

LA INTRUSIÓN MARINA EN LOS ACUÍFEROS DE LA ISLA DE MENORCA

José M^a López-García

Hidrogeólogo. Técnico Oficina de proyectos de Baleares. IGME
mallorca@igme.es

Rosa M^a Mateos Ruíz

Doctora En Geología. Jefe de Oficina de proyectos de Baleares. IGME
mallorca@igme.es

RESUMEN

La unidad de Migjorn (19.01) que se extiende a lo largo de toda la mitad meridional de la isla, constituye la principal fuente de recursos de agua subterránea en la isla de Menorca. El estudio de la distribución de ión cloruro permite caracterizar el proceso de intrusión marina, que se ha desarrollado exclusivamente en las inmediaciones de los dos principales asentamientos urbanos de la isla: Mahón en el sector más oriental y Ciudadela en su extremo occidental. La evolución durante los últimos años indica un progresivo aumento del proceso de intrusión en ambas zonas, especialmente en la de Ciudadela, pasando de valores iniciales próximos a los 200 mg/L a los actuales que se aproximan a los 5 g/L, con la consiguiente evolución de facies hidroquímicas mixtas a netamente cloruradas sódicas en estos sectores.

Palabras clave: Intrusión marina, acuíferos costeros, Menorca, Baleares.

ABSTRACT

Migjorn (19.01) hydrogeological unit becomes the main groundwater supply in whole Menorca Island. The study of chloride ion distribution has been used to control the marine intrusion process, exclusively present nearby the cities of both Maó in the eastside, and Ciutadella in the Westside. A continuous increase in the marine intrusion process has been detected during last years, specially focussed on Ciutadella area, where initial contents of 200 mg/L have evolved to 5 g/L at present day, changing the initial mixed facies to actual brackish waters.

Key words: Marine intrusion, saltwater intrusion, coastal aquifers, Menorca island, Balearic islands.

INTRODUCCIÓN

La unidad hidrogeológica de Migjorn (19.01) que se extiende a lo largo de toda la mitad meridional de la isla, constituye la principal fuente de recursos de agua subterránea en la isla de Menorca. En contacto con el

mar a lo largo de más de la mitad del perímetro costero de la isla, el principal acuífero de esta unidad lo constituyen un conjunto de calizas arrecifales miocenas, sobre las que ocasionalmente se desarrollan calcarenitas de edad plio-cuaternaria.

Pese a ser muy numerosos los trabajos de índole hidrogeológica llevados a cabo en el conjunto de las Islas Baleares (Fúster, 1973; ITGE, 1998; Mateos y Barón, 1995; PHIB, 2001), aquellos que se centran en la problemática de la intrusión marina se limitan básicamente a la isla de Mallorca, quedando en el caso de Menorca reducidos a informes internos de escasa difusión (IGME, 2001). El presente trabajo analiza la situación actual de la intrusión marina detectada de forma puntual en sectores concretos de la unidad de Migjorn, así como la evolución experimentada en los últimos quince años, mediante el análisis del contenido en ión cloruro de las muestras obtenidas en la red de control que el IGME mantiene en la isla. Los resultados se han representando gráficamente, mediante mapas de isocontenidos en ión cloruro y de variación interanual de la concentración de este ión.

ENCUADRE MORFOESTRUCTURAL DE LA ISLA DE MENORCA

Menorca, con sus 702 km² de superficie y 286 km de costa, es la segunda en extensión de las Islas Baleares. Toda la mitad sur presenta una distribución tabular surcada por numerosos torrentes que originan preciosas playas, mientras que en la mitad norte se suceden los terrenos más abruptos, aunque la cota máxima es de tan sólo 362 m (Monte Toro). Esta diferenciación morfológica es el resultado de la distinta naturaleza geológica de ambos sectores de la isla.

Así, desde el punto de vista geológico, la isla de Menorca está constituida por dos zonas claramente diferenciadas y separadas por una línea de fractura: La mitad norte está formada por un conjunto de terrenos paleozoicos del Carbonífero, constituidos por pelitas con intercalaciones de grauvacas con niveles calcáreos poco o nada detríticos. A éstos se superponen materiales del Triás, en facies germánica, que alternan con depósitos Jurásicos y Cretácicos, de naturaleza calcá-

rea, dolomítica y margosa, fruto de las sucesivas invasiones marinas. Presenta relieves seniles con una altitud máxima de 362 m (Monte Toro). En la mitad sur de la isla, constituida por sedimentos de edad miocena y pliocuaternaria, se localizan formaciones calcáreas y detríticas. Presenta una disposición tabular surcada por profundos barrancos. La costa septentrional es muy accidentada debido al sistema de fracturas, y en la meridional, alternan los acantilados de borde de la plataforma con calas y arenales. El puerto de Maó, se sitúa en la línea de contacto del paleozoico, al norte, con el cenozoico, al sur, constituyendo un importante abrigo natural para las embarcaciones.

LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA ISLA DE MENORCA

La isla de Menorca se encuentra dividida en 3 unidades hidrogeológicas (figura 1), de acuerdo con la nueva configuración definida en el Plan Hidrológico de las Islas Baleares (PHIB, 2001) que corresponden a zonas diferenciadas por una dinámica hidrogeológica concreta, directamente relacionada con las características geológicas de los materiales y la estructuración tectónica presentes en cada una de ellas. En Menorca, la diferenciación geológica anteriormente descrita da

lugar a una clara separación de dominios hidrogeológicos, en la que los acuíferos principales corresponden a los terrenos detríticos terciarios y cuaternarios que conforman el relieve tabular de la zona de Migjorn, y que constituye la unidad hidrogeológica de Migjorn (19.01), y en menor medida a las formaciones calcáreas mesozoicas que dan lugar a los relieves más destacados en los que existe una importante circulación kárstica que forman la unidad hidrogeológica de Albaida (19.02).

El resto de la superficie de la isla coincide con el dominio geológico del sector paleozoico septentrional, donde los acuíferos son de escasa entidad y de interés únicamente local, y dan lugar a la unidad hidrogeológica de Fornells (19.03). Con una extensión total de 235 km² que en su extremo septentrional limitan con el mar a lo largo de 155,2 km de línea de costa. En toda su extensión se desarrollan los afloramientos rocosos del conjunto detrítico y calizo paleozoico, y del triásico inferior en facies Buntsandstein. Desde el punto de vista hidrogeológico se cuenta con muy escasa información, al tratarse de un área en general de baja permeabilidad, donde los rendimientos de las explotaciones son muy reducidos, y por consiguiente el número de estas. La mayor parte de los aprovechamientos hidráulicos se concentran en los fondos aluviales cuaternarios, forma-

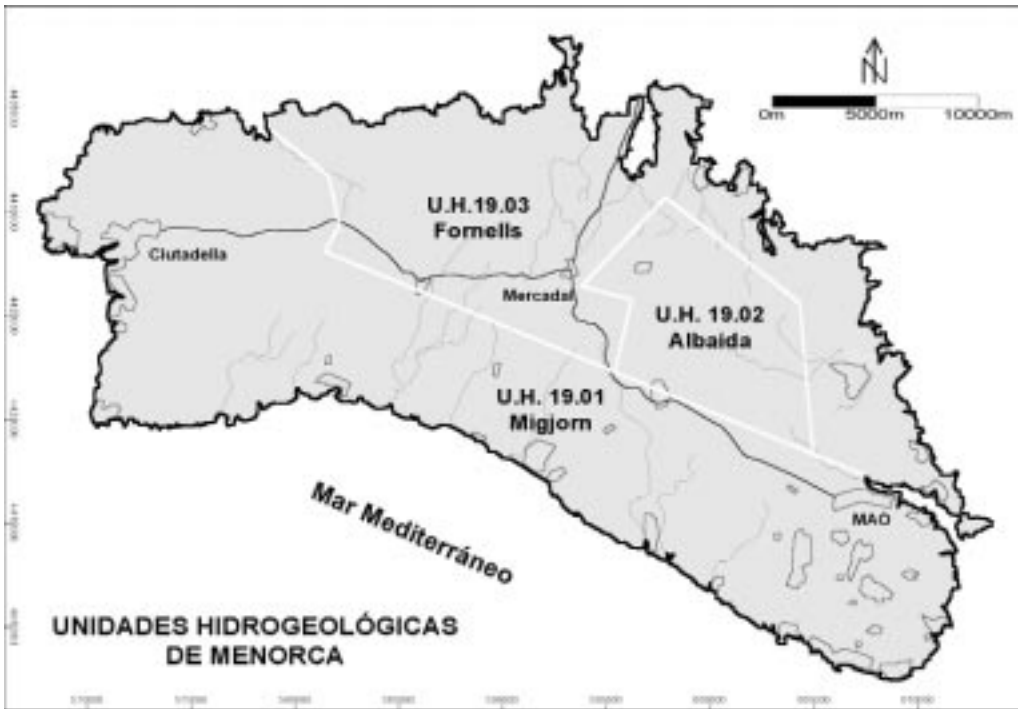


Figura 1. Distribución de las unidades hidrogeológicas de la isla de Menorca.

dos por arenas, arcillas y gravas con espesores saturados que no suelen superar los 5m o 10m de potencia, dando lugar a acuíferos detríticos de régimen libre.

La recarga de los acuíferos se produce por la infiltración directa del agua de lluvia caída sobre los afloramientos permeables, o por la infiltración del agua de escorrentía superficial que llega a circular por los torrentes de forma estacional. Los acuíferos funcionan generalmente como libres, aunque a veces los cambios de facies, la estructura geológica y la estratigrafía de cada sector puede determinar el confinamiento o semi-confinamiento de los acuíferos.

Los límites de las diferentes unidades hidrogeológicas no son siempre impermeables, lo que permite la circulación de aguas subterráneas entre ellos y por tanto la recarga de algunos acuíferos a partir de aguas subterráneas procedentes de unidades hidrogeológicas colindantes. La descarga natural se produce al mar en las zonas costeras, de forma subterránea hacia unidades vecinas o en el caso de acuíferos colgados mediante fuentes; y de forma artificial por los bombeos para abastecimiento y agricultura. En los últimos años se ha producido un incremento notable de la depuración de aguas residuales que son empleadas posteriormente para el riego, lo que constituye una aportación adicional a la recarga natural de los acuíferos.

A continuación se describe la caracterización hidrogeológica de la única unidad con acuíferos costeros de interés regional susceptible de verse afectados por procesos de intrusión marina.

Caracterización U.H. 19.01 Migjorn

Constituye la unidad hidrogeológica más extensa de la isla de Menorca, cubriendo toda la mitad meridional de la isla, cubriendo una superficie total de 391 km², con una línea de costa que se extiende a lo largo de 139,6 km.

Desde el punto de vista geológico casi la totalidad de la unidad se encuentra formada por calcarenitas y calcisiltitas miocenas, en facies de talud arrecifal, con una potencia de entre 50 m y 100 m, pudiendo superarse los 200 m al sur de la localidad de Ciutadella. Estos materiales pueden aparecer recubiertos por una serie de biocalcarenitas dolomitizadas y eolianitas del Plioceno, con una potencia que oscila entre los 10 m y los 50 m. A esta unidad hidrogeológica se suman los afloramientos de calizas del Muschelkalk (Triásico) y de calizas y dolomías del Jurásico y Cretácico que se observan en el sector de Algayarens.

Los principales materiales acuíferos de esta unidad los forman tanto las calcarenitas y eolianitas del conjunto Mioceno-Plioceno, que forman un acuífero libre con permeabilidad por porosidad y fisuración, como los tramos calizos y dolomíticos del conjunto mesozoico en

el sector de Algayarens, los cuales son permeables por fisuración y pueden encontrarse aislados por el conjunto muy poco permeable de la facies Keuper (Triásico superior). En este sector los acuíferos pueden encontrarse libres o confinados según las zonas. Los límites con las unidades hidrogeológicas adyacentes son impermeables excepto en el sector próximo a Alaior donde existe una conexión con las calizas triásicas y jurásico-cretácicas de la unidad de Albaida (19.02). La recarga del sistema procede principalmente de la infiltración directa a partir de la precipitación caída sobre los afloramientos permeables, que cubren una superficie aproximada de 375 km², y en menor medida por el aporte subterráneo de la unidad de Albaida, las pérdidas de las redes de distribución, los retornos de riego con aguas limpias o residuales depuradas, y finalmente la intrusión marina, estimándose una aportación total de 69,7 hm³ anuales. Las extracciones por bombeos para abastecimiento y regadío se estiman en 21,1 hm³ anuales, y en 1,5 hm³ anuales las salidas por manantiales y torrentes. El resto corresponde a descarga del sistema al mar a lo largo de la línea de costa.

LA INTRUSIÓN MARINA EN LA ISLA DE MENORCA

La caracterización del proceso de intrusión en los acuíferos costeros de la isla de Menorca se realiza mediante la analítica de la concentración de ión cloruro en las muestras tomadas periódicamente en la red de control de la intrusión del IGME, sirviendo como criterio indirecto para determinar el grado de sobreexplotación de este tipo de acuíferos.

A continuación se analiza la situación actual del fenómeno de intrusión marina en la unidad hidrogeológica de Migjorn, basadas en la concentración de ión cloruro detectadas en la red de intrusión, así como su evolución histórica a lo largo de más de quince años de seguimiento de la evolución de la calidad química del recurso subterráneo.

Intrusión marina en la U.H. 19.01 Migjorn

La unidad hidrogeológica 19.01 Migjorn, muestra un conjunto de aguas mixtas, evolucionando desde las netamente bicarbonatadas sódico-cálcicas hasta las marcadamente cloruradas sódicas, predominando las facies cloruradas cálcicas.

La presencia destacada del ión cloruro en una unidad hidrogeológica en contacto con el mar refleja el proceso de intrusión de agua marina en los acuíferos, de forma natural o inducida por los bombeos que en ella se realizan. El análisis del mapa de isocontenido en ión cloruro permite identificar las áreas afectadas por dicha intrusión. Así se observa en el mapa de isocloruros para el año 2.000 (figura 2), la presencia de con-

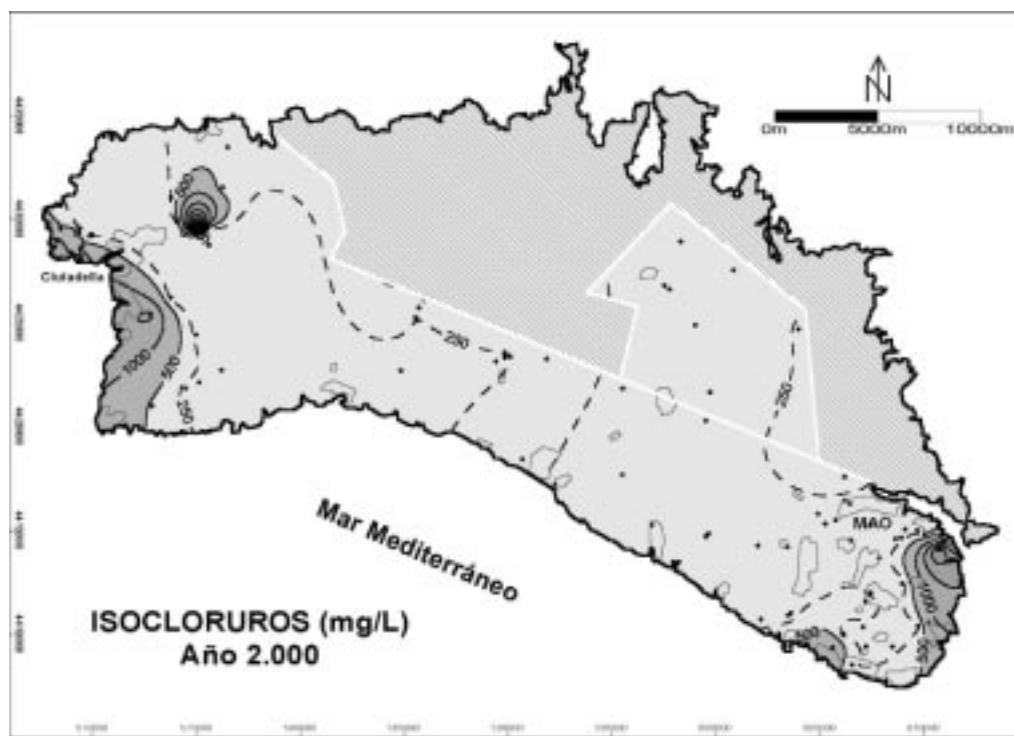


Figura 2. Mapa de isocloruros de la isla de Menorca. Año 2000.

centraciones de ión cloruro muy próximas a los 1.000 mg/L en la zona costera más oriental de la isla, al Sur de Maó, entre las localidades de Villacarlos y S'Algar, y al Sur de San Luis en las inmediaciones de Punta Prima.

Igualmente se registran concentraciones similares en toda la línea costera de los alrededores de Ciutadella, en la costa occidental de la isla, con una fuerte entrada hacia el interior en las inmediaciones de la Cala Santandria. Sin embargo, estas concentraciones quedan muy reducidas en magnitud cuando se comparan con el marcado cono de intrusión marina que se registra al Este de la localidad de Ciutadella, donde se registran concentraciones que superan ampliamente los 4.000 mg/L debido a las extracciones que se llevan a cabo en Es Caragolí para el abastecimiento urbano a la localidad de Ciutadella. El resto de la unidad presenta concentraciones de ión cloruro que oscila entre los 100 y los 450 mg/L.

El mapa de isoconductividad eléctrica (figura 3) constituye un fiel reflejo del mapa de isocloruros, con conductividades medias que oscilan entre los 1.000 y los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en toda la unidad, y valores entre 3.000 y 4.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en las zonas costeras del entorno de Maó y Ciutadella. Las extracciones de Es Caragolí quedan marcadas por un fuerte incremento de la con-

ductividad, superándose los 13.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La unidad hidrogeológica de Migjorn presenta en la actualidad aguas de calidad media, con aguas de tipo mixto en la mayor parte del sector central de la unidad, empeorando notablemente en los extremos oriental y occidental junto a las localidades de Maó (Figura 4a) y Ciutadella (figura 4b) donde la facies clorurada sódica es representativa de amplios sectores de la franja costera y áreas del interior (sector Este de Ciutadella). En ambos extremos existen concentraciones elevadas de ión cloruro debido a la intrusión marina generada por los bombeos, para el abastecimiento principalmente, alcanzándose concentraciones superiores a los 4 g/L al este de la localidad de Ciutadella. El sector central de la unidad no presenta problemas de intrusión marina, dada la elevada piezometría que se registra en los alrededores de Mercadal, con valores que superan los 60 ms.n.m., frente a los registros inferiores a 5 ms.n.m. que se extienden ampliamente en el extremo oriental y especialmente en el extremo occidental de la unidad.

Para el año 2001 (figura 5) la situación se muestra similar a la del año precedente, existiendo únicamente cambios notables en la concentración de cloruro detectada en el análisis de los pozos de Es Caragolí, donde

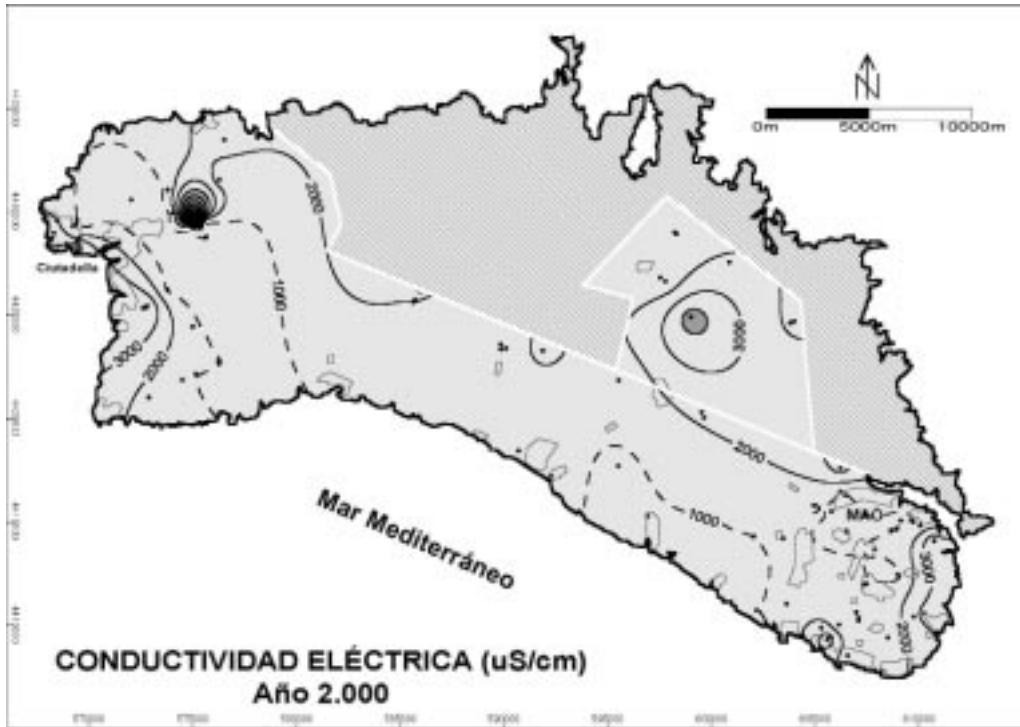


Figura 3. Mapa de isoconductividad eléctrica en la isla de Menorca. Año 2000.

se presenta un descenso superior a los 3 g/L, así como una ligera mejoría en el sector sur de la localidad de Sant Lluís, con descensos en la concentración inferiores a los 500 mg/L.

La tendencia interanual registrada en la evolución de la concentración de ión cloruro durante los últimos quince o veinte años indica un progresivo aumento en la extensión del proceso de intrusión marina en los alrededores de las localidades de Maó y especialmente de Ciutadella. En el sector próximo a Maó, la concentración inicial de ión cloruro ha variado desde principios de los años 80 pasando de valores iniciales próximos a los 200 mg/L a superar los 1.000 mg/L (figura 6).

Este ascenso en la concentración ha dado lugar a una evolución en la facies hidroquímica en algunas partes del acuífero, donde se ha pasado de composiciones iniciales de tipo mixto a netamente cloruradas sódicas en la actualidad (figura 4a).

En el sector central de la unidad la concentración de ión cloruro se presenta estable a lo largo del período de control, incluso en puntos cercanos a la línea de costa, donde se registran concentraciones de entre 100 y 200 mg/L, y facies hidroquímicas de carácter mixto. En el sector occidental los gráficos de evolución de la con-

centración de ión cloruro de los puntos situados en las inmediaciones de la zona de bombeo para abastecimiento urbano de Ciutadella, el incremento en ión cloruro es destacable en los últimos años, pasando de valores inferiores a los 200 mg/L a principios de los años 80 hasta alcanzar los 700 mg/L en el entorno del punto de extracción, lugar este último en el que se superan los 4.000 mg/L. Este aumento de concentración ha dado lugar a la evolución de la facies hidroquímica en algunos sectores donde inicialmente era de tipo mixto hacia facies cada vez más cloruradas (Figura 4b).

Una evolución similar se registra en la zona cercana a la línea de costa al oeste de la localidad de Ciutadella. Únicamente la zona más septentrional del sector próximo a la localidad de Ciutadella presenta una tendencia descendente en la concentración de ión cloruro durante los últimos años, pasando de concentraciones iniciales superiores a los 800 mg/L a valores inferiores a 500 mg/L, si bien su facies hidroquímica continúa siendo notablemente clorurada sódica.

CONCLUSIONES

El estudio de las facies hidrogeoquímicas, su evolución temporal, y la representación espacial de la distri-

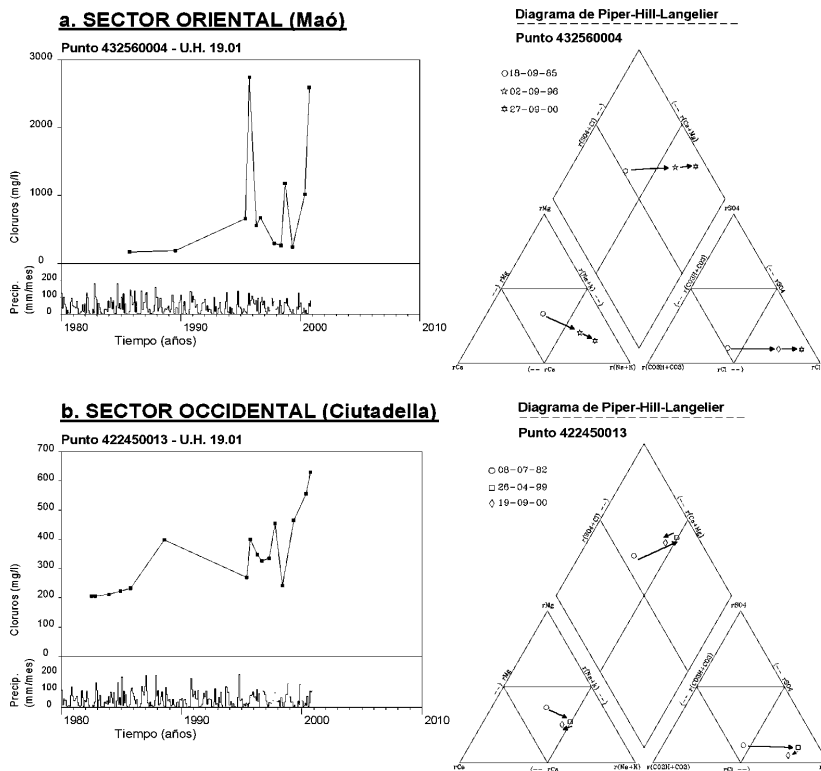


Figura 4. Evolución de la concentración de ión cloruro y diagrama de Piper de los puntos: a) 432620004, representativo del sector próximo a la localidad de Maó; b) 422450013, representativo del sector próximo a la localidad de Ciudadella.

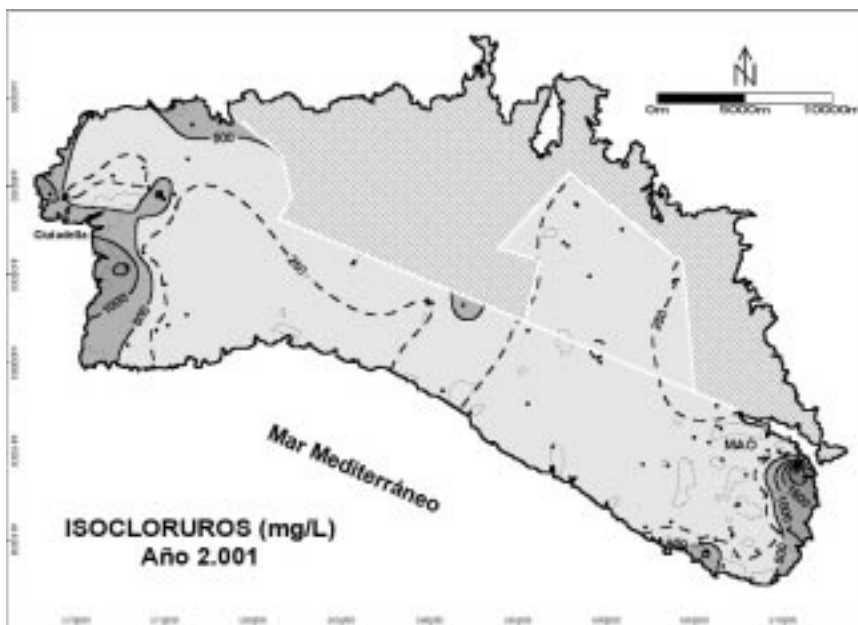


Figura 5. Mapa de isocontenido en ión cloruro de la isla de Menorca para el año 2001.

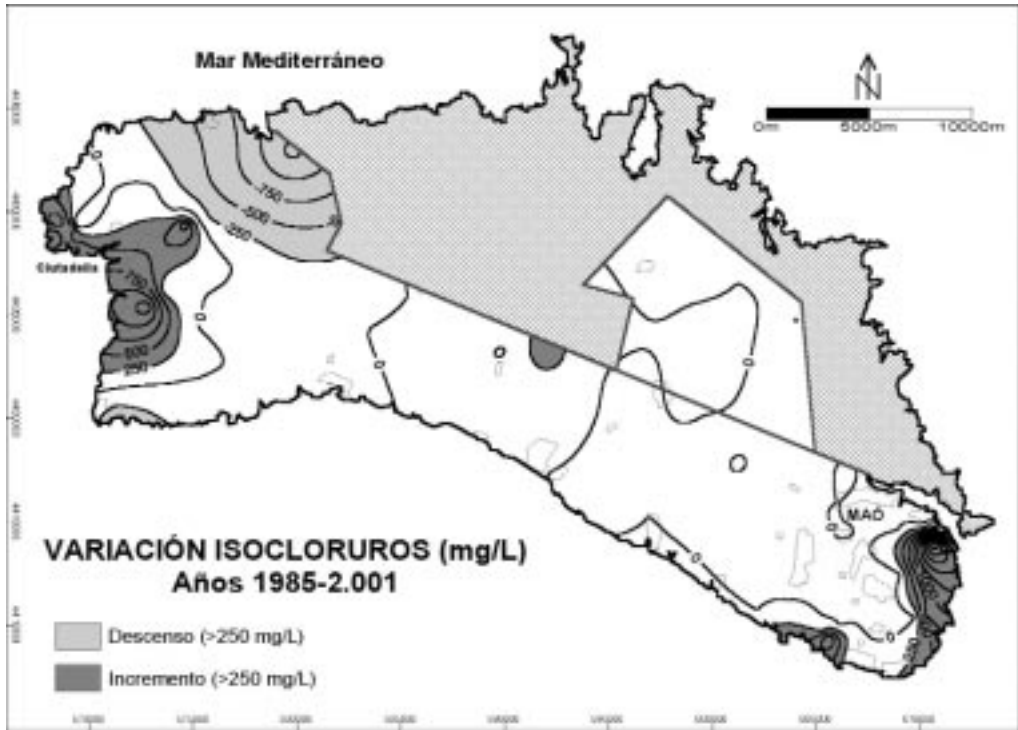


Figura 6. Mapa de variación de la concentración de ión cloruro (período 1.985-2001).

bución de ión cloruro permiten caracterizar el proceso de intrusión marina que se ha desarrollado en algunos sectores de esta unidad a lo largo de los últimos años. Los mapas de isocloruros de los últimos años muestran como la unidad no presenta un proceso generalizado de intrusión, sino que esta afecta a limitados sectores en las inmediaciones de los dos principales asentamientos urbanos de la isla: Mahón en el sector más oriental y Ciudadela en su extremo occidental. En el primero, destaca la presencia de concentraciones de ión cloruro de 2800 mg/L en la zona costera al Sur de Maó, entre las localidades de Villacarlos y S'Algar, y superiores a los 1000 mg/L al Sur de San Luis en las inmediaciones de Punta Prima, ambas ligadas a bombeos intensivos para el abastecimiento urbano. Igualmente se registran concentraciones superiores a los 1800 mg/L en toda la línea costera de los alrededores de Ciudadella, con un marcado cono de intrusión marina al este de la localidad de Ciudadella, donde el ión cloruro llega a alcanzar concentraciones que oscilan entre los 3900 y 4700 mg/L debido a las extracciones que se realizan en Es Caragolí para el abastecimiento urbano.

La evolución durante los últimos años indica un progresivo aumento del proceso de intrusión en ambas

zonas, especialmente en la de Ciudadela, pasando de valores iniciales próximos a los 200 mg/L a los actuales que se aproximan a los 5000 mg/L, lo que ha dado lugar a una evolución en la facies hidroquímica en algunas partes del acuífero, donde se ha pasado de composiciones iniciales de tipo mixto a netamente cloruradas sódicas en la actualidad.

Referencias bibliográficas

- Fuster, J. 1973. *Estudio de los recursos hidráulicos totales de Baleares*. Madrid. Ministerios de Obras Públicas, Industria y Agricultura.
- IGME. 2001. El estado de las aguas subterráneas en el archipiélago balear. Isla de Menorca. Año 2.000. Informe interno inédito.
- ITGE. 1998. *Calidad química y contaminación de las aguas subterráneas en España, período 1982-1993*. Madrid. Instituto Tecnológico Geominero de España. 110 pp.
- Mateos Ruíz, R.M.; Barón Pèriz, A. 1995. *Informe sobre el estado actual de las unidades hidrogeológicas en las Islas Baleares*. Informe inédito del ITGE-Junta d'Aigües de Balears.
- PHIB. 2001. *Plan Hidrológico de las Islas Baleares*. Palma de Mallorca. Govern Balear. Conselleria de Medi Ambient, Ordenació del Territori i Litoral.