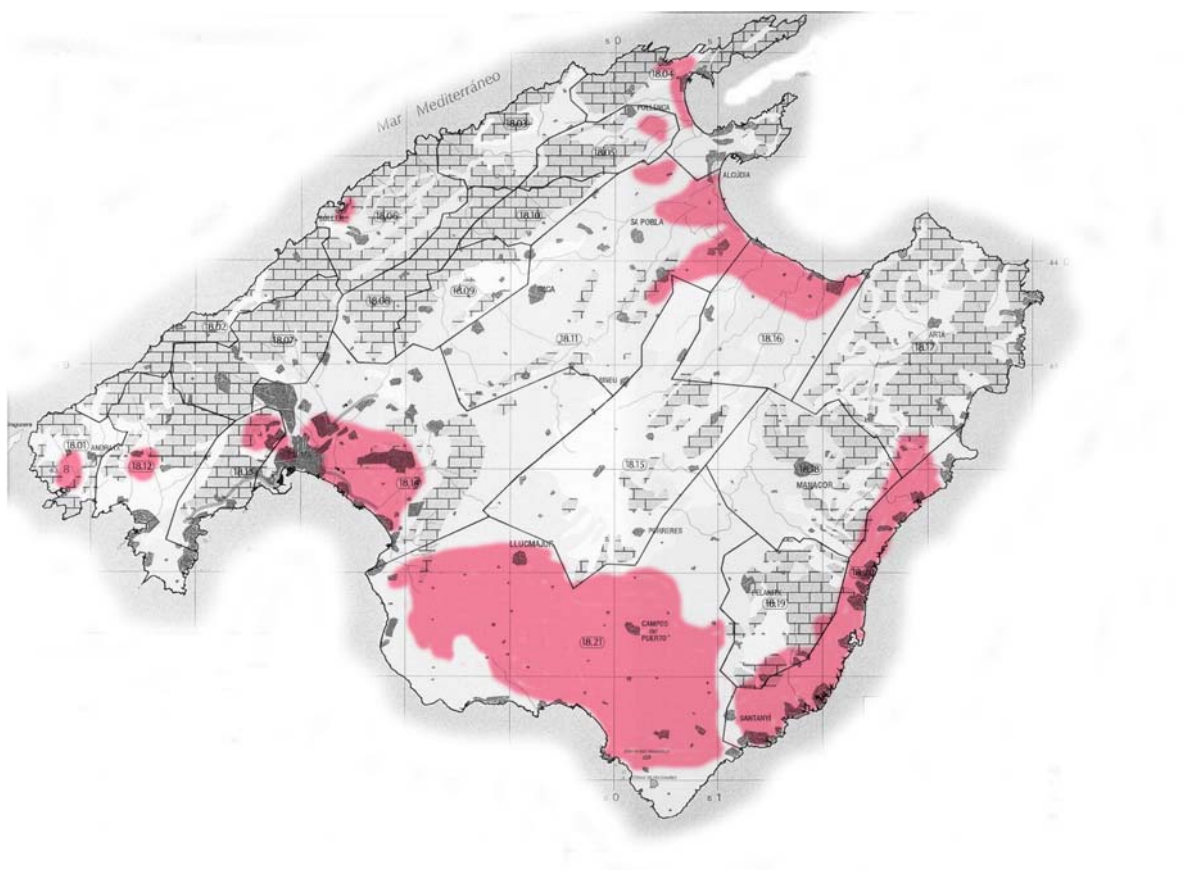
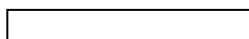


ISLA DE MALLORCA (BALEARES)



Oficina de Proyectos del IGME en BALEARES (V. 01, MAYO 2.001)



Director: López Geta, Juan A. (Dirección Hidrogeología y Aguas Subterráneas, IGME)

Equipo de trabajo: López García, José M^a. (Oficina de Proyectos Palma de Mallorca, IGME)

Colaboradores: Gonzalez Casanovas, Concepción (Junta d'Aigües de Balears – Direcció General de Recursos Hídrics del Govern Balear)

El presente documento forma parte de la documentación que la Oficina de Proyectos del IGME en Baleares, en colaboración con la Direcció General de Recursos Hídrics de las Illes Balears (Junta d'Aigües de Balears), aporta a la ejecución del proyecto “LA SITUACIÓN DE LA INTRUSIÓN SALINA EN LOS ACUÍFEROS COSTEROS ESPAÑOLES. AÑO 2000”, el cual se enmarca dentro del programa de actuaciones que la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME está realizando durante el presente año 2.001.

El citado 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. Se está elaborando un documento con la información básica actualizada relativa a los fenómenos de intrusión en los acuíferos costeros españoles procedente de los distintos organismos o entidades que hayan realizado estudios o trabajos al respecto: está previsto estudiar 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 propondrán 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 realizará para cada acuífero un análisis del contenido y evolución del ión 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. Para 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.

En el desarrollo del proyecto se obtendrán los siguientes documentos:

- Base de datos bibliográfica en ACCESS (finalizada).
- Síntesis sobre la metodología utilizada en el estudio de la intrusión marina (en fase de revisión).
- Estudio del estado actual de los acuíferos costeros españoles respecto a la intrusión marina (del que forma parte el presente documento).
- Catálogo de acuíferos costeros españoles en base de datos ACCESS.
- Aplicación de técnicas especiales en el estudio de la intrusión marina a algún acuífero concreto.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA ANDRATX (18.01).

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 $100 \text{ m}^2/\text{día}$ con caudales medio de $5 - 30 \text{ m}^3/\text{hora}$. El Lías muestra transmisividades que superan los $100 \text{ m}^2/\text{día}$, y finalmente el Mioceno tiene transmisividades medias de $20 - 30 \text{ m}^2/\text{día}$ que localmente pueden alcanzar $140 - 150 \text{ m}^2/\text{día}$.

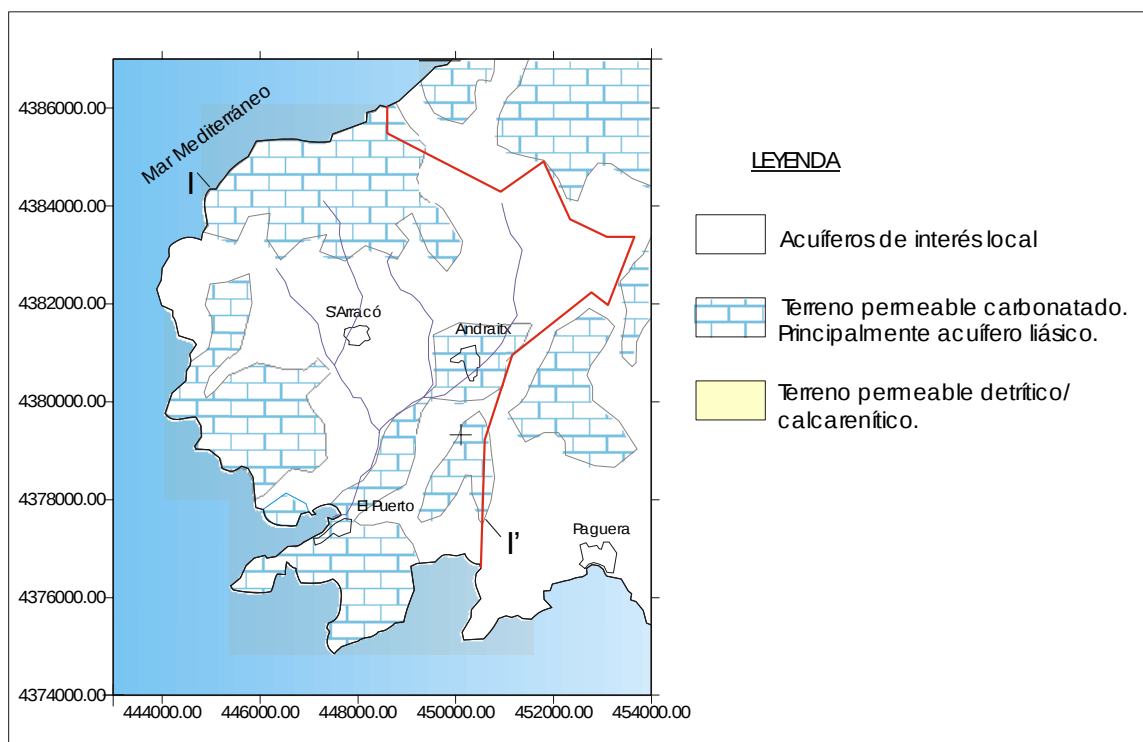


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico UH. 18.01 Andratx (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

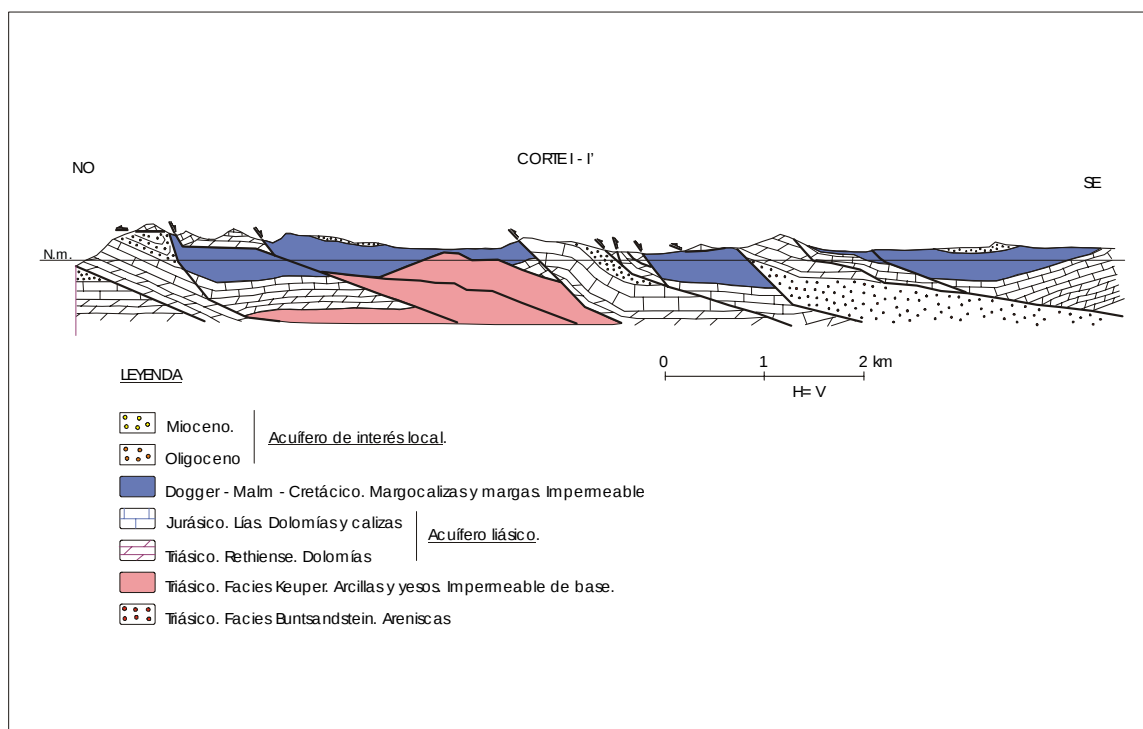
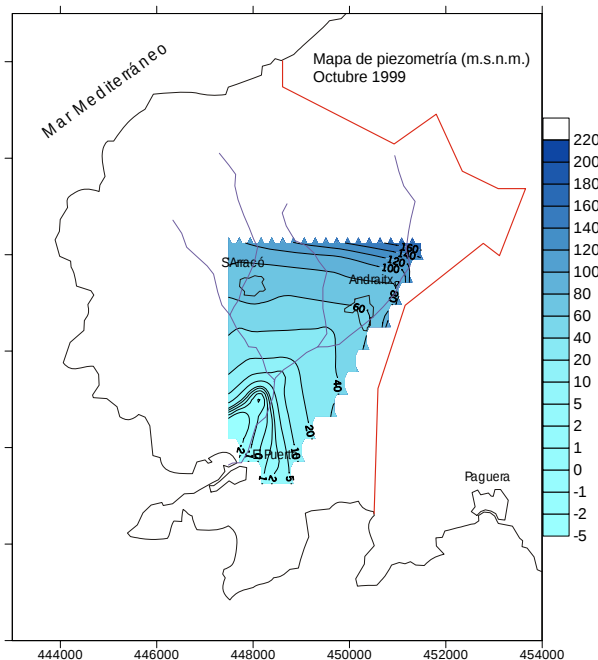
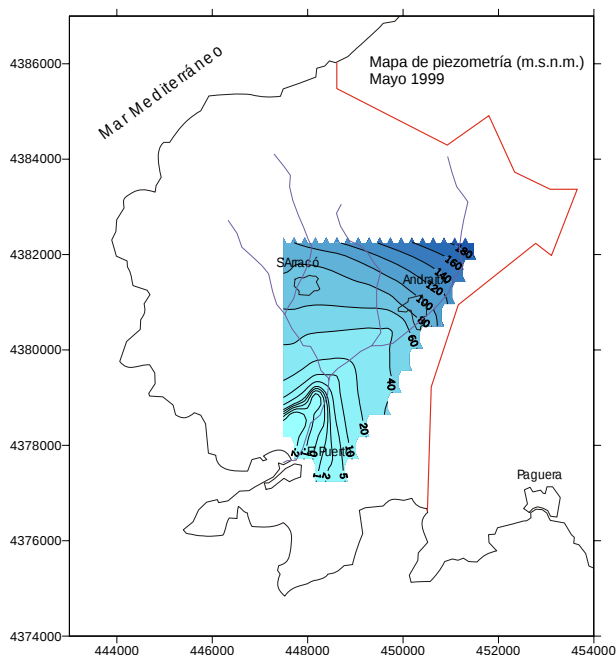
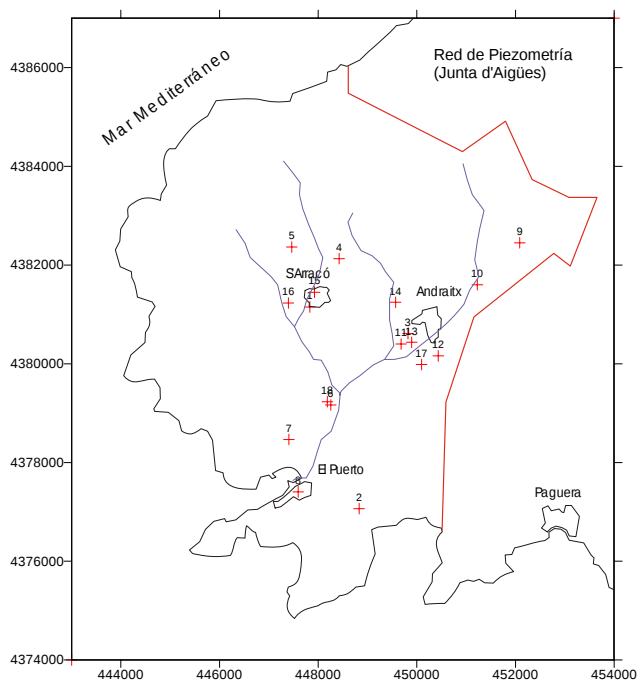


Figura 2.- Corte Hidrogeológico UH. 18.01 Andratx (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calviá-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

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.

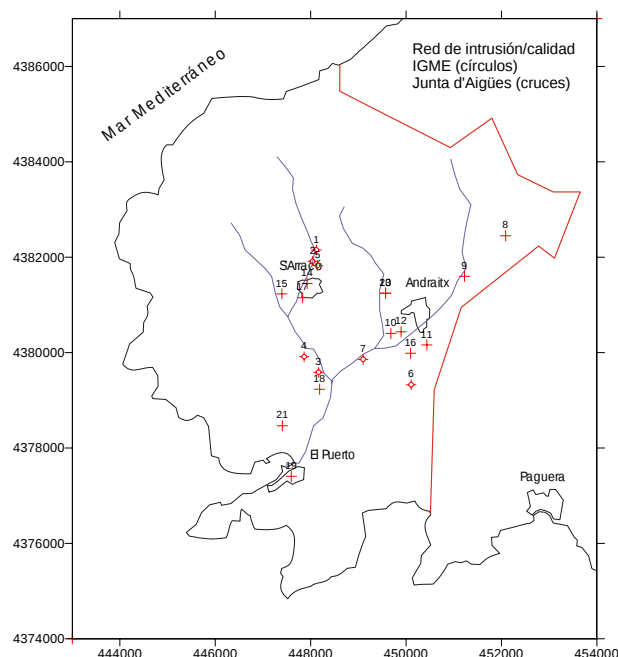
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

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.

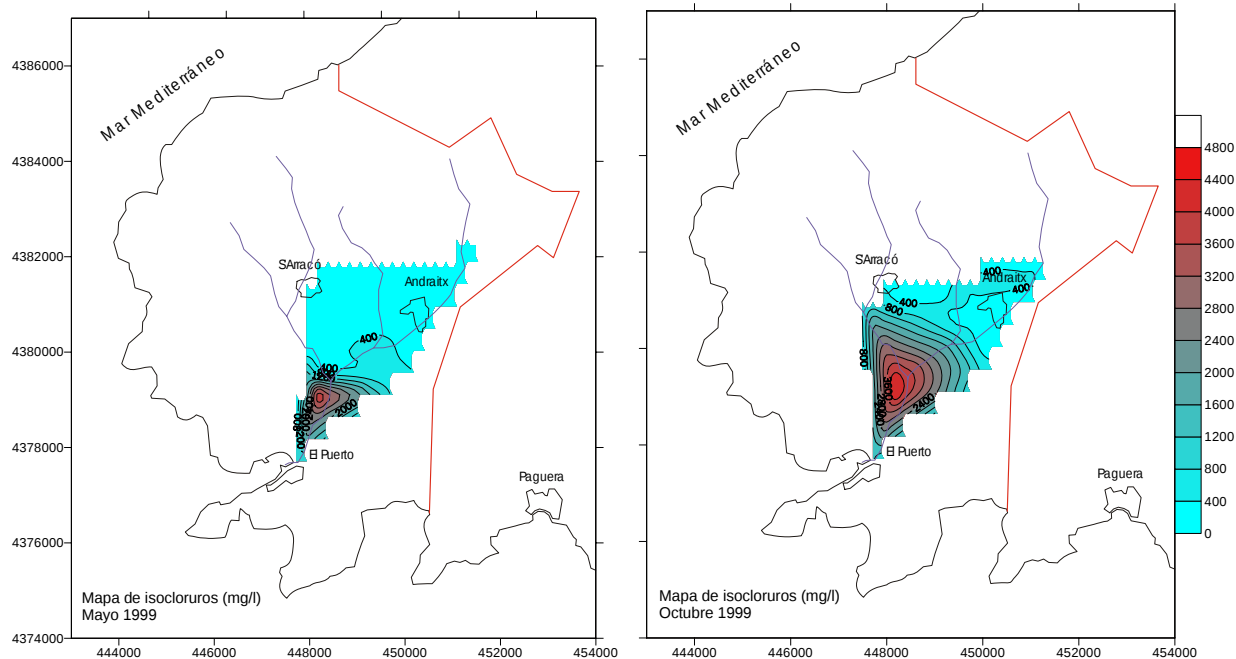
Red de intrusión IGME			
Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
3727-3-0002	448118	4382149	90.01
3727-3-0003	448040	4381914	89.04
3727-7-0056	448166	4379586	35

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

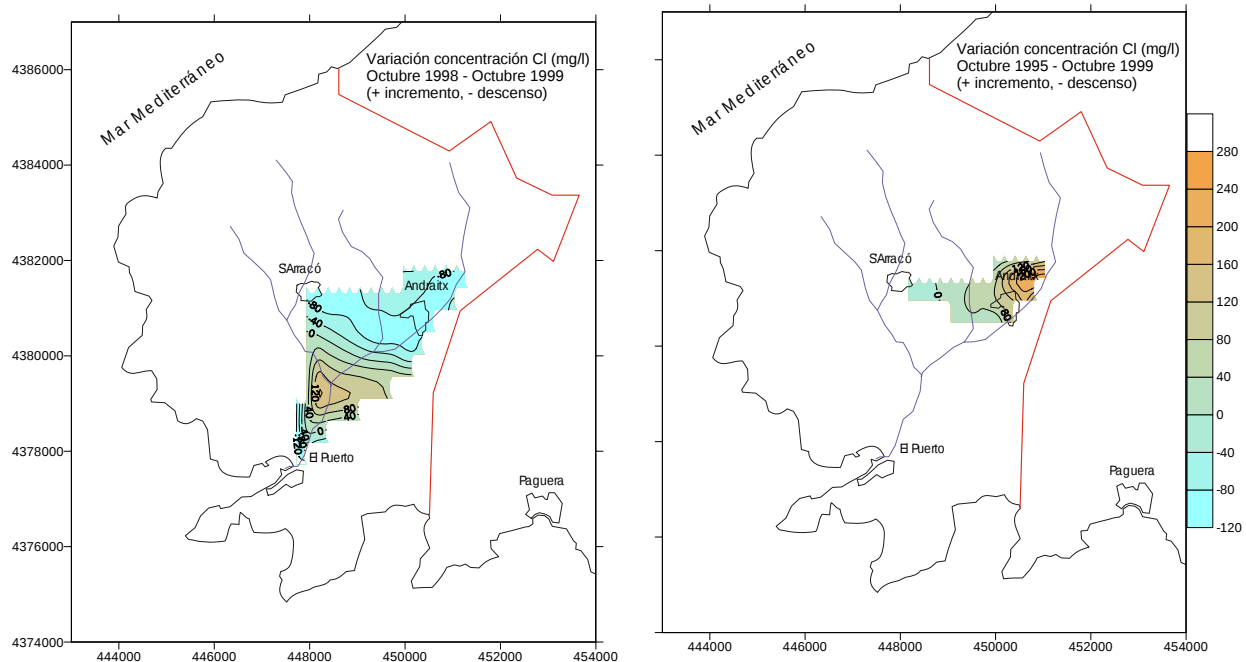
Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears			
Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
Pou Públic-1	452085	4382450	228
Pou Públic-2	451225	4381600	95
Pou Públic-3	449680	4380400	46
Pou Públic-4	450435	4380160	69
Pou Públic-5	449895	4380435	50
Pou Públic-6	449570	4381245	86
Pou Públic-7	447925	4381450	71
Pou 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.

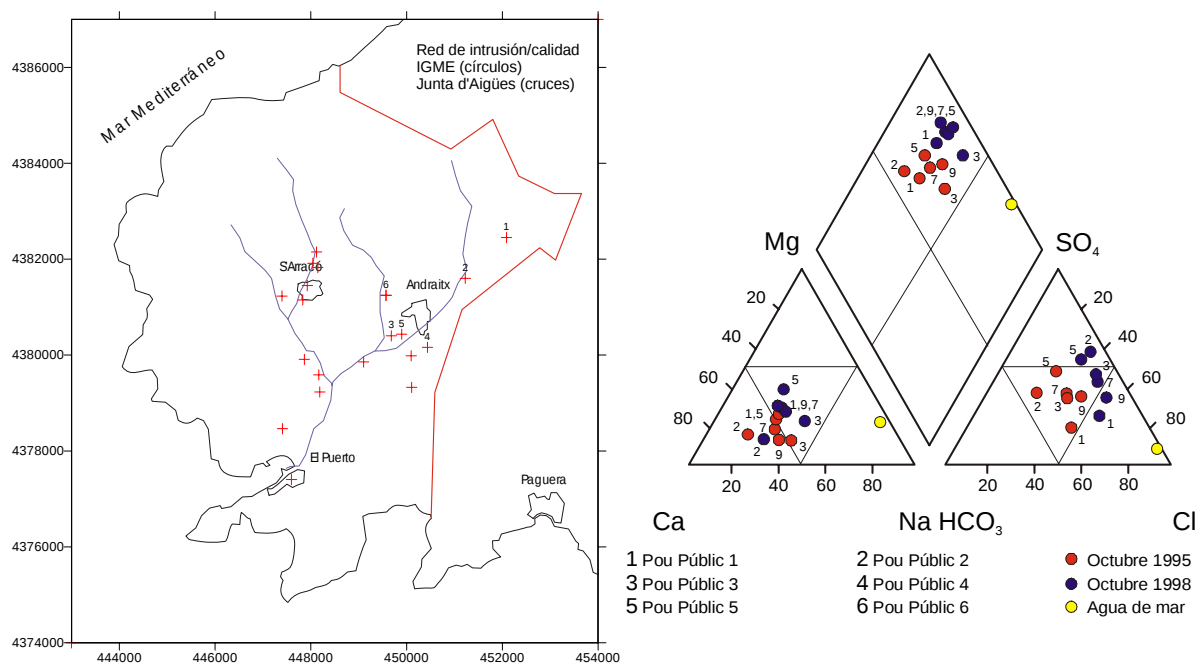


En el mapa de evolución del contenido en cloruros a corto plazo (respecto a 1.998) se observa un claro empeoramiento de la situación, con un incremento en la concentración de cloruros en la zona de intrusión superior a los 160 mg/L. En el mapa de evolución a largo plazo no se tienen datos de la calidad 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.



3.1. 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.

3.2. 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		rHCO3/rCl		rSO4/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.

3.3. 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.

3.4. 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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA DEIÁ (18.02).

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 Calviá 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.

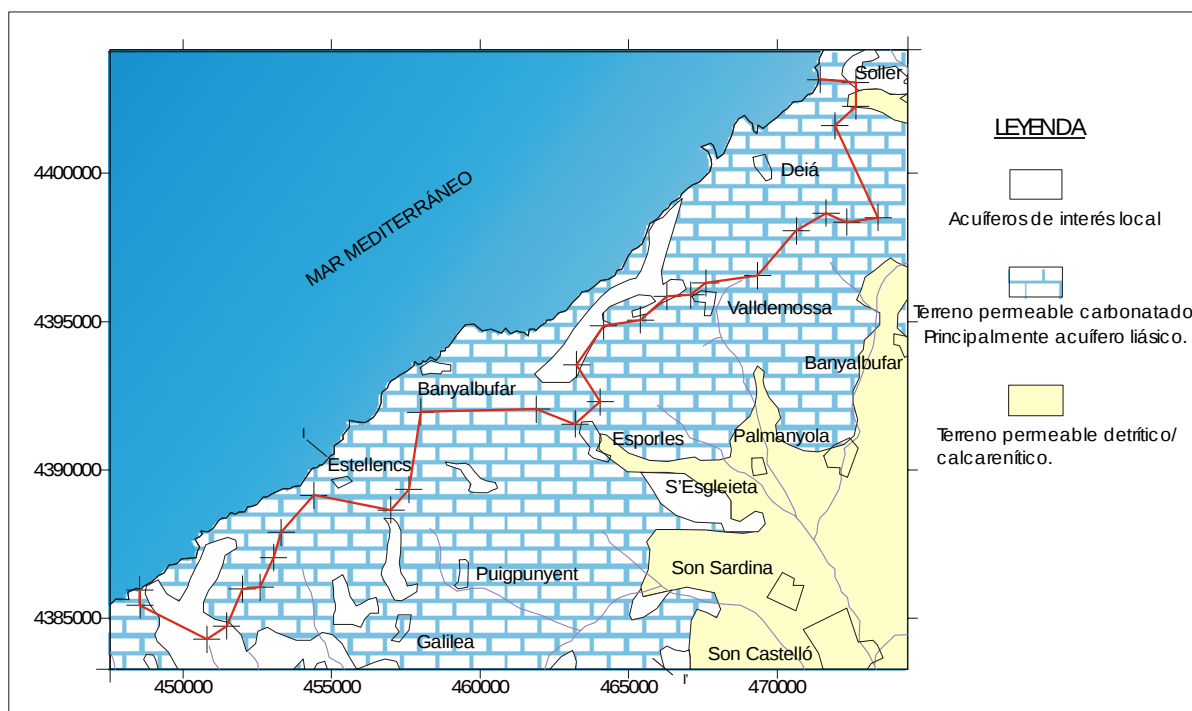


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.02 Deiá (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hdrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

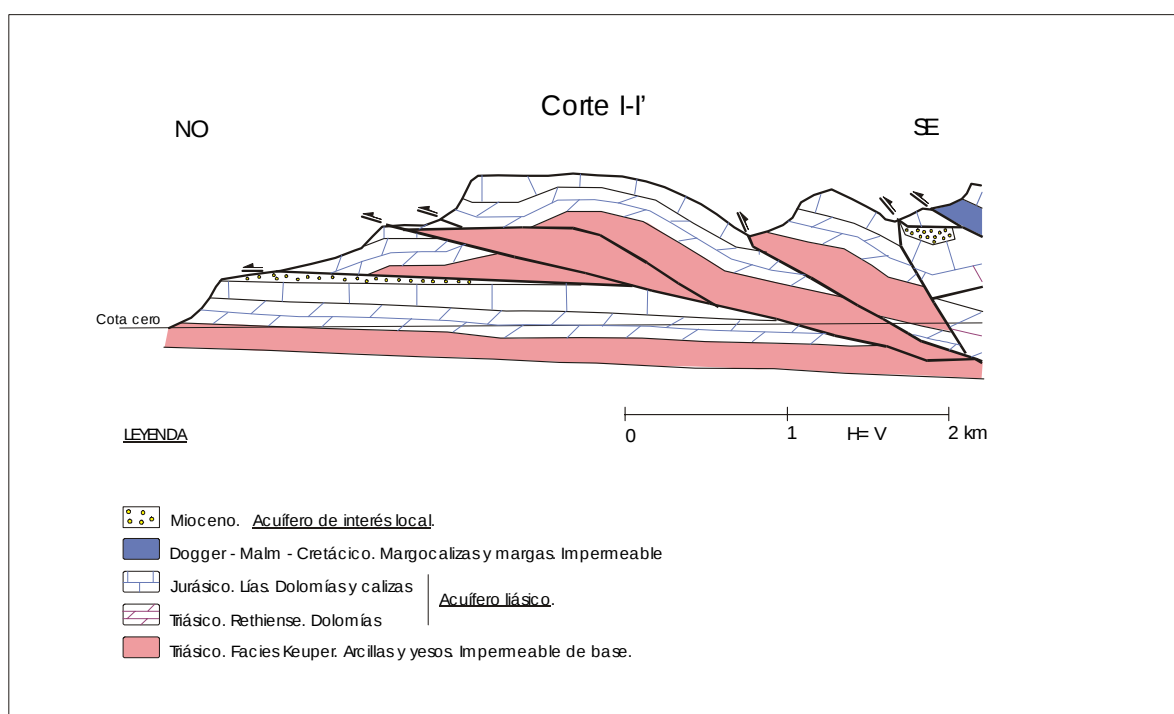


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.02 Deiá (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B 1.997)

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.

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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA PUIG ROIG (18.03).

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.

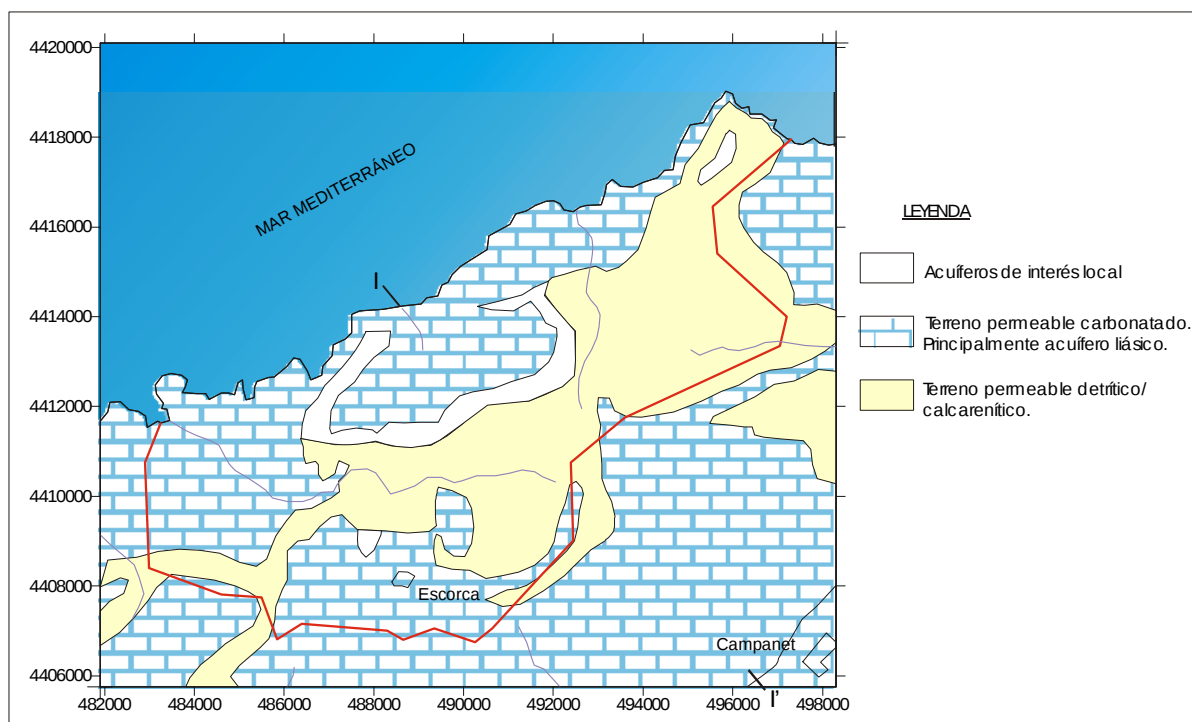


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.03 Puig Roig (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

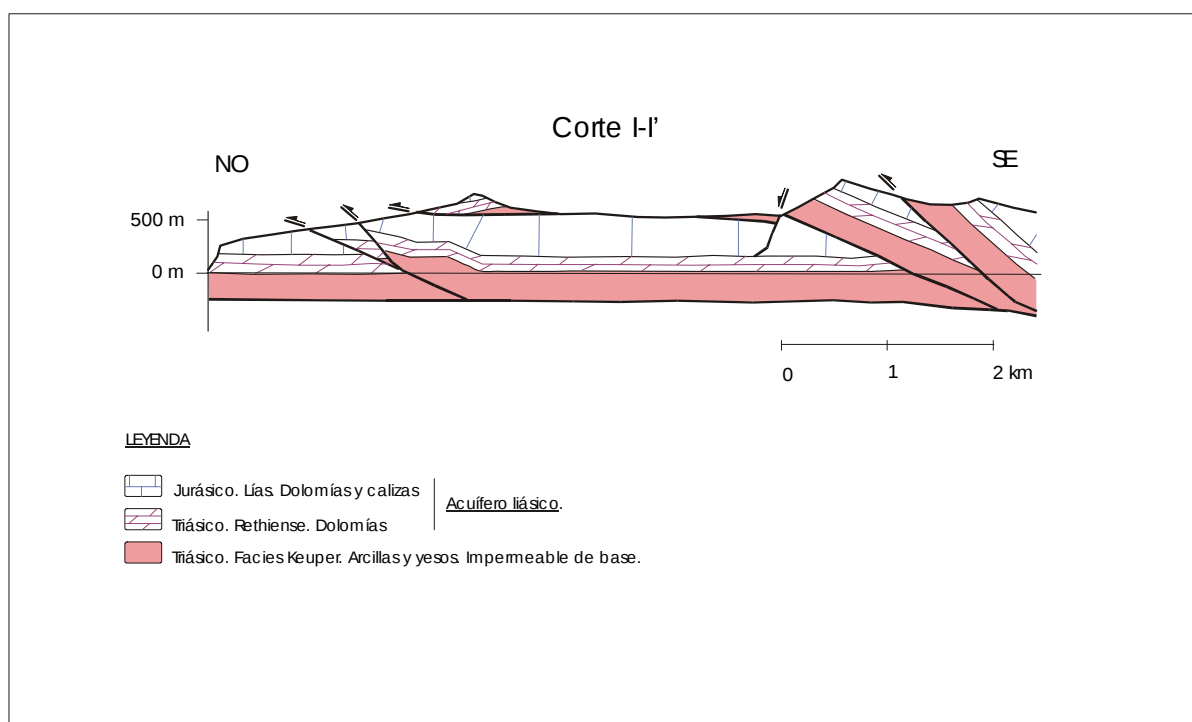


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.03 Puig Roig (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

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.

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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA FORMENTOR (18.04).

1. DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA.

La formación acuífera está constituida por un conjunto de calizas liásicas estructuradas en escamas cabalgantes sobre materiales impermeables del Trías (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.

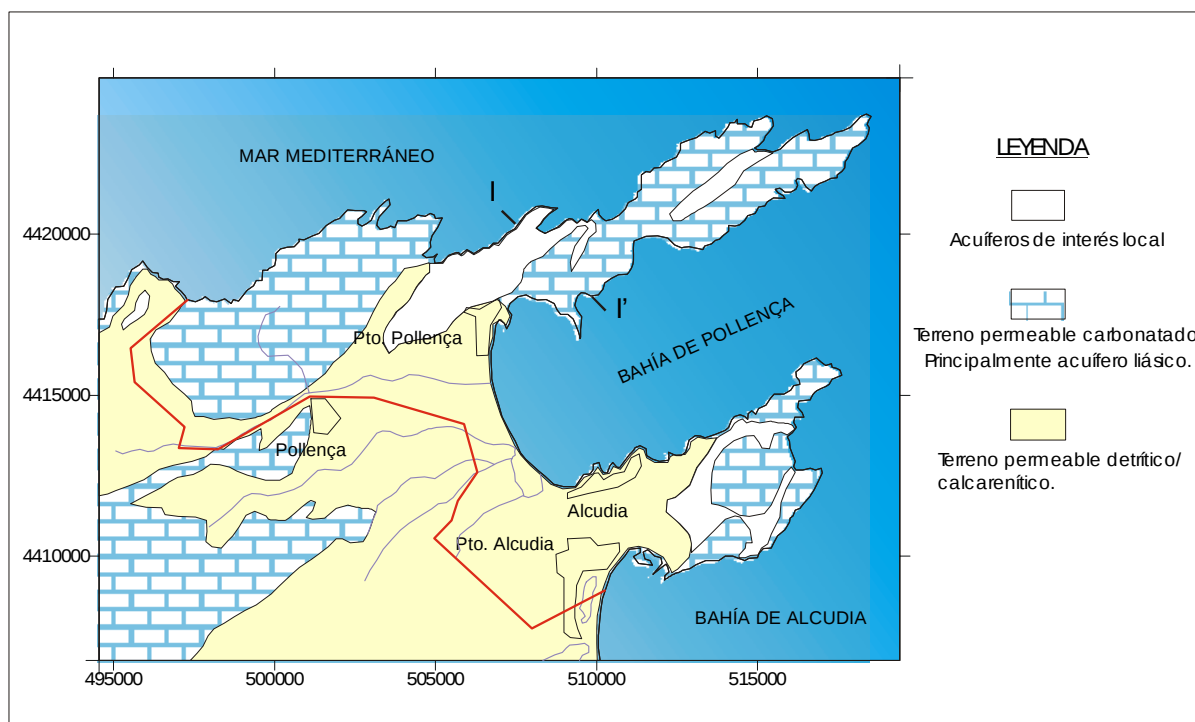


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.04 Formentor (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la “Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares”, Junta d’Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

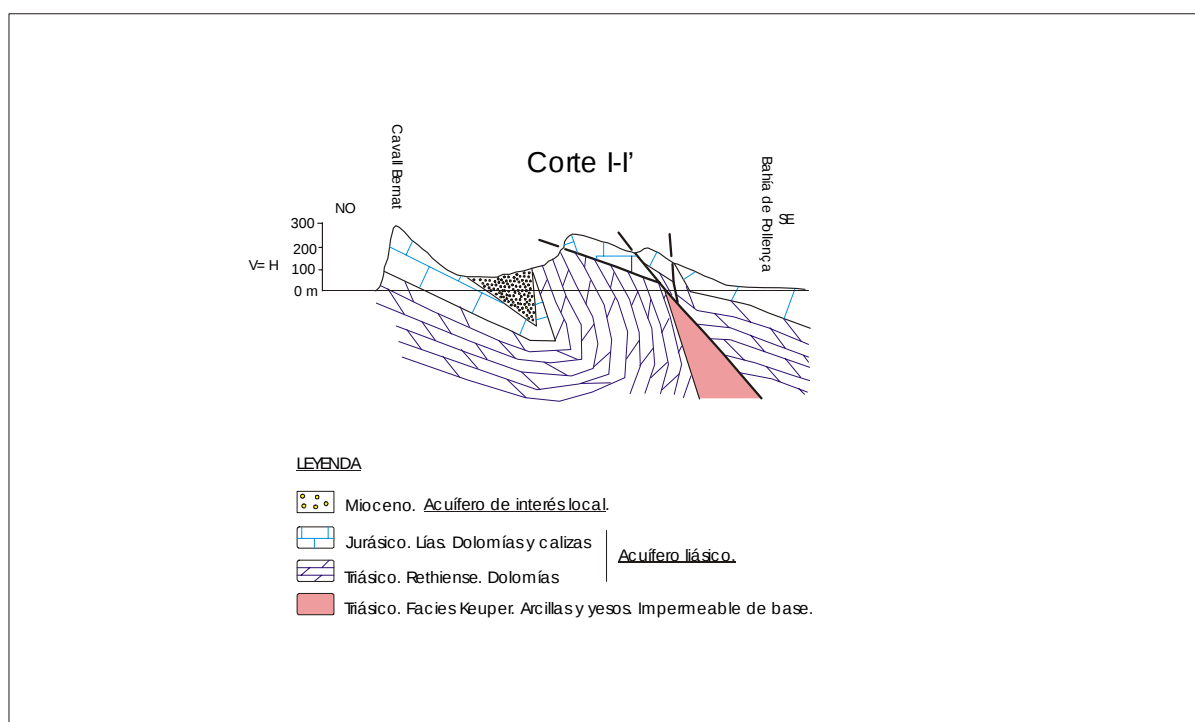


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.04 Formentor (modificado de “La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca”; Gelabert Ferrer, B 1.997)

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.

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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA FONTS DE SÓLLER (18.06).

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 $100 \text{ m}^2/\text{día}$ en el aluvial y entre 1 y $5 \text{ m}^2/\text{día}$ en el piedemonte, con caudales específicos de 10 L/s/m . Para el acuífero liásico se obtienen transmisividades que varían entre 5 y $1.000 \text{ m}^2/\text{día}$, reflejando una intensa anisotropía, y con un coeficiente de almacenamiento supuesto de $0,02$ a $0,06$.

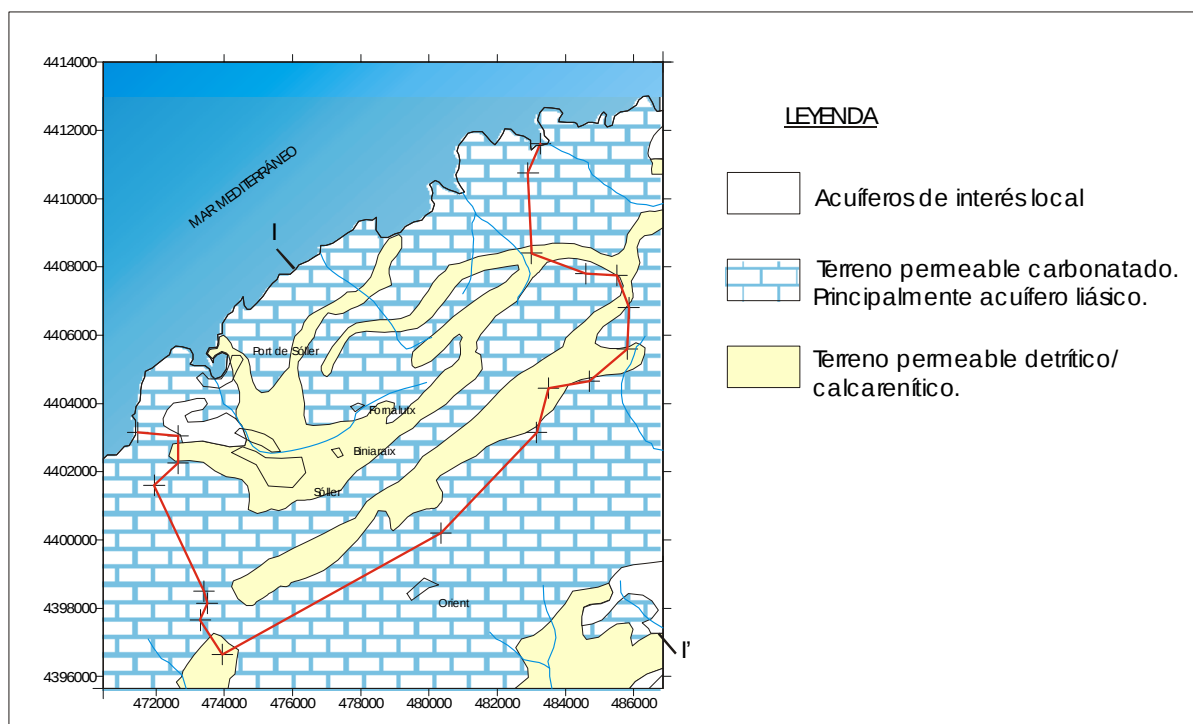


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.06 Fonts de Sóller (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

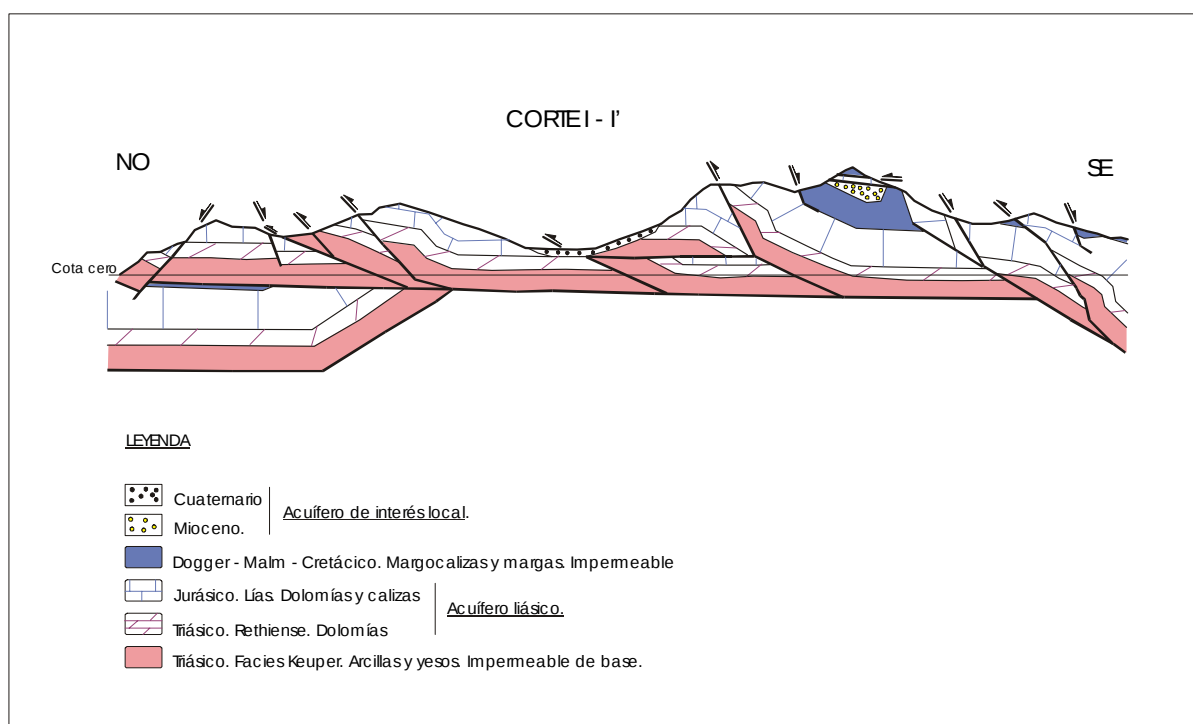


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.06 Fonts de Sóller (modificado de "La estructura geológica de la mitad occidental de la isla de Mallorca"; Gelabert Ferrer, B. 1.997)

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.

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 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 LLANO DE INCA - SA POBLA (18.11).

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.

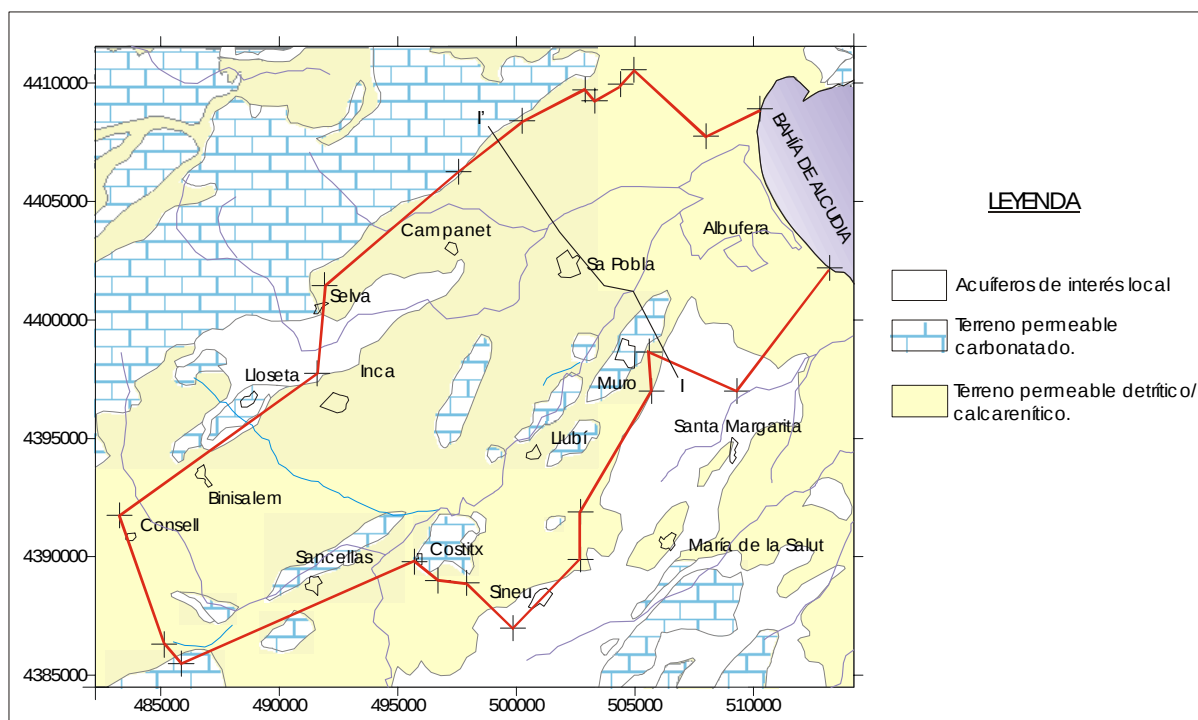


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico UH. 18.11 Llano de Inca-Sa Pobla (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

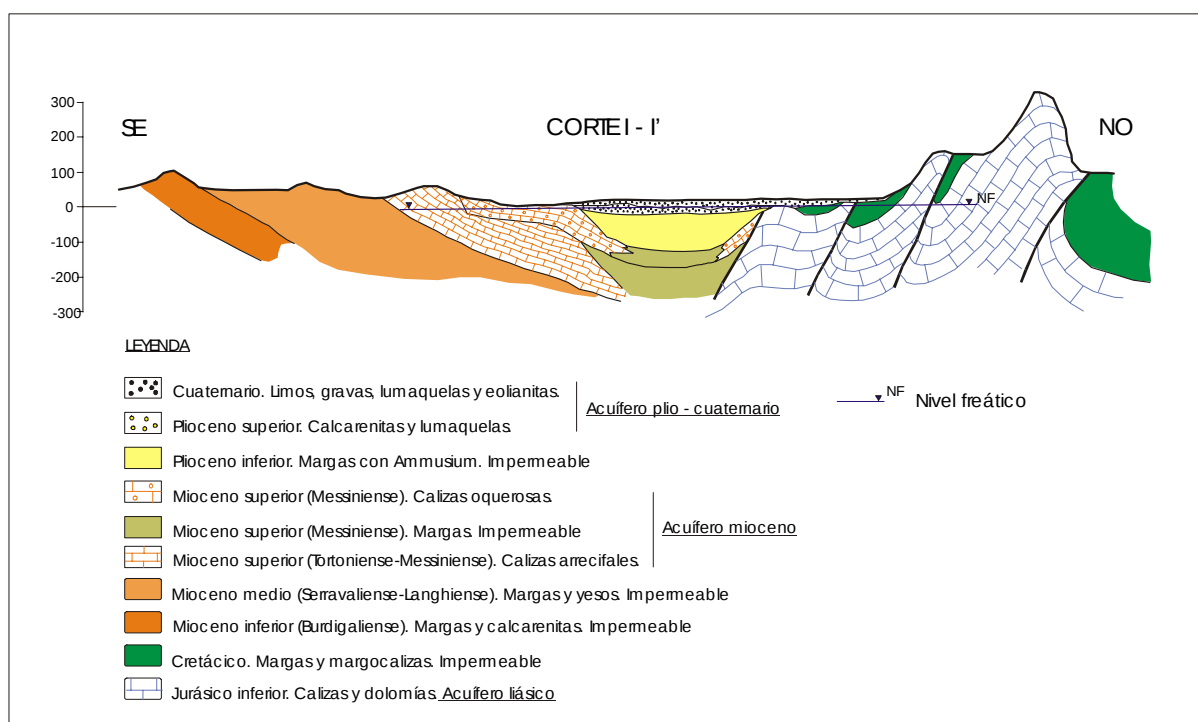
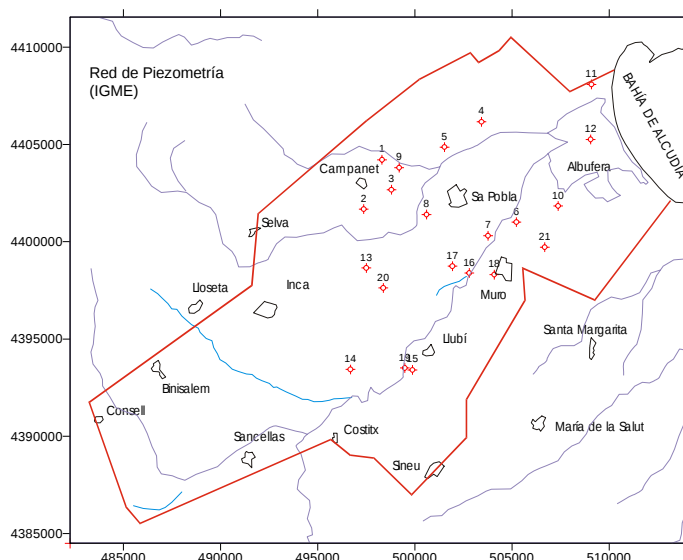


Figura 2.- Corte Hidrogeológico UH. 18.11 Llano de Inca-Sa Pobla (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidraulic, 1.987)

2. ANÁLISIS DE LA PIEZOMETRÍA Y SU EVOLUCIÓN.

Los datos para la elaboración de los mapas de piezometría proceden de las redes de control piezométrico del IGME y de la Junta d'Aigües de Balears, y que en conjunto superan el centenar de puntos de control, por lo que los mapas tienen una gran representatividad y rigor en el área cubierta.

Red de piezometría IGME				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	3926-2-0001	498309	4404214	40,06
2	3926-2-0002	497366	4401674	57,27
3	3926-3-0008	498795	4402672	46,56
4	3926-3-0023	503430	4406163	8,49
5	3926-3-0031	501526	4404864	14,23
6	3926-3-0032	505226	4401007	18,29
7	3926-3-0035	503768	4400308	14,04
8	3926-3-0039	500599	4401398	33,71
9	3926-3-0047	499192	4403807	30,87
10	3926-4-0001	507375	4401836	3,27
11	3926-4-0003	509089	4408085	10,41
12	3926-4-0933	509047	4405258	1,7
13	3926-6-0130	497500	4398653	66,98
14	3926-6-0131	496686	4393434	69,21
15	3926-7-0011	499876	4393410	49,8
16	3926-7-0013	502802	4398391	20,18
17	3926-7-0014	501935	4398744	29,08
18	3926-7-0022	504090	4398308	43,87
19	3926-7-0025	499482	4393509	47,69
20	3926-7-0031	498376	4397625	50,65
21	3926-8-0001	506684	4399718	44,62

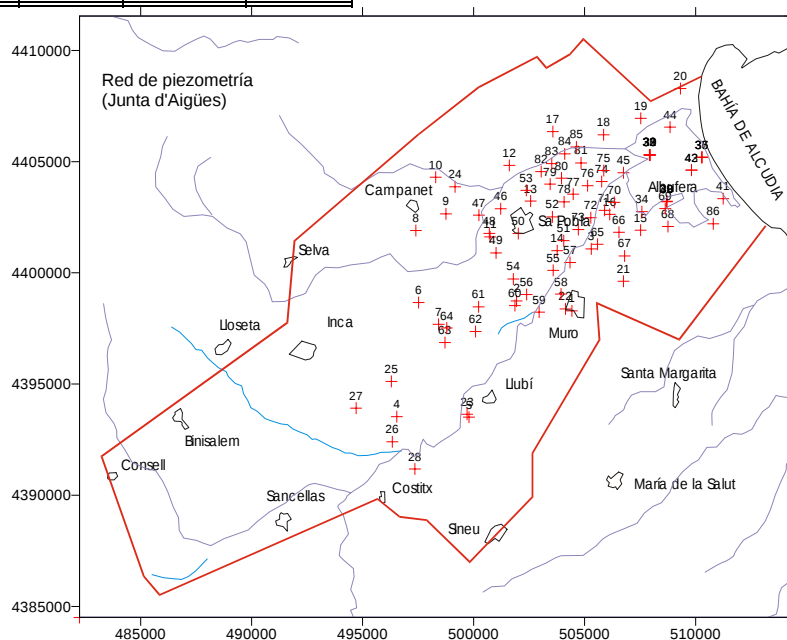


Red de piezometría Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)
1	S-1	504428	4398290	54,89
2	S-3	501939	4398740	29,08
3	S-5	505299	4401077	18,29
4	S-6	496545	4393533	69,21
5	S-7	499796	4393511	49,80
6	S-9	497523	4398667	66,98
7	S-10	498424	4397689	50,65
8	S-11	497399	4401906	57,21
9	S-12	498753	4402651	46,56
10	S-13a	498289	4404302	39,28
11	S-14	500745	4401619	33,71
12	S-15	501611	4404833	14,23
13	S-16	502563	4403226	16,43
14	S-18	503767	4401001	14,04

15	S-19	507523	4401915	3,48
16	S-19b	506129	4402627	5,01
17	S-21	503569	4406349	8,49
18	S-22	505854	4406207	2,31
19	S-23	507532	4406946	6,17
20	S-24	509316	4408284	10,41
21	S-26	506750	4399625	44,62
22	S-27	504135	4398375	43,87
23	S-28	499706	4393638	48,11
24	S-30	499166	4403869	30,87
25	INP-3	496300	4395115	79,10
26	INP-4	496340	4392400	71,00
27	INP-5	494705	4393918	93,85
28	INP-6	497351	4391179	90,55
29	A-1	507950	4405300	2,16
30	A-1'	507940	4405300	2,15
31	A1''	507934	4405299	2,65
32	A-1'''	507926	4405299	2,12

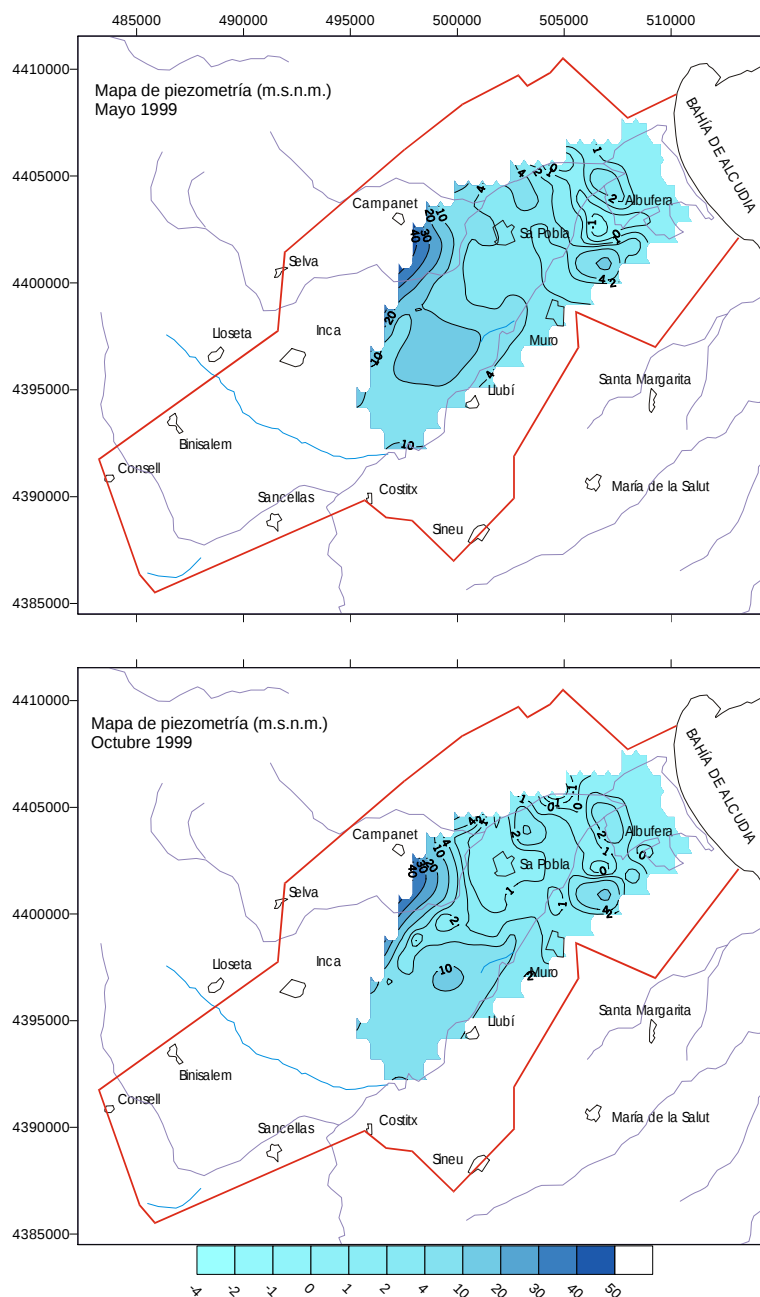
33	A-1'''	507918	4405298	2,11
34	A-2	507580	4402750	2,77
35	A-3	510285	4405210	1,76
36	A-3'	510280	4405195	1,76
37	A-3''	510275	4405185	1,77
38	A-4	508700	4403200	1,68
39	A-4'	508695	4403205	1,50
40	A-4''	508710	4403220	1,51
41	A-5	511240	4403340	1,61
42	A-6 g	509820	4404625	1,18
43	A-6 f	509815	4404615	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

62	173	500089	4397358	28,24
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.



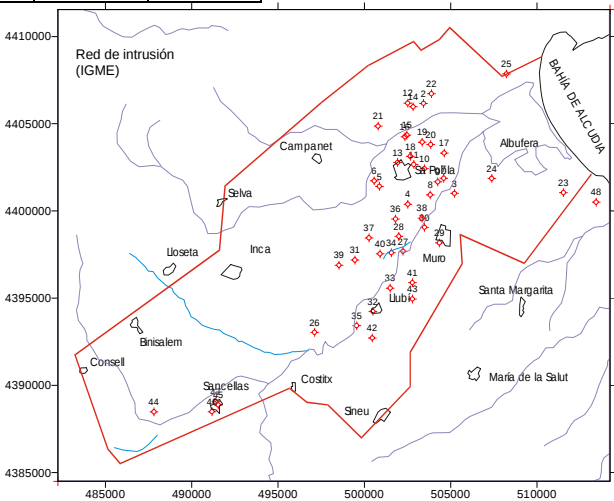
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

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.

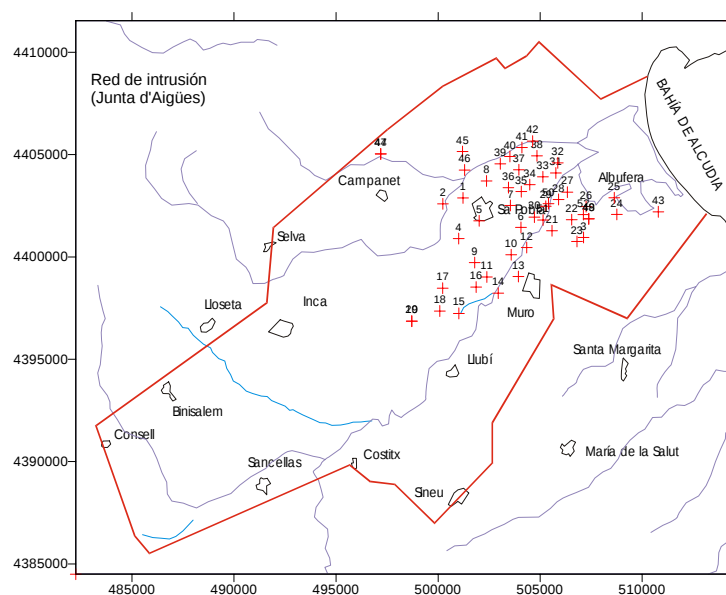
Red de intrusión IGME				
Nº	Punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	3827-4-0125	479950	4389600	132
2	3926-3-0023	503430	4406163	8.49
3	3926-3-0144	505221	4401007	14
4	3926-3-0194	502520	4400383	25
5	3926-3-0249	500871	4401409	45
6	3926-3-0294	500569	4401727	45
7	3926-3-0406	504598	4401875	9
8	3926-3-0492	503814	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



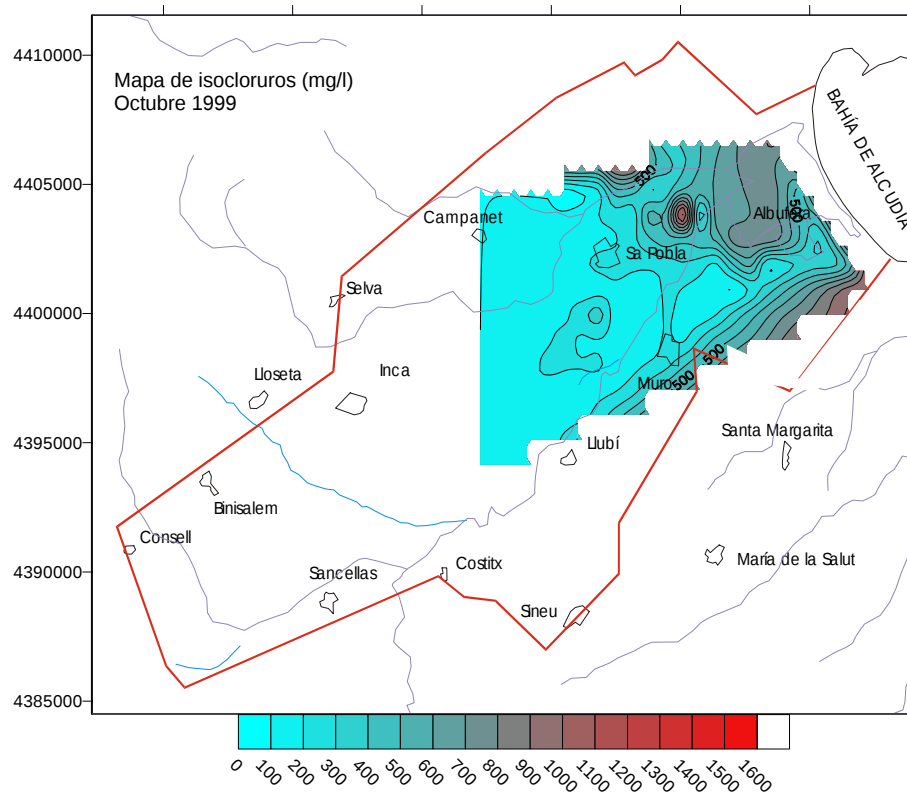
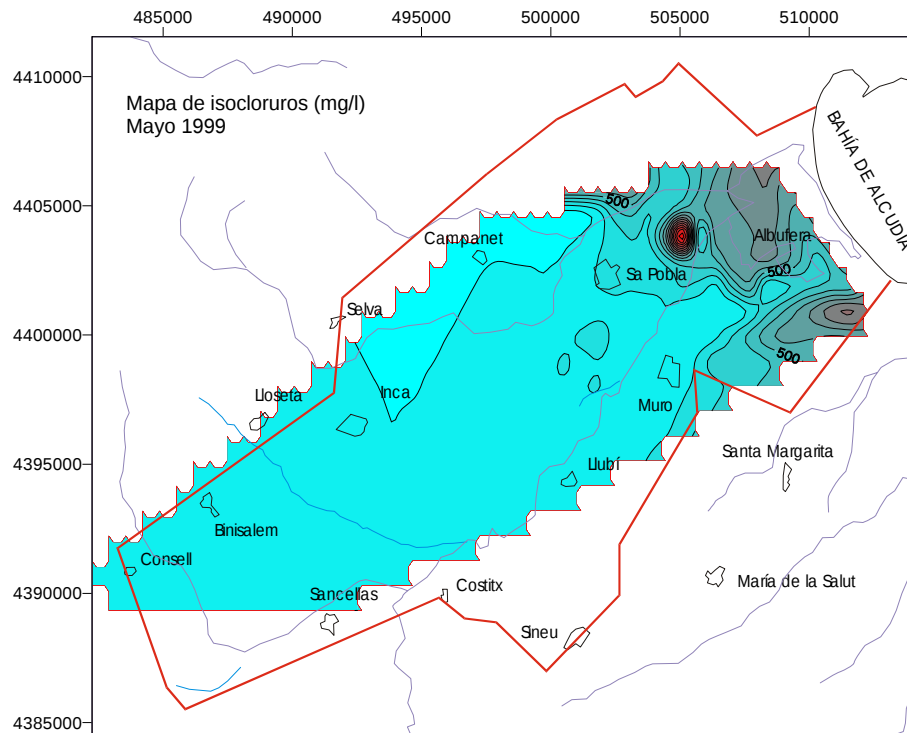
Red de intrusión Junta d'Aigües de Balears				
Nº	Punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
Inca-Sa Pobla				
1	8	501221	4402888	22.75
2	13	500238	4402599	27.97
3	15	507125	4400950	32.54
4	19	501011	4400898	36.09
5	34	502017	4401767	25.59
6	43	504057	4401445	13.02
7	66	503544	4402519	12.96
8	82	502374	4403714	13.76
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

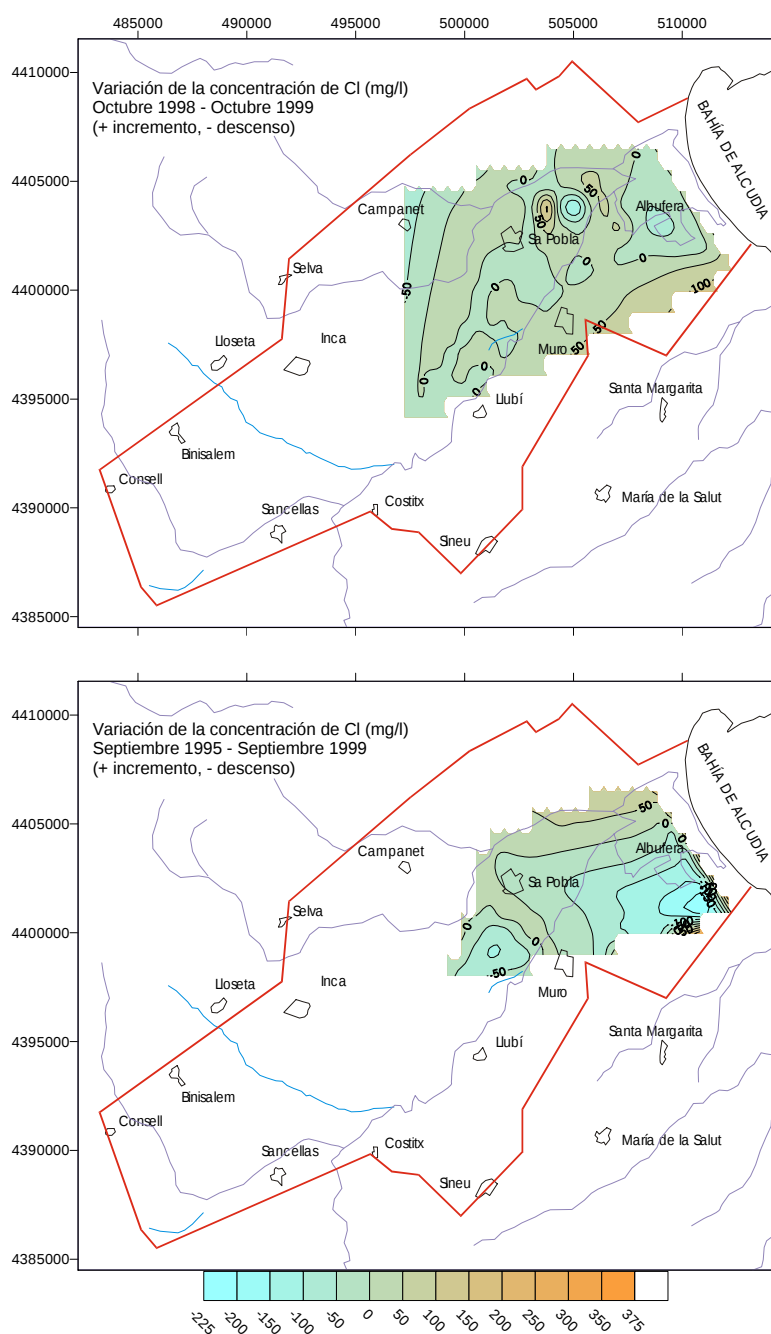
subterráneas en el riego agrícola de la zona Sa Pobra - Muro, se observa en el mapa de isocontenidos en cloruros para mayo de 1.999 una alta concentración de este ión, que supera los 1.300 mg/L en la zona inmediatamente al NE de Sa Pobra, y alcanza más de 800 mg/L al N de Sa Pobra y en el límite meridional 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,

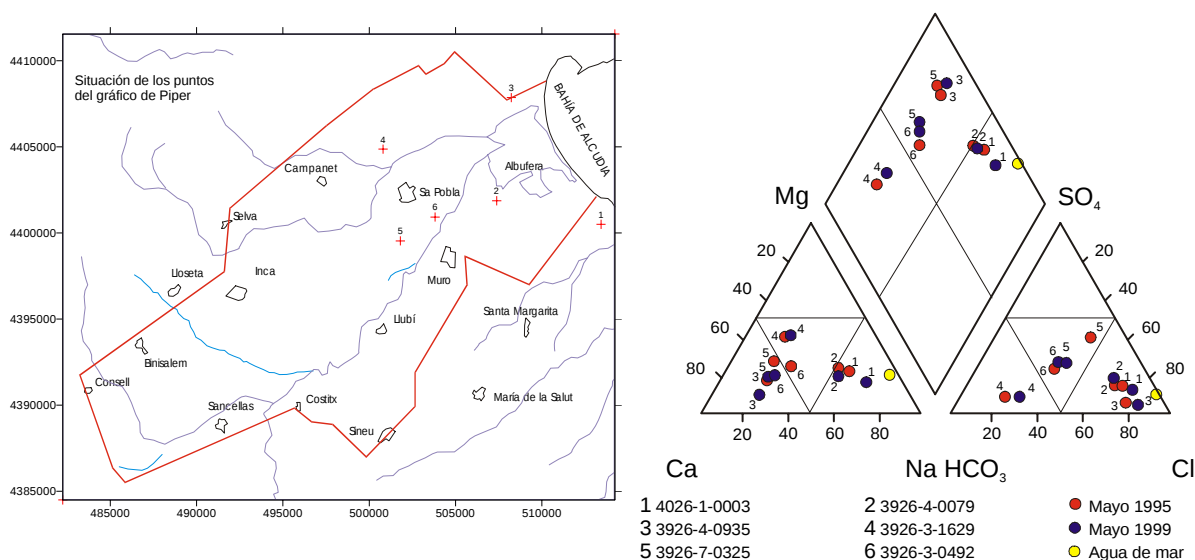
destacando un ligero avance de la intrusión marina en el borde meridional de la unidad, y un ligero descenso al NE de Sa Pobra.

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 Pobra 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 Pobra y Muro, así como de forma menos acusada al NO de esta última localidad. En el resto la tendencia es estable o ligeramente ascendente.



3.1. 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 Pobla 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.

3.2. 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.

3.3. 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.

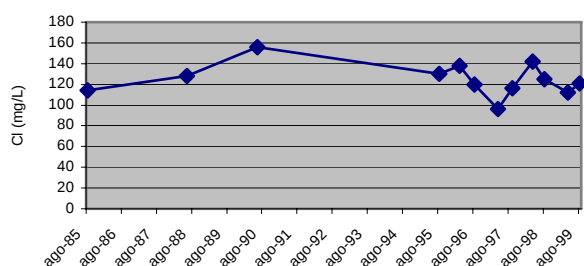
La unidad hidrogeológica de Inca - Sa Pobra presenta en la actualidad dos áreas claramente diferencias. En el subsector de Sa Pobra, las aguas presentan en general una mala calidad debido a la elevada concentración de ión nitrato, que no queda reflejado en este estudio. Su concentración máxima puede 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.

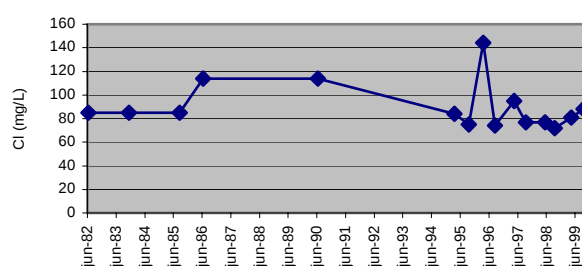
3.4. Evolución previsible y posibles actuaciones.

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.

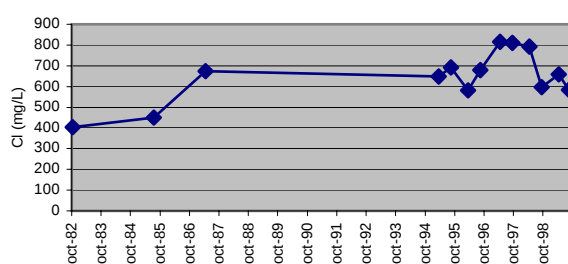
Evolución Cl. Punto 3926-3-0492



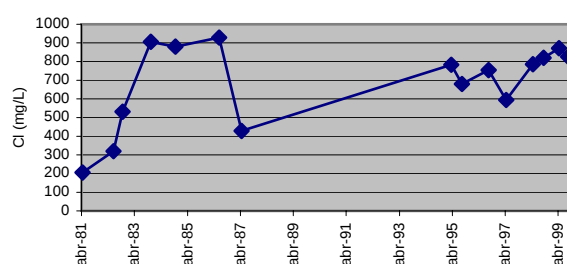
Evolución Cl. Punto 3926-3-1629



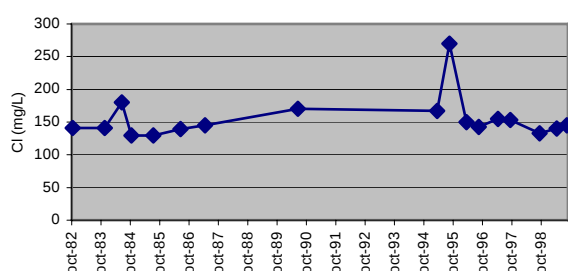
Evolución Cl. Punto 3926-4-0079



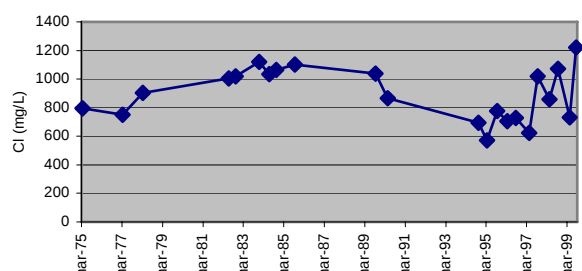
Evolución Cl. Punto 3926-4-0935



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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA CALVIÁ (18.12).

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.

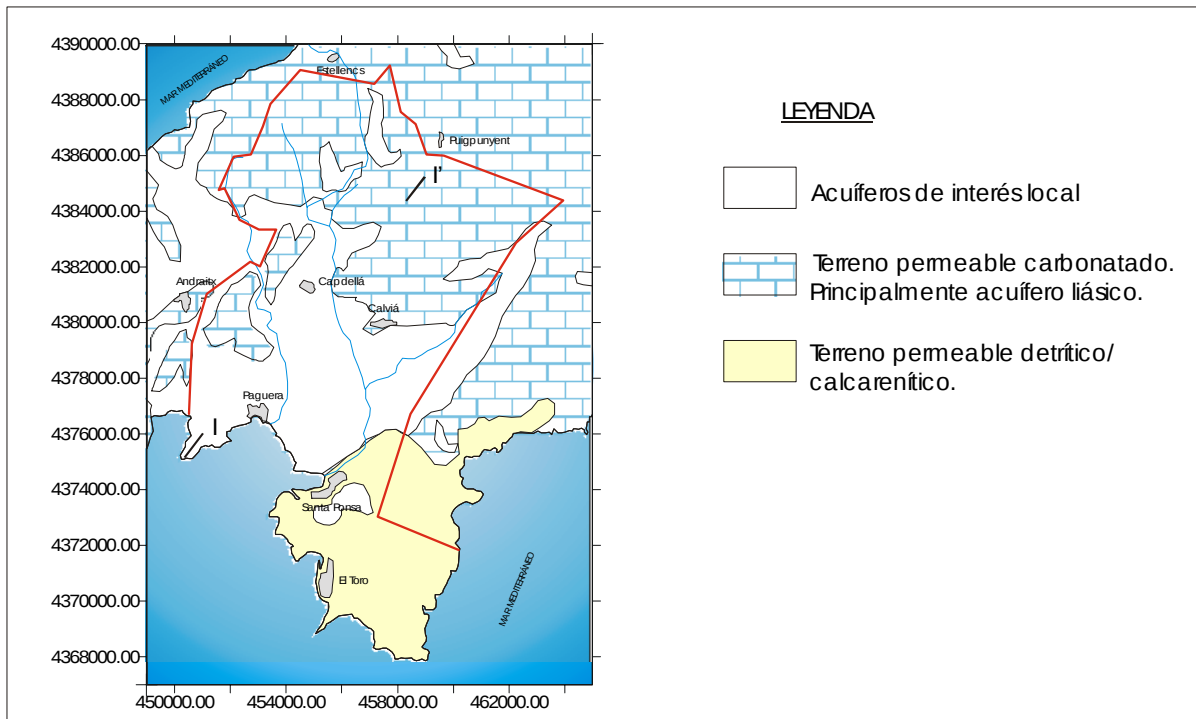


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.12 Calvià (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

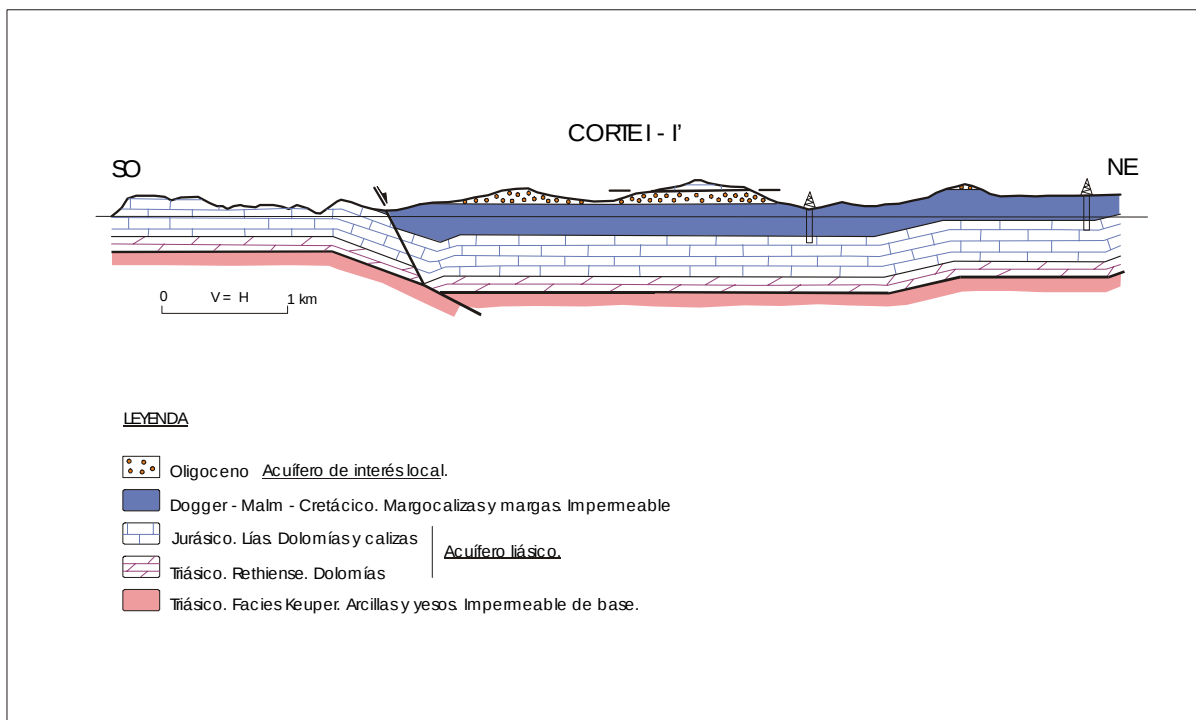


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.12 Calvià (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calvià-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

2. ANÁLISIS DE LA PIEZOMETRÍA Y SU EVOLUCIÓN.

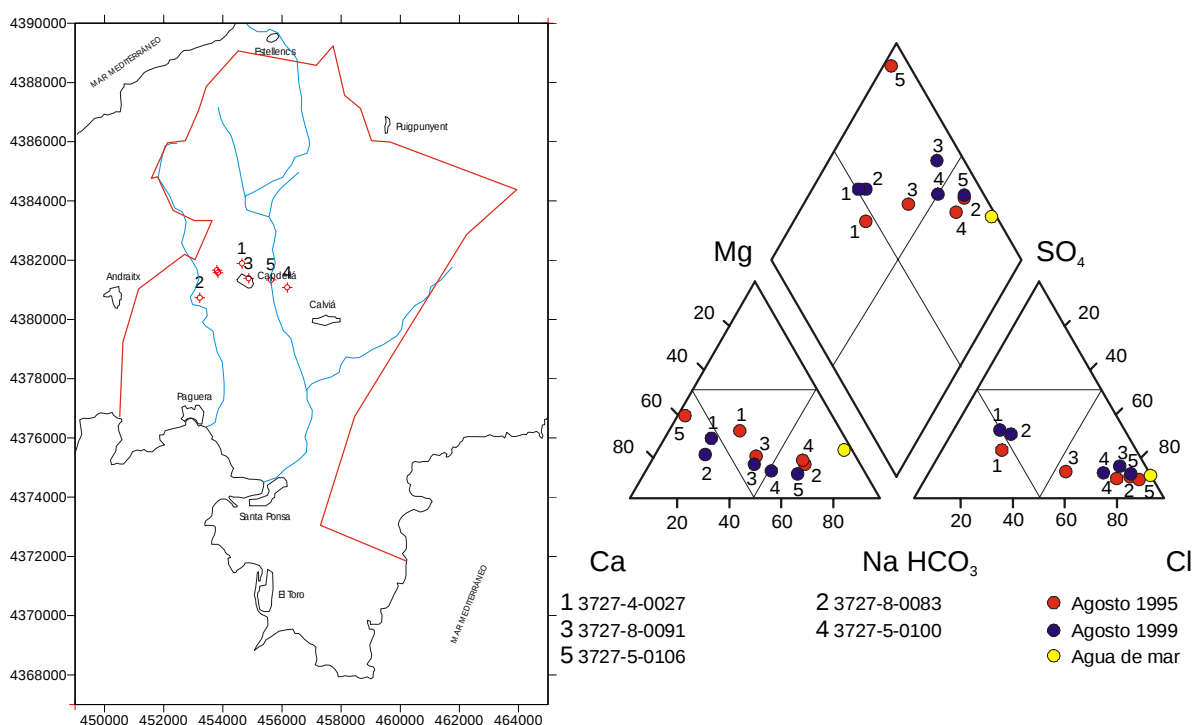
El IGME posee una red de control piezométrico de 11 puntos en esta unidad, algunos de ellos de muy reciente incorporación, y otros pertenecientes a red antiguas que no tienen un registro histórico completo. Los datos por lo tanto no presentan una densidad suficiente de puntos en la actualidad que permitan 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.

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.

3.1. 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.

3.2. 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		rHCO3/rCl		rSO4/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.

3.3. Diagnóstico del estado actual del acuífero.

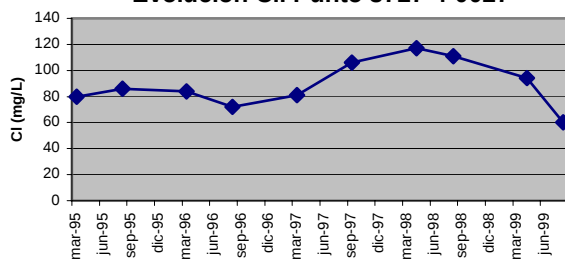
La unidad de Calviá presenta en la actualidad un problema de sobreexplotación, siendo mayor el volumen de las extracciones realizada que el del agua recargada en el sistema. Este hecho ha dado lugar a un progresivo descenso de los niveles piezométricos, especialmente en la zona de Capdellá, hasta situarse 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.

3.4. Evolución previsible y posibles actuaciones.

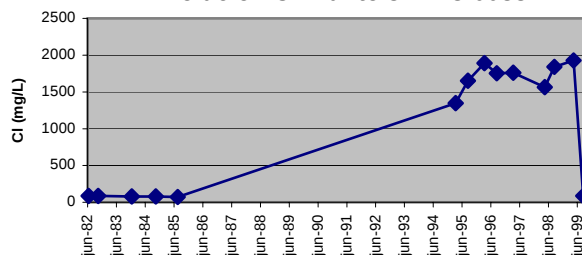
Pese a que en los últimos años (1.995-1.999) se registra una tendencia al descenso en la concentración en ión cloruro en las muestras analizadas, el registro histórico a largo plazo muestra un aumento progresivo de la concentración. Este hecho, unido a la intensa sobreexplotación de algunos sectores 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.

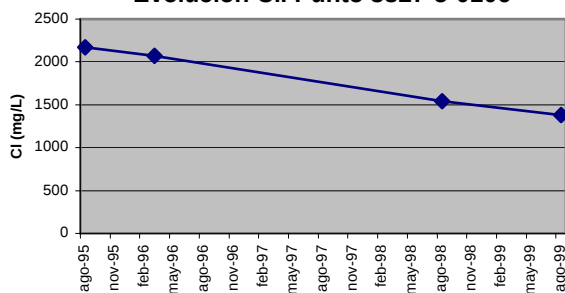
Evolución Cl. Punto 3727-4-0027



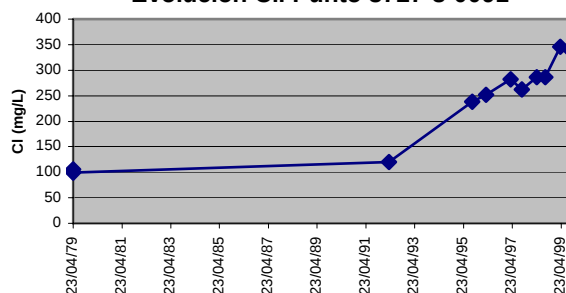
Evolución Cl. Punto 3727-8-0083



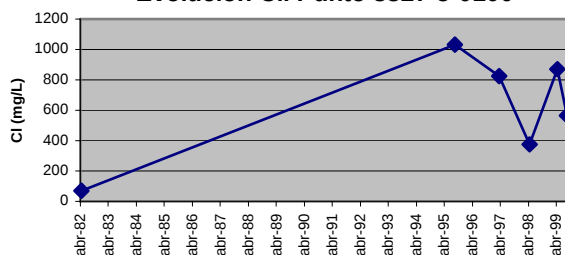
Evolución Cl. Punto 3827-5-0106



Evolución Cl. Punto 3727-8-0091



Evolución Cl. Punto 3827-5-0100



UNIDAD HIDROGEOLÓGICA NA BURGUESA (18.13).

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 m²/día.

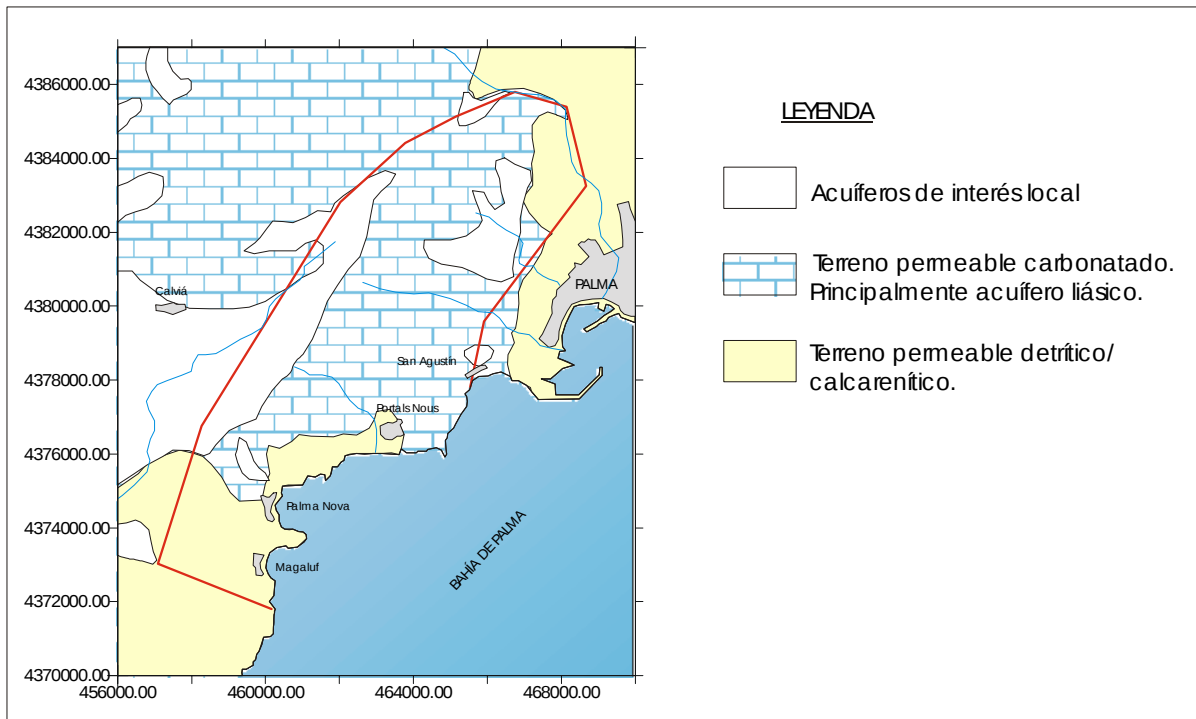


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.13 Na Burguesa (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

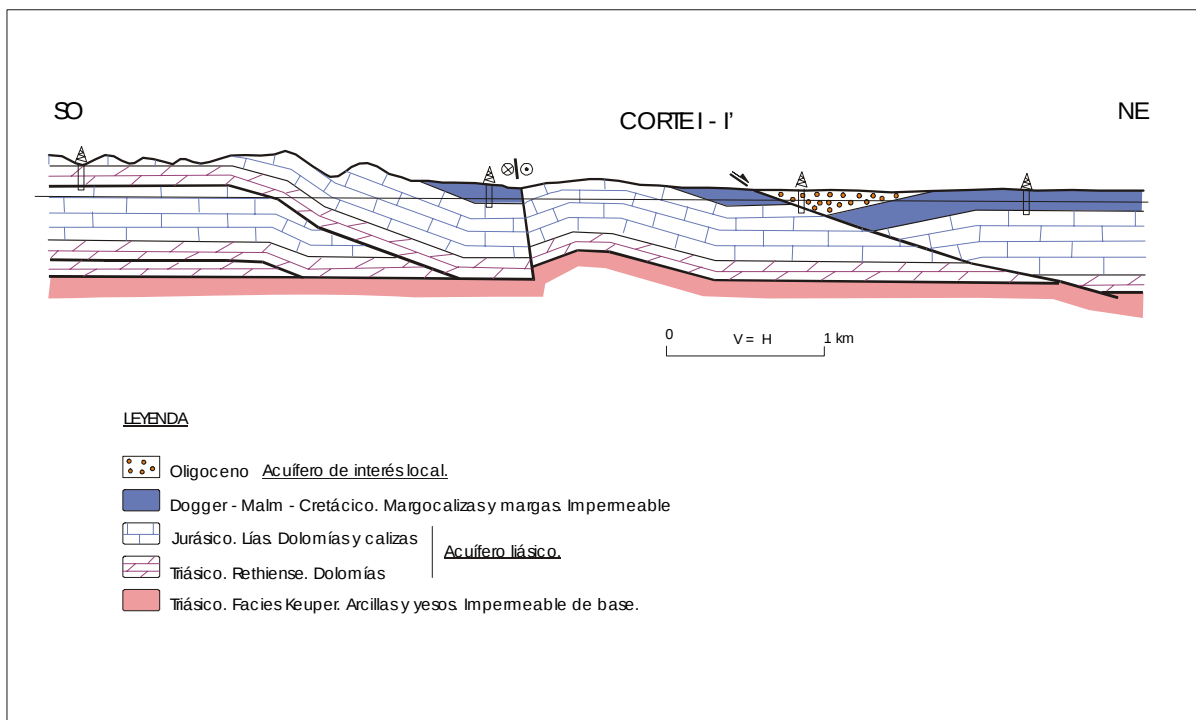


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.13 Na Burguesa (modificado de Actualización de la Hidrogeología de las Unidades de Na Burguesa-Calviá-Andratx, Junta d'Aigües de Balears, 1.997)

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.

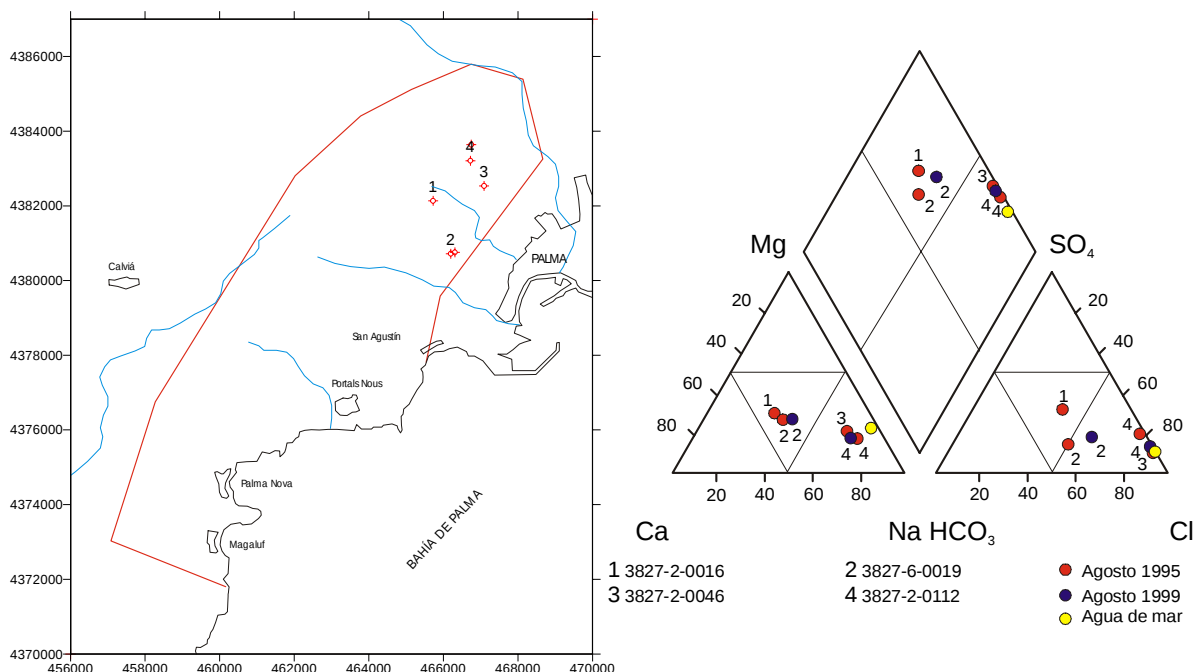
La escasa densidad de puntos y su particular distribución hacen impiden la realización de un mapa de isopiezas significativo para esta unidad.

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.

3.1. 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.

3.2. 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		rHCO3/rCl		rSO4/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 rHCO₃/rCl, y rSO₄/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.

3.3. 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.

3.4. 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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA LLANO DE PALMA (18.14)

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 - Tortonense). 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 Tortonense-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 aquitanenses) 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 - Tortonense 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.

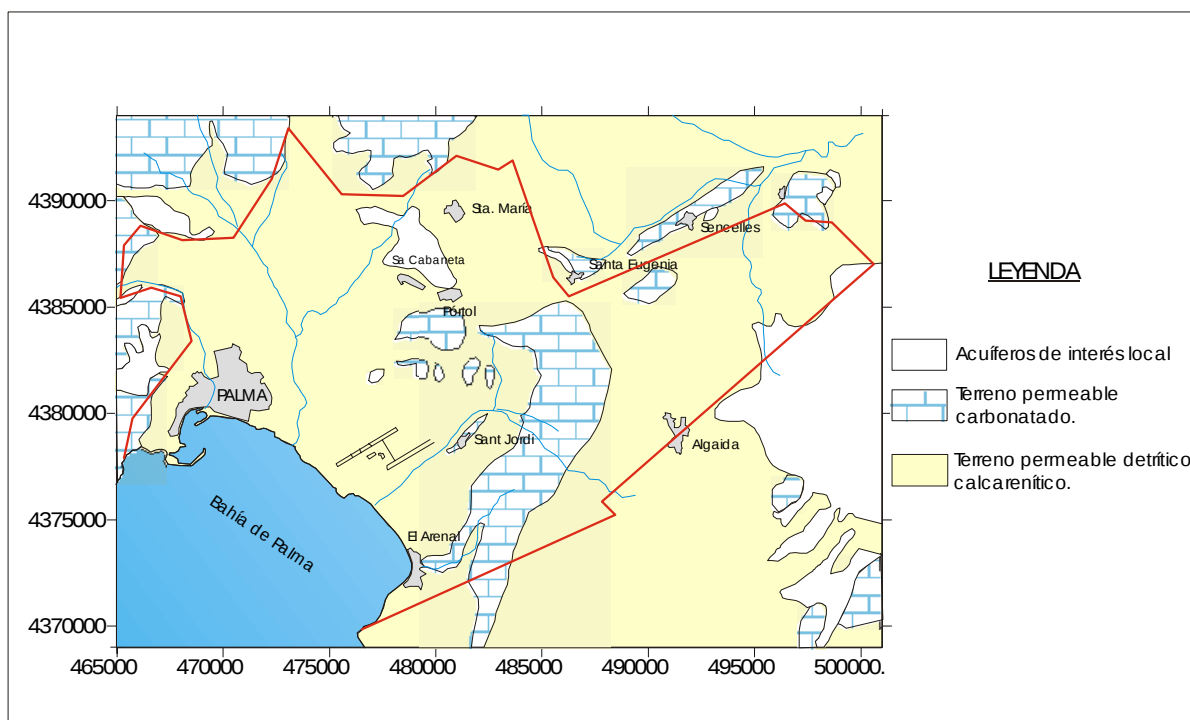


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico UH. 18.14 Llano de Palma (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la “Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares”, Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

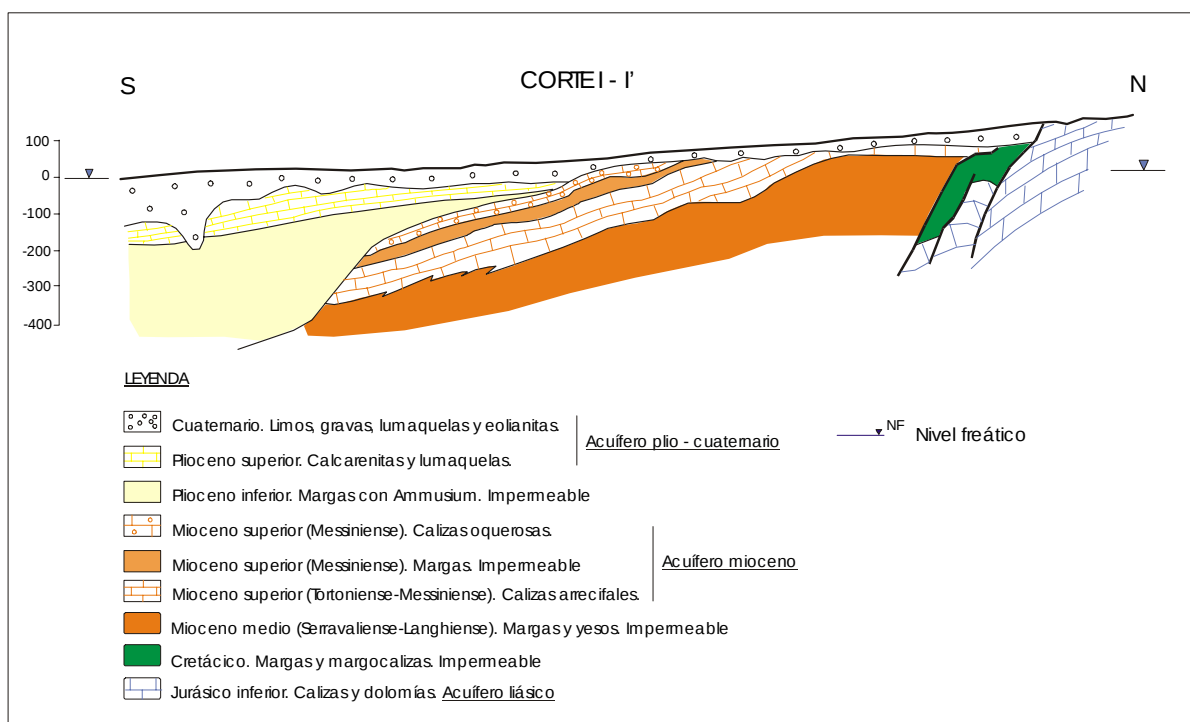


Figura 2.- Corte Hidrogeológico UH. 18.14 Llano de Palma (modificado de “Hidrogeológico de la isla de Mallorca”; Direcció General DÓbres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

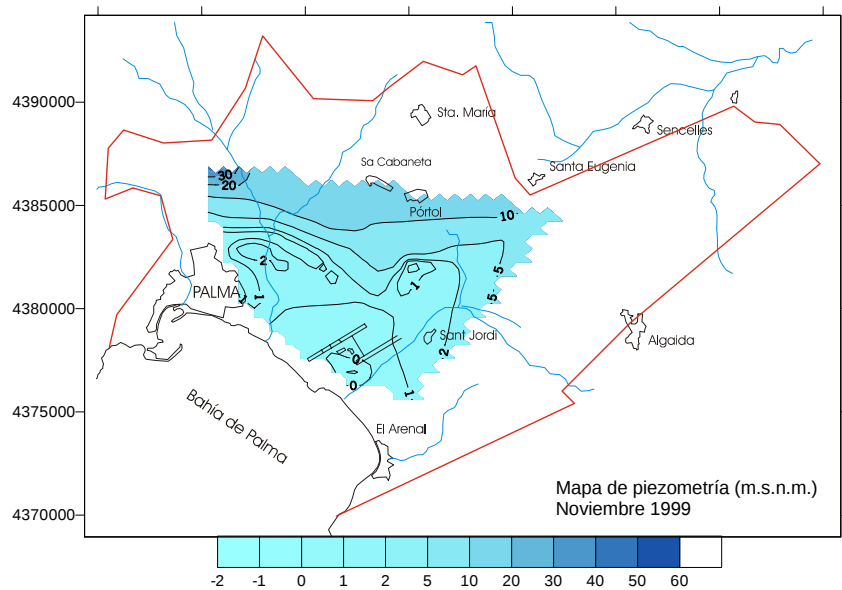
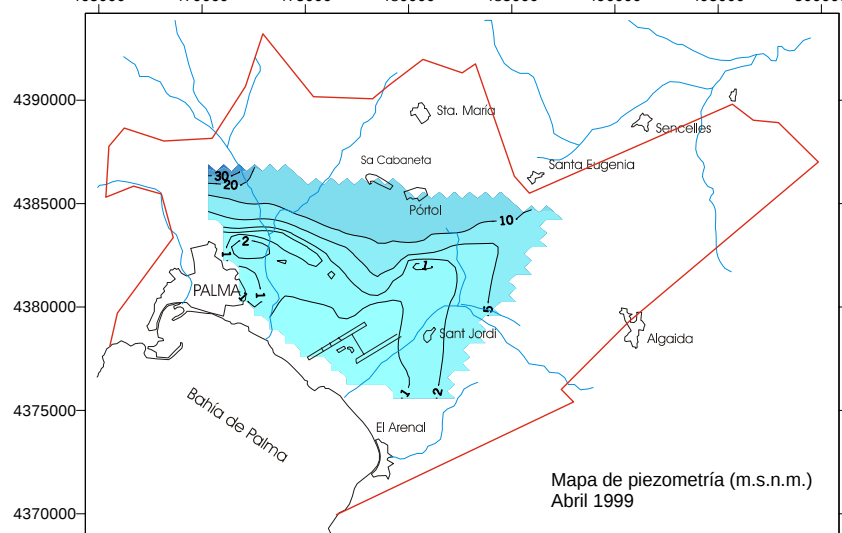
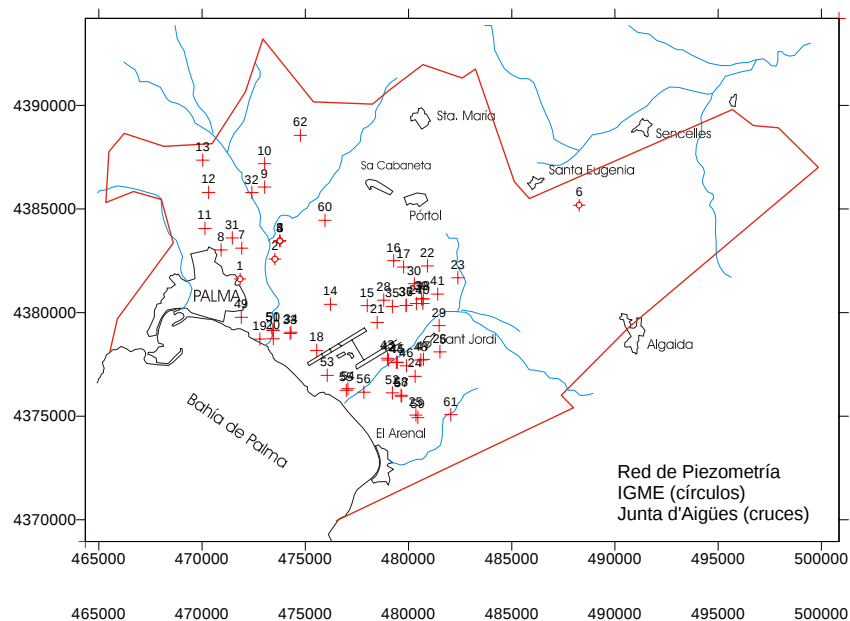
2. ANÁLISIS DE LA PIEZOMETRÍA Y SU EVOLUCIÓN.

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



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.

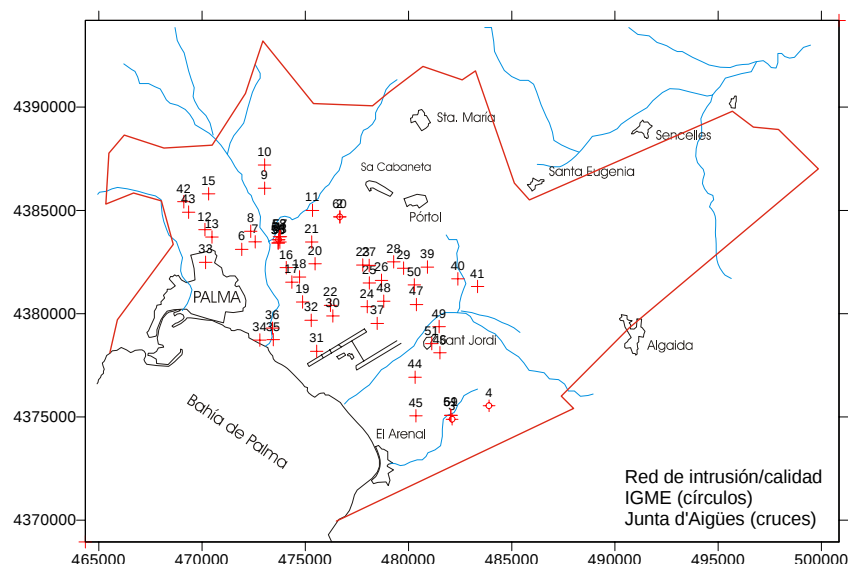
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

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

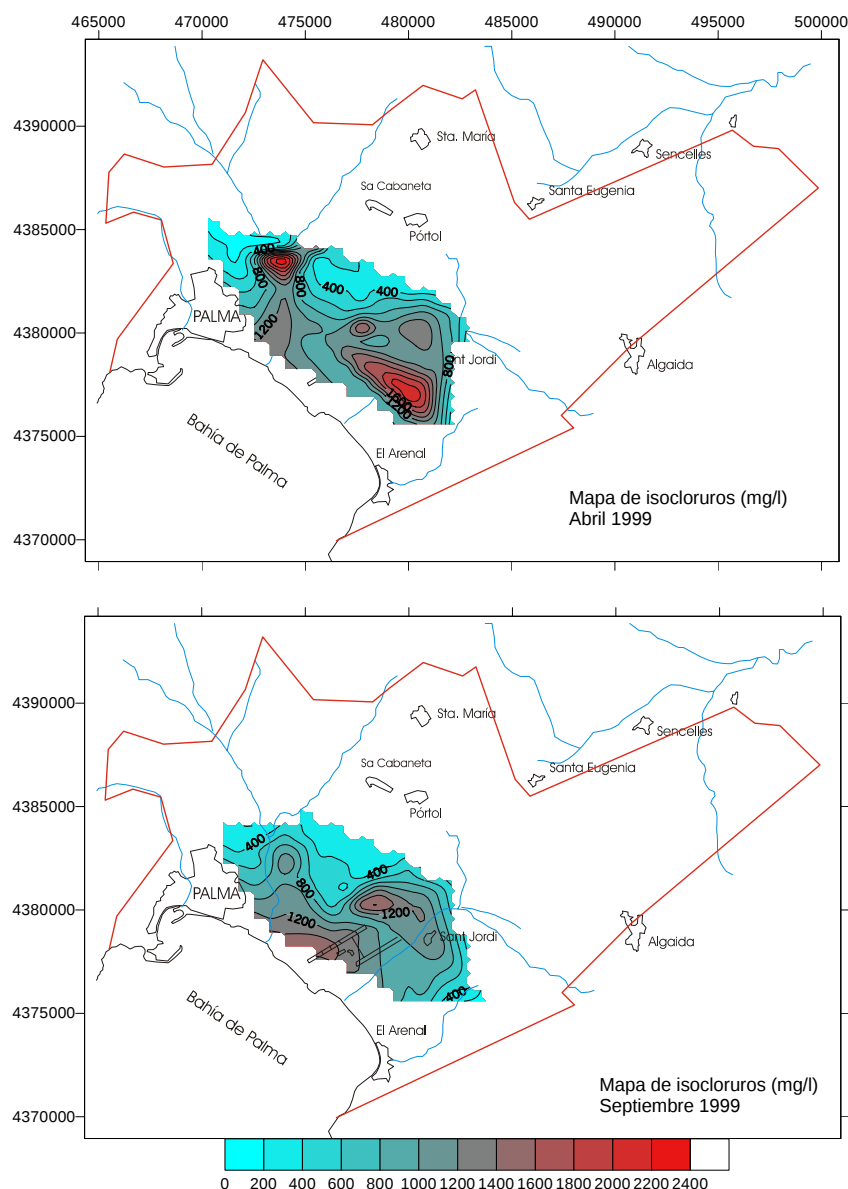


El análisis del mapa de isocontenido en cloruros para abril de 1.999 es muy significativo del grado de intrusión marina que sufre esta unidad, si bien su comparación con el de septiembre del mismo año que parece indicar una notable mejoría en algunos sectores debe ser considerado con gran reserva como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

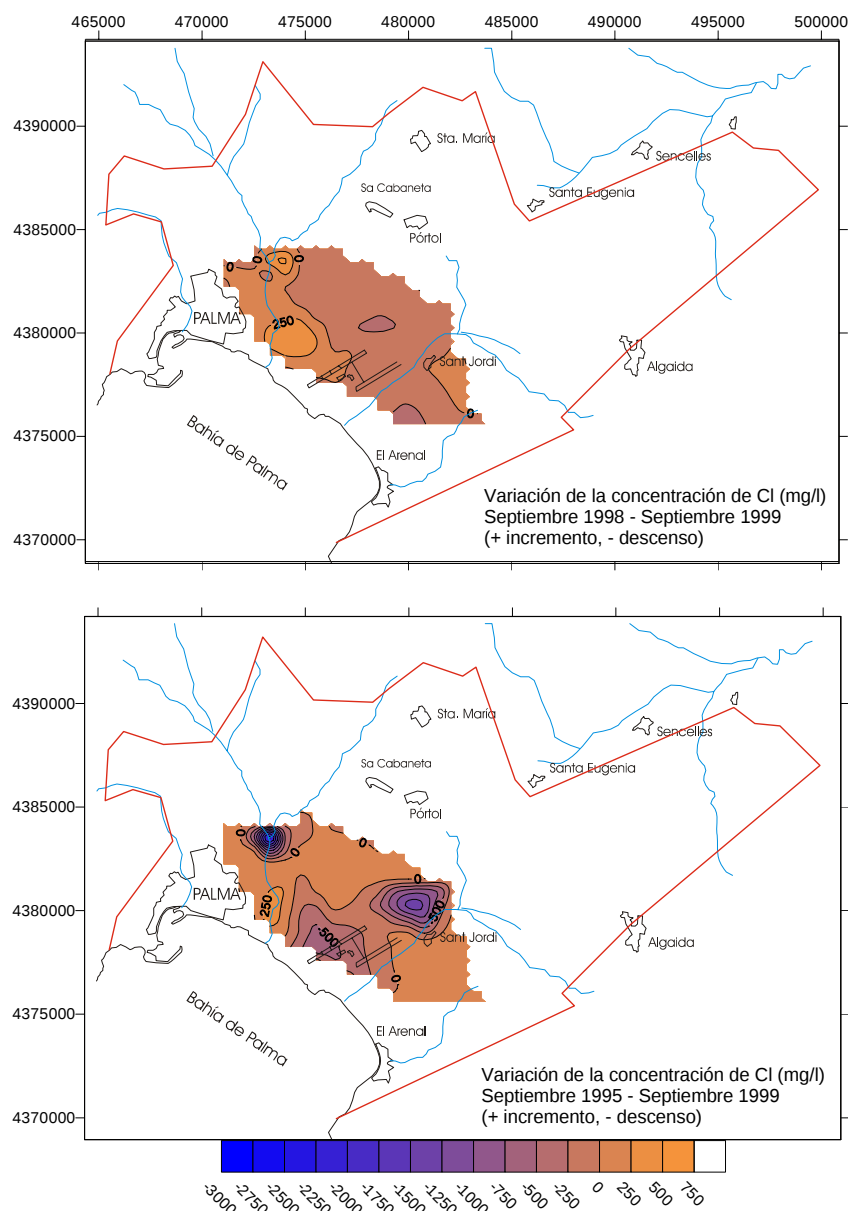
En abril de 1.999 se detectan varios focos de intrusión. Así, el acusado domo salino que se observa al NE de la localidad de Palma corresponde con las explotaciones del Pont d'Inca para el abastecimiento de la capital. En esta zona el acuífero se encuentra fuertemente salinizado, y el agua bombeada se 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 la tendencia general al empeoramiento tras el verano, en contra de lo que parece deducirse del mapa.



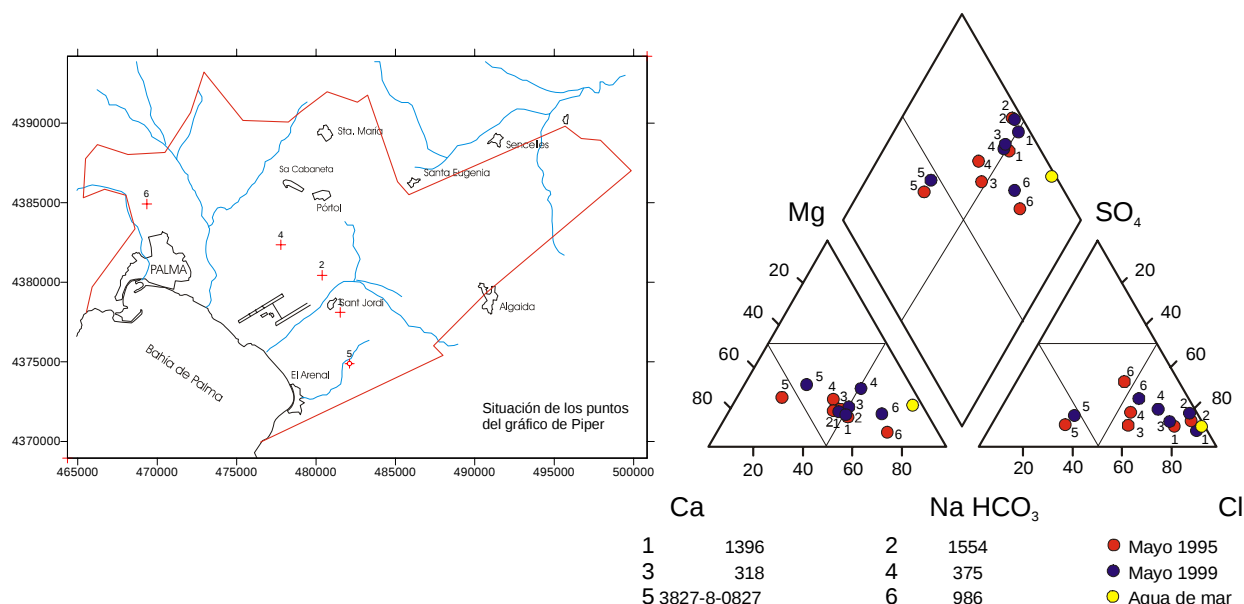
En el mapa de evolución de cloruros a corto plazo (1 año) se observa un incremento en la concentración de cloruros en el sector del Pont d'Inca, con incrementos que superan los 250 mg/L, así como en el sector inmediatamente al E de la localidad de Palma. En el resto la tendencia general es estable con 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.



3.1. 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.

3.2. 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 $r\text{HCO}_3/r\text{Cl}$ 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.

3.3. 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 aumentos 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.

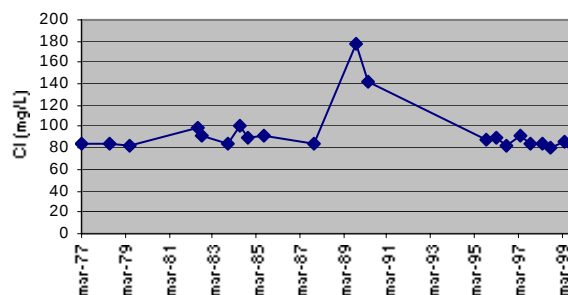
3.4. Evolución previsible y posibles actuaciones.

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.).

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA MARINETA (18.16).

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.

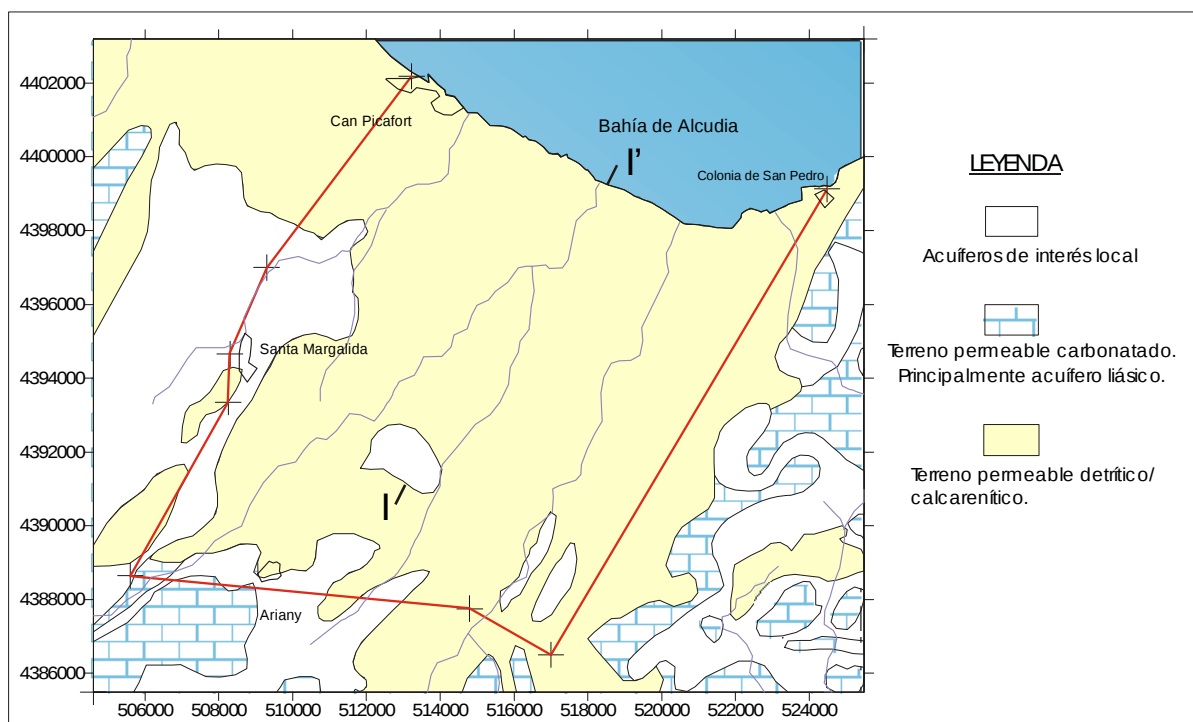


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.16 Marineta (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

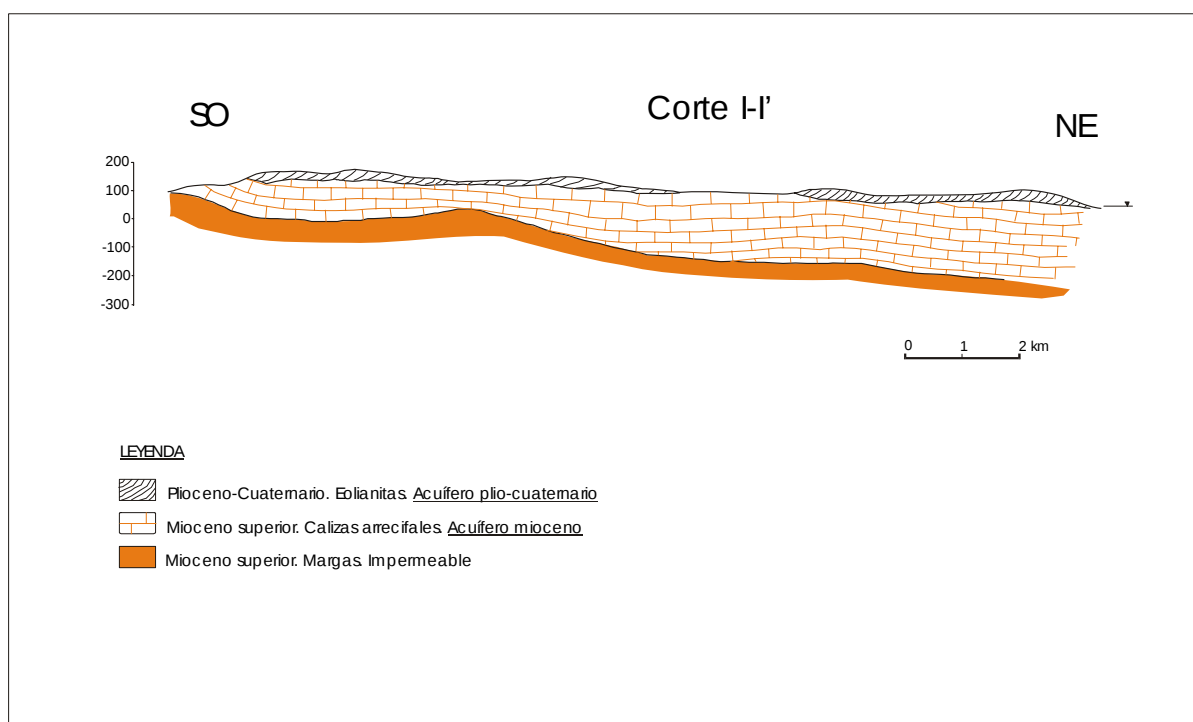


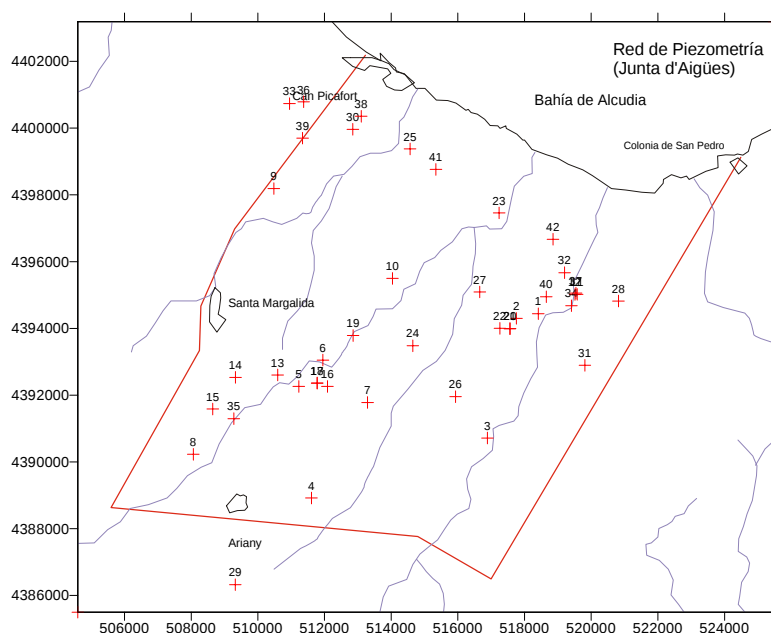
Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.16 Marineta (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidraulic, 1.987)

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

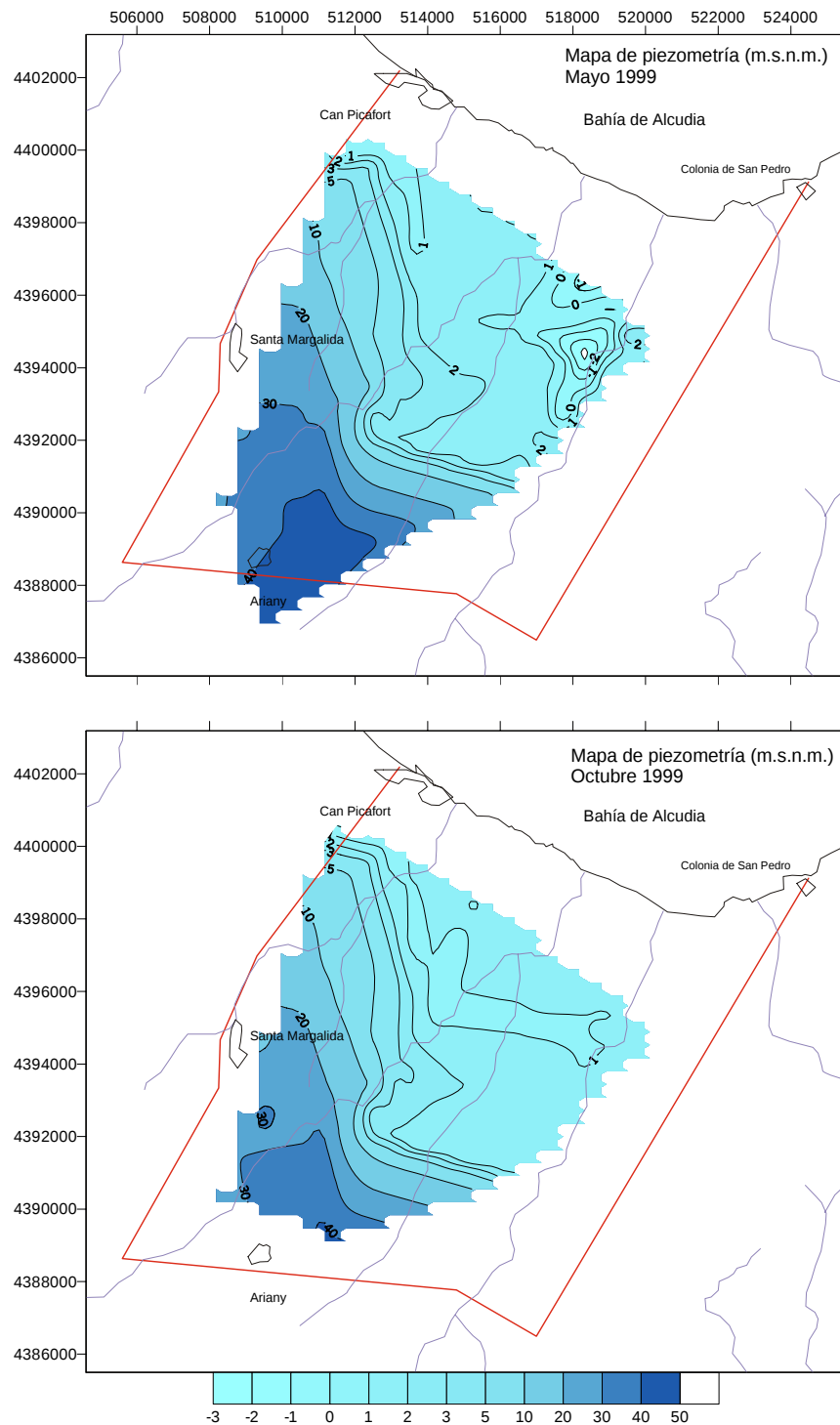
21	SM-9 gruixat	517560	4393990	72,18
22	SM-9b	517258	4394003	72,18
23	SM-10	517240	4397460	6,91
24	SM-11	514650	4393480	82,37
25	SM-12	514564	4399375	30,83
26	SM-13	515930	4391955	86,64
27	SM-14	516656	4395090	48,00
28	SM-15	520815	4394820	74,81
29	Ca'n Oliver	509325	4386325	64,11
30	Ca'n Xigaló	512850	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.



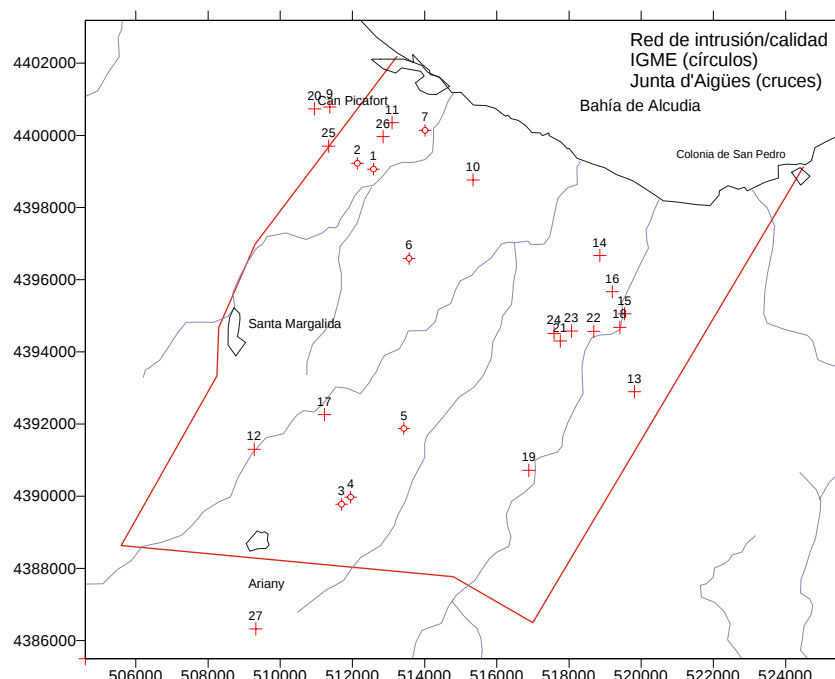
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

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.

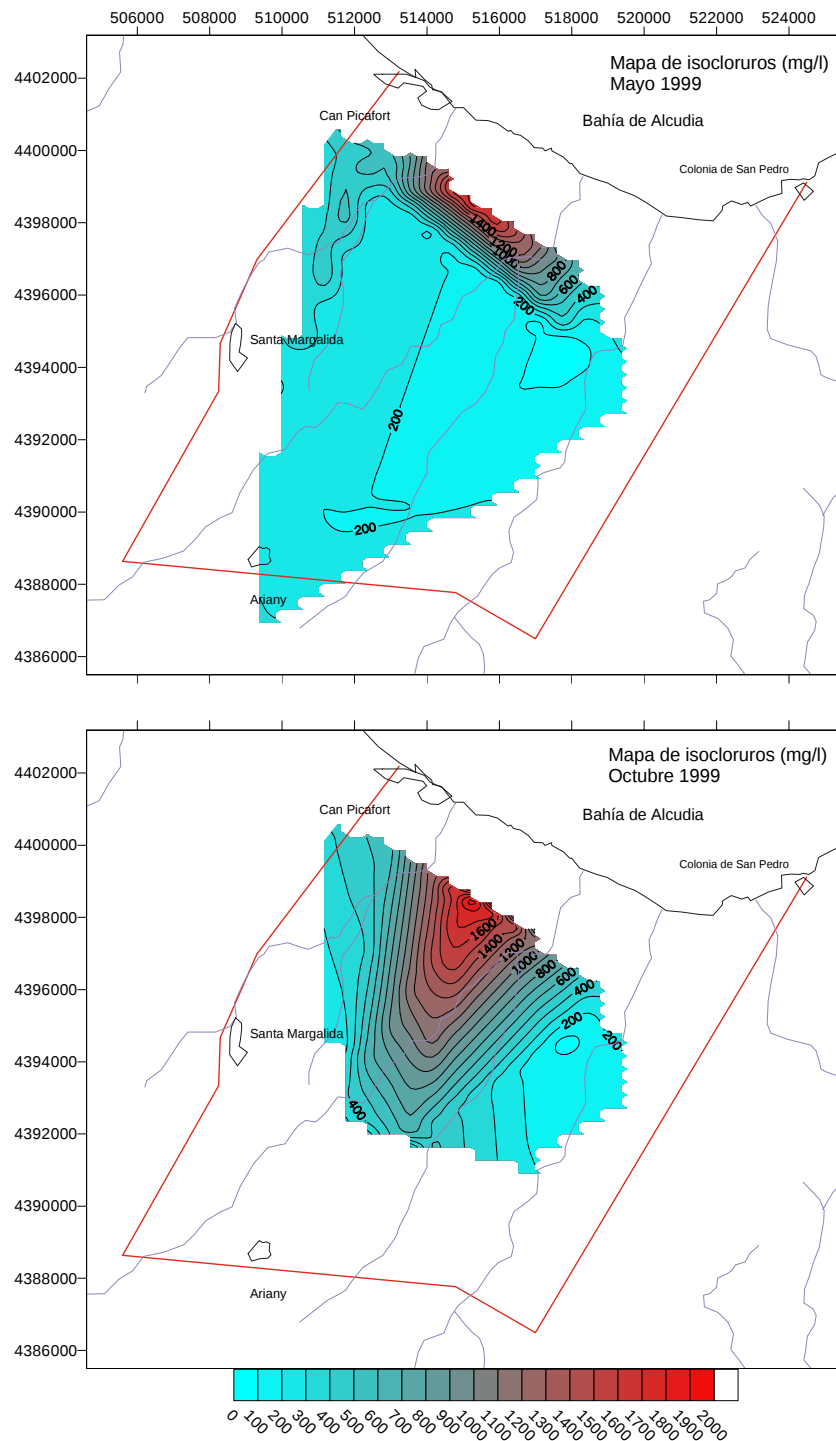
Red de intrusión IGME				
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)
1	3926-8-0028	512585	4399063	36
2	3926-8-0132	512137	4399225	40
3	3927-4-0190	511700	4389775	102
4	3927-4-0191	511950	4389975	101
5	4026-5-0028	513425	4391875	85.39
6	4026-5-0035	513573	4396589	76.5
7	4026-5-0036	514012	4400138	29

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



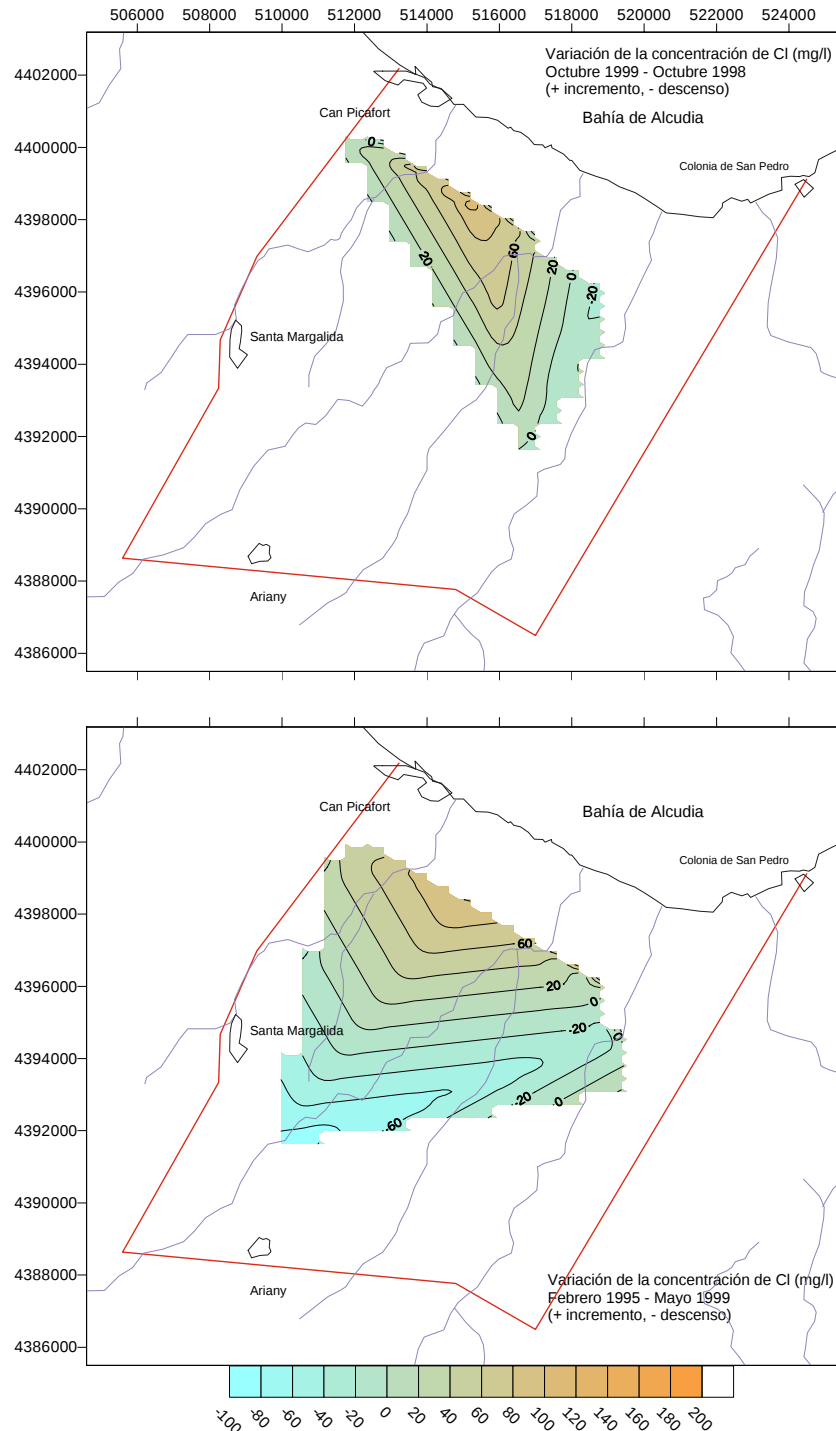
El análisis del mapa de isocloruros para mayo de 1.999 indica que existe un proceso de intrusión marina generalizado en todo el frente costero de la unidad, que llega a extenderse hasta más de 3 km hacia el interior, con concentraciones máximas en el sector central de la línea costera donde se llegan 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.

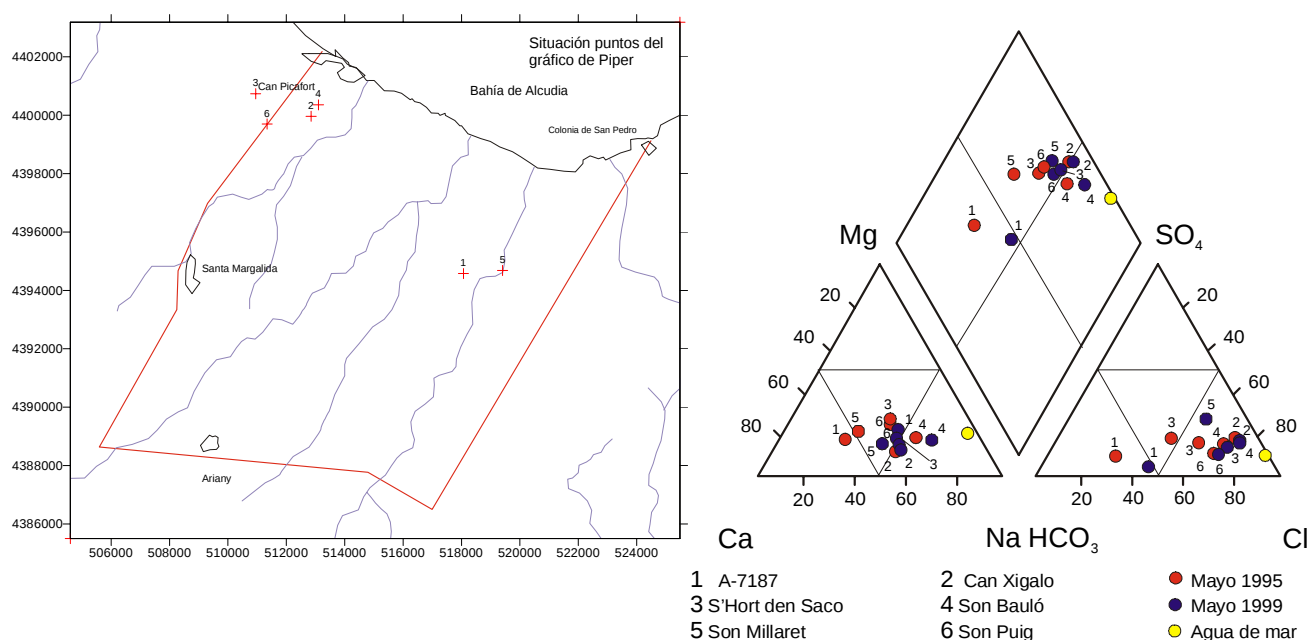
Los mapas de variación de concentración de cloruros a medio y corto plazo (1 y 5 años) no indican variaciones importantes. Ambos denotan un ligero incremento de la concentración que en el sector central de la franja de intrusión alcanza su valor máximo, no superando los 200 mg/L de incremento respecto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



3.1. 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.



3.2. 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.

3.3. 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.

3.4. 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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA ARTÁ (18.17).

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.

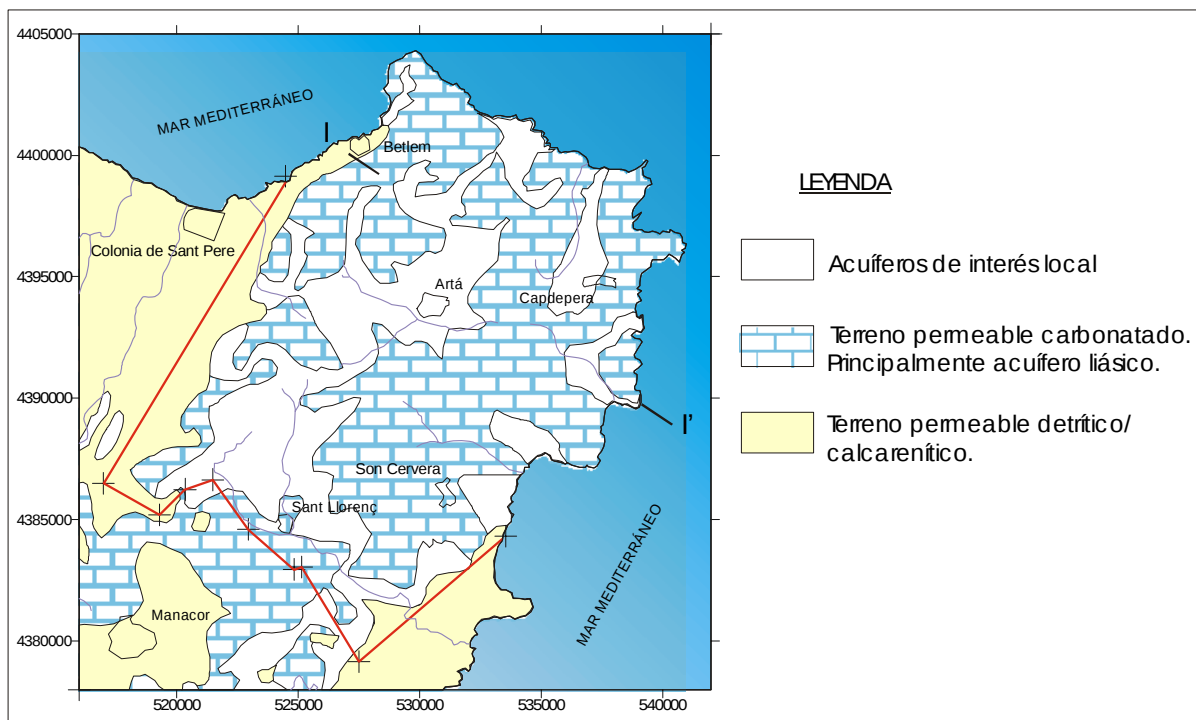


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico U.H. 18.17 Artá (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

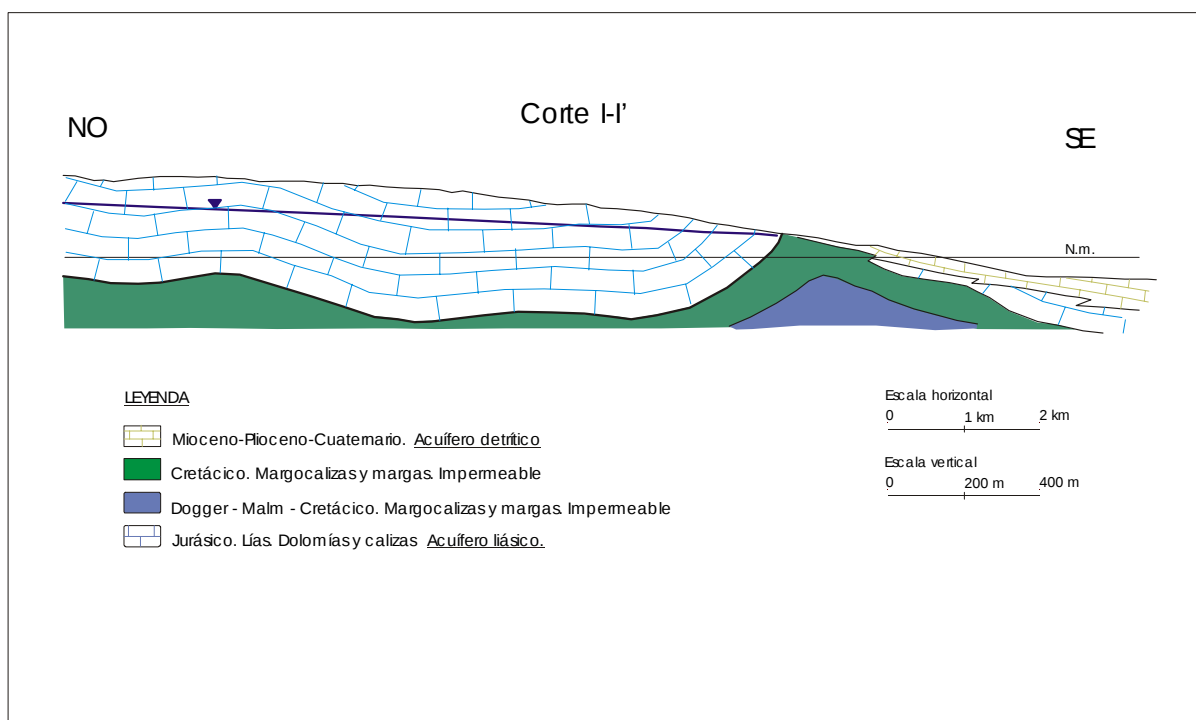


Figura 2.- Corte Hidrogeológico U.H. 18.17 Artá

2. ANÁLISIS DE LA PIEZOMETRÍA Y SU EVOLUCIÓN.

No existen redes de control piezométrico en la zona.

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

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

3.1. 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 Φ S/cm.

3.2. Análisis de relaciones iónicas.

No se tienen datos.

3.3. Diagnóstico del estado actual del acuífero.

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

3.4. 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).

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA MARINA DE LLEVANT (18.20).

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.

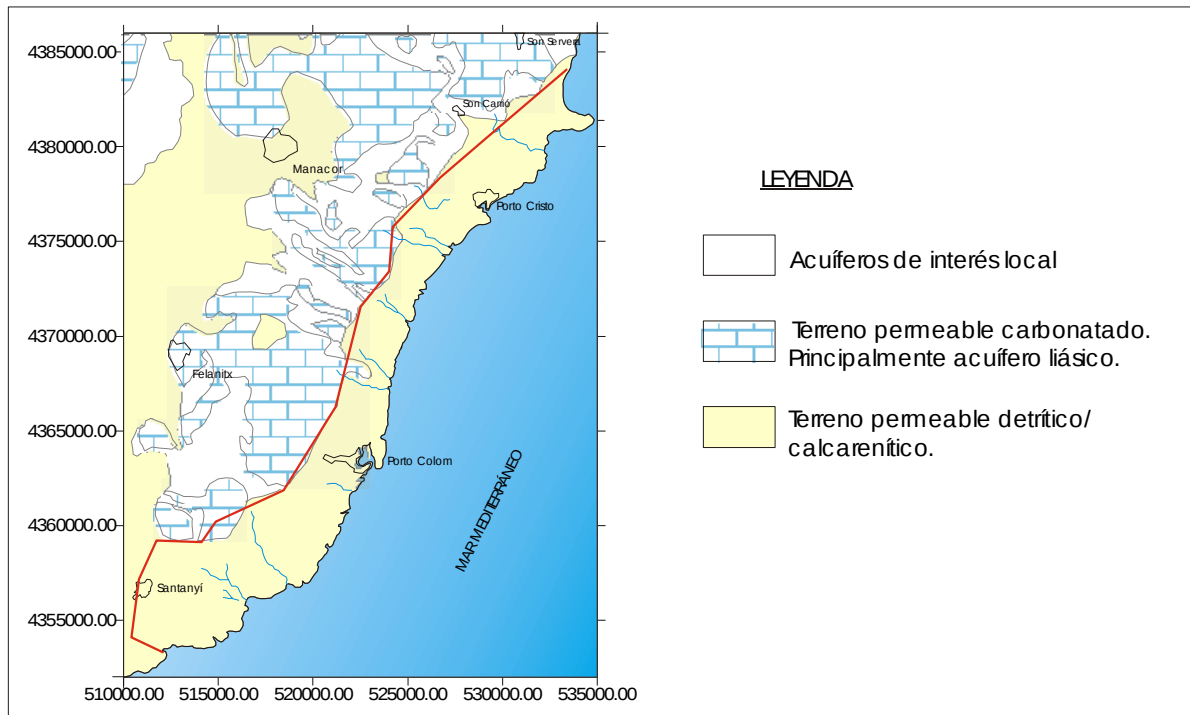


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico UH. 18.20 Marina de Levant (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

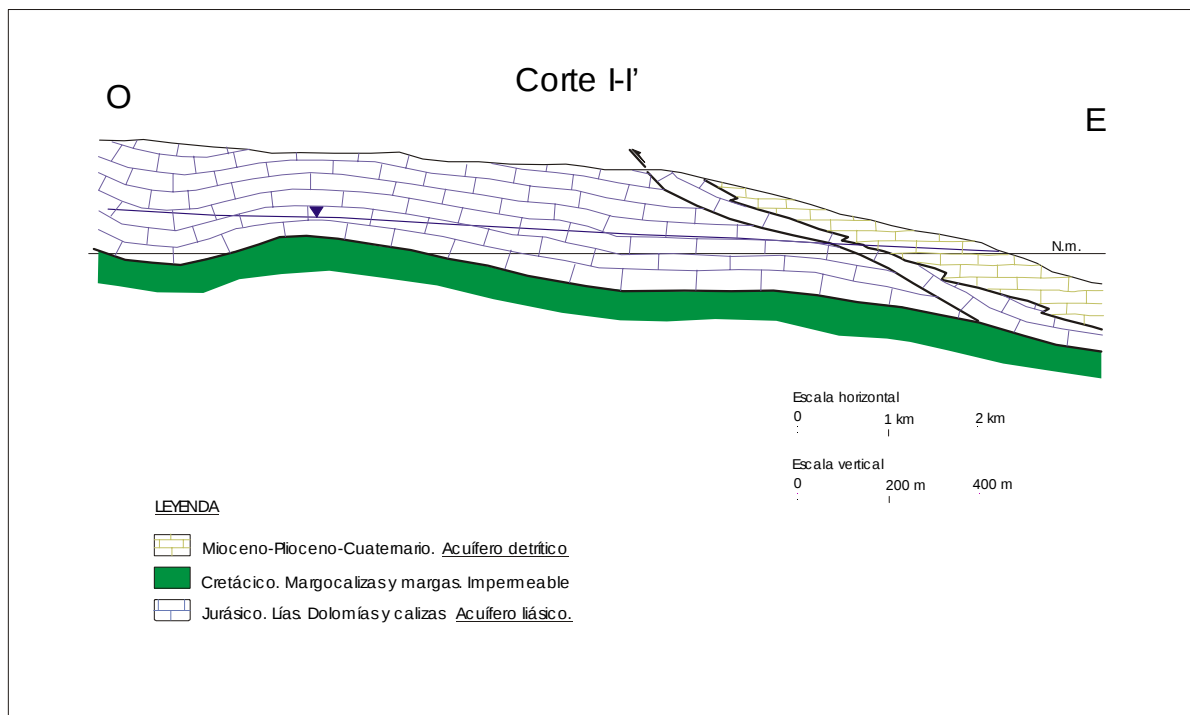


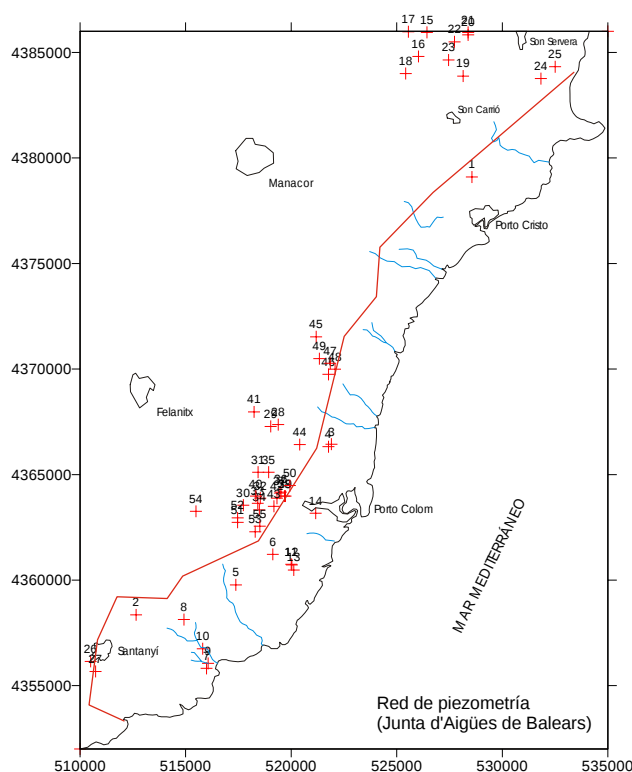
Figura 2.- Corte Hidrogeológico UH. 18.20 Marina de Levant

2. ANÁLISIS DE LA PIEZOMETRÍA Y SU EVOLUCIÓN.

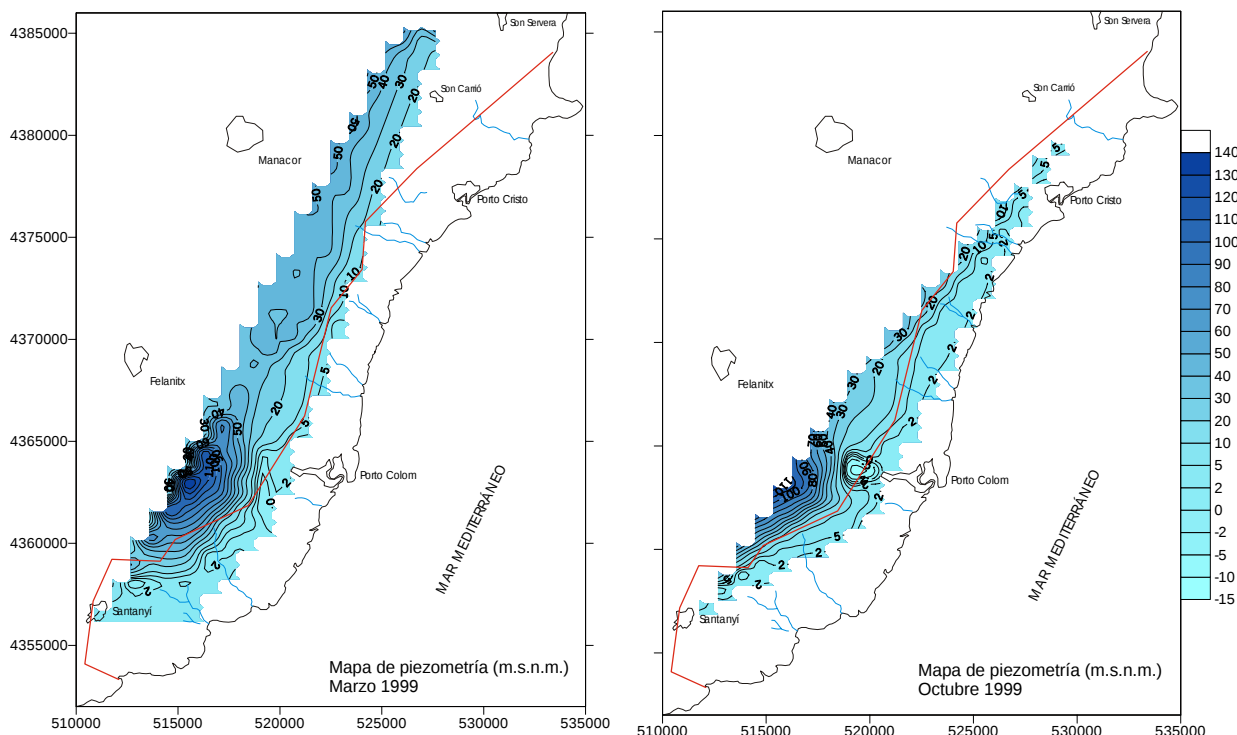
Los mapas de piezometría se han realizado a partir de los datos procedentes de la red de control piezométrica que posee la Junta d'Aigües de Balears, ya que el IGME carece de redes de control en la Marina de Llevant. La situación de los puntos de la red piezométrica y sus principales características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

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.

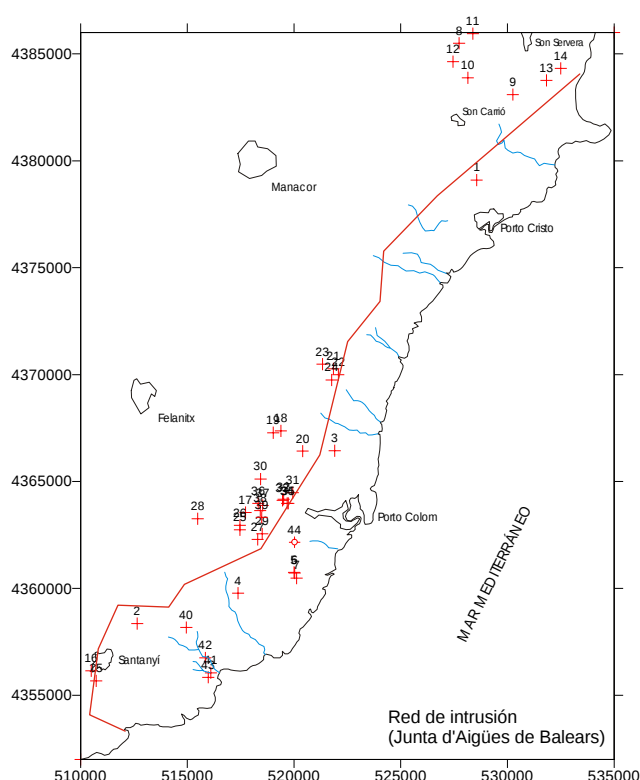


La conexión hidráulica existente entre ambos acuíferos se puede observar en el mapa piezométrico de octubre del mismo año, donde las extracciones que se llevan a cabo al oeste de Porto Colom inducen un cono de depresión piezométrica que se extiende dentro de la vecina unidad hidrogeológica de Felanitx.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

3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN RESPECTO A LA INTRUSIÓN MARINA.

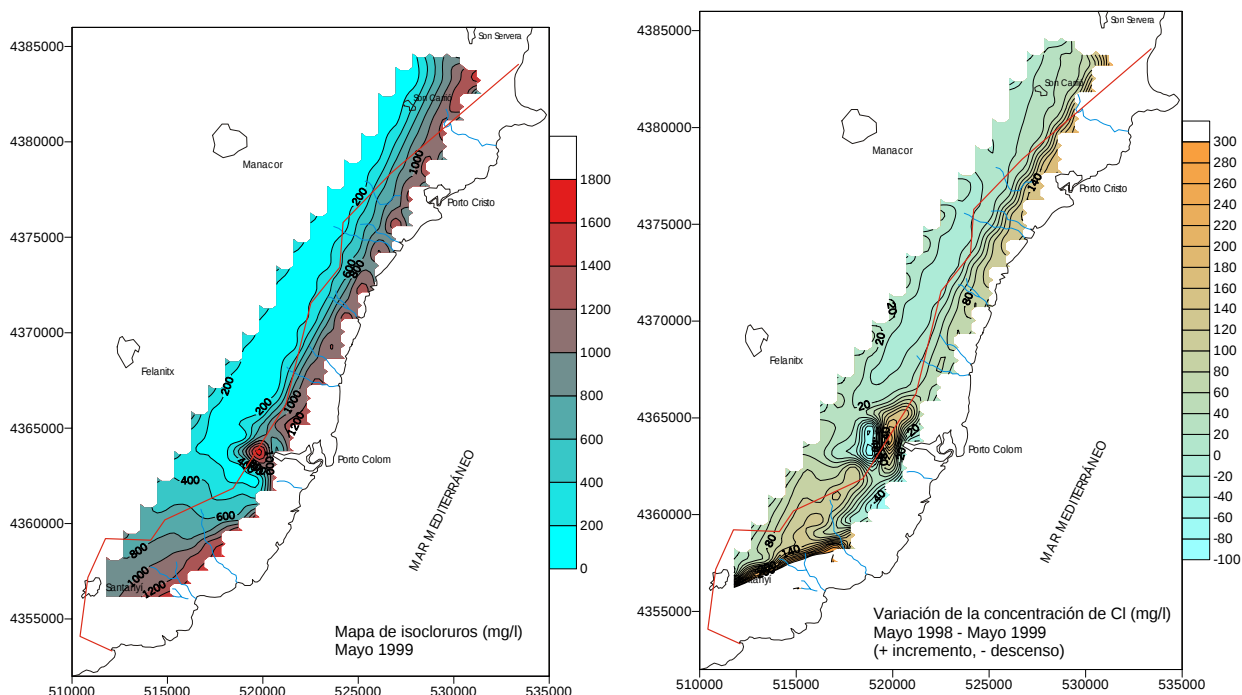
Los mapas de isocontenidos en cloruros se realizaron igualmente a partir de los puntos de la red de control de calidad pertenecientes a la Junta d'Aigües de Balears, que incluyen nuevamente puntos ubicados en las vecinas unidades hidrogeológicas de Felanitx, Manacor y Artá. Sus características y situación 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 bombeos de abastecimiento donde se superan ampliamente concentraciones de 2.000 mg/L de ión cloruro.

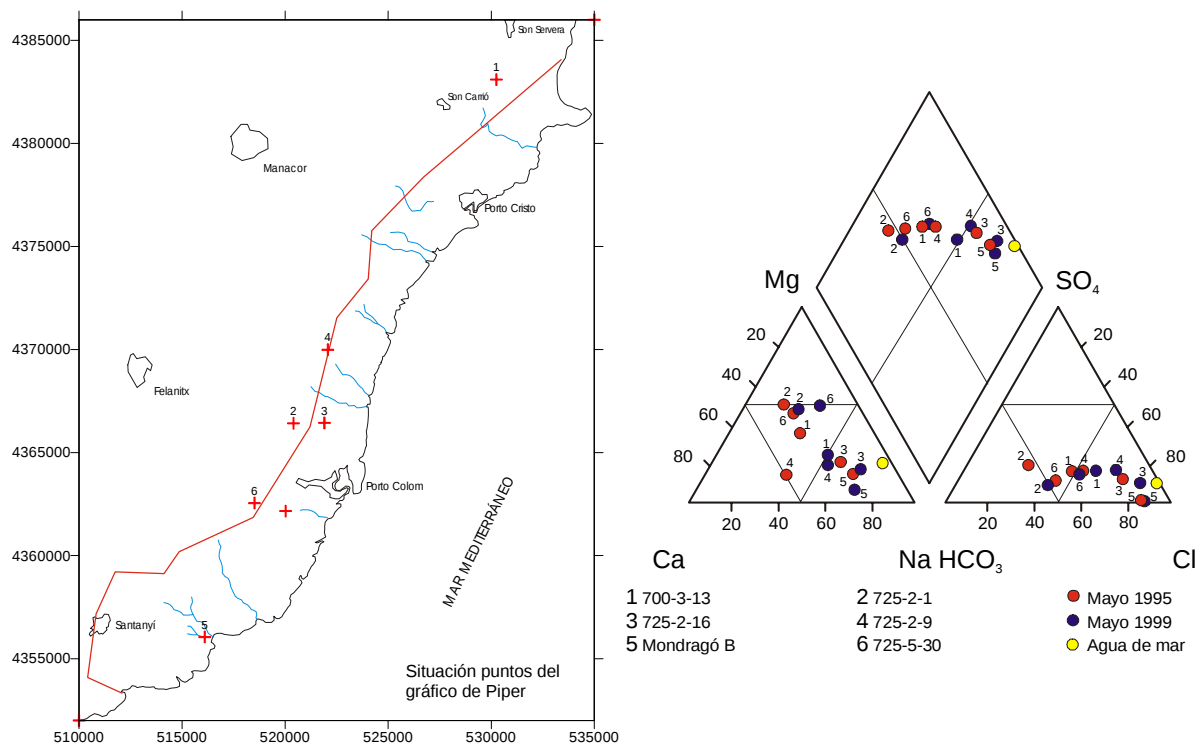


Al NE de la localidad de Santanyí, las extracciones llegan a generar depresiones en los niveles piezométricos por debajo de la cota cero. Este hecho ha producido un avance de la intrusión marina en este sector, donde se llegan a superar concentraciones de 800 mg/L de ión cloruro.

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 Santanyí, 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.

3.1. 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.

3.2. 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		rHCO3/rCl		rSO4/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.

3.3 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.

3.4. 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.

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA LLUCMAJOR - CAMPOS (18.21).

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 Llucmajor 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 Llucmajor 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 Llucmajor y el borde oriental de la unidad.

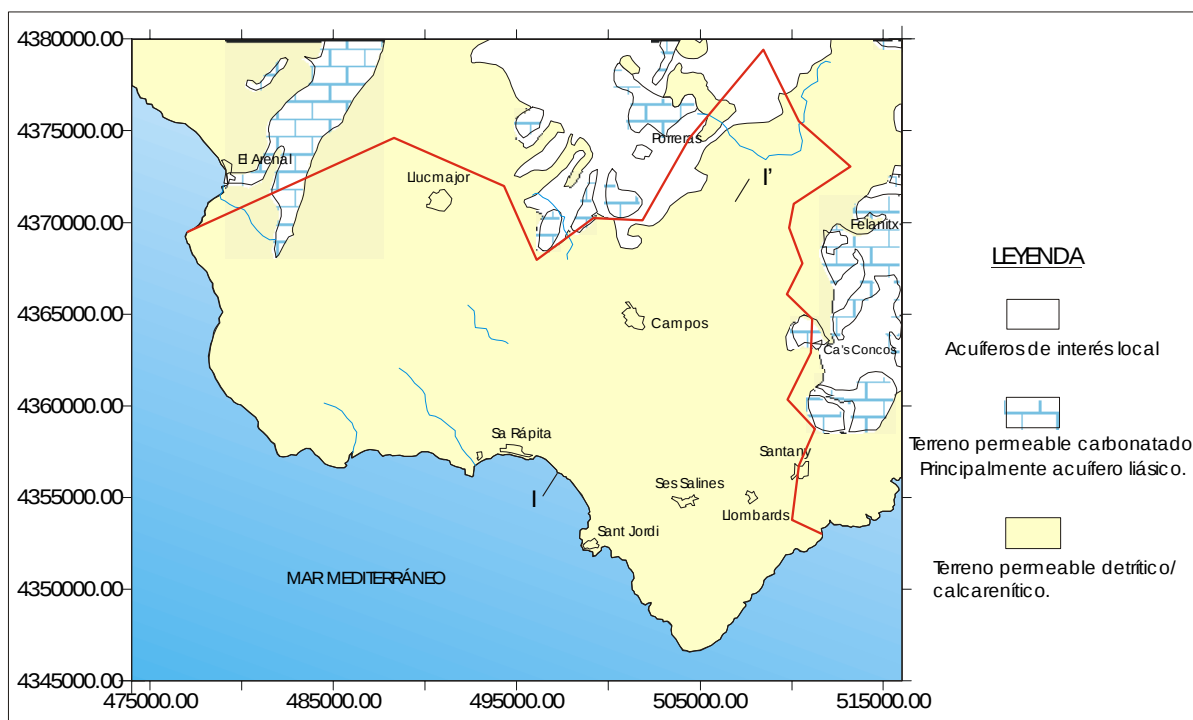


Figura 1.- Mapa Hidrogeológico UH. 18.21 Lucmajor-Campos (modificado del Mapa de Afloramientos permeables de la "Propuesta del Plan Hidrológico de las Islas Baleares", Junta d'Aigües de Balears-Eptisa, 1998)

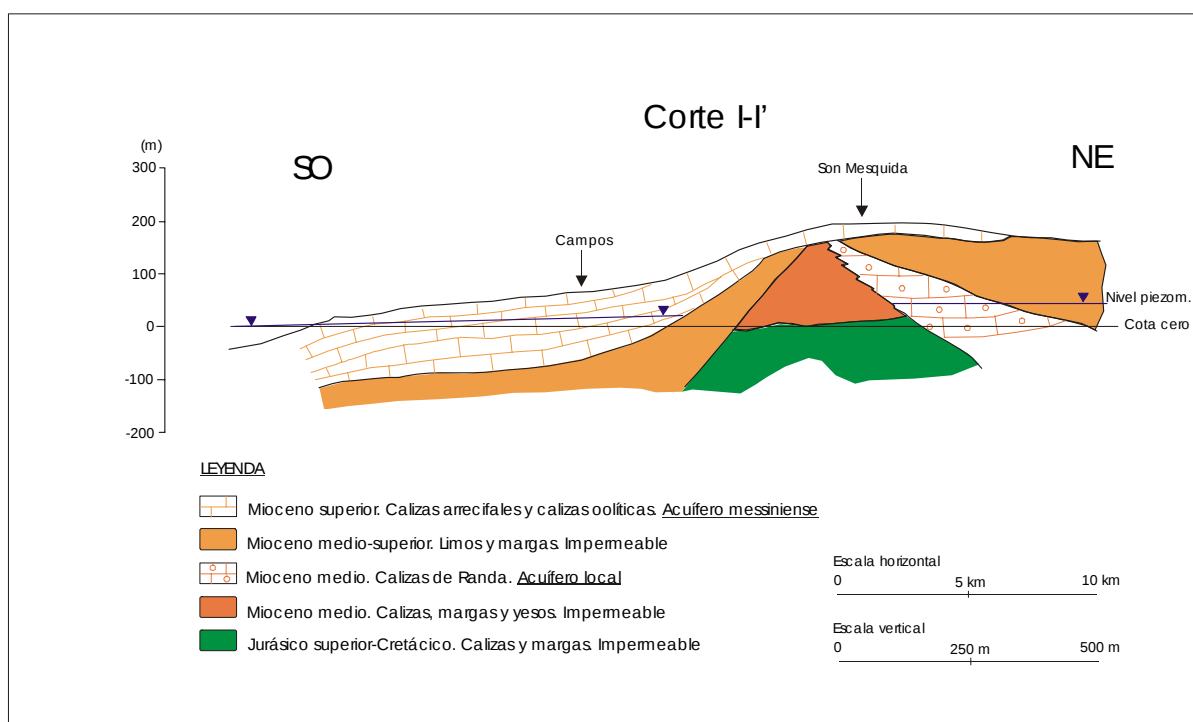


Figura 2.- Corte Hidrogeológico UH 18.21 Lucmajor-Campos (modificado de "Hidrogeología de la isla de Mallorca"; Direcció General D'Obres Públiques-Servei Hidràulic, 1.987)

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.

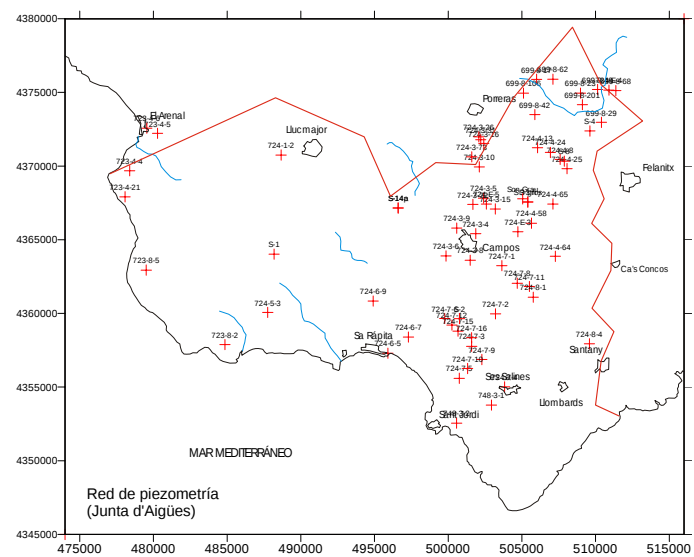
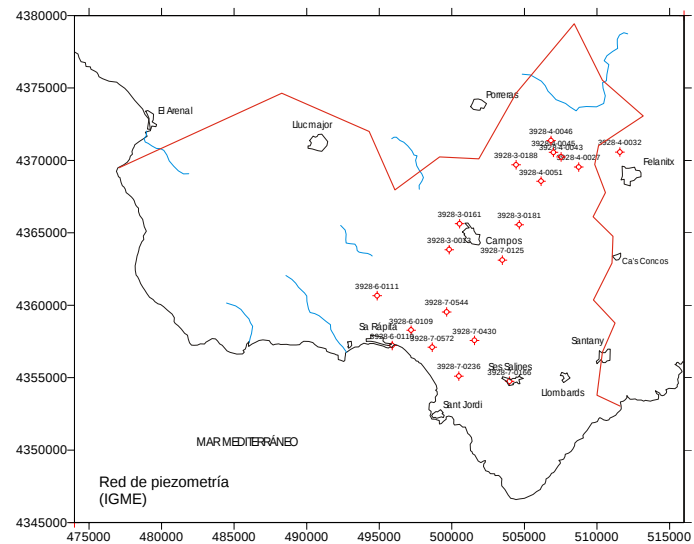
Red de piezometría IGME					
Nº	Punto	UTM X	UTM Y	Cota (msnm)	Profundidad (m)
1	3928-3-0013	499820	4363839	33.75	35
2	3928-3-0161	500534	4365626	40.26	42.6
3	3928-3-0181	504643	4365559	24.65	24
4	3928-3-0188	504427	4369694	90	282
5	3928-4-0027	508740	4369539	74.13	47
6	3928-4-0032	511577	4370574	84.69	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

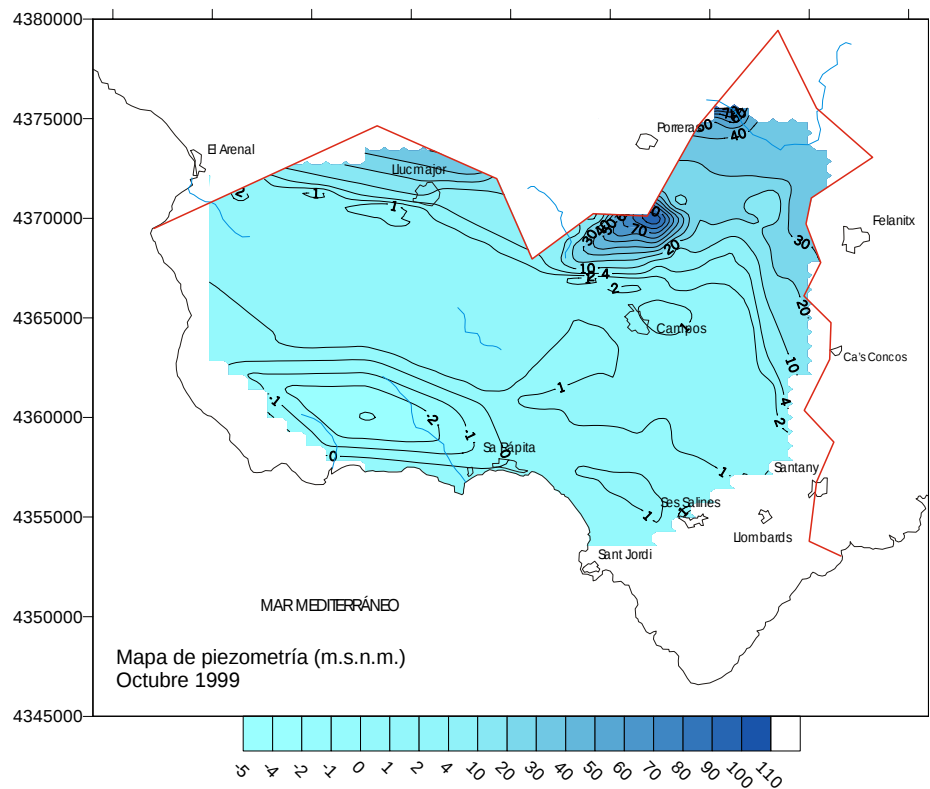
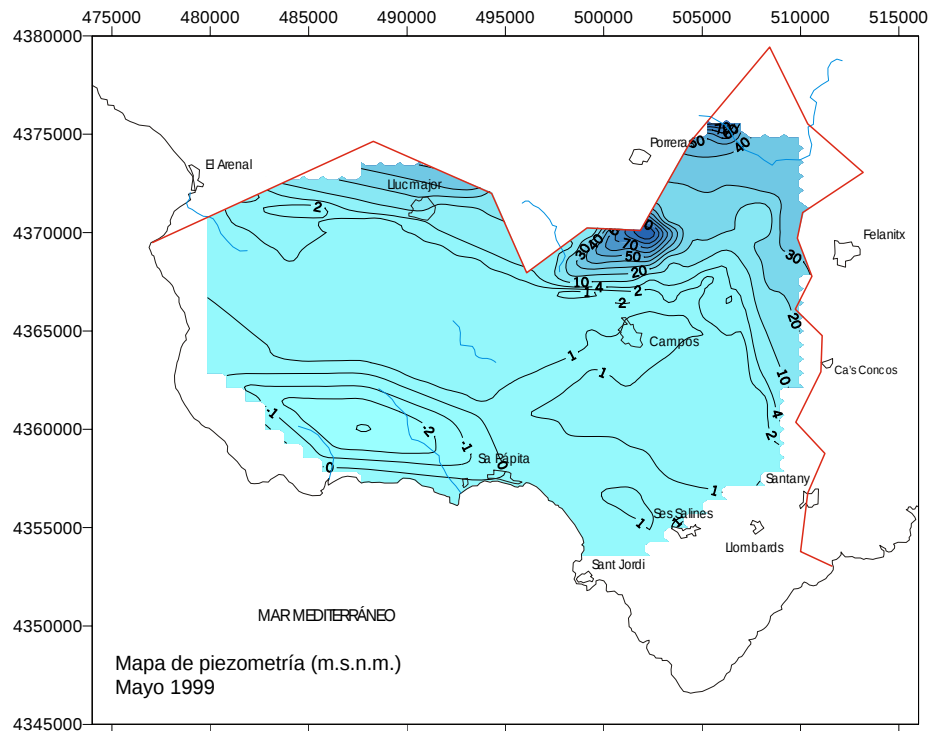
18	724-7-3	501592	4357770	2.37
19	724-7-4	503830	4355020	41.36
20	724-7-5	500750	4355600	6.95
21	724-7-6	499770	4359660	7.3
22	724-7-8	504689	4362050	21.72
23	724-7-9	502280	4356870	11.18
24	724-7-10	501317	4356260	2
25	724-7-11	505504	4361830	28.7
26	724-7-12	500250	4359210	4.77
27	724-7-15	500663	4358800	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
49	724-3-16	502415	4371540	111
50	724-3-26	502075	4371990	117.88
51	724-3-31	502210	4371790	115.72
52	724-3-72	501670	4367400	51.57
53	724-3-73	501600	4370630	107.45
54	724-4-8	507600	4370450	59.55

55	724-4-13	506058	4371251	91.05
56	724-4-24	506935	4370930	86.86
57	724-4-25	508060	4369830	78.46
58	724-4-58	505650	4366125	56.13
59	724-4-64	507272	4363880	65.13
60	724-4-65	507105	4367430	68.59
61	724-E-3	504732	4365546	24.65
62	724-E-4	510903	4375158	69.78
63	724-E-5	502590	4367426	40.72
64	S-3 fi	505400	4367563	62.03
65	S-3 gros	505405	4367565	62.03
66	S-4	509614	4372384	74.88
67	S-8	507870	4370333	83.97
68	Son Grau	505050	4367775	61.76



En el mapa de isopiezas correspondiente a mayo de 1.999 se observa que prácticamente toda la extensión de la unidad presenta cotas piezométricas muy próximas al nivel del mar, no superando los 2 m.s.n.m. hasta alcanzar las localidades de Lluçmajor y al norte de Campos. Se observa claramente una importante depresión de los niveles, con cotas negativas que llegan a alcanzar los -5 m.s.n.m. en todo el sector ubicado al oeste de Sa Rápita, llegando a extenderse hasta más de 5 km hacia el interior.



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.

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.

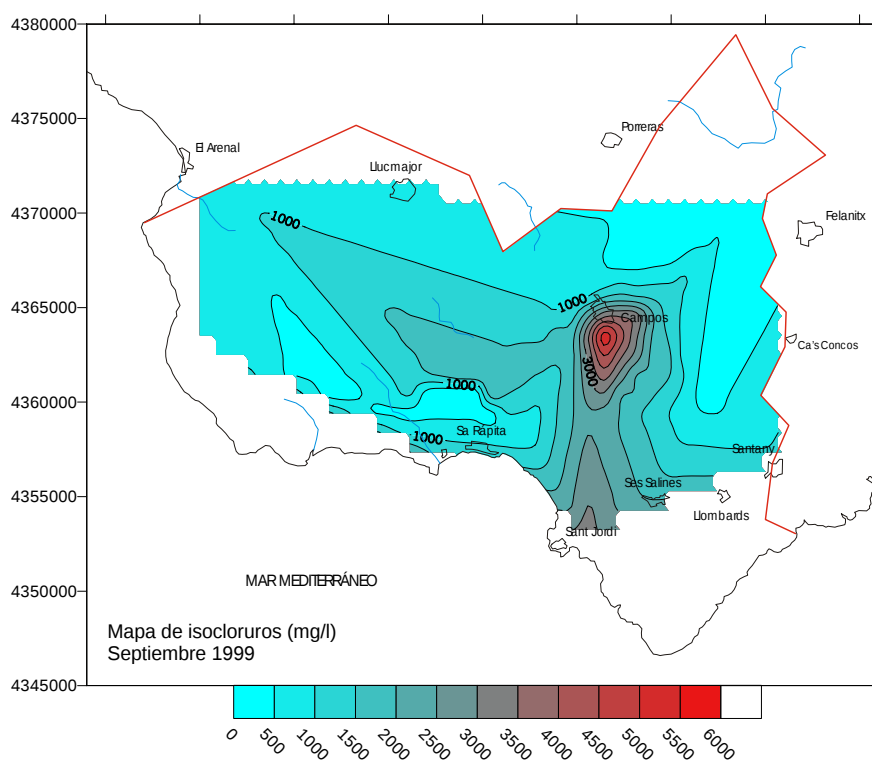
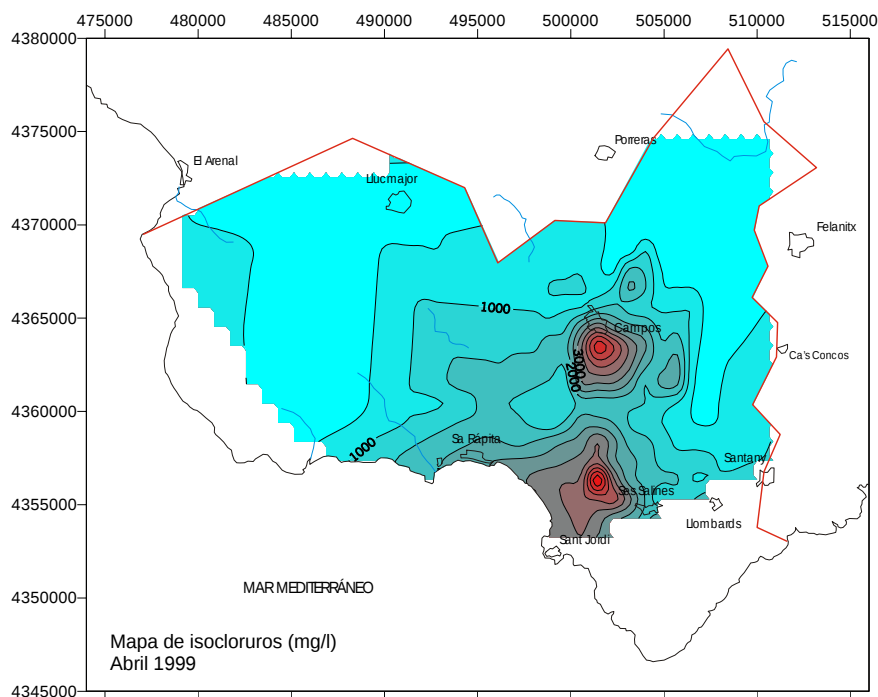
Red de intrusión IGME					
Nº	Nº de punto	X UTM	Y UTM	Cota (msnm)	Profundidad (m)
1	3928-3-0013	499820	4363839	33.75	35
2	3928-3-0161	500534	4365626	40.26	42.6
3	3928-3-0181	504643	4365559	24.65	24
4	3928-3-0187	504396	4369676	90	250
5	3928-3-0189	505080	4369463	87	195
6	3928-3-0190	505048	4367700	70	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

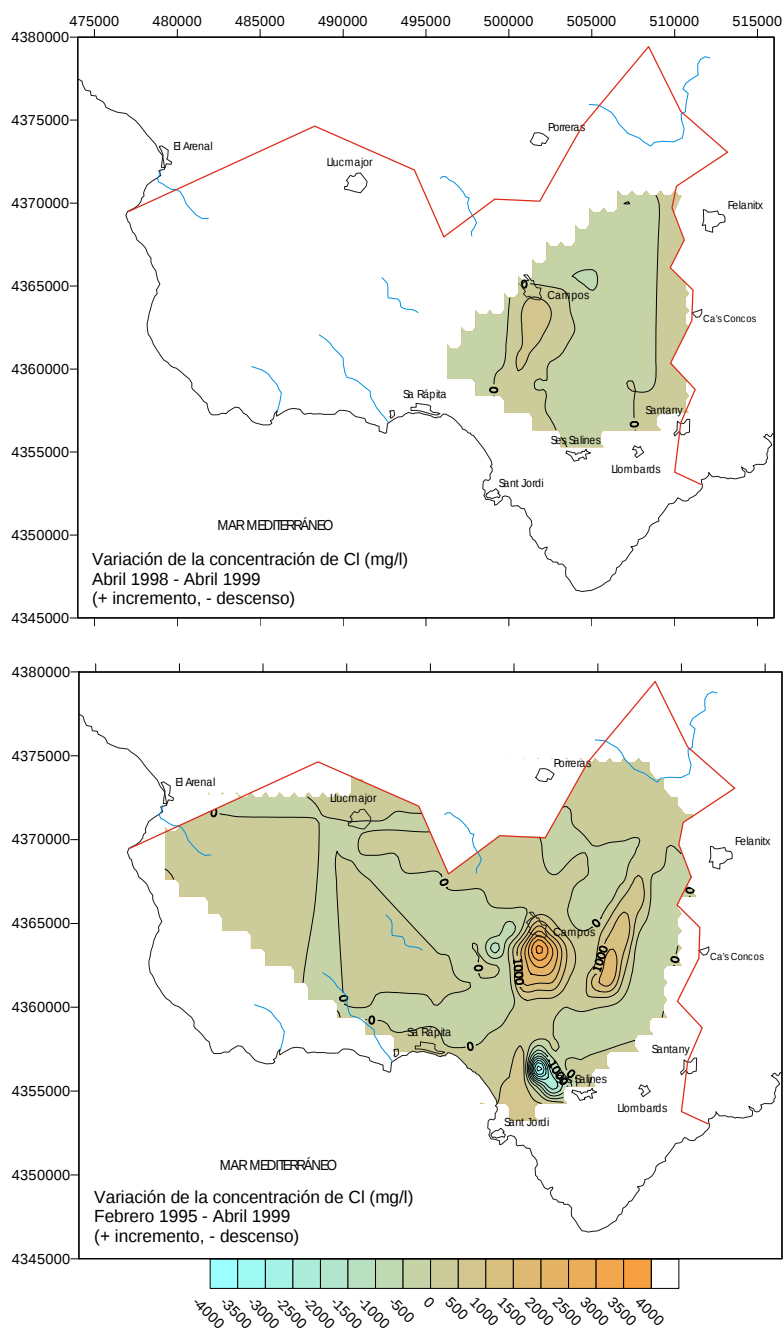
12	724-3-10	502110	4369950	111.44
13	724-3-15	503195	4367090	36.59
14	724-3-16	502415	4371540	111
15	724-3-26	502075	4371990	117.88
16	724-3-31	502210	4371790	115.72
17	724-3-72	501670	4367400	51.57
18	724-3-73	501600	4370630	107.45
19	724-4-13	506058	4371251	91.05
20	724-4-24	506935	4370930	86.86
21	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

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 bombeos 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.

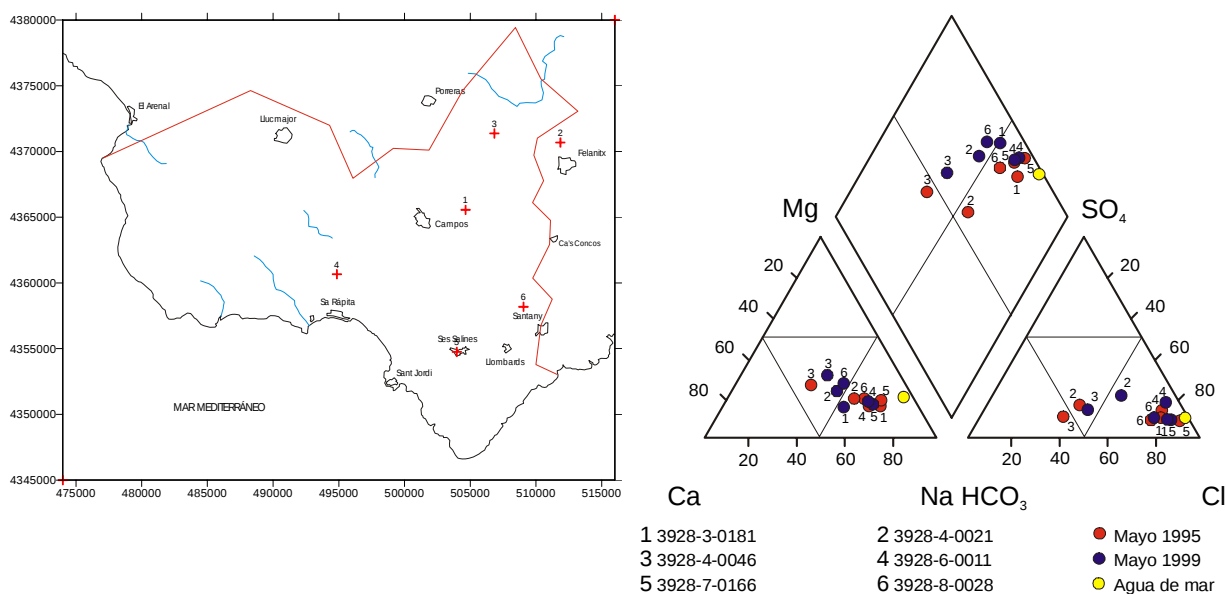


El mapa de evolución de cloruros a corto plazo (1 año) no muestra apenas variaciones, indicando que el proceso de intrusión marina se encuentra estabilizado. Con respecto al año 1.995 las variaciones son más notables. Así, el sector de Ses Salines presenta descensos notables en la concentración de cloruros, 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.



3.1. 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.



Únicamente destacan los puntos 3928-4-0021 y 3928-4-0046 (2 y 3 en el diagrama de Piper) que son representativos del sector Porreres-Felanitx, al N de la localidad de Campos, donde las aguas son de mejor calidad gracias a la presencia de un umbral margoso que independiza parcialmente el sector. Aquí la facies varía de bicarbonatada a bicarbonatada-clorurada sódicas o calcico-sódicas, que evolucionan desde 1.995 a 1.999 hacia clorurada y clorurada-bicarbonatada sódico-cálcica, por un enriquecimiento progresivo en ión cloruro, indicando la progresiva pérdida de calidad en el sector.

3.2. Análisis de relaciones iónicas.

En la tabla adjunta se reflejan los valores de las principales relaciones iónicas para los puntos anteriormente seleccionados como representativos de la unidad hidrogeológica.

Del análisis de la relación rNa/rCl para el año 1.995 se observa claramente como todos los puntos excepto los correspondientes al sector Porreres-Felanitx (3928-4-0021 y 3928-4-0046) presenta unos valores muy próximos a los del agua de mar, indicando claramente el proceso de intrusión en todo el sector del Llano de Campos. Para abril de 1.999 los puntos del sector Porreres-Felanitx evolucionan hacia una mayor similitud con el resto de los puntos, indicando un progresivo empeoramiento de la calidad en este sector.

(1)	rNa/rCl		rMg/rCa		rHCO3/rCl		rSO4/rCl		rCl	
	mar-95	abr-99	mar-95	abr-99	mar-95	abr-99	mar-95	abr-99	mar-95	abr-99
3928-3-0181	0.925	0.689	1	0.509	0.139	0.127	0.133	0.125	39.155	25.352
3928-4-0021	1.318	0.839	0.824	0.776	0.968	0.394	0.386	0.381	7.127	9.183
3928-4-0046	1.016	0.916	0.696	1.052	1.427	0.868	0.306	0.321	4.282	4.366
3928-6-0111	0.844	0.791	0.885	0.918	0.112	0.078	0.173	0.236	35.493	34.648
3928-7-0166	0.808	0.707	1.177	0.94	0.047	0.102	0.094	0.113	54.648	32.958
3928-8-0028	0.826	0.596	0.91	1.025	0.208	0.193	0.137	0.142	19.38	21.239
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 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 rSO₄/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 rHCO₃/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.

3.3. 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 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).

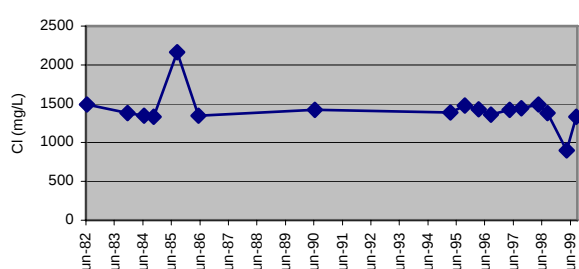
Las facies hidroquímicas son mayoritariamente cloruradas sódicas, y el análisis de las relaciones iónicas confirma la mezcla de aguas continentales con agua de mar procedente de la intrusión de la cuña salada en el acuífero.

3.4. Evolución previsible y posibles actuaciones.

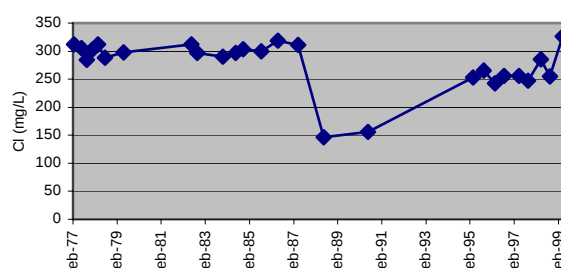
Pese a que existe un abandono progresivo de pozos debido a la fuerte salinización, y a que se ha producido un cambio en el tipo de cultivo, la tendencia observada en los mapas de evolución de cloruros indica un fuerte empeoramiento de la calidad del agua al S y E de la localidad de Campos. Únicamente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

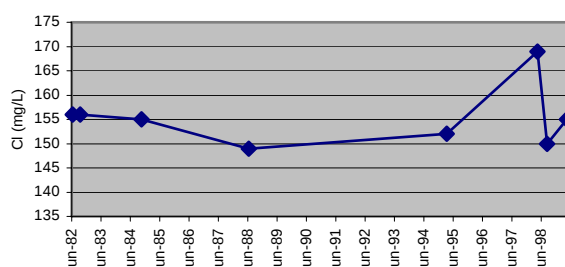
Evolución Cl. Punto 3928-3-0181



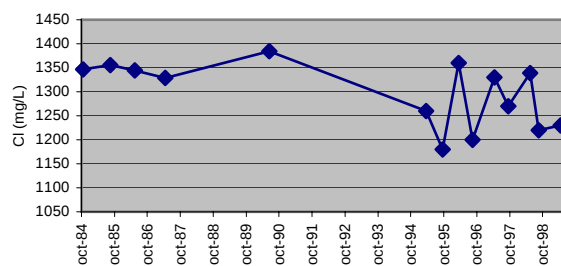
Evolución Cl. Punto 3928-4-0021



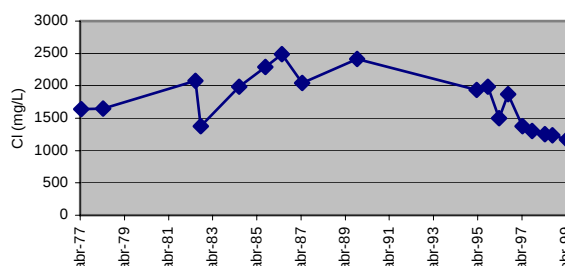
Evolución Cl. Punto 3928-4-0046



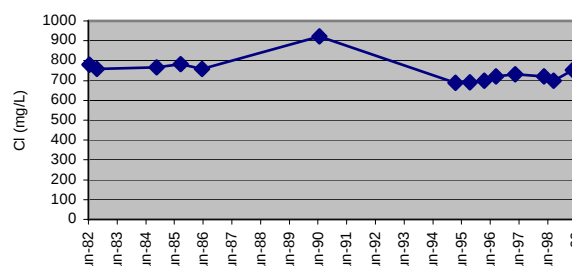
Evolución Cl. Punto 3928-6-0111



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.