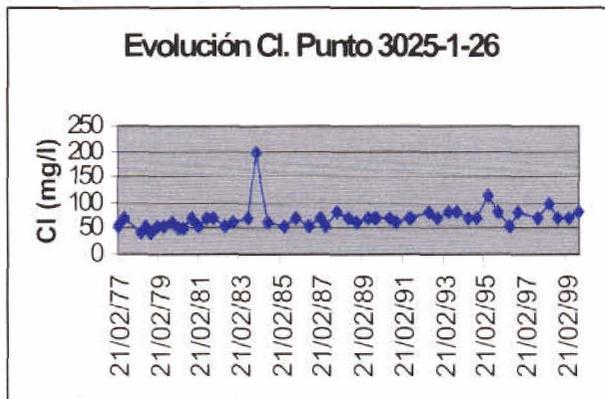
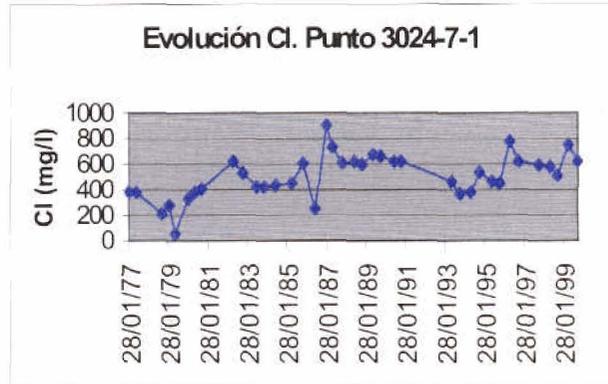
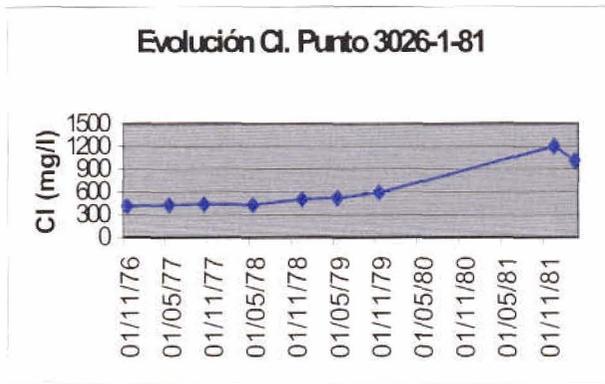
El acuífero de la Plana de Castellón presenta en la actualidad aguas de calidad general regular con altos contenidos en sulfatos como consecuencia probablemente del uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, el sector de Chilches-Moncófar-Nules al sur, que en mayo y octubre de 1999 superó los 1600 mg/l de contenido en cloruros, y el sector entre Castellón y Benicasim al norte, donde se superaron en mayo de 1999 los 700 mg/l. En ambos sectores el fenómeno de intrusión marina está producido por las intensas extracciones de agua subterránea para uso agrícola fundamentalmente.

En el resto del acuífero no se aprecia actualmente una afección importante por la intrusión marina, aunque en el estudio de la evolución de cloruros desde octubre de 1994 hasta octubre de 1999 se aprecia un incremento general del contenido en este parámetro, que en el sector central ha ascendido entre 0 y 100 mg/l y en los sectores norte y sur ha acumulado una subida de hasta 250 y 600 mg/l respectivamente. De ello se deduce que continúa el avance alarmante de la intrusión marina en estos dos sectores y que la salinización se va extendiendo lentamente a partir de ellos hacia la zona central.

El análisis de las relaciones iónicas reafirma estas deducciones mostrándonos la influencia progresiva del agua marina en los dos sectores antes citados, aunque la reducción de la red de calidad a solo tres puntos no permite hacer un estudio más detallado de la distribución espacial de la afección.

5.3.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos en las redes de control hacen pensar que de mantenerse las condiciones actuales de explotación de aguas subterráneas el proceso de intrusión marina continuará su avance en los dos sectores más afectados (Chilches-Moncófar-Nules y Castellón-Benicasim), con incremento de la fracción de agua salada en la mezcla y ascenso de la interfase hacia la superficie de agua libre. Este avance implicará además la extensión paulatina de la salinización hacia las zonas adyacentes a estos sectores.



Sin embargo es posible evitar un mayor avance de la intrusión e incluso conseguir una recuperación progresiva de las zonas del acuífero afectadas. Para ello se debería procurar una redistribución de las captaciones de agua subterránea para uso agrícola de los sectores más explotados hacia zonas con menor aprovechamiento, procurando el reparto de caudales extraídos en un mayor número de pozos. Así se podrían captar en la zona central de La Plana parte de los recursos necesarios para el regadío de los sectores norte y sur.

Los efectos de esta redistribución de las extracciones pueden ser simulados previamente mediante un modelo matemático de flujo y transporte, con objeto de determinar los emplazamientos idóneos para las nuevas captaciones y sus efectos en la evolución de la calidad del agua en el acuífero.

5.4. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.21 PLANA DE SAGUNTO

5.4.1. Descripción hidrogeológica

La Plana de Sagunto es una llanura costera de 125 km² de superficie situada al norte de la provincia de Valencia, en su límite con Castellón. Geomorfológicamente se distinguen una llanura sensiblemente horizontal adyacente a la costa, entre el nivel del mar y la cota 20, y una rampa de erosión hasta la base de los relieves montañosos circundantes, que en el sector de Los Valles alcanza los 90 msnm.

La formación acuífera de edad pliocuaternaria está constituida por una alternancia de gravas, arenas y conglomerados a veces encostrados y susceptibles de presentar carstificación, incluidos en una formación eminentemente limo-arcillosa. Descansa sobre una formación arcillosa de espesor creciente hacia la costa, que la separa de los materiales carbonatados mesozoicos infrayacentes, normalmente Muschelkalk. La máxima potencia del acuífero detrítico se alcanza en Benavites y entorno del río Palancia con 200 y 140 m de espesor respectivamente.

Los límites hidrogeológicos del acuífero pliocuaternario están definidos hacia el interior por el afloramiento de los materiales mesozoicos, mientras que al sur y norte los límites son relativamente convencionales y se definen por la presencia de materiales del Buntsandstein que lo individualizan parcialmente de las planas de Valencia y Castellón respectivamente.

En el extremo norte de la Plana (área de Los Valles) el flujo subterráneo transcurre en sentido NO-SE con un gradiente hidráulico muy elevado (del orden del 1%), y una piezometría que varía entre los 40-45 msnm en el vértice NO y los 0-2 msnm hacia el sur y este de esa zona. En el resto de la Plana la piezometría rara vez supera los 2 msnm, y en gran parte del acuífero se sitúa en cotas negativas invirtiendo el sentido del flujo. La alimentación del acuífero pliocuaternario, según balance medio estimado para el período 1948-83, procede en su mayor parte de la transferencia lateral de los acuíferos de borde (47 hm³/año), principalmente del subsistema del Medio Palancia a través de la mitad norte del límite occidental, infiltración por retorno de riego con aguas subterráneas (27,5 hm³/año), retorno de riego con aguas superficiales (16 hm³/año), e infiltración de lluvia (13,6 hm³/año). Las salidas se producen fundamentalmente por bombeos (82,6 hm³/año), descarga al mar (15 hm³/año), y drenaje por la marjalería de Chilches-Almenara (6,4 hm³/año).

En cuanto a los parámetros hidráulicos característicos del acuífero detrítico, se observan caudales específicos medios de 10 l/s/m, transmisividades que superan los 7000 m²/día y coeficientes de almacenamiento del 10 al 12 %.

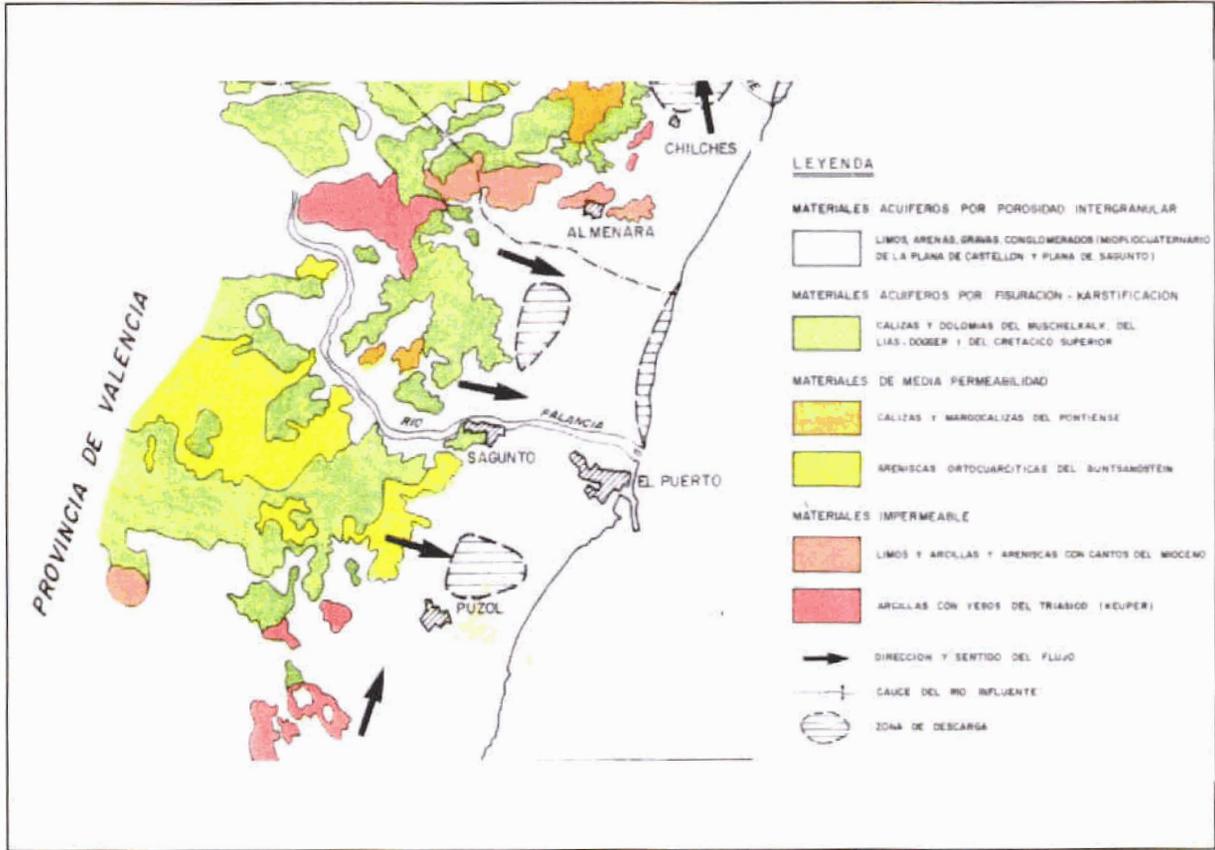


Figura 1.- Mapa hidrogeológico (según ITGE, 1990)

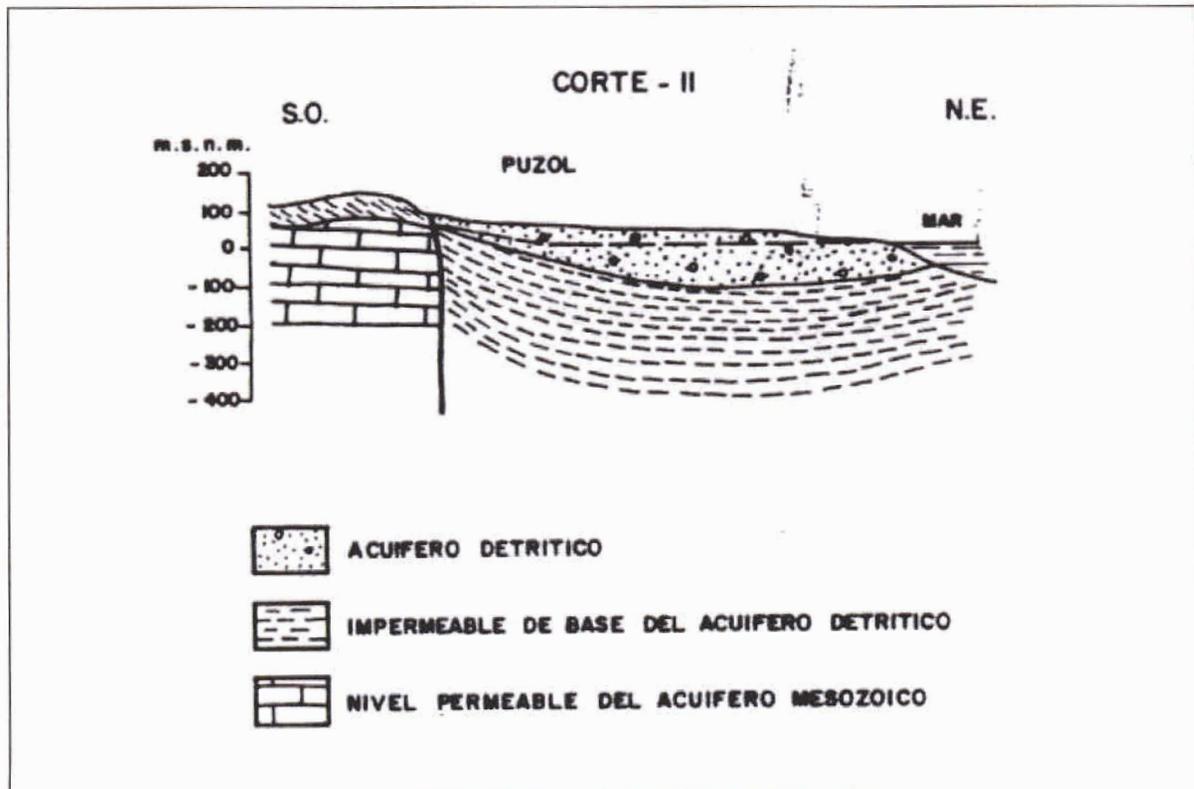


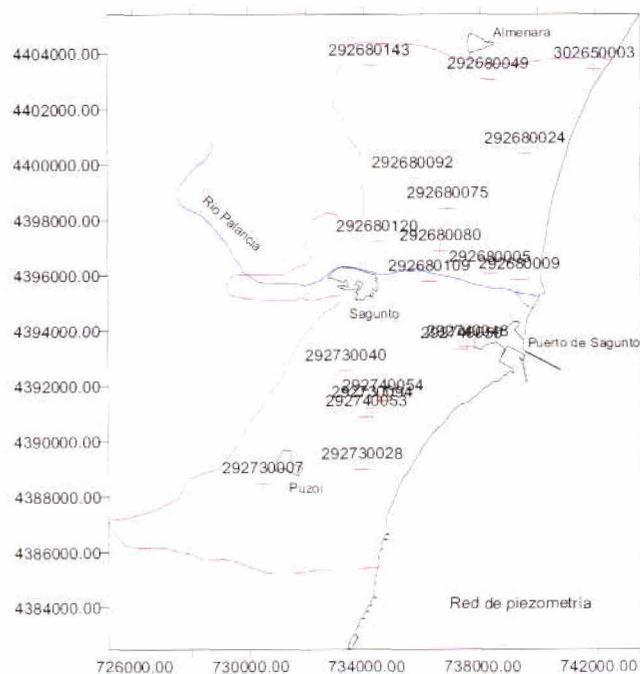
Figura 2.- Corte geológico esquemático (según ITGE, 1990)

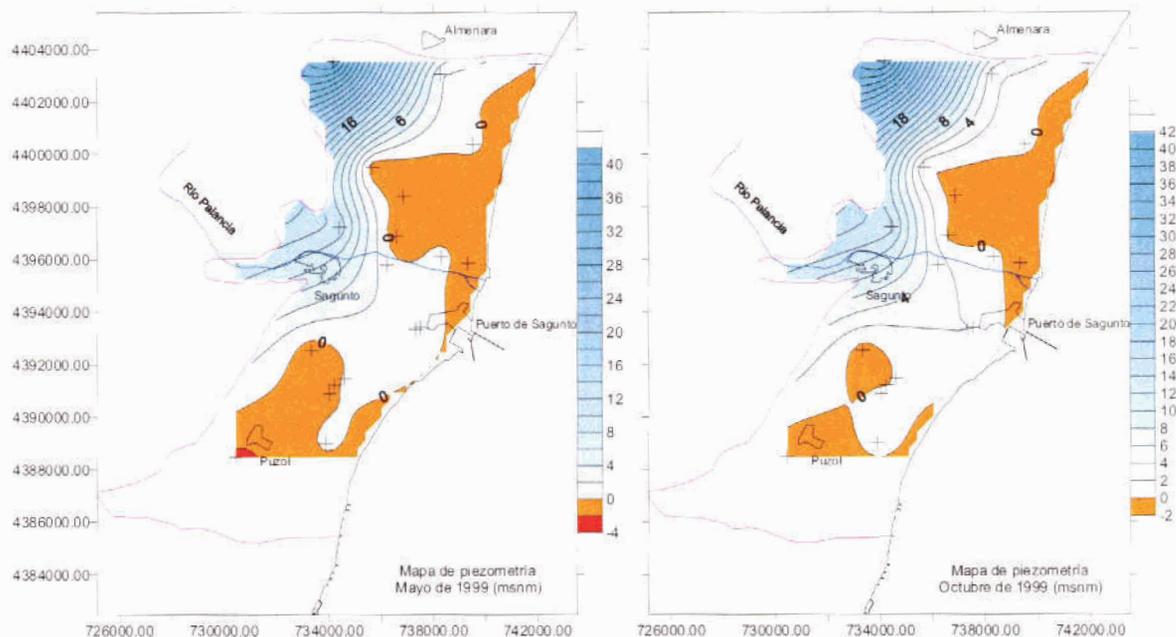
5.4.2. Análisis de la piezometría y su evolución

Se distingue una zona de altas cotas piezométricas (algo más de 40 msnm) en el extremo noroccidental de la Plana, condicionada por la topografía de la superficie del acuífero detrítico y del sustrato carbonatado sobre el que se apoya y del que recibe alimentación lateral. En el entorno de Sagunto las cotas piezométricas son intermedias (entre 6 y 14 msnm) condicionadas también por la morfología del zócalo y decreciendo hacia la costa. El resto de la Plana presenta un gradiente hidráulico muy suave con niveles que normalmente no superan 1 msnm. Se aprecian dos zonas con niveles piezométricos deprimidos por debajo del mar, una al norte del río Palancia que abarca gran parte de la mitad norte del acuífero, con mínimos de casi 2 m negativos en mayo de 1999, y otra entre las localidades de Sagunto y Puzol que se extiende hacia el sureste de esta última, donde se alcanzaron los -2'5 msnm en esa fecha. Se trata de unas zonas de intensa explotación de los recursos subterráneos para usos fundamentalmente agrícolas, y en menor medida industriales. La piezometría se recupera muy poco estacionalmente según se observa en los mapas correspondiente a mayo y octubre de 1999, y la persistencia de este grado de explotación ha provocado en las últimas décadas el desarrollo de una intrusión marina sostenida en ambas áreas costeras.

Red de piezometría

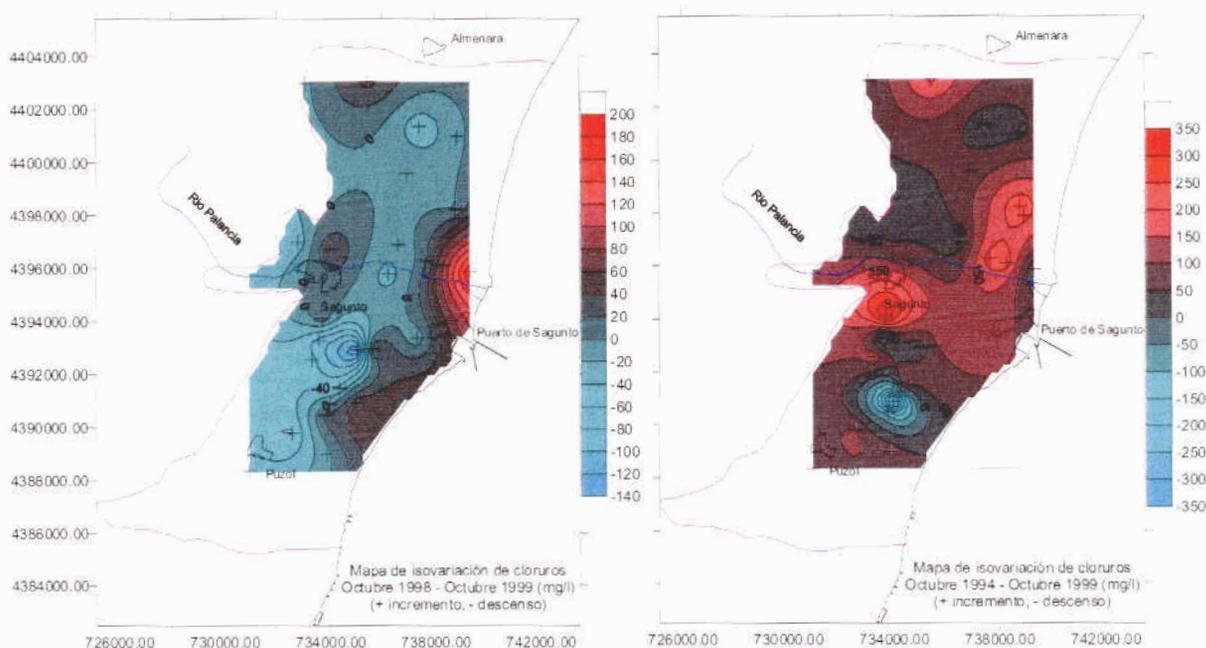
Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)	Punto	Cota (msnm)	Profundidad (m)
292680005	15.85	18.3	292730007	21.48	40
292680009	5	--	292730028	2.4	5.75
292680024	3.55	7.45	292730040	12.93	30
292680049	6.41	6.2	292730094	6.95	67
292680075	18.62	28.12	292740048	10.45	37
292680080	23.29	28.3	292740050	10.93	46
292680092	17.47	26.66	292740053	7.56	66
292680109	25.82	--	292740054	7.45	64
292680120	58	151	302650003	1.73	--
292680143	63.42	108			

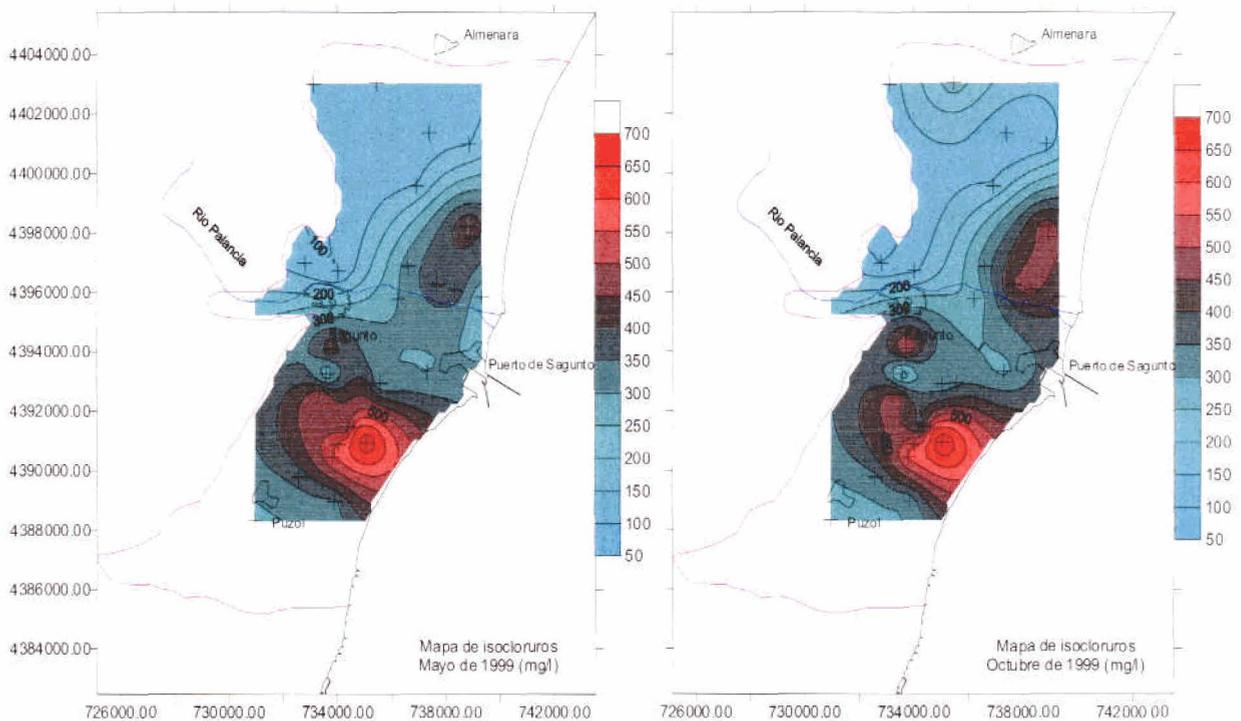




5.4.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Los mapas de contenido en cloruros de mayo y octubre de 1999 correspondientes a las redes del ITGE, muestran concentraciones máximas de casi 700 mg/l entre las localidades de Puzol y Puerto de Sagunto, y de 450 mg/l al norte del río Palancia, superándose los 300 mg/l en gran parte del acuífero. La mejor calidad del agua se observa en el extremo noroccidental del acuífero, desde donde recibe la principal aportación subterránea de recursos. Se aprecia además una franja con concentraciones inferiores a 300 mg/l entre Sagunto y Puerto de Sagunto, asociada probablemente a una zona de circulación preferente a través de paleocauces, que separa las dos áreas más afectadas por la intrusión. Esta intrusión es consecuencia de la intensa explotación de las aguas subterráneas para uso agrícola e industrial, y se mantienen a lo largo de todo el año.





Se aprecia un ligero empeoramiento a corto plazo (1 año), en cuanto a contenido en cloruros, en las áreas costeras del acuífero, al norte y sur del Puerto de Sagunto. A medio plazo (5 años) se observa un incremento de la salinización más acusado, y generalizado a casi todo el acuífero. Al sur de Sagunto, el aumento acumulado de la concentración de cloruros respecto a 1994 supera los 300 mg/l, y los 200 mg/l al norte del Palancia. De ello se desprende que la intrusión marina progresa con intensidad en estas áreas, y se extiende a partir de ellas al resto del acuífero.

5.4.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado los datos relativos a los puntos de la red de calidad disponibles para los años 1995 y 1999. En los puntos 292680001 y 292730036 la facies observada en 1995 era sulfatada cálcico-magnésica, incrementándose el carácter clorurado-sulfatado y magnésico en 1999, como consecuencia de la progresiva influencia del agua de mar en el acuífero. En el punto 292730022, ubicado al sur de Puzol, se tenía una facies sulfatada cálcico-magnésico-sódica en 1995, que evolucionó de manera análoga a los otros puntos en 1999, con aumento del carácter clorurado-sulfatado y magnésico.

5.4.5. Análisis de relaciones iónicas

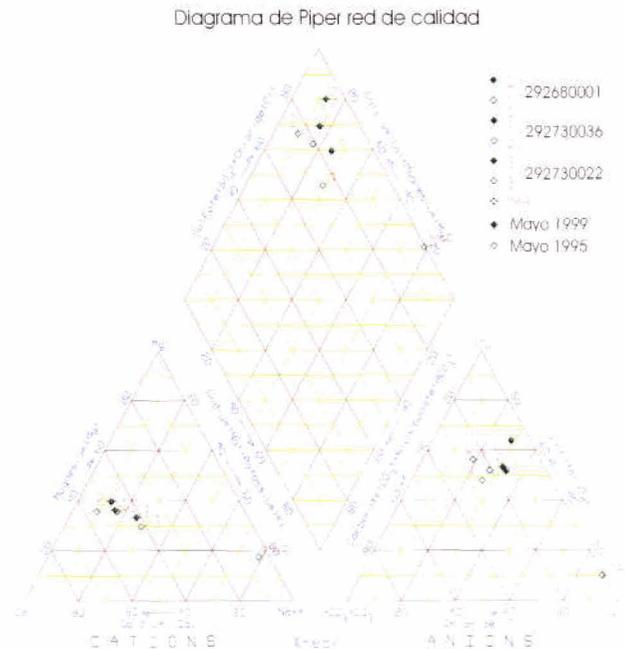
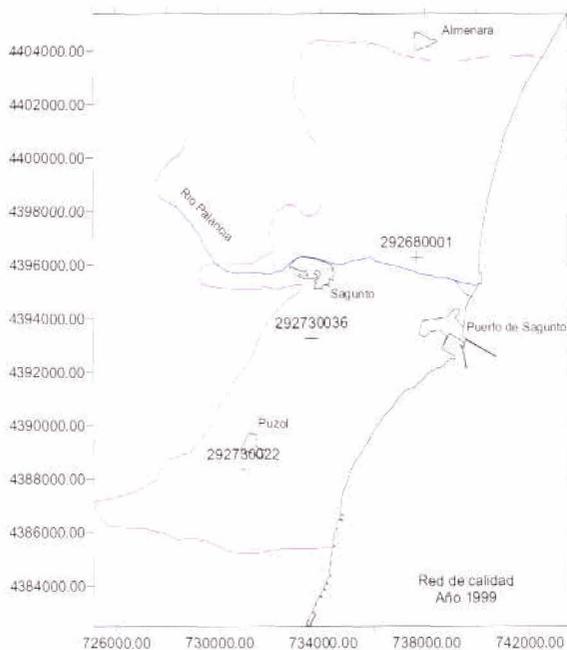
En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del ITGE controlados en 1995 y 1999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99	may-95	may-99
292680001	0.688	0.542	0.742	0.750	0.777	0.453	1.930	1.563	6.516	8.829
292730036	0.557	0.514	0.647	0.828	1.324	0.251	3.020	2.202	3.751	6.346
292730022	1.109	0.923	0.701	0.792	0.985	0.497	1.846	1.718	3.61	6.459
Agua de mar (2)	0.837	--	4.354	--	0.005	--	0.111	--	613.29	--

(1) r=meq/l ; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970.

La relación rMg/rCa en los tres puntos muestreados presenta valores sensiblemente inferiores al del agua de mar, si bien se observa un incremento de 1995 a 1999 que junto con el incremento del contenido en cloruros, es indicativo de un porcentaje creciente de agua marina en el acuífero. La relación rHCO₃/rCl, aunque presenta valores propios de agua dulce, muestra la misma tendencia generalizada a la salinización con su descenso entre 1995 y 1999. Análoga conclusión se puede obtener de la disminución que presenta la relación rSO₄/rCl en los tres puntos.

En cuanto al ratio rNa/rCl, los puntos 292680001 y 292730036 mostraban valores inferiores al del agua de mar en 1995 y disminuyeron todavía más en 1999. Este descenso relativo se justifica por el fenómeno de intercambio iónico, que retiene parte del sodio en la matriz arcillosa durante la fase de avance de la intrusión. El punto 292730022 tenía un valor de este ratio superior al del mar en 1995, que pudo ser fruto de una fase de retroceso de la salinización en la que el intercambio iónico se produce en sentido inverso, liberando el sodio retenido previamente en la matriz sólida. Pero al igual que los otros puntos disminuyó en 1999, como consecuencia de un nuevo episodio de avance de la intrusión.



5.4.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

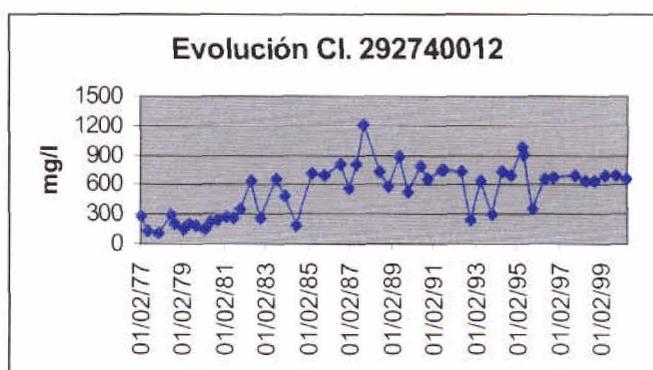
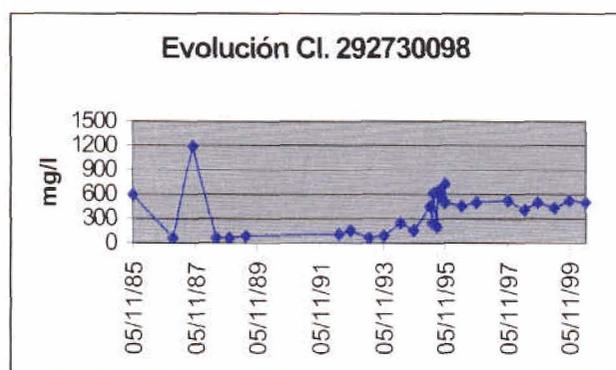
El acuífero de la Plana de Sagunto presenta en casi toda su extensión aguas de calidad general mala que superan en varios parámetros los límites de potabilidad establecidos por la Reglamentación Técnica Sanitaria. Esta mala calidad tiene un origen tanto formacional, que le proporciona altos contenidos en sulfatos (entre 520 y 670 mg/l en los puntos controlados en 1999), como antrópica. Así en los tres puntos de la red de calidad que se controlan actualmente, se observan altos contenidos en nitratos (entre 128 y 240 mg/l en octubre de 1999) como consecuencia del uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. Igualmente los contenidos en cloruros son bastante altos por efecto de la intrusión marina, especialmente en las zonas ubicadas entre Puerto de Sagunto y Puzol, y al norte de la desembocadura del río Palancia, donde se midieron concentraciones por encima de 700 mg/l y 450 mg/l respectivamente en octubre de 1999.

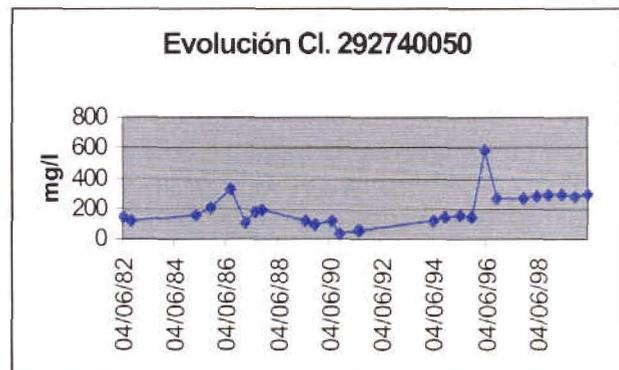
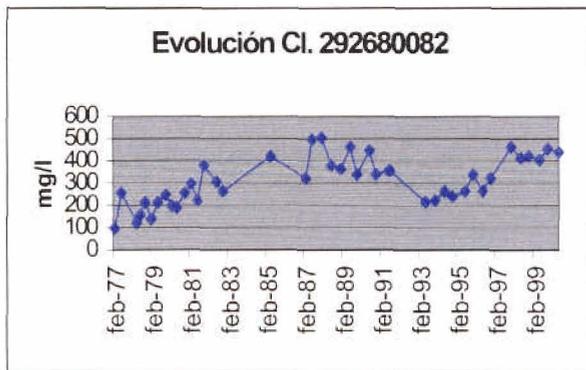
En el mapa de evolución de cloruros desde octubre de 1994 hasta octubre de 1999, se aprecia un incremento generalizado del contenido en este anión en casi todo el acuífero. Se alcanzan los máximos incrementos acumulados al sur de Sagunto (superando los 300 mg/l) y en la zona costera al norte del río Palancia (por encima de los 200 mg/l).

El análisis de las relaciones iónicas permite apreciar igualmente ese incremento generalizado de la salinización por influencia creciente del agua de mar.

5.4.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

Observando la evolución de cloruros en los puntos 292680082 y 292740012, representativos de los sectores más afectados por la intrusión, al norte de la desembocadura del Palancia y noreste de Puzol respectivamente, se aprecia que el grado de salinización presenta una tendencia media creciente desde finales de los años 70. Se alcanzaron concentraciones máximas en los años 87-88, con recuperación significativa en el período 92-94 y de nuevo empeoramiento progresivo a partir de ese año. En el resto del acuífero la evolución observada es similar a la de estas zonas, con mayor o menor grado de atenuación.





Los contenidos en sulfatos y nitratos siguen también una evolución similar a los cloruros, con tendencia media creciente. En el caso de los sulfatos, se parte de contenidos ya elevados por la facies natural del agua del acuífero, pero el incremento viene producido por efecto de la intrusión marina. El aumento del contenido en nitratos es consecuencia de las prácticas agrícolas con uso excesivo de abonos.

La recuperación progresiva del acuífero sólo es posible con una reducción de las extracciones en los sectores más explotados y una redistribución de las captaciones de agua subterránea para uso agrícola hacia zonas con menor aprovechamiento, o hacia los acuíferos de borde.

La simulación mediante un modelo matemático de flujo y transporte se muestra como una herramienta útil para el estudio previo de las distintas posibilidades de actuación y sus efectos en la evolución de la calidad del agua en el acuífero.

5.5. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.25 PLANA DE VALENCIA NORTE

5.5.1. Descripción hidrogeológica

Esta unidad es asimilable a un acuífero detrítico multicapa en el que los tramos permeables se agrupan en dos grandes conjuntos bien diferenciados:

- Acuífero superior o miocuaternalio

Está constituido por una alternancia de materiales detríticos cuaternarios (conglomerados, gravas y arenas) intercalados en una formación predominantemente limo-arcillosa, de origen continental y mixto (continental-litoral). Eventualmente y hacia la base, pueden aparecer calizas lacustres del Mioceno terminal.

La potencia máxima del acuífero miocuaternalio es de 200 metros, en áreas adyacentes al río Turia, barranco de Carraixet y la localidad de Torrent. La transmisividad media oscila entre 2.000 y 3.500 m²/día, aunque localmente puede ser inferior a 500 m²/día.

- Acuífero inferior o mioceno

Está constituido por intercalaciones de areniscas, calcarenitas y calizas bioclásticas, en una formación marga-arcillosa, sedimentadas en un ambiente de plataforma interna somera y litoral, de edad Mioceno medio-superior. La potencia máxima, en la vertical de la ciudad de Valencia es de 600 metros.

Esta formación, al ser predominantemente margosa, constituye el impermeable de base del acuífero superior o cuaternario.

Los parámetros hidráulicos del acuífero mioceno son los siguientes:

S: 10^{-3} - 10^{-4} , según los datos de ensayos de bombeo.

S: 10^{-2} - 5×10^{-2} , según los datos de modelos

T: 100 - 1.500 m²/día

El impermeable de base del conjunto de la unidad está constituido por margas y arcillas de edad Mioceno inferior-Oligoceno, y en ocasiones margas y yesos del Trías en facies Keuper.

Los límites hidrogeológicos de la unidad son los siguientes:

Norte: Plana de Sagunto y arcillas de Náquera.

Sur: Albufera de Valencia. Se trata de un límite abierto a la unidad 08.26 Plana de Valencia Sur

Este: Mar Mediterráneo

Oeste: Unidades mesozoicas del interior, alternando los límites abiertos y cerrados, dependiendo de las litologías de los afloramientos o subafloramientos circundantes.

El funcionamiento hidráulico de la unidad presenta una elevada complejidad, debido a la heterogeneidad litológica de los acuíferos. El rasgo principal es el flujo subterráneo en

dirección al mar, con una componente predominante de ONO a ESE. Las cotas piezométricas oscilan entre 70 m en el límite noroccidental, hasta 0 m en el borde Este.

Los puntos principales de descarga son el río Turia y la Albufera de Valencia.

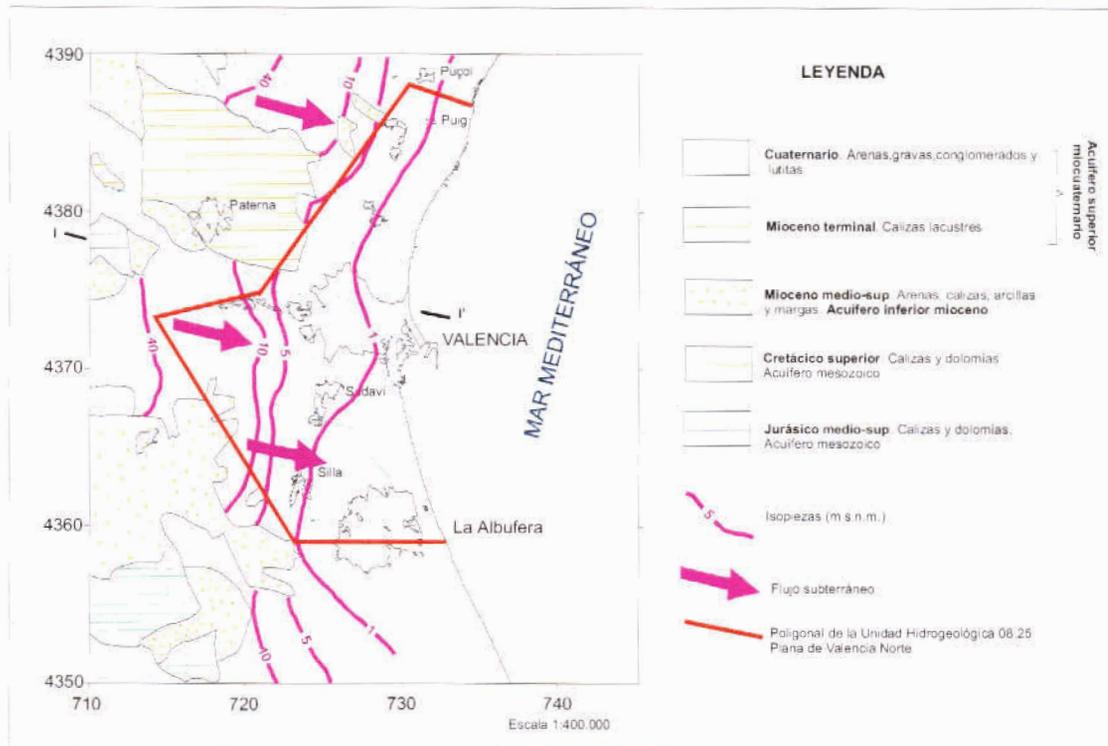


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico

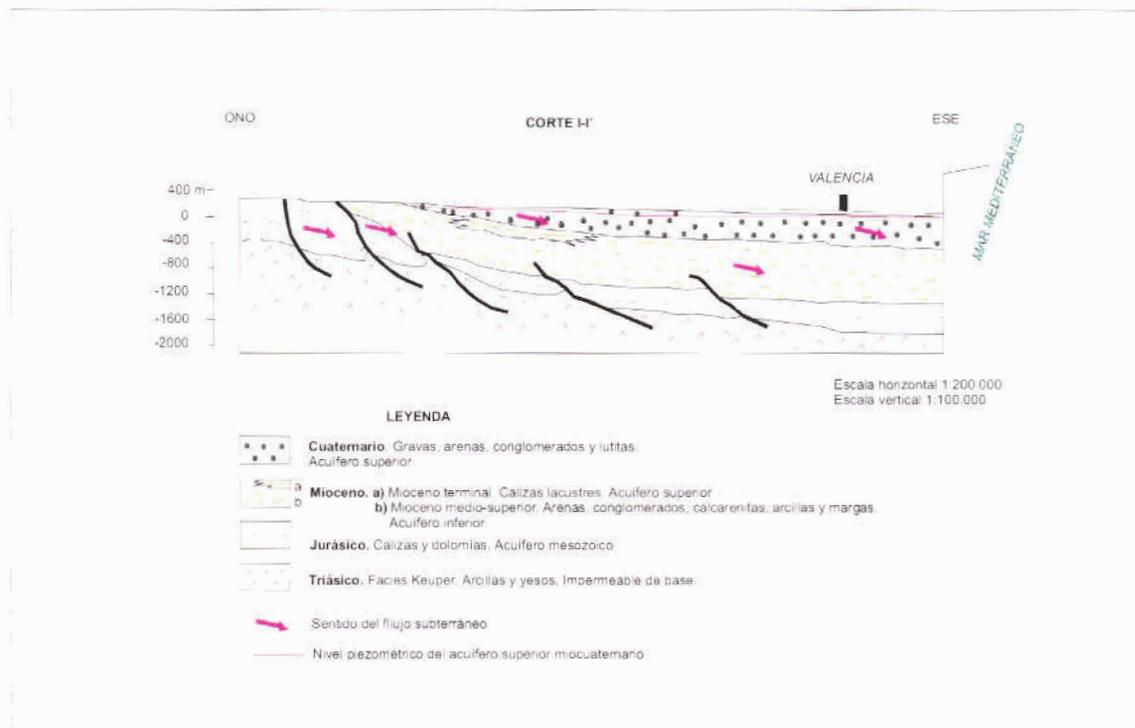


Figura 2.- Corte hidrogeológico

Las entradas al sistema se estiman en 180 hm³/año, repartidas del siguiente modo:

Lluvia: 30 hm³/año

Retornos de riego: 60 hm³/año

Alimentación lateral desde la U.H. 08.20 Medio Palancia: 5 hm³/año

Alimentación lateral desde la U.H. 08.22 Liria-Casinos: 25 hm³/año

Alimentación lateral desde la U.H. 08.23 Buñol-Cheste: 60 hm³/año

Las salidas del sistema se producen mediante bombeos y en régimen natural al mar, Albufera, río Turia y flujo subterráneo a la Plana de Sagunto.

5.5.2. Análisis de la piezometría y su evolución

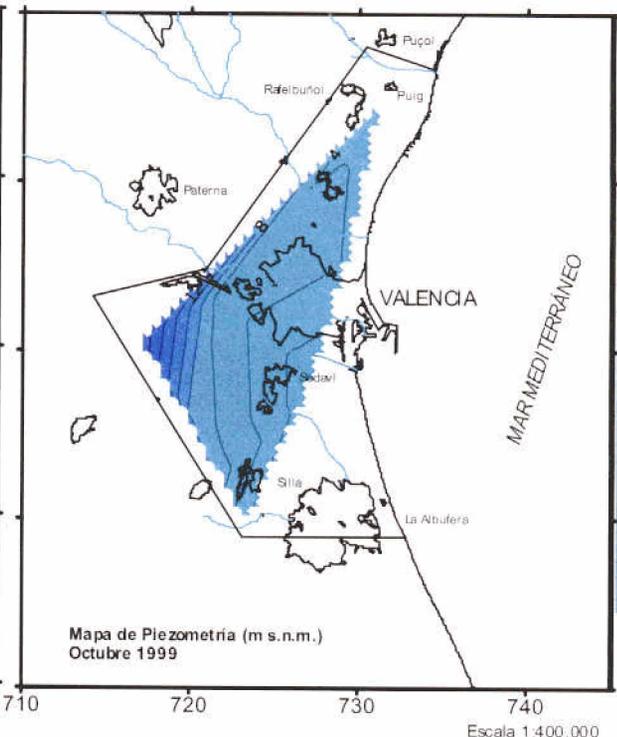
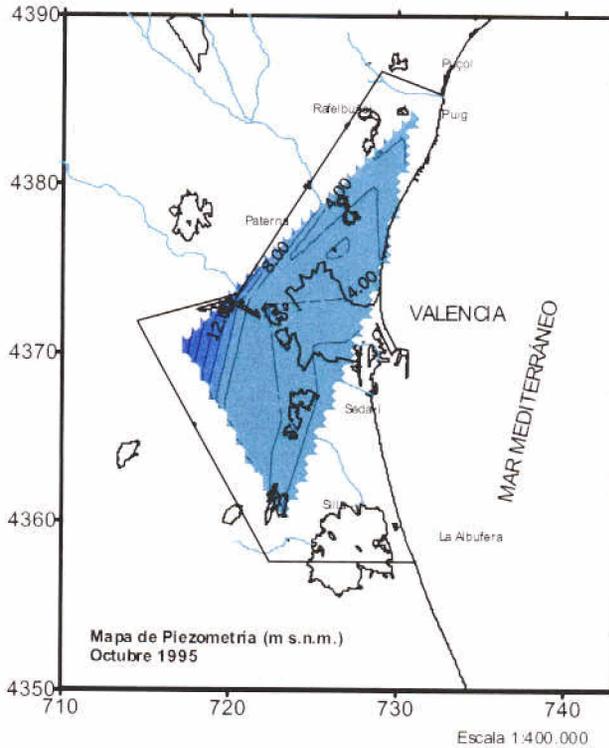
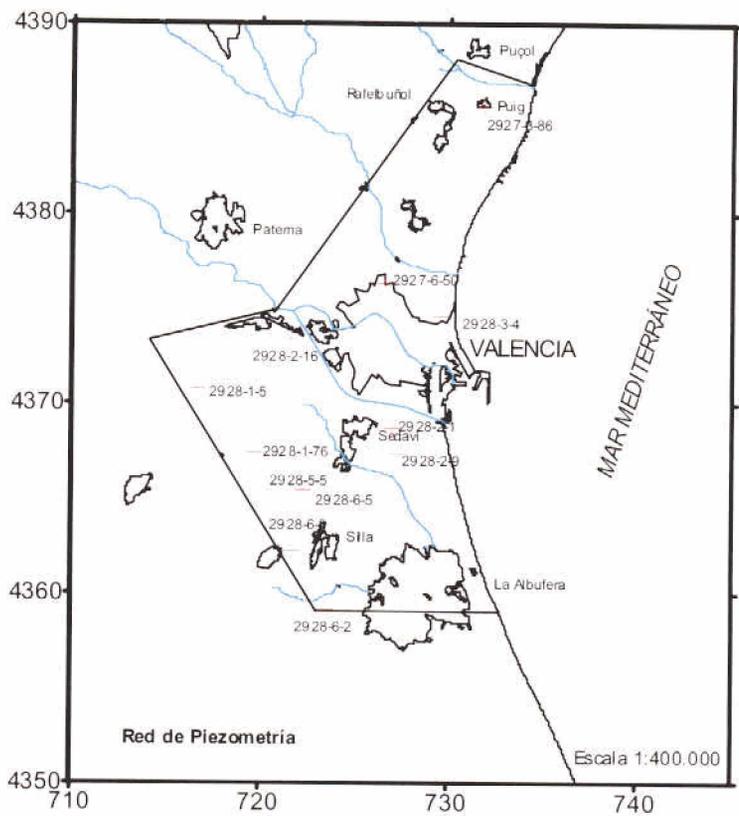
El estudio de la piezometría se ha realizado a partir de los datos de la red de control piezométrico del ITGE. Las cotas piezométricas de la unidad varían entre 17 m s.n.m. en el borde occidental y 0 m s.n.m. al SE de la ciudad de Valencia en una de las zonas de descarga del acuífero 51.01.

En los mapas de isopiezas de octubre de 1.995 y octubre de 1.999 no se aprecian zonas de depresión piezométrica, estando los niveles por encima del nivel del mar. La evolución piezométrica, en el mismo periodo, muestra un predominio de ascenso de niveles en la mayor parte de la unidad, con ascensos máximos de 2,8 m al sur de Torrent y 2 m al sur de Rafelbuñol. Únicamente se producen descensos al norte de la ciudad de Valencia, con depresiones máximas de 0,8 m.

La variación estacional, referida al periodo de mayo a octubre de 1.999 muestra suaves descensos, inferiores a 0,5 m en la mayor parte de la unidad, aunque se llegan a ser de 2 m al sur de Torrent. No obstante el nivel se mantiene siempre sobre el nivel del mar.

Red de piezometría

2927-3-86	731.795	4385.623	6.65	18.00
2927-6-50	726.650	4376.350	14.00	65.00
2928-1-5	716.630	4370.778	57.00	103.20
2928-1-76	719.657	4367.383	38.77	37.75
2928-2-1	727.027	4368.674	4.70	4.95
2928-2-16	721.658	4373.405	28.66	50.90
2928-2-9	727.217	4367.371	2.79	3.25
2928-3-4	729.529	4374.644	6.21	11.20
2928-5-5	719.948	4366.154	31.08	40.00
2928-6-2	723.496	4359.170	4.62	6.85
2928-6-5	722.295	4365.438	17.34	20.00
2928-6-8	721.669	4362.238	15.02	12.25



5.5.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

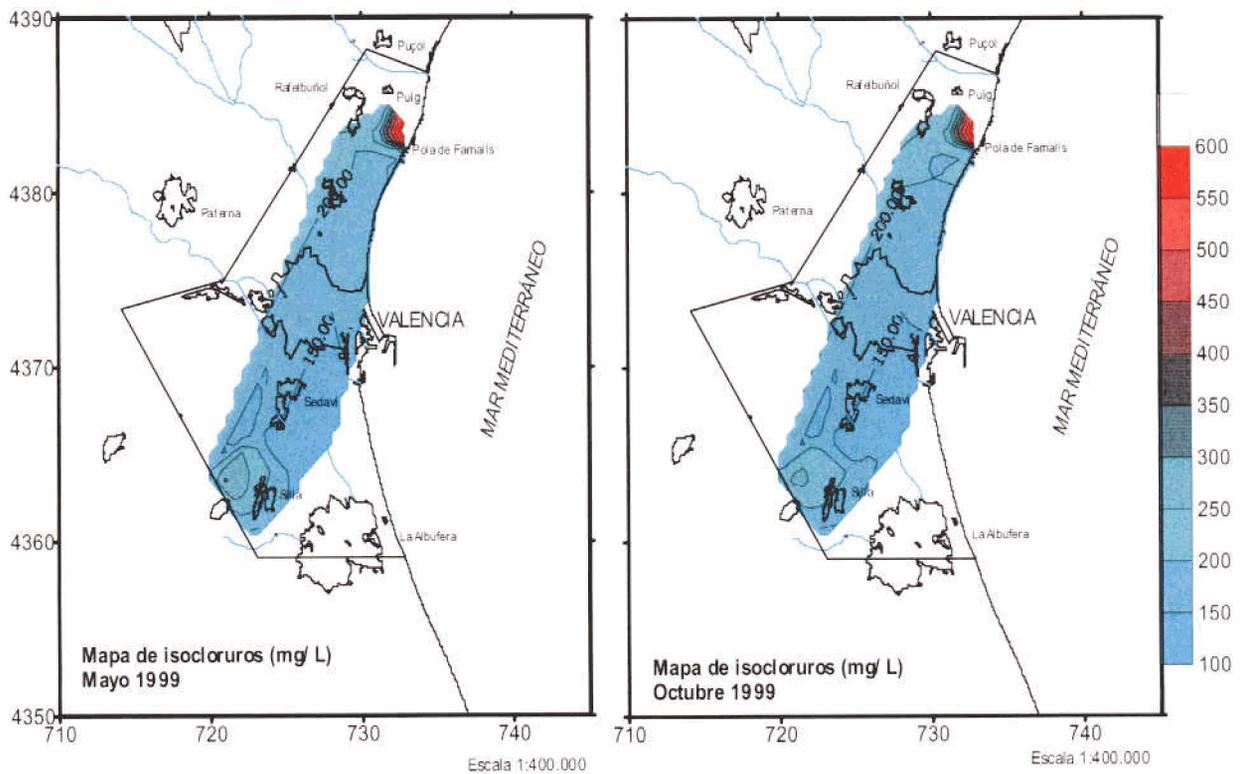
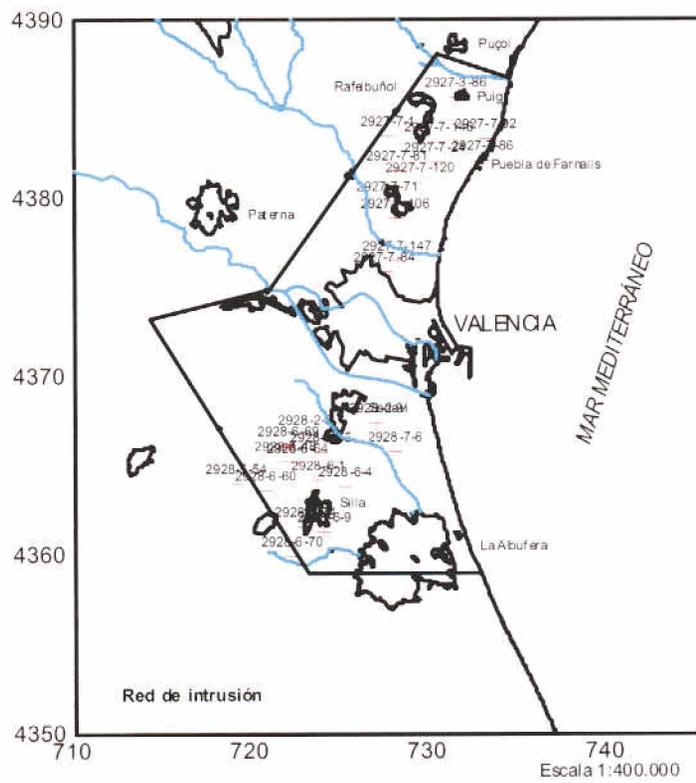
El mejor indicador de contaminación de un acuífero por agua de mar es el ion Cl⁻, al no verse alterado por la circulación del agua a través del acuífero. Una de las principales consecuencias de la intrusión marina es el incremento en la concentración de Cl⁻ en las aguas subterráneas.

En el caso de la U.H. 08.25, los mapas de isocloruros realizados a partir de los datos de la red de intrusión del ITGE, muestran concentraciones inferiores a 350 mg/L, excepto en la localidad de Puebla de Farnalls, donde se llegaron a alcanzar 923 mg/L en octubre de 1.995, en el punto de control 2927-7-0092. Esta situación se mantiene prácticamente constante desde octubre de 1995 a octubre de 1999.

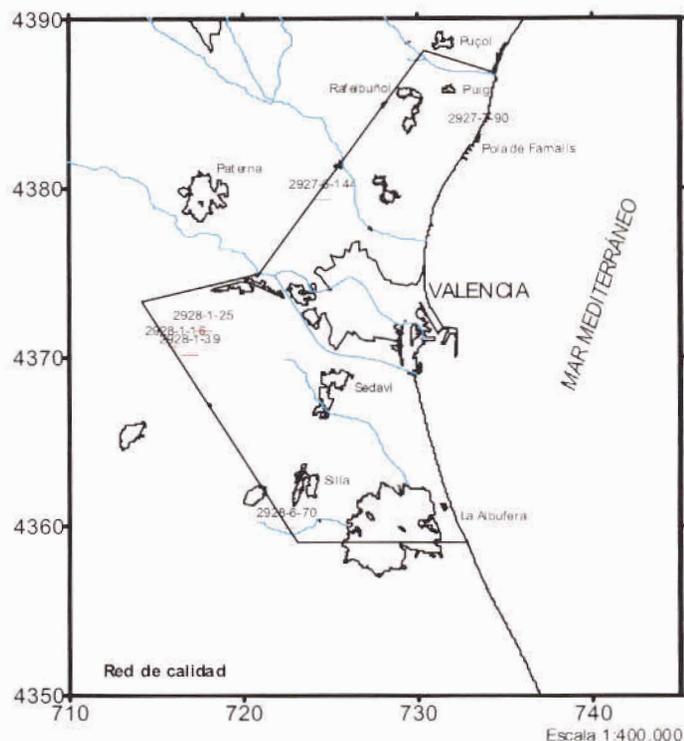
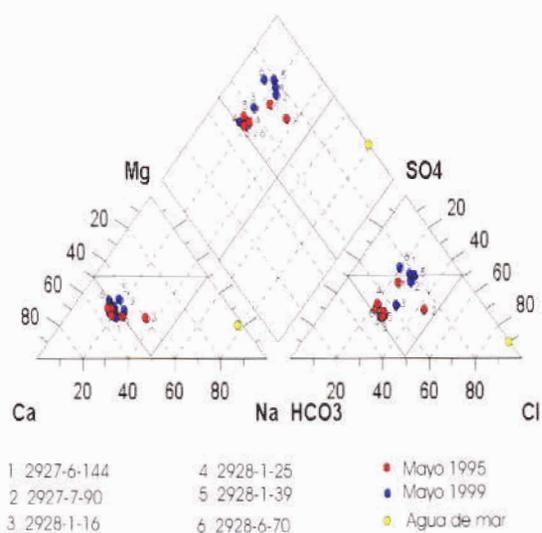
Los mapas de evolución de isocloruros a corto y largo plazo (1 y 4 años respectivamente) muestran en la mayor parte de la unidad una tendencia a disminuir la concentración de cloruros o ligeros incrementos inferiores a 20 mg/L. Una excepción es el área de Silla, donde se produjo un incremento de 60 mg/L entre octubre de 1995 y octubre de 1999. Sin embargo la variación estacional de mayo a octubre de 1999, en este mismo sector, muestra una disminución de 50 mg/L, con una concentración en octubre de 250 mg/L.

Red de intrusión

2927-3-86	731,795	4385,623	6,65	18,00
2927-7-1	727,947	4383,441	17,41	109,00
2927-7-24	730,614	4381,974	8,00	5,00
2927-7-71	727,918	4379,786	16,00	80,00
2927-7-81	728,482	4381,510	17,00	148,00
2927-7-84	727,736	4375,806	6,00	83,00
2927-7-86	733,294	4382,059	1,00	113,00
2927-7-92	733,454	4383,310	2,00	98,00
2927-7-106	728,361	4378,832	11,00	70,00
2927-7-120	729,779	4380,827	7,00	108,00
2927-7-146	730,849	4383,125	8,00	93,00
2927-7-147	728,467	4376,453	7,00	45,00
2928-2-6	723,207	4366,708	17,50	
2928-2-9	727,217	4367,371	2,79	3,25
2928-5-54	719,329	4363,954	38,00	196,00
2928-6-1	723,937	4364,160	5,45	14,35
2928-6-4	725,461	4363,801	2,92	18,00
2928-6-9	724,264	4361,229	5,22	4,50
2928-6-48	722,093	4365,239	18,00	23,00
2928-6-60	720,979	4363,570	20,00	25,50
2928-6-64	722,793	4365,134	14,00	21,00
2928-6-65	724,100	4365,737	10,00	188,00
2928-6-69	722,270	4366,089	20,00	108,00
2928-6-70	722,456	4359,879	14,00	79,50
2928-6-74	723,220	4361,525	10,00	76,00
2928-7-6	728,281	4365,763	5,00	33,00



No se ha encontrado ninguna relación entre la evolución de la piezometría y la evolución de isocloruros, lo que hace suponer que al menos en el sector de Silla, las variaciones en la



5.5.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se muestran los valores de las relaciones iónicas más significativas de los puntos de la red de calidad del ITGE, controlados en 1995 y 1999.

Nº de Punto	rNa/rCl		rMg/rCa		rCl/rHCO ₃		rSO ₄ /rCl	
	Mayo 95	Mayo 99	Mayo 95	Mayo 99	Mayo 95	Mayo 99	Mayo 95	Mayo 99
292760144	1,189	0,969	0,530	0,491	0,800	1,209	1,939	1,910
292770090	0,894	0,943	0,632	0,626	1,587	1,183	0,682	1,608
292810016	0,879	0,704	0,532	0,612	0,575	0,792	0,094	1,074
292810025	1,048	0,721	0,488	0,551	0,481	0,586	1,534	0,910
292810039	0,803	0,737	0,621	0,798	0,589	1,369	1,061	1,745
292860070	0,941	0,707	0,521	0,710	0,473	0,821	1,379	2,759
Agua de mar **	0,837		4,354		216		0,111	

* r= meq/L: ** Agua de mar en Barcelona (Custodio, 1970)

Del análisis de la relación $rCl/rHCO_3$ se observa que todos los puntos presentan valores muy bajos, entre 0,48 y 1,57, estando dentro del rango de las aguas continentales (0,1 a 5). La evolución de este índice entre 1995 y 1999 muestra un ligero incremento, entre 0,15 y 0,780, en todos los puntos (excepto en 2927-7-90 donde disminuye), lo que indica un pequeño aumento en la concentración de cloruros, debido posiblemente a vertidos de aguas residuales. En el punto 2927-7-90, situado en Puebla de Farnalls y afectado por intrusión marina, se produce una disminución del índice, lo que indica un ligero retroceso de la interfase.

Las relaciones rMg/rCa y rSO_4/rCl muestran valores inferiores y superiores, respectivamente, a los del agua del mar, así como fluctuaciones muy pequeñas, lo que indica que no existe una apreciable influencia de agua de mar.

Con respecto a índice rNa/rCl , valores inferiores al del agua del mar unido a altas concentraciones en cloruros indican una posible contaminación marina. Los puntos situados en el sector norte de la unidad, 2927-6-144 y 2927-7-90 (Moncada y Puebla de Farnalls respectivamente) presentan valores superiores al agua del mar. Sin embargo los valores de los puntos situados en los sectores central y meridional de la unidad (zonas de Aldaya y Silla), que en 1995 eran superiores al del agua del mar, experimentan una disminución hasta ser ligeramente inferiores, indicando un aumento de la salinidad. Sin embargo las concentraciones en cloruros, entre 200 y 300 mg/L, no responden a una contaminación por agua de mar, debiendo atribuirse a incrementos puntuales originados posiblemente por vertidos de aguas residuales.

5.5.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

La unidad 08.25 Plana de Valencia Norte, presenta en general una calidad regular, debido principalmente a los altos contenidos en nitratos y sulfatos, como consecuencia del uso de fertilizantes, destacando el área de Moncada como la zona más degradada, donde se llegan a duplicar las concentraciones máximas permitidas, en dichos iones, por la Reglamentación Técnico Sanitaria de 1990 para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público.

Con respecto a la intrusión marina, el único área afectada es el de Puebla de Farnalls, donde existe un domo salinizado en el que las concentraciones de cloruros alcanzaron los 923 mg/L en octubre de 1995 (punto 2927-7-92). El origen de este domo salinizado parece estar relacionado con la alta concentración de captaciones presentes en el municipio, utilizadas para satisfacer una elevada demanda motivada por la ocupación turística.

En el resto del acuífero no se aprecia afección, si bien en el área de Silla aparecen concentraciones ligeramente superiores a la media de la unidad, próximas a 350 mg/L. No obstante, los valores que adquieren los índices hidroquímicos en este sector hacen pensar que el origen de esta salinidad pueda estar relacionado con el vertido de aguas residuales.

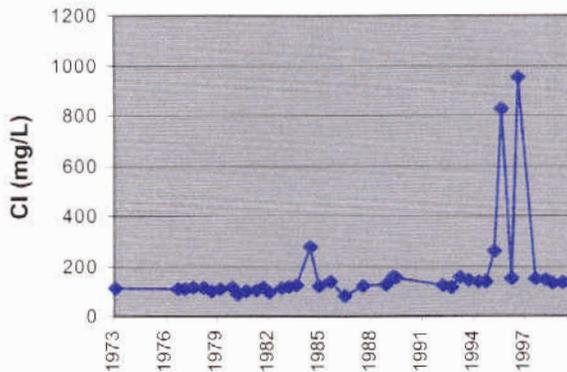
5.5.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

Los datos extraídos de las redes de control del ITGE, no muestran variaciones significativas al alza en la concentración de cloruros en la U.H 25, siendo la tendencia predominante, a corto y largo plazo, una estabilización e incluso una disminución de las concentraciones. Una excepción es el sector de Silla, donde se ha producido un incremento de 60 mg/L en los últimos cuatro años. No obstante este incremento se atribuye posiblemente a vertidos de aguas residuales.

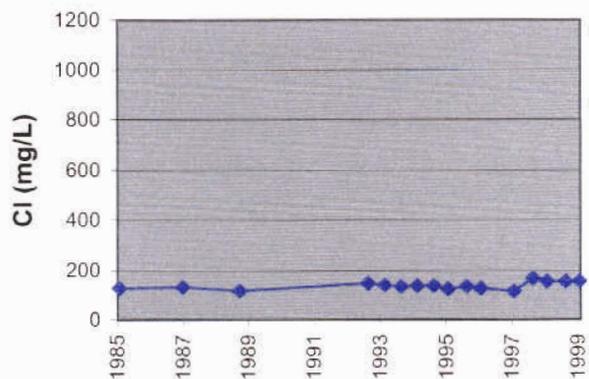
En el área de Puebla de Farnalls, la única afectada por intrusión marina en octubre de 1995 y 1996, con picos de concentraciones en cloruros de 830 y 955 mg/L respectivamente, se ha

producido una disminución en la concentración en los últimos cuatro años, sin que se hayan detectado nuevas subidas estacionales.

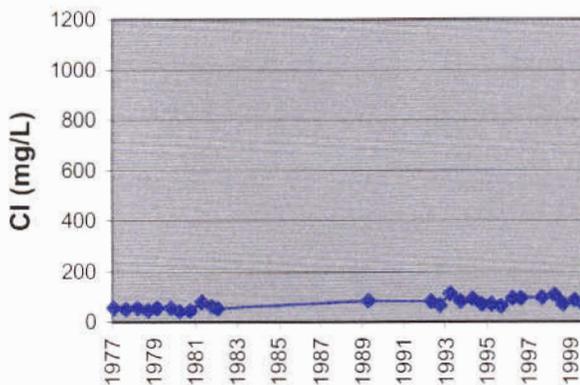
**Evolución CI Punto 2927-7-90
Puebla de Farnalls**



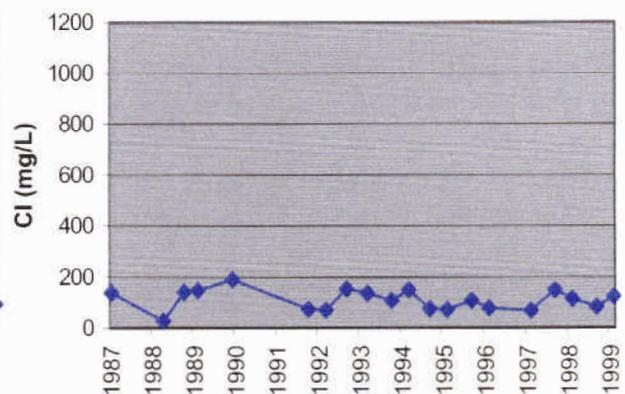
**Evolución CI Punto 292760144
Moncada**



**Evolución CI Punto 2928-1-39
Aldaya**



**Evolución CI Punto 2928-6-70
Silla**



La problemática de la zona de Puebla de Farnalls reside en la alta concentración de captaciones, a escasos metros de la línea de costa, ya que la mayor parte de los bloques de viviendas disponen de un sondeo propio. Las extracciones intensivas en la época estival, coincidiendo con la máxima ocupación turística, provocan el ascenso de un domo salinizado, disminuyendo drásticamente la concentración en cloruros cuando cesan los bombeos y se recupera el nivel piezométrico. No se observa por lo tanto un domo salinizado permanente. De este modo, la previsión futura en este área, es que existirán problemas puntuales de intrusión salina siempre que se produzcan bombeos masivos. En el caso de que persistan los bombeos estacionales, se prevé un incremento paulatino de la concentración de cloruros debido a un deterioro progresivo del acuífero, siendo cada vez menor la capacidad natural de lavado.

5.6. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.26 PLANA DE VALENCIA SUR

5.6.1. Descripción hidrogeológica

Esta unidad hidrogeológica es asimilable a un acuífero detrítico multicapa en el que los niveles permeables se agrupan en dos tramos bien diferenciados:

- Tramo superior o acuífero miocuaternario

Está constituido por niveles de gravas, arenas, conglomerados y limos, intercalados en una formación limo-arcillosa del Cuaternario, pudiendo aparecer hacia la base calizas lacustres del Mioceno terminal. Todo el conjunto litológico representa depósitos continentales y mixtos (continental-litoral). La potencia máxima de este tramo es de 200 metros, al norte de la Albufera, disminuyendo hasta 10-50 metros en los sectores de Benifayó-Alcudia y Carlet-Alginet.

Desde el punto de vista del funcionamiento hidráulico, se considera al conjunto del tramo como un acuífero libre. La transmisividad media es de 2.000 a 3.500 m²/día en la zona de la Albufera, siendo inferior a 500 m²/día en las zonas de borde y al norte de Sueca. El coeficiente de almacenamiento oscila entre el 5% de la zona de la Albufera-Cullera, y el 20 % en el sector central de la unidad.

- Tramo inferior o acuífero mioceno

Está constituido por conglomerados, areniscas, calcarenitas y calizas bioclásticas, intercaladas en una formación margo-arcillosa, distinguiéndose depósitos continentales y depósitos de transición hacia una plataforma interna somera, de edad Mioceno medio-superior. La potencia del conjunto oscila entre 20 y 200 metros al sur de la Albufera. Debido al predominio de litologías margosas, este tramo actúa como impermeable de base del acuífero cuaternario.

El funcionamiento hidráulico del acuífero mioceno es asimilable a un acuífero semiconfinado, existiendo cierta recarga desde el acuífero cuaternario. La transmisividad oscila entre 200 y 1.500 m²/día en el sector de Solana-Sueca, y entre 100 y 300 m²/día al norte de Carlet y en el sector NO de la unidad. El coeficiente de almacenamiento tiene un rango de 10⁻³ a 10⁻⁴, en base a los ensayos de bombeo, y 10⁻² a 5 x 10⁻² según los modelos matemáticos.

El impermeable de base del conjunto de la unidad 08.26, está constituido por las margas y arcillas del Mioceno inferior- Oligoceno, y en ocasiones por las margas, arcillas y yesos del Keuper.

Los límites hidrogeológicos de la unidad son los siguientes:

- Norte: Límite abierto de la Albufera. Conexión con la Plana de Valencia Norte (U.H. 08.25).
- Sur: Límite abierto, entre Manuel y Favareta. Conexión con la U.H. 08.31 Sierra de Las Agujas.
- Este: Límite abierto al Mar Mediterráneo.

- Oeste: Acuífero mioceno abierto a la U.H. 08.27 Caroch Norte, pudiendo ser localmente cerrado, dependiendo de la litología de los afloramientos y subafloramientos. Acuífero cuaternario abierto entre el río Sellent y Masalavés.

El flujo subterráneo se dirige hacia el mar, con una dirección predominante OSO-ESE, aunque se producen notables modificaciones por concentraciones de bombeos y por la descarga natural del acuífero cuaternario a los ríos Júcar y Verde, así como a la Albufera.

Las entradas estimadas a la unidad son unos 250 hm³/año, repartidos del siguiente modo:

- Infiltración de agua de lluvia: 60 hm³/año.
- Retorno de riego: 150 hm³/año.
- Alimentación lateral desde la U.H. 08.27 Caroch Norte: 20 hm³/año.
- Alimentación lateral desde la U.H. 08.31 Sierra de las Agujas: 20 hm³/año.

Las salidas se estiman en 300 hm³/año, repartidos de la siguiente manera:

- Bombeos: 100 hm³/año.
- Drenaje al río Júcar: 170 hm³/año.
- Drenaje al río Verde: 10 hm³/año.
- Drenaje a la Albufera: 13 hm³/año.
- Salidas al mar: 7 hm³/año.

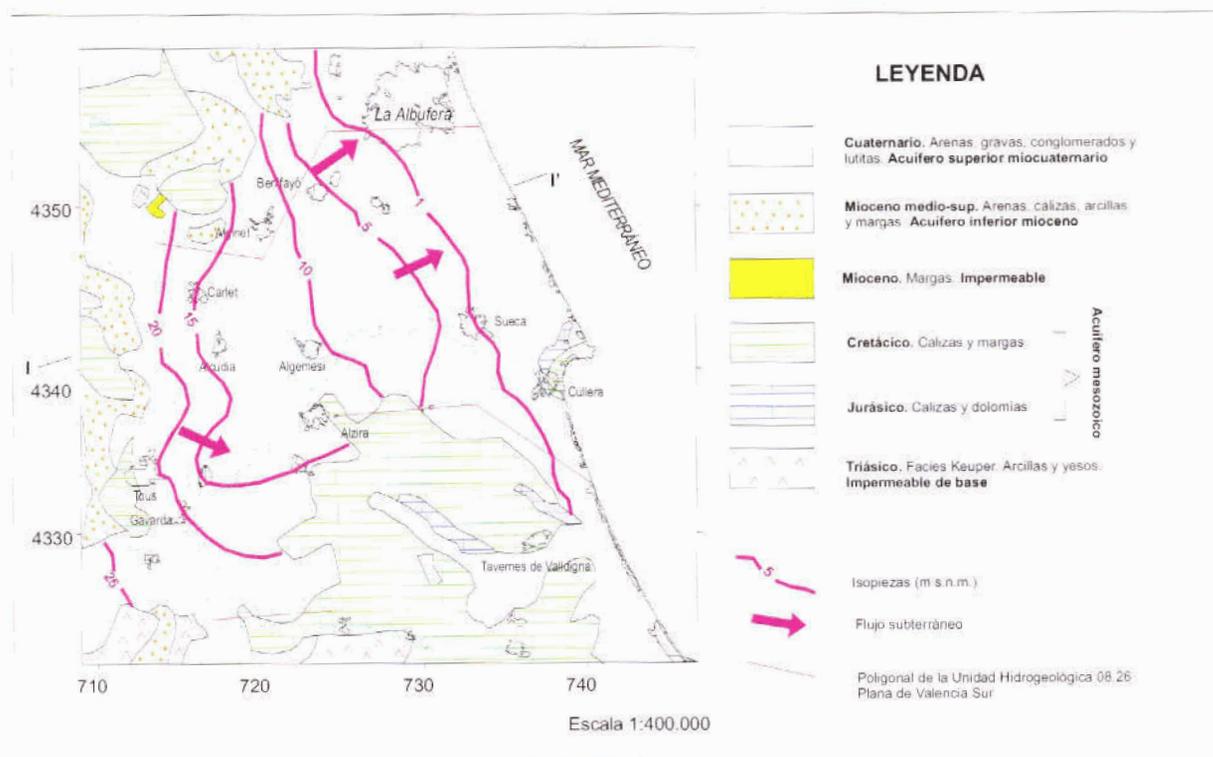


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico

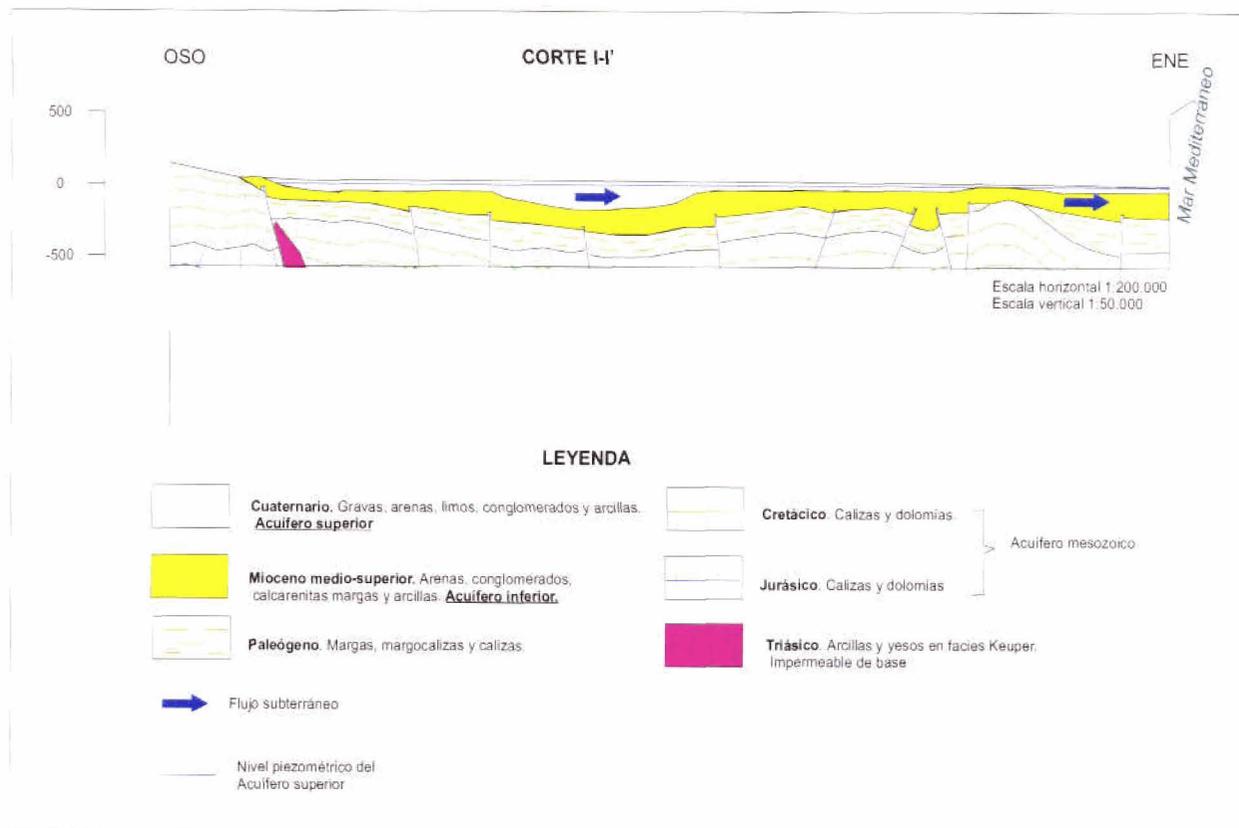


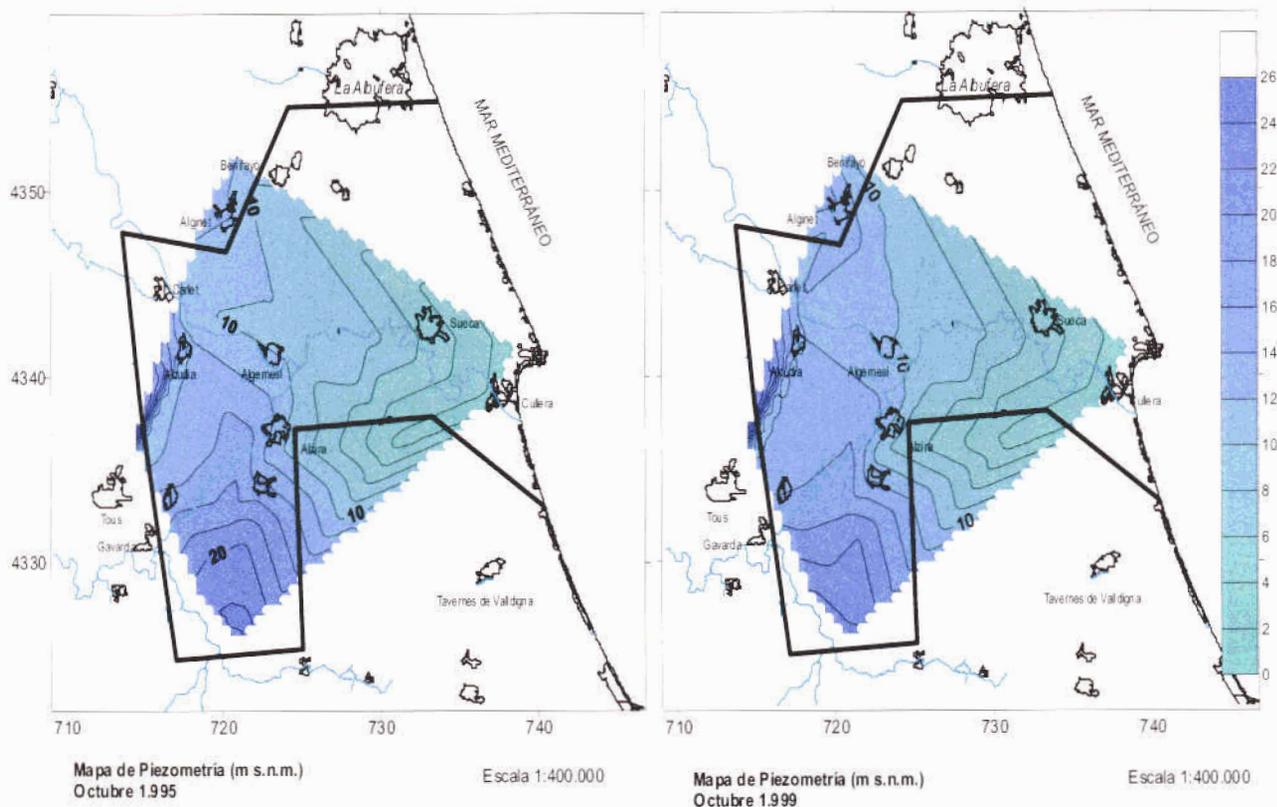
Figura 2.- Corte hidrogeológico

5.6.2. Análisis de la piezometría y su evolución

El estudio de la piezometría se ha realizado a partir de los datos de la red de control piezométrico del IGME. Las cotas piezométricas de la unidad oscilan entre 26 m s.n.m. en los bordes oeste y sur de la unidad, coincidiendo con las zonas de descarga del acuífero al río Júcar, y 0 m s.n.m. e la zona costera comprendida entre Cullera y La Albufera.

El flujo subterráneo se dirige hacia el río Júcar en el sector comprendido entre las localidades de Manuel-Alzira-Alcudia, correspondiendo a un tramo efluente del mismo, mientras que al este del meridiano de Alzira, el flujo se dirige hacia el mar Mediterráneo.

En los mapas de isopiezas de octubre de 1.995 y octubre de 1.999, no se aprecian cotas piezométricas por debajo del nivel del mar. La evolución piezométrica durante el mismo periodo, muestra descensos máximos de 3,5 metros al sur de Alzira y Carcaixent, mientras que en el sector nororiental de la unidad, se producen ascensos de hasta 2 metros. La variación estacional, referida al periodo mayo-octubre de 1.999 muestra ligeras variaciones, casi siempre inferiores a 0,5 metros.



5.6.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El mejor indicador de contaminación salina de un acuífero es el ion Cl^- , al no verse alterado por la circulación del agua a través del acuífero. Las principales fuentes de aportación de este ion a las aguas subterráneas son la intrusión marina y la existencia de evaporitas en el subsuelo. Asimismo cabe considerar aportes puntuales como consecuencia de vertidos de aguas residuales urbanas. En el caso de la U.H. 08.26 hay que destacar la existencia de materiales triásicos con evaporitas en el borde suroeste y oeste de la misma, y la presencia del mar en el borde este.

Para abordar el problema se han realizado mapas de isocloruros y de variación de isocloruros a partir de los datos de la red de intrusión del IGME.

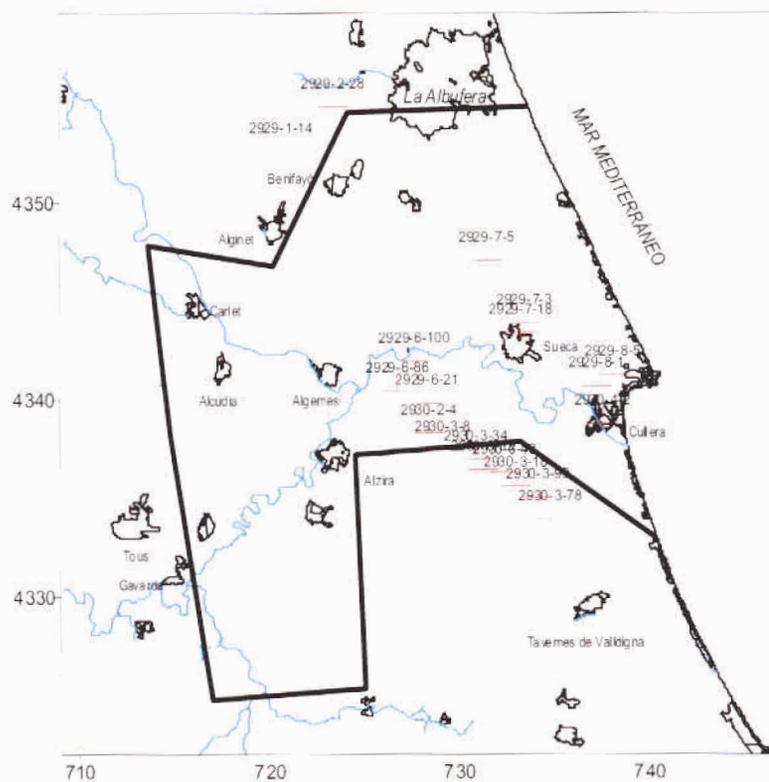
Los mapas de isocontenidos en cloruros de mayo y octubre de 1.999 muestran concentraciones inferiores a 300 mg/L al oeste de la localidad de Sueca. Sin embargo hacia el sureste, en dirección a la costa, las concentraciones se incrementan rápidamente hasta alcanzar los 753 mg/L en el punto 2929-8-5, al norte de Cullera. La ausencia de datos al noreste del punto de control 2929-7-5 (ubicado al norte de Sueca) impide tener una visión completa de la situación en el tramo costero situado inmediatamente al sur de La Albufera.

Los mapas de variación de cloruros a corto y largo plazo (1 y 4 años respectivamente), muestran una estabilización de la concentración al oeste del meridiano de Sueca, con ligeras variaciones inferiores a ± 50 mg/L. Las mayores variaciones se producen al norte de Cullera,

en el sector de la Montaña de Cullera, donde se registran incrementos netos cercanos a 450 mg/L entre 1.995 y 1.999 y de 300 mg/L entre 1.998 y 1.999.

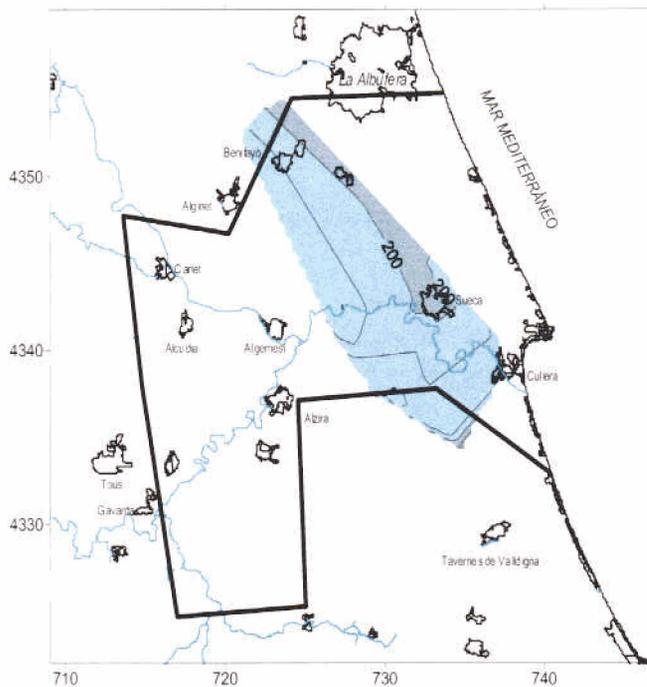
Red de intrusión

PUNTO	UTM X	UTM Y	Cota (m s.n.m.)	Profundidad (m)
2929-1-14	720,739	4352,581	47,21	
2929-2-28	723,461	4354,839	8,00	55,04
2929-6-21	728,395	4339,824	14,67	30,00
2929-6-86	726,823	4340,434	18,00	8,50
2929-6-100	727,712	4341,956	12,00	66,00
2929-7-3	733,536	4343,900	4,05	100,00
2929-7-5	731,559	4347,066	2,71	30,00
2929-7-18	733,331	4343,401	3,50	96,00
2929-8-1	737,315	4340,674	13,49	14,59
2929-8-5	738,171	4341,270	18,60	21,82
2930-2-4	728,483	4338,296	11,66	7,64
2930-3-8	729,202	4337,441	18,00	31,44
2930-3-18	733,042	4335,641	10,97	15,50
2930-3-32	731,296	4336,452	13,38	32,00
2930-3-34	730,950	4336,980	7,00	29,50
2930-3-48	732,447	4336,296	8,53	28,00
2930-3-78	734,856	4333,928	8,00	5,00
2930-3-99	734,214	4335,034	10,00	64,00
2930-4-2	737,625	4338,770	4,55	5,60



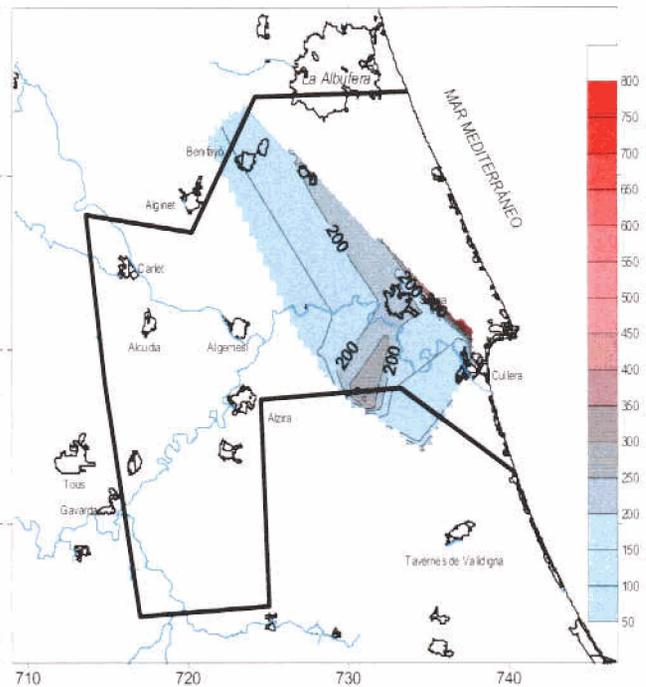
Red de intrusión

Escala 1:400.000



Mapa de isocloruros (mg/L)
Mayo 1.999

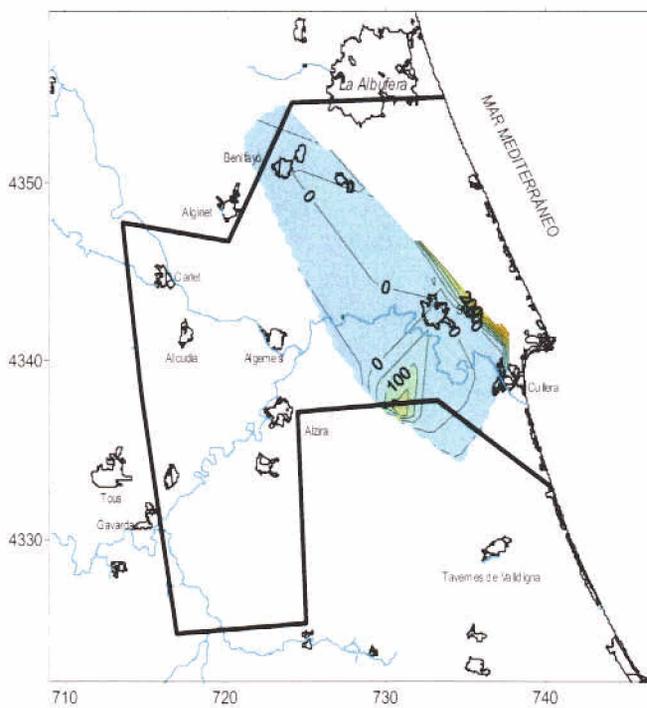
Escala 1:400.000



Mapa de isocloruros (mg/L)
Octubre 1.999

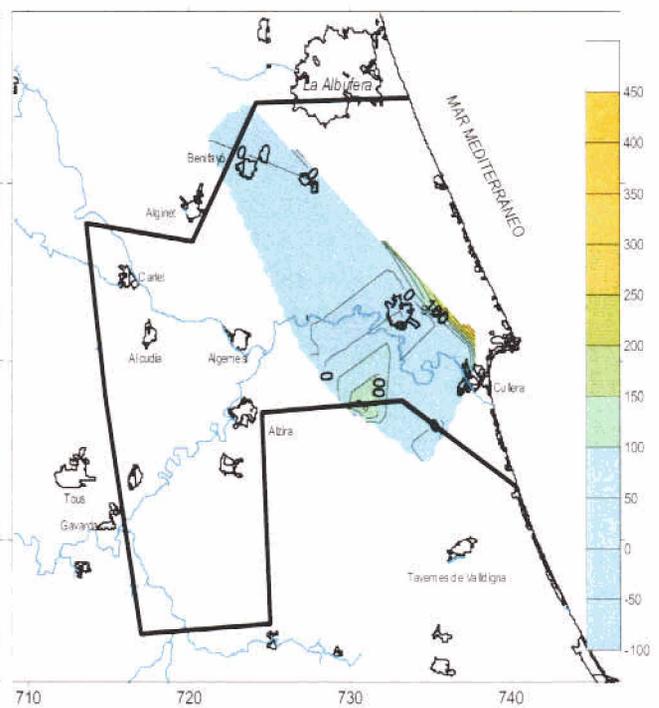
Escala 1:400.000

No se ha encontrado ninguna relación entre la evolución de la piezometría y la variación de la concentración de cloruros, ni a corto ni a largo plazo. No obstante, en el sector norte de Cullera, la dirección que adquieren las líneas de isocloruros y de su variación, paralela a la línea de costa, hace pensar en un incremento relacionado con el avance de la cuña salina.



Variación de la concentración de
Cloruros (mg/L)
Octubre 1.995-Octubre 1.999
(+ incremento, - descenso)

Escala 1:400.000



Variación de la concentración de
Cloruros (mg/L)
Octubre 1.998-Octubre 1.999
(+ incremento, - descenso)

Escala 1:400.000

5.6.4. Caracterización de facies hidroquímicas

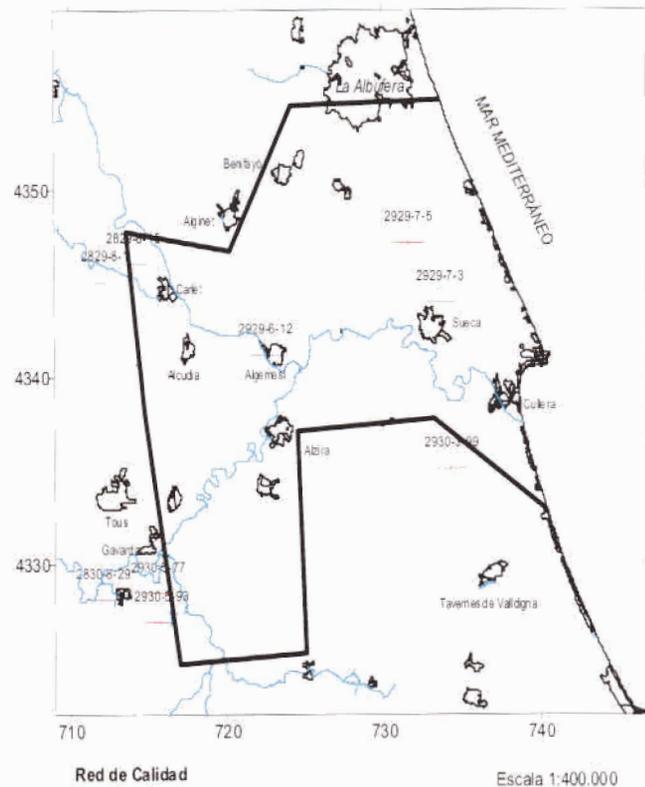
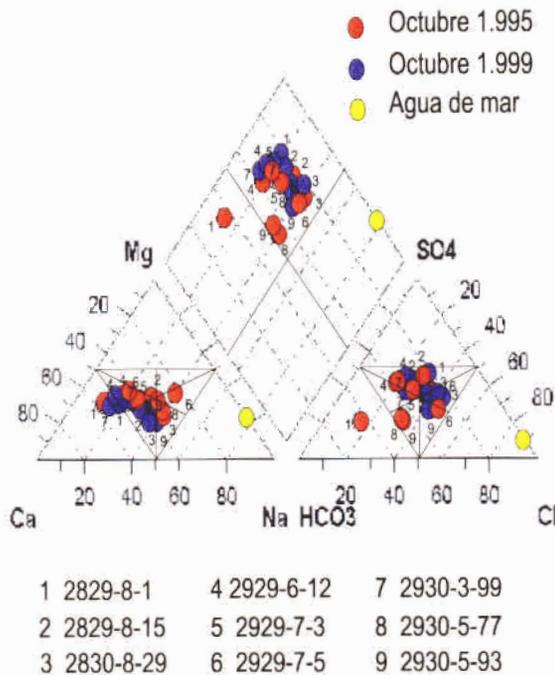
En el diagrama de Piper adjunto, se han representado los puntos de la red de calidad para los años 1.995 y 1.999.

Los puntos 2829-8-1 (1), y 2829-8-15 (2), están situados al oeste de Carlet, siendo por lo tanto representativos del sector occidental de la unidad (a unos 26 km de distancia de la costa). El punto (1) evoluciona desde facies bicarbonatadas cálcicas hacia sulfatocloruradas cálcicas, mientras que el punto (2) lo hace desde facies sulfatobicarbonatadas manesico-cálcicas a sulfatobicarbonatadas cálcico-sódicas. En ambos casos se detecta el posible aporte de sulfatos ocasionados por prácticas agrícolas (aplicación de productos fitosanitarios), así como la afección por vertidos de aguas residuales urbanas (aporte de cloruros y sodio).

Los puntos 2830-8-29 (3), 2930-5-77 (8) y 2930-5-93 (9), situados al sur de Gavarda, son representativos del sector suroccidental de la unidad (a 34 km de la línea de costa). El punto (3) evoluciona desde facies clorurosulfatadas sodicocálcicas a clorurosulfatadas calcicosódicas. El punto (8) lo hace de bicarbonatocloruradas sódicocálcicas a sulfatocloruradas calcicosódicas. El punto (9) evoluciona desde facies bicarbonatocloruradas sódicocálcicas a clorobicarbonatadas sódicocálcicas. En todos los casos se observa un predominio de los aniones cloruro y sulfato y los cationes sodio y calcio. El origen de estas facies se encuentra en la proximidad de la alineación diapírica triásica Navarrés-Jativa, situada a escasos kilómetros al sur de los puntos de control, así como los aportes que proceden del río Sellent, que discurre, aguas arriba de los puntos de control, a través del Keuper.

El punto 2929-6-12 (4), situado al oeste de Algemesí, es representativo del sector central de la unidad. Este punto presenta una facies sulfatobicarbonatadas calcicomagnésica tanto en 1.995 como en 1.999. El alto contenido en nitratos (64 mg/L), indica que el aporte de sulfatos puede proceder de prácticas agrícolas.

Los puntos 2929-7-3 (5), 2929-7-5 (6) y 2930-3-99 (7), situados a una distancia de 1,8 km de la línea de costa, son representativos del sector oriental de la unidad, siendo el más susceptible de sufrir contaminación por intrusión marina. Los puntos (5) y (7), situados al norte de Sueca y suroeste de Cullera, respectivamente, presentan facies sulfatobicarbonatadas calcicomagnésicas, tanto en 1.995 como en 1.999, sin que se aprecie ninguna evidencia de contaminación por intrusión. Sin embargo el punto (6), situado al norte del punto (5), presenta facies clorurosulfatadas sodicomagnésicas que evolucionan a facies clorurosulfatadas calcicosódicas.



5.6.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se muestran los valores de las relaciones iónicas más significativas de los puntos de la red de calidad del IGME, controlados en 1.995 y 1.999.

Nº de Punto	rNa/rCl		rMg/rCa		rCl/rHCO ₃		rSO ₄ /rCl	
	Oct. 95	Oct. 99	Oct. 95	Oct. 99	Oct. 95	Oct. 99	Oct. 95	Oct. 99
282980001	0,897	0,736	0,556	0,629	0,233	1,366	1,402	1,544
282980015	1,074	0,960	1,018	0,743	1,197	1,185	1,494	1,580
283080029	1,146	0,903	0,713	0,521	1,462	1,960	1,020	0,773
292960012	1,078	0,828	0,799	0,707	0,515	0,675	2,212	2,092
292970003	1,093	0,825	0,743	0,754	0,858	0,957	1,606	1,477
292970005	0,922	0,842	1,579	0,714	1,577	1,585	0,637	0,822
293030099	1,044	0,804	0,866	0,595	0,632	0,625	2,088	1,854
293050077	1,208	0,987	0,794	0,675	0,706	1,254	0,684	1,034
293050093	1,229	0,989	0,962	0,624	0,706	1,261	0,704	0,678
Agua de mar **	0,837		4,354		216		0,111	

* r=meq/L; ** Agua de mar en Barcelona (Custodio, 1970)

A partir del análisis de la relación $rCl/rHCO_3$ se observa que todos los puntos presentan valores muy bajos, entre 0,233 y 1,960, estando dentro del rango de las aguas continentales (0,1 a 5). La evolución de este índice entre octubre de 1.995 y octubre de 1.999 muestra una ligera tendencia a aumentar en casi todos los puntos. Estos aumentos son prácticamente inapreciables en los puntos más próximos a la costa (0,099 en el punto 2929-7-0003, y 0,008 en el punto 2929-7-0005), disminuyendo incluso en el punto 2930-3-0099.

Las relaciones rMg/rCa y rSO_4/rCl muestran valores netamente inferiores y superiores, respectivamente, a los del agua del mar, indicando que no existe influencia marina.

La relación rNa/rCl muestra valores similares a los del agua del mar, con una ligera tendencia a disminuir de 1.995 a 1.999. Sin embargo las bajas concentraciones en cloruros, inferiores a 250 mg/L en todos los casos, hace descartar la mezcla con agua marina.

5.6.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

La unidad 08.26 Plana de Valencia Sur, presenta en general una calidad regular, debido principalmente a los altos contenidos en sulfatos, nitratos y magnesio. En el sector NO de la unidad se superan los límites establecidos por la Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) de 1.990 para el abastecimiento y control de calidad de aguas potables de consumo público, en los iones Mg^{2+} , SO_4^{2-} y NO_3^- , detectándose un deterioro de la calidad de 1.995 a 1.999. En el sector SO se cumplen en 1.999 las concentraciones establecidas por la RTS, produciéndose una mejora de la calidad desde 1.995. En el sector central de la unidad, se superan los límites de Mg^{2+} , SO_4^{2-} y NO_3^- , tanto en 1.995 como en 1.999. En el sector costero, se superan los límites de Mg^{2+} y SO_4^{2-} . Las elevadas concentraciones en sulfatos, nitratos y magnesio pueden atribuirse a prácticas agrícolas, como el uso abusivo de fertilizantes y productos fitosanitarios.

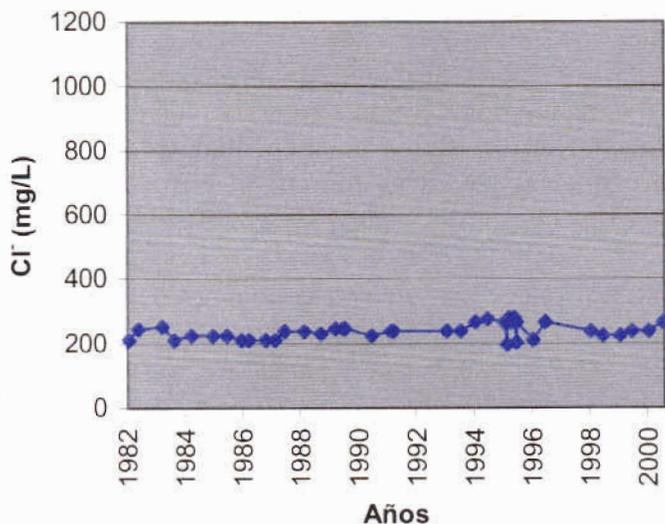
Con respecto a la intrusión marina, los mapas de isocontenidos en cloruros de mayo y octubre de 1.999 muestran concentraciones inferiores a 300 mg/L al oeste de la localidad de Sueca. Sin embargo hacia el sureste, en dirección a la costa, las concentraciones se incrementan rápidamente hasta alcanzar los 753 mg/L en el punto 2929-8-5, situado a 900 m de la costa, al norte de Cullera.

En el resto del acuífero no se aprecia afección por intrusión marina.

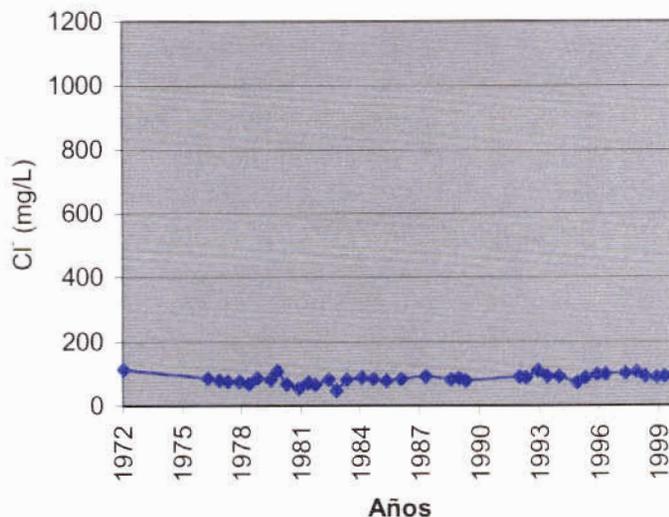
5.6.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

Los mapas de evolución de cloruros no muestran variaciones significativas en la mayor parte del acuífero. Cabe hacer una excepción en el sector situado al norte de Cullera, donde se ha producido un incremento de 400 mg/L entre octubre de 1.995 y octubre de 1.999.

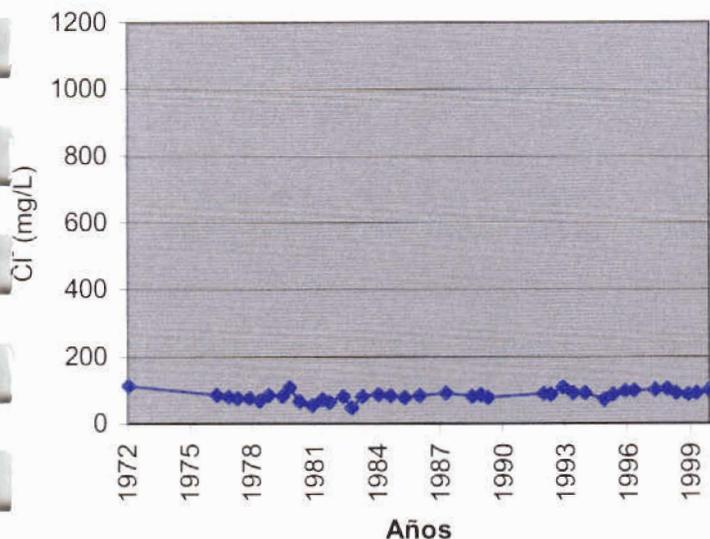
**Evolución Cl⁻ Punto 2929-7-5
(Norte de Sueca)**



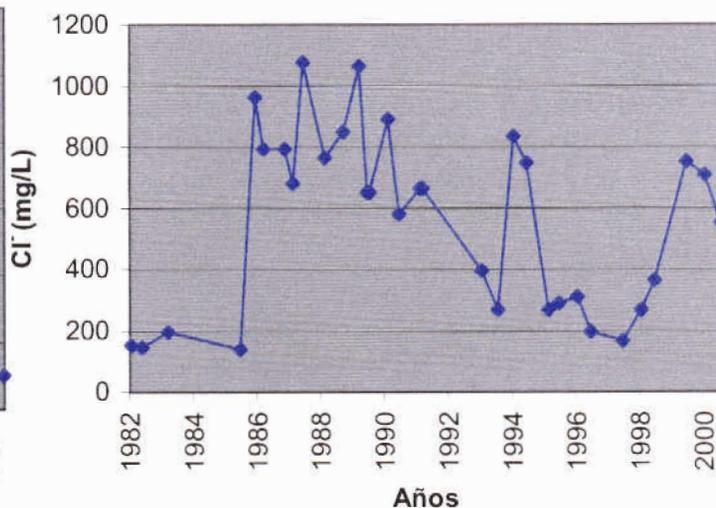
**Evolución Cl⁻ Punto 2929-6-12
Algemesí**



**Evolución Cl⁻ Punto 2929-6-12
Algemesí**



**Evolución Cl⁻ Punto 2929-8-5
Cullera**



El gráfico de evolución de evolución de cloruros del pozo-sondeo 2929-8-0005, situado en la estribación septentrional de la Montaña de Cullera, muestra importantes variaciones anuales, de hasta 800 mg/L, desde el año 1.985. El motivo aparente de esta pauta evolutiva es la reprofundización del pozo, de 16,82 m a 21,82 m, lo que habría originado la captación del acuífero kárstico mesozoico, el cual se encuentra probablemente conectado con el mar.

En conclusión se puede decir que en conjunto la Unidad Hidrogeológica 08.26 Plana de Valencia Sur no se encuentra afectada por intrusión marina, aunque en el sector de Cullera se debe evitar la perforación y los bombeos en los materiales mesozoicos.

5.7. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.38 PLANA DE GANDIA-DENIA

5.7.1. Descripción hidrogeológica

Se trata de un acuífero de carácter detrítico, cuya superficie es de unos 250 km², constituido por sedimentos de edad cuaternaria correspondientes a depósitos continentales, marinos y mixtos formados por niveles de gravas y arenas embutidos en una matriz limo-arcillosa. Estas formaciones descansan de forma indistinta sobre materiales cretácicos y terciarios; en el primer caso constituyen la continuación en profundidad de los acuíferos carbonatados de borde, mientras que en el segundo las formaciones margosas terciarias conforman la base impermeable del acuífero.

Los límites de unidad son en su mayor parte abiertos; por el norte limita con la unidad de la Plana de Valencia y la Sierra de las Agujas, al oeste con las unidades de Almirante-Mustalla, Sierra Grossa y Almudaina-Alfaro-Mediodía-Segaría, mientras que al sur contacta con la unidad Peñón-Montgó-Bernia; por último al este limita con el mar Mediterráneo.

El espesor de los sedimentos pliocuaternarios aumenta en dirección a la costa, con potencias medias en torno a los 100-150 metros y máximos entre 250 y 300 metros en la desembocadura del río Serpis.

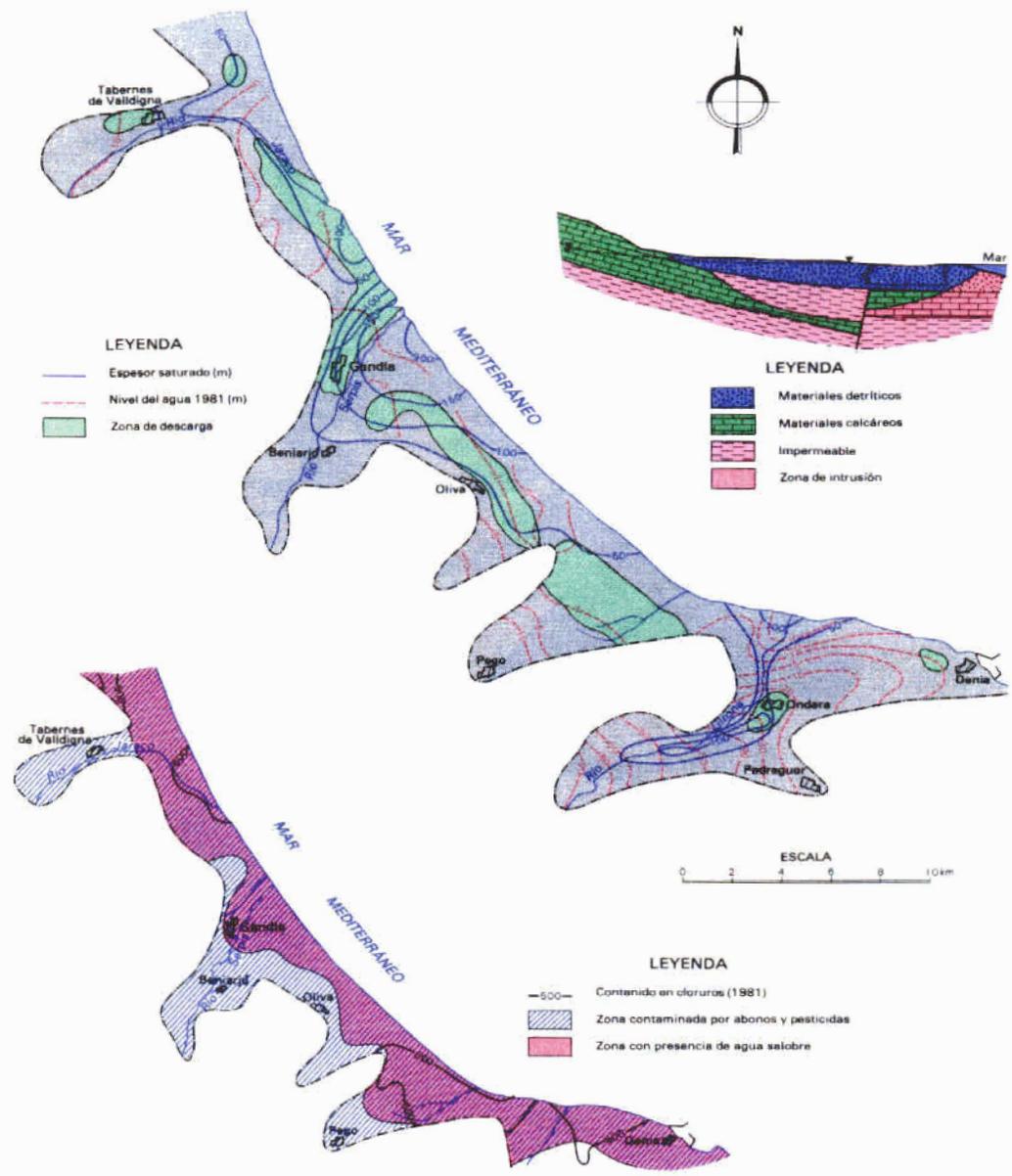
El flujo subterráneo tiene en general una componente oeste-este, desde el interior hacia el mar, con la existencia puntual de zonas con piezometría deprimida por efecto de la concentración de explotaciones.

El acuífero se comporta como un embalse regulador que recibe una aportación lateral de las formaciones acuíferas carbonatadas de borde y una infiltración vertical procedente de la lluvia y de las aguas de regadío, así como de la recarga de los ríos Girona y Serpis. La descarga se realiza por salidas directas al mar, a través de extracciones por bombeos y por emergencias naturales.

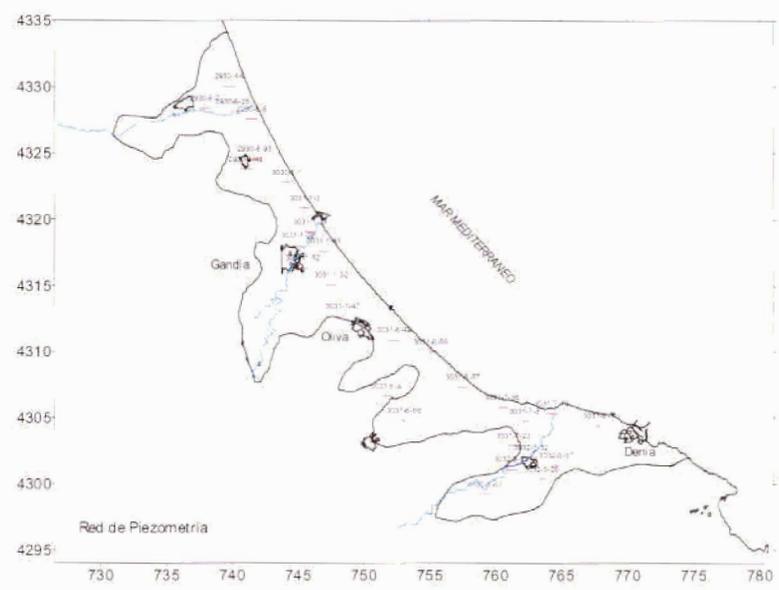
En general, se trata de un acuífero con productividades medias a altas que implican transmisividades del orden de 500 a 3.000 m²/día. El coeficiente de almacenamiento está entre el 5 y el 15%, obteniéndose los mayores resultados en las cercanías de los cauces de los ríos Serpis y Girona.

5.7.2. Análisis de la piezometría

La superficie piezométrica del acuífero varía entre cotas superiores a 50 m s.n.m., en las zonas más occidentales del aluvial del río Girona, y valores negativos en algunos sectores próximos a la línea de costa, como son los de Tabernes-Xeraco y Vergel-Denia.



Esquema hidrogeológico de la U. H. Gandia-Denia

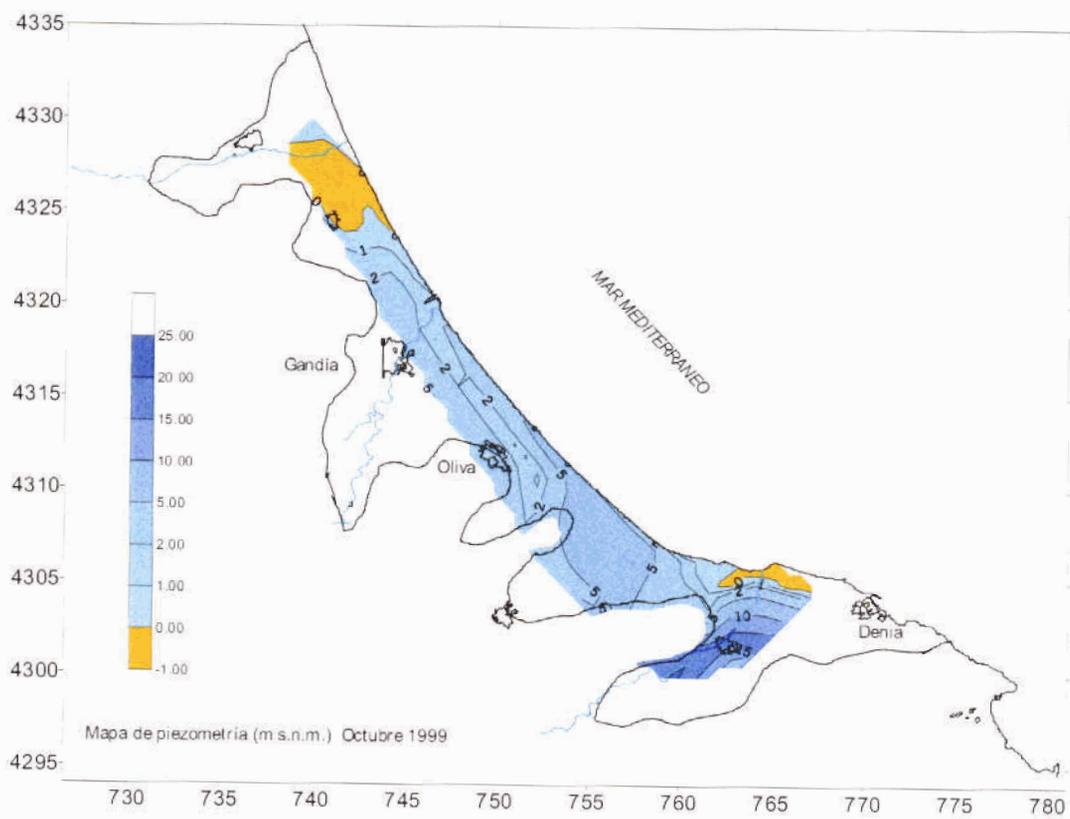
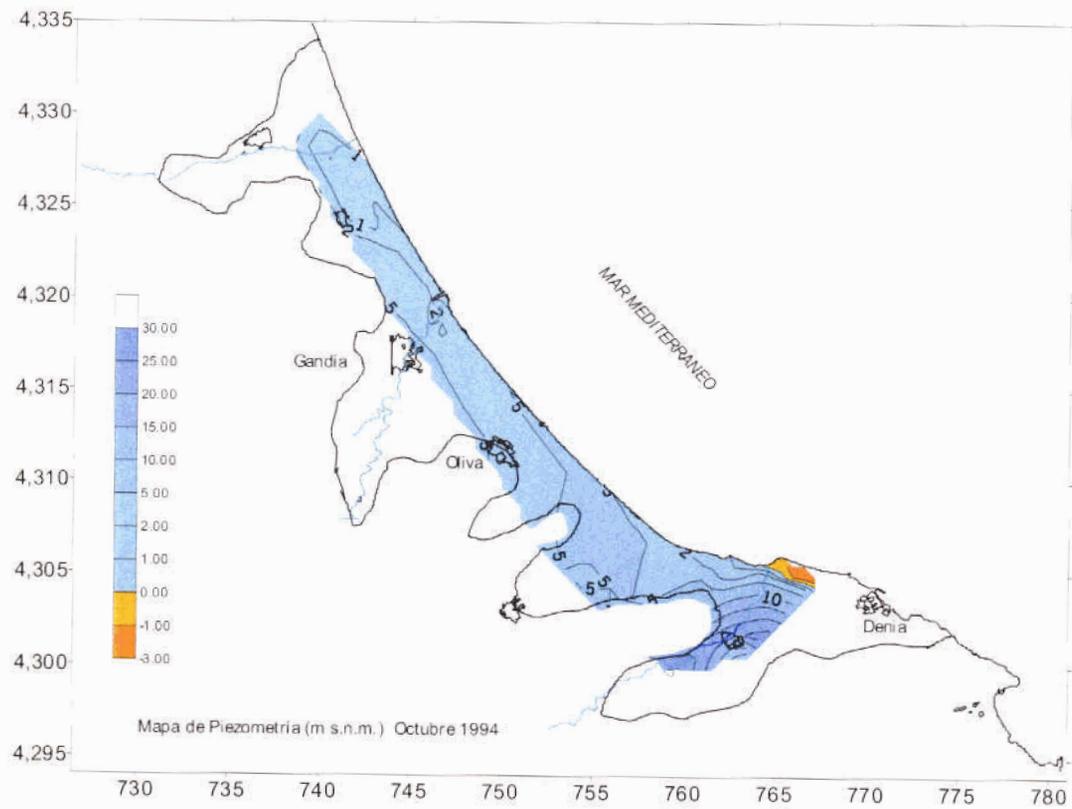


2930-4-8	739780	4330045	3,28	28
2930-8-5	741462	4327555	1,81	31
2930-8-7	737914	4328353	7,67	39
2930-8-26	740039	4328090	1,67	6
2930-8-49	741030	4323778	10,77	22
2930-8-93	741688	4324574	3,63	10
3030-5-1	744151	4322791	3	2,68
3031-1-3	745537	4320855	2	20
3031-1-22	744987	4318004	16,82	20
3031-1-24	745947	4319049	8,41	11,89
3031-1-32	747516	4315084	16,16	14
3031-1-46	746987	4317591	3,37	5
3031-1-47	748397	4312675	9,66	9
3031-1-52	745374	4316349	20,14	25
3031-6-9	751701	4306645	10	10
3031-6-49	752288	4310898	6,49	10
3031-6-56	755084	4309980	10	3,4
3031-6-57	757515	4307311	10	8
3031-6-66	753037	4304784	11,9	25
3031-7-8	241492	4304569	11,09	38
3031-7-19	243634	4305016	3,17	7
3031-7-23	240150	4302900	28,1	140
3031-7-36	239750	4305550	7,1	10
3031-8-1	247008	4303818	3,7	10
3032-3-20	242467	4300130	39,67	226
3032-3-29	240180	4301099	30	30
3032-3-32	241802	4301986	28,27	94
3032-3-37	243666	4301399	30,68	28
3032-3-53	759199	4299238	60	236

La evolución en los últimos diez años es en general descendente, salvo en las áreas más afectadas por los procesos de intrusión donde los niveles se han recuperado algo, como es el caso de algunos puntos ubicados al oeste de Denia, ya que en octubre de 1994 se situaban unos 2 metros por debajo del nivel del mar mientras que en el mismo mes del año 1999 se encontraban a solo 0,71 metros bajo dicha cota.

El otro sector con niveles inferiores a la cota cero es el de Tabernes-Xeraco, en éste la evolución es ligeramente negativa con descensos de un metro, pasando de piezometrías próximas al nivel del mar a valores de -1 m s.n.m.

La evolución piezométrica del acuífero queda reflejada en el valor medio de los puntos controlados, que pasó de 6,45 m s.n.m. en octubre de 1994 a los 4,43 m s.n.m. en octubre de 1999.

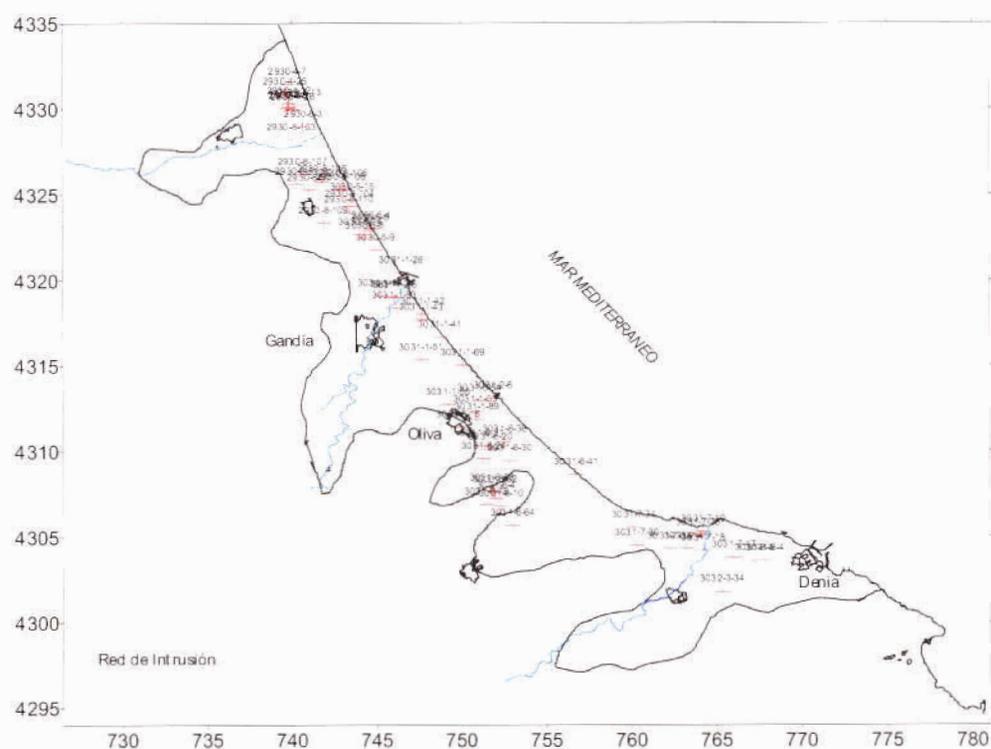


5.7.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión salina y la calidad del agua

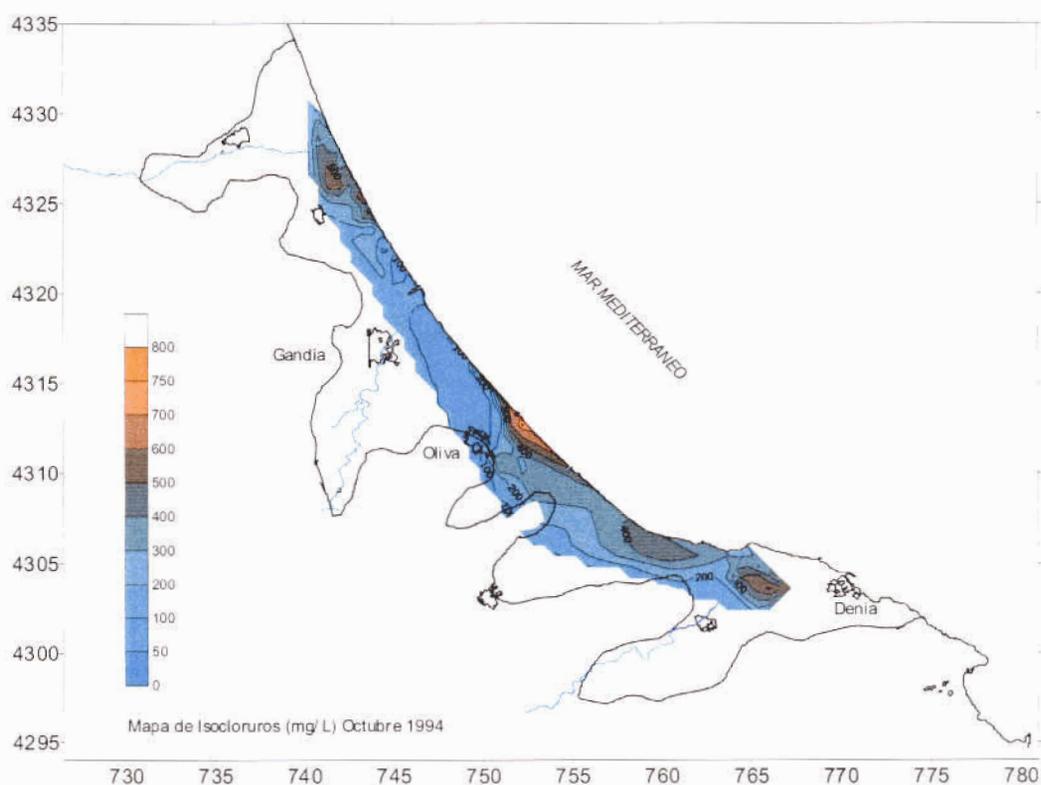
En la plana de Gandía-Denia se distinguen varios sectores con concentraciones elevadas en ion cloruro, que no son siempre coincidentes con las áreas donde la superficie piezométrica se encuentra deprimida a causa de las explotaciones. De forma general, se puede decir que se mantienen permanentemente niveles de cloruros por encima de los 400 mg/L al este de la población de Xeraco, al noroeste de Vergel (entre esta población y la finca de Rosario), y al oeste de Denia. En estas zonas se pueden alcanzar concentraciones entre 700 y 1.000 mg/L en los periodos de estiaje.

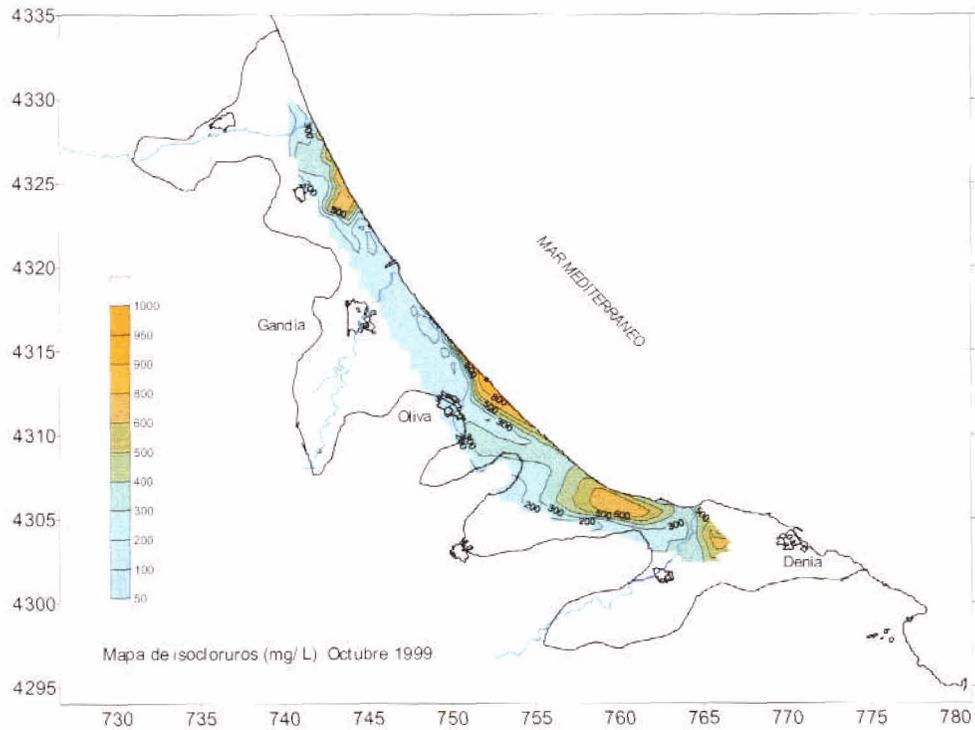
2930-4-7	739742	4331447	4	60
2930-4-8	739780	4330045	3,28	28
2930-4-9	739806	4330094	7	30
2930-4-12	739858	4330319	5	20
2930-4-13	740458	4330216	5	19
2930-4-25	739612	4330872	5	17
2930-4-26	740080	4329968	4	30
2930-8-3	740673	4328963	4	39
2930-8-51	740294	4325635	10	27,5
2930-8-57	741017	4325280	6	32,5
2930-8-	739990	4328191	5	/
2930-8-	743438	4324323	5	/
2930-8-	743047	4325502	5	/
2930-8-	741797	4325774	5	/
2930-8-	740649	4326184	5	/
2930-8-	742920	4325302	5	/
2930-8-	741878	4323345	5	/
2930-8-	743385	4323973	5	/
3030-5-4	744704	4323038	1	/
3030-5-5	744603	4322914	1	/
3030-5-8	744298	4322465	2	98
3030-5-9	744944	4321760	2	109
3030-5-14	744050	4322667	5	/
3030-5-15	743591	4324723	5	/
3031-1-14	745197	4319104	10	40
3031-1-24	745947	4319049	8,41	11,89
3031-1-25	746097	4318998	3,64	4,98
3031-1-26	746460	4320448	10	114
3031-1-41	748731	4316679	10	/
3031-1-42	747741	4318037	10	64
3031-1-43	747638	4317687	10	100
3031-1-51	747619	4315334	16	120

3031-1-53	750797	4312310	10	55
3031-5-54	751053	4312959	10	79
3031-1-55	749199	4312720	12	47
3031-1-69	750069	4315018	10	80
3031-1-83	746042	4318398	10	27
3031-1-89	750894	4311858	10	25
3031-2-6	751856	4313104	1	27
3031-5-15	749788	4311414	14,49	27
3031-6-4	752006	4307244	3,03	/
3031-6-10	752303	4306792	15	/
3031-6-20	751680	4310101	10	62
3031-6-21	751181	4310304	10	35
3031-6-24	751275	4309552	15	45
3031-6-30	752826	4309443	10	20
3031-6-36	752535	4310546	10	44
3031-6-41	756725	4308618	10	4,8
3031-6-62	751959	4307595	10	20
3031-6-63	751760	4307697	15	30
3031-6-64	752994	4305686	10	25
3031-6-75	751452	4306897	12,29	120,5
3031-7-17	245159	4303249	27,78	40
3031-7-18	243552	4303918	11,85	37
3031-7-19	243634	4305016	3,17	7
3031-7-28	242700	4304300	7,6	12
3031-7-30	760300	4304500	18	25
3031-7-33	241700	4304300	13,6	20
3031-7-34	239850	4305550	9,5	120
3031-7-41	242500	4304100	11,9	16
3031-8-4	246945	4302969	10	20
3031-8-5	246296	4303016	10	16
3032-3-34	243938	4301681	44	39

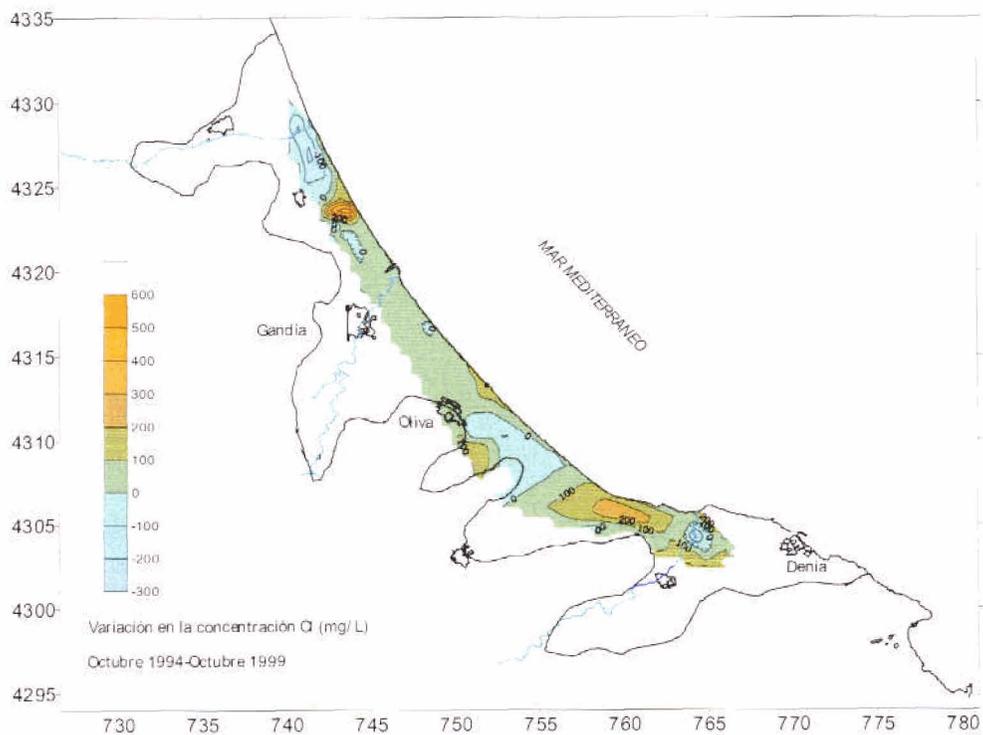


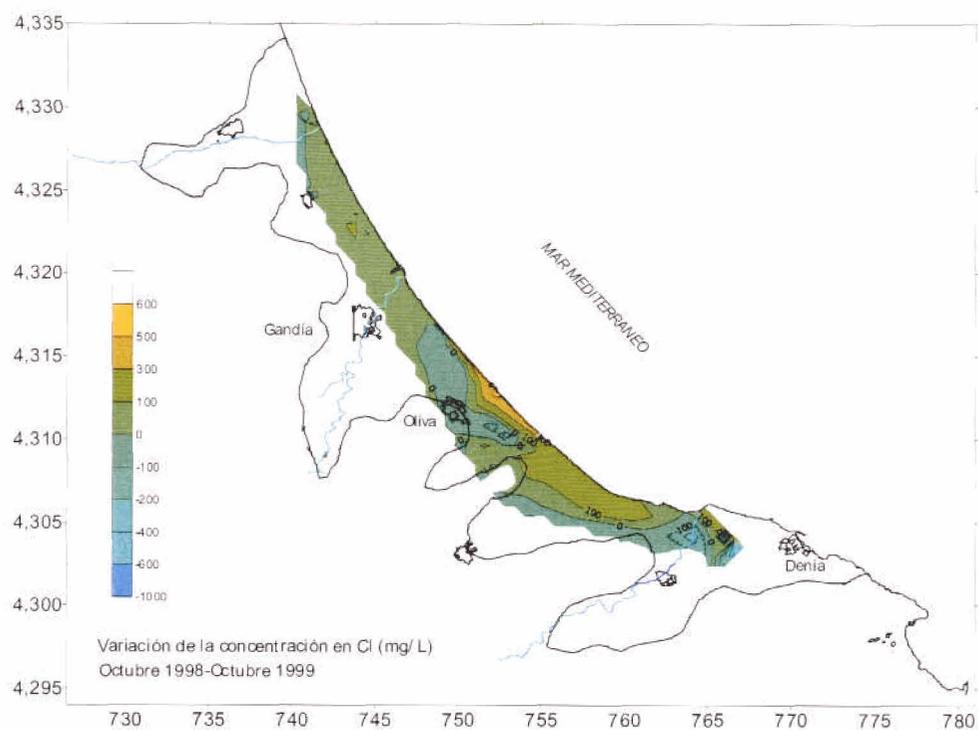
En el resto de la superficie del acuífero el contenido en ion cloruro se encuentra normalmente entre los 100 y los 300 mg/L, destacando la buena calidad del agua entre las localidades de Gandía y Oliva, donde la influencia del río Serpis permite mantener valores inferiores.





La tendencia a largo plazo de la concentración en cloruros de las aguas de este acuífero (octubre 1994/octubre 1999) es a acentuarse, especialmente en las zonas próximas a Xeraco y Vergel en las que se obtienen incrementos de hasta 300 y 500 mg/L, con mayor incidencia en la primera de las zonas mencionadas, donde en un punto de control los cloruros aumentaron en 880 mg/L. En contraposición con lo anterior, ciertas áreas han reducido su salinidad, como la zona costera entre Tabernes y Xeraco con descensos por encima de los 200 mg/L en ion cloruro, y la desembocadura del río Girona con variaciones algo más moderadas.





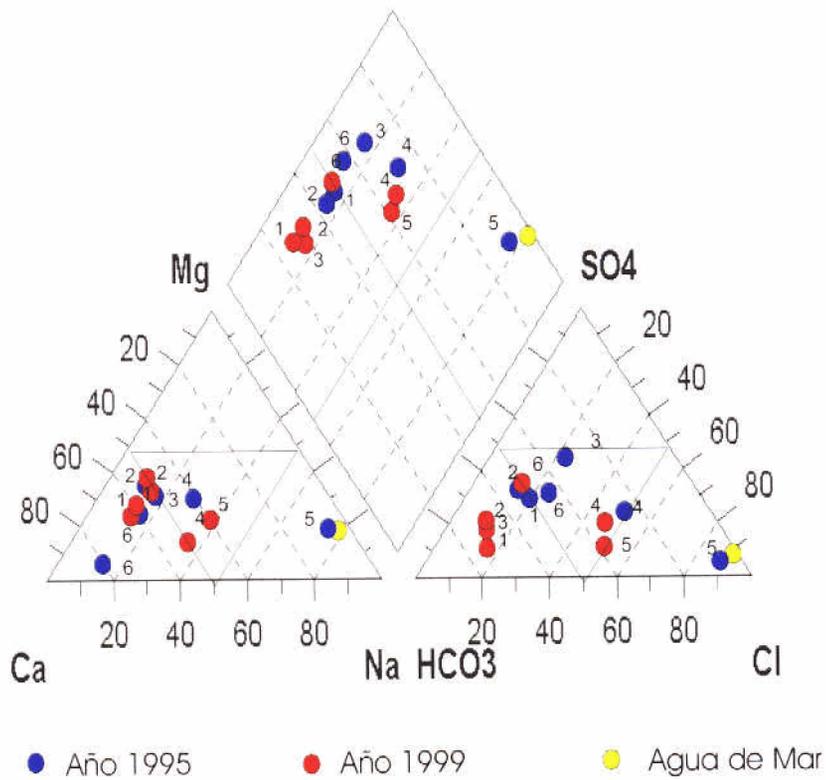
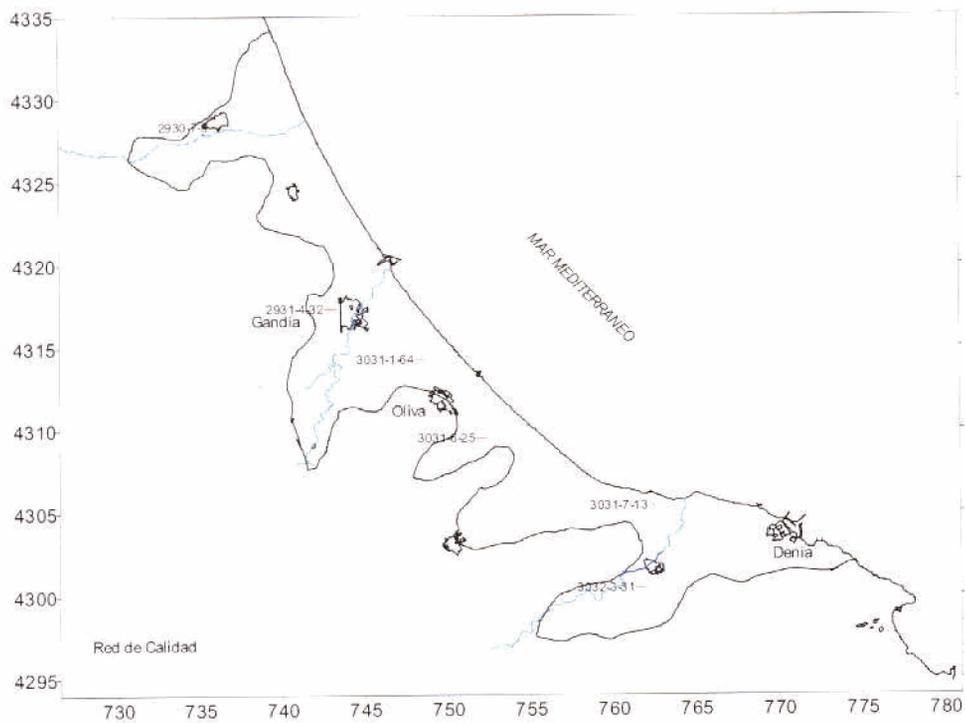
5.7.4. Caracterización de las facies hidroquímicas

En el acuífero existen seis puntos de control de calidad, distribuidos a lo largo de su superficie, que muestran una evolución gradual de aguas con facies bicarbonatadas y bicarbonatadas sulfatadas en las zonas interiores, a aguas con facies bicarbonatadas-cloruradas y cloruradas en los sectores más litorales. Entre los cationes se pasa de facies cálcico-magnésicas a facies mixtas y cloruradas-sódicas. Estas mismas tendencias también se acentúan en el tiempo, es decir, las aguas son cada vez más sulfatadas y cloruradas y más sódicas llegando a alcanzar facies claramente sódicas en el año 1999 en las cercanías de Denia (punto 3031-7-13), lo que refleja la existencia en este sector de un intenso proceso intrusivo de aguas de procedencia marina.

Dentro del esquema general expuesto se detectan también diferencias entre distintos sectores del sistema, en este sentido es de resaltar la práctica ausencia de fenómenos intrusivos en el área central del acuífero donde se aprecia la influencia ejercida por el río Serpis, puesta de manifiesto por las facies hidroquímicas de los puntos de control 2931-4-32 y 3031-1-64 (bicarbonatada-sulfatada calcico-magnésica).

El carácter sulfatado de algunas facies hidroquímicas parece ser debido a los efectos causados por el empleo de fertilizantes agrícolas, aspecto que se observa mejor en el estudio de las relaciones iónicas.

RED DE CALIDAD				
Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
2930-7-9	736136	4328338	17	24
2931-4-32	743029	4317315	20	50
2931-1-64	748461	4314277	11,59	60
2931-6-25	752126	4309497	10	43
3031-7-13	241800	4305400	7,2	114
3032-3-31	240635	4300464	34,19	60



2930-7-9 (1) 2931-4-32 (2) 3031-1-64 (3) 3031-6-25(4) 3031-7-13(5) 3132-3-31(6)

Diagrama de Piper-Hill-Langelier

5.7.5. Análisis de las relaciones iónicas

El análisis detallado de las relaciones iónicas muestra el mismo esquema expuesto en el epígrafe anterior, esto es, aguas de calidad moderada en las zonas del interior que van incrementando su contenido en ion cloruro hacia la costa y hacia las áreas afectadas por los procesos intrusivos, especialmente en el sector localizado al oeste de la localidad de Denia.

Relaciones iónicas (*)	rNa/rCl		rMg/rCa		rCO ₃ H/rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	oct-95	oct-99	oct-95	oct-99	oct-95	oct-99	oct-95	oct-99	oct-95	oct-99
2930-7-9 (1)	0,745	0,726	0,535	0,753	4,656	2,773	1,224	1,313	0,817	0,958
2931-4-32 (2)	1,111	0,996	0,673	0,512	5,587	3,961	2,485	1,909	0,704	0,873
3031-1-64 (3)	0,896	0,950	0,633	0,663	4,393	1,746	0,692	2,344	0,873	1,831
3031-6-25 (4)	0,937	0,759	0,588	0,657	0,738	0,514	0,528	0,514	4,732	5,268
3031-7-13 (5)	0,924	0,857	0,377	2,200	0,758	0,033	0,347	0,121	4,563	25,127
3032-3-31 (6)	0,943	0,847	0,428	0,117	3,314	1,963	2,465	1,595	1,014	1,437
A. de mar (**)	0,837		4,354		0,005		0,111		613,29	

(*) r=meq/L; (**) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

La relación rHCO₃/rCl presenta valores superiores en la mayor parte de los casos de agua analizada, que indica una aceptable calidad, salvo en los puntos 3031-7-13 y 3031-6-25. El primero de ellos pone de manifiesto la influencia de las aguas marinas (se ubica en un sector cercano a la costa), por el contrario el segundo, situado bastante más al interior, habría que asociarlo a un proceso de mezcla de aguas del acuífero con las procedentes de la Sierra de Mustalla, de la que dista apenas un kilómetro, donde existen manantiales salinos.

La relación rSO₄/rCl presenta valores mínimos en el punto 3031-7-13 y máximos en los situados hacia el interior. Por otra parte, dicha relación prácticamente se mantiene entre 1995 y 1999, lo que a su vez implica incrementos de sulfatos de forma general en el acuífero ya que a su vez el ion cloruro ha aumentado, tal y como se expone en el párrafo siguiente. Ambos hechos apuntan a que los fertilizantes agrícolas están en el origen del alto contenido de este compuesto.

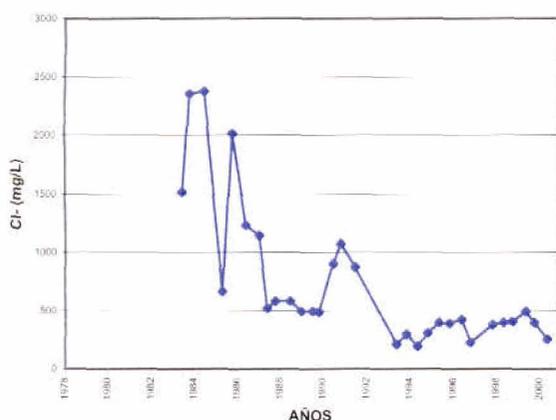
La evolución en las relaciones iónicas en los cinco últimos años muestra un incremento en ion cloruro en todos los análisis realizados, en el que resalta el punto 3031-7-13 que pasa de 4,5 a 25,1 meq/L; paralelamente a este proceso se registran incrementos similares en el ion sulfato que mantiene su relación con el ion cloruro. Por otra parte, las aguas se hacen ligeramente magnésicas en detrimento del calcio.

En cualquier caso la evolución de estos parámetros puede considerarse como moderada.

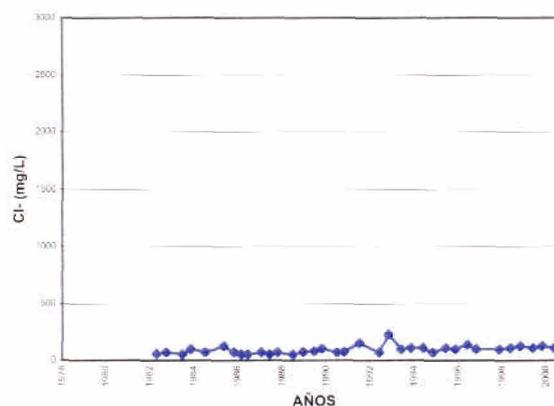
5.7.6. Diagnóstico del estado del acuífero

El acuífero de la Plana de Gandía-Denia presenta en general aguas de aceptable a moderada calidad, con reducidos sectores donde se manifiestan procesos intrusivos de cierta entidad, como en el de Denia-Vergel y, en menor medida, el de Xeraco. El cuerpo central del acuífero (sector Oliva-Gandía) se encuentra libre de dichos procesos debido sobre todo a la influencia del río Serpis. Por otra parte, son patentes los procesos contaminantes causados por las actividades humanas, especialmente los derivados de la agricultura intensiva que se practica en la superficie del acuífero.

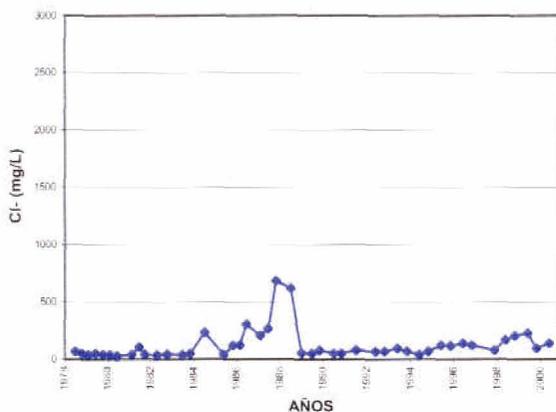
**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN CLORUROS
PUNTO 2930-8-107 (Sector de Gandía)**



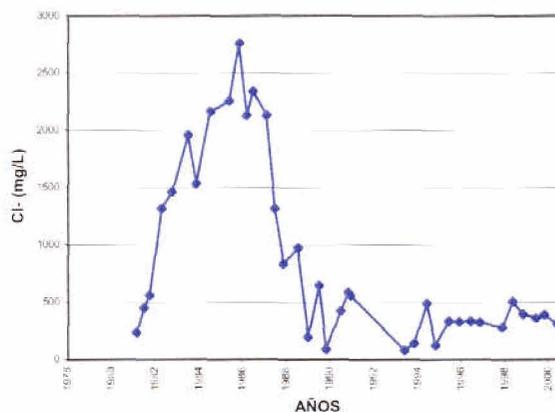
**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN CLORUROS
PUNTO 3031-1-51 (Sector de Piles)**



**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN CLORUROS
PUNTO 3031-6-64 (Sector Marjaleria de Pego)**



**EVOLUCIÓN DEL CONTENIDO EN CLORUROS
PUNTO 3032-3-34 (Sector Ondara-Denia)**



5.7.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

El acuífero presenta una tendencia moderada a medio plazo al incremento de la salinidad de sus aguas (media en los puntos de control + 51 mg/L de ion cloruro) que ha quedado prácticamente estabilizada en el último año (sólo + 2,4 mg/L de ion cloruro). Este hecho está asociado al descenso de niveles causado en el sistema por las explotaciones, que entre octubre de 1995 y octubre de 1999 fue de -2,02 m de media en los puntos de control y de los que -0,59 m corresponden a los doce últimos meses.

Es de prever que la tendencia continúe, aunque de mantenerse las actuales explotaciones no son de esperar especiales problemas a medio plazo, salvo en las zonas puntualmente afectadas por la intrusión.

Las actuaciones recomendadas para evitar estos problemas son reducir los volúmenes explotados en las áreas donde los fenómenos intrusivos son más acusados y proceder a la redistribución de las captaciones, con lo que se mejoraría sustancialmente la calidad del agua del acuífero.

5.8. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.47 DE PEÑÓN-MONTGÓ-BERNIA

5.8.1. Descripción del acuífero

Esta unidad hidrogeológica está compuesta por un conjunto de acuíferos con funcionamiento más o menos independiente entre sí, coincidente a grandes rasgos con la comarca de la Marina Alta. Los límites hidrogeológicos vienen dados por la presencia de materiales del Triás Keuper o de accidentes tectónicos que impiden la continuidad de las formaciones acuíferas. Así el límite sur está constituido por la elevación de los materiales impermeables de base y por los subafloramientos de la facies Keuper, el límite septentrional es cerrado en su mayor parte debido a las fracturas que jalonan el flanco norte de las sierras del Peñón y Solana de La Llosa y, solamente, en el entorno del Montgó, donde existe comunicación con la Plana de Gandía-Denia, el límite es abierto. Por último, el límite este-sureste es también abierto y lo constituye el mar Mediterráneo.

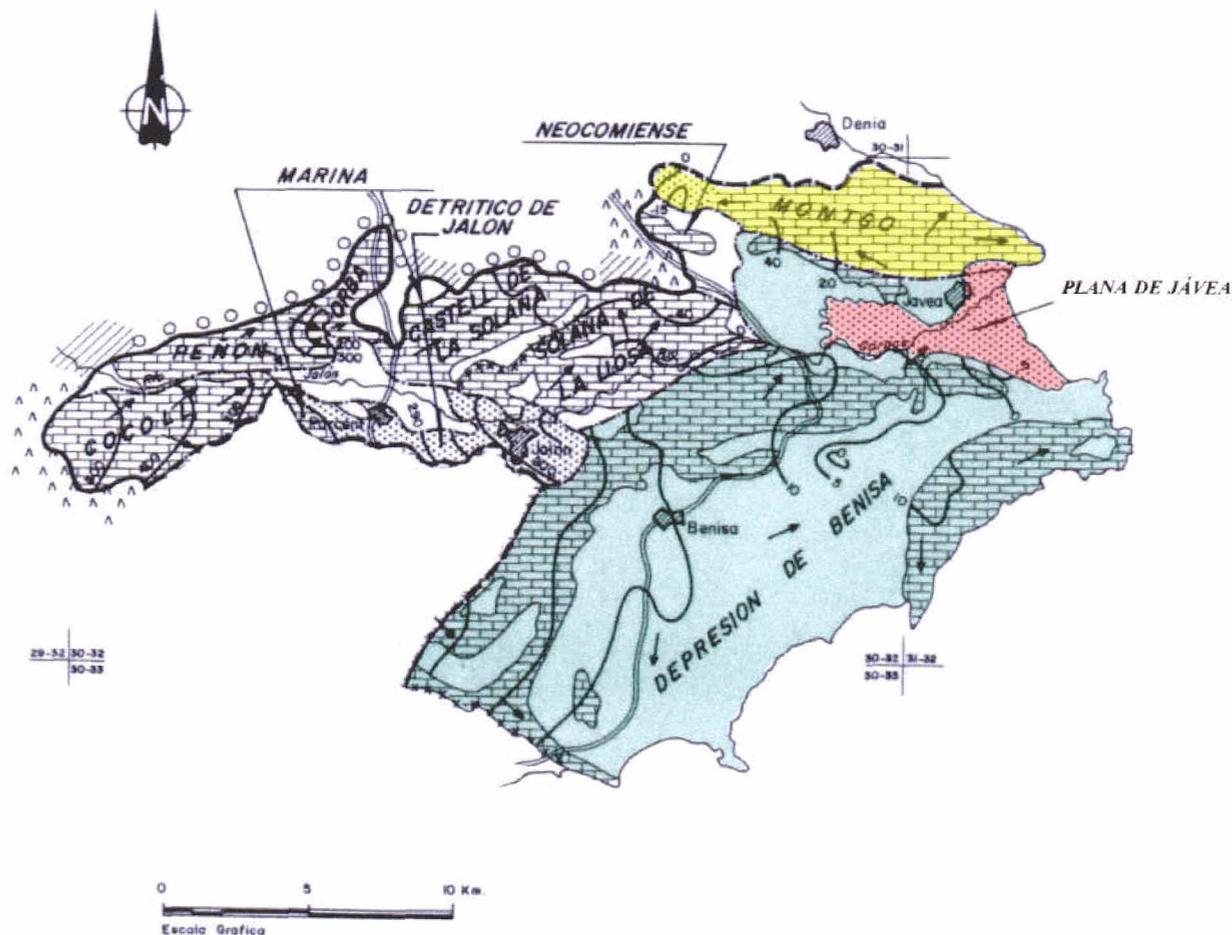
La unidad la integran dos acuíferos detríticos, Cuaternario de Jalón y Plana de Jávea, y ocho acuíferos carbonatados, Cocoll, Peñón, Orba, Castell de la Solana-Solana de la Llosa, Depresión de Benisa, Montgó, Neocomiense de Parcent y Jesús Pobre. De todos ellos, la Depresión de Benisa, la Plana de Jávea y el Montgó son los que se encuentran en contacto directo con el mar y están afectados por distintos procesos de salinización de sus aguas.

El acuífero de la Depresión de Benisa, con una extensión de 248 km², está constituido por un potente relleno de materiales miocenos bajo los que se disponen unos 200 metros de calizas arrecifales de edad oligocena que afloran en los sectores occidental y septentrional del mismo. Bajo dicha formación, y en continuidad hidráulica, subyacen los materiales del cretácico que pueden constituir un acuífero de gran espesor (superior a 500 m).

El acuífero de la Plana de Jávea es de pequeña extensión, 16 Km², y está formado por un conjunto de gravas, arenas y limos con un espesor medio en torno a 30 metros, ligado a los acarrees del río Gorgos. Estructuralmente se sitúa sobre el acuífero anterior constituyendo su base impermeable la formación margosa del "Tap", de edad miocena.

En el acuífero del Montgó el interés reside en los materiales carbonatados cretácicos que abarcan desde el Aptiense al Senoniense, con un espesor global próximo a 850 metros, los cuales descansan sobre margas impermeables de edad barremiense que constituyen su base.

La alimentación de estos acuíferos procede fundamentalmente de la infiltración directa del agua de lluvia y de la escorrentía superficial del río Gorgos, mientras que las salidas tienen lugar a través de bombeos y de descargas directas al mar, bien de forma difusa o bien por medio de surgencias subacuáticas (Morro de Toix, cueva del Moraig, etc..)



Unidad Hidrogeológica 08.47 Peñón-Montgó-Bernia

5.8.2. Análisis de la piezometría y su evolución

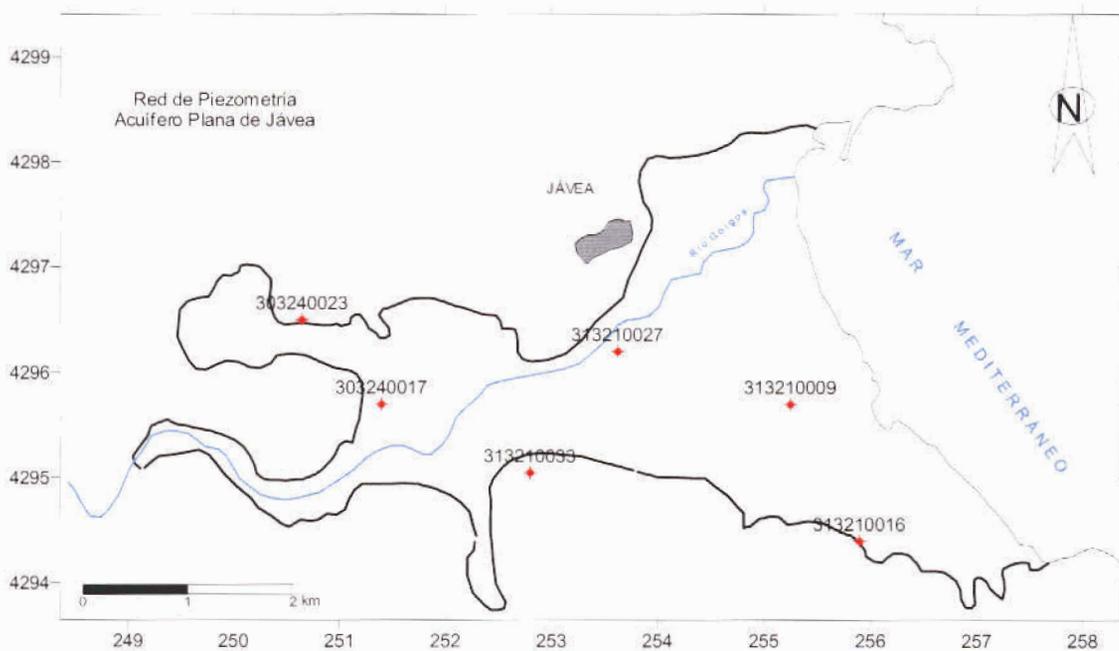
De forma general y en régimen natural, la superficie piezométrica de los acuíferos de la Unidad, conectados hidráulicamente con el mar, desciende hacia el este en dirección al Mediterráneo, desde alturas situadas por encima de los 40 a 60 m s.n.m. hasta la cota cero. Este esquema de funcionamiento ha sido modificado, en algunos casos de manera trascendental, por la explotación de sus aguas subterráneas invirtiendo el sentido del flujo.

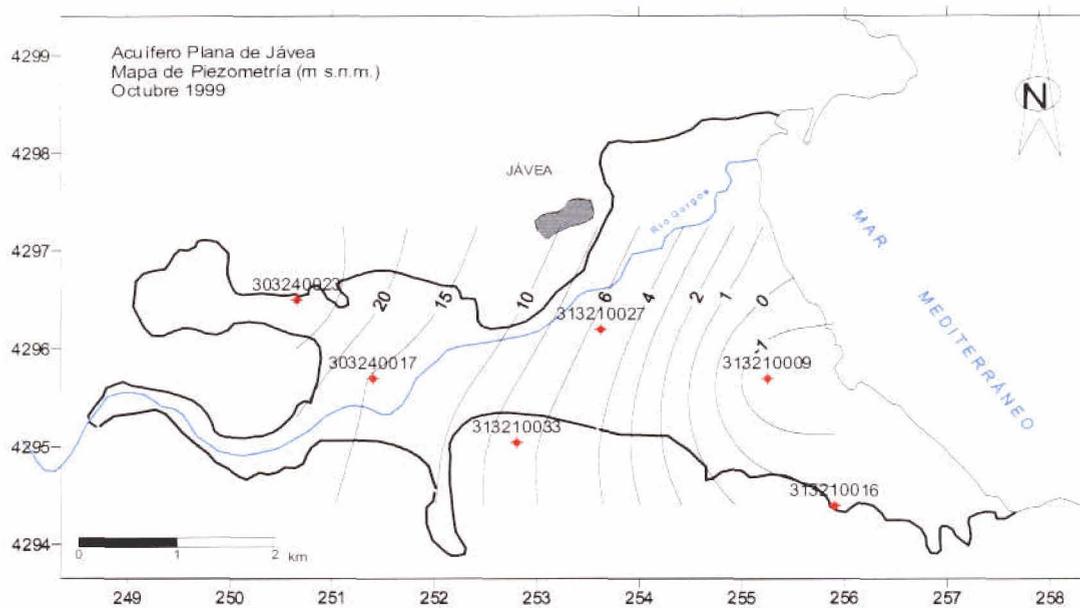
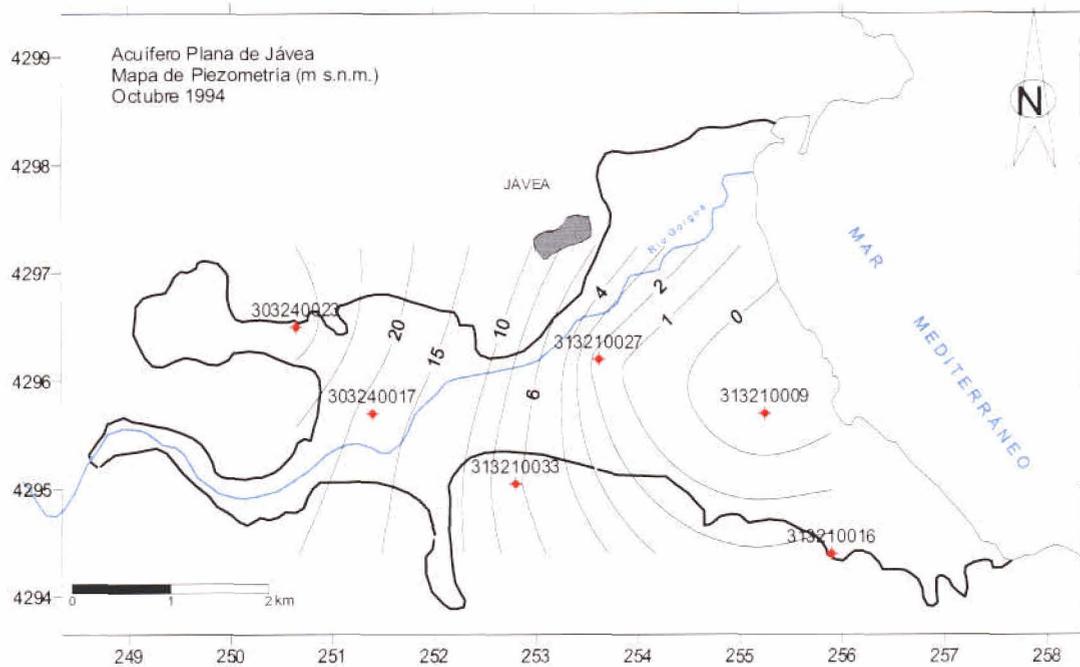
A partir de los años sesenta, y especialmente en la década de los ochenta, esta circunstancia se ha traducido en la aparición de sectores con niveles piezométricos deprimidos que llegan a alcanzar varios metros por debajo del nivel del mar. Las áreas más afectadas se localizan cerca de Teulada y al este del núcleo urbano de Gata de Gorgos, donde en mayo de 1999 existen puntos con cotas inferiores a los -28 m s.n.m. Otros sectores con piezometrías negativas se encuentran en el extremo occidental del acuífero del Montgó y en el sector litoral de la Plana de Jávea con cotas alrededor de los -2 m s.n.m. en mayo de 1991 en el segundo, y de -9 m s.n.m. en octubre del mismo año en el primero.

En todos estos casos dicha circunstancia ha provocado el avance de la interfase marina, especialmente en la Plana de Jávea y en el acuífero del Montgó, si bien el descenso de las

explotaciones en los últimos años ha ocasionado una apreciable mejora en la calidad de sus aguas. Este hecho puede apreciarse en los planos adjuntos donde la superficie piezométrica situada por debajo de la cota 1 m s.n.m. se ha reducido sustancialmente en el año 1999 con respecto a la del año 1994.

RED DE PIEZOMETRÍA					
Punto	Acuífero	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
3032-3-37	Montgó	243.666	4301.399	30,68	28
3032-4-6	Montgó	246.125	4300.719	69,1	100
3032-4-17	P. Jávea	251.386	4295.820	28,53	-
3032-4-23	P. Jávea	250.547	4296.734	37,52	10
3032-4-58	D. Benisa	249.556	4295.551	55	195
3032-8-26	D. Benisa	248.449	4291.062	180	300
3132-1-9	P. Jávea	255.189	4295.696	3,48	13,5
3132-1-16	P. Jávea	255.945	4294.386	16,41	19,5
3132-1-27	P. Jávea	253.621	4296.211	14,68	41
3132-1-33	D. Benisa	252.783	4295.066	39,68	130
3132-1-46	D. Benisa	252.826	4293.627	58	124



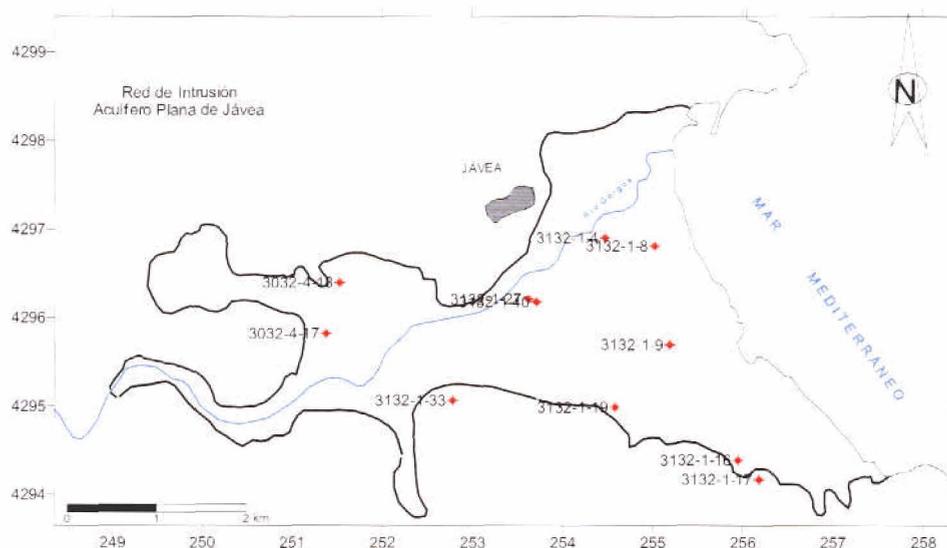


5.8.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina y la calidad del agua

Las explotaciones practicadas, junto con ciertas características desfavorables de algunas formaciones geológicas que integran la Unidad Hidrogeológica, han dado lugar al incremento de la salinidad de las aguas subterráneas en sus áreas más septentrionales, concretamente en el acuífero detrítico de la Plana de Jávea, en el acuífero de la Depresión de Benisa en su contacto con el anterior y, también, en el extremo occidental del acuífero del Montgó. En todos estos lugares el contenido en cloruros se encuentra normalmente por encima de los 300 mg/L, alcanzando concentraciones máximas en la mitad suroriental de la Plana de Jávea, donde han llegado a superar lo 4.000 mg/L en algunos puntos en la década de los años ochenta (3134-1-4 en 1986), manteniéndose posteriormente entre los 1.000 o 1.800 mg/L.

RED DE INTRUSIÓN					
Punto	Acuífero	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
3032-3-34	Montgó	243.938	4301.681	44	39
3032-3-36	Montgó	244.766	4302.022	40	270
3032-3-49	Montgó	244.670	4302.079	25	140
3032-3-51	Montgó	244.198	4301.461	30	168
3032-4-17	P. Jávea	251.383	4295.820	28,53	-
3032-4-18	P. Jávea	251.530	4296.400	38	11,50
3032-8-3	D. Benisa	250.775	4287.631	20	83
3032-8-11	D. Benisa	247.142	4290.755	170	275
3132-1-4	P. Jávea	254.475	4296.902	8,41	13,5
3132-1-8	P. Jávea	255.021	4296.812	5,51	13
3132-1-9	P. Jávea	255.189	4295.696	3,48	13,5
3132-1-16	P. Jávea	255.945	4294.386	16,41	19,5
3132-1-17	P. Jávea	256.180	4294.168	26	30
3132-1-19	P. Jávea	254.584	4294.986	12	15,5
3132-1-27	P. Jávea	253.621	4296.211	14,68	41
3132-1-33	D. Benisa	252.783	4295.066	39,68	130
3132-1-40	P. Jávea	254.512	4298.178	19	89,5

Se puede afirmar, por tanto, que en los últimos años y después de la intensa salinización sufrida durante el periodo seco de la primera mitad de los años ochenta, la calidad de las aguas de la Unidad tiende a mejorar ligeramente dentro de una cierta estabilización en valores moderados, siendo lo más destacable el cambio en la distribución de la salinidad en algunos de sus acuíferos. En la campaña realizada en octubre de 1994 en la Plana de Jávea, el contenido más alto en ion cloruro se detecta en la zona más litoral del acuífero (1.207 mg/l en el punto 3132-1-9), mientras que en la correspondiente al año 1999 la salinidad es algo menor, con un desplazamiento de sus valores máximos hacia la zona de contacto con el acuífero de la Depresión de Benisa (999 mg/L en el punto 3132-1-19).

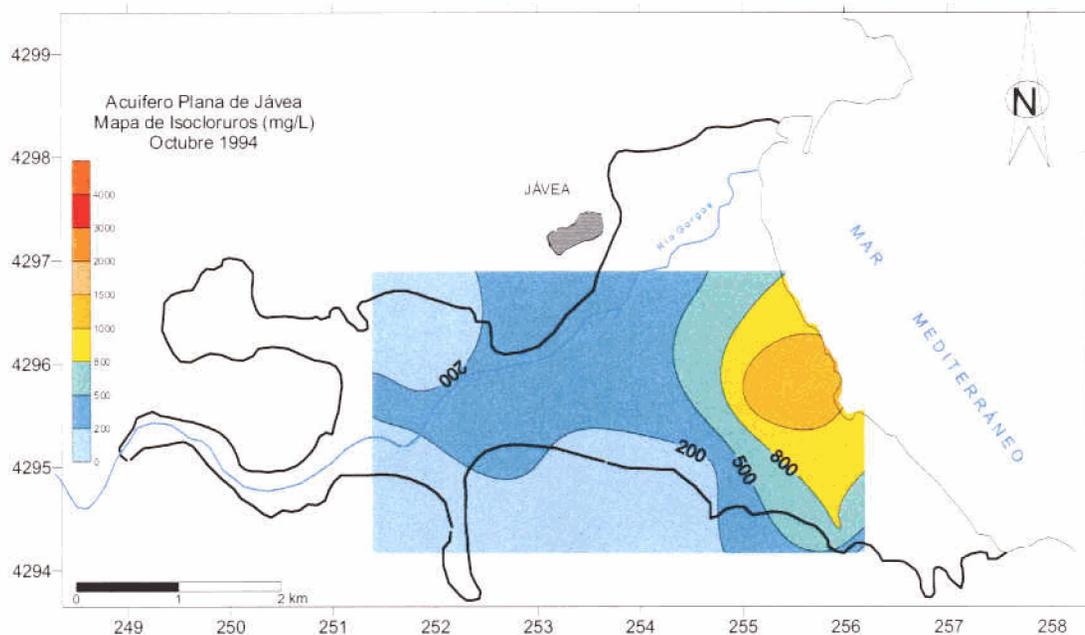


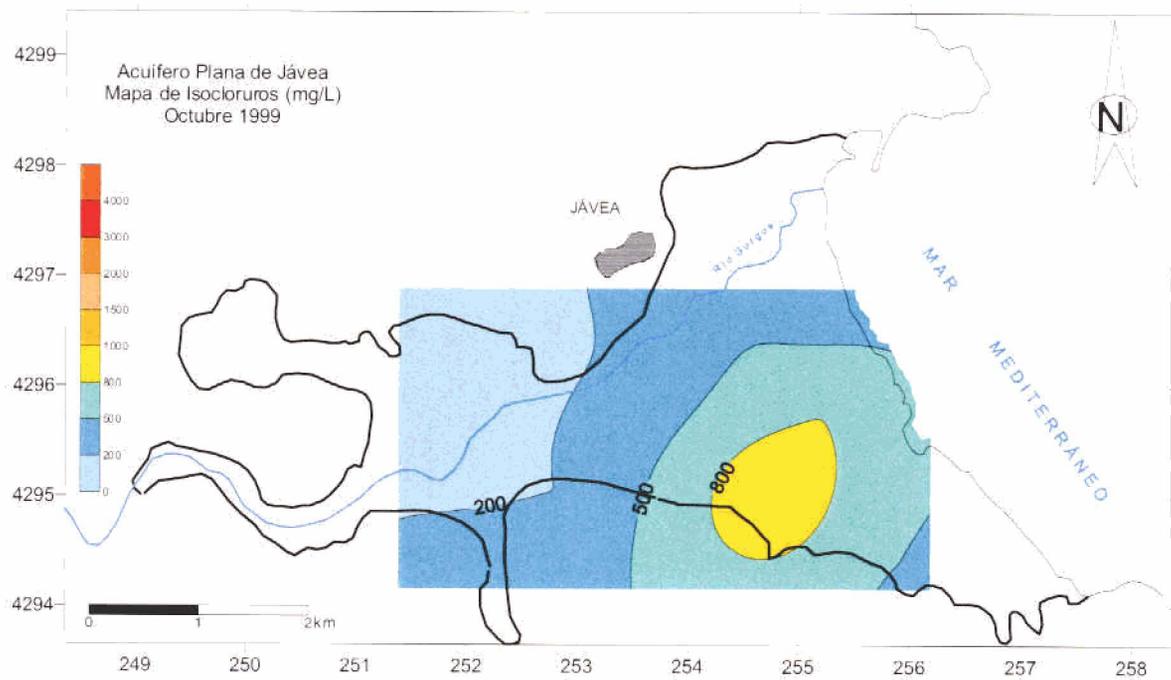
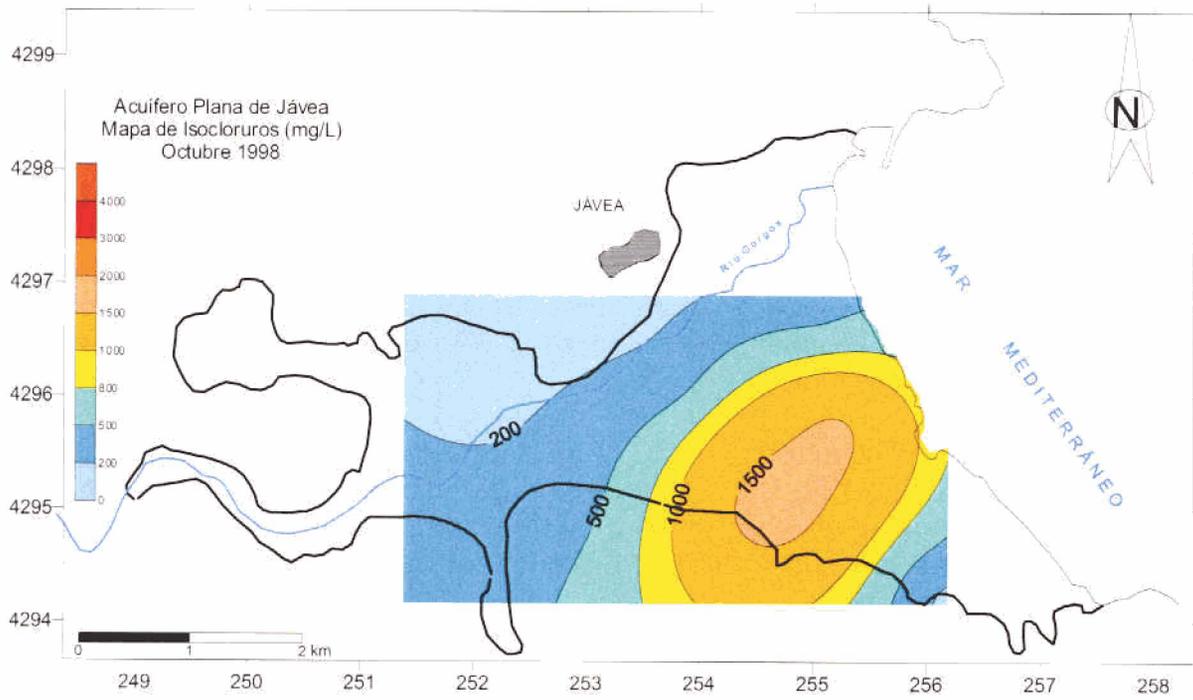
Dentro de esta situación, y a corto plazo, se pueden dar épocas concretas en la que se produzca deterioro de la calidad, tal y como pone de manifiesto la distribución del contenido en ion cloruro en octubre de 1998, momento en el que casi todo el cuadrante suroriental del acuífero de la Plana de Jávea presenta contenidos en ion cloruro por encima de los 1.000

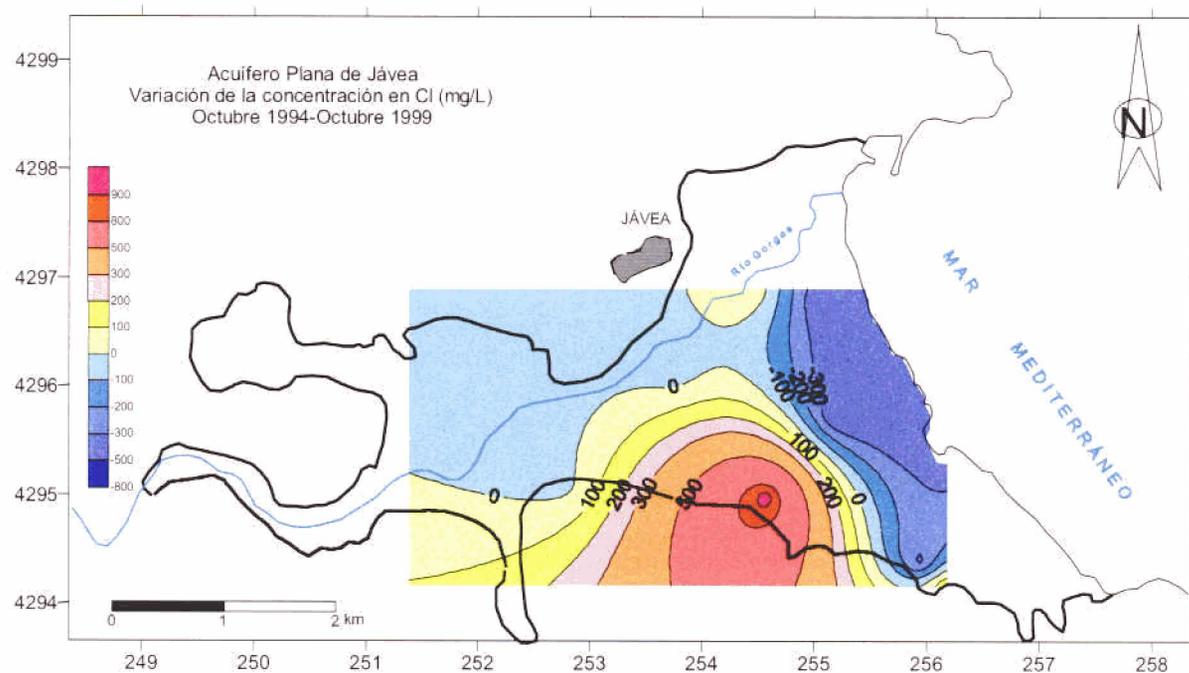
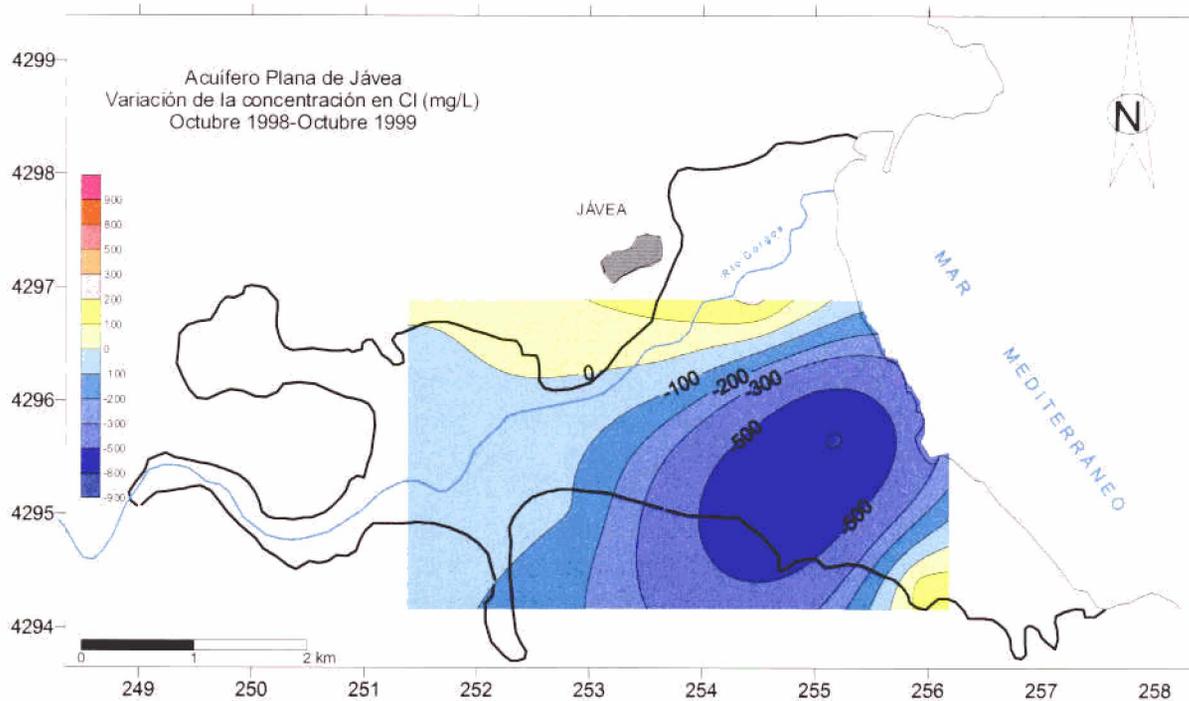
mg/L, situación que rápidamente es restablecida a valores más moderados al año siguiente. En el caso de los acuíferos del Montgó y Depresión de Benisa observa también una situación similar a la descrita.

Lo comentado tiene su explicación en la evolución francamente positiva registrada en el último año en dichos acuíferos, ya que en general existe una mejora importante de la calidad, con descensos de hasta casi 800 mg/L de contenido en cloruros en algunos de los sectores más afectados por los procesos de salinización, muy sensibles al cambio en el régimen extractivo de las captaciones. A este esquema constituyen excepción algunos puntos situados en los bordes norte y sur de la Plana de Jávea y en el acuífero del Montgó, que prácticamente mantienen su composición hidroquímica.

A medio plazo (entre 1994 y 1999), y como se ha comentado, se observa una ligera mejora general, aunque con un incremento en el contenido en cloruros en el borde sur de la Plana de Jávea (+956 mg/L en el punto 3132-1-19) y, en menor medida, en el acuífero del Montgó (+40 a 180 mg/L). Por el contrario disminuye la salinidad del agua en el borde litoral de la Plana de Jávea con valores inferiores en 300 a 400 mg/L a los registrados en el año 1994, mientras que en el resto del acuífero los descensos son del orden de 30 a 90 mg/L. Es de resaltar que la mejora se produce esencialmente en el último año (1998 a 1999), tal y como se puede observar en las figuras adjuntas.







5.8.4. Caracterización de las facies hidroquímicas

En la unidad existen cinco puntos de control, de los que dos se encuentran en el acuífero del Montgó, otros dos en la Depresión de Benisa y uno en la Plana de Jávea. Los análisis existentes no presentan una buena continuidad en el tiempo y no ha sido posible establecer la evolución hidroquímica de sus aguas, por lo que el análisis realizado se basa en los resultados obtenidos en el año 1997.

RED DE CALIDAD					
Punto	Acuífero	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
3032-4-35	Montgó	248.053	4298.973	120	270
3032-4-36	Montgó	246.740	4297.511	90	200
3032-8-20	D. Benisa	247.085	4292.014	155	300
3132-1-27	P. Jávea	253.621	4296.211	14,68	41
3132-5-5	D. Benisa	251.511	4290.108	160	80

El acuífero del Montgó presenta facies bicarbonatadas-cloruradas, al igual que las zonas menos litorales de la Depresión de Benisa; sin embargo, en el límite de ésta con la Plana de Jávea, así como en la propia Plana de Jávea, las aguas adquieren facies mixtas a cloruradas.

Entre los cationes se pasa de facies cálcico-sódicas en los acuíferos del Montgó y la mayor parte de la Depresión de Benisa, a facies sódico-cálcicas en el sector más oriental de la Plana de Jávea y en la zona de contacto entre estos dos últimos acuíferos. En las áreas más interiores del acuífero detrítico de la Plana las aguas adquieren facies cálcicas.

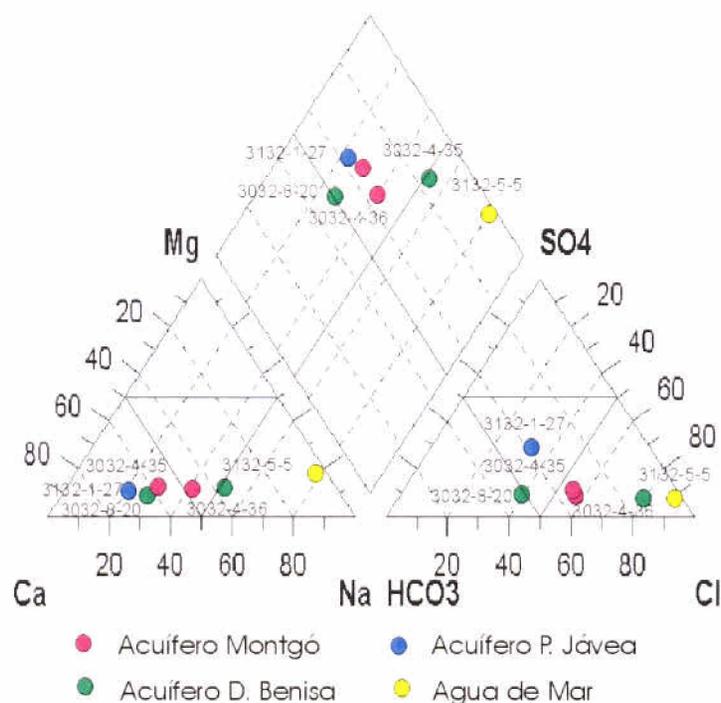


Diagrama de Piper-Hill-Langelier (Año 1997)

5.8.5. Análisis de las relaciones iónicas

La determinación de las relaciones iónicas refleja las mismas condiciones referidas anteriormente, es decir aguas con un elevado contenido en cloruros en la mayor parte de los acuíferos del Montgó y de la Plana de Jávea que, en general, aumentan hacia la costa con la excepción del sector meridional de esta última (Tossalet). En el caso de la Depresión de

Benisa las aguas con elevado contenido salino se circunscriben a la parte norte del acuífero, si bien en su tercio meridional se detectan en algunos puntos elevados contenidos en cloruros achacables a procesos naturales.

La relación $r\text{HCO}_3/\text{rCl}$ presenta valores inferiores o iguales a 1,1 en todos los casos, indicativa de una deficiente calidad del agua. En este sentido, el punto 3132-5-5 (Depresión de Benisa) es el que presenta un valor más bajo (0,13), lo que pone de manifiesto la influencia de las aguas marinas y el fenómeno intrusivo que tiene lugar a través de conductos de circulación preferencial de las calizas del Tossalet. Lo comentado queda refrendado por el elevado índice en ion cloruro en este último punto, que supera ampliamente a todos los demás, con 33,5 meq/L, sin rebasar el resto los 6,4 meq/L

La relación $r\text{SO}_4/\text{rCl}$, al igual que en el caso anterior, presenta valores mínimos en el punto 3132-5-5 y máximos en los situados hacia el interior de la Plana de Jávea (3132-1-27), en este último caso la mayor concentración en ion sulfato podría ser debida a la utilización de fertilizantes agrícolas combinada con la escasa profundidad de los niveles piezométricos en este sector..

En cuanto al resto de las relaciones iónicas, cabría destacar si cabe el escaso contenido de las aguas en ion magnesio, con un valor de la relación $r\text{Mg}/\text{rCa}$ normalmente por debajo de 0,23 meq/L, en donde destaca también la correspondiente al punto 3132-5-5 con 0,48.

Relaciones Iónicas (*)						
Punto de control	Acuífero	$r\text{Na}/\text{rCl}$	$r\text{Mg}/\text{rCa}$	$r\text{CO}_3\text{H}/\text{rCl}$	$r\text{SO}_4/\text{rCl}$	$r\text{Cl}$
3032-4-35 (1)	Montgó	0,726	0,210	0,599	0,286	4,79
3032-4-36 (2)	Montgó	0,823	0,234	0,647	0,247	6,34
3032-8-20 (3)	D. Benisa	0,692	0,152	1,105	0,281	4,08
3132-1-27 (4)	P. Jávea	0,629	0,201	0,895	0,916	5,18
3132-5-5 (5)	D. Benisa	0,713	0,484	0,130	0,093	33,52

(*) r =meq/L; (**) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

5.8.6. Diagnóstico del acuífero

La Unidad Hidrogeológica de Peñón-Montgó-Bernia presenta un comportamiento diferenciado en su sector litoral debido a los distintos acuíferos que la integran. De forma general, la Unidad se encuentra en la actualidad en una situación mucho más favorable que en épocas pasadas, especialmente respecto a la primera mitad de los años ochenta, momento en el que se verificó el máximo avance de los fenómenos intrusivos.

En los últimos años el acuífero del Montgó sigue una tendencia regular con una casi estabilización en la salinidad de sus aguas a medio plazo, muy por debajo de las concentraciones alcanzadas en épocas anteriores consecuencia de la intensa explotación realizada en su extremo occidental. Aún así las actuales extracciones provocan depresiones piezométricas que llegan a situarse hasta casi -10 m s.n.m. en octubre de 1999. La situación hace pensar que el acuífero se encuentra afectado por una cierta sobreexplotación, aunque, sin

embargo, mantiene el grado de calidad de sus recursos en desde 1994 (350 a 550 mg/L), que ha mejorado apreciablemente con respecto a la situación de mediados de los años ochenta, momento en el que se alcanzaron máximos de casi 2.000 mg/L.

En el acuífero de la Depresión de Benisa, salvo en su sector septentrional, no se detectan procesos intrusivos relevantes, si bien las particulares condiciones de las formaciones acuíferas, que presentan una karstificación muy diferenciada con una circulación jerarquizada del flujo subterráneo, dan lugar en ciertos casos a rápidos procesos de salinización en algunas captaciones, y en los que muy probablemente intervengan también fenómenos naturales todavía no suficientemente esclarecidos. La presencia de elevados contenidos en ion cloruro en sondeos situados en áreas de escasa explotación y relativamente alejados de la línea de costa (sondeos del barranco del Salado, de Pinet, etc...), así como las surgencias salobres naturales en el litoral (cueva del Moraig) refuerzan esta afirmación.

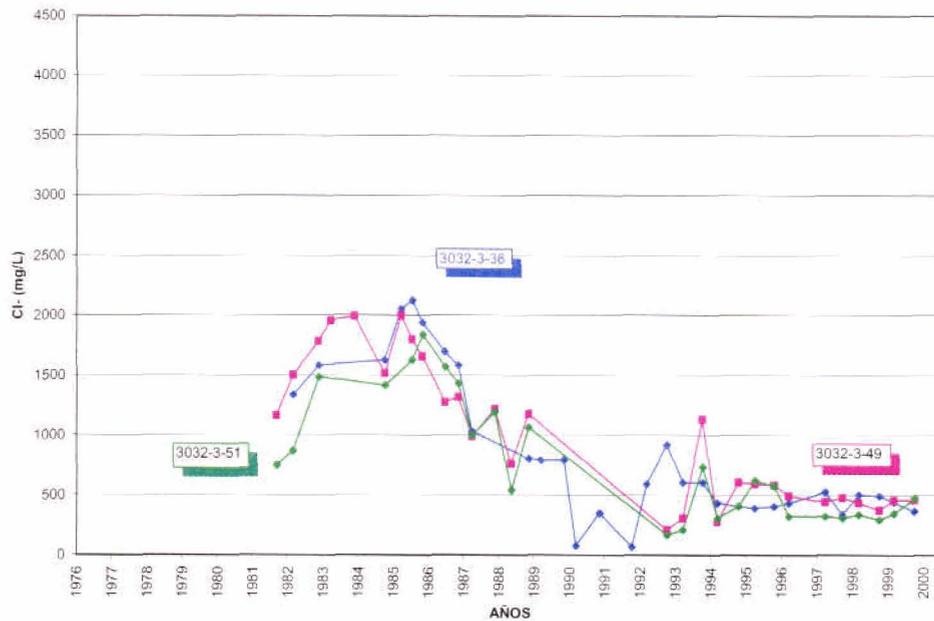
El acuífero de la Plana de Jávea, que es donde con mayor claridad se pone de manifiesto el fenómeno intrusivo, ha sufrido cambios importantes a lo largo del tiempo, hecho fuertemente condicionado por la distribución espacial y volumen de las extracciones. En esto ha tenido una influencia directa el abandono de captaciones y la disminución de explotaciones debido al incremento de la salinidad del agua, que la han llegado a hacer inservible en ciertas épocas, tanto para el uso urbano como agrícola.

En el momento actual el acuífero de la plana de Jávea ha recobrado el equilibrio hídrico, de ahí la mejora observada de forma general en la calidad de su agua. Sólo se verifica un empeoramiento de la misma en el sector meridional, hacia donde se han desplazado los procesos intrusivos, lo que apunta a que la salinización se produce a través de las formaciones carbonatadas del Tossalet, pertenecientes a la Depresión de Benisa, que se encuentran en contacto directo con el mar Mediterráneo.

5.8.7. Evolución previsible. Posibles actuaciones

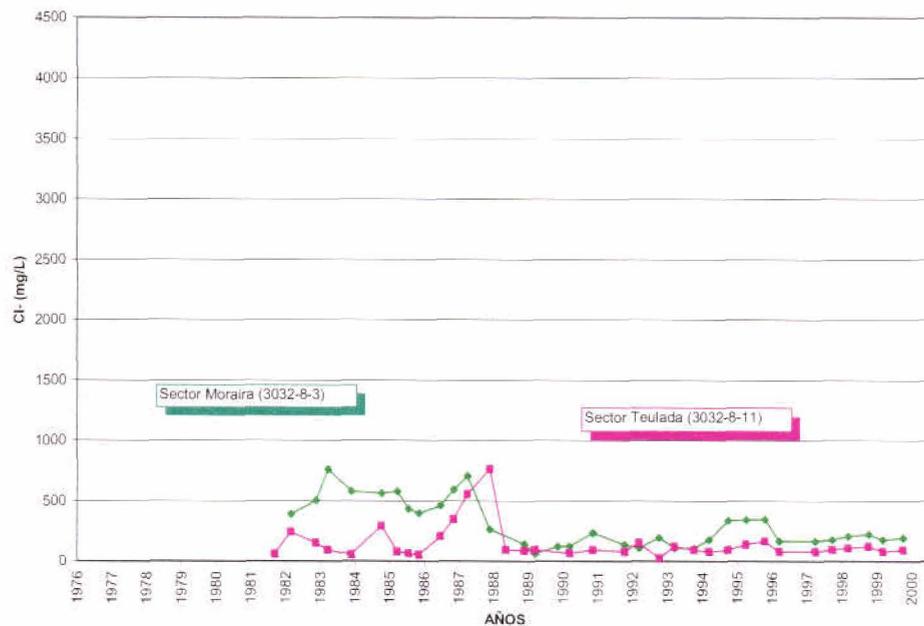
En el acuífero del Montgó, de mantenerse las actuales condiciones, se podrá producir un suave incremento en su contenido salino. Aunque este fenómeno no se estima que sea muy acusado, para evitarlo sería recomendable proceder a una redistribución de las extracciones realizadas en el sistema y, en caso de que esto no sea factible, disminuirlas o al menos no incrementarlas.

EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN ION CLORURO. ACUÍFERO DEL MONTGÓ



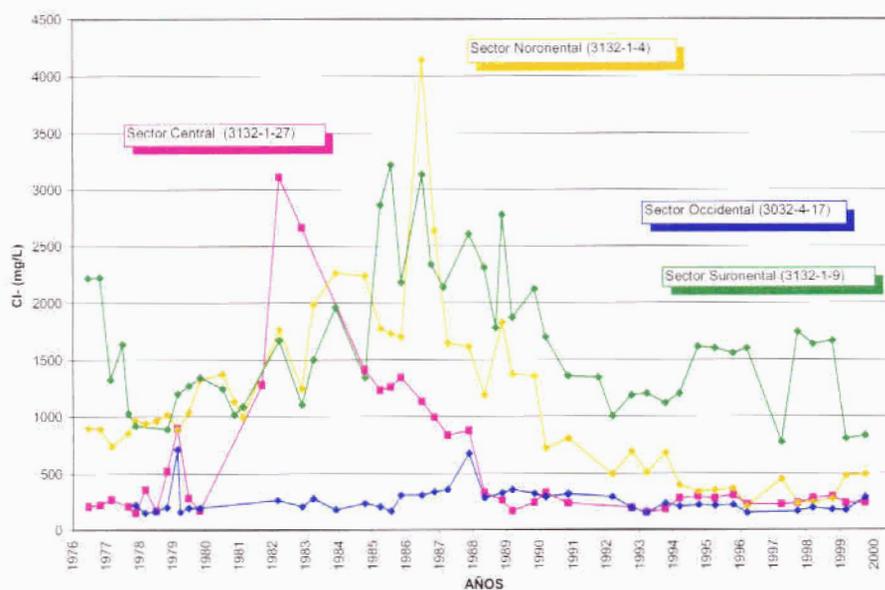
El acuífero de la Depresión de Benisa se encuentra en una situación bastante estabilizada, con ligera recuperación en las zonas que han sido más afectadas por la intrusión en épocas anteriores (límite con la Plana de Jávea), por lo que de no incrementarse excesivamente la explotación no se estima que se produzcan cambios sustanciales.

EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN ION CLORURO. ACUÍFERO DEPRESIÓN DE BENISA

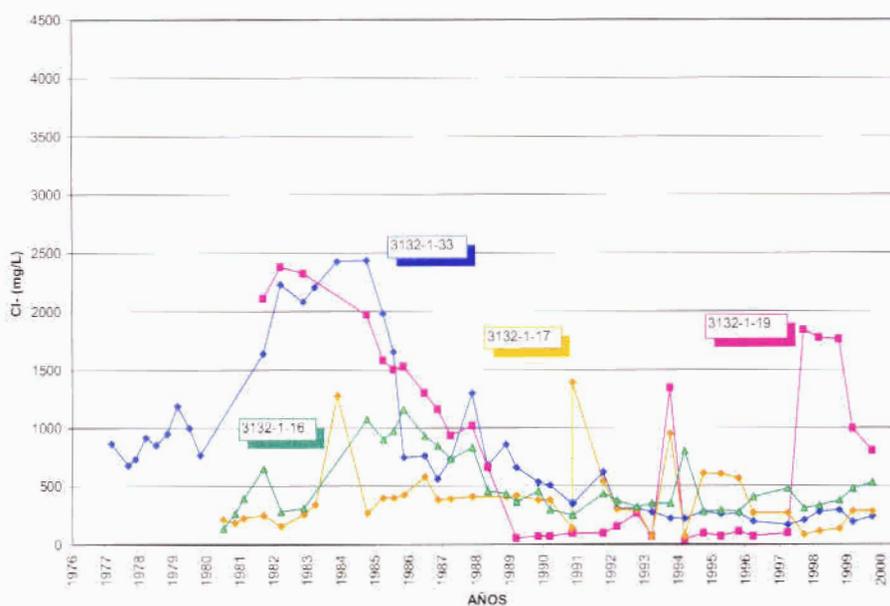


En el acuífero de la Plana de Jávea la autoregulación de las extracciones y el abandono de pozos por parte de los propios usuarios, ha propiciado una mejora apreciable en la calidad de sus aguas en general desde el final de la década de los años ochenta, a partir de cuando la situación tiende a estabilizarse, aunque con algún momento de empeoramiento puntual (año 1998). Esta mejora puede ser potenciada a su vez por una política de redistribución de los volúmenes extraídos, alejando las captaciones de la zona costera (hecho que en parte ya ha tenido lugar) y, sobre todo, por la aplicación de técnicas de recarga artificial del acuífero aluvial de Jávea a partir de los aportes superficiales del río Gorgos. En este aspecto se han llevado a cabo pequeñas experiencias por parte de las sociedades de regantes.

EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN ION CLORURO. ACUÍFERO PLANA DE JÁVEA



EVOLUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN EN ION CLORURO. SECTOR TOSSALET ACUÍFEROS DEPRESIÓN DE BENISA Y PLANA DE JÁVEA



En general estos acuíferos se encuentran en una etapa que podría denominarse como "post-intrusiva", ya que después de sufrir un intenso fenómeno de salinización en la década de los años ochenta, la calidad del agua ha mejorado sustancialmente debido a la recuperación de las precipitaciones y a la disminución de las extracciones. A juzgar por la evolución seguida, la lección ha sido bien aprendida por los usuarios dándose de forma directa o indirecta una autoregulación en la explotación de los acuíferos más intensamente afectados por la salinización, como la Plana de Jávea y Montgó. La tendencia futura, por tanto, es que los actuales niveles de intrusión serán mantenidos.

En el caso de la Depresión de Benisa, la complejidad añadida que confieren a este sistema los fenómenos de salinización natural, junto a unos recursos importantes todavía sin explotar, implica una mayor indeterminación en la evolución futura de los procesos intrusivos, en los que sin lugar a dudas tendrá mucho que ver la forma en la que se afronte el aprovechamiento de sus aguas subterráneas, que deberá ser diseñada según las directrices técnicas dimanantes de estudios específicos que necesariamente tendrán que ser realizados.

5.9. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.48 ORCHETA

5.9.1. Descripción hidrogeológica

Esta unidad hidrogeológica está constituida por materiales detríticos pliocuaternarios, y materiales carbonatados cretácicos (Senoniense-Cenomaniense) y Jurásicos (Kimmeridgiense).

Los materiales detríticos pliocuaternarios dan lugar a acuíferos porosos multicapa, constituidos por niveles de gravas y conglomerados intercalados entre materiales arcillosos, con un espesor medio de 25-35 metros. Los materiales carbonatados mesozoicos (calizas), constituyen acuíferos fisurados/karstificados, con un espesor medio de 100 metros.

Dentro de la poligonal que define la unidad, se pueden distinguir 5 acuíferos pertenecientes a los Subsistemas 50.1.09 Orcheta, y 50.3 Acuíferos aislados del Sur de Alicante:

- 50.1.09.01 Acuífero Anticlinales de Orcheta
- 50.1.09.03 Acuífero de Benidorm-Altea
- 50.1.09.04 Acuífero de Villajoyosa
- 50.3.10 Acuífero de Cabezón de Oro
- 50.3.12 Acuífero de San Juan-Campello

Los acuíferos de San Juan-Campello, Villajoyosa y Benidorm-Altea son cuaternarios detríticos, mientras que los de Anticlinales de Orcheta y Cabezón de Oro son mesozoicos carbonatados. Una característica común a todos ellos es su carácter aislado.

Las entradas de la unidad proceden de la infiltración de la lluvia útil ($6 \text{ hm}^3/\text{año}$), además de una pequeña alimentación esporádica a través del embalse de Amadorio. Las salidas se producen a través de manantiales, por bombeos y flujo hacia el mar.

En los acuíferos cuaternarios el flujo subterráneo se dirige hacia el mar (NO a SE). En los acuíferos de Anticlinales de Orcheta y Cabezón de Oro el flujo sigue una dirección de N a S.

Los límites de la unidad son:

Al norte y oeste las Unidades Hidrogeológicas 49 (Agost-Monegre), 44 (Barrancones-Carrasqueta) y 45 (Sierra Aitana), siendo todos de carácter impermeable.

Al sur y este el límite lo constituye el Mar Mediterráneo.

Las facies hidroquímicas predominantes son sulfato-cloruradas cálcicas-sódicas y sódico-cálcicas, y cloruro-sulfatadas sódico-cálcicas. Por lo general la calidad es apta para el abastecimiento urbano y para regadío en los acuíferos carbonatados del interior (Anticlinales de Orcheta y Cabezón de Oro), no siendo apta en los acuíferos cuaternarios costeros.

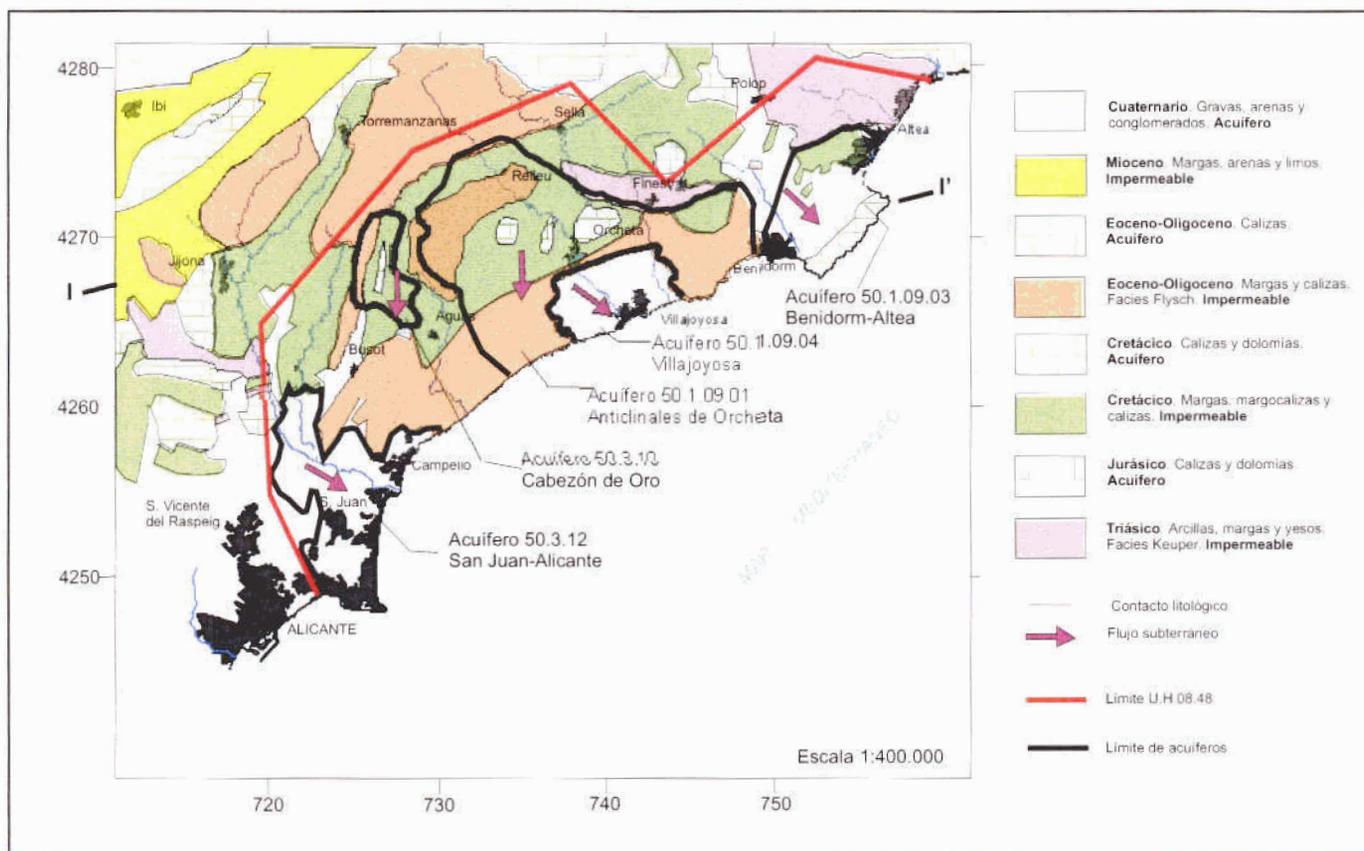


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico

5.9.2. Análisis de la piezometría y su evolución

El estudio de la piezometría se ha realizado a partir de los datos de la red de control piezométrico del IGME. Como la unidad está constituida por cinco acuíferos independientes y aislados entre si, no se puede realizar un análisis global de la piezometría a nivel de unidad. Asimismo, la escasez de puntos de control, 6 en total repartidos entre los acuíferos de Cabezón de Oro y Anticlinales de Orcheta, no ha permitido la elaboración de mapas de piezometría. En su lugar se han analizado los gráficos de evolución piezométrica de los puntos más representativos de los acuíferos anteriormente citados.

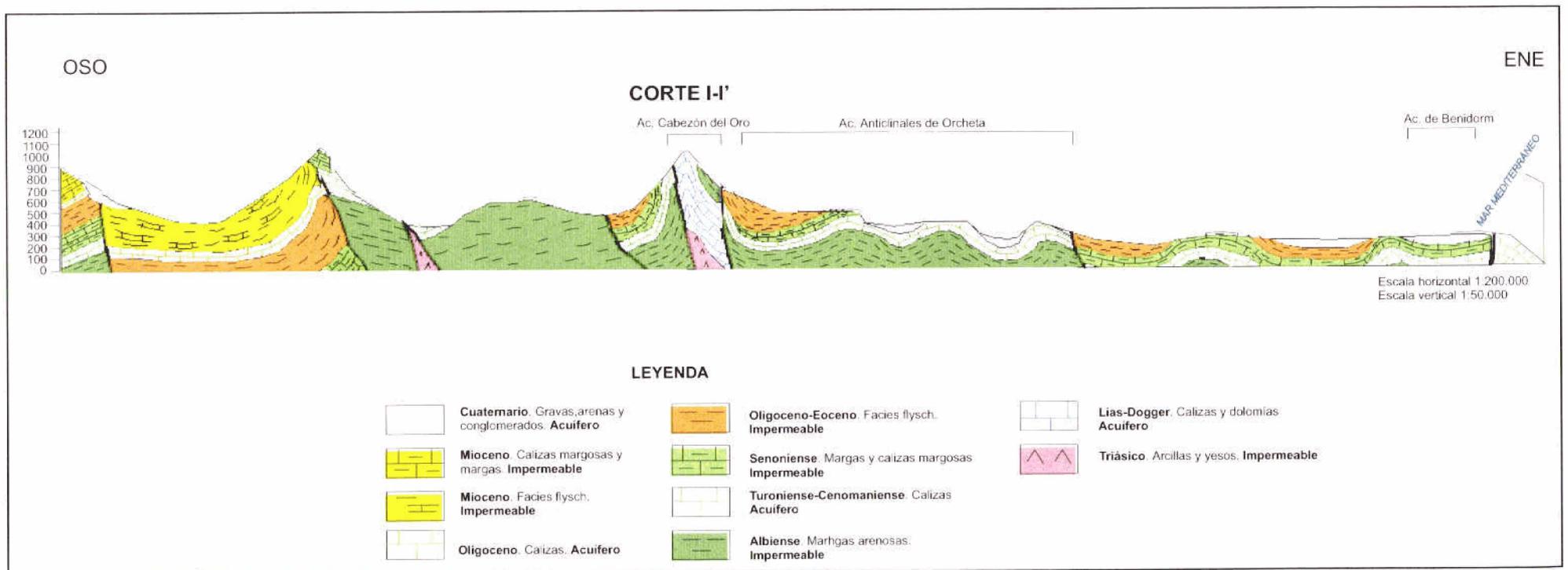
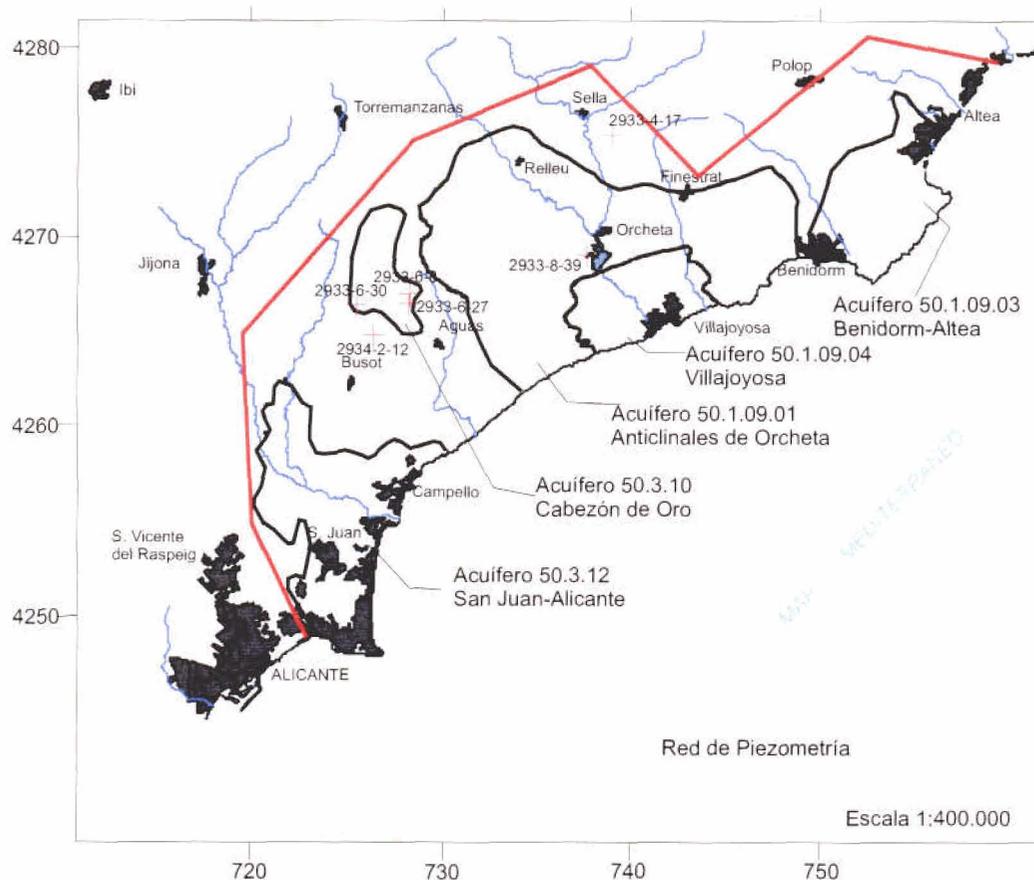


Figura 2.- Corte hidrogeológico

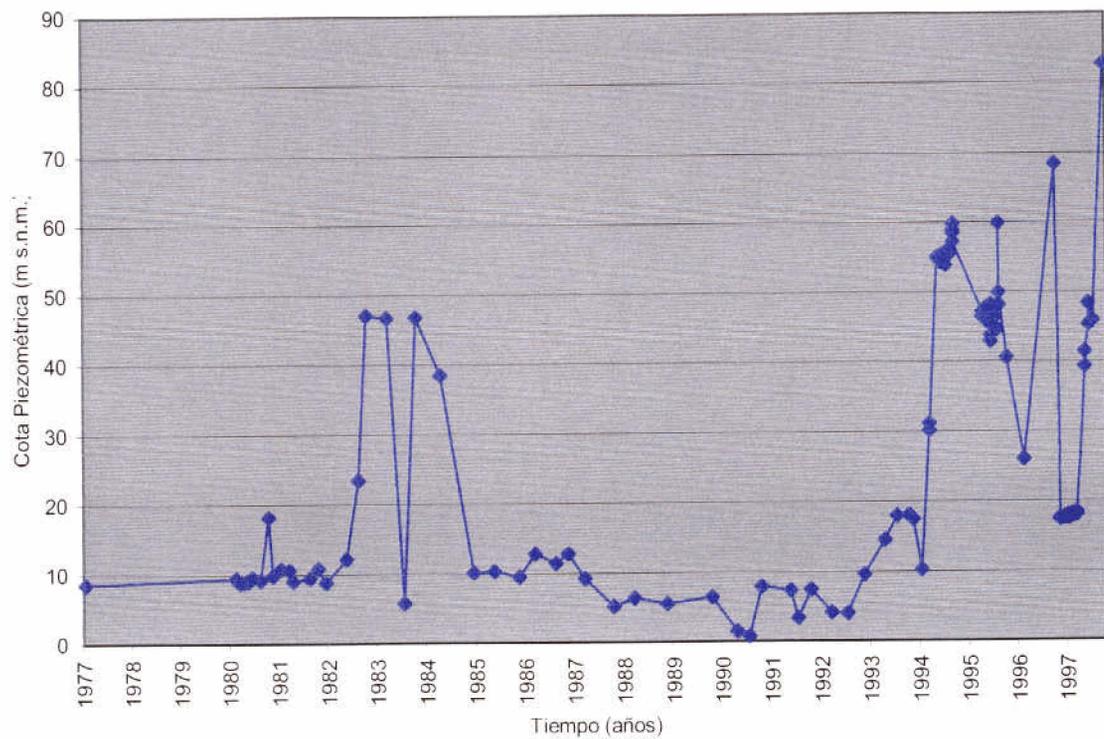
Red de Piezometría

PUNTO	UTM X	UTM Y	Z (m.s.n.m.)	Profundidad (m)	Acuífero controlado
2933-6-08	729,503	4266,228	420	300	Cabezón de Oro
2933-6-27	729,296	4265,504	420	400	Cabezón de Oro
2933-6-30	725,850	4265,400	500	100	Cabezón de Oro
2934-2-12	726,860	4264,474	425	445	Cabezón de Oro
2933-4-17	739,967	4275,174	375		Anticlinales de Orcheta
2933-8-39	738,052	4270,735	148	181	Anticlinales de Orcheta

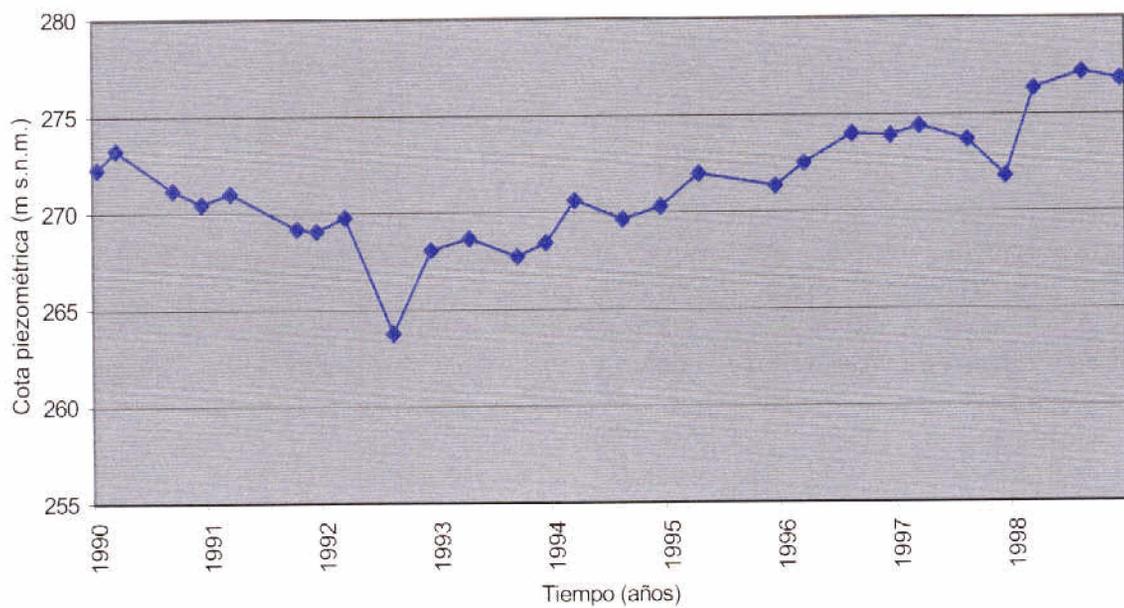


El gráfico de evolución piezométrica, para el periodo 1.990-1998, del punto 2933-6-0008, el más representativo del Acuífero 50.3.10 Cabezón de Oro, muestra cotas piezométricas entre 264 y 277 m s.n.m., con variaciones máximas de 13 metros. La evolución desde 1.992 hasta 1.998 es un ligero ascenso de los niveles. El flujo subterráneo deducido, se dirige de NO a SE.

Acuífero Anticlinales de Orcheta
Punto 2933-8-0039



Acuífero Cabezón de Oro
Punto 2933-6-0008



La evolución piezométrica en el Acuífero 50.1.09.01 Anticlinales de Orcheta, para el periodo 1.977-1.977, de acuerdo con los datos del punto de control 2933-8-0039, muestra importantes variaciones desde 2 m s.n.m. en 1.990, hasta 82 m s.n.m. en 1.997. Además se aprecian variaciones periódicas, con un orden de magnitud de 40 a 50 metros. Esta tendencia es lógica, teniendo en cuenta que el punto de control se encuentra ubicado en la cola del embalse de Amadorio, el cual alimenta al acuífero, y además está afectado por los bombeos del sondeo de abastecimiento a Villajoyosa, 2933-8-0038, situado a escasos metros de distancia.

5.9.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

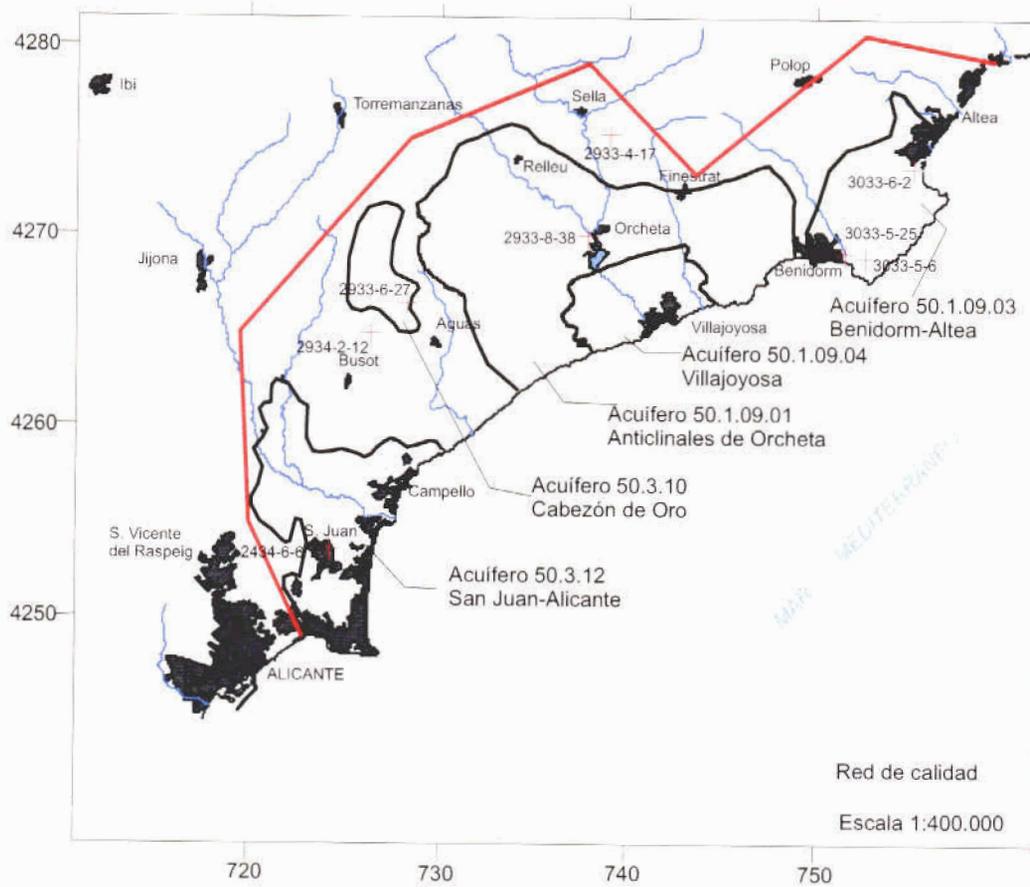
El mejor indicador de contaminación salina de un acuífero es el ion Cl⁻, al no verse alterado por la circulación del agua a través del acuífero. Los principales aportes de este ion a las aguas subterráneas son la intrusión marina y la presencia de evaporitas en el subsuelo o en las zonas de recarga de los acuíferos. Asimismo pueden existir aportes puntuales como consecuencia del vertido de aguas residuales urbanas.

En el caso de la U.H. 08.48 existe un Keuper salino al norte de los acuíferos Benidorm-Altea y Anticlinales de Orcheta (diapiros de Polop y Finestrat respectivamente), así como en el basamento de la depresión de San Juan. Asimismo, el límite oriental de los acuíferos de Benidorm-Altea, Villajoyosa, Anticlinales de Orcheta y San Juan-Campello, es el Mar Mediterráneo.

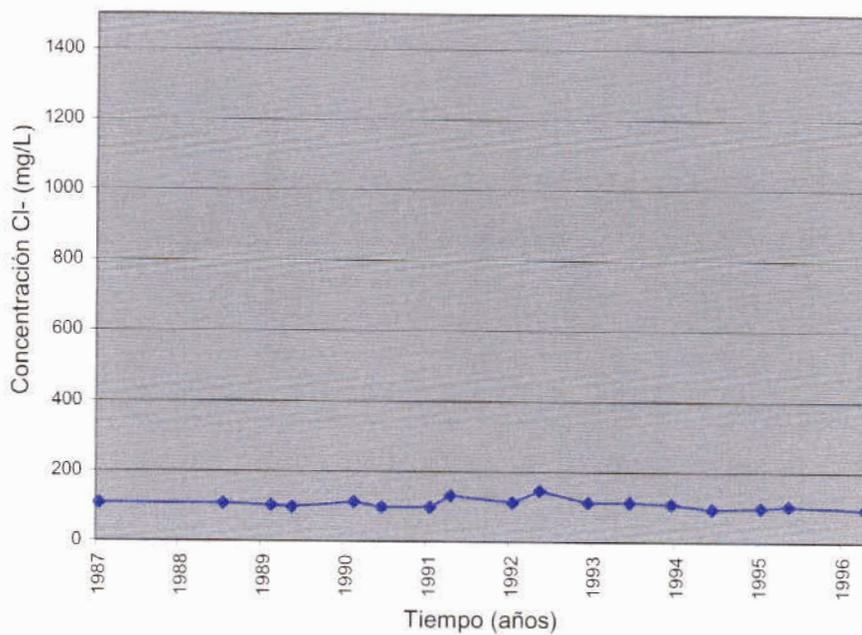
Para abordar el problema se han utilizado los datos de la red de calidad del IGME. No se han podido realizar mapas de isocontenidos de cloruros, debido a la escasez de puntos de control, así como a la dispersión temporal de los datos disponibles. Por este motivo se ha optado por analizar los gráficos de evolución de isocloruros de los puntos de control más representativos de cada acuífero. Aún así, no se dispone de datos en el Acuífero de Villajoyosa.

Red de Calidad

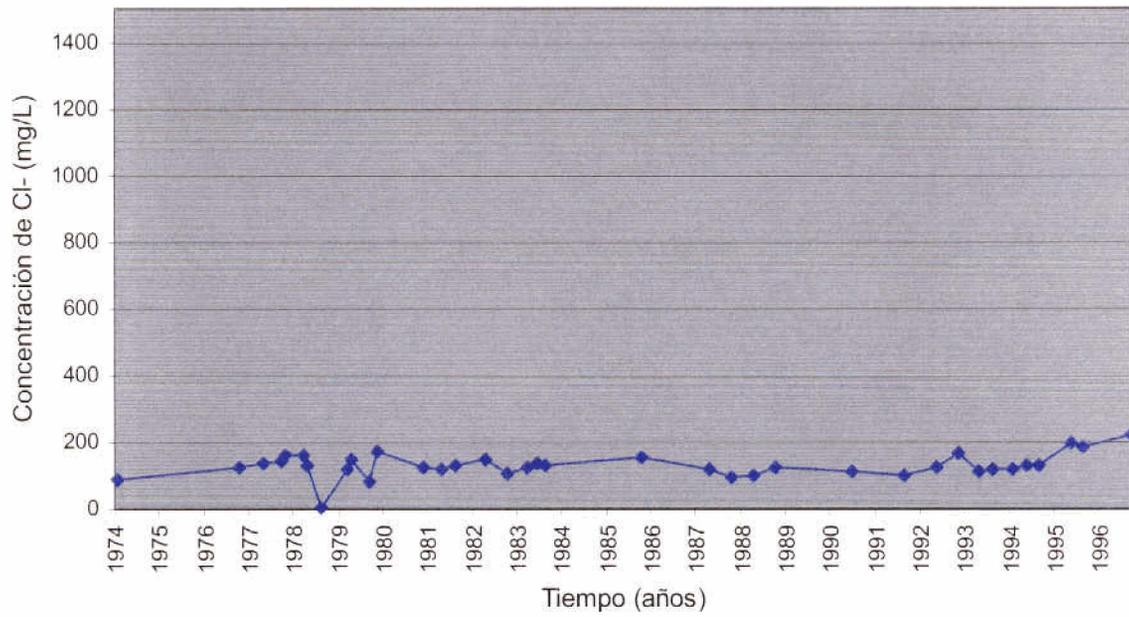
2933-4-17	739,967	4275,174	375		Anticlinales de Orcheta
2933-6-27	729,296	4265,504	420	400	Cabezón de Oro
2933-8-38	737,927	4270,786	155	357,5	Anticlinales de Orcheta
2934-2-12	726,860	4264,474	425	445	Cabezón de Oro
2934-6-06	725,024	4254,829	48	60	San Juan-Campello
3033-5-06	752,127	4269,900	11	7	Benidorm-Altea
3033-5-25	751,284	4269,745	6	35	Benidorm-Altea
3033-6-02	755,430	4274,376	8	7,5	Benidorm-Altea



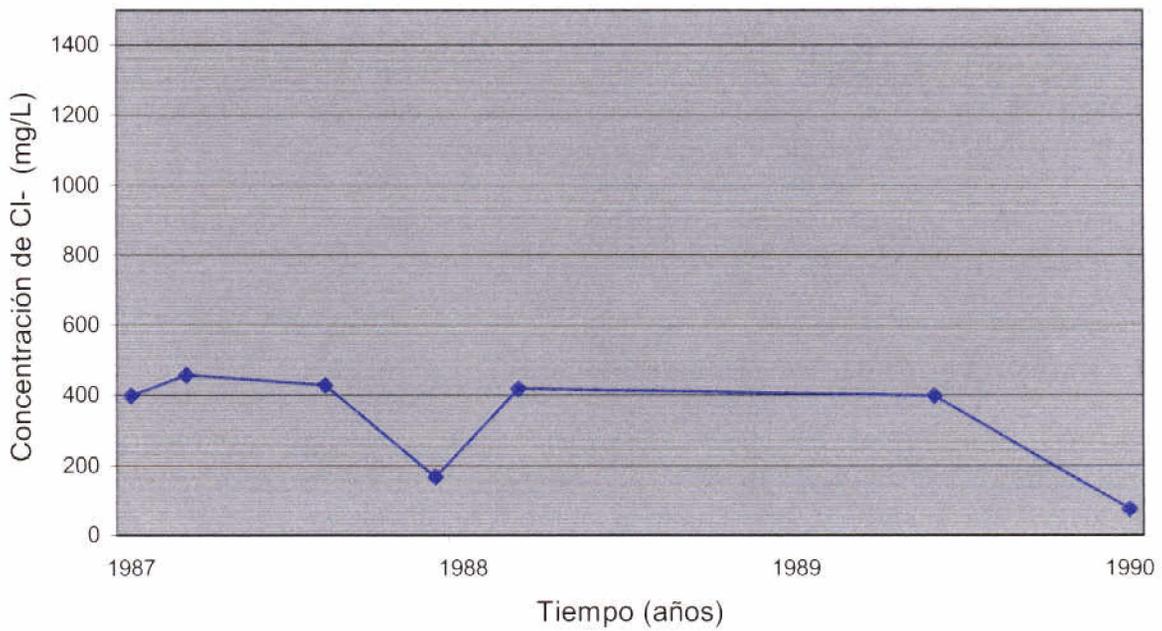
**Acuífero Cabezón de Oro
Punto 2933-6-0027**



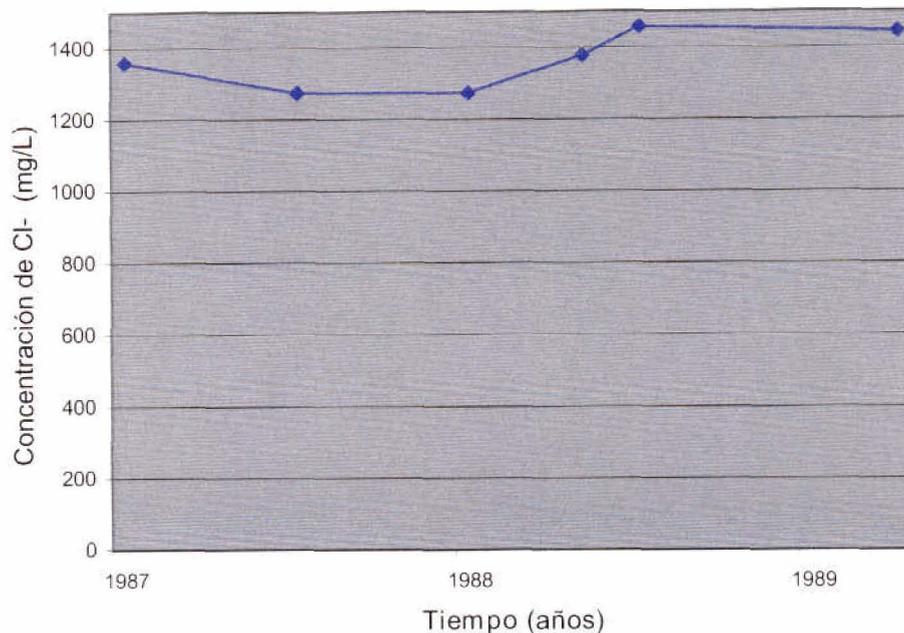
**Acuífero Anticlinales de Orcheta
Punto 2933-8-0038**



**Acuífero Benidorm-Altea
Punto 3033-6-0002**



**Acuífero San Juan-Campello
Punto 2934-6-0006**



En los acuíferos de Anticlinales de Orcheta y Cabezón de Oro, la concentración de cloruros se mantiene por debajo de 200 mg/L, sin que existan variaciones significativas a lo largo del tiempo, hasta el año 1.997. Estos valores indican la ausencia de contaminación de origen marino.

El acuífero Benidorm-Altea presentaba en el periodo 1.987-1.990 concentraciones próximas a los 400 mg/L, en el sector situado al sur de la localidad de Altea (punto 3033-6-0002). Estos valores, aunque no son excesivamente elevados, pueden indicar un incipiente proceso de salinización. Sin embargo, en los puntos 3033-5-0006 y 3033-5-0025, situados inmediatamente al este de Benidorm, la concentración de cloruros varía entre 975 y 1.100 mg/L, lo que indica una evidente salinización del acuífero.

En el acuífero San Juan-Campello la concentración de cloruros es más elevada (entre 1.275 y 1.460 mg/L) en el periodo 1.987-1.989.

5.9.4. Caracterización de las facies hidroquímicas

En los diagramas de Piper adjuntos se han representado los puntos de la red de calidad diferenciándose los distintos acuíferos que constituyen la unidad. No se ha representado el Acuífero de Villajoyosa, por no existir puntos de la red de calidad.

En el Acuífero de los Anticlinales de Orcheta (punto 2933-8-0038), las aguas evolucionan desde facies bicarbonatadas magnesico-cálcicas a sulfato-cloruradas magnesico-sódicas, entre los años 1.987 y 1.996. La variación composicional de este punto se atribuye a la mezcla de

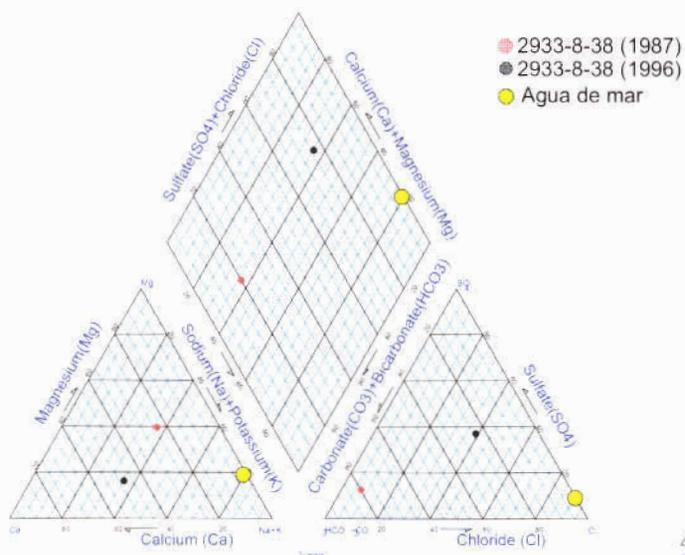
aguas que se produce en el embalse e Amadorio, en cuya cola se encuentra el punto de control.

En el Acuífero Cabezón de Oro las facies son sulfatadas cálcicas en los puntos de control 2933-6-27 y 2934-2-12, lo que indica una evidente influencia del keuper yesífero subyacente.

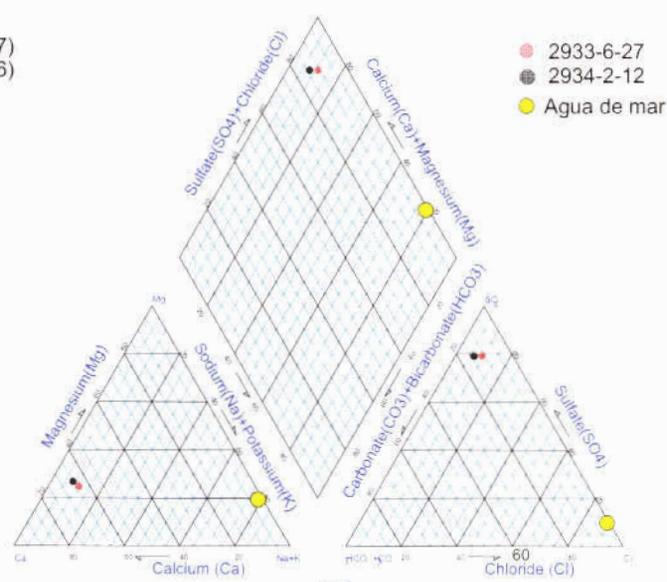
En el Acuífero San Juan-Campello el agua del punto 2934-6-0006 (situado al NE de San Juan), no sufre variaciones composicionales desde 1.987 a 1.989, correspondiendo a facies sulfato-cloruradas sódico-cálcicas. Sus características hidroquímicas evidencian una influencia del keuper yesífero existente en amplios sectores del basamento de la depresión (contenidos en sulfatos de 1.790 a 1.870 mg/L), así como contaminación por intrusión marina (concentraciones de cloruros entre 1.275 y 1.445 mg/L y de sodio entre 755 y 823 mg/L). No obstante hay que considerar la influencia del riego generalizado con aguas residuales urbanas, así como el uso de productos fitosanitarios.

En el Acuífero Benidorm-Altea se han distinguido dos sectores en base a las características hidroquímicas. En el sector de Altea (punto de control 3033-6-2), las facies son sulfatadas y sulfato-cloruradas cálcico-sódicas, detectándose una influencia de los cercanos materiales triásicos evaporíticos de la alineación diapírica Polop-Altea, así como una incipiente salinización del acuífero (concentraciones de cloruros de 400 mg/L y de sodio de 265 mg/L). En el sector de Benidorm (puntos de control 3033-5-0006 y 3033-5-25) las facies predominantes son cloruradas sódicas, con concentraciones de cloruros de 1.000 a 1.100 mg/L, de sodio entre 300 y 770 mg/L y de potasio de hasta 30 mg/L. Estos datos, correspondientes al periodo 1.987-1.990, evidencian la afección de este acuífero por intrusión marina.

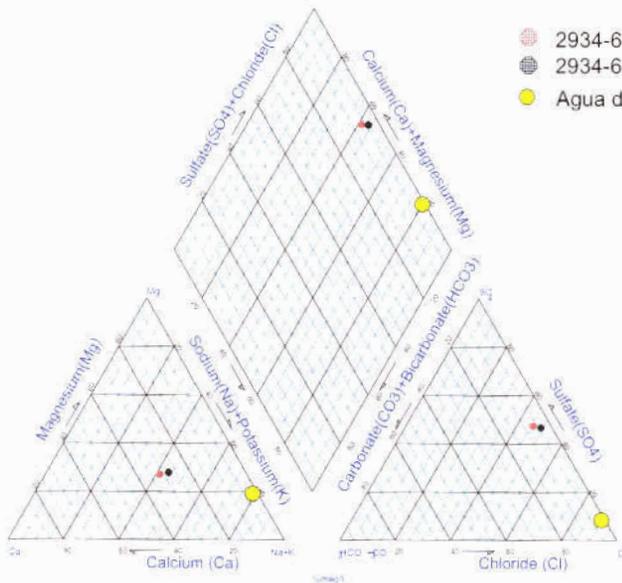
Acuífero Anticlinales de Orçeta



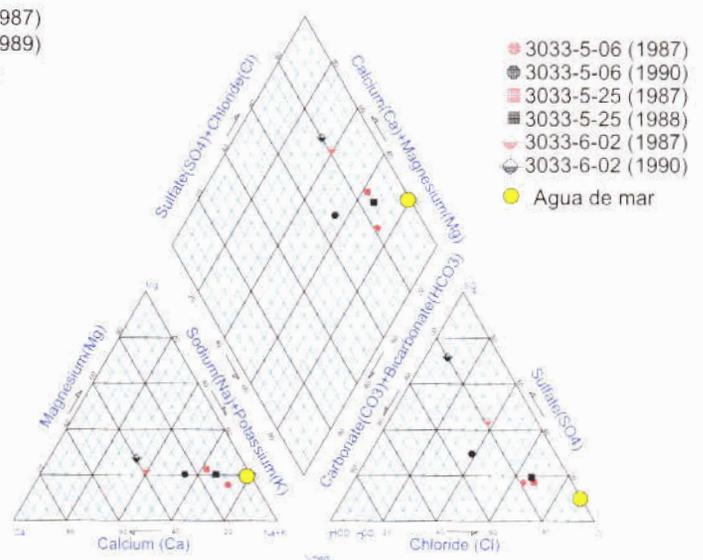
Acuífero Cabezón de Oro



Acuífero San Juan-Campello



Acuífero Benidorm-Altea



5.9.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se muestran los valores de las relaciones iónicas más significativas de los puntos de la red de calidad del IGME.

Nº de Punto	Fecha	Acuífero	rNa/rCl	rMg/rCa	rCl/rHCO ₃	rSO ₄ /rCl
293360027	10/06/87	Cabezón de Oro	1,12185687	0,59		6,50419084
293360027	19/09/96		1,05543113	0,38870588	0,8597561	8,30757745
293420012	17/07/89		0,61702128	0,3417931		5,45815603
293420012	19/09/96		1,23404255	0,413	0,47764228	11,8014184
293380038	29/05/87	Anticlinales de Orcheta	1,09264184	1,652	0,8971368	1,69030733
293380038	10/10/96		0,95981087	0,34011765	1,61204268	0,95066982
293460006	20/11/87	San Juan-Campello	0,91343346	0,85839216	6,8511814	1,03551662
293460006	02/08/89		0,87856144	1,00556522	11,8318815	0,95452649
303360002	01/10/87	Benidorm-Altea (sector Altea)	1,02194149	0,5746087	1,96515679	1,17092199
303360002	30/10/90		4,11347518	0,69153488	0,40940767	8,75271868
303350006	21/12/87	Benidorm-Altea (sector Benidorm)	1,21822149	1,4868	3,42147835	0,26477541
303350006	18/10/90		1,54255319	0,826	1,19965967	0,77446809
303350025	01/10/87		0,88346228	1,475	4,67028004	0,25480335
303350025	24/05/88		1,00568419	1,58017391	4,61553273	0,29286608
293340017	22/10/80		1,26709726	0,2891		0,63221884
293340017	28/09/94		0,856974	0,26845		0,98345154
Agua de mar **			0,837	4,354	216	0,111

* r=meq/L; ** Agua del mar en Barcelona (Custodio, 1970)

Los valores de la relación rCl/rHCO₃ se encuentran dentro del rango de las aguas dulces (0,1 a 5) en los acuíferos de Cabezón de Oro y Anticlinales de Orcheta. En el acuífero San Juan-Campello los valores superan este rango, indicando que existe una influencia marina

importante. En el acuífero Benidorm-Altea los valores están dentro del rango de las aguas dulces, aunque en el sector de Benidorm alcanzan valores elevados, próximos a 5, lo que indica que en los años 1.987 y 1.988 existía una incipiente salinización en este sector del acuífero del acuífero.

La relación rNa/rCl muestra en casi todos los casos valores superiores a los del agua del mar, como corresponde a las aguas dulces. Cabe hacer la excepción del punto 293420012, situado en el acuífero Cabezón de Oro. No obstante la baja concentración de cloruros de este punto (100 mg/L), descarta la influencia marina. Hay que prestar, sin embargo, atención a los puntos 293460006 (Acuífero San Juan-Campello) y 303350025 (Acuífero Benidorm-Altea, sector Benidorm), donde el índice presenta valores muy próximos a los del agua del mar, y las concentraciones de cloruros son muy elevadas (1.445 y 1.100 mg/L respectivamente). En estos casos se puede atribuir a influencia marina.

El índice rSO_4/rCl presenta valores muy elevados en el acuífero de Cabezón de Oro y en el sector de Altea del Acuífero Benidorm-Altea, debido a los aportes de sulfatos desde las arcillas yesíferas del Keuper. El resto de acuíferos presentan valores dentro del rango de las aguas dulces, aunque las altas concentraciones en sulfatos de las aguas de estos acuíferos pueden enmascarar la influencia marina, por lo que este índice no se puede considerar como representativo.

El índice rMg/rCl presenta valores bajos (inferiores a 1) en los acuíferos Cabezón de Oro, Anticlinales de Orcheta y Benidorm-Altea (sector Altea). Los valores más elevados, (1,47 a 1,58), aparecen en los puntos 303350006 y 303350025, situados en el sector de Benidorm del acuífero Benidorm-Altea, indicando una posible influencia marina.

5.9.6. Diagnóstico del estado actual de los acuíferos

Los datos disponibles para la elaboración del presente estudio corresponden a los años 80 y 90. Por este motivo, los resultados deben tomarse como una aproximación de la situación actual de los acuíferos. Teniendo en cuenta el incremento de población que ha sufrido este área en los últimos años, debido principalmente a la demanda turística (sectores de Benidorm, Altea, Villajoyosa), la calidad actual de los acuíferos debe estar sustancialmente más deteriorada que la presentada en este estudio, como consecuencia del incremento de los bombeos y los vertidos de aguas residuales.

La Unidad Hidrogeológica 08.26 Orcheta presentaba en general, en el periodo referido, una calidad baja, aunque existen diferencias entre los distintos acuíferos que la constituyen.

En el acuífero Cabezón de Oro se superan los límites establecidos por la “Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) de 1.990 para el abastecimiento y control de calidad de aguas potables de consumo público”, en los iones sulfato y magnesio.

En el acuífero Anticlinales de Orcheta se superan los límites establecidos para el ion sulfato.

En el acuífero San Juan-Campello se superan los límites de los iones sulfato, nitrato, sodio, magnesio y aunque no existe límite para el ion cloruro, se supera la concentración de 200 mg/L a partir de la cual se especifica que puede existir riesgo de producirse efectos nocivos.

En el sector de Altea del acuífero Benidorm-Altea, se superan los límites establecidos para los iones sulfato, nitratos, sodio y magnesio, existiendo concentraciones de cloruros superiores a 200 mg/L

En el sector de Benidorm del acuífero Benidorm-Altea se superan los límites establecidos para los iones sulfato, sodio, magnesio y potasio, apareciendo asimismo concentraciones superiores a 200 mg/L de cloruros.

Las concentraciones, generalizadamente elevadas, de sulfatos, se deben a la presencia de arcillas con yesos del Keuper en los límites de los acuíferos y en el subsuelo. Las concentraciones elevadas en los iones cloruro, sodio, potasio y magnesio son atribuibles a contaminación por intrusión marina. En el caso de los nitratos en el acuífero Benidorm-Altea, debe atribuirse al uso abusivo de fertilizantes y vertidos de aguas residuales urbanas.

5.9.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La situación con respecto a la intrusión marina, en los años 80 y 90, muestra la existencia de afección en los acuíferos cuaternarios, principalmente en el área de Benidorm del acuífero Benidorm-Altea, y en el acuífero San Juan-Campello. Aunque no se dispone de datos del acuífero de Villajoyosa, la situación se prevé similar.

Al no existir puntos de control piezométrico en estos acuífero, se desconoce la relación entre la evolución piezométrica y la evolución de cloruros. Por lo tanto se considera necesario llevar a cabo el control piezométrico y de calidad en estos acuíferos. No obstante se recomienda, de forma preventiva, restringir las extracciones en estos acuíferos.

En los acuíferos mesozoicos del interior no se ha encontrado afección por intrusión marina, aunque se prevé un incremento en la concentración de sulfatos y cloruros si se producen descensos significativos del nivel piezométrico, como consecuencia de la presencia de arcillas con evaporitas en el núcleo de las estructuras que conforman los acuíferos.

6. CUENCA DE BALEARES

6.1. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.01 ANDRATX

6.1.1. Descripción hidrogeológica

La unidad hidrogeológica se halla situada en el sector más occidental de la Sierra de Tramontana. Las principales formaciones acuíferas que integran esta unidad son los materiales carbonatados del Muschelkalk, Lías y Mioceno, y los materiales detríticos del Cuaternario. El Muschelkalk se encuentra muy localizado y puede dar lugar a acuíferos libres o confinados (por las margas del Keuper) según las zonas. El Lías también da lugar a acuíferos libres o confinados, en este último caso por la presencia de margas del Burdigaliense superior o del Cretácico, dependiendo de las zonas. Por su posición estructural se distingue un Lías autóctono sobre el que cabalga un Lías alóctono que forma acuíferos colgados, con base impermeable en el Keuper (nivel de despegue). El Mioceno constituye acuíferos semiconfinados o confinados por las margas del Burdigaliense superior. El recubrimiento detrítico cuaternario da lugar a pequeños acuíferos de carácter libre y de interés muy local, principalmente en las cercanías del Puerto de Andratx.

La elevada complejidad tectónica de la zona da lugar a una gran heterogeneidad en la distribución espacial de las diferentes formaciones acuíferas, lo cual dificulta enormemente su caracterización. La continuidad en los niveles estratigráficos es muy pobre lo que provoca la compartimentación de los niveles acuíferos (básicamente formados por las calizas liásicas en las que se centran las principales extracciones) por lo que la zona se caracteriza por la presencia de acuíferos pequeños y dispersos.

La unidad limita al N y al O con el mar, al NE con la unidad de Deiá, y al E con los valles que forman la unidad de Calviá, cuyo límite es poco conocido desde el punto de vista hidráulico.

La formación acuífera del Muschelkalk está formada por dolomías tableadas cuya potencia media es de 100 m. El Lías lo constituyen dolomías tableadas, dolomías masivas y calizas de potencia variable, pero que pueden llegar a los 300 m de espesor. El Mioceno lo constituyen calizas lacustres y conglomerados con potencias medias de 60 - 70 metros, mientras que las gravas y limos que forman el acuífero cuaternario no superan los 15 metros de espesor. El flujo subterráneo de todas las formaciones acuíferas transcurre en general del interior hacia el mar con pequeñas modificaciones locales donde la explotación y bombeo es intensa. Las entradas al sistema proceden principalmente de la precipitación directa sobre los afloramientos permeables, mientras que las salidas se producen por descarga al mar, bombeos y drenaje por fuentes de los acuíferos colgados.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, el Triásico presenta transmisividades del orden de 100 m²/día con caudales medio de 5 - 30 m³/hora. El Lías muestra transmisividades que superan los 100 m²/día, y finalmente el Mioceno tiene transmisividades medias de 20 - 30 m²/día que localmente pueden alcanzar 140 - 150 m²/día.

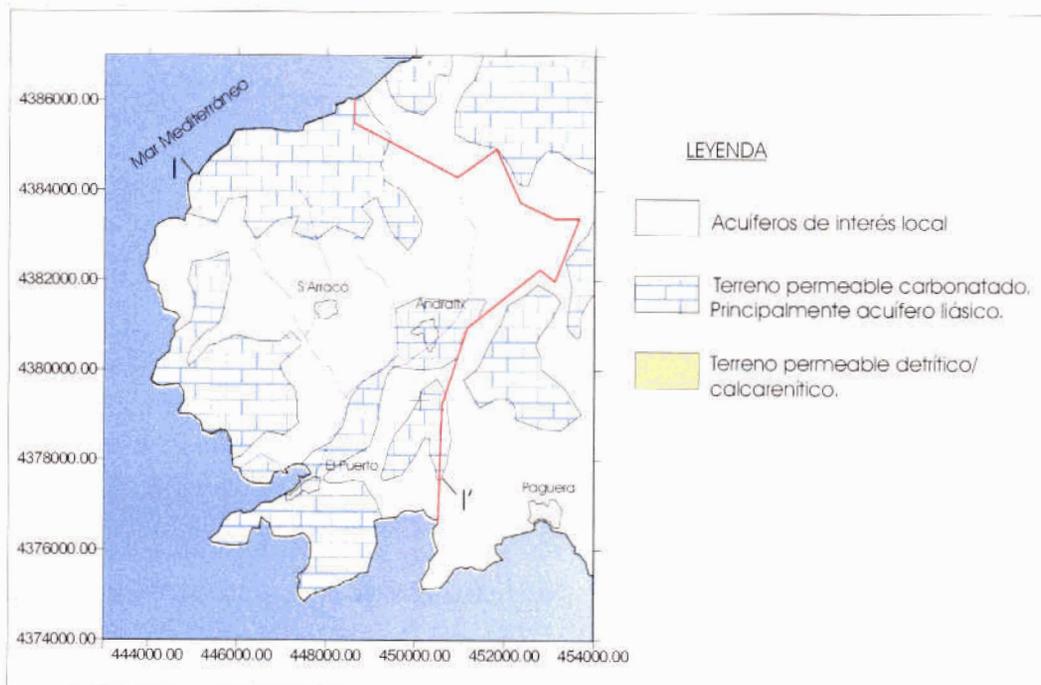


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.01 Andratx (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

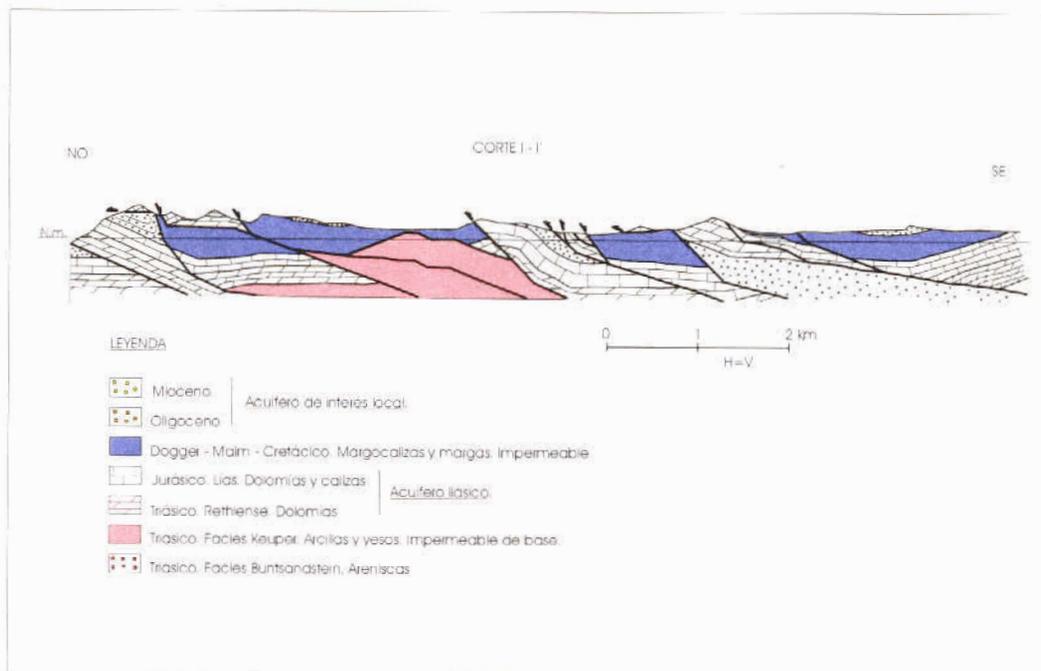
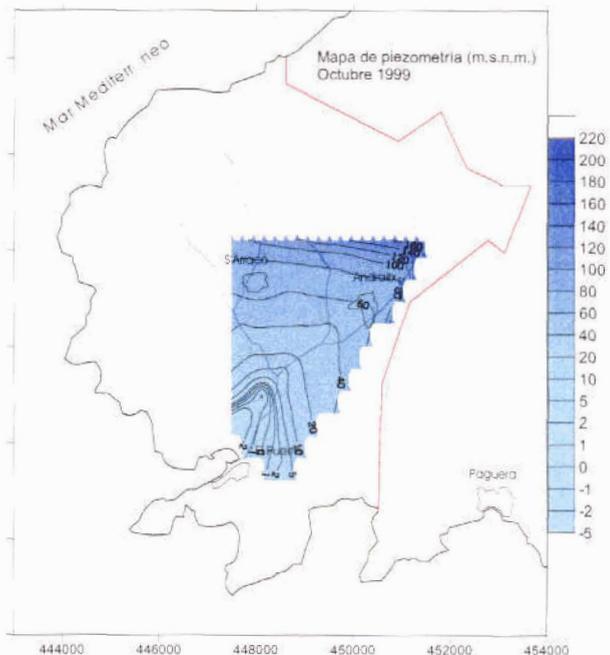
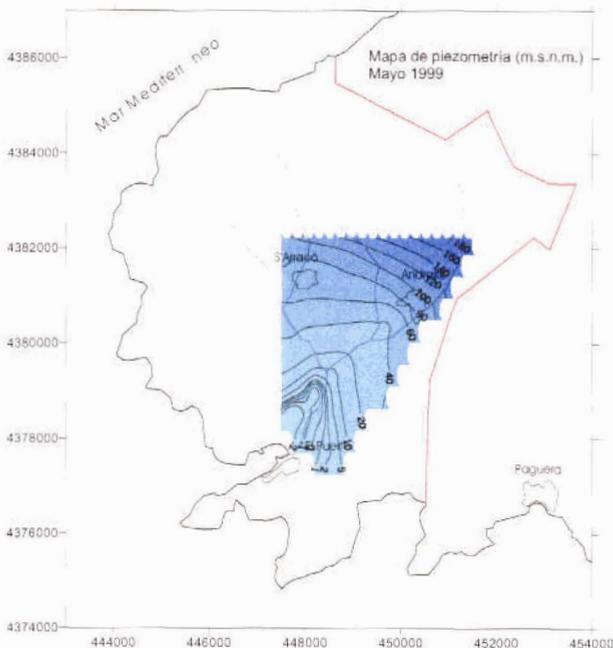
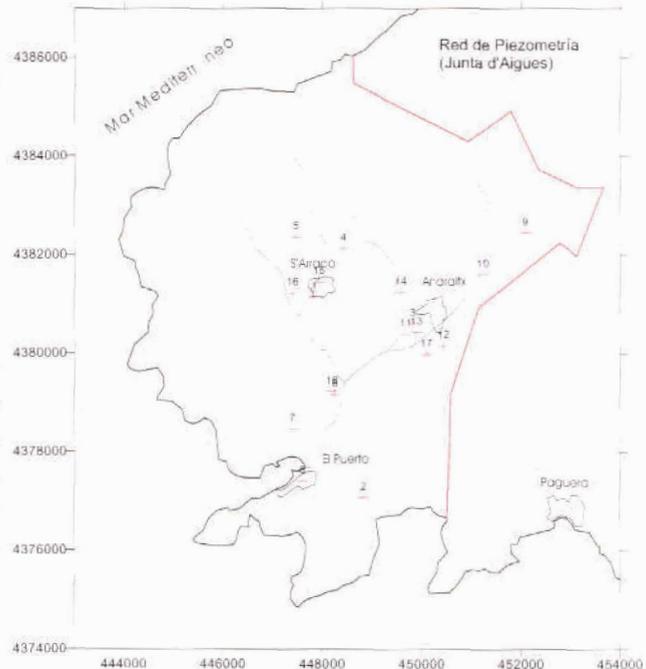


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.01 Andratx (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calviá-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

6.1.2. Análisis de la piezometría y su evolución

El análisis de la piezometría se ha realizado a partir de los puntos de la red piezométrica de la Junta d'Aigües de Balears, ya que el IGME carece de red de control piezométrica actualmente en esta unidad.

Red de piezometría (Junta d'Aigües de Balears)				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	697-7-3	447830	4381150	74
2	697-8-120	448830	4377065	75
3	697-8-11	449822	4380610	54
4	6974-5	448425	4382130	138
5	Sondeig A-2	447465	4382364	140
6	697-7-11	448255	4379165	15
7	697-7-14	447405	4378465	19
8	697-7-17	447595	4377405	14
9	Pou Públic-1	452085	4382450	228
10	Pou Públic-2	451225	4381600	95
11	Pou Públic-3	449680	4380400	46
12	Pou Públic-4	450435	4380160	69
13	Pou Públic-5	449895	4380435	50
14	Pou Públic-6	449570	4381245	86
15	Pou Públic-7	447925	4381450	71
16	Pou Públic-8	447395	4381230	71
17	Pou Públic-9	450095	4379985	57
18	Venda Aigua	448185	4379230	23



Las cotas piezométricas de la unidad varían entre los más de 200 m.s.n.m. en el interior hasta cotas negativas, inferiores a los -2 m.s.n.m. en las zonas cercanas al Puerto de Andratx, tal y

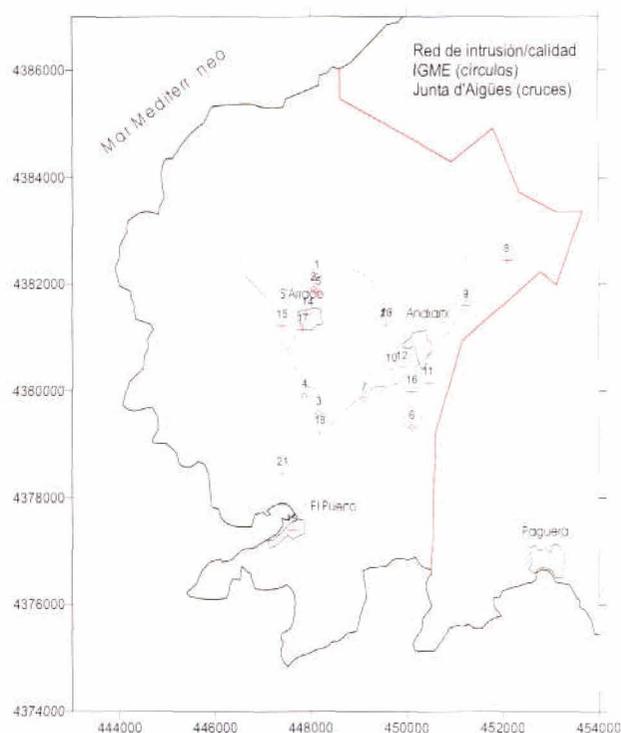
como puede verse en el mapa piezométrico de mayo de 1.999, sin que existan diferencias estacionales significativas con los niveles que se registran en octubre del mismo año. Esas cotas negativas se deben fundamentalmente a los bombeos que tienen por objetivo la venta de agua para abastecimiento al Puerto de Andratx y a la población estacional residente en casas de campo que no cuentan con conexión a ninguna red de abastecimiento.

6.1.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El análisis de la concentración de cloruros se ha realizado con datos procedentes de la red de calidad/intrusión del IGME, complementada con datos procedentes de la red de calidad e intrusión de la Junta d'Aigües de Balears. El total de puntos empleados y su situación puede verse en el mapa adjunto.

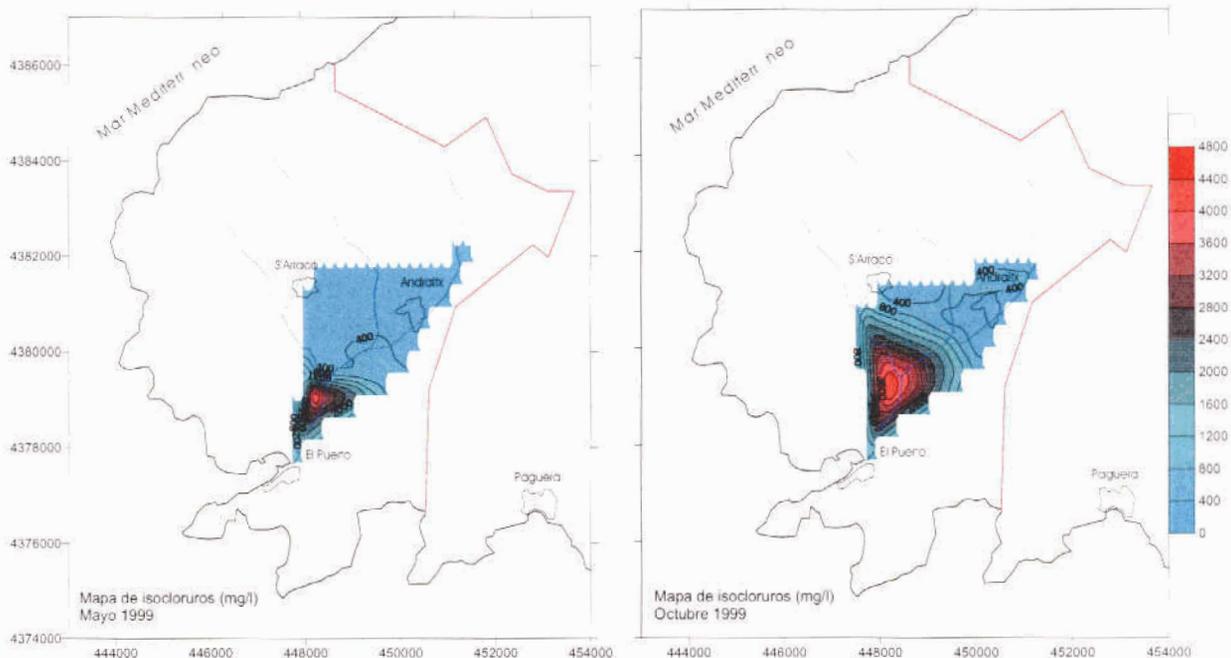
Red de intrusión igme			
Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
3727-3-0002	448118	4382149	90.01
3727-3-0003	448040	4381914	89.04
3727-7-0056	448166	4379586	35
3727-7-0058	447864	4379911	50
3727-7-0059	448144	4381826	84
3727-8-0082	450106	4379325	140
3727-8-0100	449100	4379857	20.15

Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears			
Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
Pou Públic-1	452085	4382450	228
Pou Públic-2	451225	4381600	95
Pou Públic-3	449680	4380400	46
Pou Públic-4	450435	4380160	69
Pou Públic-5	449895	4380435	50
Pou Públic-6	449570	4381245	86
Pou Públic-7	447925	4381450	71
Pou Públic-8	447395	4381230	71
Pou Públic-9	450095	4379985	57
697/7/3	447830	4381150	74
venta agua	448185	4379230	23
697/7/17	447595	4377405	14
fuentes pública	449570	4381245	
697/7/14	447405	4378465	19

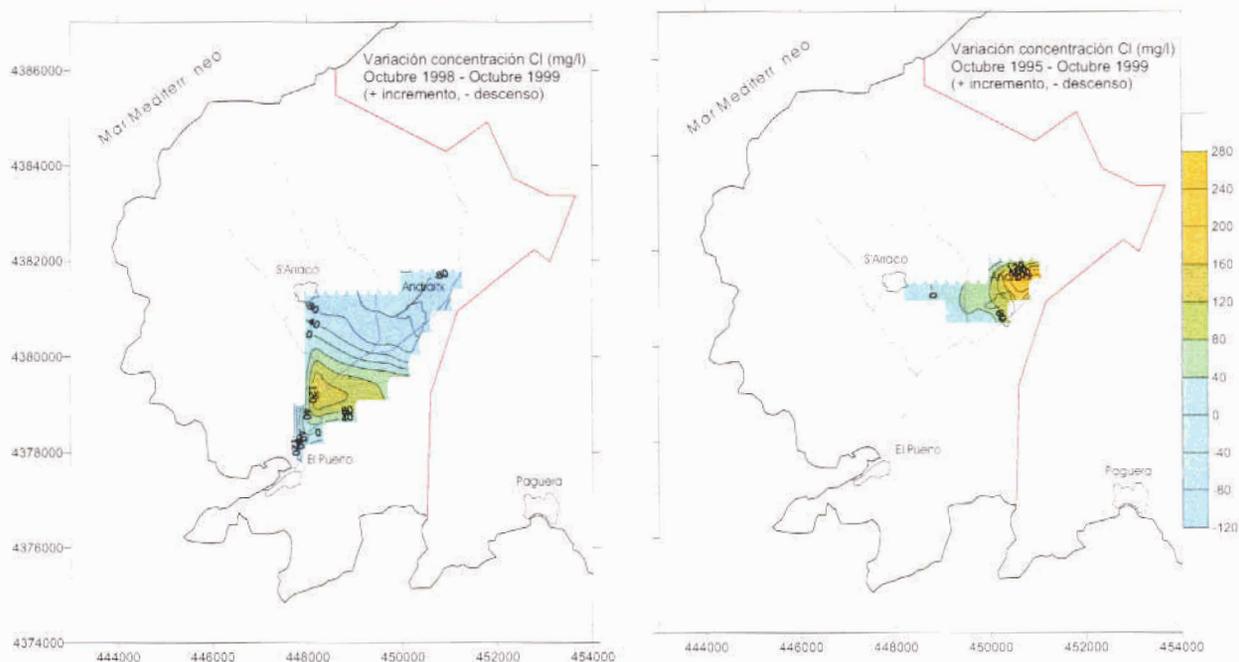


Como consecuencia de la intensa explotación en las zonas cercanas al Puerto de Andratx que quedaba marcada por cotas negativas en la piezometría, se observa una fuerte concentración del ión cloruro en la zona, con valores que superan ampliamente los 3.600 mg/L en mayo de 1.999, empeorando tras el verano de 1.999, cuando se llegaron a superar los 4.400 mg/L de ión cloruro. Estas elevadas concentraciones provienen de la intrusión de agua de mar en el

acuífero cuaternario, lo que da lugar a la generación de domos salinos en las zonas de más intensa explotación.

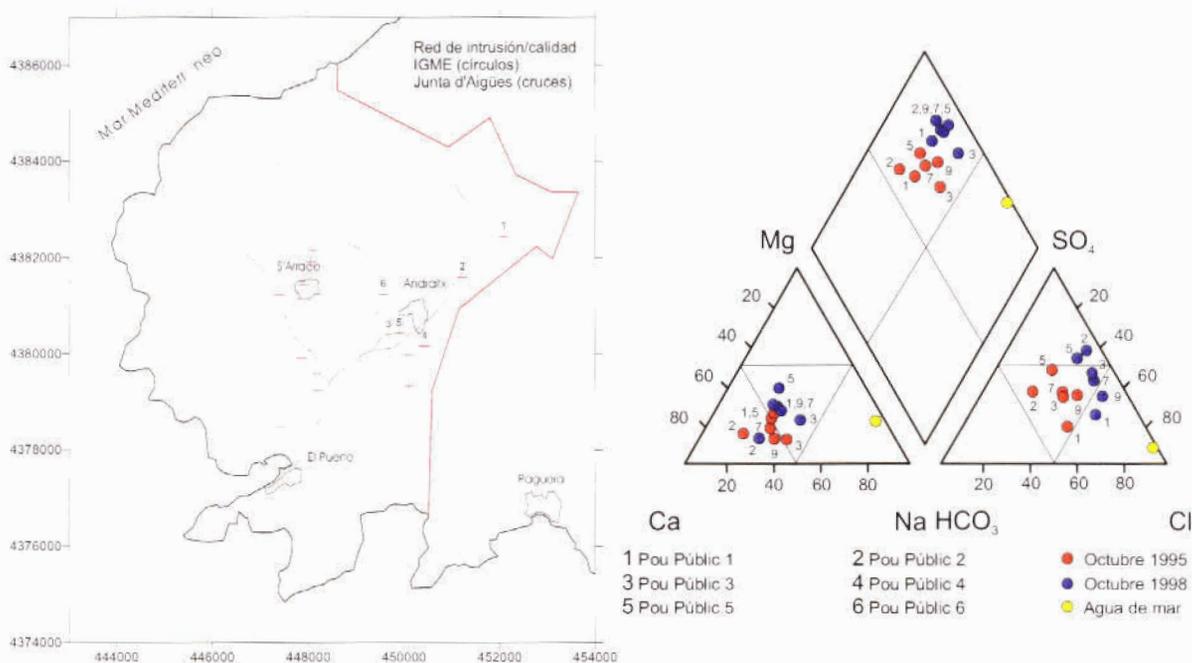


En el mapa de evolución del contenido en cloruros a corto plazo (respecto a 1.998) se observa un claro empeoramiento de la situación, con un incremento en la concentración de cloruros en la zona de intrusión superior a los 160 mg/L. En el mapa de evolución a largo plazo no se tienen datos de la calidad en la zona que actualmente presenta intrusión, si bien en el interior de la unidad, donde la piezometría es aún muy alta, se observa un empeoramiento de similar cuantía. Por lo tanto, en líneas generales se observa un claro empeoramiento en la calidad del agua debida al aumento progresivo en la concentración de cloruros procedentes de la intrusión marina en el acuífero.



6.1.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han representado, para una mayor claridad, las evoluciones temporales de seis puntos pertenecientes a la red de calidad de la Junta d'Aigües de Balears seleccionados por su representatividad desde el punto de vista de la facies hidroquímica. El conjunto de las muestras representadas corresponden a los sectores de Andratx y S'Arracó, es decir, situados en el interior de la unidad en zonas donde los niveles piezométricos superan los 40 m.s.n.m. Todas estas muestras representan aguas de tipo mixto, fundamentalmente cloruradas-sulfatadas bicarbonatadas cálcicas, que evolucionan desde el año 1.995 hasta 1.998 hacia un enriquecimiento generalizado en el contenido en cloruros y sulfatos por lo que respecta a los aniones mayoritarios, y una tendencia al aumento progresivo de magnesio frente al calcio. El resultado final son aguas fundamentalmente sulfatadas y cloruradas calcico-magnésicas.



Dada su situación (acuífero liásico sin clara conexión con el mar) no parece tratarse de un fenómeno relacionado con la intrusión marina, sino que parece deberse más bien a la explotación de acuíferos cuyo nivel de base impermeable está constituido por facies yesíferas del Keuper. Esta intensa explotación da lugar a un enriquecimiento en sulfatos y cloruros procedentes de la disolución de los yesos, y por lo tanto a una pérdida de la calidad del agua.

Por lo que se refiere al sector comprendido entre Andratx y la línea de costa, la intrusión marina es evidente, si bien no existen analíticas completas a medio plazo para analizar la evolución. Para el año 1.999, las aguas de este sector presentan facies netamente cloruradas sódicas que junto a los valores negativos de piezometría evidencian una intrusión marina en la zona de bombeo.

6.1.5. Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad/intrusión de la Junta d'Aigües de Balears controlados entre 1.995 y 1.998.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	oct-95	oct-98	oct-95	oct-98	oct-95	oct-98	oct-95	oct-98	oct-95	oct-98
Pou Públic-1	0,591	0,464	0,502	0,688	0,724	0,325	0,417	0,464	5,800	8,000
Pou Públic-2	0,916	0,849	0,258	0,239	1,688	0,173	1,631	1,648	3,200	14,990
Pou Públic-3	1,144	0,989	0,303	0,625	0,729	0,229	1,022	1,036	9,600	14,000
Pou Públic-4		0,637		0,598		0,314		0,631		7,000
Pou Públic-5	1,056	0,797	0,648	1,032	1,000	0,341	1,874	1,659	7,200	9,380
Pou Públic-6	0,998	0,787	0,441	0,659	0,386	0,187	0,998	1,473	11,400	14,990
Agua de mar (2)	0,837		4,354		0,005		0,111		613,29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de la relación rNa/rCl en 1.995 se observan valores no muy alejados de los del agua de mar, que en 1.998 evolucionan a una aproximación mayor. En todos los casos se observa una elevada relación rCl. Sin embargo, el análisis de la relación rSO₄/rCl muestra un alejamiento muy claro con respecto al agua de mar. En esta última la preponderancia del ión cloruro frente al sulfato es evidente, mientras que en las muestras estudiadas existe un claro predominio del ión sulfato frente al ión cloruro en casi todas las muestras, con una tendencia desde 1.995 hasta 1.998 al aumento del contenido en sulfato con mayor proporción que el ión cloruro. Este hecho permite descartar la presencia de intrusión marina en el sector interno de la unidad (acuífero liásico), tal y como se dedujo en apartados anteriores a partir de los mapas de piezometría y contenido en ión cloruro.

Similar disparidad frente al agua de mar se observa en la relación rHCO₃/rCl, donde las muestras analizadas presentan valores muy igualados frente al claro predominio del ión cloruro en el agua de mar. Y el mismo criterio puede seguirse en la relación rMg/rCa donde las aguas analizadas muestran un predominio de calcio, a diferencia del agua de mar donde claramente predomina el magnesio frente al calcio.

6.1.6. Diagnóstico del estado actual de los acuíferos

La unidad hidrogeológica de Andratx presenta en la actualidad aguas de calidad general regular, con altos contenidos en cloruros y sulfatos en las zonas alejadas de la costa como consecuencia probablemente de la intensa explotación en zonas donde el nivel impermeable de base de estos acuíferos lo constituyen las arcillas con yesos del Keuper cuya disolución da lugar al aumento en el contenido de estos aniones. En el interior de la unidad no se aprecia por tanto una relación entre el aumento en cloruros y la intrusión marina, habida cuenta que los niveles piezométricos se sitúan por encima de los 40 m.s.n.m.

En la zona situada entre Andratx-S'Arracó y el Puerto de Andratx, donde se explota el acuífero cuaternario, si se aprecia un fuerte incremento en el contenido en cloruros relacionado con un fenómeno de intrusión de agua de mar en el acuífero. Esta intrusión es el resultado de la explotación abusiva para el abastecimiento en zonas de baja piezometría,

habiéndose generado descensos en los niveles piezométricos que llegan a superar la cota -2 m.s.n.m.

6.1.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La tendencia observada a partir de los datos obtenidos de las redes de control del IGME y la Junta d'Aigües de Balears indican que de mantenerse las condiciones actuales de explotación se producirá un deterioro progresivo en la calidad del agua subterránea en el sector situado inmediatamente al norte del Puerto de Andratx, debido a una progresiva entrada de la cuña de intrusión marina. Evitar el avance de la intrusión marina hacia sectores adyacentes, y reducir la zona ya afectada requiere la reubicación de las actuales captaciones para abastecimiento y venta de agua en áreas más alejadas de la línea de costa, con cotas piezométricas más elevadas (acuífero liásico, mioceno, etc.), así como un control riguroso de la profundidad de ubicación de las bombas para evitar generar importantes conos de bombeo. También puede ser necesaria la redistribución de caudales extraídos en un mayor número de pozos.

En el resto de la unidad el empeoramiento se debe fundamentalmente a las características litológicas e hidrogeológicas de los acuíferos explotados, con una tendencia al aumento en la concentración de sulfatos y, en menor medida, cloruros. En este caso, las causas naturales inducen una calidad regular en las aguas de partida, y sólo una cuidada ubicación de los puntos de bombeo y de la profundidad de los mismos, así como una favorable pluviometría pueden contribuir a la mejora de la calidad.

6.2. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.02 DEIÀ

6.2.1. Descripción hidrogeológica

La formación acuífera está constituida por un conjunto de calizas y dolomías liásicas estructuradas en láminas cabalgantes. El acuífero liásico en las zonas próximas al mar se encuentra conectado con él, mientras que en el resto parece constituir un acuífero colgado sobre una base impermeable del Keuper, y drenado mediante fuentes.

La unidad limita al E y S con las unidades Fonts de Sóller, Fonts Calvià y Andratx; al N limita con el mar. El límite con la unidad Fonts de Sóller parece ser impermeable, y con el resto de unidades es poco conocido.

El flujo subterráneo se dirige en líneas generales del interior hacia el mar, si bien en el acuífero colgado se dirige localmente hacia las áreas de descarga que constituyen las fuentes. Las entradas en el sistema se producen fundamentalmente a través de la infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, y en menor cuantía por infiltración de aguas superficiales. Las salidas se producen por descarga directa al mar, por bombeos y fuentes.

Los parámetros hidráulicos conocidos dan valores de transmisividad que varían entre 5 y 1.000 m²/día, reflejando una intensa anisotropía.

6.2.2. Análisis de la piezometría y su evolución

No existen redes de control del IGME ni de la Junta d'Aigües de Balears en esta unidad.

6.2.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

No existen datos para la evaluación. En líneas generales se trata de una unidad poco explotada, dado que la accidentada orografía no permite el asentamiento de grandes núcleos urbanos ni el desarrollo de una agricultura intensiva. Las aguas presentan facies de tipo bicarbonatado cálcico, aunque puntualmente se presentan facies de tipo sulfatado cálcico en acuíferos relacionados con el Keuper. No se conoce la existencia de focos de intrusión marina en la zona.

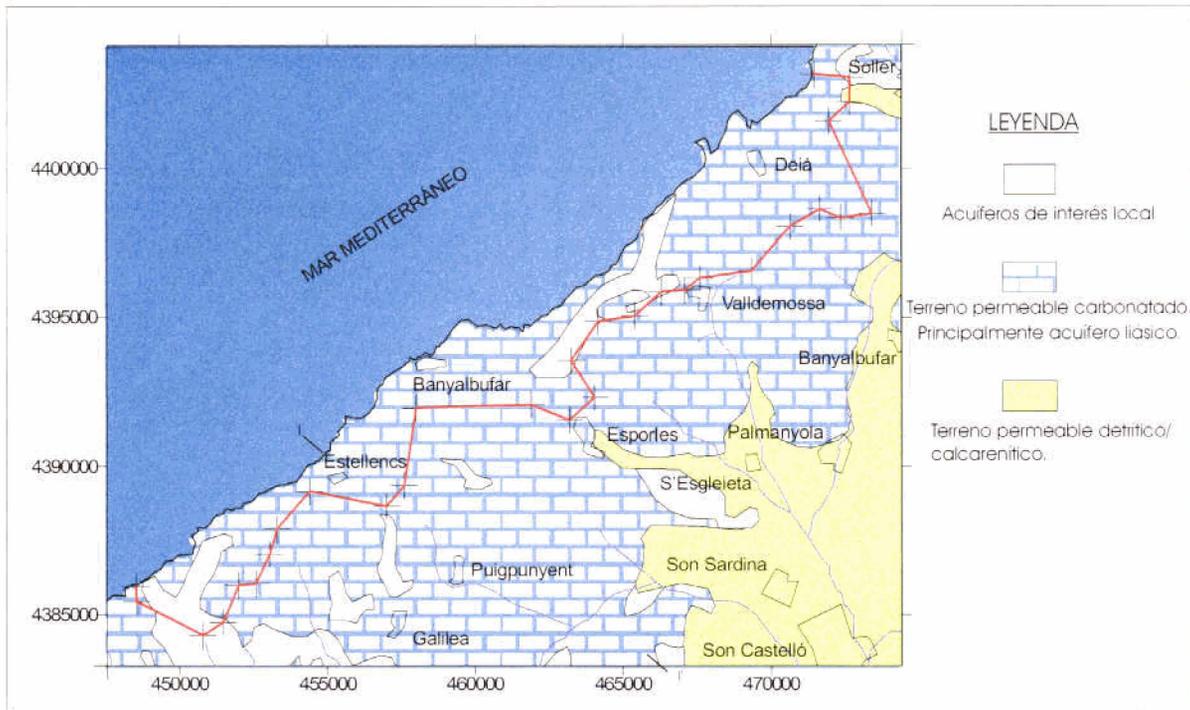


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.02 Deia (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

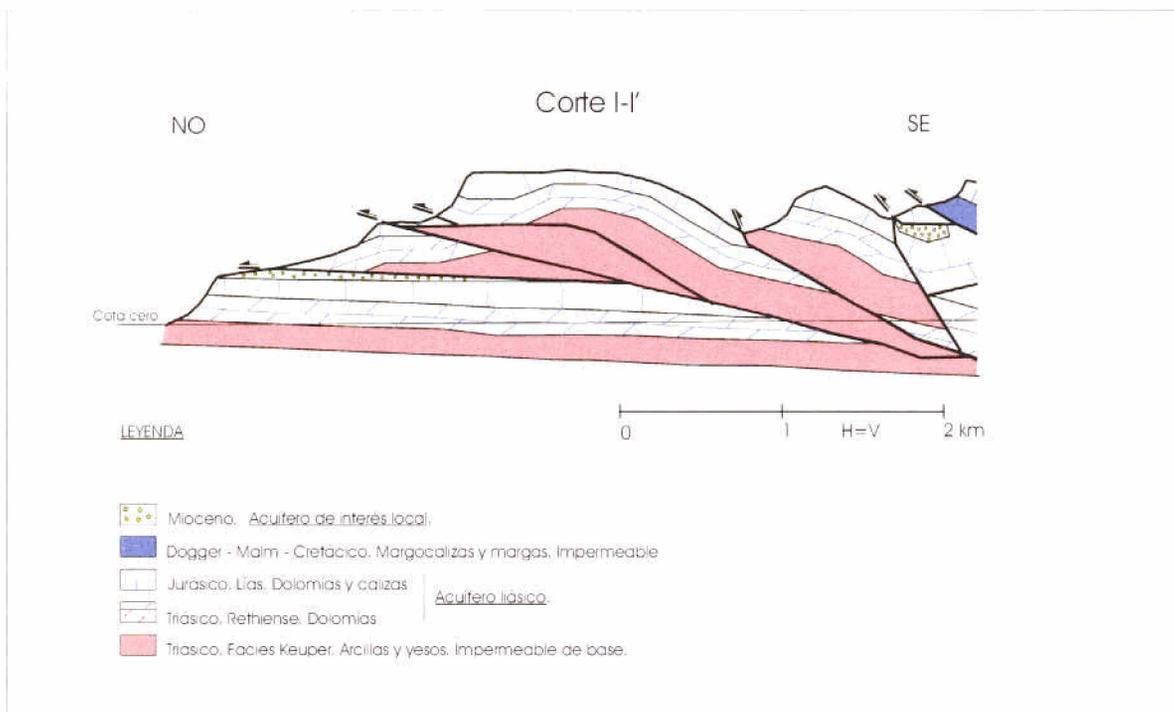


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.02 Deia (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

6.3. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.03 PUIG ROIG

6.3.1. Descripción hidrogeológica

La formación acuífera está constituida por calizas y dolomías liásicas, con 300 m de potencia media, que dan lugar a un acuífero de carácter libre, aislado por el Triásico y Mioceno impermeable.

La unidad limita al N con el mar. El resto de límites son impermeables por la presencia de materiales triásicos (margas y yesos del Keuper).

No existen datos piezométricos de esta unidad, por lo que no se conoce el esquema de flujo subterráneo. Las entradas al sistema se producen por infiltración de la lluvia, sin que esta se haya podido cuantificar. La descarga se produce al mar por la costa, sin que tampoco se haya cuantificado.

Los principales parámetros hidrogeológicos son desconocidos en esta unidad.

6.3.2. Análisis de la piezometría y su evolución

No existen redes de control del IGME ni de la Junta d'Aigües de Balears en esta unidad.

6.3.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

No hay apenas datos de esta unidad hidrogeológica. Es una zona bastante virgen debido a su orografía particularmente agreste, libre de explotaciones. Tan sólo existe una concentración de captaciones en el Torrente de Son March, donde las aguas presentan una facies bicarbonatada calcico-magnésica.

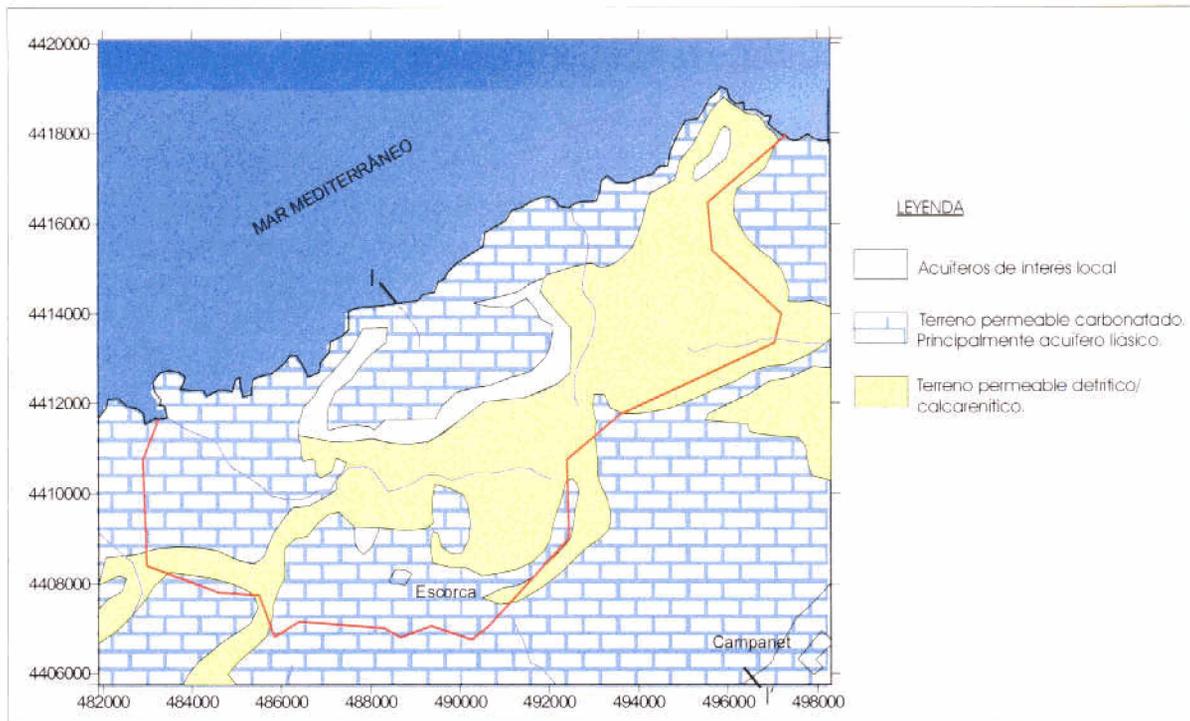


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.03 Puig Roig (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

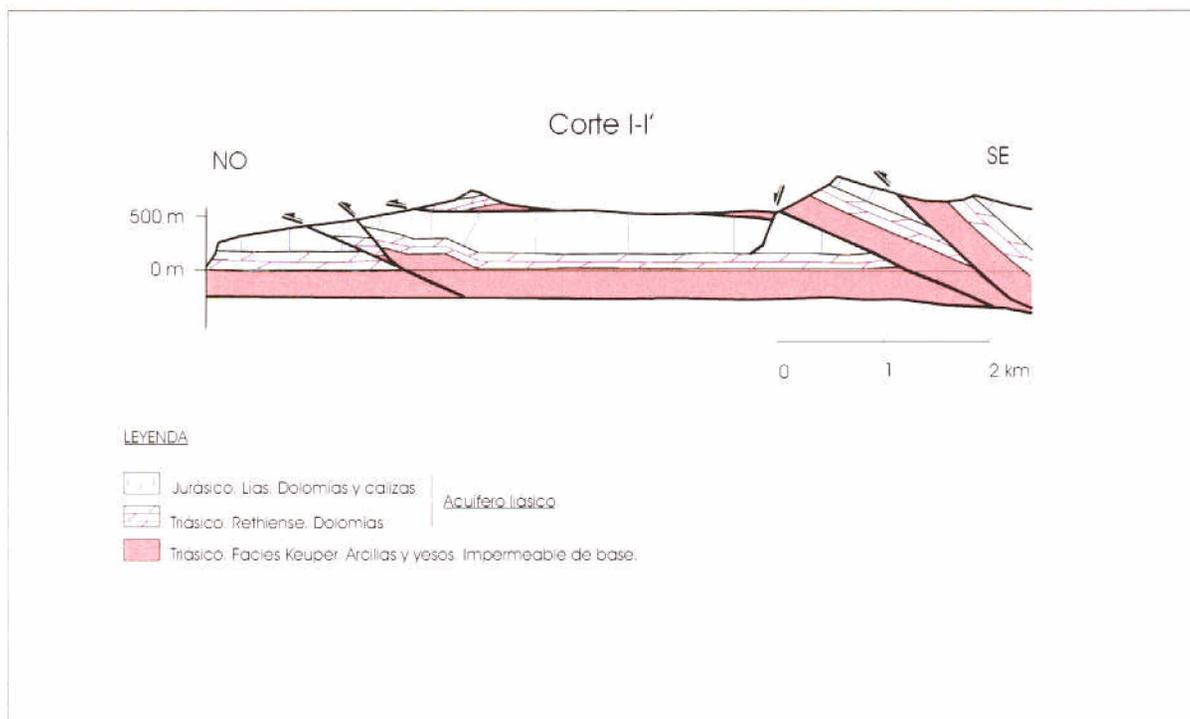


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.03 Puig Roig (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

6.4. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.04 FORMENTOR

6.4.1. Descripción hidrogeológica

La formación acuífera está constituida por un conjunto de calizas liásicas estructuradas en escamas cabalgantes sobre materiales impermeables del Triás (Keuper) o del Mioceno inferior (Burdigaliense). El resultado es una serie de acuíferos colgados e independizados. También se explotan intensamente los depósitos de arenas, gravas y limos cuaternarios que tapizan la bahía de Pollença.

Los límites hidrogeológicos con el resto de unidades son impermeables. El único límite permeable lo constituye su contacto con el mar.

No existen datos suficientes para determinar el esquema de flujo subterráneo, ya que sólo se cuenta con un piezómetro en esta unidad. Las entradas de agua al sistema proceden exclusivamente de la infiltración del agua de lluvia (sin cuantificar), y la descarga se produce de forma casi exclusiva al mar.

Los parámetros hidrogeológicos conocidos indican valores de transmisividad del orden de 500 m²/día (Escama de Cavall Bernat), siendo la permeabilidad muy heterogénea.

6.4.2. Análisis de la piezometría y su evolución

No existen redes de control del IGME ni de la Junta d'Aigües de Balears en esta unidad.

6.4.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Si bien no existen redes de control estables en la zona, ni del IGME ni por parte de la Junta d'Aigües de Balears, datos procedentes de diversas fuentes permiten conocer que existen fenómenos de intrusión marina en la escama de Cavall Bernat, y en la bahía cuaternaria de Pollença, donde se registran valores de concentración de ión cloruro que superan 1 gramo por litro. Ello es debido a la elevada concentración de pozos y sondeos de abastecimiento (Pollença y Port de Pollença).

Es recomendable, para el seguimiento de este proceso de intrusión y poder proponer medidas correctoras, el establecimiento de una red de control de piezometría y calidad/intrusión de carácter estable.

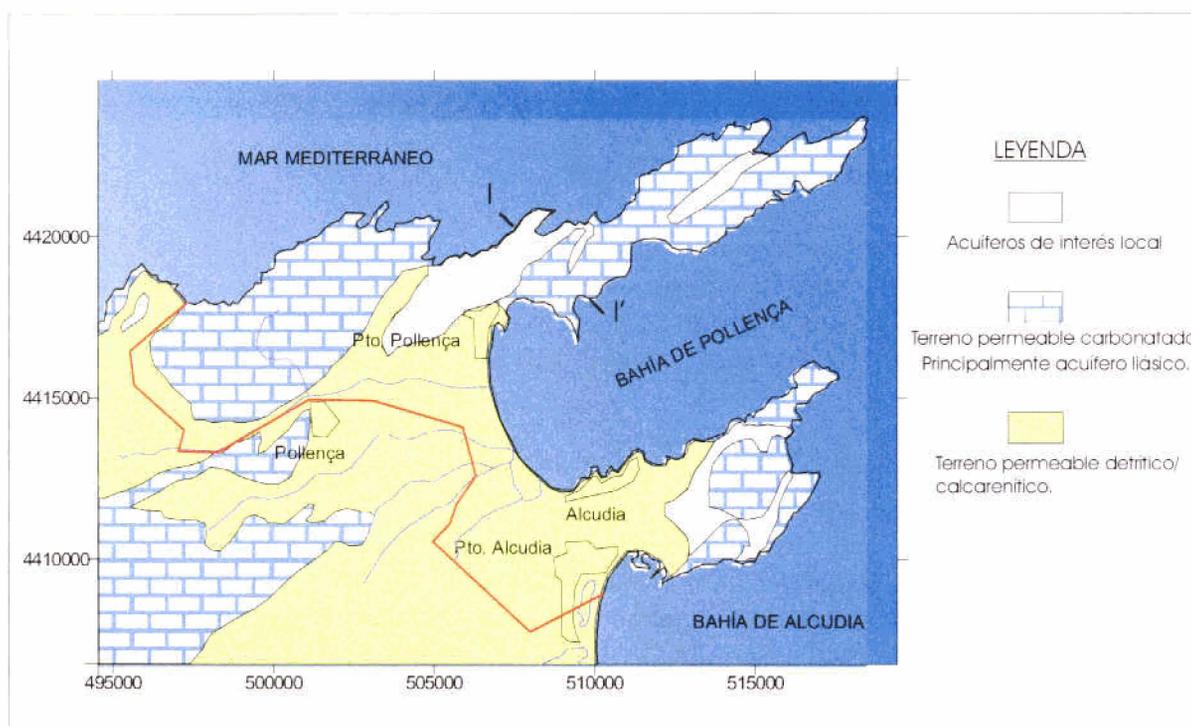


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.04 Formentor (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

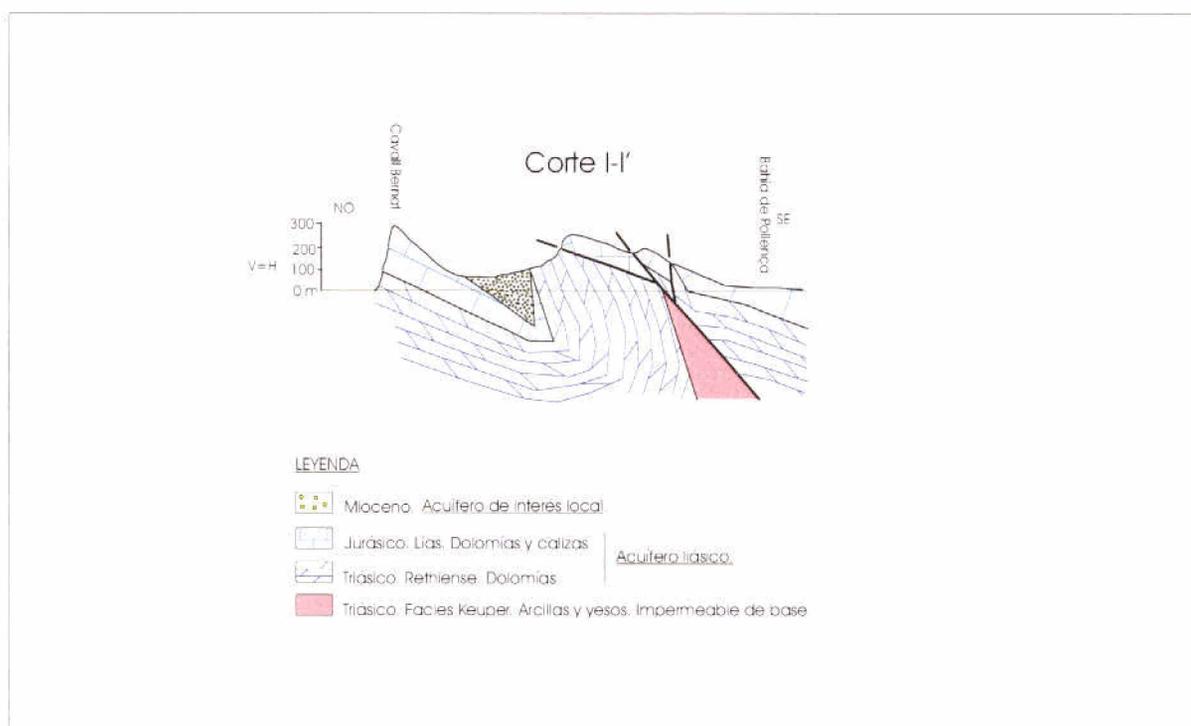


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.04 Formentor (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

6.5. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.06 FONTS DE SÓLLER

6.5.1. Descripción hidrogeológica

La unidad se encuentra situada en el sector central de la Sierra de Tramontana. Los materiales acuíferos los constituyen las dolomías infraliásicas, cuya potencia se sitúan entre los 100 y 150 m, y las calizas y calizas dolomíticas del Lías inferior y medio. Todo el conjunto, Lías e Infralías (Rethiense), puede superar los 300 metros de espesor. En la zona limítrofe con la línea de costa, y en las proximidades de la Vall de Sóller se encuentra un acuífero formado por limos, gravas y conglomerados (materiales aluviales y de piedemonte) cuaternarios, cuya potencia media se calcula en 10 m.

Los límites con las unidades hidrogeológicas circundantes son en general impermeables, formados por arcillas y yesos del Keuper. La estructura geológica es compleja, formada por un conjunto de láminas cabalgantes cuyo nivel de despegue es el Keuper, lo que da lugar a la presencia de algunos acuíferos colgados, drenados por fuentes. El acuífero cuaternario y los afloramientos liásicos costeros son de carácter libre y se encuentran conectados con el mar. El acuífero liásico colgado puede ser libre o estar confinado por las margas y margocalizas del Jurásico medio-superior y Cretácico, según las zonas.

El flujo subterráneo se dirige en líneas generales del interior hacia el mar, si bien en el acuífero colgado se dirige localmente hacia las áreas de descarga que constituyen las fuentes. En el acuífero cuaternario existen notables diferencias de gradiente entre la piezometría de las zonas aluviales y las de piedemonte, debido a diferencias en la permeabilidad. Las entradas en el sistema se producen fundamentalmente a través de la infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, y en menor cuantía por excedentes de riego, infiltración de aguas superficiales y pérdidas de la red de abastecimiento en el sector de Sóller. Las salidas se producen por descarga directa al mar, por bombeos y fuentes (la recarga de estas fuentes se verifica con una curva de agotamiento muy rápida, lo que indica una capacidad de almacenamiento muy pequeña).

Los parámetros hidráulicos conocidos dan valores de transmisividad, para el acuífero cuaternario, de 100 m²/día en el aluvial y entre 1 y 5 m²/día en el piedemonte, con caudales específicos de 10 L/s/m. Para el acuífero liásico se obtienen transmisividades que varían entre 5 y 1.000 m²/día, reflejando una intensa anisotropía, y con un coeficiente de almacenamiento supuesto de 0,02 a 0,06.

6.5.2. Análisis de la piezometría y su evolución

No existen redes de control piezométrico del IGME. La Junta d'Aigües de Balears cuenta con una red de control piezométrico en la Vall de Sóller.

6.5.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

No existen redes de control de calidad en la unidad. De manera general se puede decir que la facies es fundamentalmente bicarbonatada calcico-magnésica, tratándose de una unidad

excedenta
zona del F

del agua es muy buena. Únicamente en la
trusión marina incipiente.

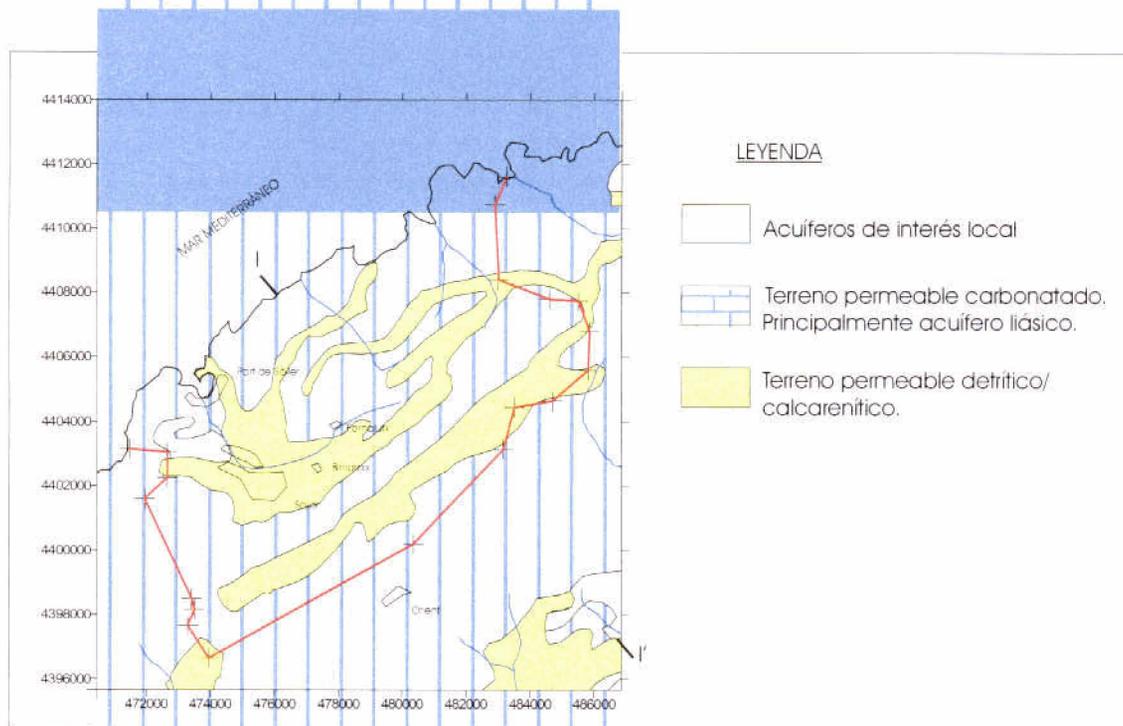


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.06 Fonts de Sóller (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

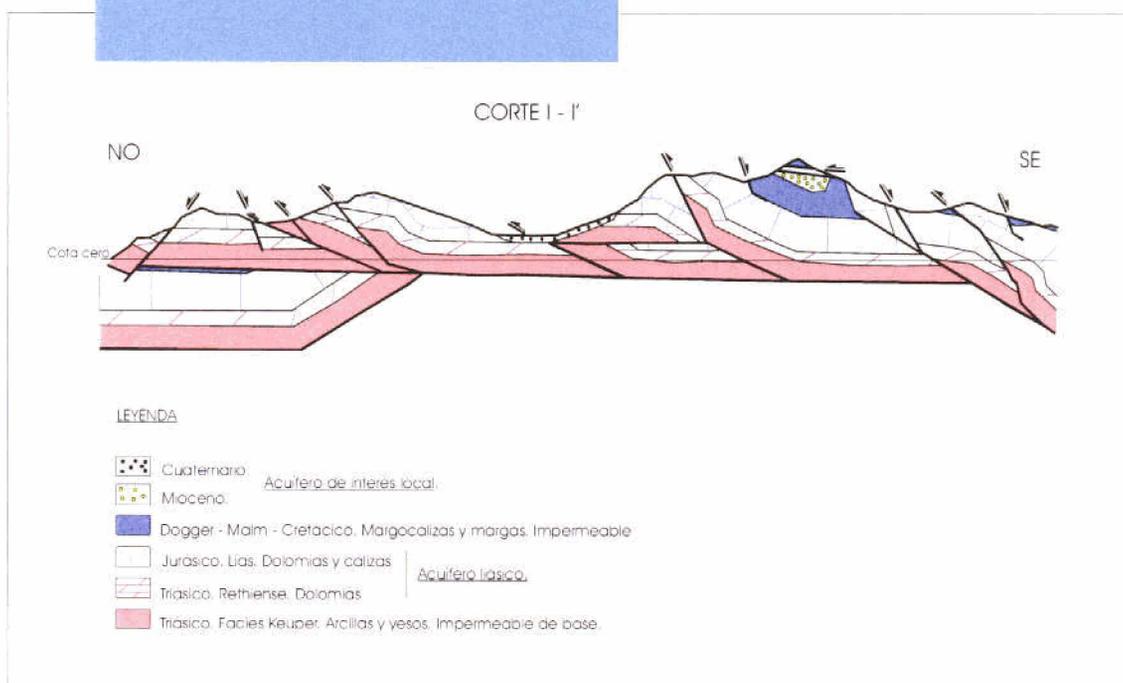


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.06 Fonts de Sóller (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

6.6. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.11 LLANO DE INCA - SA POBLA

6.6.1. Descripción hidrogeológica

La unidad se define sobre el llano del mismo nombre limitado por los montes existentes entre Campanet y Alcudia al N y las elevaciones de Sineu - Llubí - Muro al centro y S. Existen varias formaciones acuíferas cuyas características litológicas se resumen a continuación: El Cuaternario está formado por limos rojos y gravas en el interior de la unidad, y por calcarenitas eólicas y lumaquelas en la zona litoral, con una potencia que puede alcanzar los 70 m. El Plioceno superior está constituido por calcarenitas amarillentas de hasta 75 metros de espesor. El Mioceno superior (Messiniense) lo forman calizas oolíticas recristalizadas y oquerosas de potencia variable, con un espesor máximo de 100 m, y calizas arrecifales (Messiniense - Tortoniense) de potencia frecuentemente superior a los 100 m pudiendo llegar a los 250 m. Finalmente el Lías está formado por dolomías y calizas dolomíticas y oolíticas cuya potencia puede superar los 300 m.

La unidad hidrogeológica en conjunto limita al NE con el mar; al N con la sierra de Tramontana cuyo límite es en general impermeable; al SO con el Llano de Palma cuyo límite es impermeable en la zona de Marratxí aunque existe un cierto drenaje hacia el Llano de Palma en la zona de Pórtol. Existe un límite posiblemente permeable entre Biniali y Costitx, con un umbral impermeable próximo al nivel freático. Al SE limita con las Sierras Centrales (impermeable) y con la Marineta cuyo límite está formado por una divisoria hidrogeológica reforzada por la presencia de un umbral impermeable.

El acuífero Cuaternario es de carácter libre y conectado frecuentemente con el Plioceno, dando lugar a un único acuífero Plio-Cuaternario. El Messiniense es libre cuando aflora, sólo o conectado con el Messiniense-Tortoniense, o bien puede hallarse semiconfinado por las margas del Plioceno inferior. El Messiniense-Tortoniense es libre cuando aflora o semiconfinado por las margas messinienses. El acuífero liásico es libre y se encuentra conectado lateralmente con el acuífero Plio-Cuaternario en la zona de Sa Pobra.

El flujo subterráneo transcurre en general desde el interior hacia el mar en los acuíferos libres, mientras que el acuífero semiconfinado presenta una divisoria piezométrica, divergiendo el flujo hacia el interior de la unidad y del Llano de Palma. Las entradas principales al sistema se producen por la precipitación directa sobre los afloramientos permeables y por la infiltración de torrentes, y en menor medida por los retornos de riego y la infiltración de aguas residuales (depuradas o no). Las aportaciones de otras unidades colindantes no están comprobadas. La descarga se produce mayoritariamente a la Albufera a través de una línea de fuentes que la bordean y por la extracción para el regadío y abastecimiento urbano. En menor medida se producen pérdidas por evaporación en la Albufera y drenaje a otras unidades (descarga al Llano de Palma).

Los parámetros hidráulicos para el acuífero cuaternario, deducidos a partir de datos conjuntos con el Plioceno, dan valores de transmisividad en la zona de Sa Pobra de 50 - 100 m²/día y permeabilidades de 8 - 15 m/día para el conjunto de limos y gravas, mientras que las eolianitas y lumaquelas presentan transmisividades de hasta 1.000 m²/día y permeabilidad de 300 m/día. En la zona de Inca, el Plioceno presenta valores heterogéneos, disminuyendo la permeabilidad hacia el centro de la cuenca. En el sector oriental los valores son más

homogéneos con transmisividades de entre 250 y 3.000 m²/día y permeabilidad de entre 5 y 150 m/día. El conjunto Messiniense y Messiniense - Tortoniense presenta valores muy similares ya que en muchos sectores se encuentran conectados. En las zonas más permeables (Sta. María - Consell, pasillo Llubí - Costitx - Sta. Magdalena), la transmisividad supera los 5.000 m²/día, y la permeabilidad da valores muy dispares, entre 0,5 y 300 m/día, con algún valor superior a los 600 m/día. Para el acuífero liásico la transmisividad arroja valores de entre 200 y 10.000 m²/día y la permeabilidad de 3 a 131 m/día.

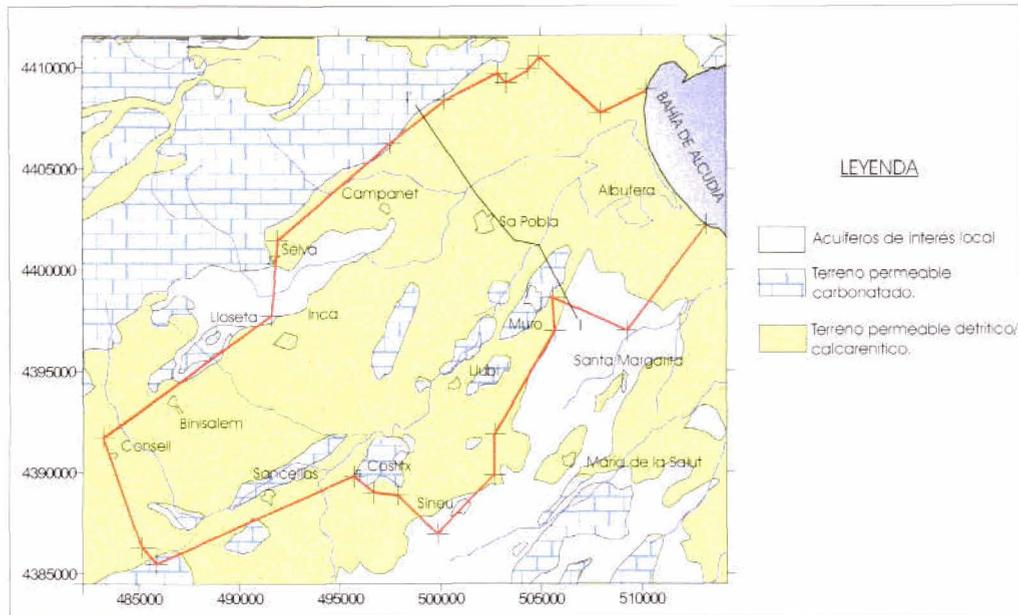


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.11 Llano de Inca-Sa Pobla (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

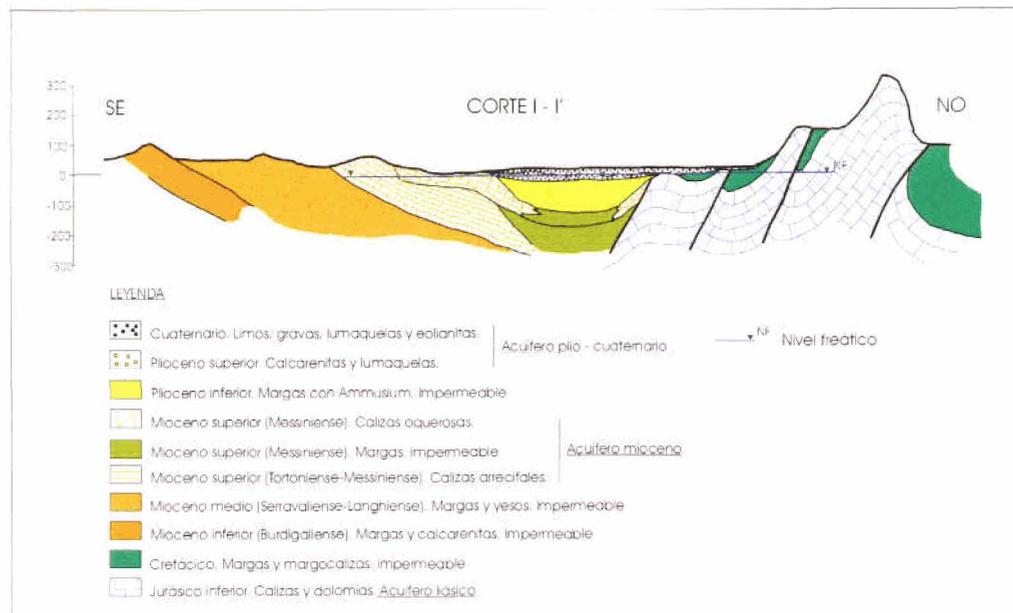
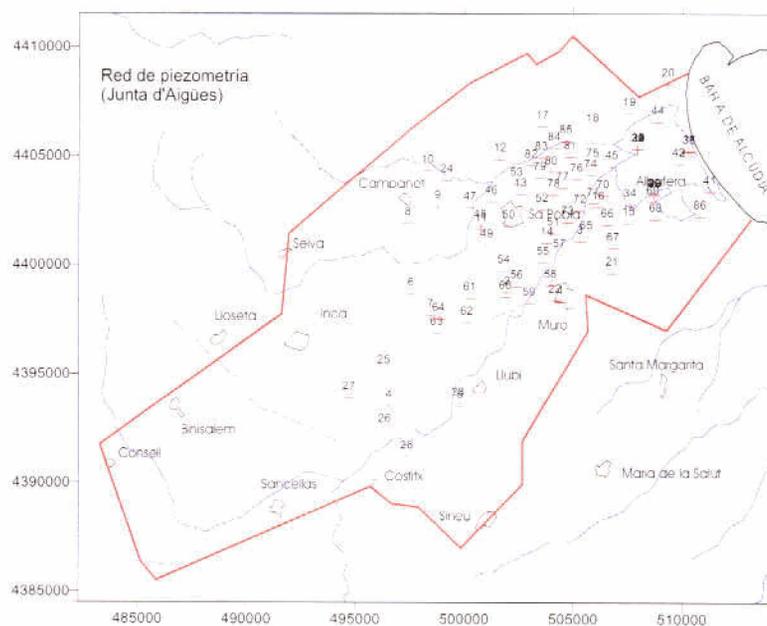


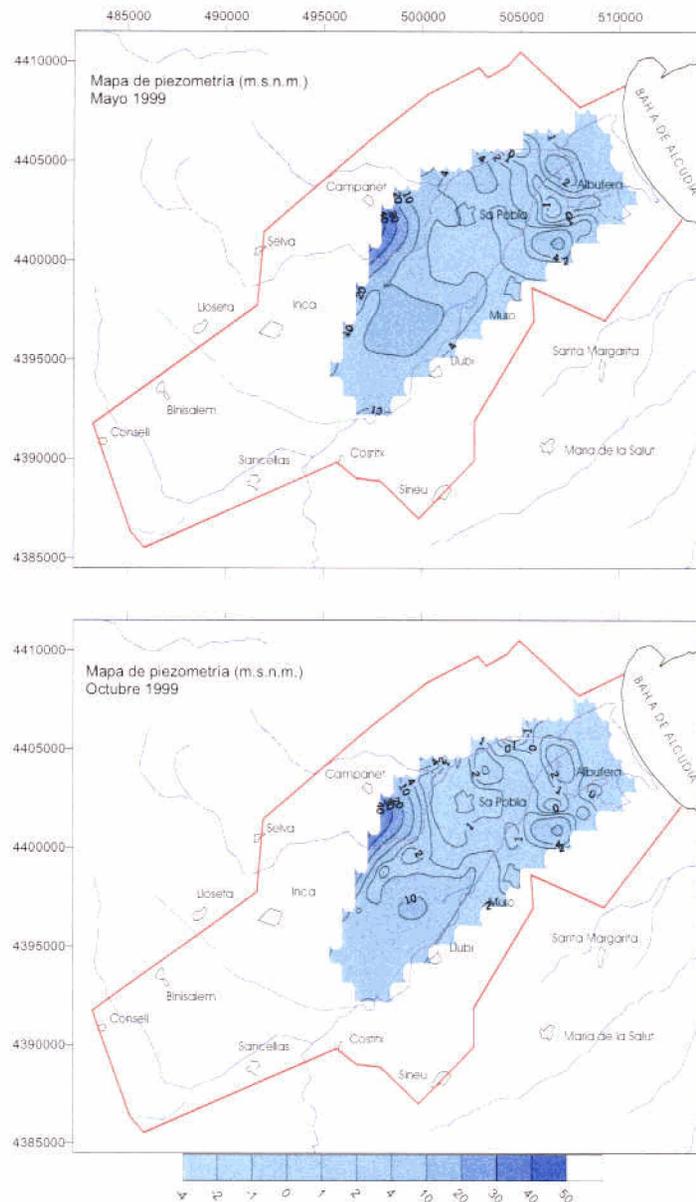
Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.11 Llano de Inca-Sa Pobla (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

33	A-1'''	507918	4405298	2,11
34	A-2	507580	4402750	2,77
35	A-3	510285	4405210	1,76
36	A-3'	510280	4405195	1,76
37	A-3''	510275	4405185	1,77
38	A-4	508700	4403200	1,68
39	A-4'	508695	4403205	1,50
40	A-4''	508710	4403220	1,51
41	A-5	511240	4403340	1,61
42	A-6 g	509820	4404625	1,18
43	A-6 f	509815	4404615	1,18
44	A-8	508850	4406550	1,44
45	A-9	506750	4404500	4,81
46	8	501221	4402888	22,75
47	13	500238	4402599	27,97
48	15	500706	4401779	32,54
49	19	501011	4400898	36,09
50	34	502017	4401767	25,59
51	43	504057	4401445	13,02
52	66	503544	4402519	12,96
53	82	502374	4403714	13,76
54	91	501791	4399726	33,78
55	109	503586	4400111	18,99
56	114	502392	4399023	26,69
57	121	504339	4400462	15,75
58	134	503937	4399041	32,24
59	142	502951	4398235	21,56
60	159	501863	4398531	29,75
61	171	500224	4398472	21,30

63	177	498711	4396861	53,96
64	199	498793	4397521	42,28
65	203	505583	4401280	13,49
66	211	506547	4401827	6,16
67	216	506804	4400760	24,91
68	227	508760	4402080	3,86
69	232	508628	4402893	2,94
70	265	506340	4403170	3,04
71	267	505900	4402812	5,86
72	269	505276	4402480	8,24
73	271	504721	4401947	9,12
74	294	505770	4404107	2,78
75	296	505862	4404604	1,19
76	299	505134	4403921	3,13
77	301	504489	4403533	5,42
78	303	504077	4403195	8,01
79	318	503444	4403989	8,22
80	320	503962	4404261	5,70
81	323	504841	4404941	3,00
82	332	503046	4404551	8,06
83	334	503517	4404910	7,26
84	336	504106	4405347	4,63
85	338	504634	4405661	2,59
86	358	510795	4402209	3,37



En el mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1.999 se observa que el nivel piezométrico en el sector comprendido entre Sa Pobla - Llubí y la línea de costa presenta valores inferiores a los 4 m.s.n.m., existiendo una franja de dirección NNO-SSE entre Sa Pobla y la Albufera donde los niveles piezométricos se encuentran a cota cero o incluso inferiores a -1 m. También se encuentran los niveles a cota cero en un sector situado inmediatamente al norte de la localidad de Muro. En ambos casos se trata de zonas agrícolas, de hecho las más intensamente explotadas de la isla, por lo que dichas depresiones responden a la intensa explotación de los acuíferos para el riego. Para el período de octubre de 1.999 se observa en líneas generales una ligera mejoría, manteniéndose los niveles piezométricos en cotas que superan como mínimo 1 m.s.n.m., excepción hecha de un cono de bombeo persistente al NE de Sa Pobla. En este cono se produce una acentuación marcada del descenso del nivel piezométrico, que llega a superar los - 2 m de cota, y que en este caso responde al bombeo en la zona de Crestaixt para el abastecimiento de las localidades turísticas costeras.

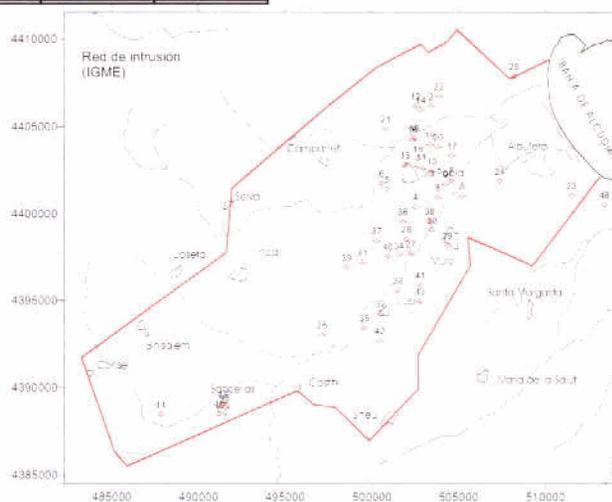


6.6.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El análisis de la concentración de ión cloruro en los acuíferos de la unidad se ha realizado a partir de los puntos pertenecientes tanto a la red de calidad/intrusión del IGME, como de las diferentes redes de control que la Junta d'Aigües de Balears tiene en la unidad, resultando una elevada cantidad de puntos de control tal y como se recoge en la siguiente tabla y en los mapas de situación adjuntos.

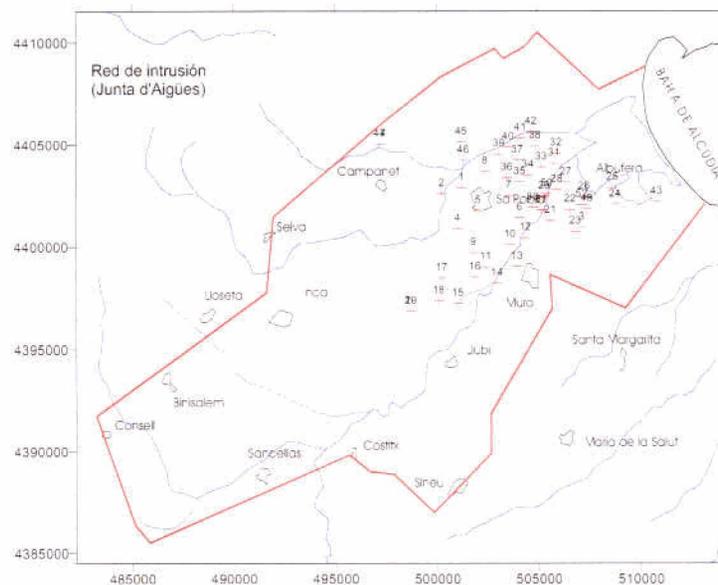
Red de intrusión IGME				
Nº	Punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	3827-4-0125	479950	4389600	8.26
2	3926-3-0023	503430	4406163	8.49
3	3926-3-0144	505221	4401007	14
4	3926-3-0194	502520	4400383	25
5	3926-3-0249	500871	4401409	45
6	3926-3-0294	500569	4401727	45
7	3926-3-0406	504598	4401875	9
8	3926-3-0492	503814	4400922	18
9	3926-3-0524	504252	4401669	9
10	3926-3-0672	503475	4402422	19
11	3926-3-0842	502867	4402666	18
12	3926-3-0891	502513	4406179	24
13	3926-3-0899	501927	4402783	16
14	3926-3-0963	502829	4405975	18
15	3926-3-1043	502466	4404346	9
16	3926-3-1060	502349	4404254	10
17	3926-3-1149	504626	4403318	9
18	3926-3-1494	502666	4403132	15
19	3926-3-1524	503354	4403941	9
20	3926-3-1540	503840	4403806	9
21	3926-3-1629	500799	4404866	25
22	3926-3-1711	503886	4406722	34.92
23	3926-4-0017	511530	4401049	22.38
24	3926-4-0079	507382	4401866	13

25	3926-4-0935	508229	4407857	24.41
26	3926-6-0048	497118	4393041	69
27	3926-7-0054	502242	4397688	25
28	3926-7-0077	501995	4398544	26
29	3926-7-0096	504345	4398170	48
30	3926-7-0119	503484	4399059	19
31	3926-7-0181	499457	4397184	44
32	3926-7-0200	500493	4394240	58
33	3926-7-0202	501496	4395574	63
34	3926-7-0273	501559	4397606	32
35	3926-7-0295	499556	4393423	46
36	3926-7-0325	501804	4399536	30
37	3926-7-0356	500268	4398456	40
38	3926-7-0399	503337	4399582	25
39	3926-7-0450	498531	4396886	51
40	3926-7-0496	500912	4397542	29
41	3926-7-0498	502784	4395893	51.92
42	3926-7-0499	500459	4392717	70.05
43	3926-7-0500	502784	4394950	60.72
44	3927-1-0051	487810	4388480	108.54
45	3927-2-0098	491535	4388875	108
46	3927-2-0099	491175	4388491	110
47	3927-2-0101	491400	4389062	110
48	4026-1-0003	513426	4400502	29.27

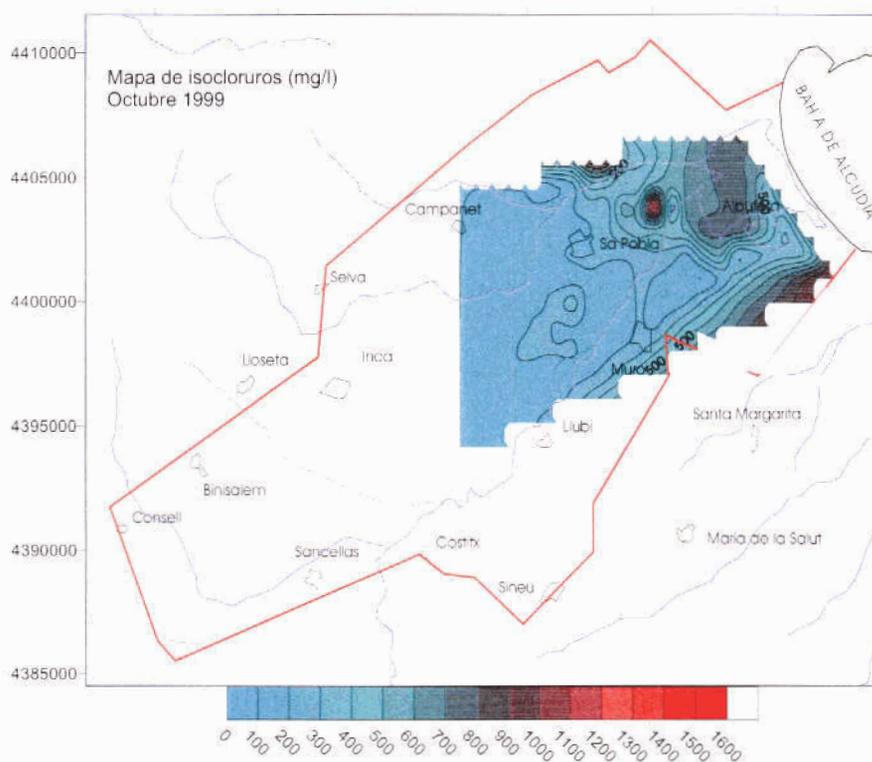
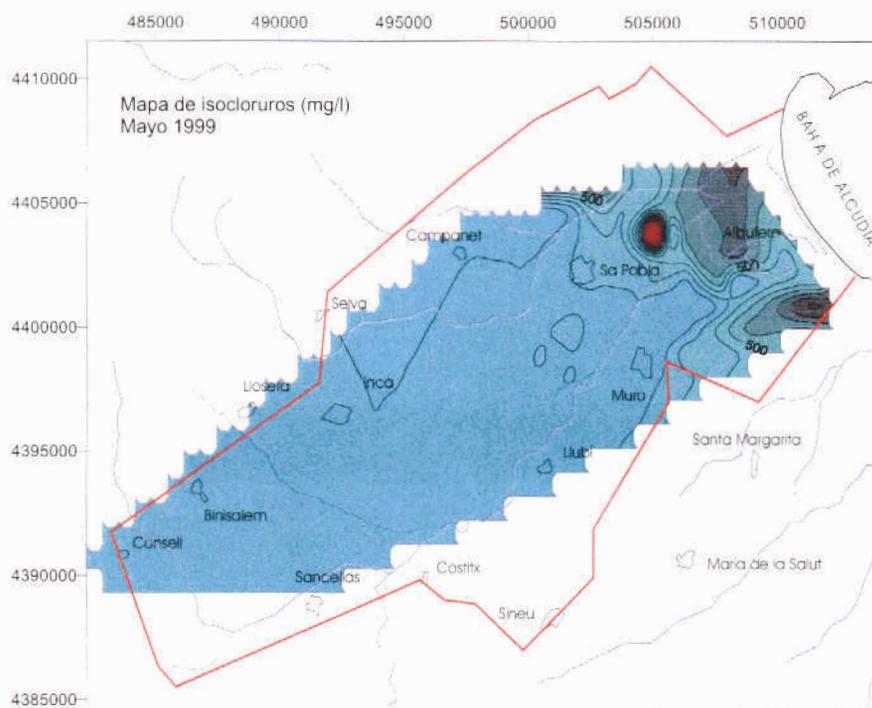


Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
Inca-Sa Pobla				
1	8	501221	4402888	22.75
2	13	500238	4402599	27.97
3	15	507125	4400950	32.54
4	19	501011	4400898	36.09
5	34	502017	4401767	25.59
6	43	504057	4401445	13.02
7	66	503544	4402519	12.96
8	82	502374	4403714	13.76
9	91	501791	4399726	33.78
10	109	503586	4400111	18.99
11	114	502392	4399023	26.69
12	121	504339	4400462	15.75
13	134	503937	4399041	32.24
14	142	502951	4398235	21.56
15	152	501021	4397244	33.58
16	159	501863	4398531	29.75
17	171	500224	4398472	21.30
18	173	500089	4397358	28.24
19	177	498711	4396861	53.96
20	199	498711	4396861	42.28
21	203	505583	4401280	13.49
22	211	506547	4401827	6.16
23	216	506804	4400760	24.91
24	227	508760	4402080	3.86
25	232	508628	4402893	2.94
26	244	507248	4402463	
27	265	506340	4403170	3.04

28	267	505900	4402812	5.86
29	269	505279	4402480	8.24
30	271	504721	4401947	9.12
31	294	505770	4404107	2.78
32	296	505862	4404604	1.19
33	299	505134	4403921	3.13
34	301	504489	4403533	5.42
35	303	504077	4403195	8.01
36	318	503444	4403389	8.22
37	320	503962	4404261	5.70
38	323	504841	4404941	3.00
39	332	503046	4404551	8.06
40	334	503517	4404910	7.26
41	336	504106	4405347	4.63
42	338	504634	4405661	2.59
43	358	510795	4402209	3.37
44	500	497190	4405040	--
45	501	501200	4405150	--
46	502	501300	4404250	--
47	Sa Cova	497190	4405040	--
Muro 15				
48	13 Sant Joan (f)	507382	4401866	--
49	13 Sant Joan (s)	507380	4401860	--
Muro				
50	6	505406	4402603	--
51	7	505144	4401801	--
52	10	507122	4402072	--

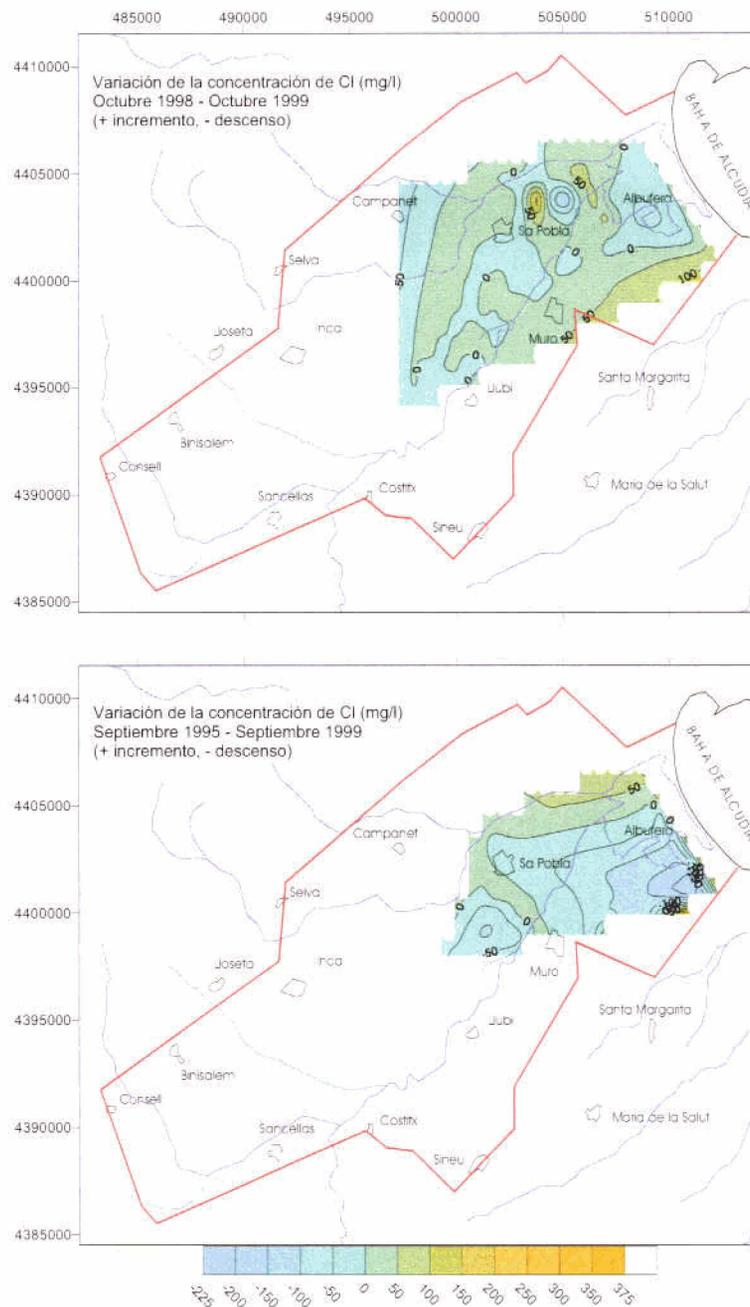


Como consecuencia directa de la intensa explotación del acuífero para el uso de las aguas subterráneas en el riego agrícola de la zona Sa Pobla - Muro, se observa en el mapa de isocontenidos en cloruros para mayo de 1.999 una alta concentración de este ión, que supera los 1.300 mg/L en la zona inmediatamente al NE de Sa Pobla, y alcanza más de 800 mg/L al N de Sa Pobla y en el límite meridional de la unidad, al sur de la albufera. En la zona de la albufera la concentración en ión cloruro se sitúa en torno a los 800 mg/L.



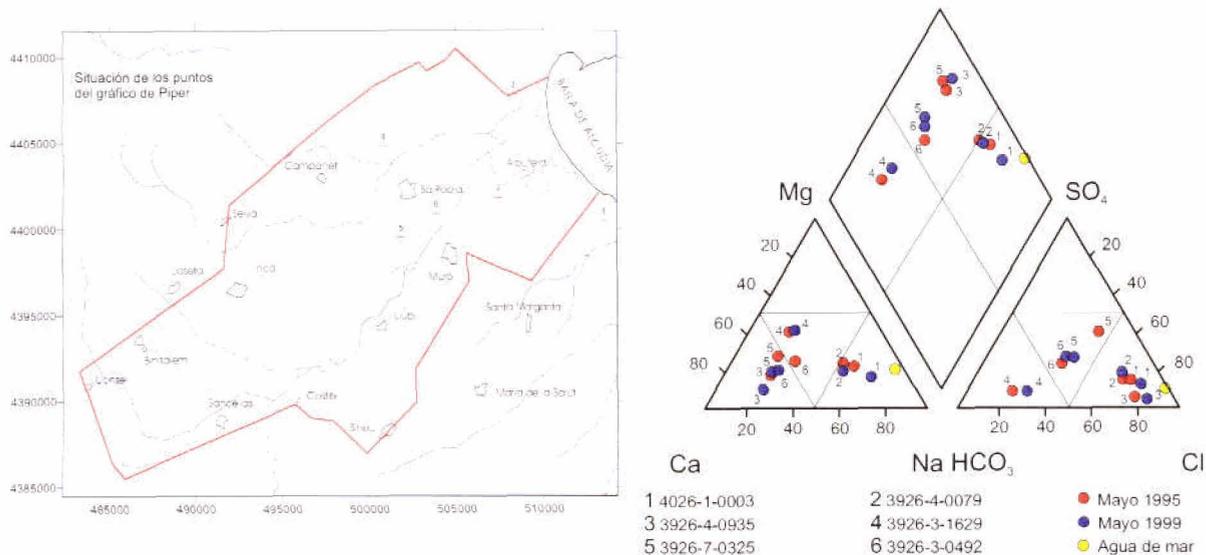
Para el mes de octubre de este mismo año las variaciones no son muy significativas, destacando un ligero avance de la intrusión marina en el borde meridional de la unidad, y un ligero descenso al NE de Sa Pobla.

En el mapa de evolución de cloruros respecto al año anterior (1.998) se observan pocas variaciones. En general toda la zona oscila entre un incremento o un descenso de 50 mg/L de ión cloruro. El descenso más acusado se presenta en la zona de la albufera, mientras que los aumentos principales se producen al NE de Sa Pobla y de forma más destacada (más de 100 mg/L) en el límite meridional de la unidad, al E de la localidad de Muro. A medio plazo (1.995) se observa un descenso generalizado de la concentración de cloruros en toda la zona situada al este de las localidades de Sa Pobla y Muro, así como de forma menos acusada al NO de esta última localidad. En el resto la tendencia es estable o ligeramente ascendente.



6.6.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper se han representado una selección de seis muestras pertenecientes a puntos de la red de calidad del IGME, para los años 1.995 y 1.999. Las muestras correspondientes a los puntos 3926-7-0325 (5 en el diagrama) y 3926-3-0492 (6 en el diagrama) son representativas de grupo mayoritario de muestras analizadas. Se trata de aguas mixtas de tipo clorurado-bicarbonatado o clorurado-sulfatado (con menor frecuencia) cálcico, que evolucionan a facies bicarbonatadas-cloruradas cálcicas, aunque de forma poco significativa. Representan el sector comprendido entre las localidades de Sa Pobra y Muro.



La muestra correspondiente al punto 3926-4-0935 (4 en el diagrama) es representativa de la zona norte de la albufera, y corresponde a una facies netamente bicarbonatada cálcico-magnésica que evoluciona a magnésico-cálcica.

Las muestras de los puntos 4026-1-0003 (1 en el diagrama) y 3926-4-0079 (2 en el diagrama) presentan una facies hidroquímica correspondiente a aguas cloruradas sódicas, con ligera tendencia al incremento en la concentración de ión cloruro con el paso del tiempo. Son representativas de la zona comprendida entre la albufera, Muro y la línea de costa, y muestran claramente la presencia de un proceso de contaminación por intrusión marina.

6.6.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas, para los años 1.999 y 1.995, de las seis muestras seleccionadas como representativas de los diferentes tipos de facies hidroquímicas presentes en la unidad. Todos ellos pertenecen a la red de calidad del IGME.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO3/rCl		rSO4/rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
4026-1-0003	0,762	0,864	1,045	1,06	0,181	0,148	0,199	0,147	21,859	34,366
3926-4-0079	0,77	0,815	0,943	0,725	0,235	0,236	0,199	0,258	19,493	16,479
3926-4-0935	0,343	0,316	0,302	0,146	0,214	0,14	0,063	0,056	19,155	23,239
3926-3-1629	0,988	0,789	0,998	1,052	2,979	2,063	0,345	0,269	2,113	2,479
3926-7-0325	0,72	0,724	0,533	0,295	0,341	0,815	0,887	0,632	7,606	4,085
3926-3-0492	0,914	0,804	0,561	0,37	1,029	0,957	0,603	0,697	3,662	3,408
Agua de mar (2)	0,837		4,354		0,005		0,111		613,29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de la relación rNa/rCl se observa que todos los puntos presentan valores inferiores a la del agua del mar, destacando por su alto contenido en cloruros los puntos 4026-1-0003, 3926-4-0079 y 3926-4-0935. Igualmente, estas tres muestras presentan muy bajos valores en la relación rHCO3/rCl que indica claramente que se trata de aguas contaminadas por intrusión marina. La muestra correspondiente al punto 3926-3-1629 es la única que presenta características propias de aguas continentales, con relación rNa/rCl superior a la del agua de mar para 1.995 (aunque esta disminuye notablemente en 1.999), bajo contenido en cloruros y claro predominio del ión bicarbonato frente al ión cloruro, alejándose mucho de la relación propia de un agua influenciada por la intrusión marina.

6.6.6. Diagnóstico del estado actual de los acuíferos

Se trata de una unidad que actualmente presenta un riesgo notable de sobreexplotación en los sectores de mayor actividad agrícola.

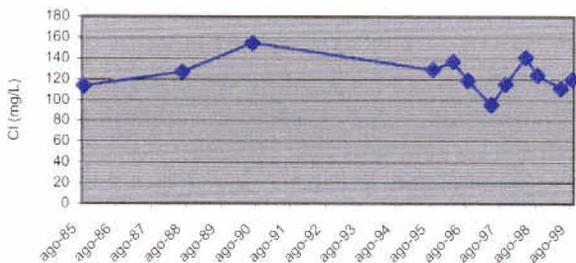
La unidad hidrogeológica de Inca - Sa Pobra presenta en la actualidad dos áreas claramente diferencias. En el subsector de Sa Pobra, las aguas presentan en general una mala calidad debido a la elevada concentración de ión nitrato, que no queda reflejado en este estudio. Su concentración máxima puede superar en más de 10 veces los valores máximos permitidos para aguas de consumo humano. Estas concentraciones tan elevadas están relacionadas con el abusivo empleo de fertilizantes nitrogenados en una zona de agricultura intensiva. Asociada a esta elevada concentración de nitratos se encuentra la presencia de tres áreas principales que muestran una elevada concentración de cloruros por intrusión marina, inducida por el bombeo intensivo para el regadío. Así, los sectores ubicados al NE y al N de Sa Pobra presentan domos salinos que en el caso más significativo superan concentraciones de 1.300 mg/L de ión cloruro, y coinciden con la zona de máxima concentración de ión nitrato. Finalmente, también se observa una intrusión clara en el límite meridional de la unidad que avanza desde la línea de costa hasta la localidad de Muro, y con tendencia a prolongarse en dirección a Llubí.

El resto del subsector de Sa Pobra presenta aguas de calidad media, que si bien no presentan una afección directa por agua de mar si presentan concentraciones aún elevadas en cuanto al contenido en nitratos, al SO de Sa Pobra y NO de Muro. El resto del subsector presenta aguas de buena calidad.

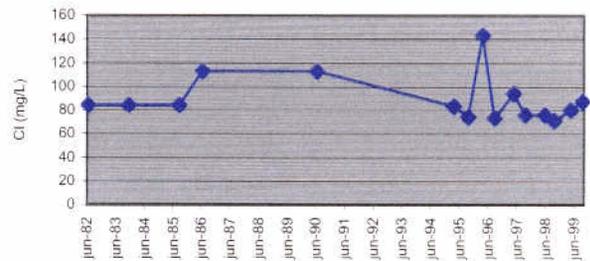
6.6.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La evolución del contenido en cloruros del sector Sa Pobra - Muro está directamente condicionado al futuro empleo de las aguas subterráneas, y por tanto a la evolución en el sistema y tipo de cultivo. De continuar los sistemas actuales de regadío intensivo en la zona la calidad del agua sufrirá un progresivo deterioro debido a que las extracciones provocarán un incremento en la salinización del acuífero. Igualmente, las técnicas de fertilización empleadas continuarán aportando un contenido en nitratos excesivo en el terreno que continuarán percolando hasta alcanzar el acuífero, contribuyendo a la progresiva pérdida de calidad en el mismo.

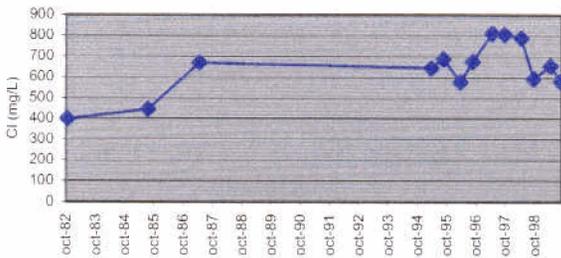
Evolución Cl. Punto 3926-3-0492



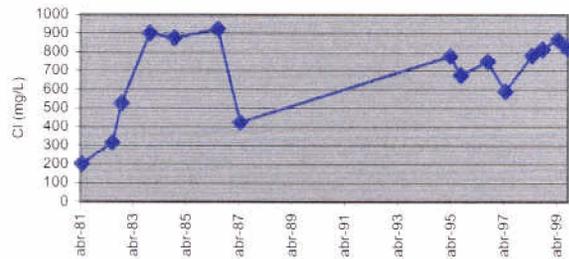
Evolución Cl. Punto 3926-3-1629



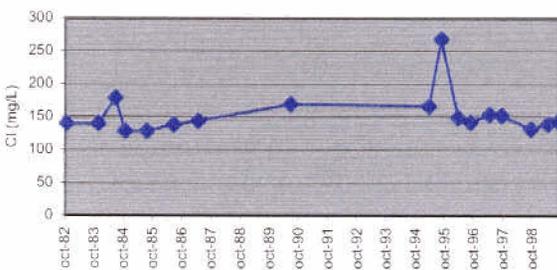
Evolución Cl. Punto 3926-4-0079



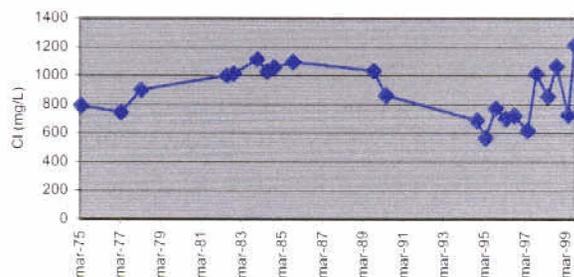
Evolución Cl. Punto 3926-4-0935



Evolución Cl. Punto 3926-7-0325



Evolución Cl. Punto 4026-1-0003



Las medidas que pueden impedir que continúe el progresivo deterioro del acuífero deben pasar necesariamente por un replanteamiento del sistema tradicional de cultivo, sustituyendo parte del actual regadío por cultivos de secano, menos exigentes en cuanto a consumo de agua, y que permitan por tanto una recuperación de los niveles piezométricos. De igual manera, la futura implantación de un código de buenas prácticas agrarias que regule la fertilización deberá contribuir a una reducción del aporte de nitrógeno susceptible de alcanzar finalmente el acuífero.

Finalmente, debe tenerse en cuenta que la redistribución de captaciones y el control de volúmenes de extracción es enormemente difícil en una zona donde, tan sólo en un octante, los puntos de extracción pueden ser superiores a 2.000 pozos y sondeos.

6.7. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.12 CALVIÁ

6.7.1. Descripción hidrogeológica

Se sitúa al SO de la isla de Mallorca, en el sector más occidental de la Sierra de Tramontana. La formación acuífera está formada por dolomías, micritas, y calizas oolíticas del Lías en el sector de Calviá; por dolomías y calizas liásicas y por calizas y calcarenitas del Mioceno inferior (Burdigaliense) la zona de Galatzó.

Los límites hidrogeológicos con las unidades de Andratx al Oeste, y Deiá y Fonts al Norte son poco conocidos, mientras que al SE, con la unidad de Na Burguesa el límite es permeable. Al sur se encuentra conectada con el mar.

La estructura geológica básica del Llano de Calviá es la de un gran sinclinal en cuyo núcleo afloran conglomerados oligocenos. El flanco oriental del sinclinal correspondería a la vertiente N de Na Burguesa y el flanco occidental a la zona de Capdellá-Camp de Mar. En ambos flancos afloran materiales mesozoicos. El Llano de Calviá corresponde al núcleo del sinclinal y es una zona con muy poca entidad hidrogeológica, ya que el acuífero liásico se encuentra confinado por una potente serie de conglomerados oligocenos, y margocalizas del Dogger-Malm-Cretácico que superan los 700 m de espesor.

Históricamente, la zona de mayor interés hidrogeológico corresponde al flanco occidental del sinclinal mayor: Camp de Mar – Capdellá. En este sector las calizas del Lías tienen contacto directo con el mar en la zona del Cap d'Andritxol. El acuífero Burdigaliense es libre y de difícil explotación.

Las entradas al sistema se producen por la infiltración a partir de la precipitación directa sobre los afloramientos permeables. La descarga se produce fundamentalmente por bombeos para el abastecimiento de zonas turísticas, y en menor medida por descarga directa al mar.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, la transmisividad toma valores muy anisótropos, entre 10 y 1.000 m²/día. El coeficiente de almacenamiento es del orden de 0,1 a 0,3, y el caudal específico medio es de 2 a 5 L/s/m en zonas de T=10-15 m²/día.

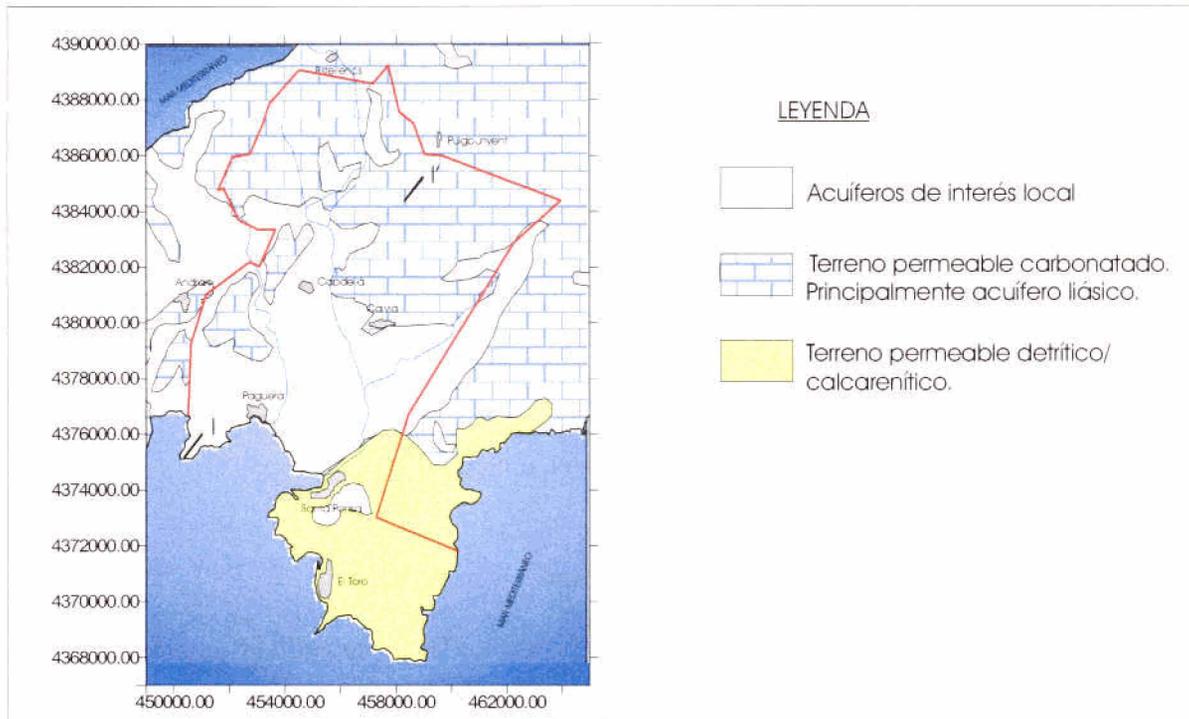


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.12 Calviá (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

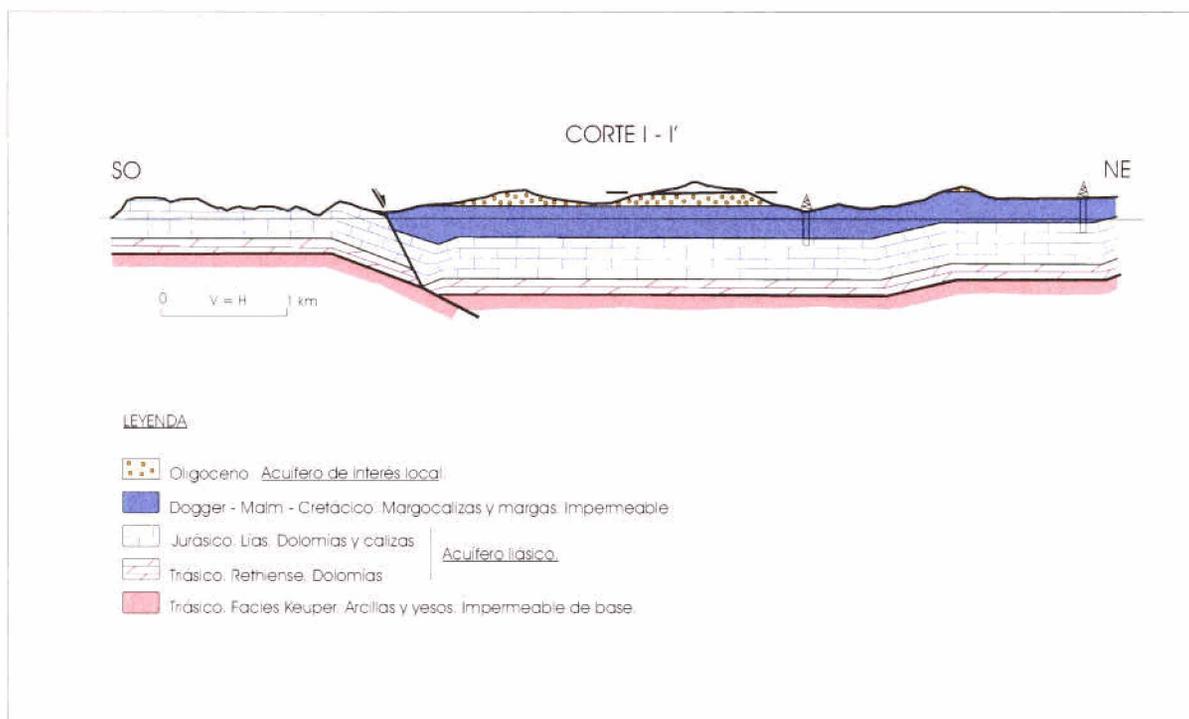


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.12 Calviá (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calviá-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

6.7.2. Análisis de la piezometría y su evolución

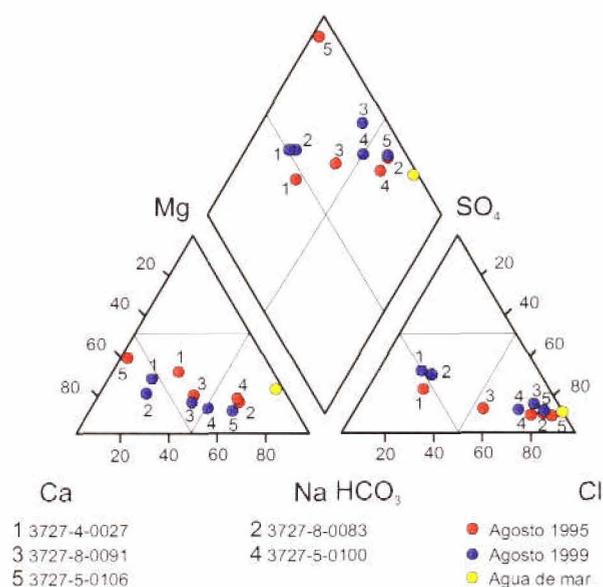
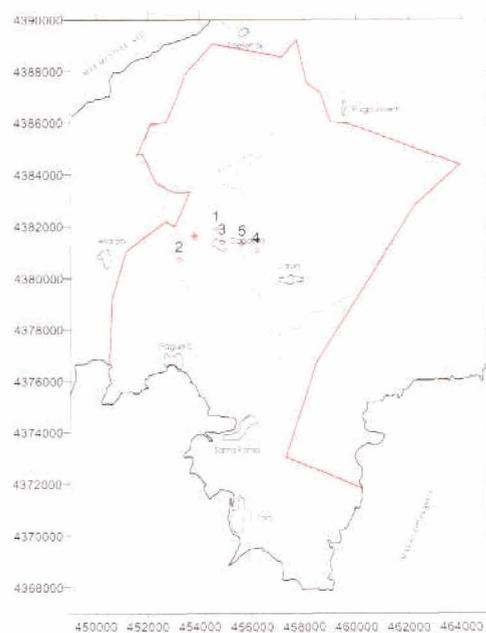
El IGME posee una red de control piezométrico de 11 puntos en esta unidad, algunos de ellos de muy reciente incorporación, y otros pertenecientes a red antiguas que no tienen un registro histórico completo. Los datos por lo tanto no presentan una densidad suficiente de puntos en la actualidad que permitan la realización de mapas de isopiezas. Sólo tres de los puntos de la red presentan registros continuos desde finales de los años 80 hasta principios de los años 90. El punto 372740027 presentaba cotas iniciales próximas a los 5 m.s.n.m. que en la actualidad se han reducido a valores de -20 m.s.n.m., con un descenso medio que supera los 25 m en este período. El punto 372780085 presenta desde 1.988 valores por debajo del nivel del mar. Únicamente el punto 372740028 presenta valores que superan los 140 m.s.n.m. que se han mantenido estables desde 1.993 hasta la actualidad.

6.7.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El IGME cuenta con una red histórica de 10 puntos de control de calidad en esta unidad, de los cuales actualmente sólo se controlan periódicamente 3 de ellos, por lo que la reducida densidad de puntos no permite la realización de un mapa de isocloruros significativo.

6.7.4. Caracterización de facies hidroquímicas

La representación en el diagrama de Piper de los análisis químicos correspondientes a un total de 5 puntos muestreados durante los años 1.995 y 1.999 en esta unidad indican la presencia de dos facies netamente diferenciadas. Por un lado existen aguas de tipo mixto bicarbonatado-clorurado cálcico-sódico; por otro lado se encuentran aguas que presentan contenidos mayoritarios de anión cloruro y concentraciones más elevadas de sodio respecto al calcio dando lugar a aguas con composición clorurada sódica o sódico-cálcica indicando la existencia de una mezcla de aguas propias del acuífero con aguas de origen marino.



La evolución histórica refleja una compleja variación, en la que la mayor parte de las muestras presentan una ligera mejoría en su calidad, con una reducción significativa en el contenido en ión cloruro.

6.7.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos muestreados por el IGME en 1.995 y 1.999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99
3727-4-0027	1.113	0.823	0.815	0.518	1.989	2.124	0.894	1.467	2.423	1.69
3727-8-0083	0.771	0.772	0.77	0.36	0.087	1.733	0.123	1.193	46.479	2.479
3827-5-0100	0.818	0.716	0.715	0.353	0.158	0.227	0.119	0.162	29.014	15.915
3827-5-0106	0.007	0.709	0.673	0.419	0.054	0.081	0.11	0.132	61.127	38.873
3727-8-0091	0.746	0.606	0.539	0.405	0.533	0.133	0.239	0.21	6.704	9.606
Agua de mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

La concentración de ión cloruro presenta una clara reducción en todas las muestras analizadas, excepto la correspondiente al punto 3727-8-0091, entre el año 1.995 y 1.999, confirmando las apreciaciones realizadas a partir de lo observado en el diagrama de Piper. La relación rMg/rCa indica claramente que se trata de aguas de origen continental, si bien la relación rHCO₃/rCl muestra una clara preponderancia del ión Cl frente al ión HCO₃ en 3 de las muestras analizadas, indicando un proceso de mezcla con aguas marinas. La relación rNa/rCl indica una aproximación en la composición de las muestras analizadas con la existente en el agua de mar, manifestando la presencia de este proceso de intrusión marina.

6.7.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

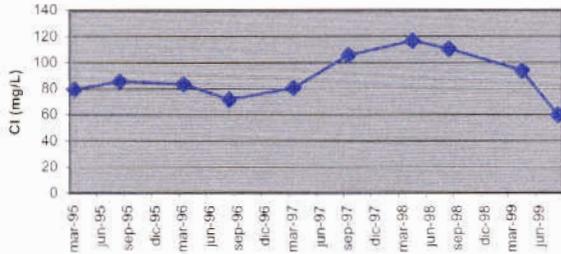
La unidad de Calviá presenta en la actualidad un problema de sobreexplotación, siendo mayor el volumen de las extracciones realizada que el del agua recargada en el sistema. Este hecho ha dado lugar a un progresivo descenso de los niveles piezométricos, especialmente en la zona de Capdellá, hasta situarse en algunos sectores por debajo del nivel del mar, lo cual ha provocado un proceso de intrusión marina. Puntualmente existen problemas de concentraciones elevadas de sulfatos, relacionadas con la presencia de yesos en el sustrato rocoso de la unidad.

6.7.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

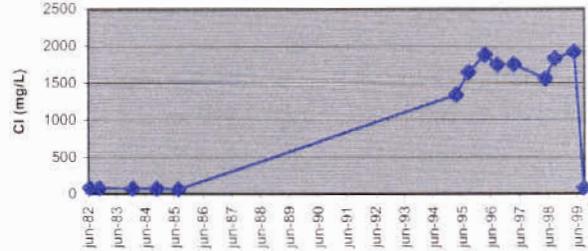
Pese a que en los últimos años (1.995-1.999) se registra una tendencia al descenso en la concentración en ión cloruro en las muestras analizadas, el registro histórico a largo plazo muestra un aumento progresivo de la concentración. Este hecho, unido a la intensa sobreexplotación de algunos sectores de la unidad indican que de continuar la explotación en los términos actuales se producirá un deterioro generalizado de la calidad del agua en los

acuíferos. Evitar el avance de la intrusión y reducir la zona ya afectada requiere la reubicación de las actuales captaciones para el abastecimiento, la redistribución de los caudales extraídos (aumentando el número de pozos de bombeo y disminuyendo el caudal de extracción), y finalmente la puesta en marcha de medidas eficaces de ahorro y reducción de la demanda.

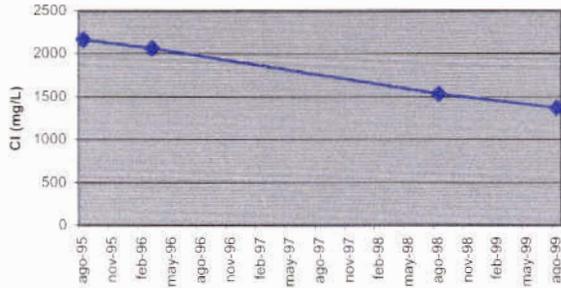
Evolución Cl. Punto 3727-4-0027



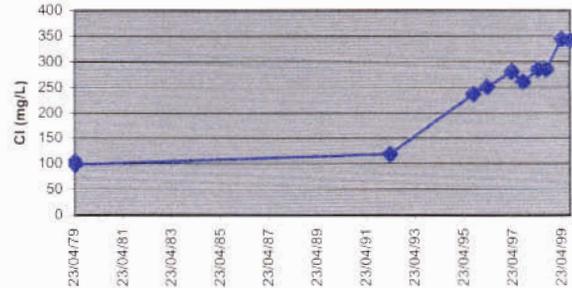
Evolución Cl. Punto 3727-8-0083



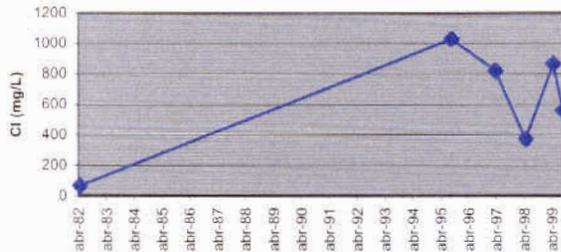
Evolución Cl. Punto 3827-5-0106



Evolución Cl. Punto 3727-8-0091



Evolución Cl. Punto 3827-5-0100



6.8. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.13 NA BURGUESA

6.8.1. Descripción hidrogeológica

Esta unidad se encuentra ubicada al O de la localidad de Palma de Mallorca, en el extremo meridional de la Sierra de Tramontana, abarcando la denominada Sierra de Na Burguesa. La formación acuífera está constituida por carniolas y dolomías fracturadas y carstificadas del infralías; dolomías y calizas del Lías; y finalmente por conglomerados y areniscas del Paleógeno.

Los límites hidrogeológicos con el resto de unidades presentan las siguientes características: al SE limita con el mar; al NO con la unidad de Calviá cuyo contacto es permeable; al E con el Llano de Palma con el que existe una cierta conexión hidráulica.

Los acuíferos pueden ser libres o confinados por las margas y margocalizas del Jurásico medio-superior y Cretácico, dependiendo de las zonas. No existen suficientes datos de piezometría para determinar el modelo de flujo subterráneo. Las entradas se producen principalmente por infiltración del agua de lluvia, y las salidas por bombeos para el abastecimiento, principalmente a la localidad de Palma.

En cuanto a los parámetros hidráulicos únicamente se conoce que la transmisividad en los materiales calcodolomíticos supera los $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$.

6.8.2. Análisis de la piezometría y su evolución

El IGME cuenta con tan sólo 3 puntos de control piezométrico en esta unidad que tengan un registro continuo hasta la actualidad. Estos piezómetros registran las variaciones de los niveles del acuífero liásico explotado intensamente para el abastecimiento de la localidad de Palma de Mallorca. La tendencia general es estable a ligeramente descendente. Los valores actuales están muy próximos a los registrados al comienzo del período de medida, con cotas que oscilan entre los 2 y 4 m.s.n.m. para los puntos de control en La Vileta y Son Serra (puntos 382720114 y 382720115) y los 12 m.s.n.m. en el punto 382720109.

La escasa densidad de puntos y su particular distribución hacen impiden la realización de un mapa de isopiezas significativo para esta unidad.

6.8.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

El IGME cuenta en la actualidad con una red de control de la calidad formada por cuatro puntos en esta unidad, con registros históricos que abarcan desde el año 1.975 hasta la actualidad. La escasa densidad de puntos de control, así como su distribución espacial impiden la realización de un mapa significativo de isocontenidos en ión cloruro para esta unidad.

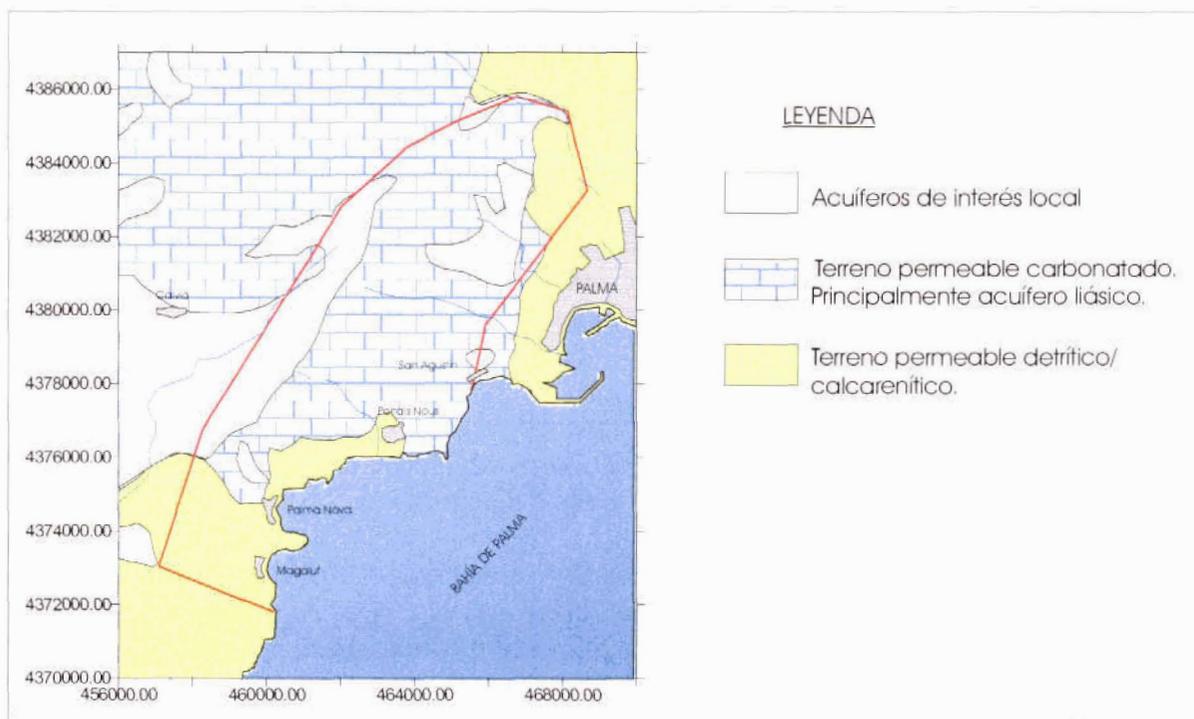


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.13 Na Burguesa (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

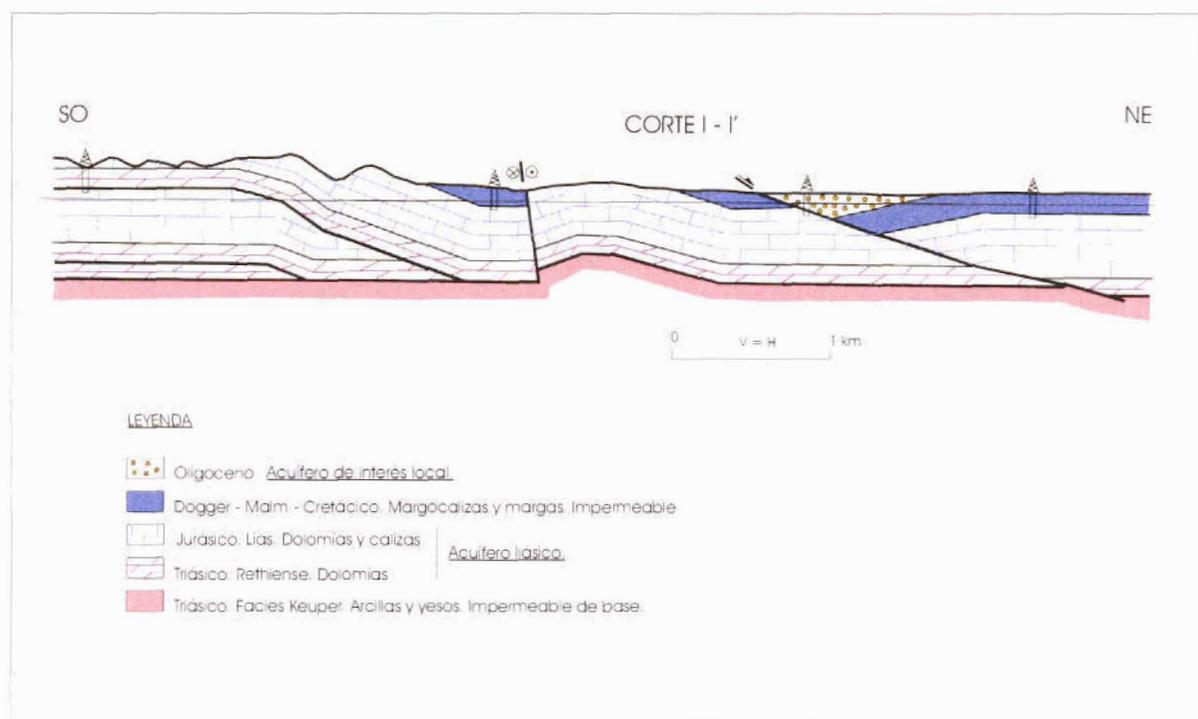
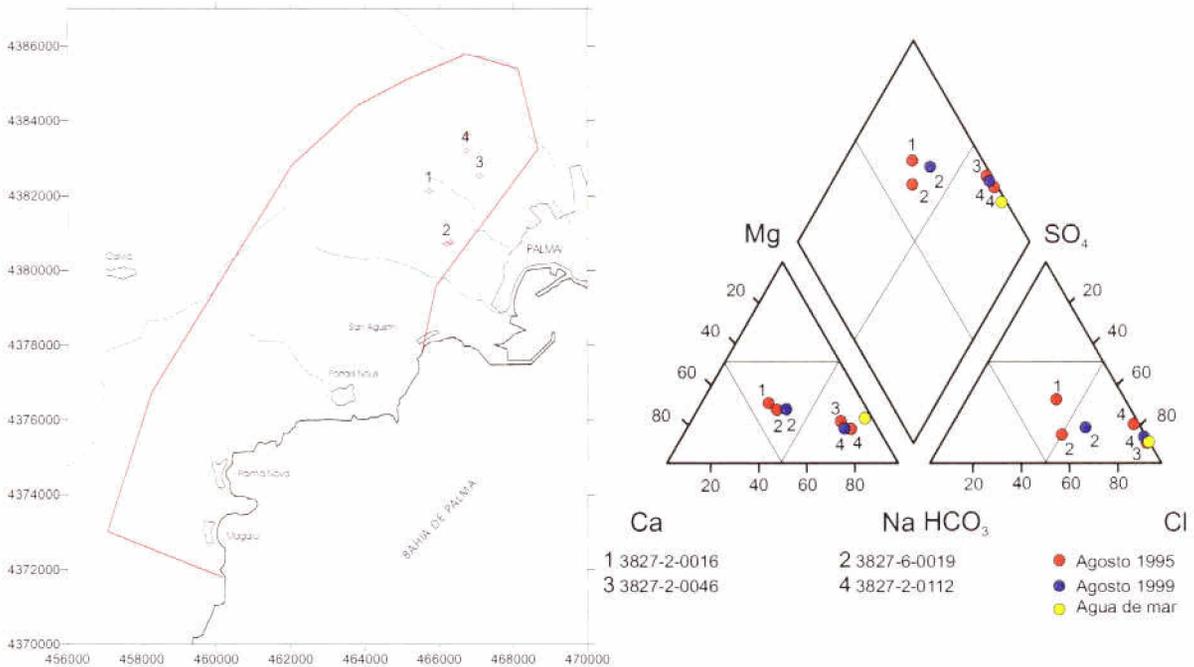


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.13 Na Burguesa (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calviá-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

6.8.4. Caracterización de facies hidroquímicas

El análisis de las facies hidroquímicas se ha llevado a cabo mediante la representación gráfica en un diagrama de Piper de los iones mayoritarios correspondientes a muestras de control en los cuatro puntos de la red de calidad del IGME durante los años 1.995 y 1.999.



El conjunto analizado corresponde, en líneas generales, a aguas netamente cloruradas sódicas en la actualidad, que en el año 1.995 presentaban facies similares o mixtas del tipo clorurado cálcico sódico o sódico cálcico. Por lo tanto la evolución en los últimos 5 años indican un progresivo incremento en la concentración de ión cloruro frente al bicarbonato o sulfato, y de sodio frente al calcio, marcando claramente la presencia de un proceso de intrusión marina en el sector.

6.8.5. Análisis de relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del IGME controlados durante los años 1.995 y 1.999 en esta unidad hidrogeológica.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99	ago-95	ago-99
3827-2-0046	0.726	--	1.212	--	0.02	--	0.114	--	197.183	--
3827-2-0112	0.916	0.733	1.252	1.032	0.025	0.023	0.252	0.132	163.38	146.479
3827-6-0019	0.725	0.623	0.681	0.731	0.714	0.41	0.269	0.301	5.577	7.324
3827-2-0016	0.757	0.903	0.685	0.723	0.755	0.966	0.807	1.534	5.859	3.803
Agua de mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

La concentración de ión cloruro es muy elevada en todas las muestras, destacando los puntos 3827-2-0046 y 3827-2-0112 con valores que se aproximan a los del agua de mar tanto en el contenido en ión cloruro, como en la relación rNa/rCl y $rHCO_3/rCl$, y rSO_4/rCl . Estos dos puntos son los que presentan facies netamente cloruradas sódicas en el diagrama de Piper (puntos 3 y 4). Igualmente, la relación rMg/rCa presenta los valores más elevados en estos dos puntos, cuya relación si bien continúa indicando un origen continental (aguas continentales con valores entre 0,3 y 1,5) se aproxima a los valores extremos que indican la presencia de mezcla con aguas de origen marino.

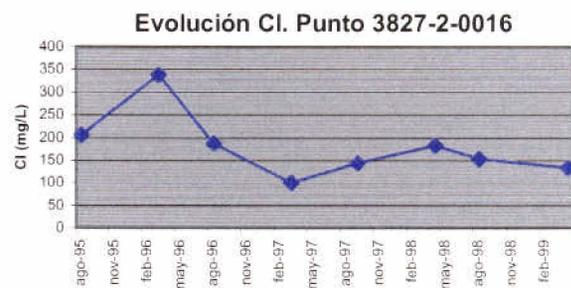
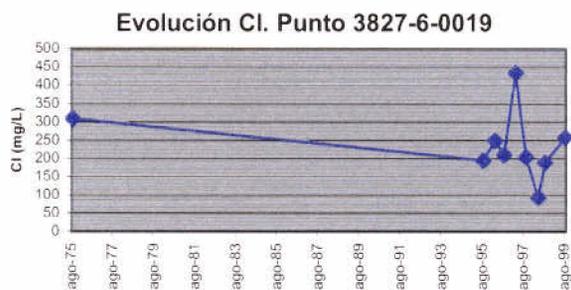
6.8.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

La explotación de esta unidad para el abastecimiento propio, y sobre todo, para el abastecimiento urbano de la ciudad de Palma, se realiza actualmente por encima de la capacidad de recarga de la unidad, de manera que se ha generado un proceso de sobreexplotación en la misma. La conexión del acuífero liásico con el mar ha dado lugar a un proceso de intrusión marina inducido por el bombeo intensivo, detectándose valores de concentración de cloruros que superan los 8 gramos por litro.

6.8.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La evolución de los últimos años indica un progresivo aumento de la demanda de agua para el abastecimiento público, y por lo tanto un continuado incremento de las extracciones y el consecuente aumento del proceso de salinización.

El control de la intrusión pasa necesariamente por una drástica reducción de las extracciones, compensándose el déficit con recursos procedentes de otras unidades hidrogeológicas o fuentes alternativas, sin menoscabo de la puesta en ejecución de programas de ahorro tendentes a controlar y reducir la demanda.



6.9. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.14 LLANO DE PALMA

6.9.1. Descripción hidrogeológica

Las formaciones acuíferas de esta unidad están constituidas por un conjunto de sedimentos cuaternarios, pliocenos y del Mioceno superior (Messiniense y Messiniense - Tortoniense). Los materiales cuaternarios están formados por limos rojos y conglomerados con intercalaciones de arenas y gravas cuya potencia media es de 40 m si bien puede llegar a máximos de 200 m. El conjunto plioceno lo constituyen unas calcarenitas amarillentas, porosas y carstificadas con niveles de lumaquelas y eolianitas a techo. La potencia en la costa es de 100 m, acunándose hacia el interior. El Messiniense está formado por calizas macrocristalinas grises, muy carstificadas, con niveles de estromatolitos que pasan lateralmente a yesos. Su potencia oscila entre 20 y 80 m. El Tortoniense-Messiniense lo forma un conjunto de calcarenitas y calizas arrecifales.

El límite hidrogeológico con el resto de unidades colindantes es complejo. Al NO, con la unidad de S'Estremera el límite es permeable, existiendo un umbral margoso que permite el flujo cuando el nivel piezométrico se eleva por encima de dicho umbral. Al E, con la unidad Lluçmajor - Campos el umbral es en parte impermeable (por la presencia de conglomerados y margas aquitanienses) y en parte divisoria hidrogeológica (en la zona más cercana a la línea de costa). El límite N, con el Llano de Inca, es permeable en el sector Sencelles - Costitx, con un umbral impermeable próximo al nivel freático. En la zona de Pórtol existe una divisoria hidrogeológica que permite un cierto flujo procedente del Llano de Inca. El resto es impermeable. Al Sur la unidad se conecta libremente con el mar.

El flujo subterráneo transcurre desde el interior hacia el mar, con inversiones locales en el flujo en aquellas zonas donde existen intensos bombeos para el abastecimiento a la localidad de Palma. La alimentación de los acuíferos procede fundamentalmente de la infiltración directa de agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables y a partir de la infiltración del agua que circula esporádicamente por los torrentes que discurren sobre la unidad. También son apreciables los retornos de riego, las fugas en las redes de abastecimiento y el flujo procedente de unidades vecinas (Llano de Inca, S'Estremera). Las salidas del sistema se producen por descarga al mar, bombeos para regadío y en menor cuantía para el abastecimiento urbano e industrial.

En cuanto a los parámetros hidrogeológicos característicos de los acuíferos, se ha observado que la transmisividad por el acuífero Plio - Cuaternario oscila entre 150 - 10.000 m²/día, aumentando hacia el centro y hacia la línea de costa. Para el acuífero mioceno, las calizas messinienses presentan transmisividades de entre 500 y 2.500 m²/día, mientras que las calizas arrecifales del Messiniense - Tortoniense dan valores algo menores, entre 200 y 1.000 m²/día. Los caudales específicos presentan distribuciones similares a las que se observan en las transmisividades, siendo < 1 L/s/m en las zonas periféricas y > 10 L/s/m en el centro del llano. El coeficiente de almacenamiento presenta un valor medio para el Cuaternario de 0,2, mientras que las calcarenitas y calizas miocenas dan valores entre 0,02 y 0,04 cuando son libres, y 0,001 cuando se encuentran confinadas.

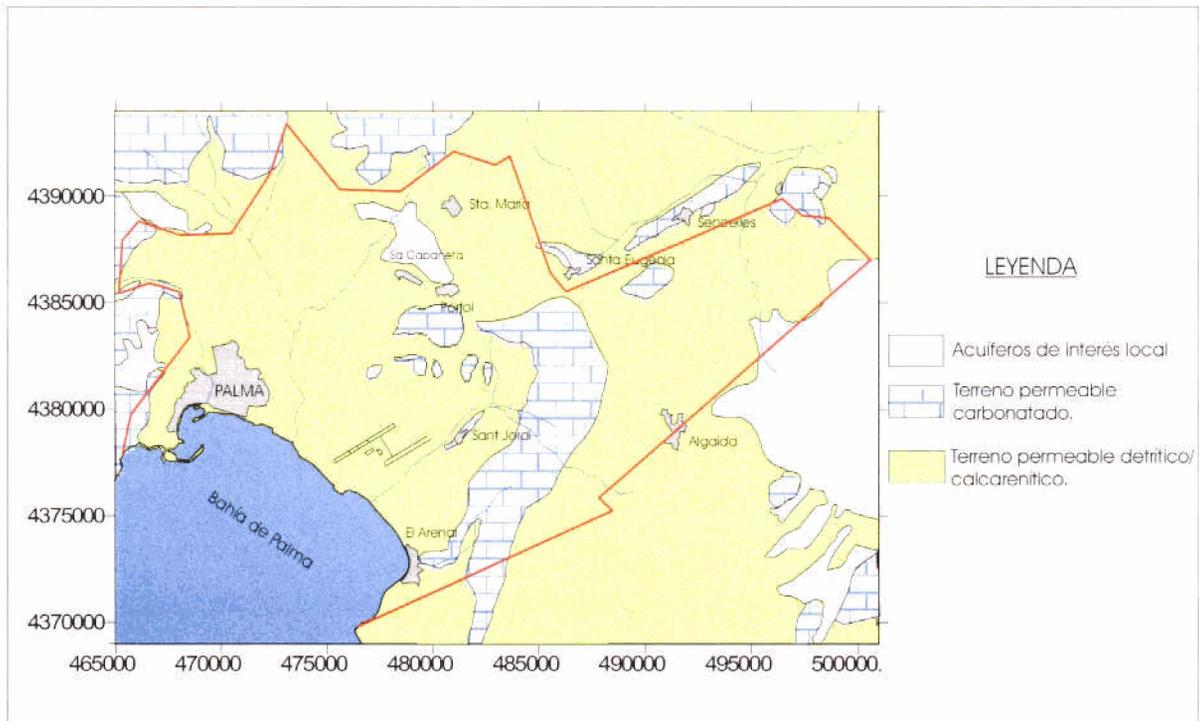


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.14 Llano de Palma (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

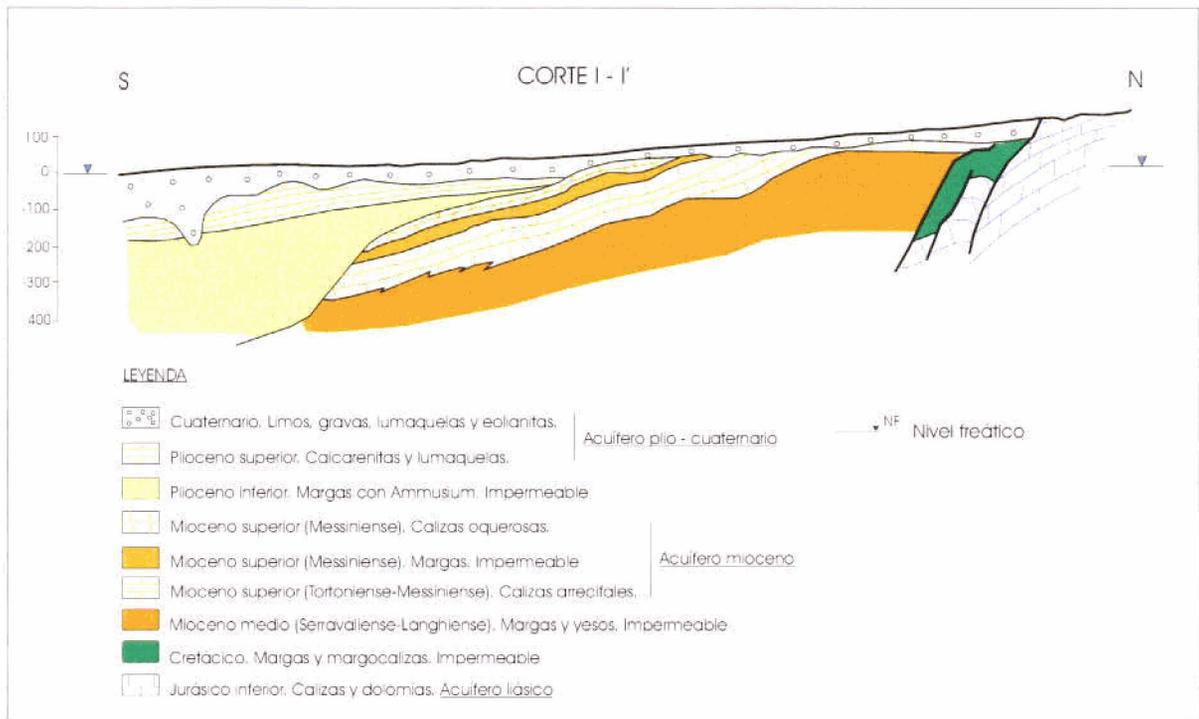


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.14 Llano de Palma (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

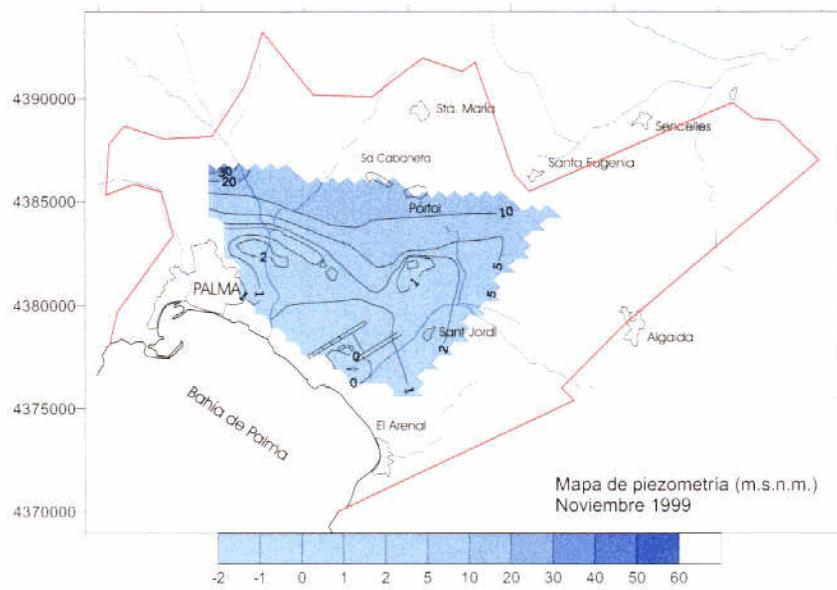
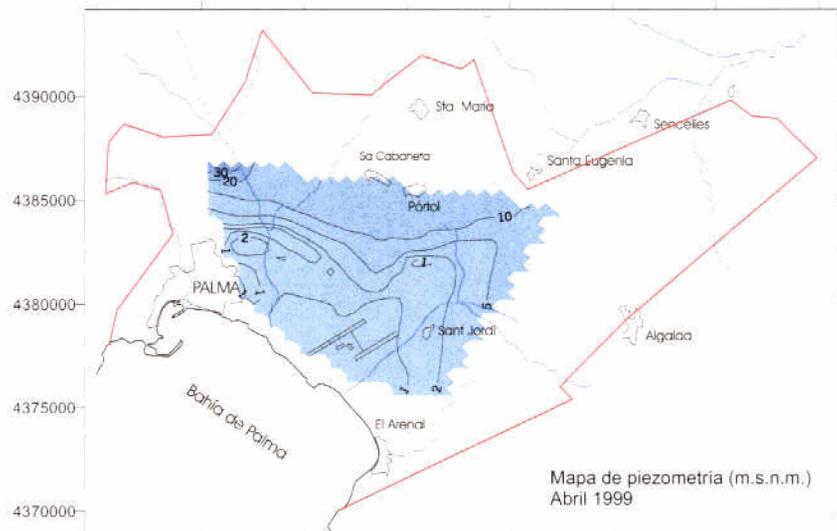
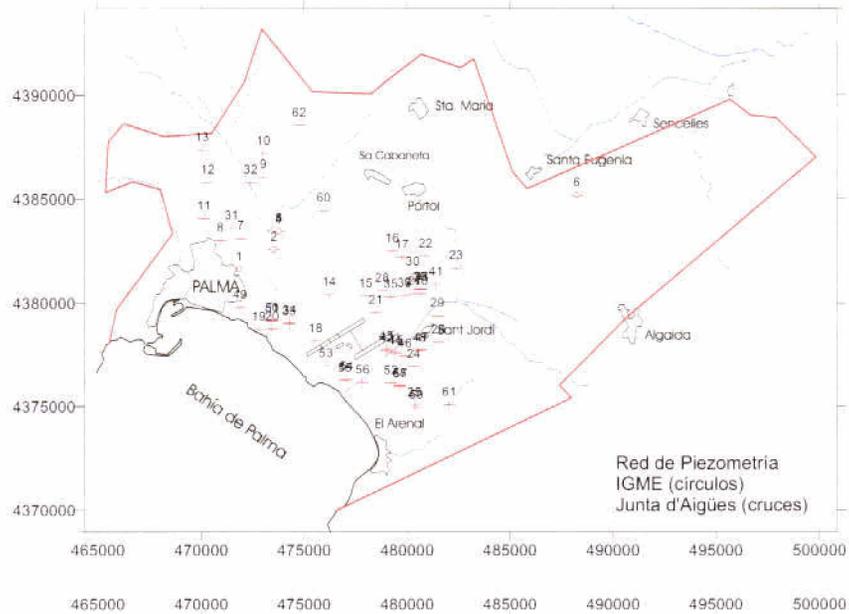
6.9.2. Análisis de la piezometría y su evolución

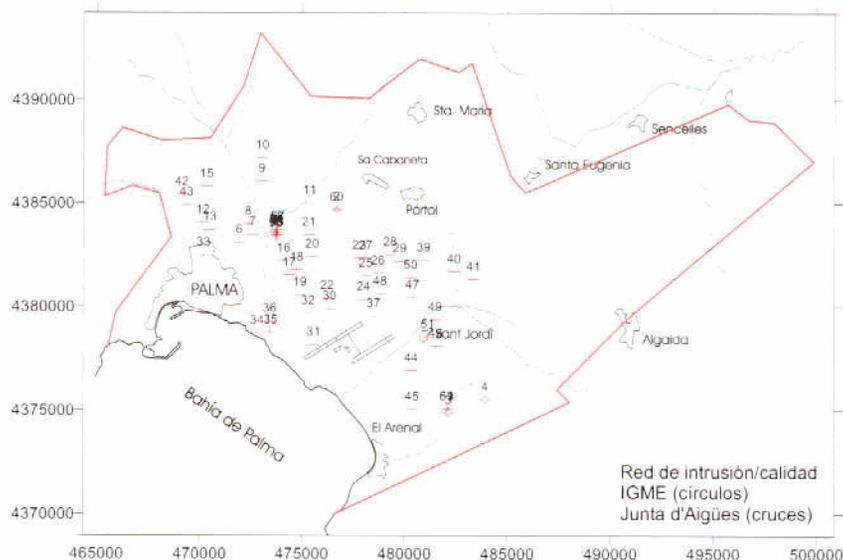
El análisis piezométrico se ha realizado a partir de los puntos de control pertenecientes al IGME y los propios de la Junta d'Aigües de Balears, los cuales en conjunto suman un total de 62 puntos de control. Su situación y características pueden verse en el gráfico y tabla adjuntas.

Red de piezometría IGME					
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Prof. (m)
1	3827-3-0286	471845	4381628	24,5	35
2	3827-3-0295	473532	4382583	27,47	211
3	3827-3-0310	473774	4383464	34,62	97.6
4	3827-3-0311	473775	4383463	34,62	176.2
5	3827-3-0312	473775	4383462	34,62	381.5
6	3927-1-0038	488270	4385182	120	347.5

Red de piezometría Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
7	16	471924	4383110	37,18
8	37	470924	4383020	39,17
9	48	473029	4386060	75
10	65	473033	4387190	71,77
11	78	470139	4384060	52,81
12	86	470319	4385800	66,4
13	87	470036	4387360	82,99
14	343	476216	4380401	13,28
15	395	477998	4380337	4,83
16	442	479285	4382508	42,9
17	444	479764	4382201	27,65
18	553	475557	4378172	2,6
19	636	472798	4378720	5,62
20	647	473452	4378742	4,54
21	872	478489	4379527	1,98
22	926	480912	4382256	21,19
23	932	482394	4381683	24,48
24	1271	480320	4376921	12,6
25	1369	480360	4375051	27,19
26	1396	481523	4378105	21,62
27	1554	480384	4380439	4,15
28	1612	478800	4380598	1,63
29	1617	481478	4379373	12,17
30	1653	480285	4381389	7,96
31	A-2	471469	4383607	39,17
32	B-1'	472416	4385794	58,79
33	C-10	474264	4378992	8,3
34	C-10'	474308	4379049	7,67

35	C-16'	479219	4380295	2,84
36	C-17	479885	4380346	4,13
37	C-17'	479885	4380346	4,54
38	C-18	480712	4380665	5,51
39	C-18'	480631	4380651	5,27
40	C-18"	480695	4380435	7,8
41	C-19	481412	4380893	14,19
42	C-22	479025	4377711	2,54
43	C-22'	478981	4377794	2,74
44	C-23	479413	4377600	1,74
45	C-23'	479458	4377598	2,12
46	C-24	479897	4377434	2,72
47	C-25	480723	4377744	7,18
48	C-25'	480600	4377713	5,14
49	C-8	471904	4379771	5,09
50	C-9	473443	4379154	5,03
51	C-9'	473441	4379134	4,85
52	D-.7	479216	4376121	9,96
53	D-4'	476069	4376969	3,15
54	D-5	477064	4376322	2
55	D-5'	476988	4376248	1,12
56	D-6	477834	4376154	1,03
57	D-8	479666	4375966	8,04
58	D-8'	479639	4376008	7,36
59	D-9	480452	4374934	30,73
60	S-25	475959	4384454	57,74
61	S-35 grueso	482052	4375069	62,94
62	S-39 grueso	474767	4388560	95





El análisis del mapa de isocontenido en cloruros para abril de 1.999 es muy significativo del grado de intrusión marina que sufre esta unidad, si bien su comparación con el de septiembre del mismo año que parece indicar una notable mejoría en algunos sectores debe ser considerado con gran reserva como veremos a continuación.

En abril de 1.999 se detectan varios focos de intrusión. Así, el acusado domo salino que se observa al NE de la localidad de Palma corresponde con las explotaciones del Pont d'Inca para el abastecimiento de la capital. En esta zona el acuífero se encuentra fuertemente salinizado, y el agua bombeada se conduce a la planta potabilizadora-desaladora construida a este efecto en Son Tugores. El mapa muestra como la cuña de intrusión avanza desde la línea de costa hacia el interior, desde el sureste de la localidad de Palma, siguiendo un corredor curvo hacia el N. La concentración de cloruros supera ampliamente los 2.200 mg/L en el punto de bombeo, y los 1.200 mg/L en el corredor que lo une con la costa.

El área comprendida entre El Arenal, Sant Jordi y el aeropuerto de Son Sant Joan también presenta varios domos salinos muy marcados, con concentraciones de ión cloruro que superan los 2.000 mg/L, presentando toda el área contenidos medios que superan los 1.000 mg/L. En este caso se trata de una intrusión debida a las extracciones para el regadío, al tratarse de una zona eminentemente agrícola. En los últimos años se ha puesto en marcha un plan de riego con aguas residuales depuradas procedentes de las plantas de tratamiento de Palma que tiene como objetivo reducir las extracciones y evitar el avance de la intrusión salina.

En cuanto al mapa de isocloruros para septiembre de 1.999 se observan cambios notables que es preciso matizar. Así, el marcado domo salino del Pont d'Inca parece haber desaparecido. Igual ocurre con el principal domo salino ubicado al SE del aeropuerto. En ambos casos, los puntos de control que marcaban los valores más altos de concentración de ión cloruro en abril de 1.999 (punto 3827-3-0288 del IGME en el Pont d'Inca, y punto 1271 de la Junta d'Aigües en el Pla de Sant Jordi) no fueron medidos en septiembre de este mismo año, por lo que la aparente disminución de concentración es probable que no se corresponda con la realidad. De hecho, inmediatamente al N del aeropuerto, uno de los domos salinos que en abril presentaban concentraciones de cloruros del orden de 1.400 mg/L sufren un aumento considerable tras el período estival, superándose los 1.600 mg/L. Este suceso parece indicar

En el mapa de isopiezas correspondiente a abril de 1.999 se observa una depresión piezométrica al NE de la localidad de Palma de Mallorca, que corresponde con la intensa explotación del Pont d'Inca para el abastecimiento urbano de la capital. El resto de la unidad presenta valores muy próximos a la cota cero en toda la zona que rodea al aeropuerto, y que constituye la zona agrícola del Pla de Sant Jordi. Para el noviembre de ese mismo año las variaciones no son acusadas, mostrándose un ligero descenso en la zona del Pla de Sant Jordi, y apareciendo cotas negativas al sur del aeropuerto y entre las localidades de Pórtol y Sant Jordi.

6.9.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

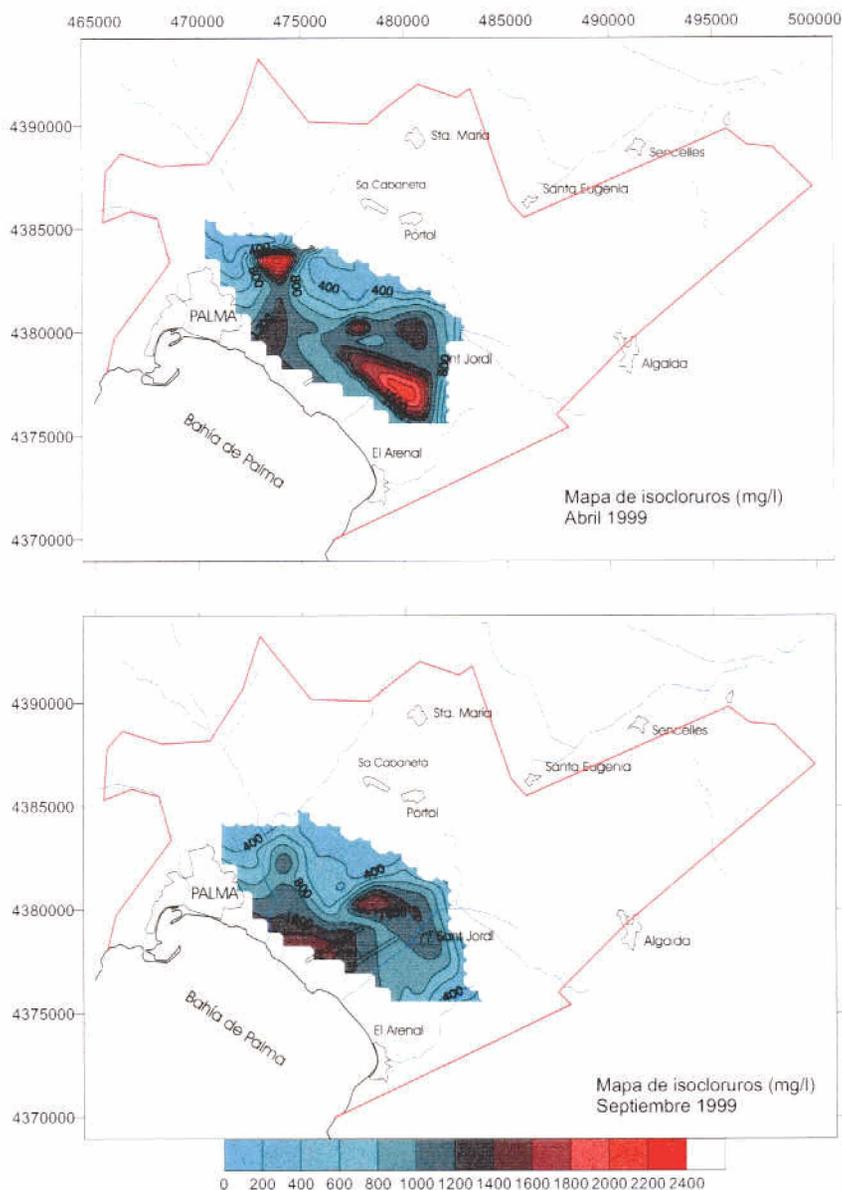
El análisis del contenido en cloruros se basa en los puntos de control de la red de calidad e intrusión de la Junta d'Aigües, y en menor medida del IGME. Sus características se recogen en la tabla adjunta, y su situación en el mapa.

RED DE INTRUSIÓN IGME				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	382730288	473717	4383578	36.4
2	382730296	476674	4384681	84
3	382780827	482115	4374885	60
4	382780832	483900	4375537	134.65

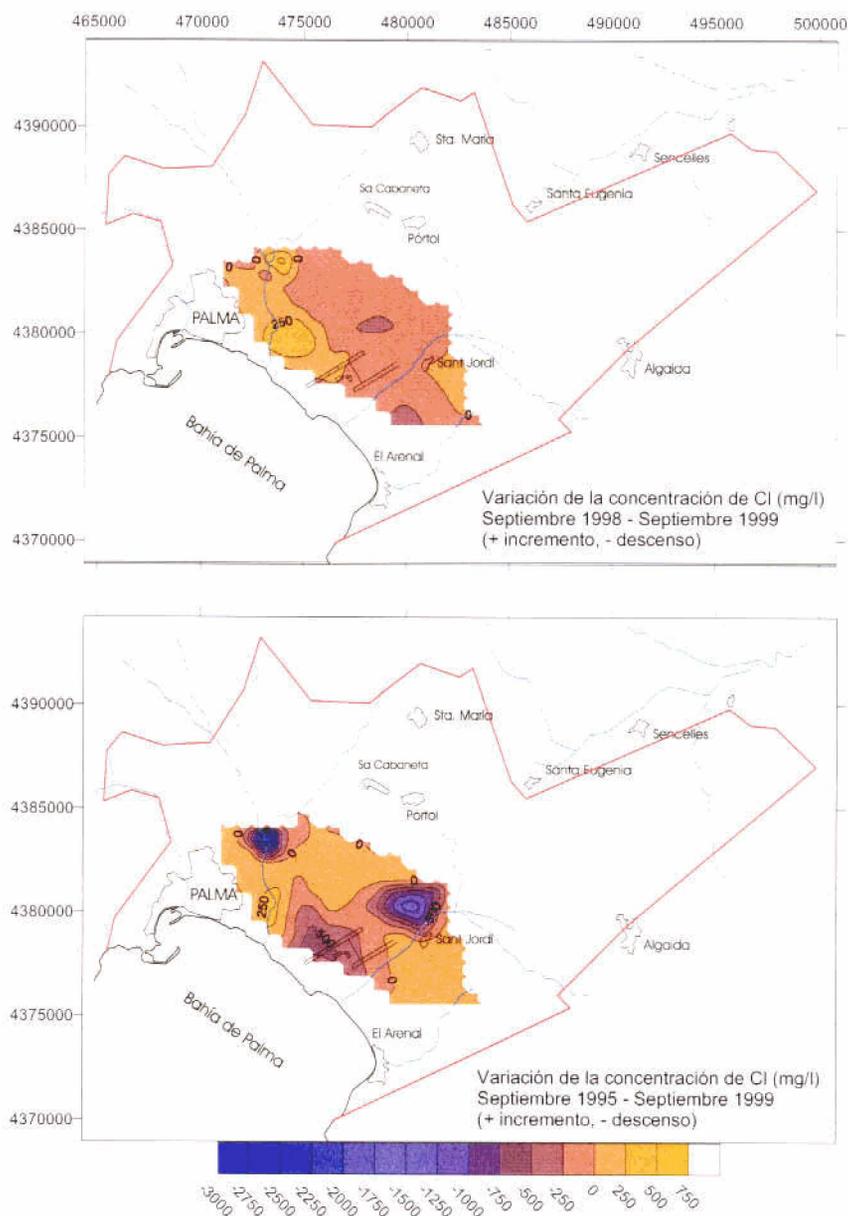
RED INTRUSIÓN JUNTA D'AIGÜES				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
6	16	471924	4383112	37.18
7	26	472574	4383481	36.91
8	30	472361	4383992	40.99
9	48	473029	4386069	75
10	65	473033	4387193	71.77
11	71	475348	4385002	58.16
12	78	470139	4384069	52.81
13	79	470484	4383712	49.46
14	86	470319	4385801	66.4
15	246	474085	4382227	29.23
16	264	474354	4381524	22.98
17	268	474724	4381777	25.83
18	282	474873	4380562	14.78
19	318	475474	4382413	35.81
20	326	475313	4383469	46.08
21	343	476216	4380401	13.28
22	375	477788	4382350	32.9
23	395	477998	4380337	4.83
24	429	478104	4381483	19.91
25	431	478695	4381609	31.57
26	434	478098	4382337	31.35
27	442	479285	4382508	42.9
28	444	479764	4382201	27.65
29	483	476338	4379890	9.22

30	553	475557	4378172	2.6
31	587	475289	4379677	8.72
32	607	470180	4382480	39.7
33	636	472798	4378720	5.62
34	647	473452	4378742	4.54
35	659	473413	4379296	6.68
36	872	478489	4379527	1.98
37	926	480912	4382256	21.19
38	932	482394	4381683	24.48
39	936	483340	4381310	31.06
40	961	469117	4385420	73.71
41	986	469349	4384911	69.97
42	1271	480320	4376921	12.6
43	1369	480360	4375051	27.19
44	1396	481523	4378105	21.62
45	1554	480384	4380439	4.15
46	1612	478800	4380598	1.63
47	1617	481478	4379373	12.17
48	1653	480285	4381389	7.96
49	S.Minas	481125	4378550	--
50	Igme II	473775	4383463	--
51	SM-2	473717	4383578	--
52	SM-6 bis	473690	4383420	--
53	SM-6	473696	4383429	--
54	Sondeo B	473800	4383725	--
55	Sondeo A	473750	4383725	--
56	Son Monjo	482052	4375069	--
57	Son Verí	476674	4384681	--
58	S-35	482052	4375069	62.94

la tendencia general al empeoramiento tras el verano, en contra de lo que parece deducirse del mapa.



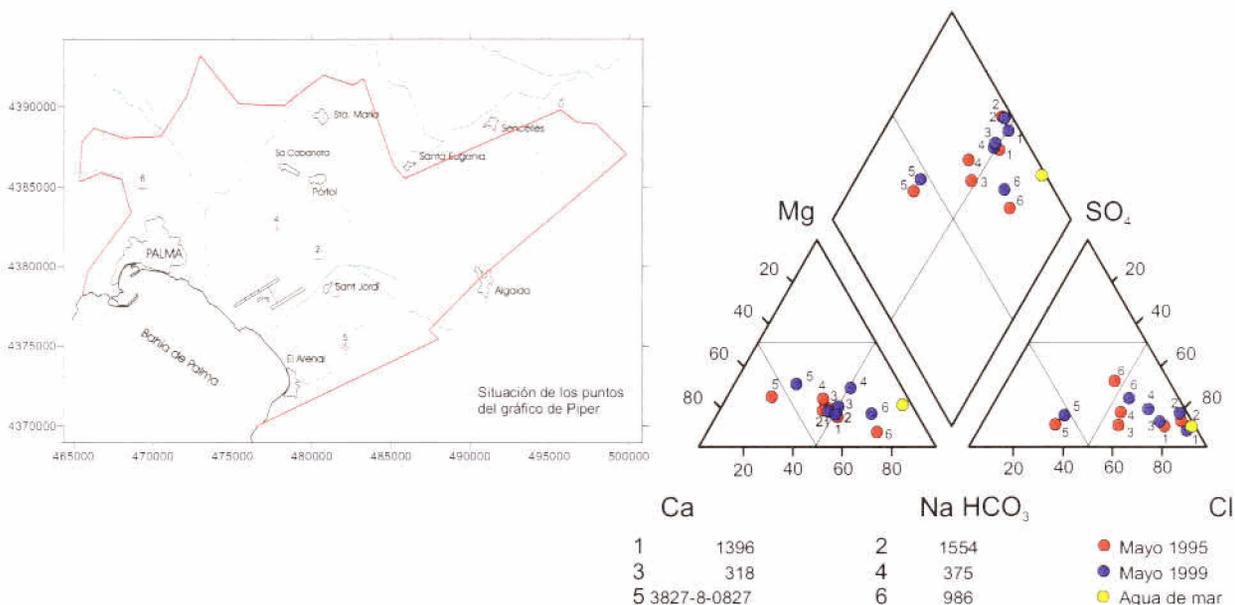
En el mapa de evolución de cloruros a corto plazo (1 año) se observa un incremento en la concentración de cloruros en el sector del Pont d'Inca, con incrementos que superan los 250 mg/L, así como en el sector inmediatamente al E de la localidad de Palma. En el resto la tendencia general es estable con ligeros descensos en el Pla de Sant Jordi. En la variación a medio plazo (4 años) se observan marcados descensos en la concentración de cloruros en todo el Pla de Sant Jordi, con bajadas que superan ampliamente los 500 mg/L, y puntualmente mayores de 2.000 mg/L. En el sector del Pont d'Inca también se registran descensos muy acusados, superiores a los 3.000 mg/L, si bien debe tenerse en cuenta la enorme variación que se produce en la concentración entre la toma de muestra en condiciones estáticas y dinámicas. Este hecho puede ser el causante de la depresión que se observa a medio plazo en el sector del Pont d'Inca.



6.9.4. Caracterización de facies hidroquímicas

Se ha determinado la facies hidroquímica de un total de 60 muestras pertenecientes a 30 puntos de control de las redes de calidad tanto del IGME como de la Junta d'Aigües de Balears. El 46% de las muestras presentan una facies clorurada sodico-cálcica, seguidas en proporción por las cloruradas-sulfatadas que representan el 30% del total analizado. Un 10% queda para aguas sulfatadas-cloruradas cálcico-sódicas, y otro tanto para las cloruradas-bicarbonatadas sodico-cálcicas. El resto son facies bicarbonatadas-cloruradas cálcico-magnésico-sódicas.

Del total se han seleccionado por su representatividad y para estudiar su evolución un total de seis muestras que se recogen en el siguiente diagrama de Piper.



Los puntos 1396 y 1554 (1 y 2 en el diagrama) son representativos del sector del Pla de Sant Jordi, y corresponden a aguas netamente cloruradas sódico-cálcicas resultado del proceso de intrusión que afecta al acuífero en esta zona agrícola. A este mismo sector pertenece el punto 375 (4 en el diagrama) que presenta el mismo tipo de facies y muestra en los últimos años un aumento progresivo en el contenido en Cl frente al ión HCO₃, y aumento de Na y Mg frente al Ca; y el punto 3827-8-0827 (5 en el diagrama) que muestra una agua bicarbonatada-clorurada con tendencia al aumento en la concentración de ión cloruro. El punto 318 (3 en el diagrama) corresponde a un agua de igual facies, representativo en este caso del pasillo de intrusión que une el Pont d'Inca con la línea de costa, y que se refleja claramente en los mapas de isocloruros. La evolución de este punto en los últimos años indica un claro aumento en la concentración de ión cloruro y de sodio frente al calcio. Finalmente, el punto 986 (6 en el diagrama) representa el sector NNO de Palma, en el límite occidental de la unidad, donde las aguas son de tipo mixto clorurado-sulfatado-bicarbonatado evolucionando progresivamente hacia el enriquecimiento en ión cloruro, pasando a aguas de tipo clorurado-sulfatado-bicarbonatado sódico.

6.9.5. Análisis de relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad del IGME y de la Junta d'Aigües controlados en 1.995 y 1.999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99	sep-95	sep-99
1396	0,733	0,563	0,456	0,486	0,155	0,052	0,129	0,091	23,166	30,955
1554	0,556	0,554	0,475	0,460	0,044	0,034	0,152	0,205	82,285	40,941
318	0,917	0,764	0,496	0,595	0,512	0,176	0,177	0,177	8,986	11,383
375	0,859	0,824	0,694	1,236	0,472	0,212	0,291	0,279	9,586	10,386
382780827	0,965	0,915	0,693	0,680	1,693	1,556	0,319	0,456	2,479	2,423
986	1,651	1,003	0,368	0,806	0,453	0,368	0,686	0,447	8,389	9,786
Agua de mar (2)	0,837		4,354		0,005		0,111		613,29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

El análisis de la relación rNa/rCl en 1.995 muestra que todos los puntos a excepción del 986 tienen valores similares a los del agua de mar, junto con un elevado contenido en cloruros, lo que indica que se trata de una zona afectada por la intrusión marina. La relación $rHCO_3/rCl$ indica claramente el proceso de contaminación con agua marina en las tres primeras muestras, y por tanto en los sectores del Pla de Sant Jordi y del pasillo que comunica la línea de costa con las explotaciones salinizadas del Pont d'Inca. La tendencia general en todas las muestras indica un aumento progresivo en la concentración de cloruros, excepto en el punto 1554 que presenta una notable mejoría.

6.9.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero.

Esta unidad, pese a presentar un balance global positivo con recarga superior a las extracciones, presenta una explotación importante y desigual lo que ha dado lugar a un descenso general de los niveles, existiendo en la actualidad varias zonas con piezometría por debajo del nivel del mar. Ello ha provocado un proceso de intrusión marina, fundamentalmente en el entorno del Pla de Sant Jordi y el sector del Pont d'Inca, con la consiguiente pérdida de la calidad del agua subterránea. Así, en el entorno del Pont d'Inca, donde se concentran las extracciones que se realizan en esta unidad para el abastecimiento a la ciudad de Palma, se registran concentraciones de ión cloruro que llegan a superar los 6.000 mg/L.

El acuífero del Llano de Palma presenta así aguas de calidad general baja, con altos contenidos en ión cloruro tanto en el sector agrícola del Pla de Sant Jordi como en el sector afectado por la explotación para abastecimiento del Pont d'Inca. Además, en la zona agrícola de Sant Jordi el problema se ve acrecentado por las importantes concentraciones de nitratos procedentes tanto de la utilización de abonos nitrogenados de forma abusiva del empleo, en los últimos años, de aguas residuales depuradas para el riego.

A medio plazo el proceso de intrusión generalizado en todo el sector del Pla de Sant Jordi parece haber experimentado un notable retroceso, con descensos que superan los 1.500 mg/L de forma puntual, como consecuencia de la reducción en las extracciones del acuífero al emplearse los caudales de aguas depuradas para el riego. No obstante, el pasillo que une el domo salino de las explotaciones del Pont d'Inca con la línea de costa presenta un aumento notable de la concentración salina, con aumento superiores a los 250 mg/L.

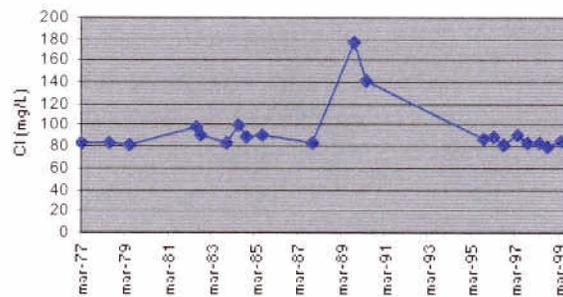
El análisis de las relaciones iónicas confirma la presencia de intrusión salina en los sectores del Pla de Sant Jordi y del Pont d'Inca, indicando también la mejoría en algunas zonas del Pla.

6.9.7. Evolución previsible y posibles actuaciones.

Las tendencias observadas en los mapas de evolución y en los diagramas de calidad hacen pensar que de mantenerse las actuales condiciones de explotación seguirá el avance de la intrusión salina en el corredor del Pont d'Inca, pudiendo extenderse ésta hacia sectores adyacentes.

El empleo de aguas residuales depuradas en el Pla de Sant Jordi parece frenar el proceso de intrusión en este sector, si bien la calidad de las aguas sigue viéndose afectada por el contenido en nitratos presente en el agua residual depurada y en los abonos empleados en esta zona eminentemente agrícola. En cualquier caso, esta mejoría puede ayudar a retener el avance de la intrusión desde el corredor del Pont d'Inca hacia el sector del Pla de Sant Jordi.

Evolución Cl. Punto 3827-8-0827



Las actuaciones necesarias para la mejoría de la situación actual incluyen la reducción de las extracciones en el sector del Pont d'Inca y la reubicación de nuevas captaciones en zonas más internas de la unidad (Santa Eugenia-Algaida), así como actuaciones conducentes a una reducción de la demanda o en su defecto suplir la misma con recursos alternativos (recarga, importación desde otras unidades, desaladoras, etc.).

6.10. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.16 MARINETA

6.10.1. Descripción hidrogeológica

La formación acuífera está constituida por materiales dolomíticos y calcáreos miocenos (calizas del Pont d'Inca, sólo saturadas cerca de la costa, y calizas arrecifales) cuya potencia media es de 150 m; y por calcarenitas eólicas del Cuaternario cuya potencia media es de 40 m. Los materiales dolomíticos y calcáreos del mioceno son permeables por fisuración, mientras que el acuífero pliocuaternario es permeable por porosidad, con algo de carstificación en las calcarenitas pliocenas. Todos los acuíferos son de régimen libre y están conectados entre sí. Sólo ocasionalmente los acuíferos miocenos pueden estar semiconfinados por margas del Plioceno inferior o del Mioceno superior. El zócalo impermeable lo constituyen generalmente las margas del Mioceno medio.

Los límites hidrogeológicos de ambas formaciones acuíferas están definidos por el mar al N, al NO existe una divisoria hidrogeológica que pasa a un umbral impermeable formado por las margas del Mioceno medio separa esta unidad del Llano de Sa Pobra; al SO el límite con la unidad de Sierras Centrales es impermeable por la presencia de margas del Mioceno medio; y al E el límite con la Sierra de Levante es en general impermeable, si bien podría existir conexión hidráulica a través de afloramientos liásicos (poco conocido).

El flujo subterráneo es perpendicular a la línea de costa, dirigiéndose desde el interior de la unidad hacia el mar. Las entradas de agua a la unidad proceden en su mayor parte de la infiltración del agua de lluvia caída directamente sobre los afloramientos permeables, y en menor medida de la infiltración del agua circulante de forma esporádica en los torrentes, de retornos de riego y aguas residuales y procedente del drenaje subterráneo de otras unidades (Betlem). La principal salida del sistema es por descarga directa al mar, y en menor medida por los bombeos, fundamentalmente de carácter agrícola.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, la transmisividad varía entre $> 30.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en la zona central y de 40 a $2.000 \text{ m}^2/\text{día}$ en las zonas de borde para el acuífero calcáreo mioceno (no se tienen datos del acuífero pliocuaternario). El coeficiente de almacenamiento oscila entre 0,3 para el acuífero detrítico y 0,005 para el acuífero semiconfinado. Los caudales específicos aportan valores de 0,1 a 5 L/s/m, sin que se hayan podido diferenciar a que acuífero corresponden estos valores.

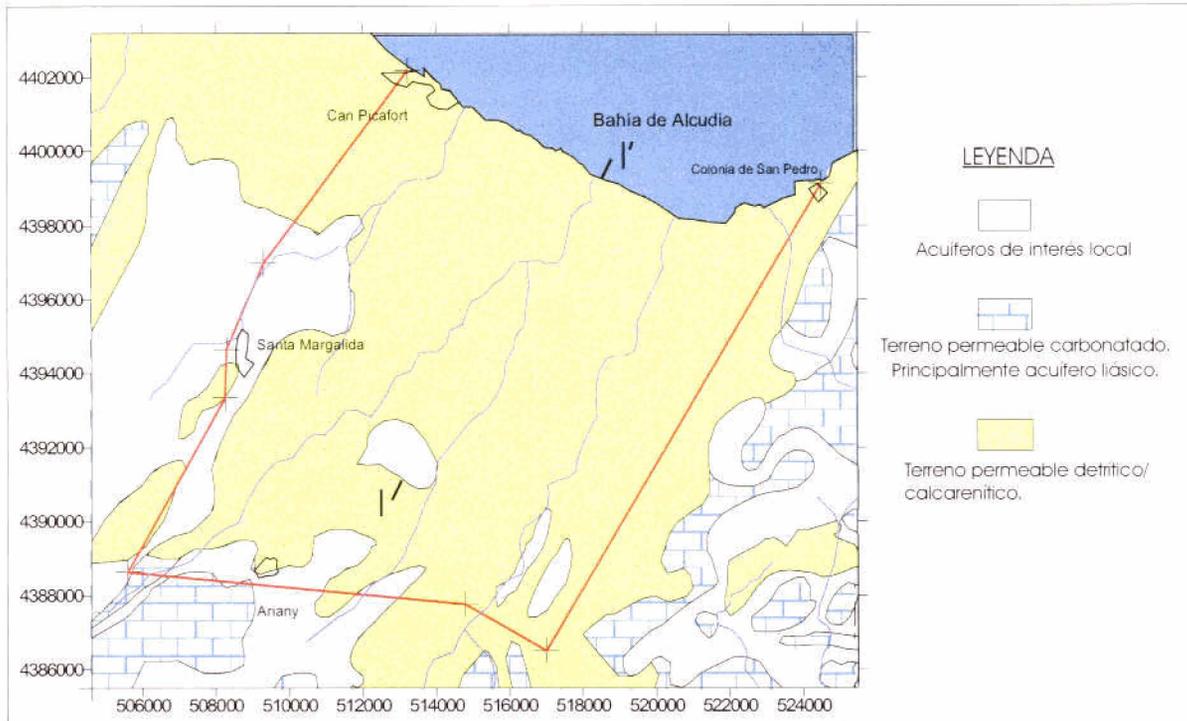


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.16 Marineta (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

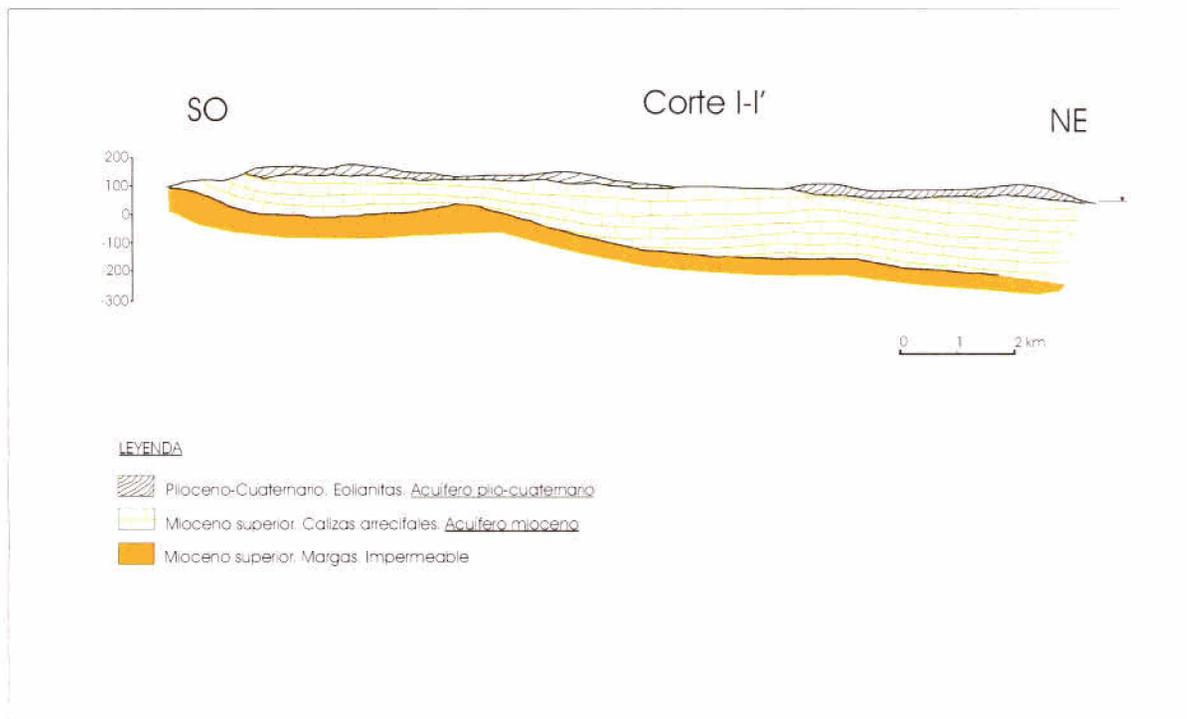


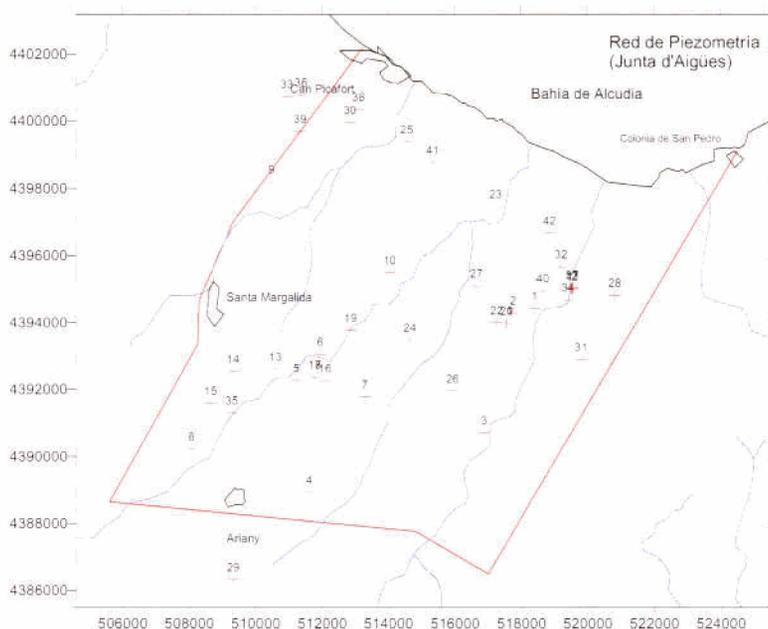
Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.16 Marineta (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

6.10.2. Análisis de la piezometría y su evolución

Los mapas de isopiezas que se presentan a continuación se han realizado a partir de los niveles obtenidos en los puntos de control piezométrico de la Junta d'Aigües de Balears, ya que el IGME carece de red de control piezométrico en esta unidad. Estos puntos, su situación y características se recogen en la siguiente tabla y mapa de situación.

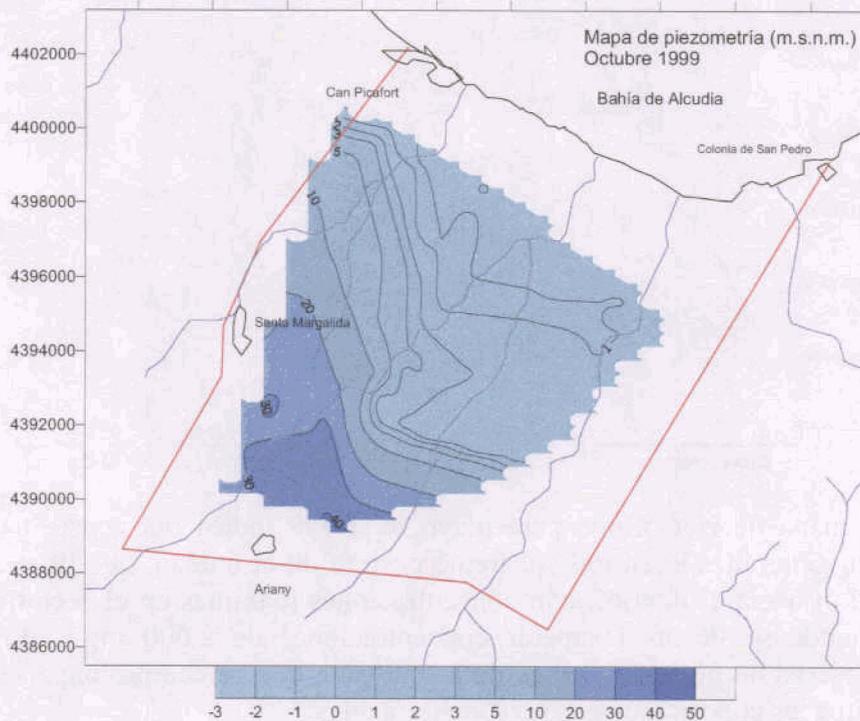
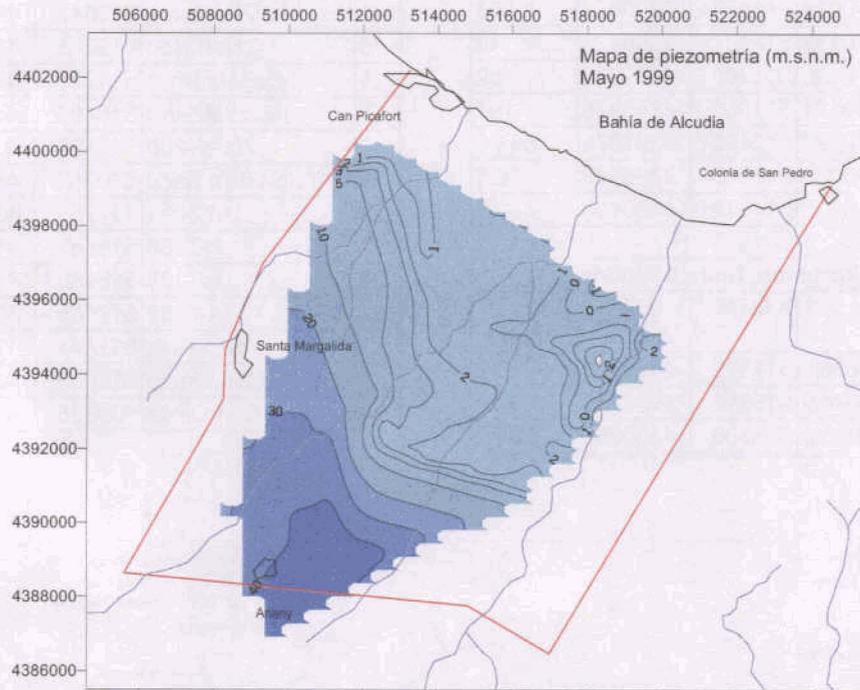
Red de piezometría Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	672-5-2	518410	4394440	62,66
2	672-5-4	517756	4394300	73,84
3	700-1-200	516887	4390717	25,70
4	AA-2	511606	4388920	82,30
5	Caseta Bosc	511228	4392260	60,00
6	Rotes Velles	511950	4393050	51,00
7	S-6	513291	4391780	84,94
8	S-7	508063	4390230	50,14
9	S-29	510480	4398190	66,10
10	Sa Teulada	514040	4395500	89,79
11	SM-1	519579	4395020	4,21
12	SM-1c	519510	4395015	4,06
13	SM-3	510595	4392605	58,32
14	SM-4	509330	4392533	67,55
15	SM-5	508649	4391587	68,40
16	SM-6	512087	4392260	61,17
17	SM-7 fi	511778	4392360	50,89
18	SM-7gruixat	511780	4392365	50,89
19	SM-8	512855	4393785	67,36
20	SM-9 fi	517565	4393995	72,18

21	SM-9 gruixat	517560	4393990	72,18
22	SM-9b	517258	4394003	72,18
23	SM-10	517240	4397460	6,91
24	SM-11	514650	4393480	82,37
25	SM-12	514564	4399375	30,83
26	SM-13	515930	4391955	86,64
27	SM-14	516656	4395090	48,00
28	SM-15	520815	4394820	74,81
29	Ca'n Oliver	509325	4386325	64,11
30	Ca'n Xigaló	512850	4399965	33,50
31	Cabanasses	519809	4392895	93,39
32	Hort Nou	519201	4395670	44,68
33	Hort Saco	510950	4400735	32,50
34	Mirallet	519407	4394680	15,68
35	Montblanc	509277	4391298	57,80
36	Santa Eulària	511375	4400790	27,19
37	Ses Pastores	519542	4395055	8,05
38	Son Bauló	513100	4400355	29,27
39	Son Puig	511341	4399700	37,00
40	Son Quint	518651	4394950	56,05
41	Son Real	515342	4398763	29,99
42	Son Serra	518855	4396670	41,93



El análisis del mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1.999 muestra como los niveles piezométricos son muy bajos en dos terceras partes de la unidad, con cotas inferiores a los 5 m.s.n.m. Se observa una depresión en el sector E de la unidad debido a la concentración de bombeos.

El mapa de isopiezas para octubre del mismo año no muestra variaciones significativas. Únicamente destaca la ausencia del cono de bombeo del sector sureste. Los niveles piezométricos permanecen en general sin grandes variaciones de tipo estacional.



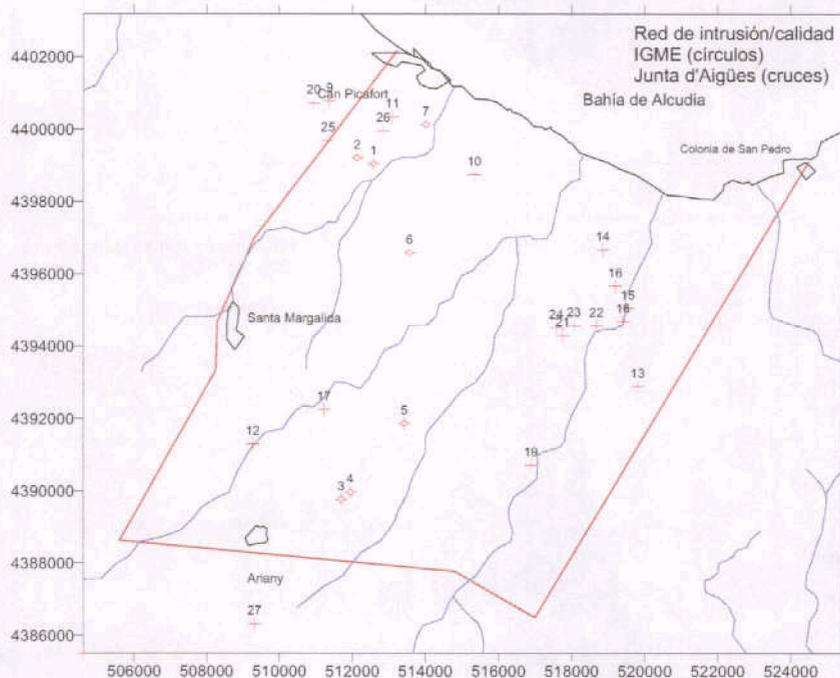
6.10.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Para el análisis de la intrusión salina se han tenido en cuenta los puntos de las redes de control tanto del IGME como de la Junta de Aigües de Balears, cuya situación y características se recogen a continuación.

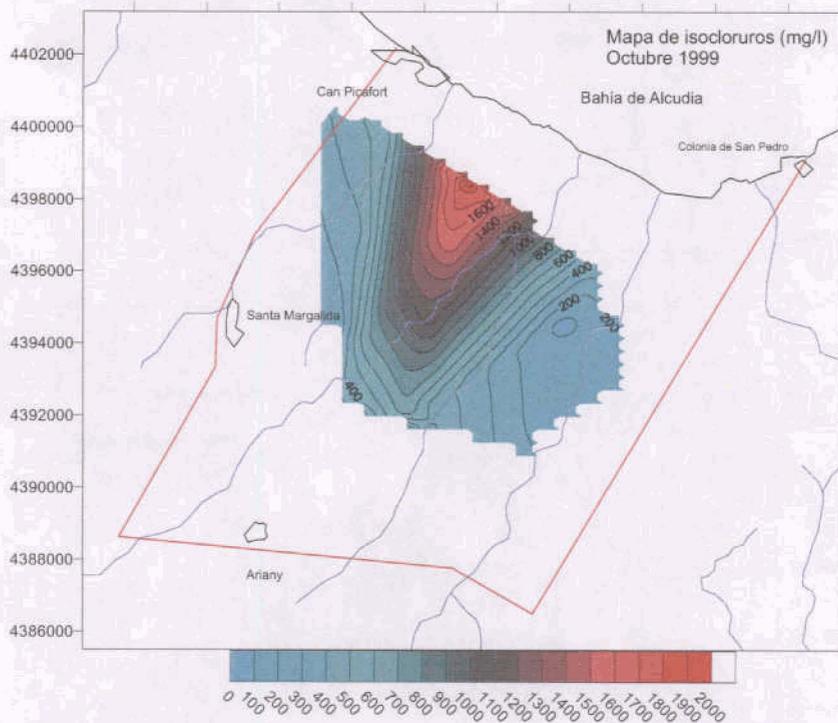
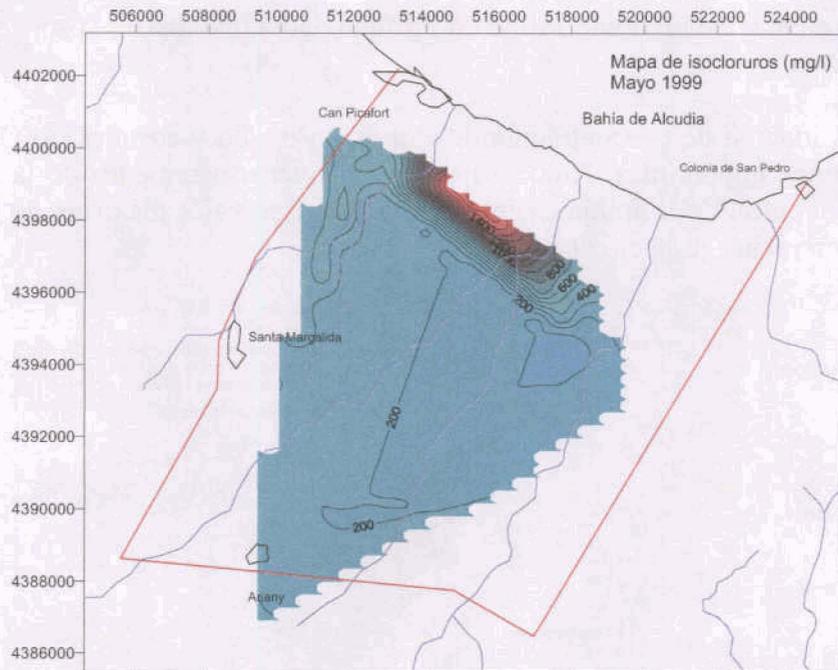
Red de intrusión IGME				
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	3926-8-0028	512585	4399063	36
2	3926-8-0132	512137	4399225	40
3	3927-4-0190	511700	4389775	102
4	3927-4-0191	511950	4389975	101
5	4026-5-0028	513425	4391875	85.39
6	4026-5-0035	513573	4396589	76.5
7	4026-5-0036	514012	4400138	29

Red de intrusión Junta d'Aigües				
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
8	Sta. Eulalia	511375	4400790	27.19
9	Son Real	515342	4398763	29.99
10	Son Bauló	513100	4400355	29.27

11	Montblanc	509277	4391298	57.80
12	Cabanasses	519809	4392895	93.39
13	Son Serra	518855	4396670	41.93
14	Ses Pastores	519542	4395055	8.05
15	S'Hort Nou	519201	4395670	44.68
16	Caseta Bosc	511228	4392260	60
17	Son Millaret	519407	4394680	15.68
18	700-1-200	516887	4390717	25.70
19	S'Hort de'n Saco	510950	4400735	32.50
20	672-5-4	517756	4394300	73.84
21	A-7186	518685	4394570	--
22	A-7187	518066	4394575	--
23	A-7188	517585	4394510	--
24	Son Puig	511341	4399700	37
25	Can Xigalo	512850	4399965	33.50
26	Can Oliver	509325	4386325	64.11



El análisis del mapa de isocloruros para mayo de 1.999 indica que existe un proceso de intrusión marina generalizado en todo el frente costero de la unidad, que llega a extenderse hasta más de 3 km hacia el interior, con concentraciones máximas en el sector central de la línea costera donde se llegan a superar concentraciones de 2.000 mg/L. En el margen occidental se observa un pequeño avance de la intrusión que parece prolongarse hacia Santa Margalida, aunque las concentraciones no son alarmantes.

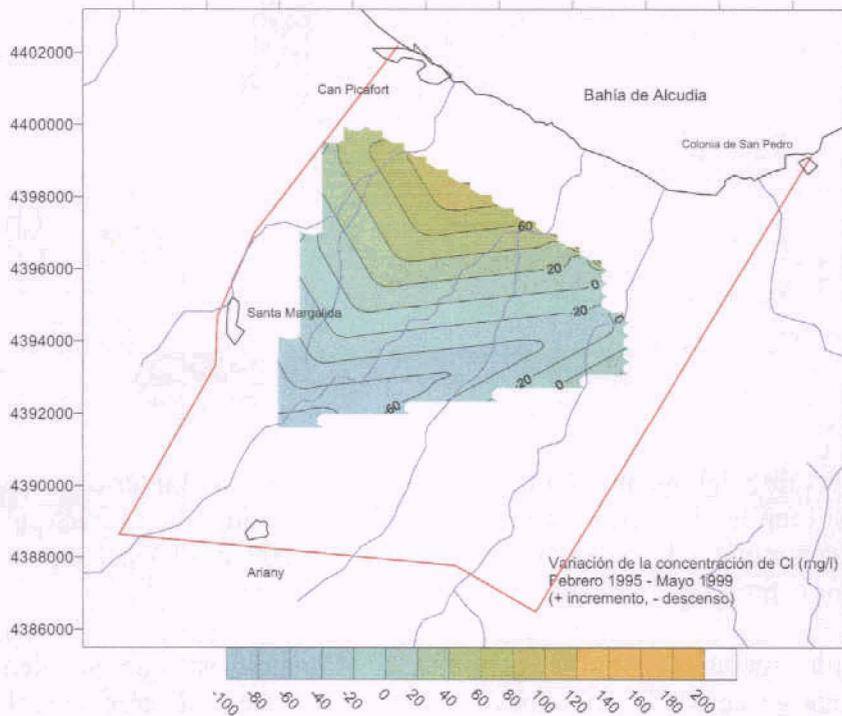
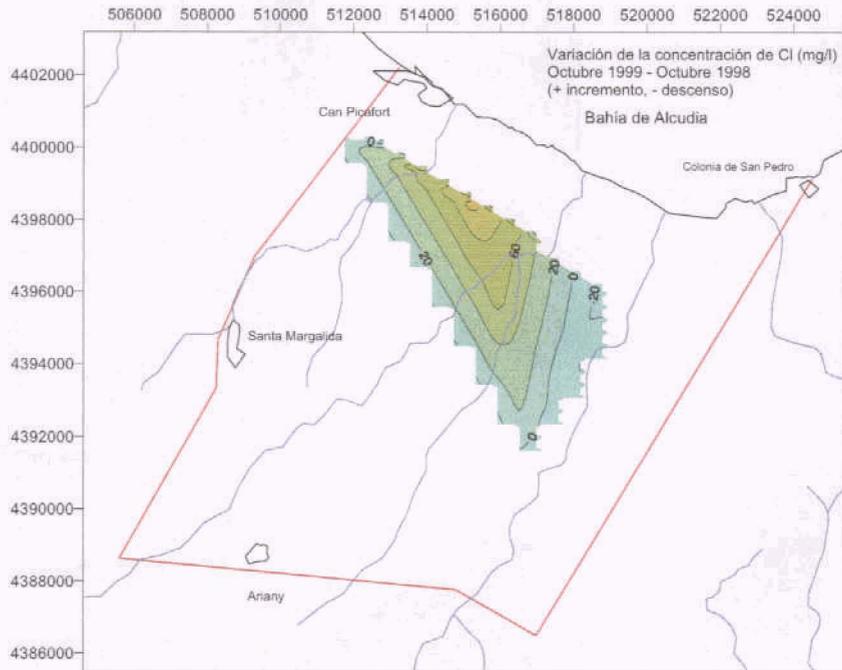


Para el mes de octubre del mismo año la intrusión avanza hacia el interior de la unidad por su sector central, si bien no existen puntos de control que permitan asegurar este hecho que se produce la concentración algo elevada (próxima a los 600 mg/L) del punto 4026-5-0028, único en el sector central de la unidad.

Especial mención merece el punto denominado Cabanasses, que si bien no presenta contenidos elevados en cloruros en ambas campañas ya que el muestreo se realizó durante un período de inactividad, durante el bombeo aumenta espectacularmente su concentración

denotando la presencia de un domo salino en profundidad a una distancia superior a los 5 km de la línea de costa.

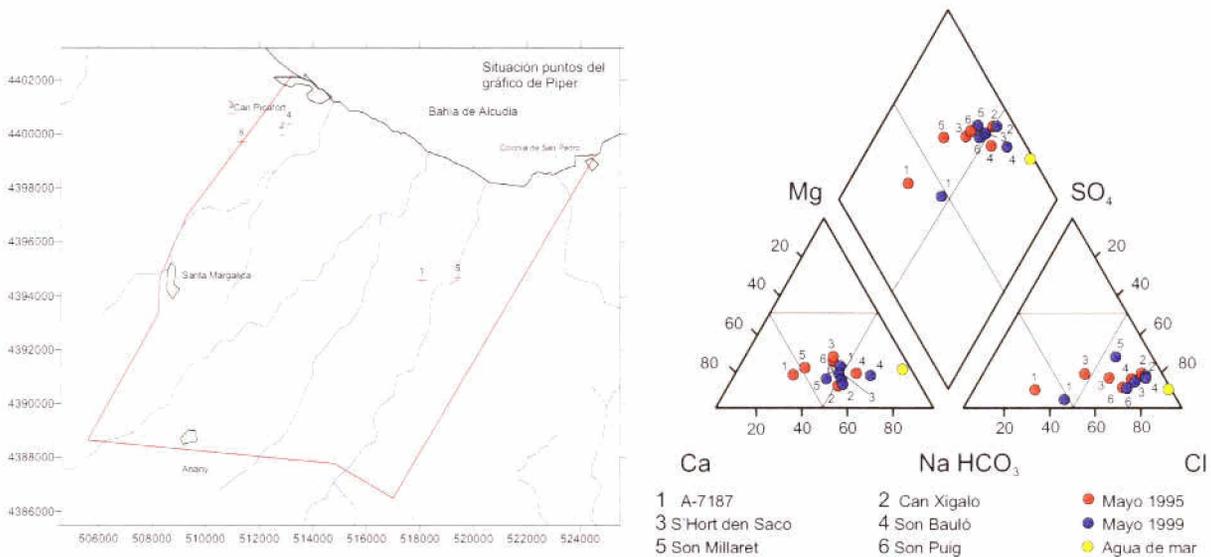
Los mapas de variación de concentración de cloruros a medio y corto plazo (1 y 5 años) no indican variaciones importantes. Ambos denotan un ligero incremento de la concentración que en el sector central de la franja de intrusión alcanza su valor máximo, no superando los 200 mg/L de incremento respecto al año 1.995.



6.10.4. Caracterización de facies hidroquímicas.

En el diagrama de Piper adjunto se han representado una selección de seis muestras representativas, por su facies y su evolución, del conjunto de la unidad hidrogeológica. La representación, para los años 1.995 y 1.996 muestra como las aguas son mayoritariamente cloruradas sódico-cálcicas a cloruradas sódicas, con la única excepción del punto A-7187 (1 en el diagrama de Piper) que corresponde a un agua bicarbonatada cálcica que evoluciona desde 1.995 a 1.999 a bicarbonatada clorurada sódico-cálcica.

La tendencia de todas las muestras es hacia un enriquecimiento progresivo en el contenido en ión cloruro y al aumento del sodio frente al calcio, indicando por lo tanto el avance de la intrusión marina durante estos años en todo el sector.



6.10.5. Análisis de relaciones iónicas

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las relaciones iónicas más significativas para los puntos de la red de calidad de la Junta d'Aigües de Balears controlados entre 1.995 y 1.999.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO3/rCl		rSO4/rCl		rCl	
	oct-98	may-99	oct-98	may-99	oct-98	may-99	oct-98	may-99	oct-98	may-99
A-7187	0.900	1.350	0.333	0.700	2.200	1.111	0.375	0.089	2	1.8
Can Xigalo	0.714	0.802	0.350	0.360	0.133	0.105	0.273	0.213	14.99	15.19
S'Hortde'n Saco	0.797	0.816	0.938	0.440	0.413	0.204	0.307	0.198	10.4	10.79
Son Bauló	0.797	0.816	0.938	0.440	0.413	0.204	0.307	0.198	18.8	16.4
Son Millaret	0.778	0.870	0.474	0.375	0.750	0.286	0.441	0.468	6.4	5.6
Son Puig	0.681	0.749	0.846	0.500	0.320	0.260	0.188	0.148	10	10
Agua de mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.29	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

Del análisis de la relación rNa/rCl en 1.995 se observa como la totalidad de los puntos presentan valores próximos a los del agua de mar, que evolucionan en 1.999 hacia valores aún más cercanos, con la única excepción del punto A-7187.

Para los valores de relación rSO_4/rCl y $rHCO_3/rCl$ se observan también una evolución progresiva hacia los valores del agua de mar, lo que indica claramente que se está produciendo una contaminación por entrada de agua de mar en el acuífero, si bien sólo el punto Can Xigalo presenta un valor de la relación $rCl/rHCO_3$ superior a 5 que lo aleja de la composición típica de las aguas continentales.

6.10.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

El acuífero de La Marineta presenta en la actualidad aguas de baja calidad en un sector paralelo a la línea de costa y que avanza más de 3 km hacia el interior. En esta zona las aguas son predominantemente cloruradas por el progresivo avance de la intrusión de agua de mar, la cual se va acentuando desde el año 1.995 hasta 1.999, donde se llegan a alcanzar concentraciones en ión cloruro muy próximas a los 2.000 mg/L en algunos puntos.

En el resto del acuífero no se aprecia el fenómeno de intrusión, si bien hay que resaltar que en algunos puntos medidos en condiciones estáticas (Cabanasses) la concentración en cloruros es inferior a los 200 mg/L, pero que en condiciones dinámicas generan domos salinos de alta concentración de cloruros, indicando que la cuña de intrusión salina progresa en su avance en profundidad en algunos sectores (margen oriental de la unidad) hasta más de 5 km de la línea de costa.

El análisis de las relaciones iónicas reafirma estas deducciones, observándose un enriquecimiento progresivo de las aguas en el contenido en cloruros procedentes de la mezcla con aguas salobres que proceden de la intrusión marina en la zona.

6.10.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La tendencia observada en la evolución de la concentración de cloruros en los últimos años hace pensar que de continuar con la explotación del acuífero en las actuales condiciones se producirá un progresivo avance del frente de intrusión salina hacia el interior de la unidad.

Sin embargo, la ausencia casi total de explotaciones en el sector central de la misma puede contribuir a que se mantenga una cierta situación de equilibrio en los próximos años, si se evitan o se controlan con rigor la ubicación de nuevas captaciones en la zona.

La presencia de domos de intrusión salina como el que se origina en el bombeo del punto Cabanasses indican la delicada situación de equilibrio de este acuífero. Para evitar que se produzcan domos de este tipo es necesario el control riguroso de los caudales de bombeo en estas zonas para evitar que la intrusión se convierta en un hecho generalizado que puede extenderse rápidamente a los sectores adyacentes.

6.11. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.17 ARTÁ

6.11.1. Descripción hidrogeológica

Ubicada al N de la Sierra de Levante, la formación acuífera está constituida por dolomías liásicas de potencia variable entre 100 y 200 m de espesor. El acuífero es de tipo cárstico y de régimen libre, si bien puede estar confinado por tramos dolomíticos sin carstificar. La base impermeable está formada por arcillas y yesos del Keuper, o por margas cretácicas sobre las que puede encontrarse cabalgando el conjunto liásico.

La unidad hidrogeológica limita al N y E con el mar; al S y O limita con las unidades de Marineta y Manacor, siendo ambos límites de carácter impermeable por la presencia de margas y margocalizas del Jurásico medio-superior y Cretácico inferior.

En cuanto al sentido del flujo subterráneo se desconoce en el sector Oeste de la unidad. En el sector oriental el flujo subterráneo sigue una dirección general NO-SE, existiendo inversiones locales debido a la presencia de bombeos para abastecimiento en las inmediaciones de Capdepera y Cala Ratjada. La principal salida al mar se produce por la Costa de los Pinos, ya que en el sector de Son Servera el acuífero está aislado del mar por una barrera impermeable.

La principal entrada de agua al sistema se produce por la infiltración del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, mientras que la descarga se produce principalmente por bombeos para el abastecimiento y la agricultura, y en menor medida por fuentes y descarga directa al mar.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, se registran transmisividades que oscilan entre los 10 y 300 m²/día, que puntualmente pueden alcanzar los 1.500 m²/día. Los caudales específicos fluctúan entre 0,11 y 2 L/s/m. No se tienen datos acerca del coeficiente de almacenamiento.

6.11.2. Análisis de la piezometría y su evolución

No existen redes de control piezométrico en la zona.

6.11.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

No existen redes de control de calidad/intrusión en la unidad.

6.11.4. Caracterización de facies hidroquímicas

Los escasos datos de que se dispone indican que en toda la unidad predominan las aguas de buena calidad, de facies bicarbonatada cálcica. Sólo ocasionalmente se presentan facies de tipo sulfatado cálcico relacionadas con la presencia de materiales arcillosos y yesíferos del Keuper. Las concentraciones de ión cloruro en el agua oscilan entre 70 y 200 mg/L, con conductividades de entre 800 y 2.500 μ S/cm.

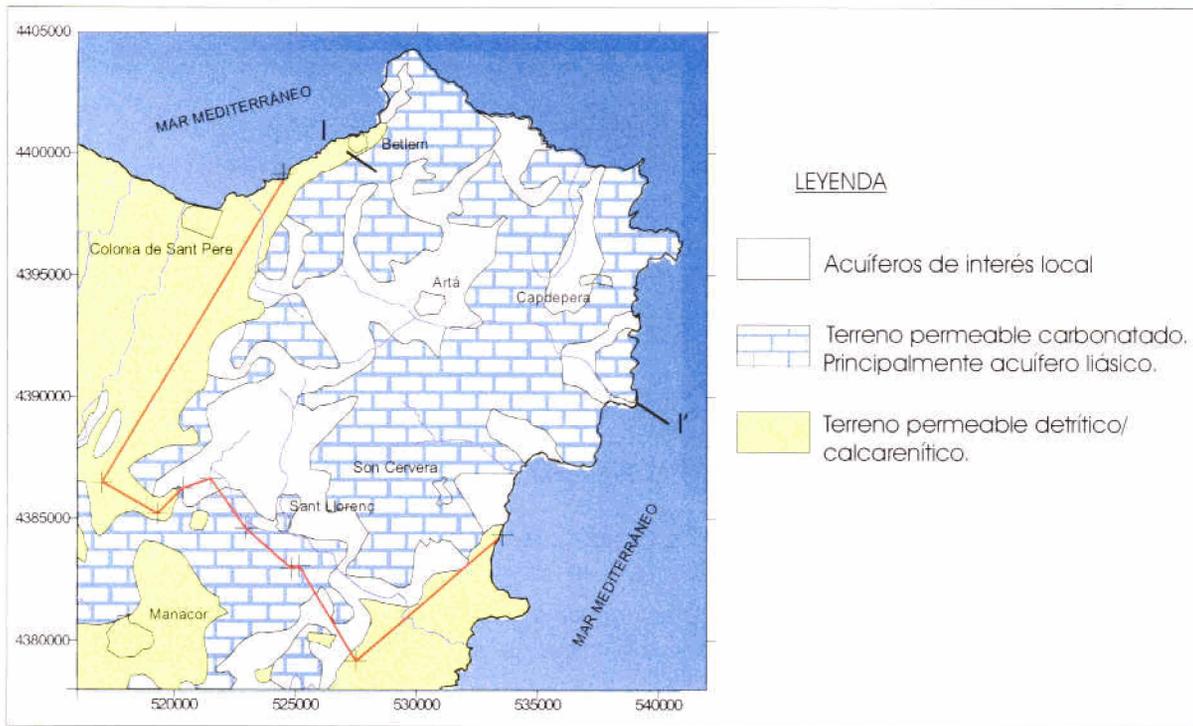


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.17 Artá (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

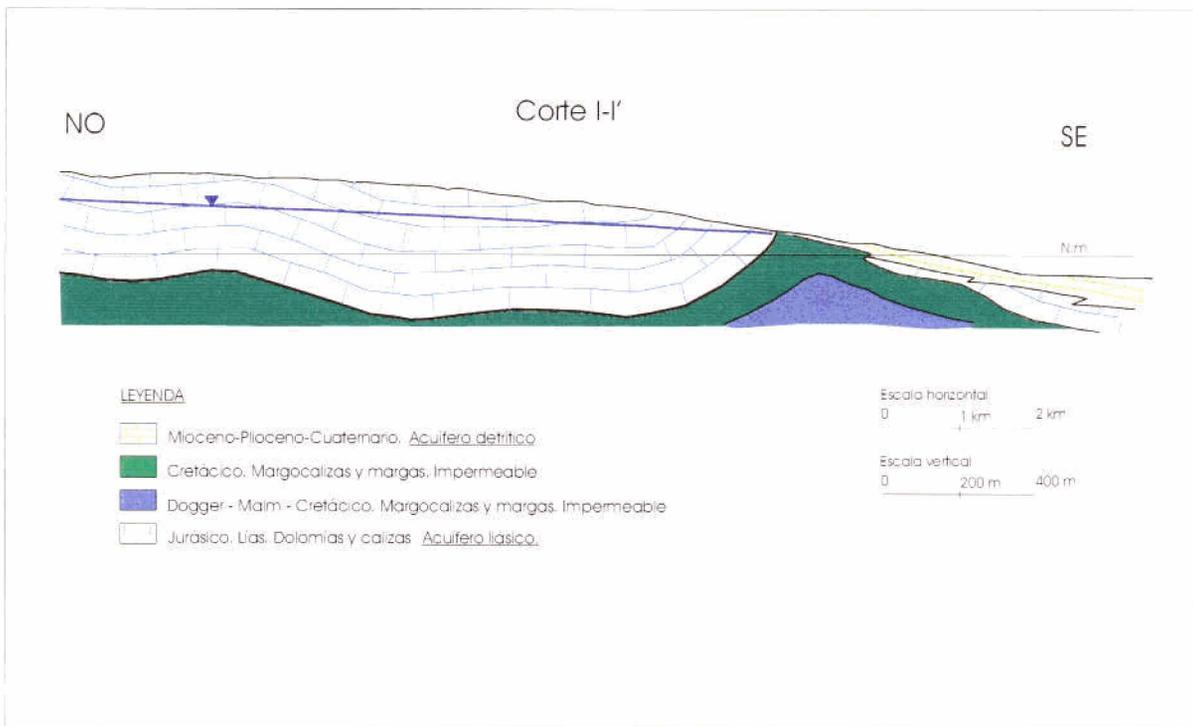


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.17 Artá

6.11.5. Diagnóstico del estado actual del acuífero

En general se trata de una unidad excedentaria sin problemas de intrusión marina.

6.11.6. Evolución previsible y posible actuaciones

En general, se trata de una unidad excedentaria sin problemas de intrusión marina. Los escasos datos de que se dispone indican que en toda la unidad predominan las aguas de buena calidad, sólo ocasionalmente alterada por la presencia de sulfatos relacionados con los materiales yesíferos del Keuper.

El porcentaje de explotación de esta unidad es elevado en las localidades costeras próximas a Capdepera. Es necesario un control riguroso de las explotaciones para evitar el riesgo de intrusión marina en este sector (costa oriental).

6.12. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.20 MARINA DE LLEVANT

6.12.1. Descripción hidrogeológica

Se encuentra ubicada en la franja costera oriental de la isla de Mallorca, y la formación acuífera está constituida por un conjunto de calcarenitas del Mioceno superior, cuya potencia media es de 70 m, y que dan lugar a un acuífero cárstico - detrítico de régimen libre y ocasionalmente conectado con las dolomías liásicas que forman las unidades limítrofes de San Lorenzo y Felanitx. El zócalo impermeable lo constituyen las margas jurásicas, margas y margocalizas cretácicas o las margas miocenas.

Los límites hidrogeológicos del acuífero mioceno son: al este el mar; al O y al N el límite es permeable, existiendo conexión con las dolomías que forman la Sierra de Levante (unidades hidrogeológicas de Artá, Manacor y Felanitx); y al S también permeable, existiendo conexión con la unidad hidrogeológica de Lluçmajor - Campos.

El flujo subterráneo es en general de Oeste a Este, perpendicular a la línea de costa y descargando finalmente en el mar. En algunas zonas, próximas a localidades costeras, como Porto Cristo, la piezometría llega a ser negativa, dando lugar a depresiones hidrogeológicas locales en las que se invierte el sentido general del flujo subterráneo. La entrada de agua al sistema se produce mayoritariamente por el agua de lluvia infiltrada directamente sobre los afloramientos permeables, y en menor cuantía por recarga procedente de las unidades hidrogeológicas limítrofes de San Lorenzo y Felanitx. Las salidas son mayoritariamente al mar, y en menor medida por bombeos.

Los parámetros hidrogeológicos de esta unidad arrojan valores de 500 m²/día para la transmisividad media, 3 % para el coeficiente de almacenamiento y caudales específicos medios de 5,5 L/s/m, con oscilaciones entre 0,5 y 15 L/s/m.

6.12.2. Análisis de la piezometría y su evolución

Los mapas de piezometría se han realizado a partir de los datos procedentes de la red de control piezométrica que posee la Junta d'Aigües de Balears, ya que el IGME carece de redes de control en la Marina de Llevant. La situación de los puntos de la red piezométrica y sus principales características se recogen a continuación.

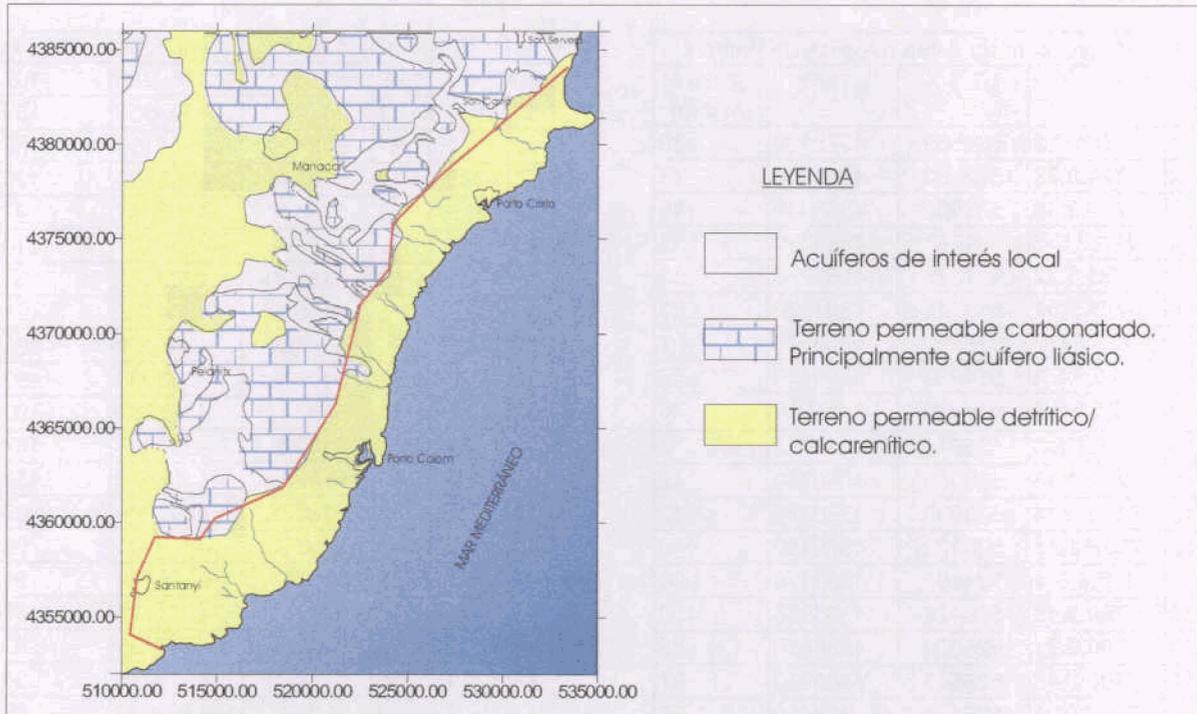


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.20 Marina de Llevant (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

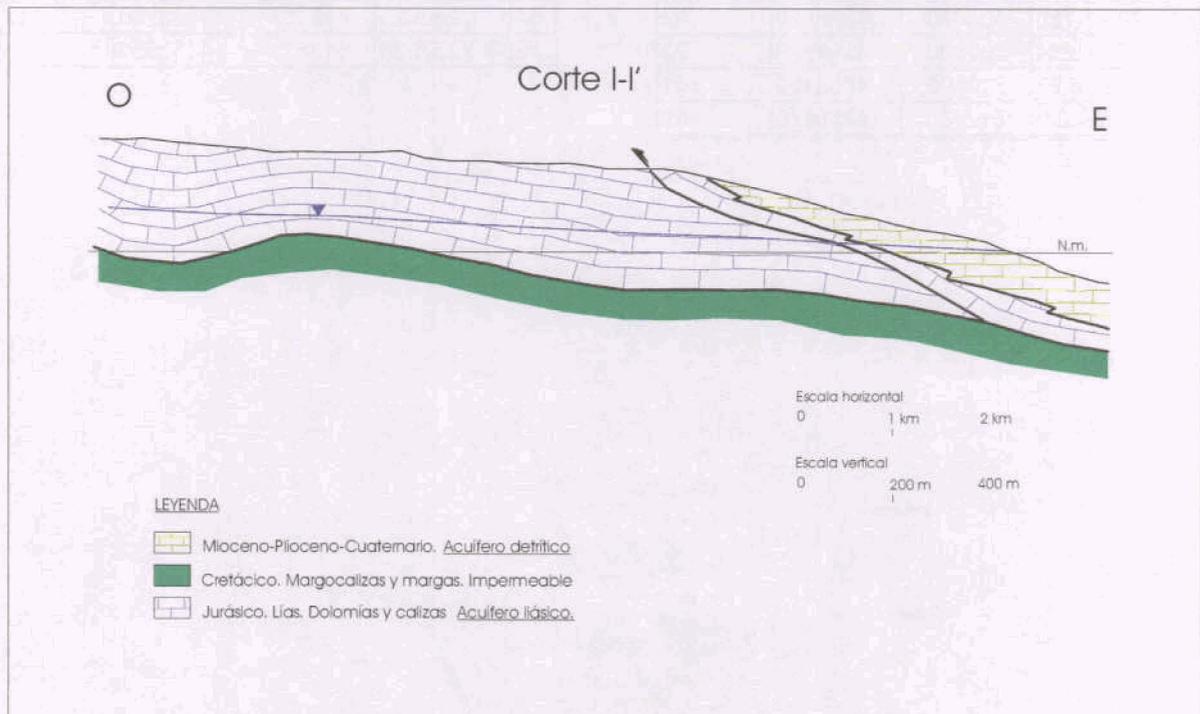
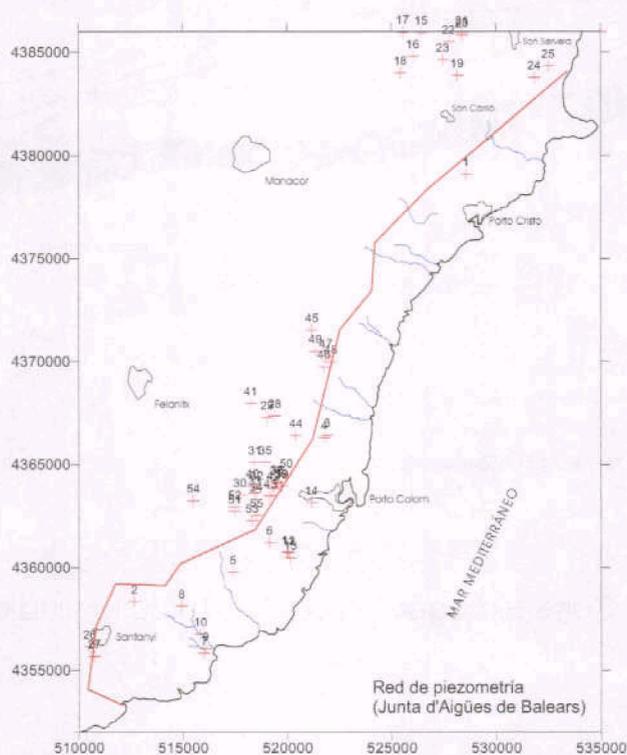


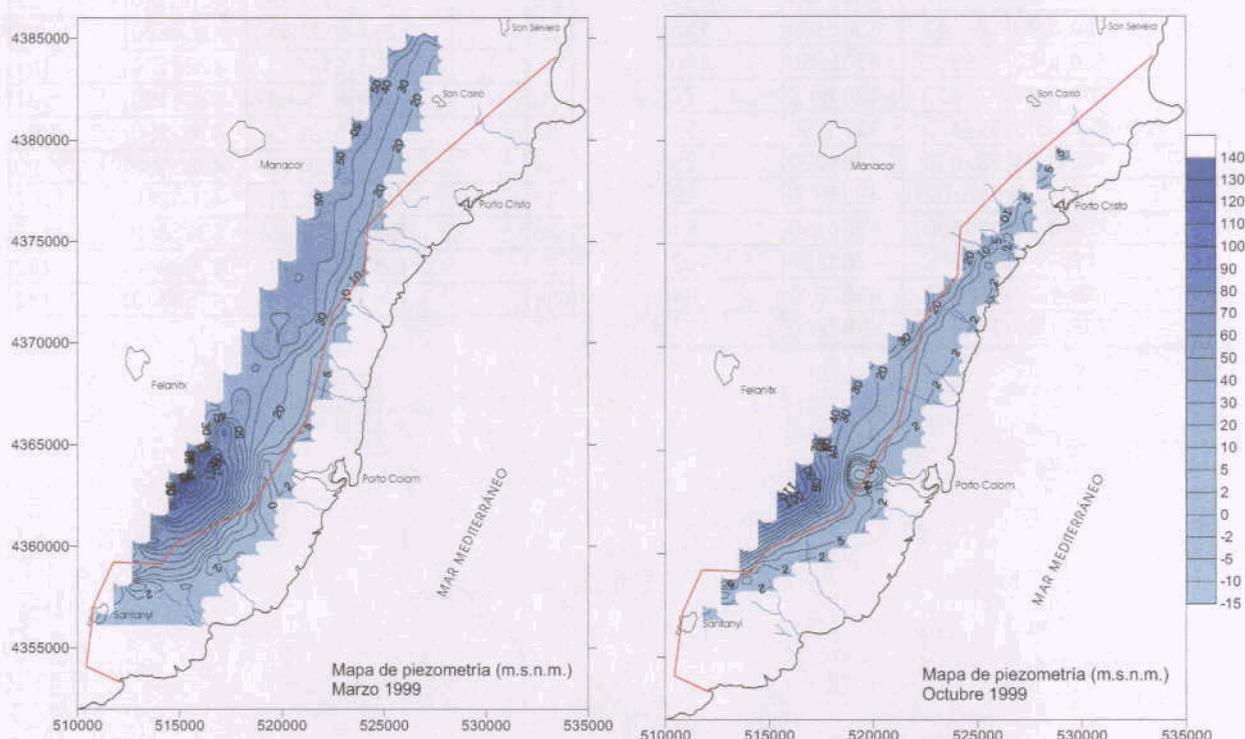
Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.20 Marina de Llevant

Red de piezometría Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	700.7.9	528560	4379100	39
2	724.8.28	512650	4358350	73
3	725.2.16	521906	4366440	48
4	725.2.S-5	521763	4366320	52
5	725.5.22	517375	4359775	56
6	725.5.52	519131	4361220	60
7	725.5.DP	515990	4355820	7
8	725.5.SA	514920	4358130	58
9	725.5.SB	516060	4356050	26
10	725.5.SC	515810	4356750	7
11	725.6.E13	520000	4360750	42
12	725.6.E14	520030	4360720	42
13	725.6.E15	520120	4360480	40
14	725.6.S-4	521155	4363170	38
15	700.2.19	526428	4385950	100
16	700.2.21	526024	4384810	85
17	700.2.48	525547	4385980	97
18	700.2.S-1	525425	438400	63
19	700.3.23	528143	4383880	135
20	700.3.51	528381	4385830	145
21	700.3.52	528381	4385950	140
22	700.3.6	527738	4385500	106
23	700.3.66	527452	4384640	77
24	700.3.75b	534470	4383550	32
25	700.3.84	532500	4384320	23
26	724.8.37	510500	4356150	51
27	724.8.6	510730	4355670	49

28	725.1.32	519382	4367370	98
29	725.1.49	519024	4367280	107
30	725.1.7	517726	4363550	129
31	725.1.E1	518429	4365110	162
32	725.1.E10	518535	4363880	135
33	725.1.E11	518417	4363640	142
34	725.1.E12	518488	4363330	130
35	725.1.E2	518929	4365110	138
36	725.1.E5	519512	4364170	101
37	725.1.E6	519464	4364120	101
38	725.1.E7	519679	4363980	90
39	725.1.E8	519727	4363980	90
40	725.1.E9	518321	4363980	167
41	725.1.S-1	518239	4367970	153
42	725.1.S-2	519322	4363880	95
43	725.1.S-3	519179	4363500	90
44	725.2.1	520405	4366420	95
45	725.2.12	521180	4371525	155
46	725.2.19	521763	4369750	83
47	725.2.6	521850	4370275	98
48	725.2.9	522073	4369990	88
49	725.2.9c	521334	4370490	128
50	725.2.E4	519941	4364480	98
51	725.5.15	517464	4362740	115
52	725.5.19	517464	4362950	109
53	725.5.20	518297	4362290	98
54	725.5.29	515487	4363260	140
55	725.5.30	518512	4362550	93



El mapa de piezometría para marzo de 1.999 muestra como las isopiezas de la unidad presenta valores muy próximos al nivel del mar, con cotas que no superan los 5 m.s.n.m. en prácticamente la totalidad de la unidad. Dado que existe conexión hidráulica entre el acuífero costero mioceno que forma esta unidad hidrogeológica y el acuífero liásico de las unidades adyacente, tal y quedó reflejado en el apartado anterior, se han considerado los valores piezométricos de varios puntos que, pese a encontrarse fuera de los límites de la unidad Marina de Llevant, forman parte de la red de control piezométrico de esta unidad. Estos puntos son los responsables de las cotas piezométricas más altas que se observan entre las localidades de Felanitx, Santanyí y Porto Colom.



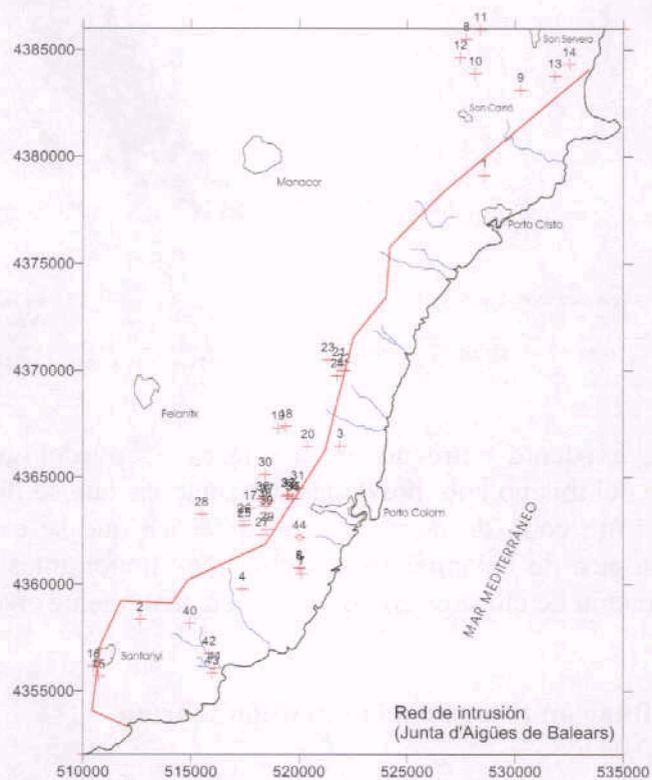
La conexión hidráulica existente entre ambos acuíferos se puede observar en el mapa piezométrico de octubre del mismo año, donde las extracciones que se llevan a cabo al oeste de Porto Colom inducen un cono de depresión piezométrica que se extiende dentro de la vecina unidad hidrogeológica de Felanitx. Este hecho tiene importantes repercusiones en la evolución de la concentración de cloruros como se verá en el siguiente apartado.

6.12.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

Los mapas de isocontenidos en cloruros se realizaron igualmente a partir de los puntos de la red de control de calidad pertenecientes a la Junta d'Aigües de Balears, que incluyen nuevamente puntos ubicados en las vecinas unidades hidrogeológicas de Felanitx, Manacor y Artá. Sus características y situación se recogen a continuación.

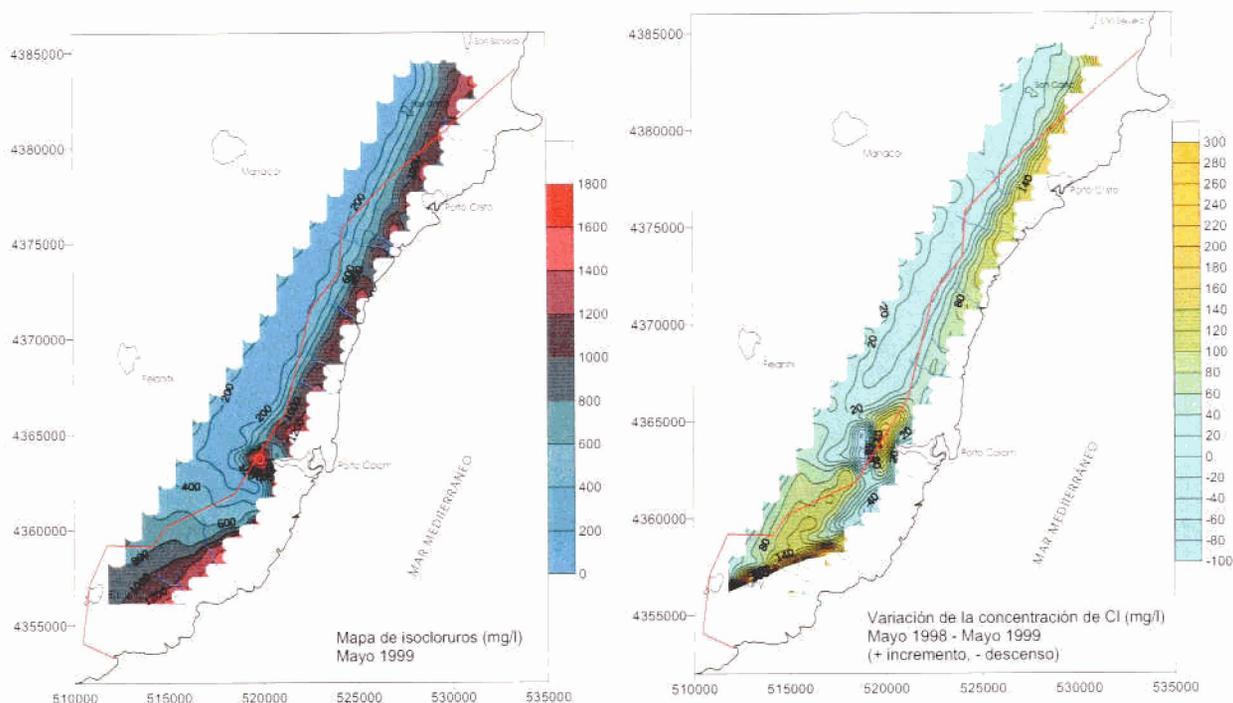
Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	700-7-9	528560	4379100	39
2	724-8-28	512650	4358350	73
3	725-2-16	521906	4366440	48
4	725-5-22	517375	4359775	56
5	E-13	520000	4360750	42
6	E-14	520030	4360720	42
7	E-15	520120	4360480	40
8	700-3-6	527738	4385500	106
9	700-3-23	528143	4383880	135
10	700-3-52	528381	4385950	140
11	700-3-66	527452	4384640	77
12	700-3-75 BIS	534470	4383550	32
13	700-3-84	532500	4384320	23
14	724-8-6	510730	4355670	49
15	724-8-37	510500	4356150	51
16	725-1-7	517726	4363550	129
17	725-1-32	519382	4367370	98
18	725-1-49	519024	4367280	107

19	725-2-1	520405	4366420	95
20	725-2-6	521850	4370275	98
21	725-2-9	522073	4369990	88
22	725-2-9C	521334	4370490	128
23	725-2-19	521763	4369750	83
24	725-5-15	517464	4362740	115
25	725-5-19	517464	4362950	109
26	725-5-20	518297	4362290	98
27	725-5-29	515487	4363260	140
28	725-5-30	518512	4362550	93
29	E-1	518429	4365110	162
30	E-4	519941	4364480	98
31	E-5	519512	4364170	101
32	E-6	519464	4364120	101
33	E-7	519679	4363980	90
34	E-8	519727	4363980	90
35	E-9	518321	4363980	167
36	E-10	518535	4363880	135
37	E-11	518417	4363640	142
38	E-12	518488	4363330	130



El mapa de isocloruros para el mes de mayo de 1.999 muestra un proceso de intrusión marina generalizado en casi toda la unidad. Este proceso se debe a la conexión directa del acuífero mioceno con el mar, y a la existencia de numerosas captaciones muy cerca de la línea de costa para el abastecimiento de localidades turísticas. Este hecho acentúa el proceso de intrusión en el entorno de las poblaciones más importantes, como Porto Cristo, Porto Colom y Santanyi. Al oeste de la localidad de Porto Colom se observa el desarrollo de un importante domo

salino que debido a la conexión hidráulica con el acuífero dolomítico de Felanitx invade parcialmente la unidad vecina. Estas extracciones corresponden a bombes de abastecimiento donde se superan ampliamente concentraciones de 2.000 mg/L de ión cloruro.

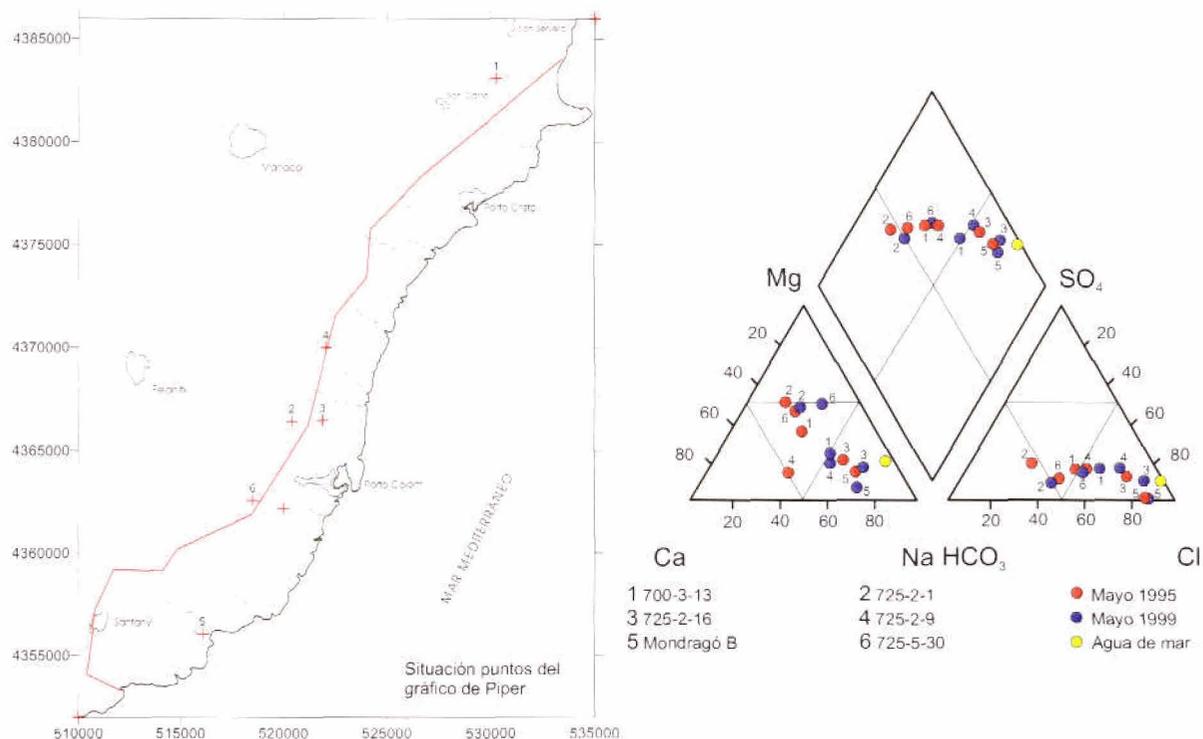


Al NE de la localidad de Santanyi, las extracciones llegan a generar depresiones en los niveles piezométricos por debajo de la cota cero. Este hecho a producido un avance de la intrusión marina en este sector, donde se llegan a superar concentraciones de 800 mg/L de ión cloruro.

El mapa de variación de la concentración de cloruros a corto plazo (1 año) indica un aumento generalizado en la concentración de este ión en casi toda la extensión de la Marina de Llevant. El aumento más acusado se registra en la zona de influencia del domo salino ubicado al oeste de la localidad de Porto Colom, y que afecta al acuífero dolomítico de la vecina unidad de Felanitx. El incremento en la concentración de cloruros en este sector supera los 300 mg/L en 1.999 con respecto al año anterior. Únicamente se registra una ligera mejoría en el sector comprendido entre Porto Colom y Santanyi, donde las isopiezas parecen indicar una recarga procedente del acuífero dolomítico de Felanitx que contribuye a frenar el proceso de intrusión generalizado en todo el resto de la unidad.

6.12.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado un total de 6 puntos representativos de la red de calidad de la Junta d'Aigües de Balears para los años 1.995 y 1.999. El punto 700-3-13 (1 en el diagrama de Piper) corresponde al sector más septentrional de la unidad. Se trata de un agua de facies clorurada-bicarbonatada cálcico-magnésico-sódica en 1.995 que evoluciona claramente hacia un agua netamente clorurada sódica, denotando un fuerte aumento del proceso de intrusión salina en este sector.



El punto 725-2-1 (2 en el diagrama) presenta una facies bicarbonatada magnésica en 1.995 que evoluciona mediante un incremento en la concentración de cloruros hacia una facies bicarbonatada-clorurada magnésica-sódica-cálcica. Este punto es representativo del sector central conectado con las dolomías del acuífero de Felanitx, el cual presentan una buena calidad en la zona pero que se ve afectado progresivamente por la intrusión del acuífero mioceno de la Marina de Llevant. Un proceso similar se observa en el punto 725-2-9 situado más al norte, el cual presenta una facies inicial para 1.995 clorurada-bicarbonatada cálcica que evoluciona rápidamente a netamente clorurada sódica, marcando el proceso de intrusión que se extiende hacia la vecina unidad de Felanitx.

El punto 725-2-16 ubicado al norte de la localidad de Porto Colom presenta ya desde 1.995 una facies clorurada sódica, que hacia 1.999 se enriquece en el contenido de ión cloruro y sodio, claramente afectado por una mezcla de aguas continentales y marinas.

El punto Mondragó B, representativo del sector sur de la unidad, al E de la localidad de Santanyí, presenta una facies clorurada sódica típica de un proceso avanzado de intrusión salina por agua de mar. La evolución temporal muestra un progreso aumento de la concentración de ambos elementos mayoritarios (Na y Cl).

Finalmente, el punto 725-5-30 (6 en el diagrama) presenta inicialmente (en 1.995) una facies bicarbonatada-clorurada magnésica. Este punto presenta la influencia de la recarga procedente del acuífero dolomítico de la vecina unidad de Felanitx. Su evolución temporal muestra un paso a facies netamente clorurada magnésica en 1.999, reflejando el aumento generalizado de la concentración de cloruros en todo el acuífero mioceno de la Marina de Llevant.

6.12.5. Análisis de las relaciones iónicas

En la tabla adjunta se recogen los valores de las relaciones iónicas de los puntos anteriormente seleccionados como representativos de la unidad.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO ₃ /rCl		rSO ₄ /rCl		rCl	
	oct-95	may-99	oct-95	may-99	oct-95	may-99	oct-95	may-99	oct-95	may-99
700-3-13	0.932	0.979	0.698	0.432	0.083	0.106	0.307	0.236	28.790	33.990
725-2-1	0.682	0.725	1.628	1.893	1.732	1.125	0.625	0.200	2.800	3.200
725-2-16	0.758	0.847	0.999	1.110	0.194	0.091	0.154	0.123	24.790	34.990
725-2-9	0.769	0.927	0.293	0.697	0.542	0.231	0.279	0.244	4.800	5.200
Mondragó B	0.814	0.812	0.765	0.280	0.132	0.129	0.013	0.002	45.990	50.980
725-5-30	0.695	0.833	1.574	2.944	0.950	0.611	0.253	0.269	4.000	3.600
Agua de mar (2)	0.837		4.354		0.005		0.111		613.290	

(1) r=meq/l; (2) Agua de mar en Barcelona según Custodio, 1970

En esta relación se observa como la totalidad de los puntos presenta valores de la relación rNa/rCl muy próximos al agua de mar. En cuanto al contenido rCl destacan tres puntos (700-3-13, 725-2-16, y Mondragó B) representativos de los sectores Norte, centro y Sur de la unidad. Todos ellos muestran un progresivo enriquecimiento en la concentración de ión cloruro, y valores muy bajos en la relación rHCO₃/rCl (< 0,2) que indican claramente la mezcla de aguas continentales con aguas de procedencia marina, confirmando de esta manera el proceso de intrusión generalizado en toda la unidad.

Finalmente, la relación rSO₄/rCl indica en todos los casos una evolución progresiva hacia valores cada vez más próximos a los que presenta el agua de mar.

6.12.6. Diagnóstico del estado actual del acuíferos

La Marina de Llevant constituye un único acuífero formado por calcarenitas miocenas que poseen una alta permeabilidad y se encuentran directamente conectadas con el mar. Los bombeos existentes en esta unidad se concentran en áreas relativamente pequeñas, y excesivamente cercanas a la línea de costa. Todo este conjunto de factores ha producido en los últimos años una progresiva salinización del acuífero mioceno, más acusada en los sectores cercanos a núcleos de población importantes, donde la concentración de ión cloruro en las aguas subterráneas supera los 2.000 mg/L.

Por otro lado, la conexión hidráulica existente en determinados sectores con el acuífero dolomítico de la vecina unidad de Felanitx está determinando que en algunos lugares el proceso de salinización comience a extenderse a esta unidad, tal y como empieza a producirse al oeste de la localidad de Porto Colom.

El análisis de las facies hidroquímicas y de las principales relaciones iónicas confirman el proceso general de avance de la intrusión marina en las aguas del acuífero mioceno, y en las zonas de borde de la unidad, en su tránsito al acuífero dolomítico de la unidad de Felanitx.

6.12.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

La tendencia observada en los últimos años pone de manifiesto el progresivo avance de la intrusión, debido a las características del acuífero mioceno y a la concentración de bombeos para el abastecimiento de las poblaciones turísticas. Los bombeos intensos que se localizan al oeste de la localidad de Porto Colom son un claro ejemplo de este proceso, cuya solución pasa por la redistribución de las captaciones existentes hacia el vecino acuífero dolomítico.

Para que el proceso de intrusión no se prolongue dentro de las unidades vecinas es necesario caracterizar mediante estudios hidrogeológicos específicos el tipo de límite que separa ambas unidades, con el objeto de reubicar las captaciones para el abastecimiento en las unidades hidrogeológicas adyacentes, en zonas donde no exista conexión hidráulica entre el acuífero mioceno de la Marina de Llevant y el dolomítico de Felanitx, Manacor y/o Artá. Adicionalmente se deben reducir las extracciones actuales mediante planes de ahorro conducentes a reducir la demanda, y el uso de aguas residuales depuradas para el riego de parques, jardines y campos de golf.

6.13. UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.21 LLUCMAJOR - CAMPOS

6.13.1. Descripción hidrogeológica

Ubicada en el extremo meridional de la isla de Mallorca, las formaciones acuíferas que se pueden reconocer presentan variaciones espaciales que se pueden resumir en la siguiente distribución: en la Plataforma de Lluçmajor se trata de calizas y calcarenitas arrecifales messinienses - tortonienses (Mioceno), con una potencia de 120 m. Constituyen un acuífero de carácter libre, con permeabilidad por fisuración, mayor a techo de las calizas arrecifales, aunque esa parte superior no siempre está saturada. En la zona del Llano de Campos, la formación acuífera está constituida por calizas y calcarenitas iguales a las descritas anteriormente, conectadas con las calizas del Complejo Carbonatado superior messiniense cuya potencia varía entre 60 y 110 m, y sobre ambas limos rojos, niveles de lumaquelas y dunas del Cuaternario de un máximo de 10 m de espesor. Las calizas y calcarenitas miocenas, tanto del Messiniense - Tortoniense como del Complejo Carbonatado Superior, se encuentran conectadas hidráulicamente, y sólo en parte de la extensión del Llano de Campos se encuentra conectado con ambas el Cuaternario detrítico. Finalmente, la zona Porreres - Felanitx presenta una formación acuífera constituida por los materiales messinienses (no saturados), con una potencia media en la zona de 50 m, y las calcarenitas para-arrecifales de Son Talent, del Mioceno medio (Langhiense - Serravaliense) con 60 m de potencia. En este caso el acuífero está confinado, con permeabilidad por fisuración. El sustrato impermeable lo constituyen las margas de Pina (Serravaliense - Langhiense) o los limos de Manacor y las margas con *Heterostegina* del Tortoniense.

Los límites hidrogeológicos con el Llano de Palma (al oeste) y con la Marina de Llevant (al este) son permeables y están constituidos por divisorias hidrogeológicas. El límite con la unidad de Felanitx (al NE) es un umbral que puede contribuir a la recarga de la unidad, y el resto de límites son impermeables, formados por materiales del Mioceno inferior, Paleógeno y basamento mesozoico.

El flujo subterráneo es perpendicular a la línea de costa, con sentido hacia el mar, si bien en la zona de Campos se pueden producir depresiones hidrogeológicas debidas al intenso bombeo que se realiza en esta zona durante los meses de verano. En la zona de Felanitx - Porreres se observa un aumento brusco del gradiente debido a la presencia de un umbral margoso que limita parcialmente esta zona con respecto al llano de Campos. Las entradas al sistema se producen principalmente por infiltración del agua de lluvia caída directamente sobre los afloramientos permeables, y en menor medida por retornos de riego y pérdidas en conducciones. La descarga principal se produce por las extracciones para uso agrícola, y en menor cuantía por la pérdida directa al mar y por bombeos para el abastecimiento urbano.

En cuanto a los parámetros hidráulicos, la zona de Campos - Ses Salines presenta transmisividades que superan los 20.000 m²/día, y coeficientes de almacenamiento de 0,2. En Lluçmajor y la franja más próxima a la Sierra de Levante (borde oriental) la transmisividad nunca supera los 1.000 m²/día y el coeficiente de almacenamiento (para las calcarenitas) es de 0,03. Los caudales específicos medios son de 10 a más de 20 L/s/m para la zona Campos - Ses Salines, y menores de 1 L/s/m para Lluçmajor y el borde oriental de la unidad.

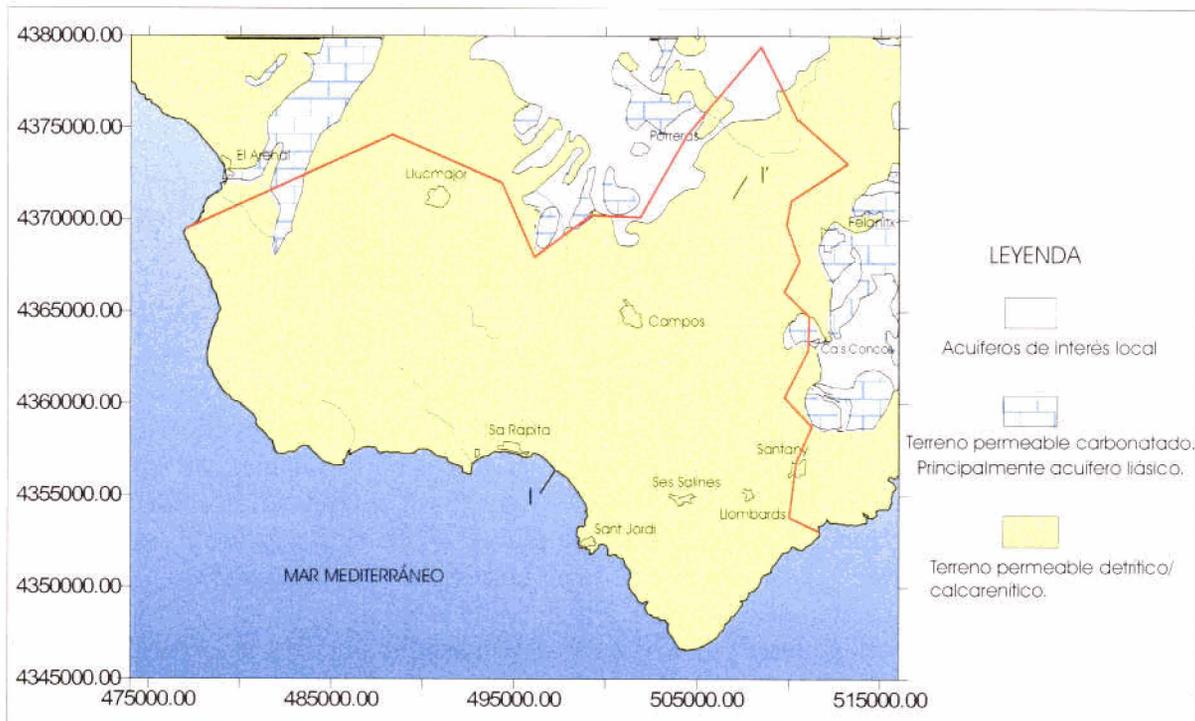


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.21 Lluçmajor-Campos (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

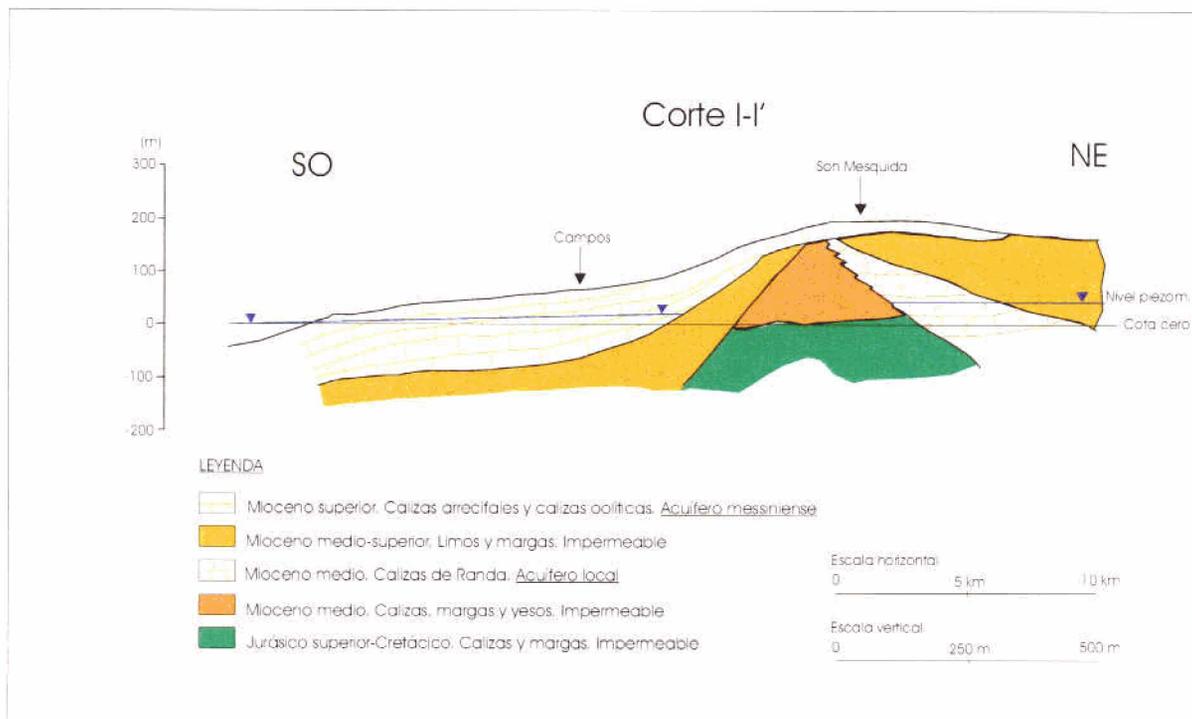


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.21 Lluçmajor-Campos (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

6.13.2. Análisis de la piezometría y su evolución

Los mapas de piezometría que se presentan a continuación han sido elaborados con los datos procedentes de las redes del IGME y de la Junta d'Aigües de Balears, cuyas características se recogen en la tabla siguiente, y su situación en los mapas adjuntos.

Red de piezometría IGME					
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
1	3928-3-0013	499820	4363839	33.75	35
2	3928-3-0161	500534	4365626	40.26	42.6
3	3928-3-0181	504643	4365559	24.65	24
4	3928-3-0188	504427	4369694	90	282
5	3928-4-0027	508740	4369539	74.13	47
6	3928-4-0032	511577	4370574	84.69	76.8
7	3928-4-0043	507529	4370241	83.97	162
8	3928-4-0045	507001	4370556	86.86	154
9	3928-4-0046	506836	4371371	87.83	166
10	3928-4-0051	506148	4368562	69.46	87
11	3928-6-0109	497195	4358281	8.06	8
12	3928-6-0110	495892	4357223	8.37	8.5
13	3928-6-0111	494855	4360661	35.74	38
14	3928-7-0125	503481	4363118	18.45	18.95
15	3928-7-0166	503977	4354754	41.13	41.5
16	3928-7-0236	500482	4355108	6.7	7.14
17	3928-7-0430	501560	4357575	2.37	12.65
18	3928-7-0544	499643	4359537	7.3	7
19	3928-7-0572	498652	4357101	21.73	--

Red de piezometría Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	723-4-4	478380	4369690	66.58
2	723-4-5	480280	4372220	59
3	723-4-6	479550	4372570	33.4
4	723-4-21	478065	4367920	92.82
5	723-8-2	484850	4357890	66
6	723-8-5	479510	4362940	115.82
7	724-1-2	488660	4370750	127.96
8	724-3-4	501869	4365410	27.05
9	724-3-6	499850	4363900	33.95
10	724-3-8	501495	4363610	23
11	724-3-9	500578	4365790	40.26
12	724-5-3	487755	4360070	72
13	724-6-5	495900	4357300	8.37
14	724-6-7	497300	4358400	8.06
15	724-6-9	494908	4360840	35.74
16	724-7-1	503635	4363240	18.45
17	724-7-2	503210	4359975	18
18	724-7-3	501592	4357770	2.37
19	724-7-4	503830	4355020	41.36
20	724-7-5	500750	4355600	6.95
21	724-7-6	499770	4359660	7.3
22	724-7-8	504689	4362050	21.72

23	724-7-9	502280	4356870	11.18
24	724-7-10	501317	4356260	2
25	724-7-11	505504	4361830	28.7
26	724-7-12	500250	4359210	4.77
27	724-7-15	500663	4358800	3.19
28	724-7-16	501595	4358348	2.84
29	724-8-1	505776	4361100	43.84
30	724-8-4	509578	4357935	54.07
31	748-3-1	502930	4353780	7.45
32	748-3-2	500570	4352550	1.92
33	S-1	488185	4364025	89
34	S-2	500770	4359652	6.25
35	S-14a	496604	4367157	82.55
36	S-14p	496600	4367160	82.55
37	699-8-17	506000	4375890	118.13
38	699-8-23	508975	4374950	82.24
39	699-8-29	510400	4372970	71.65
40	699-8-42	505875	4373500	104.83
41	699-8-48	510135	4375200	72.85
42	699-8-62	507100	4375900	121
43	699-8-68	511375	4375125	67.76
44	699-8-106	505110	4374950	133.07
45	699-8-201	509102	4374167	78.52
46	724-3-5	502400	4367830	42.44
47	724-3-10	502110	4369950	111.44
48	724-3-15	503195	4367090	36.59

Al norte de la localidad de Campos los niveles piezométricos toman un gradiente más acusado, con cotas que oscilan entre los 10 y los 40 m.s.n.m. mayoritariamente. Este hecho pone de manifiesto la presencia de un umbral margoso que separa todo el sector de Felanitx-Porreres del Llano de Campos.

La comparación de niveles con el mes de octubre de 1.999 muestra como las oscilaciones estacionales son muy pequeñas, inferiores a 1 m, por lo que los cambios no son significativos.

6.13.3. Análisis de la situación respecto a la intrusión marina

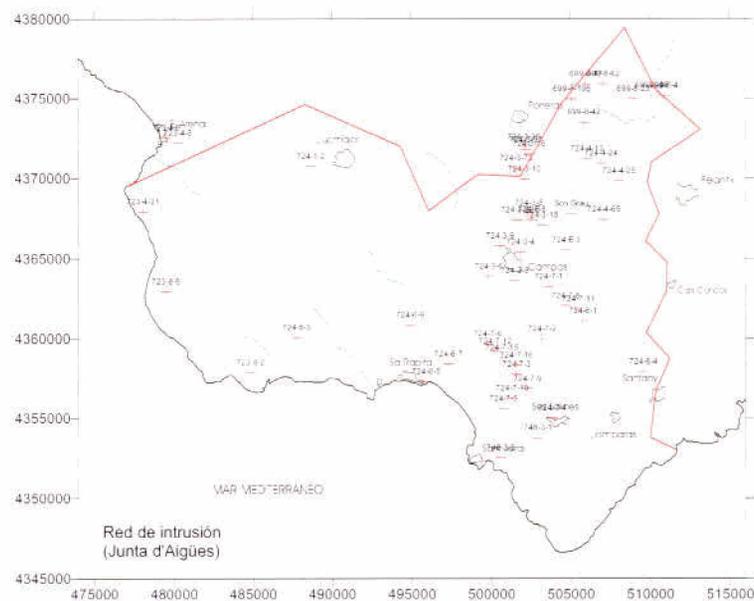
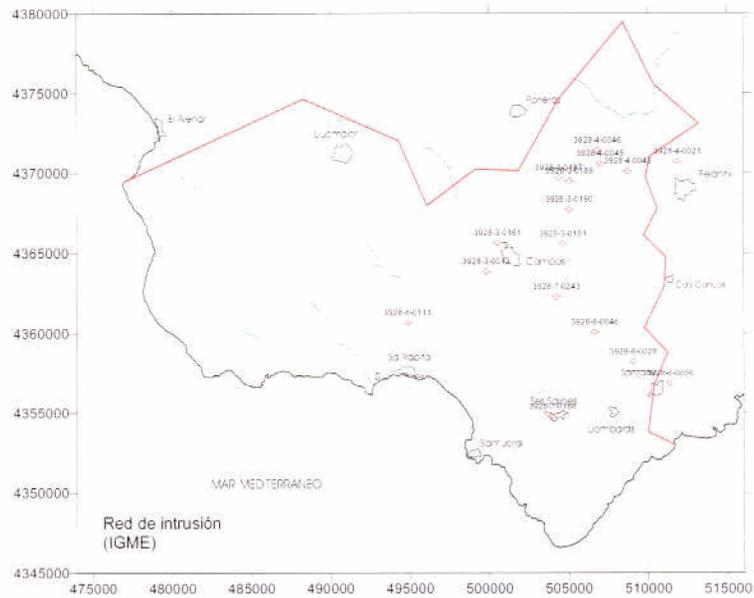
Para la elaboración de los mapas de isocloruros se han empleado los datos procedentes de las redes de calidad/intrusión del IGME y de la Junta d'Aigües de Balears, obteniéndose una gran densidad de puntos de observación que permiten una gran fidelidad en los mapas elaborados. Las características y situación de los puntos de ambas redes se pueden ver en las tablas y mapas adjuntos.

Red de intrusión IGME					
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)	Profundidad (m)
1	3928-3-0013	499820	4363839	33.75	35
2	3928-3-0161	500534	4365626	40.26	42.6
3	3928-3-0181	504643	4365559	24.65	24
4	3928-3-0187	504396	4369676	90	250
5	3928-3-0189	505080	4369463	87	195
6	3928-3-0190	505048	4367700	70	197
7	3928-4-0021	511857	4370684	82	60
8	3928-4-0042	508742	4370101	74	70
9	3928-4-0045	507001	4370556	86.86	154
10	3928-6-0111	494855	4360661	35.74	38
11	3928-7-0243	504234	4362252	22	23.54
12	3928-8-0028	509051	4358185	60	70
13	3928-8-0046	506642	4360049	85	96
14	3928-8-0056	511356	4356834	53.66	62

Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	723-4-5	480280	4372220	59
2	723-4-6	479550	4372570	33.4
3	723-4-21	478065	4367920	92.82
4	723-8-2	484850	4357890	66
5	723-8-5	479510	4362940	115.82
6	724-1-2	488660	4370750	127.96
7	724-3-4	501869	4365410	27.05
8	724-3-5	502400	4367830	42.44
9	724-3-6	499850	4363900	33.95
10	724-3-8	501495	4363610	23
11	724-3-9	500578	4365790	40.26
12	724-3-10	502110	4369950	111.44
13	724-3-15	503195	4367090	36.59
14	724-3-16	502415	4371540	111
15	724-3-26	502075	4371990	117.88
16	724-3-31	502210	4371790	115.72

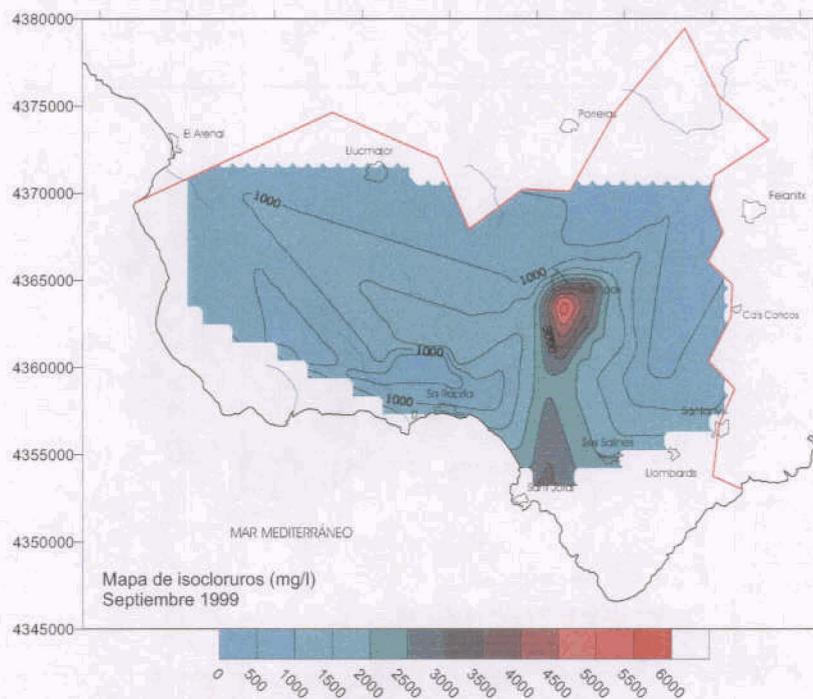
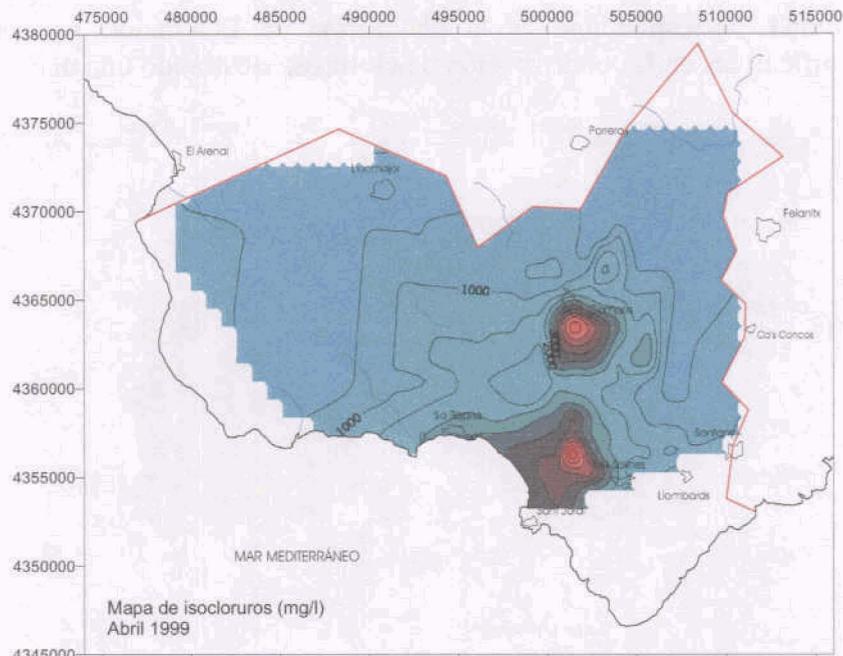
17	724-3-72	501670	4367400	51.57
18	724-3-73	501600	4370630	107.45
19	724-4-13	506058	4371251	91.05
20	724-4-24	506935	4370930	86.86
21	724-4-25	508060	4369830	78.46
22	724-4-65	507105	4367430	68.59
23	724-E-3	504732	4365546	24.65
24	724-E-4	510903	4375158	69.78
25	724-E-5	502590	4367426	40.72
26	724-5-3	487755	4360070	72
27	724-6-5	495900	4357300	8.37
28	724-6-7	497300	4358400	8.06
29	724-6-9	494908	4360840	35.74
30	724-7-1	503635	4363240	18.45
31	724-7-2	503210	4359975	18
32	724-7-3	501592	4357770	2.37
33	724-7-4	503830	4355020	41.36
34	724-7-5	500750	4355600	6.95

35	724-7-6	499770	4359660	7.3
36	724-7-8	504689	4362050	21.72
37	724-7-9	502280	4356870	11.18
38	724-7-10	501317	4356260	2
39	724-7-11	505504	4361830	28.7
40	724-7-12	500250	4359210	4.77
41	724-7-15	500663	4358800	3.19
42	724-7-16	501595	4358348	2.84
43	724-8-1	505776	4361100	43.84
44	724-8-4	509578	4357935	54.07
45	748-3-1	502930	4353780	7.45
46	748-3-2	500570	4352550	1.92
47	Son Grau	505050	4367775	61.76
48	699-8-17	506000	4375890	118.13
49	699-8-23	508975	4374950	82.24
50	699-8-42	505875	4373500	104.83
51	699-8-48	510135	4375200	72.85
52	699-8-62	507100	4375900	121
53	699-8-106	505110	4374950	133.07
54	699-E-4	510903	4375158	-



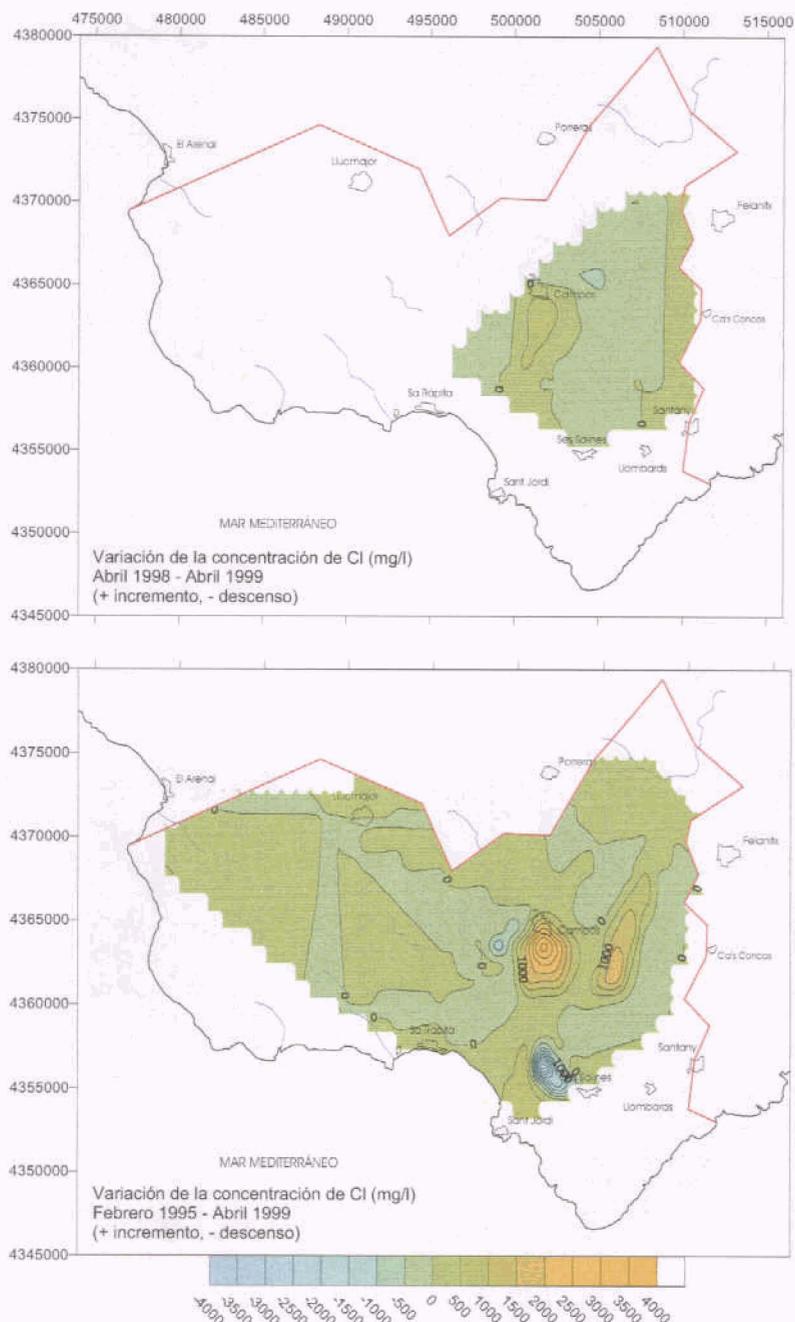
El mapa de isocloruros de abril de 1.999 muestra como existe un proceso de intrusión generalizada en todo el sector comprendido entre las localidades de Sa Rápita, Campos y Ses Salines, originado por la presencia de varios domos salinos con concentraciones de cloruro que superan los 5.000 mg/L y que obedecen a la gran concentración de bombes que abastecen a la zona agrícola de Campos.

Tras el período estival, en septiembre del mismo año se observa un descenso en el sector de Sant Jordi, si bien la isolínea de 1.000 mg/L se prolonga por el sur de Lluçmajor en dirección a El Arenal, afectando progresivamente a todo el sector de la plataforma de Lluçmajor.



El mapa de evolución de cloruros a corto plazo (1 año) no muestra apenas variaciones, indicando que el proceso de intrusión marina se encuentra estabilizado. Con respecto al año 1.995 las variaciones son más notables. Así, el sector de Ses Salines presenta descensos notables en la concentración de cloruros, disminuyendo en algunos puntos en más de 3.000 mg/L. Este hecho obedece probablemente al abandono progresivo de algunos pozos debido a que el grado de salinidad alcanzado impide su explotación con fines agrícolas. Por el contrario, al sur y al Este de la localidad de Campos se registran aumentos de entre 1.500 y 3.000 mg/L de cloruros, marcando un grave empeoramiento de la calidad del agua subterránea en este sector, y con tendencia a avanzar progresivamente hacia el sector de Felanitx-Porreres donde hasta el momento la concentración de cloruros no supera los 500 mg/L. Todo el sector

oeste de la unidad, correspondiente a la plataforma de Lluçmajor, no parece presentar variaciones significativas en la concentración de cloruros, mostrando una marcada estabilidad.



6.13.4. Caracterización de facies hidroquímicas

En el diagrama de Piper adjunto se han reflejado una selección de 6 puntos representativos de las facies hidroquímicas principales y de los distintos sectores de la unidad hidrogeológica. El diagrama destaca por la elevada concentración de aguas que presentan una facies clorurada, indicando aguas de muy mala calidad. Así, los puntos 3928-3-181, 3928-6-0111, 3928-7-0166 y 3928-8-0028 (1, 4, 5 y 6 respectivamente, en el diagrama de Piper), todos ellos representativos del Llano de Campos indican una facies netamente clorurada sódica, sin grandes variaciones desde el año 1.995.

La relación rCl refleja este mismo proceso, con destacadas concentraciones en los puntos del Llano de Campos que aumentan progresivamente desde 1.995 a 1.999. Los puntos correspondientes al sector Porreres-Felanitx muestran concentraciones de cloruros muy inferiores al resto. Comportamientos similares se pueden observar en la relación rSO_4/rCl donde los puntos del sector Llano de Campos muestran valores similares a la relación que presenta el agua de mar, alejándose de dicha relación los puntos del sector Porreres-Felanitx.

Finalmente, la relación $rHCO_3/rCl$ presenta valores inferiores a 0,2 para todas las muestras del Llano de Campo, indicando la contaminación por aguas de origen marino, frente a los puntos del sector Porreres-Felanitx cuya relación superior a 0,2 denotan aún un claro origen continental de las aguas.

6.13.6. Diagnóstico del estado actual del acuífero

El acuífero mioceno de la unidad hidrogeológica Lluçmajor-Campos presenta valores de permeabilidad y transmisividad muy elevados, en una zona de tradición agrícola. La excesiva explotación de los recursos de agua subterránea a generado un importante descenso de los niveles piezométricos en casi toda la unidad dando lugar a un proceso de intrusión generalizado en todo el sector del Llano de Campos y en parte de la plataforma de Lluçmajor. Este proceso, conocido ya desde principios de la década de los 70, sufrió un claro retroceso a principios de los años 90 debido a la excesiva salinidad de los pozos que obligó en muchos casos al abandono de los mismos y al cambio en el tipo de cultivos o abandono total del regadío en algunos sectores.

Los mapas de isocloruros y el análisis de las facies hidroquímicas entre 1.995 y 1.999 indican que la intrusión continúa siendo muy elevada en todo el Llano de Campos, extendiéndose parcialmente hacia el sector occidental de la unidad (plataforma de Lluçmajor). Las concentraciones de ión cloruro superan en varios puntos los 5.500 mg/L, detectándose varios domos salinos, algunos de ellos al norte de la localidad de Campos (a más de 10 km de la línea de costa).

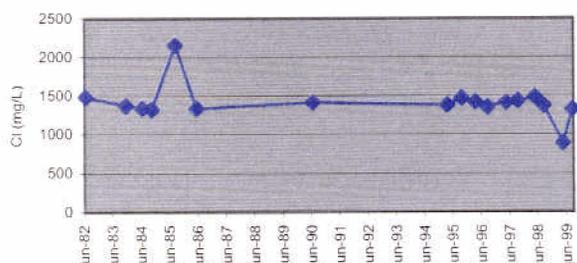
Las facies hidroquímicas son mayoritariamente cloruradas sódicas, y el análisis de las relaciones iónicas confirma la mezcla de aguas continentales con agua de mar procedente de la intrusión de la cuña salada en el acuífero.

6.13.7. Evolución previsible y posibles actuaciones

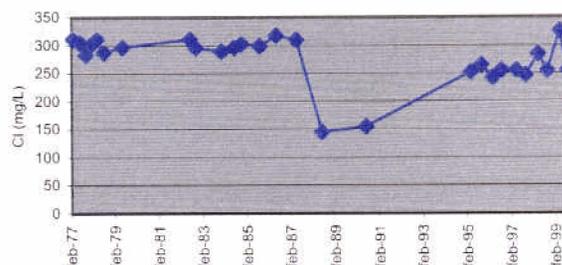
Pese a que existe un abandono progresivo de pozos debido a la fuerte salinización, y a que se ha producido un cambio en el tipo de cultivo, la tendencia observada en los mapas de evolución de cloruros indica un fuerte empeoramiento de la calidad del agua al S y E de la localidad de Campos. Únicamente se manifiesta una clara tendencia al descenso de la concentración de cloruros en el sector de Ses Salines.

El análisis de las relaciones iónicas y de la evolución de facies hidrogeoquímica confirma el empeoramiento general de la calidad del agua, incluso en el sector Porreres-Felanitx, aunque este último aún conserva valores de concentración de cloruros inferiores a los 500 mg/L.

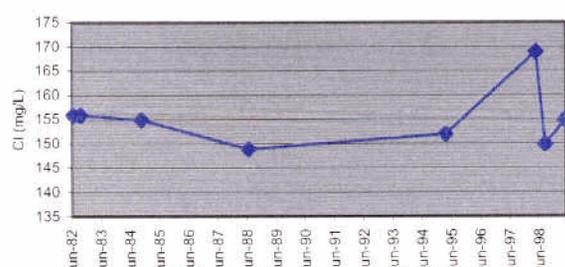
Evolución Cl. Punto 3928-3-0181



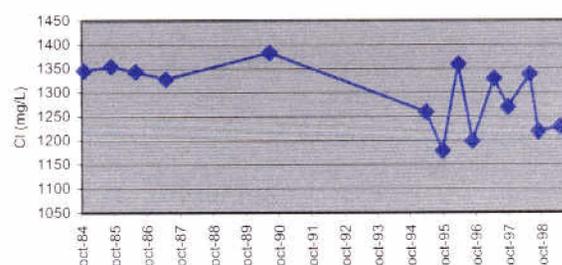
Evolución Cl. Punto 3928-4-0021



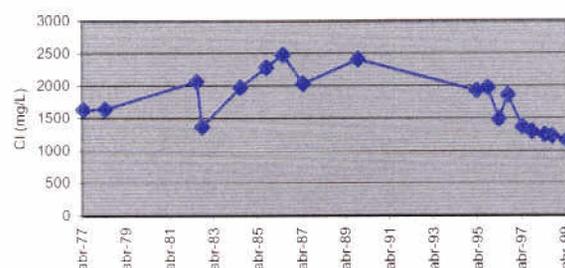
Evolución Cl. Punto 3928-4-0046



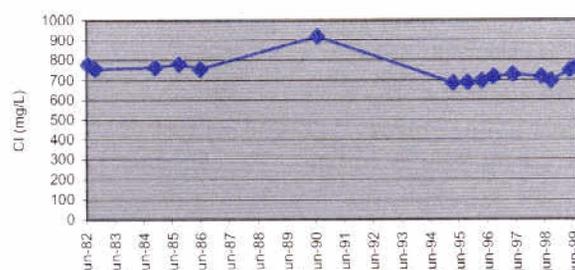
Evolución Cl. Punto 3928-6-0111



Evolución Cl. Punto 3928-7-0166



Evolución Cl. Punto 3928-8-0028



Se pone de manifiesto, por tanto, la necesidad de controlar exhaustivamente las características de explotación de los pozos situados en el sector Porreres-Felanitx para evitar que se produzca un progresivo deterioro de la calidad del agua en los mismos, así como el abandono de la explotación en aquellos pozos y sondeos que generan los importantes domos salinos localizados en los alrededores de Campos y en dirección a Ses Salines.

Es recomendable también profundizar en el conocimiento de las características del umbral que separa el Llano de Campos del sector Porreres-Felanitx, para cuantificar el riesgo de afección del proceso de intrusión marina en este último sector, amenazado por un progresivo deterioro de la calidad en los últimos años. Para ello sería recomendable la elaboración de un modelo matemático de flujo y transporte, con el objeto de determinar en última instancia los emplazamientos idóneos para las nuevas captaciones que se realicen en esta unidad, y poder predecir los efectos en la evolución de la calidad del agua en el acuífero.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En este volumen se han recogido los trabajos realizados en las cuencas mediterráneas del Segura, Júcar y Baleares (Mallorca) orientados a la mejora del conocimiento y control de la intrusión marina en los acuíferos costeros que comprenden, con objeto de reducir los problemas existentes. Los objetivos alcanzados se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Se recoge la información básica actualizada relativa a los fenómenos de intrusión marina en los acuíferos costeros de dichas cuencas, procedente de los distintos organismos o entidades que han realizado estudios o trabajos al respecto.
- Se determina la situación actual y se evalúa el grado de intrusión salina en los acuíferos costeros estudiados.
- Se analiza el origen y las causas de la intrusión en cada caso concreto y su relación con otros aspectos como el grado de explotación de los acuíferos y su evolución piezométrica.
- Se proponen actuaciones para mejorar el conocimiento de los acuíferos, reducir los efectos de la intrusión y elaborar normas para su adecuada gestión.

7.1. Cuenca del Segura

A continuación se resume la situación en la cuenca del Segura:

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.31 CAMPO DE CARTAGENA

Los acuíferos que parecen presentar un proceso de intrusión marina son el Plioceno y, fundamentalmente, el Cuaternario. No obstante, la superposición de distintos procesos hidrogeoquímicos con resultados similares en la composición química del agua, unido al complejo funcionamiento hidrogeológico como consecuencia de la conexión hidráulica existente entre los diversos acuíferos considerados, hace aconsejable la realización de estudios complementarios (simulación hidrogeoquímica, estudios isotópicos) encaminados a confirmar y mejorar los resultados preliminares obtenidos.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 07.33 DE ÁGUILAS

El análisis preliminar realizado pone de manifiesto la no existencia de suficientes puntos de control como para conocer adecuadamente el estado de la intrusión marina en los acuíferos Águilas-Cala Reona y Cope-Cala Blanca. No obstante, los datos disponibles parecen indicar una tendencia hacia la recuperación de los niveles así como hacia una cierta estabilización o disminución en la salinidad del agua subterránea. Dicha tendencia resulta coherente con la disminución en la explotación experimentada como consecuencia de la importación de aguas procedentes del exterior. Sin embargo, se considera que cualquier ligero aumento desordenado de la explotación podría provocar un nuevo avance de la intrusión, sobre todo en aquellas zonas en las que tradicionalmente ha existido una mayor explotación (como el sector meridional del acuífero Cope-Cala Blanca).

7.2. Cuenca del Júcar

El estado de las unidades en la cuenca del Júcar se puede resumir:

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.10 PLANA DE VINAROSZ-PENÍSCOLA

A partir de los tres puntos de la red de calidad que se controlan actualmente, correspondientes al sector central del acuífero superior, se observan en esta zona aguas de calidad general mala con altos contenidos en nitratos como consecuencia del uso abusivo de fertilizantes agrícolas. Esta contaminación de origen agrícola debe extenderse probablemente a gran parte del acuífero, puesto que las prácticas son similares en toda su superficie. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, en el entorno de las localidades de Vinaroz y Benicarló. Se observan en estas dos franjas costeras unos altos contenidos en cloruros que se mantienen a lo largo de todo el año, superando en mayo y octubre de 1999 los 1600 mg/l al sur de Vinaroz y los 1300 mg/l al sur de Benicarló. En el resto del acuífero no se aprecia actualmente afección por la intrusión marina.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.11 PLANA DE OROPESA-TORREBLANCA

Hay que destacar que la práctica totalidad del acuífero superaba en octubre de 1999 los 400 mg/l de Cl⁻, y más de dos tercios del mismo los 800 mg/l en la misma fecha. Las zonas más afectadas por este fenómeno se sitúan inmediatamente al norte del barranco de Chinchilla, donde se observa un cono de ascenso salino que alcanza casi los 1600 mg/l de Cl⁻, otro domo de ascenso al suroeste de Torreblanca con casi 1200 mg/l, y una zona de avance de la intrusión a partir de la desembocadura del río San Miguel que se extiende río arriba y alcanza contenidos en cloruros de 1300 mg/l. La contaminación de origen agrícola se hace más patente al sur de Torreblanca (312350013) con 96 mg/l de nitratos en mayo de 1999, aunque debe extenderse probablemente a gran parte del acuífero, puesto que las prácticas son similares en casi toda su superficie.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.12 PLANA DE CASTELLÓN

El acuífero de la Plana de Castellón presenta en la actualidad aguas de calidad general regular con altos contenidos en sulfatos como consecuencia probablemente del uso abusivo de los fertilizantes agrícolas. En lo referente a la intrusión marina hay que destacar dos zonas especialmente afectadas, el sector de Chilches-Moncófar-Nules al sur, que en mayo y octubre de 1999 superó los 1600 mg/l de contenido en cloruros, y el sector entre Castellón y Benicasim al norte, donde se superaron en mayo de 1999 los 700 mg/l. En ambos sectores el fenómeno de intrusión marina está producido por las intensas extracciones de agua subterránea para uso agrícola fundamentalmente. En el resto del acuífero no se aprecia actualmente una afección importante por la intrusión marina.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.21 PLANA DE SAGUNTO

El acuífero de la Plana de Sagunto presenta en casi toda su extensión aguas de calidad general mala. Esta mala calidad tiene un origen tanto formacional, que le proporciona altos contenidos en sulfatos (entre 520 y 670 mg/l en los puntos controlados en 1999), como antrópica. Así en los tres puntos de la red de calidad que se controlan actualmente, se observan altos contenidos en nitratos (entre 128 y 240 mg/l en octubre de 1999) como

consecuencia probable del uso abusivo de fertilizantes agrícolas. Igualmente los contenidos en cloruros son bastante altos por efecto de la intrusión marina, especialmente en las zonas ubicadas entre Puerto de Sagunto y Puzol, y al norte de la desembocadura del río Palancia, donde se midieron concentraciones por encima de 700 mg/l y 450 mg/l respectivamente en octubre de 1999.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.25 PLANA DE VALENCIA NORTE

Presenta en general una calidad regular, debido principalmente a los altos contenidos en nitratos y sulfatos, como consecuencia del uso de fertilizantes, destacando el área de Moncada como la zona más degradada, donde se llegan a duplicar las concentraciones máximas permitidas en dichos iones. Con respecto a la intrusión marina, el único área afectada es el de Puebla de Farnalls, donde existe un domo salinizado en el que las concentraciones de cloruros alcanzaron los 923 mg/L en octubre de 1995. El origen de este domo salinizado parece estar relacionado con la alta concentración de captaciones presentes en el municipio, utilizadas para satisfacer una elevada demanda motivada por la ocupación turística. En el resto del acuífero no se aprecia afección.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.26 PLANA DE VALENCIA SUR

Esta unidad presenta una calidad regular en general, debido principalmente a los altos contenidos en sulfatos, nitratos y magnesio. En el sector NO se observan los valores más altos de estos parámetros, detectándose un deterioro de la calidad de 1.995 a 1.999. En el sector SO, con valores más bajos, se produce una mejora de la calidad desde 1.995. En el sector central de la unidad, se superan los límites de Mg^{2+} , SO_4^{2-} y NO_3^- , tanto en 1.995 como en 1.999. En el sector costero, se superan los límites de Mg^{2+} y SO_4^{2-} . Las elevadas concentraciones en sulfatos, nitratos y magnesio pueden atribuirse a prácticas agrícolas, como el uso abusivo de fertilizantes y productos fitosanitarios. Con respecto a la intrusión marina, los mapas de isocontenidos en cloruros de mayo y octubre de 1.999 muestran concentraciones inferiores a 300 mg/L al oeste de la localidad de Sueca. Sin embargo hacia el sureste, en dirección a la costa, las concentraciones se incrementan rápidamente hasta alcanzar los 753 mg/L al norte de Cullera. En el resto del acuífero no se aprecia afección por intrusión marina.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.38 PLANA DE GANDIA-DENIA

El acuífero de la Plana de Gandía-Denia presenta en general aguas de aceptable a moderada calidad, con reducidos sectores donde se manifiestan procesos intrusivos de cierta entidad, como en el de Denia-Vergel y, en menor medida, el de Xeraco. El cuerpo central del acuífero (sector Oliva-Gandía) se encuentra libre de dichos procesos debido sobre todo a la influencia del río Serpis. Por otra parte, son patentes los procesos contaminantes causados por las actividades humanas, especialmente los derivados de la agricultura intensiva que se practica en la superficie del acuífero.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.47 DE PEÑÓN-MONTGÓ-BERNIA

El acuífero del Montgó sigue una tendencia a la estabilización en la salinidad de sus aguas a medio plazo, muy por debajo de las concentraciones alcanzadas en épocas anteriores consecuencia de la intensa explotación realizada en su extremo occidental. Aún así las actuales extracciones provocan depresiones piezométricas que llegan a situarse hasta casi -10

m s.n.m. en octubre de 1999. En el acuífero de la Depresión de Benisa, salvo en su sector septentrional, no se detectan procesos intrusivos relevantes, si bien las particulares condiciones de las formaciones acuíferas, que presentan una karstificación muy diferenciada con una circulación jerarquizada del flujo subterráneo, dan lugar en ciertos casos a rápidos procesos de salinización en algunas captaciones, y en los que muy probablemente intervengan también fenómenos naturales todavía no suficientemente esclarecidos. El acuífero de la Plana de Jávea, que es donde con mayor claridad se pone de manifiesto el fenómeno intrusivo, ha sufrido cambios importantes a lo largo del tiempo, hecho fuertemente condicionado por la distribución espacial y volumen de las extracciones. En esto ha tenido una influencia directa el abandono de captaciones y la disminución de explotaciones debido al incremento de la salinidad del agua, que la han llegado a hacer inservible en ciertas épocas, tanto para el uso urbano como agrícola.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 08.48 ORCHETA

Los datos disponibles para este estudio corresponden a los años 80 y 90. Por este motivo, los resultados deben tomarse como una aproximación de la situación actual de los acuíferos. Teniendo en cuenta el incremento de población que ha sufrido este área en los últimos años, debido principalmente a la demanda turística (sectores de Benidorm, Altea, Villajoyosa), la calidad actual de los acuíferos debe estar sustancialmente más deteriorada que la presentada en este estudio, como consecuencia del incremento de los bombeos y los vertidos de aguas residuales. La Unidad Hidrogeológica 08.26 Orcheta presentaba en general, en el periodo referido, una calidad baja, aunque existen diferencias entre los distintos acuíferos que la constituyen. En el acuífero Cabezón de Oro se observaban altos contenidos en los iones sulfato y magnesio. En el acuífero Anticlinales de Orcheta se superan los límites establecidos para el ion sulfato. En el acuífero San Juan-Campello se registraban elevadas concentraciones de los iones sulfato, nitrato, sodio, magnesio y cloruro. En el sector de Altea del acuífero Benidorm-Altea, se superan los límites establecidos para los iones sulfato, nitratos, sodio y magnesio, existiendo concentraciones de cloruros superiores a 200 mg/L. En el sector de Benidorm de este acuífero se superan los límites establecidos para los iones sulfato, sodio, magnesio y potasio, apareciendo asimismo concentraciones superiores a 200 mg/L de cloruros. Las concentraciones de sulfatos, generalizadamente elevadas, se deben a la presencia de arcillas con yesos del Keuper en los límites de los acuíferos y en el subsuelo. Las concentraciones elevadas en los iones cloruro, sodio, potasio y magnesio son atribuibles a contaminación por intrusión marina. En el caso de los nitratos en el acuífero Benidorm-Altea, debe atribuirse al uso abusivo de fertilizantes y vertidos de aguas residuales urbanas.

7.3. Cuenca de Baleares. Mallorca

Por último resumimos el estado de las unidades costeras en la Cuenca de Baleares (Mallorca):

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.01 ANDRATX

Presenta en la actualidad aguas de calidad general regular, con altos contenidos en cloruros y sulfatos en las zonas alejadas de la costa. Es consecuencia probablemente de la intensa explotación en zonas donde el nivel impermeable de base de estos acuíferos lo constituyen las arcillas con yesos del Keuper cuya disolución da lugar al aumento en el contenido de estos aniones. En el interior de la unidad no se aprecia por tanto una relación

entre el aumento en cloruros y la intrusión marina, habida cuenta que los niveles piezométricos se sitúan por encima de los 40 m.s.n.m. En la zona situada entre Andratx-S'Arracó y el Puerto de Andratx, donde se explota el acuífero cuaternario, si se aprecia un fuerte incremento en el contenido en cloruros relacionado con un fenómeno de intrusión de agua de mar en el acuífero. Esta intrusión es el resultado de la explotación abusiva para el abastecimiento en zonas de baja piezometría, habiéndose generado descensos en los niveles piezométricos que llegan a superar la cota -2 m.s.n.m.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.02 DEIÀ

No existen datos para la evaluación. En líneas generales se trata de una unidad poco explotada, dado que la accidentada orografía no permite el asentamiento de grandes núcleos urbanos ni el desarrollo de una agricultura intensiva. Las aguas presentan facies de tipo bicarbonatado cálcico, aunque puntualmente se presentan facies de tipo sulfatado cálcico en acuíferos relacionados con el Keuper. No se conoce la existencia de focos de intrusión marina en la zona.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.03 PUIG ROIG

No hay apenas datos de esta unidad hidrogeológica. Es una zona bastante virgen debido a su orografía particularmente agreste, libre de explotaciones. Tan sólo existe una concentración de captaciones en el Torrente de Son March, donde las aguas presentan una facies bicarbonatada calcico-magnésica.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.04 FORMENTOR

Si bien no existen redes de control estables en la zona, ni del IGME ni por parte de la Junta d'Aigües de Balears, datos procedentes de diversas fuentes permiten conocer que existen fenómenos de intrusión marina en la escama de Cavall Bernat, y en la bahía cuaternaria de Pollença, donde se registran valores de concentración de ión cloruro que superan 1 gramo por litro. Ello es debido a la elevada concentración de pozos y sondeos de abastecimiento (Pollença y Port de Pollença). Es recomendable, para el seguimiento de este proceso de intrusión y poder proponer medidas correctoras, el establecimiento de una red de control de piezometría y calidad/intrusión de carácter estable.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.06 FONTS DE SÓLLER

No existen redes de control de calidad en la unidad. De manera general se puede decir que la facies es fundamentalmente bicarbonatada calcico-magnésica, tratándose de una unidad excedentaria en recursos hídricos y cuya calidad del agua es muy buena. Únicamente en la zona del Puerto de Sóller se registra una zona de intrusión marina incipiente.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA 18.11 LLANO DE INCA - SA POBLA

Presenta en la actualidad dos áreas claramente diferenciadas. En el subsector de Sa Pobla, las aguas presentan en general una mala calidad debido a la elevada concentración de ión nitrato. Este hecho está relacionado con el abusivo empleo de fertilizantes nitrogenados en una zona de agricultura intensiva. Asociada a esta elevada concentración de nitratos se detecta la presencia de tres áreas principales que muestran una elevada concentración de cloruros por

intrusión marina, inducida por el bombeo intensivo para el regadío. Así, los sectores ubicados al NE y al N de Sa Pobla presentan domos salinos que en el caso más significativo superan concentraciones de 1.300 mg/L de ión cloruro, y coinciden con la zona de máxima concentración de ión nitrato. Finalmente, también se observa una intrusión clara en el límite meridional de la unidad que avanza desde la línea de costa hasta la localidad de Muro, y con tendencia a prolongarse en dirección a Llubí. El resto del subsector de Sa Pobla presenta aguas de calidad media, que si bien no presentan una afección directa por agua de mar si presentan concentraciones aún elevadas en cuanto al contenido en nitratos, al SO de Sa Pobla y NO de Muro. El resto del subsector presenta aguas de buena calidad.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.12 CALVIÁ

La unidad de Calviá presenta en la actualidad un problema de sobreexplotación, siendo mayor el volumen de las extracciones realizada que el del agua recargada en el sistema. Este hecho ha dado lugar a un progresivo descenso de los niveles piezométricos, especialmente en la zona de Capdellá, hasta situarse en algunos sectores por debajo del nivel del mar, lo cual ha provocado un proceso de intrusión marina. Puntualmente existen problemas de concentraciones elevadas de sulfatos, relacionadas con la presencia de yesos en el sustrato rocoso de la unidad.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.13 NA BURGUESA

La explotación de esta unidad para el abastecimiento propio, y sobre todo, para el abastecimiento urbano de la ciudad de Palma, se realiza actualmente por encima de la capacidad de recarga de la unidad, de manera que se ha generado un proceso de sobreexplotación en la misma. La conexión del acuífero liásico con el mar ha dado lugar a un proceso de intrusión marina inducido por el bombeo intensivo, detectándose valores de concentración de cloruros que superan los 8 gramos por litro.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.14 LLANO DE PALMA

Esta unidad, pese a presentar un balance global positivo con recarga superior a las extracciones, presenta una explotación importante y desigual lo que ha dado lugar a un descenso general de los niveles, existiendo en la actualidad varias zonas con piezometría por debajo del nivel del mar. Ello ha provocado un proceso de intrusión marina, fundamentalmente en el entorno del Pla de Sant Jordi y el sector del Pont d'Inca, con la consiguiente pérdida de la calidad del agua subterránea. Así, en el entorno del Pont d'Inca, donde se concentran las extracciones que se realizan en esta unidad para el abastecimiento a la ciudad de Palma, se registran concentraciones de ión cloruro que llegan a superar los 6.000 mg/L. A medio plazo el proceso de intrusión generalizado en todo el sector del Pla de Sant Jordi parece haber experimentado un notable retroceso, con descensos que superan los 1.500 mg/L de forma puntual, como consecuencia de la reducción en las extracciones del acuífero al emplearse los caudales de aguas depuradas para el riego. No obstante, el pasillo que une el domo salino de las explotaciones del Pont d'Inca con la línea de costa presenta un aumento notable de la concentración salina, con aumento superiores a los 250 mg/L.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.16 MARINETA

El acuífero de La Marineta presenta en la actualidad aguas de baja calidad en un sector paralelo a la línea de costa y que avanza más de 3 km hacia el interior. En esta zona las aguas son predominantemente cloruradas por el progresivo avance de la intrusión de agua de mar, la cual se va acentuando desde el año 1.995 hasta 1.999, donde se llegan a alcanzar concentraciones en ión cloruro muy próximas a los 2.000 mg/L en algunos puntos. En el resto del acuífero no se aprecia el fenómeno de intrusión, si bien hay que resaltar que en algunos puntos medidos en condiciones estáticas (Cabanasses) la concentración en cloruros es inferior a los 200 mg/L, pero que en condiciones dinámicas generan domos salinos de alta concentración de cloruros, indicando que la cuña de intrusión salina progresa en su avance en profundidad en algunos sectores (margen oriental de la unidad) hasta más de 5 km de la línea de costa.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.17 ARTÁ

En general, se trata de una unidad excedentaria sin problemas de intrusión marina. Los escasos datos de que se dispone indican que en toda la unidad predominan las aguas de buena calidad, sólo ocasionalmente alterada por la presencia de sulfatos relacionados con los materiales yesíferos del Keuper.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.20 MARINA DE LLEVANT

Constituye un único acuífero formado por calcarenitas miocenas que poseen una alta permeabilidad y se encuentran directamente conectadas con el mar. Los bombeos existentes en esta unidad se concentran en áreas relativamente pequeñas, y excesivamente cercanas a la línea de costa. Todo este conjunto de factores ha producido en los últimos años una progresiva salinización del acuífero mioceno, más acusada en los sectores cercanos a núcleos de población importantes, donde la concentración de ión cloruro en las aguas subterráneas supera los 2.000 mg/L. Por otro lado, la conexión hidráulica existente en determinados sectores con el acuífero dolomítico de la vecina unidad de Felanitx está determinando que en algunos lugares el proceso de salinización comience a extenderse a esta unidad, tal y como empieza a producirse al oeste de la localidad de Porto Colom.

UNIDAD HIDROGEOLOGICA 18.21 LLUCMAJOR - CAMPOS

El acuífero mioceno de la unidad hidrogeológica Lluçmajor-Campos presenta valores de permeabilidad y transmisividad muy elevados, en una zona de tradición agrícola. La excesiva explotación de los recursos de agua subterránea ha generado un importante descenso de los niveles piezométricos en casi toda la unidad dando lugar a un proceso de intrusión generalizado en todo el sector del Llano de Campos y en parte de la plataforma de Lluçmajor. Este proceso, conocido ya desde principios de la década de los 70, sufrió un claro retroceso a principios de los años 90 debido a la excesiva salinidad de los pozos que obligó en muchos casos al abandono de los mismos y al cambio en el tipo de cultivos o abandono total del regadío en algunos sectores. Los mapas de isocloruros y el análisis de las facies hidroquímicas entre 1.995 y 1.999 indican que la intrusión continúa siendo muy elevada en todo el Llano de Campos, extendiéndose parcialmente hacia el sector occidental de la unidad (plataforma de Lluçmajor). Las concentraciones de ión cloruro superan en varios puntos los

5.500 mg/L, detectándose varios domos salinos, algunos de ellos al norte de la localidad de Campos (a más de 10 km de la línea de costa).