

PROCESO DE SALINIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS
EN EL LLANO DE PALMA. ISLA DE MALLORCA.

I CONGRESO ESPAÑOL DE GEOLOGIA

Abril 1984

PROCESO DE SALINIZACION DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS EN EL LLANO DE PALMA
(ISLA DE MALLORCA)

BARÓN PÉREZ, Alfredo
FAYAS JANER, José Antonio
GONZÁLEZ CASASNOVAS, Concepción

Jefatura de Obras Hidráulicas
Dirección Provincial del MOPU
en Baleares.

Resumen:

En el Llano de Palma existen dos niveles acuíferos, en los cuales se han registrado sendos procesos de salinización.

El conocimiento suficientemente detallado de las características geométricas y litoestratigráficas de las formaciones geológicas implicadas más los análisis hidroquímicos realizados han permitido alcanzar un buen conocimiento de dichos procesos.

Resulta evidente la influencia sobre el balance global de dichos acuíferos de las extracciones de agua realizadas en pozos tanto agrícolas como de abastecimiento urbano.

Introducción:

La previsión de las limitaciones que el hecho insular podría imponer en la disponibilidad de recursos hidráulicos para el adecuado abastecimiento urbano en la isla de Mallorca, y en especial para la ciudad de Palma, aconsejaron la iniciación por el MOPU ya en 1.961, de diversos estudios al respecto.

Tales trabajos iniciales se concretaron en el Informe de 1.968 (ver bibliografía) y, como consecuencia de la gravedad de los problemas en él reflejados, se promulgó una legislación especial para Baleares y se creó un Comité Interministerial de Coordinación para el estudio de los recursos hidráulicos. Los trabajos de este Comité culminaron en el Estudio de Recursos Hidráulicos de 1.973 y en la promulgación del Decreto 3382/73.

Desde entonces el MOPU y el IGME han seguido realizando trabajos de investigación de recursos y de control de los acuíferos, correspondiendo al primero otorgar las autorizaciones de alumbramiento y de explotación y la vigilancia de las captaciones de agua y al segundo confeccionar los balances actualizados de los acuíferos y fijar los volúmenes a explotar que permitan la normal conservación de los mismos.

Veinte años después de los primeros trabajos la situación es alarmante. A ella ha contribuido sin duda la sequía que actualmente se padece, pero también han colaborado otras razones: la falta de medios humanos y materiales suficientes en los organismos de la administración competente para una aplicación eficaz de la legislación vigente, la falta de una instrumentación jurídica adecuada para el control real del

uso de las aguas subterráneas y, ex definitiva, la inexistencia de los cauces convenientes para una gestión hidráulica en su sentido pleno.

El proceso de salinización de los acuíferos del Llano de Palma, que se recoge en el presente trabajo, es uno de los problemas concretos que se enmarcan en el ámbito de dicha "situación alarmante".

Geología:

El primer factor a tener en cuenta para conocer el funcionamiento hidrológico de una cuenca es su soporte geológico, en los aspectos litoestratigráfico y geométrico.

Los materiales que constituyen los acuíferos del Llano de Palma pertenecen al Mioceno, Plioceno y Cuaternario. La serie litoestratigráfica, síntesis de los estudios realizados en toda la isla, es de techo a muro la siguiente (fig.1):

- Cuaternario (Q) - Limos rojos, gravas, conglomerados, limos negros de "albufera" y dunas.

- Plioceno (P1).

P1₂ - Calcarenitas de Sant Jordi: Dunas, lumaquelas y calcarenitas amarillentas.

P1₁ - Calcisiltitas de Son Mir: Calcisiltitas grises con microfauna abundante y macrofauna característica como *Dentalium Ammusium*, etc. (Margas grises con *Ammusium*).

- Mioceno (M).

- Messiniense (M₅)

M₅₂ - Complejo carbonatado superior (Calizas de Santany): Constituido, en el Llano de Palma, por calizas oolíticas, calizas grises recristalizadas, coquerosas y estromatolíticas (Calizas de Pont d'Inca) y arrecifes de gusanos.

M₅₁ - Margas de Porto Pi: Complejo calcomargoso, ocreamarillento, con cerfitos, pectínidos y ostreidos fundamentalmente.

- Messiniense - Tortoniense Superior (M₄₋₅).

M₄₋₅² - Complejo arrecifal. Comprende las facies internas o de lagoon, calizomargosas y con fauna restringida (M^{2L}₄₋₅), el arrecife propiamente dicho con Porites y Ostreidos, coqueroso y carbonatado (M^{2A}₄₋₅) y las facies de talud, calcareníticas, más o menos groseras y con fragmentos de corales, rodofíceas y Halimedas (M^{2T}₄₋₅).

M₄₋₅¹ - Calizas de Plataforma: Calcarenitas de grano grueso a fino, amarillentas o blancas con bancos de rodolitos.

- Tortoniense (M₄) - Calcisiltitas con Heterosteginas, grises, algo arenosas, que pasan a más detríticas en los umbrales (calcarenitas amarillentas) y con macrofauna escasa y niveles con ostrácodos. (Margas con Heterosteginas).

- Serravalliense (M₃₂) - Comprende tres formaciones: calizas lacustres con ostrácodos, cianofíceas e Hidrobias (calizas de Son Verdera), margas grises con abundante microfauna rodada, lechos con Hidrobias y niveles de yesos (Margas de Pina); limos rojos con cantos rodados y conglomerados que se indentan con la formación anterior (limos de Manacor).

- Serravalliense - Langhiense (M₃₁) - Calizas de Randa (Calizas de Son Talent): Constituidas por calcarenitas bioclásticas, zoógenas, con bancos de rodolitos, Amphisteginas y niveles de Heterosteginas.

Las formaciones langhienses y serravallienses, tardiorogéni-

cas, son discordantes con los materiales del terciario inferior-mesozoico implicados en la pulsación principal de la orogenia.

Los materiales desde el Tortoniense al Cuaternario rellenan cubetas postorogénicas.

La distribución espacial de las formaciones descritas puede observarse en las fig. 1 y 2. En ellas puede apreciarse que, sobre un substrato plegado constituido por materiales mesozoicos y terciarios (hasta el Burdigaliense), se establece una cubeta serravalliense subsidente con margas yesíferas, conglomerados en los bordes y, localmente, calizas lacustres en el techo. En el interior de esta cubeta se deposita toda la secuencia Tortoniense-Messiniense de la que destacan un complejo arrecifal bien desarrollado, que se dispone en forma de arco, y un complejo terminal (complejo carbonatado superior) que sigue esta misma disposición y que lateralmente, hacia el centro de la cuenca, pasa a facies margosas y yesíferas.

La rápida transgresión pliocena rellena las cuencas formadas en el Messiniense, erosionándolas en parte y depositando las calcisiltitas de Son Mir. Esta fase transgresivo-regresiva culmina con las calcarenitas de Sant Jordi y sus facies lumaquéllicas y dunares superiores. Su extensión, como se ve en las figuras, es más reducida que la de las formaciones anteriores.

Hidrogeología:

En la serie litoestratigráfica puede observarse que las formaciones susceptibles de constituir acuíferos son los limos y gravas del Cuaternario (Q), las Calcarenitas de Sant Jordi (Pl₂), el Complejo carbonatado Superior (M₅₂) y el Complejo Arrecifal, especialmente en sus facies bioconstruidas (M₄₋₅^{2A}).

En base a ello se definen dos acuíferos:

- Acuífero superficial: Constituido por los limos y gravas cuaternarias (Q) y por las Calcarenitas de Sant Jordi (Pl₂). Es un acuífero libre.

- Acuífero profundo: Constituido por el Complejo carbonatado Superior (M₅₂) y el Complejo Arrecifal (M₄₋₅^{2A}). Localmente puede subdividirse en dos por la separación margosa del M₅₁ (margas de Porto-Pf). Actúa como acuífero libre en las zonas de borde, cubierto a veces por el Cuaternario y como confinado en el centro del Llano.

La recarga del acuífero superficial se produce por infiltración directa del agua de lluvia y de los torrentes y por flujo lateral procedente de la zona libre del acuífero profundo en la porción central del Llano, donde la separación margosa entre ambos está por debajo del nivel piezométrico (ver fig. 1 y plano de isopiezas fig. 2). La descarga se produce directamente al mar a lo largo de la costa de la Bahía de Palma.

La recarga del acuífero profundo se produce por infiltración de lluvia y torrentes en sus zonas libres y por flujo lateral procedente de otras unidades, en especial la de S'Estremera. Su descarga se efectúa hacia el acuífero superficial, en la zona central del Llano, y hacia el mar con un flujo que sigue la disposición geológica (en forma de arco), en los bordes E y W.

Ambos acuíferos descargan también a través de importantes bombeos tanto para abastecimiento como para regadío.

Las transmisividades de los materiales cuaternarios pre -

sentan valores que oscilan entre 10 y 50 m²/dfa, salvo en algunos niveles de piedemonte en la zona del borde de S'Estremera (próximos a 1.000 m²/dfa) y en dumas consolidadas de la costa sur o el Llano de Sant Jordi que alcanzan valores de hasta 10.000 m²/dfa.

Para las calcarenitas de Sant Jordi la media se sitúa al rededor de los 1.000 m²/dfa con valores extremos de 20 a 10.000 m²/dfa, encontrándose los valores más bajos en los bordes y los más altos en el centro y el sur.

El Complejo carbonatado Superior presenta transmisividades de unos 500 a 2.500 m²/dfa.

El Complejo arrecifal tiene transmisividades de unos 200 a 10.000 m²/dfa, a excepción del nivel bioconstruido que es muy transmissivo y puede superar los 10.000 m²/dfa.

La piezometría del acuífero superficial y de las zonas libres del acuífero profundo en la parte central del Llano puede observarse en la fig. 5. En ella se refleja la situación en julio de 1.982 y nos servirá para comentar algunas de las características del flujo hidráulico en el acuífero del Llano de Palma.

Se observa, al norte, un sector con fuerte gradiente e isopiezas sensiblemente paralelas a la zona de recarga de S'Estremera, que corresponde a los materiales cuaternarios y partes libres del acuífero profundo, con facies poco permeables y una importante capacidad de almacenamiento.

A partir de la separación entre el acuífero profundo y el acuífero superficial se registra una disminución muy importante del gradiente hidráulico, una mayor transmisividad y una menor capacidad de almacenamiento.

Centrándonos ya en el acuífero superficial observamos que la disposición natural de las isopiezas está muy modificada por los importantes bombeos de las zonas de Pont d'Inca (abastecimiento) y Llano de Sant Jordi (regadío). Estos bombeos provocan, especialmente en período de estiaje, depresiones del nivel piezométrico por debajo de la cota 0 originando una inversión del flujo y la consiguiente elevación de la interfases agua dulce - agua salada.

Hidroquímica:

En el verano de 1.970 se realizó una campaña de análisis completos con el objeto de caracterizar, desde el punto de vista hidroquímico, las aguas de los acuíferos. En base a estos análisis se pudieron diferenciar distintas zonas. Para el acuífero superficial, las de Palma - Portixol, Coll d'en Rabassa - Sant Jordi y la zona restante, comprendida entre las anteriores y el límite del acuífero (ver fig.1 y fig.2). Para el profundo, las de Bellver - Pont d'Inca, Son Ferriol - Sant Jordi, Son Prim y zona restante del acuífero. Cabe destacar una salinización importante del acuífero superficial en el sector Coll d'en Rabassa - Sant Jordi y un alto contenido en sulfatos del acuífero profundo en la zona Son Ferriol - Sant Jordi. También se advierte la existencia de dos núcleos de contaminación salina en el sector de Son Prim y al sureste del mismo.

En la figura 3 pueden verse distintas caracterizaciones de esta zonificación.

En las figuras 4 y 5 puede observarse la evolución de las líneas de isocloruros. Desde 1.962 a 1.970 se controló la evolución

de la intrusión en el acuífero profundo que, como se ve en la figura 4, avanza desde la zona de Porto Pi - Bellver hasta alcanzar la de Pont d'Inca, en forma de arco y siguiendo la estructura geológica. Este avance es progresivo y va ligado al incremento de explotación de este acuífero en pozos situados cada vez más al noreste.

Por lo que respecta al acuífero superficial las isohalinas no presentan variación significativa hasta el año 1.977. Desde ese momento la salinidad aumenta progresivamente hasta llegar a la situación de los últimos tres años en que toda el área de la ciudad de Palma registra contenidos de unos 500 a 1.000 p.p.m. de ión Cl^- .

La zona del Aeropuerto - Sant Jordi, totalmente salinizada, no presenta un avance significativo del frente de salinización, aunque sí un incremento del índice de salinidad de las aguas en las zonas de más intensas extracciones para riego (hasta 15.000 p.p.m. de ión Cl^-). Conviene tener en cuenta que esta área estuvo cubierta por el mar en época histórica (S.XII), pasando posteriormente a albufera (S.XVIII) y siendo por último desecada y convertida en zona de riego en el S.XIX.

Area de Pont d'Inca:

En el área de Pont d'Inca se ubica uno de los grupos de pozos de captación de agua de mayor importancia para el abastecimiento de Palma. El volumen anual de extracción en ellos totaliza unos 15 millones de m^3 .

La circunstancia de que varios de dichos pozos penetran hasta el acuífero profundo sin aislamiento del acuífero superficial aconsejó su sellado, en 1.970, ante la salinización que ya se registraba en el acuífero profundo (5.000 - 7.000 p.p.m. Cl^-) y habida cuenta, además, de que el nivel piezométrico de este último era más alto que el del superficial en unos 3 m.

En la fig. 6 se ofrecen datos relativos a la evolución de niveles piezométricos en el sondeo de control S-19 y del contenido en ión Cl^- del agua obtenida en los pozos P-10 y B, que son respectivamente los de peor y mejor calidad de los existentes en el grupo.

En dicha figura y por lo que se refiere a la evolución de niveles piezométricos, se pone de manifiesto que:

1ª) Hasta 1.981, se mantienen la mayor parte del año por encima de la cota cero descendiendo por debajo de ésta sólo durante cortos períodos, si bien es de advertir que la envolvente de los niveles máximos es suavemente descendente.

2ª) A partir del verano de 1.981, permanecen la mayor parte del año por debajo de la cota cero, los períodos de recuperación son más cortos y sobrepasan escasamente esta cota y la envolvente de los niveles altos sufre un desplome considerable.

Por lo que se refiere al contenido en ión Cl^- cabe destacar:

1ª) En el pozo B se sitúa entre 200 y 400 p.p.m. hasta el año 1.979, pasando en 1.980 a oscilar entre 200 y 500 p.p.m. y, a partir de este año, va incrementándose continuamente hasta alcanzar en la actualidad las 1.250 p.p.m.

2ª) En el pozo nº 10 se observa un incremento progresivo de los máximos ya desde 1977 mientras los mínimos permanecen estables alrededor de las 300 p.p.m. hasta 1.980. A partir de entonces di-

chos mínimos experimentan un incremento progresivo y espectacular, alcanzando en la actualidad la cifra de 2.400 p.p.m., con máximos de 3.000 p.p.m.

Como puede verse en la figura la correlación entre niveles y calidad del agua es perfecta y la recuperación en ambos parámetros resulta cada vez menor.

En la misma figura se incluye un perfil de registros de salinidad - temperatura en sondeos que dibuja la típica figura de intrusión en domo por sobrebombeo.

Actualmente este fenómeno viene agravado por el deterioro del aislamiento realizado en 1.970 entre los dos acuíferos, al que ya se ha aludido. Esto permite el paso de agua salada, de unos 10.000 p.p.m. de ión Cl^- , del acuífero profundo al superficial. El IGME está trabajando en la resolución de este problema ensayando la efectividad de una disminución del flujo mediante el descenso del nivel piezométrico del acuífero profundo por bombeo en el mismo.

En el proceso de salinización del área de Pont d'Inca que se ha expuesto ha influido evidentemente el aumento de extracciones que se ha registrado en ella. Pero también ha contribuido al mismo, sin duda, una notable disminución en su recarga derivada no sólo de una menor tasa de infiltración directa de las precipitaciones debida a los pequeños valores alcanzados por éstas en los tres últimos años, sino también de la anulación de un flujo subterráneo importante procedente de la unidad vecina de S'Estremera, flujo que ha cesado debido al fuerte descenso que han sufrido los niveles piezométricos de esta última a causa de la intensiva explotación realizada en ella.

Conclusiones:

De todo lo expuesto anteriormente se deducen las siguientes conclusiones:

- En el Llano de Palma se han explotado fundamentalmente dos acuíferos, en los cuales se ha producido un proceso de salinización progresiva.
- El acuífero profundo quedó inutilizado por este proceso en 1.970.
- A partir de entonces, tanto para abastecimiento como para riego se explota fundamentalmente el acuífero superficial, en el cual se desarrolla un proceso similar aunque más lento.
- Este proceso sufre una importante aceleración a partir del año hidrológico 1.980-81, coincidiendo con un período de sequía y un incremento de las extracciones.
- Queda patente que para poder interpretar de forma correcta un proceso hidrológico es del mayor interés conocer adecuadamente los condicionantes geológicos del mismo.
- Se pone igualmente de manifiesto la necesidad de disponer de formas de gestión de las aguas subterráneas, hoy en día inexistentes, que permitan no sólo una planificación adecuada de las mismas sino su seguimiento eficaz en beneficio de los propios usuarios interesados.



DIRECCIÓ GENERAL
DE RECURSOS HÍDRICS

SERVEI D'ESTUDIS I PROMOCIÓ

Bibliografía:

García Yagüe, A. (1.968). ESTUDIO HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE - PALMA. Servicio Geológico de Obras Públicas. Madrid.

Fuster, J. (1.970). NOTA TECNICA SOBRE LAS CAPTACIONES DE PONT D'INCA. Servicio Geológico de Obras Públicas. Madrid.

Cabrera, E. (1.972). NOTA TECNICA SOBRE LOS REGISTROS DE SALINIDAD REALIZADOS EN EL LLANO DE PALMA. Servicio Geológico de Obras Públicas. Madrid.

Llamas Madurga, M.R. (1.972). INFORME HIDROGEOLOGICO DEL LLANO DE PALMA. Servicio Geológico de Obras Públicas. Madrid.

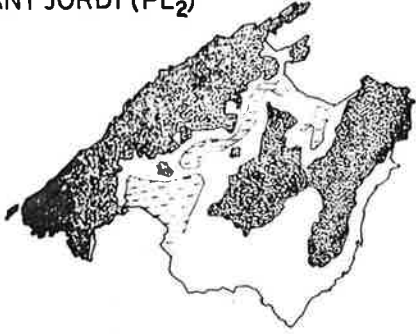
Fuster, J. (1.973). ESTUDIO DE LOS RECURSOS HIDRAULICOS TOTALES DE BALEARES. Comité de Coordinación. Madrid.

Barón, A., González, C., y Pascual, D. (1.962 a 1.983). ANUARIOS DE ISOPIEZAS E ISOCORURAS DEL LLANO DE PALMA. Jefatura de Obras Hidráulicas. Palma de Mallorca.

(1.983) PLAN HIDROLOGICO NACIONAL. ISLAS BALEARES. Jefatura de - Obras Hidráulicas de Baleares - I.n.t.e.c.s.a. Madrid - Palma de Mallorca.

Barón, A. (Tesis doctoral en curso). ESTUDIO DEL MIO-PLIOCENO DE LA ISLA DE MALLORCA. VALOR ACUIFERO Y CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS. - Palma de Mallorca.

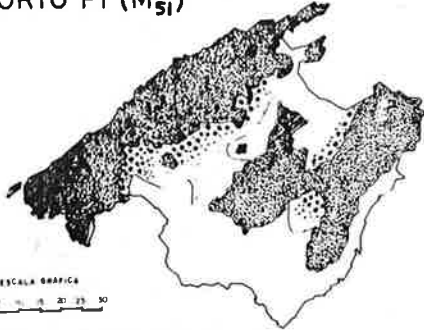
CALCARENITAS DE
SANT JORDI (PL₂)



COMPLEJO CARBONATADO
SUPERIOR (M₅₂)



MARGAS DE
PORTO PI (M₅₁)

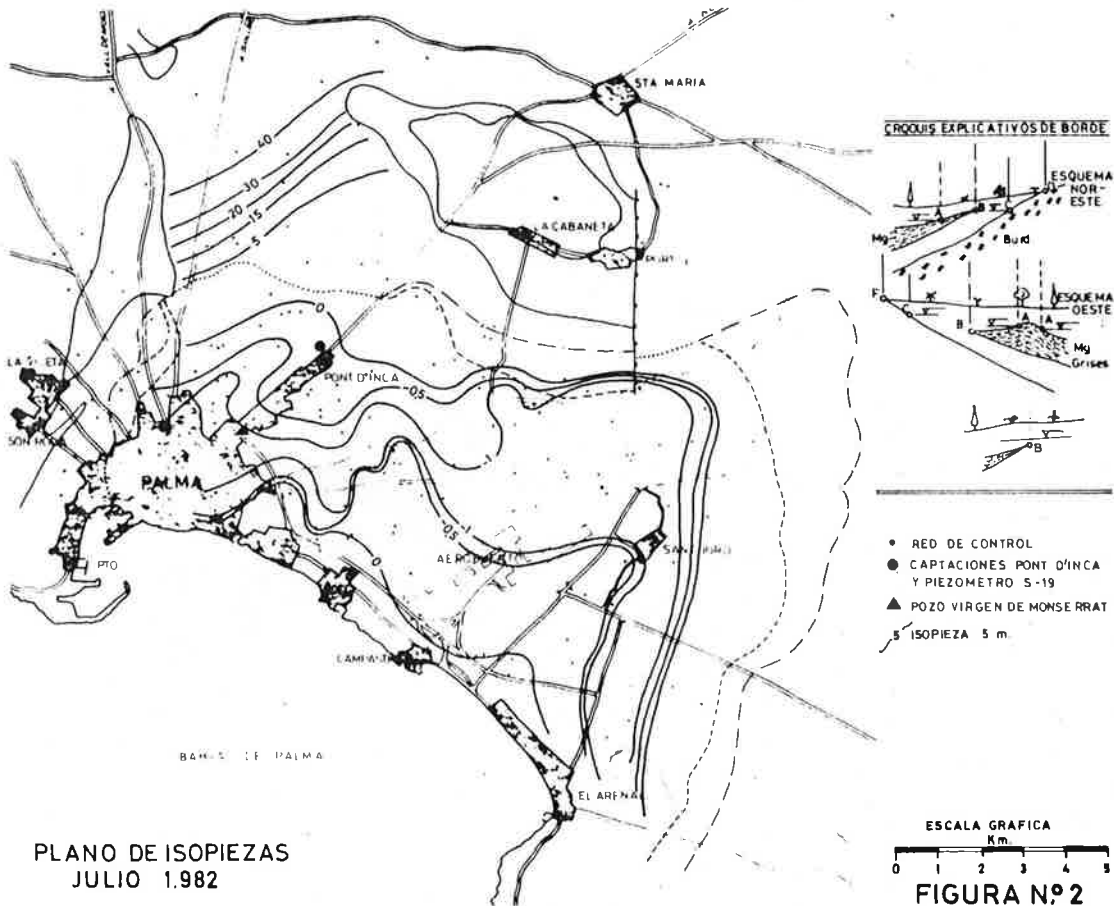


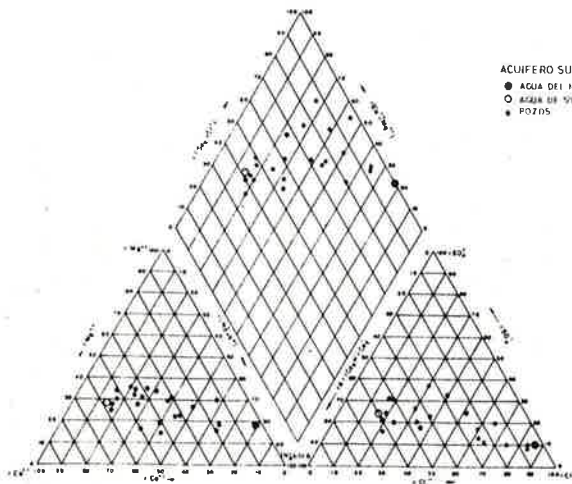
COMPLEJO ARRECIFAL
(M_{4.8}^{2A})



ESCALA GRAFICA
0 5 10 20 25 30

 PRETORTONIENSE





ACUIFERO SUPERFICIAL
 ● AGUA DEL MAR
 ○ AGUA DEL ABANCA ACUIFERO PL₂
 ◆ POZOS

● AGUA DEL MAR
 ○ AGUA DEL ABANCA ACUIFERO PL₂
 ◆ AGUA ACUIFERO M₂
 ◆ M₂
 ◆ M₂L

LEYENDA.

Ca⁺K⁺ ———— Cl⁻
 Mg⁺⁺ ———— SO₄⁻²
 Ca⁺⁺ ———— CO₃H·CO₂

En el plano 1m.m. representa
 1m.e.q./l

- ▢ Residuo seco a 105°C en gr/l.
- Q Cuaternario
- PL₂ Calcarenitas pliocenas
- M₂ Complejo carbonatado sup
- M₂ Complejo arrecifal
- O Conglomerados y calizas oligocenas
- L Acuífero liásico

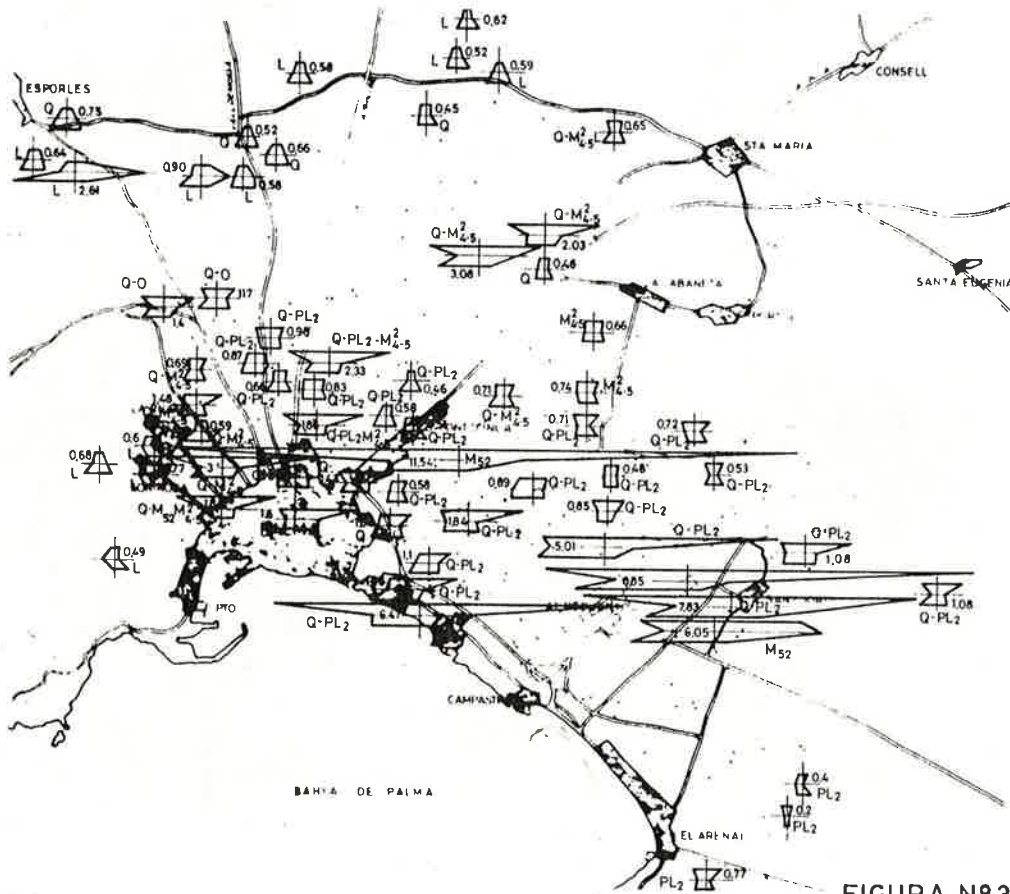
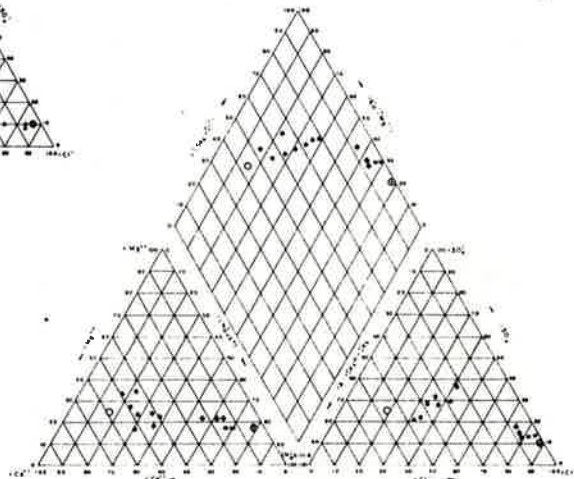


FIGURA Nº 3

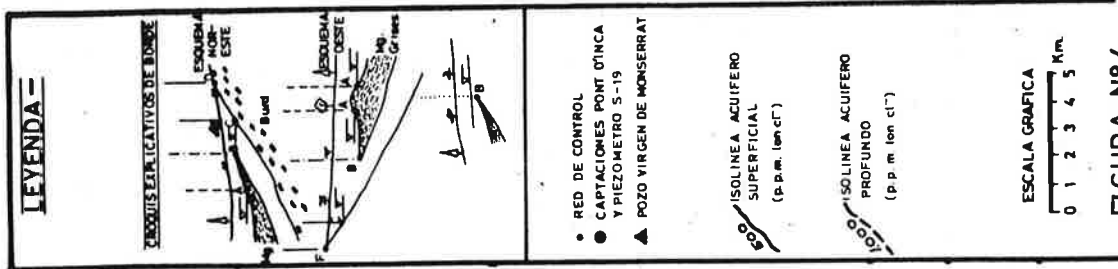
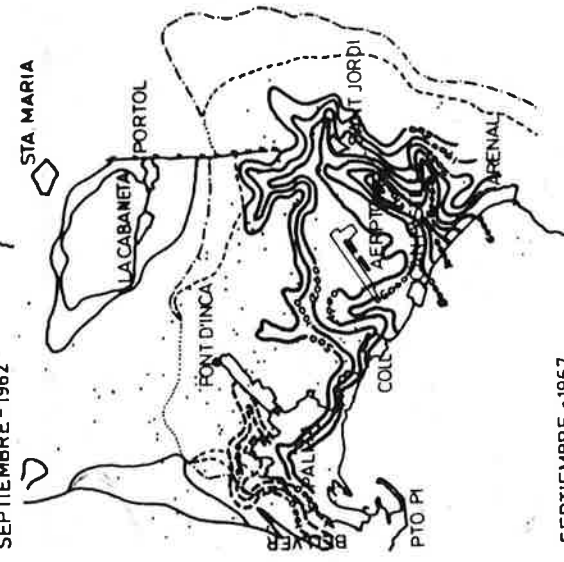
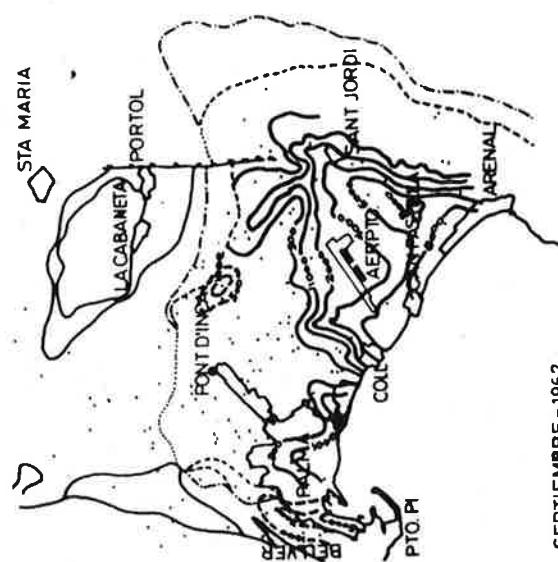
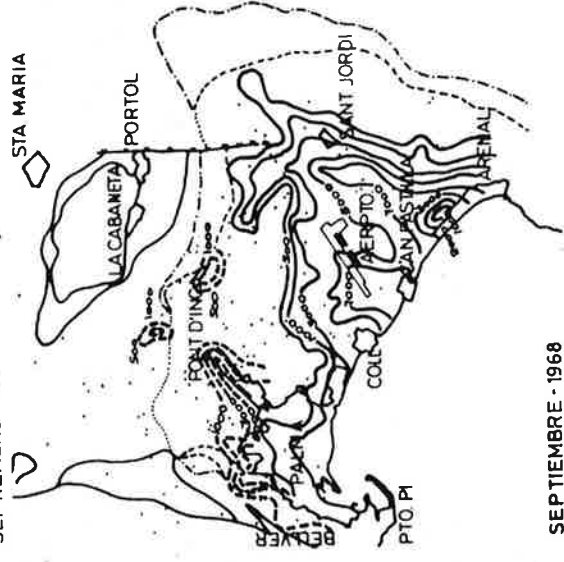
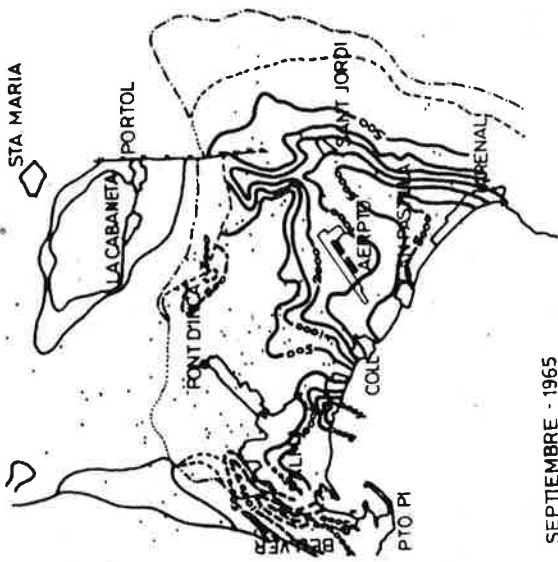


FIGURA Nº 4



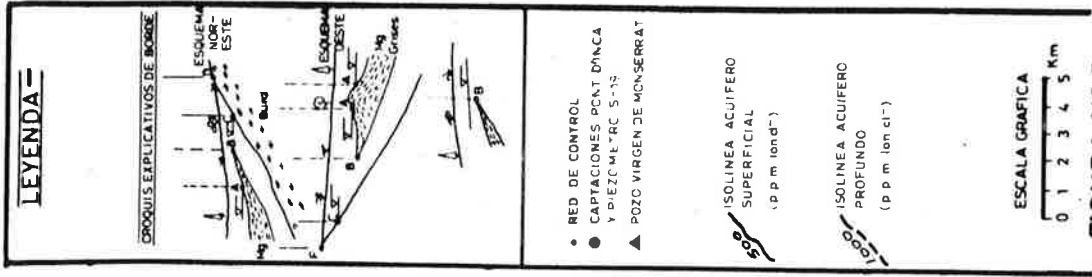
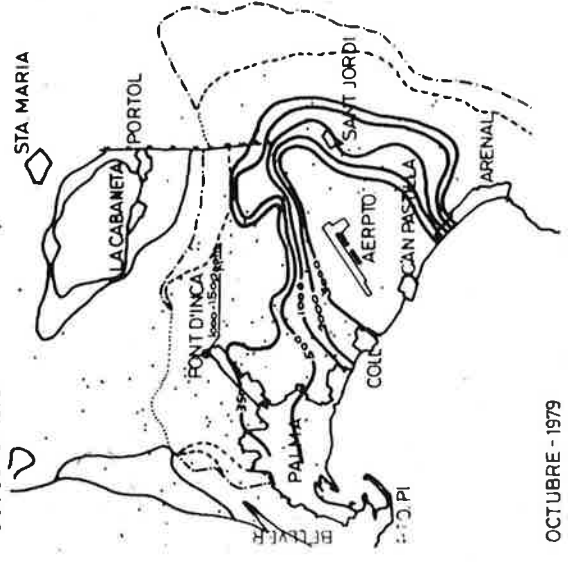
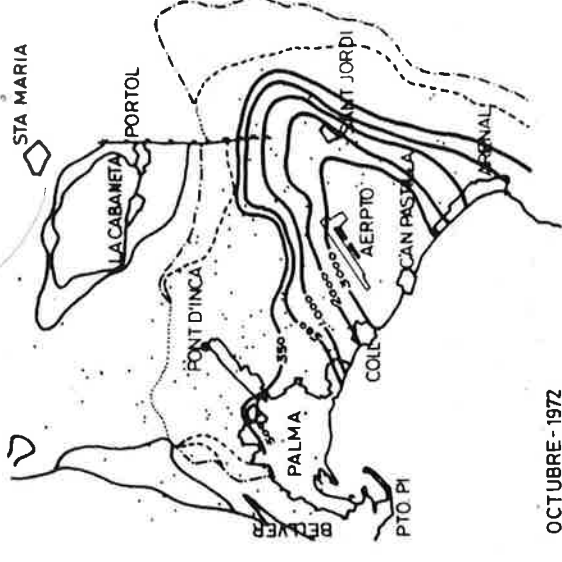
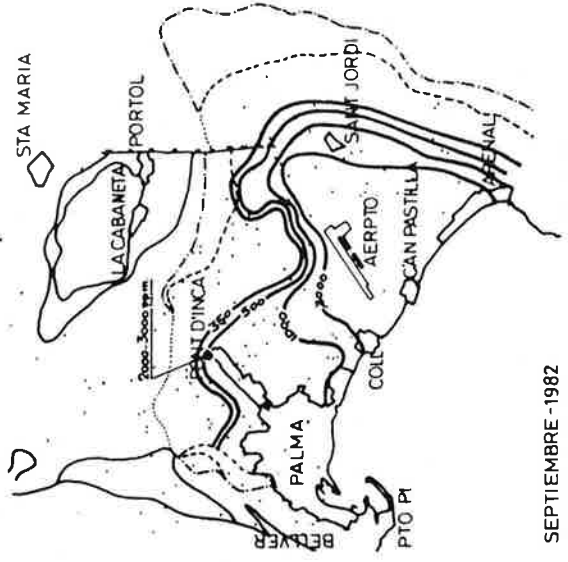
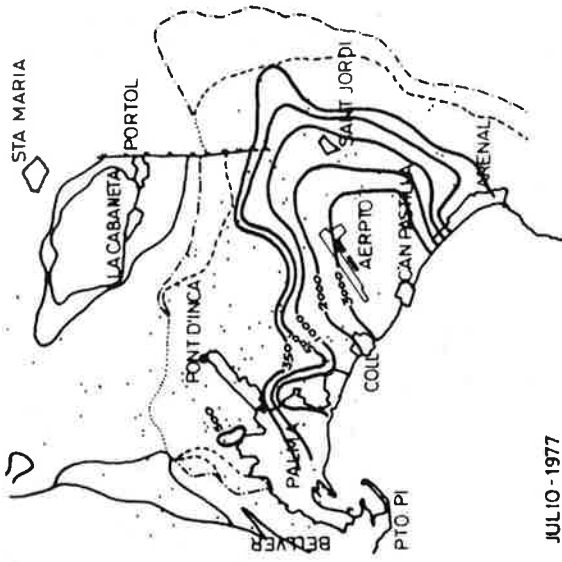


FIGURA N° 5



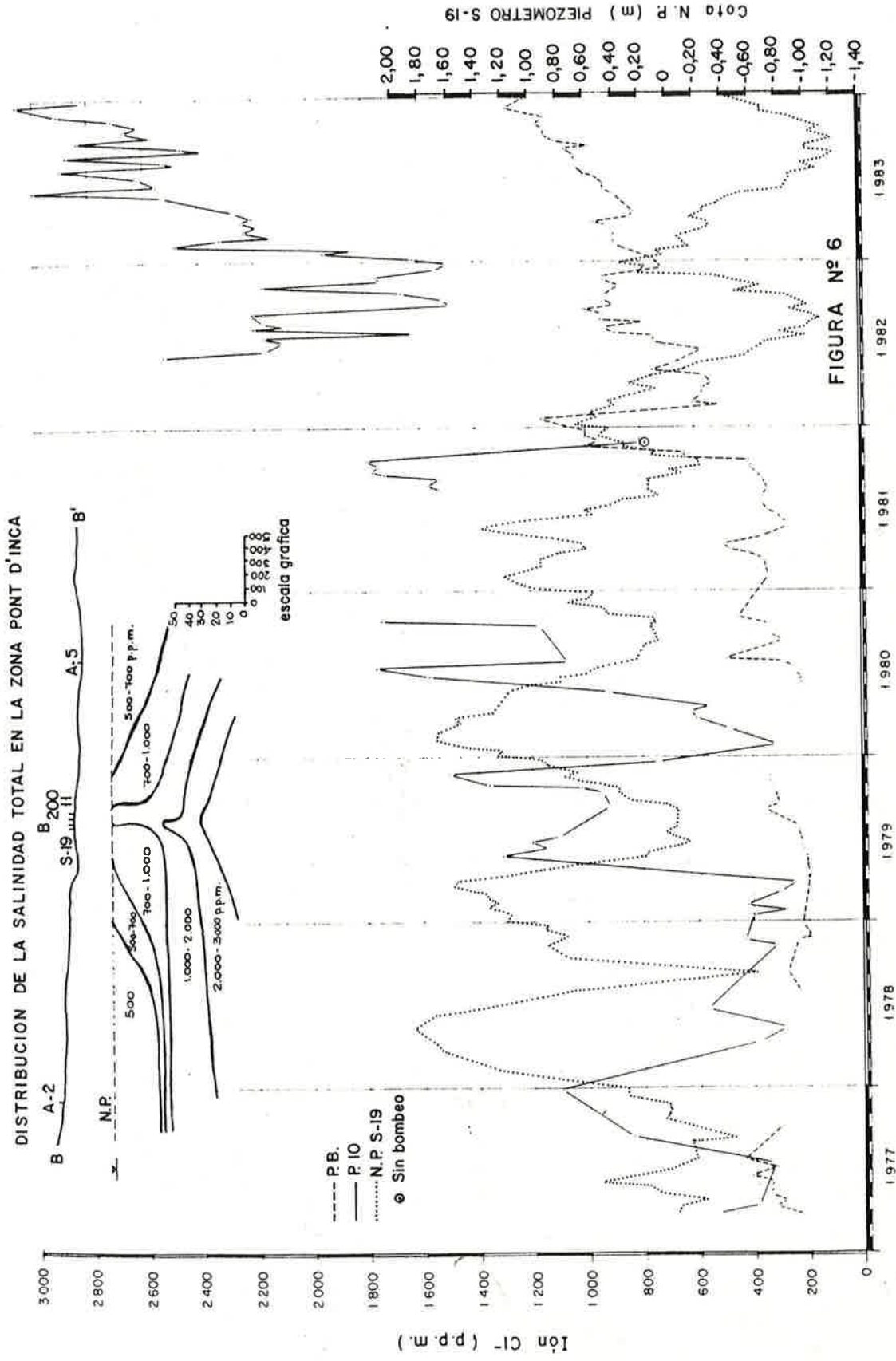


FIGURA Nº 6