

CONVENIO CON LA EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTI
GACIONES MINERAS, S.A. PARA LA INVESTIGACION GEO
TERMICA DE DIVERSAS AREAS DE INTERES GEOTERMICO.

- AÑO 1985 -

INVESTIGACION GEOTERMICA EN EL AREA DE
LLUCHMAYOR - BAÑOS DE SAN JOAN (MALLORCA)

- INFORME FINAL -



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

1.- INTRODUCCION

1.1.- ANTECEDENTES

Los estudios geotérmicos anteriores al presente que afectan de modo directo o indirecto a la isla de Mallorca en general o, en particular, a las manifestaciones termales objeto de este Informe, son dos:

- 1974-75 "Inventario general de manifestaciones geotérmicas en el territorio nacional".
- 1984 "Proyecto de investigación geotérmica preliminar del Pirineo oriental, Zona meridional del Prelitoral catalán e Islas Baleares".

El primero de los citados consistió fundamentalmente en un inventario o ficha de cada una de las principales manifestaciones geotérmicas que incluía, aparte de otros datos, un pequeño esquema hidrogeotérmico basado en las observaciones realizadas durante una breve visita de campo. En dicho estudio la isla de Mallorca fué, en realidad, dejada prácticamente de lado, debido al pequeño número de manifestaciones existentes así como a su a priori relativa poca importancia y/o al desconocimiento de la existencia de algunas de las mismas.

En el segundo informe, más concreto que el anterior, se dedica el volumen III al estudio geotérmico de las islas Baleares en general, describiéndose por separado en cada capítulo (Geolo

gía, Hidrogeología, etc.) las características y datos de cada una de ellas. Dentro del mismo se procedió a un inventario de las distintas manifestaciones termales de la isla de Mallorca en general incluidas las que ahora se estudia, así como a una recogida de muestras con análisis físico-químicos de campo y laboratorio y, en algunas de ellas, determinación especial de isótopos y gases, aunque la extracción de estos últimos resultó negativa por carecer incluso de componente disuelta.

1.2.- OBJETIVOS

Los focos principales de interés termal objeto del presente estudio son los sondeos con agua termal que se encuentran situados entre 1 y 5 Km al S-SO de Lluchmayor y próximos entre sí. A partir de ello, lógicamente también se integra desde un principio el análisis del Balneario de la Font Santa de Sant Joan, situado a 18 Km al SE de Lluchmayor, por su a priori muy probable relación geotérmica con los puntos termales anteriores. Por el contrario, después de una primera revisión, se desecha el estudio del resto de las manifestaciones termales de la isla conocidas hasta el momento y que, a priori, se consideran relacionadas con sistemas hidrogeotérmicos distintos (Sierra Norte) del Sistema Lluchmayor - Baños de San Juan.

A partir de lo anterior, los objetivos del estudio consisten en la explicación del origen de dichas manifestaciones termales mediante la definición de los almacenes y de los límites del sistema o sistemas hidrogeotérmicos responsables de la presencia de aquéllas. Una vez conseguida una suficiente aproximación al problema en los aspectos geológicos e hidrogeológicos se procede a una toma de muestras de agua en puntos previamente seleccionados con el fin de integrar los datos hidroquímicos y geotérmicos obtenidos en las conclusiones e hipótesis hidrogeotérmicas.

cas previamente establecidas. El contraste de estas últimas con los resultados geoquímicos permitirá poner a prueba la validez de las mismas, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo.

1.3.- TRABAJOS REALIZADOS

Bajo la supervisión del Instituto Geológico y Minero de España personificado en D. Celestino García de la Noceda, el presente trabajo ha sido dirigido, elaborado y redactado por Fernando Jerez Mir, Licenciado en Ciencias Geológicas, en colaboración, en el capítulo de Geoquímica con Carmen Méndez Piñeiro, Licenciada en Ciencias Químicas, ambos de la Empresa Nacional Adaro. La toma de muestras y análisis en campo fué realizada por Eduardo Sánchez Serrano, Ingeniero Técnico, asimismo de la E.N. Adaro.

Se expresa aquí el reconocimiento a D. Alejandro Rosso y a todo el personal de la oficina del IGME en Palma de Mallorca por las facilidades obtenidas durante la labor de recogida de datos.

El estudio se ha desarrollado durante el año 1985, habiéndose dedicado en total, incluida la elaboración del Informe, 25 jornadas a Geología e Hidrogeología-Geotermia y 6 jornadas a Geoquímica, aparte de la toma de muestras de agua.

Los trabajos concretos llevados a cabo han sido los siguientes:

- Recopilación y análisis de documentación básica, principalmente geología (Mapa Geológico de España, a E, 1: 200.000 - Síntesis

de la Cartografía existente- y 1: 50.000 -MAGNA-, este último referente a las hojas, aún no publicadas, de Porreres -699- Manacor -700-, Lluchmayor -724-, Felanix -725/749- e Islas Conejera y Cabrera -748/774), hidrogeológica (P.I.A.S. y otros estudios del IGME, MOPU, etc.), geotérmica (estudios anteriores del IGME) y geofísica.

- Reconocimiento geológico general de la isla de Mallorca y, en particular, de una amplia zona (Sierra de Levante y áreas centrales próximas a Lluchmayor), a priori previsiblemente relacionada con las manifestaciones termales objeto del presente Estudio.

Como consecuencia del mismo, se ha elaborado un "Mapa hidrogeotérmico de la cuenca de Lluchmayor-Campos del Puerto y de la Sierra de Levante", a escala 1: 100.000 sintetizado a partir de la cartografía 1:50.000, con el que, sin pretender abarcar totalmente los límites (probablemente más amplios que lo representado en el Mapa) del sistema hidrogeotérmico responsable de las manifestaciones termales, se intenta al menos poner de manifiesto el entorno geológico-hidrogeológico más significativo del mismo y, sobre todo, sus probables áreas de alimentación.

- Análisis particular de la situación y documentación existente relativa a las manifestaciones termales (temperatura, columnas estratigráficas de sondeos, etc.) y, a partir de ello, explicación del origen de las mismas (límites del sistema hidrogeotérmico, almacenes y mecanismos de recarga y descarga).
- Toma de muestras de agua en 1 puntos. Análisis y tratamiento de datos geoquímicos e interpretación conjunta (hidrogeología-geoquímica) de los mismos. Elaboración de conclusiones geotermométricas.

- Valoración de los resultados de la campaña de geoquímica desarrollada previamente a este trabajo y contraste de los datos aportados por la misma en relación con las concepciones sobre la naturaleza del substrato elaboradas a partir de la geología.

1.4.- GEOGRAFIA FISICA Y CLIMA

El núcleo de la zona de estudio está constituido por un área próxima, a la vez, a Lluchmayor y al Balneario de la Font Santa de San Joan, ambos situados en la parte meridional de la isla de Mallorca.

Geomorfológicamente, la isla se divide en tres sectores: la Sierra Norte, los Llanos Centrales y la Sierra de Levante.

El área estudiada afecta a la mayor parte de la Sierra de Levante y, parcialmente, a los Llanos Centrales, si bien todas las manifestaciones termales incluidas en la misma se encuentran dentro de este último sector.

El clima es templado. Las medias invernal es de unos 10°C y la anual, del orden de 17°C. En verano, la temperatura media se aproxima a los 25°C. La zona más fría coincide, lógicamente, con la Sierra Norte que es donde se encuentran los mayores relieves.

El régimen de precipitaciones presenta un mínimo en verano (Junio-Agosto). La mayor cantidad de lluvias corresponde al invierno (Noviembre-Marzo) aunque las precipitaciones más intensas se producen en Otoño, siendo Octubre el mes más lluvioso. La irregularidad interanual no es demasiado acusada. El mayor porcentaje de precipitación y escorrentía superficial corresponde a la Sierra Norte, donde los valores de las isoyetas se extienden desde 700 mm en la falda meridional, hasta los 1.200 mm en las cumbres (en una pequeña zona se alcanzan los 1.400 mm).

En cuanto a hidrología de superficie cabe decir que en Mallorca no existen cursos permanentes de aguas superficiales. Las mayores aportaciones corresponden a los torrentes de la Sierra Norte de Mallorca (Soller, etc.) en los cuales existe un importante drenaje subterráneo por medio de manantiales.

2.- GEOLOGIA

2.1.- MARCO GEOTECTONICO Y GEOTERMICO REGIONAL

Las Cordilleras Béticas constituyen un orógeno típicamente alpino levantado, en parte, al final del Eoceno medio y, en otra parte, durante el Mioceno inferior y medio, pero en el que la actividad tectónica de diverso signo ha continuado siendo importante hasta tiempos muy recientes (Cuaternario) y ha estado, además, acompañada de manifestaciones eruptivas (volcanismo) igualmente importantes y recientes.

La presencia frecuente de almacenes, generalmente ubicados en rocas carbonatadas y a menudo situados a gran profundidad, unido a la profusa existencia de fallas verticales de gran longitud y penetración hace que la presencia de puntos de agua caliente sea relativamente abundante.

Así, se ha inventariado, por un lado, una serie de manantiales (y también algunos sondeos) con temperaturas anómalas, más o menos alineados según una franja de varios cientos de Km de longitud ubicada, aproximadamente, sobre el contacto Zona Bética-s.str.-Zona Subbética y, por otro lado, otros muchos manantiales situados ya más al Sur y, por tanto, plenamente dentro de la Zona Bética s.str.

El contacto Zona Bética s.str.-Zona Subbética o Contacto Límite (Jerez, F. 1979 y 1981) , es un accidente dextrorso a nivel de zócalo, de plano vertical y gran longitud (varios cien

tos de Km), deformado posteriormente por otros accidentes trans
versales y a menudo recubierto tectónicamente por retrocorrimient
os más o menos superficiales de las coberteras mesozoicas-terciar
ias pertenecientes al Subbético.

Al Norte del Contacto Límite existe un zócalo cratónico-
paleozoico sobre el que se apoyan, insolidariamente despegados
a nivel del Triás, el Subbético y el Prebético. Dicho zócalo es
solidario con el resto de la Placa Ibérica de la que, simplemente,
constituye su parte meridional.

Al Sur del Contacto Límite los terrenos del Paleozoico
no han constituido, por el contrario, un zócalo rígido ante los
esfuerzos alpinos sino que han respondido plegándose solidariament
e junto con las coberteras mesozoicas a la vez que se desarroll
aba un importante metamorfismo de tipo alpino.

Esta respuesta diferente del Paleozoico estaría en relaci
ón con la diferenciación de una Placa de Alborán, situada entre
las grandes placas Ibérica (o Europea) y Africana.

La Placa de Alborán parece haber tenido, y continúa ten
iendo, una beligerancia tectónica mucho más acusada que las otras
dos grandes placas que la franquean. Dicha inestabilidad viene
caracterizada, principalmente por la mayor maleabilidad de la cort
eza, como lo prueba el citado plegamiento alpino del Paleozoico,
fenómenos de corrimientos prematuros (Eoceno medio) y menos prem
aturos (finiAquitaniense), importantísimo deslizamiento en el
sentido de Este a Oeste, lo cual reafirma su independencia
respec
to a la Placa Ibérica (Zonas Externas), presencia de fenómenos
de metamorfismo más o menos importantes, intrusión de peridotitas
procedentes del Manto en su extremo occidental y en un tiempo
relativamente reciente (finiAquitaniense ?), así como fenómenos

de volcanismo (Mioceno-Plioceno-Cuaternario) en un área más oriental (Almería, Mazarrón, Cartagena), aparte de la actividad tectónica continuada que llega hasta nuestros días (plegamiento de fondo Pliocuaternalio, levantamiento actual de la costa mediterránea, sismicidad histórica acusada, etc.). Todo ello está, a su vez, en relación con un adelgazamiento de la corteza silílica en la zona correspondiente a la Placa de Alborán tal y como se desprende de los datos geofísicos existentes.

2.2.- DIVISION EN ZONAS Y DOMINIOS

Las Cordilleras Béticas se dividen en tres zonas, a saber: Prebética (incluyendo aquí la Cobertera Tabular de la Meseta que forma la orla más externa de la misma), Subbética y Bética s.str. ordenadas de Norte a Sur. Esta división que es, a la vez, paleogeográfica y estructural, afecta solamente a los terrenos depositados entre el Triás y el Aquitaniense-Burdigaliense inferior (Mioceno inferior) ambos incluidos, aunque, desde el punto de vista estructural, también participan de ella terrenos más antiguos (Paleozoico).

Según los autores existe, diferenciada o no, una cuarta zona denominada "Zona Límite" (Paquet, 1967), "Subzona Intermedia" (no independiente, sino superpuesta fundamentalmente sobre la Zona Bética s.str.; Jerez, F., 1979 y 1980-81) o "Circumbética" (Baena y Jerez, L., 1982), situada entre las erróneamente denominadas en la bibliografía al uso Zonas Internas (Bético s.str.) y Externas (Subbético y Prebético) propiamente dichas.

Dentro de la Zona Bética s.str. en general, existen tres conjuntos tectónicos estructuralmente superpuestos, a saber: Nevada-Filábride, Alpujárride y Maláguide y unidades afines, enumerados de abajo a arriba. Dichos conjuntos se corresponden con otros

tantos dominios paleogeográficos. Comúnmente se admite que las superficies que separan entre sí a dichos conjuntos son de tipo manto de corrimiento. El conjunto más inferior (Nevado-Filábride) constituye el autóctono relativo del Alpujárride y este último, el autóctono relativo del Maláguide. Aunque aún existen algunas incógnitas sobre el sentido de traslación de los mantos (actualmente hay bastantes datos locales acumulados, pero falta todavía una síntesis global) cuyas interrogantes pueden trasladarse al problema del origen paleogeográfico de los mismos, actualmente se tiende hacia una convergencia entre un número cada vez mayor de autores sobre el origen meridional de los mismos.

A partir del Mioceno medio-superior, una vez terminada la estructuración fundamental de las Cordilleras Béticas, se desarrolló dentro del marco de las mismas un importante proceso dinámico de distensión que dió lugar a una serie de cuencas intramontañosas, de carácter marino y más o menos conectadas entre sí, denominadas Depresiones Interiores (Granada, Guadix-Baza, Murcia, Almería, etc.), donde se depositaron los llamados Terrenos Post-Mantos (Mioceno superior, Plioceno y Cuaternario, fundamentalmente) a las que hay que añadir la Depresión del Guadalquivir de carácter singular por su mayor extensión y mejor comunicación, en el tiempo y en el espacio, con el mar abierto (Océano Atlántico).

Una característica fundamental de la Zona Bética s.str. (a excepción del dominio de Maláguide y unidades afines) es la ausencia prácticamente generalizada de depósitos de edad situada entre el Triás superior y el Mioceno inferior-medio (Burdigaliense-Langhiense).

Por último la isla de Mallorca se considera aquí incluido en su conjunto dentro del dominio subbético.

2.3.- ESTRATIGRAFIA

En la descripción que sigue los distintos terrenos son expuestos según un orden cronoestratigráfico, de más antiguo a más moderno. A su vez, se da a la descripción de los mismos más o menos énfasis según su mayor o menor interés hidrogeotérmico. A excepción del Triásico infra-Retiense, las descripciones que siguen se refieren a las facies presentes en la Sierra de Levante ya que se considera que son dichos materiales fundamentalmente los que constituyen el substrato Subbético de la zona de estudio.

2.3.1. Terrenos Pre-Mantos

Son los terrenos depositados anteriormente a la etapa de corrimientos intra-Langhiense que dió lugar principalmente a la colocación, como conjunto, de la Sierra Norte de Mallorca y, a su vez, a la estructuración interna de la misma en las tres escamas fundamentales que la conforman.

2.3.1.1.- Triásico

Está representado por sus tres términos: Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper.

El Bunt presenta tres tramos litológicos constituidos sucesivamente, y de abajo arriba, por unos 100 m de lutitas rojas, 125 m de areniscas blancas y rojas y 25 m de lutitas rojas y verdes. Aflora únicamente en una parte de la franja costera de la Sierra Norte.

El Muschelkalk aflora, igualmente, sólo en la Sierra Norte y está constituido por dolomías en bancos gruesos, lutitas y margas con niveles dolomíticos.

El Keuper aflora con relativa amplitud en la Sierra Norte y muy escasamente en la Sierra de Levante. Se trata de una serie fundamentalmente volcánica-básica, con coladas, brechas y piroclastos así como productos sedimentarios derivados (cineritas o tufitas). No obstante, en otros puntos no existen coladas volcánicas y el Keuper está constituido solamente por arcillas abigarradas y yesos; así, en las proximidades de Artá (Sierra de Levante) los yesos llegan a ser masivos habiéndose cortado en un sondeo hasta 100 m de los mismos.

2.3.1.2.- Retiense-Liásico (Dolomías y Calizas)

La serie es muy parecida a la de la Sierra Norte con la diferencia de que en la Sierra de Levante la dolomitización es muy intensa y resulta más difícil diferenciar los distintos tramos litológicos.

De base a techo está compuesto por dolomías negras masivas, calizas laminadas y calizas oncolíticas y oolíticas, y cuarzarenitas.

La potencia del conjunto es de 400-450 m.

2.3.1.3.- Dogger-Malm

El Dogger comienza con facies "ammonítico rosso" de edad Aalenense a la que siguen 40 m de calizas arcillosas y margas; sobre este último tramo se desarrolla una unidad de resedimentación oolítica con base erosiva y niveles canalizados de 120 m de potencia, compuesta por 20 m de calcarenitas oolíticas, 6 m de calizas tableadas con sílex, dos potentes bancos de grains tones oolíticos con una intercalación de calizas tableadas y, a techo, 35 m de calizas tableadas oscuras, fétidas y bien estra

tificadas en bancos finos con intercalaciones de niveles centimétricos de calcarenitas oolíticas y con presencia de sílexitas y nódulos de sílex.

El Malm tiene entre 80 y 130 m de potencia y presenta facies "ammonítico rosso" en su base, seguida por unos 50 m de calizas con sílex y, a techo, un tramo de 20-30 m de calizas nodulosas y calizas tableadas, coronado por otro tramo de calizas písolíticas y algales.

2.3.1.4.- Cretácico inferior

Está representado fundamentalmente por una alternancia de margas y calizas arcillosas que constituyen las facies "Maio lícas". Únicamente en la parte nororiental aflora una serie muy monótona de calizas grises de unos 550 m de potencia. La microfauna corresponde fundamentalmente al Valangoniense y Harteriviense y sólo en los términos más altos está presente el Barremiense.

El Cretácico superior, predominantemente calizo, aflora únicamente en la Sierra Norte sin que se haya reconocido su existencia en la Sierra de Levante.

2.3.1.5.- Eoceno

Los sedimentos más antiguos del Terciario presentes en Mallorca son ya de edad Eoceno medio (Luteciense), en facies continentales y costeras, y se encuentran discordantes sobre los depósitos anteriores.

El Eoceno medio aflora sólo en la Sierra de Levante puesto que en la Sierra Norte los primeros sedimentos terciarios pertenecen ya al Eoceno superior. Está constituido por unos 15

m de conglomerados de cantos calizos (del Jurásico y Cretácico inferior -algunos de ellos con Orbitolinas que pertenecen a unidades cretácicas no observables en ningún punto de la isla-) con intercalaciones de areniscas y arcillas, y 10-15 m de calizas coronadas por un nivel de oncolitos sueltos. Los Nummulites presentes en los sedimentos permiten fijar una edad para el conjunto de la serie que comprende el Eoceno medio y el superior.

2.3.1.6.- Oligoceno-Aquitaniense

En lo que se refiere a la Sierra de Levante y áreas centrales sólo aflora con relativa amplitud al Noroeste de Porreras y en el triángulo Porreras-Lluchmayor-Algaida, es decir al Sureste y Noroeste del macizo de Randa.

Consta de una serie de conglomerados, margas, areniscas calcáreas y calizas con tonos rojizos y marrones, que generalmente se encuentra bastante replegada. La potencia es de 300 m, aproximadamente.

2.3.1.7.- Burdigaliense-Langhiense

Está compuesta, en la base, por 10-70 m de conglomerados de cantos predominantemente carbonatados en facies fluvial y calizas bioclásticas en facies costera. Aflora en toda la isla y se apoya, mediante un contacto erosivo, sobre el conjunto, previamente estructurado, del Mesozoico-Paleógeno. Estos depósitos de base pertenecen fundamentalmente al Burdigaliense inferior si bien podrían incluir, en parte, el Aquitaniense.

Sobre los anteriores se desarrolla la unidad turbidítica del Burdigaliense superior-Langhiense que es un episodio de sedimentación de cuenca presente en toda Mallorca y característico

de las Cordilleras Béticas en general. El espesor es del orden de varios cientos de metros. Presenta dos litofacies que corresponden a dominios sedimentarios diferentes. La primera, compuesta de margas, areniscas, silexitas, olistostromas, etc., corresponde a depósitos de talud. La segunda, desarrollada en la zona central de la isla sobre la litofacies anterior, está constituida por depósitos de plataforma carbonática progradante.

2.3.3.- Terrenos Post-Mantos

Son los terrenos depositados posteriormente a la etapa de corrimientos intra-Langhiense que afectó fundamentalmente a los materiales mesozoico-paleógenos y pre-serravalienses que componen la Sierra Norte.

2.3.3.1.- Serravaliense

En la base corresponde a conglomerados continentales de carácter aluvial que posteriormente evolucionan a una plataforma carbonática marina con fragmentos de equínidos, rodofíceas, bivalvos, gasterópodos y briozoos.

Encima de los anteriores y con mayor extensión se desarrolla una unidad de margas con yesos, de carácter lagunar que, en el sector de Sta. Margarita (en el límite septentrional de la zona de estudio) presenta conglomerados basales, margas con yesos masivos, niveles de lignitos asociados a canales conglomeráticos y, a techo, carbonatos lacustres, siendo abundantes las silicificaciones en nódulos y capas.

2.3.3.2.- Mioceno superior (calcarenitas y Complejo arrecifal y terminal)

El Mioceno superior empieza con una capa de calcarenitas

con Heterosteginas del Tortoniense que supone el máximo de desarrollo espacial en esta unidad.

Sobre la anterior, con una potencia de 0-150 m y en un área de sedimentación más reducida se dispone el Complejo arrecifal Messiniense, que se extiende fundamentalmente en forma de franja por la costa oriental y ocupa también la costa meridional. El substrato sobre el que se apoya el Complejo arrecifal es variable (margas con yesos del Serravaliense, margas y calizas bioclásticas burdigalienses y diferentes materiales del Subbético estructurado). Están presentes las tres facies típicas de talud (20-100 m) , frente arrecifal (25-55 m) y plataforma interna (5-20 m). En el sector de Lluchmayor (sector de plataforma) el Complejo arrecifal presenta un talud, frente arrecifal y plataforma interna muy desarrollados; el frente arrecifal es aquí continuo, cortado por algunos canales de drenaje y alejado de la línea de costa de 2 a 4 Km, a modo de barrera arrecifal de 25-75 m de ancho con un amplio lagoon interno.

Por último el Complejo terminal, depositado sobre el anterior, principalmente en la zona costera de Levante, se compone de una unidad basal carbonática hipersalina de 40 m de potencia como máximo, con alternancia de niveles oolíticos y estromatolíticos que puede estar neoformizada 2 facies de calizas negras ("facies Pont d'Inca") y otra unidad superior arcillosa (arcillas sapropélicas, diatomitas blancas y arcillas verdes) con fauna de agua dulce, localizada en el margen oriental de la Cuenca de Palma y en la Cuenca de Alcudia.

No hay afloramientos de yesos messinienses en la isla, si bien no puede descartarse su presencia por debajo del Plioceno.

2.3.3.4.- Plioceno

Está constituido por una formación masiva de arcillas y margas limolíticas con Amussium, de color gris, y unos 100 m de potencia, que pasan lateralmente a conglomerados de cantos bien redondeados y areniscas. Estos materiales deltáicos evolucionan hacia arriba a depósitos de playa costeros constituidos por calcisiltitas con abundantes fragmentos de bivalvos que, en la Cuenca de Campos del Puerto pasan a calizas de miliólidos y calizas neomórficas blancas.

2.3.3.5.- Cuaternario

El Cuaternario se compone de diferentes depósitos entre los que destaca, por su potencia (50-70 m), las arcillas rojas con limolitas y conglomerados del Pleistoceno que afloran en una amplia franja situada en la falda meridional de la Sierra Norte.

Otros tipos de sedimento son las eolianitas o "Mares" del Pleistoceno superior, en forma de duna y con unos 20 m de potencia, con fragmentos de conchas marinas y megaestratificación cruzada que intercalan niveles de arcillas rojas de descalcificación y costras calcáreas. Sobre las anteriores existen niveles de terrazas marinas, situadas a 2-3 m sobre el nivel actual del mar.

Por último, otros tipos de depósitos son los suelos lagunares, aluviales, coluviales y de "Tierra Rossa" del Holoceno.

2.3.- TECTONICA

2.3.1.- Estructura general de las Cordilleras Béticas

Puesto que ya han sido expuestos al principio del capítulo de Geología los grandes rasgos de la estructura de las Cordi

lleras Béticas, sólomente se añadirá aquí algunos aspectos complementarios.

Al Sur del Paleozoico de la Meseta y sobre él como basamento se entiende que se han constituido, a partir del Triásico, los dominios sedimentarios de la Cobertera Tabular, Prebético y Subbético, según un ordenamiento de Norte a Sur.

La Cobertera Tabular y el Prebético son fundamentalmente autóctonos, si bien los fenómenos de cabalgamiento dentro de este último pueden llegar a ser muy importantes.

El Subbético, en cambio, está ampliamente corrido hacia el Norte sobre el Prebético.

El nivel de despegue más importante es el Keuper (Triásico) pero también existen importantes deslizamientos a nivel del Cretácico (Albense, generalmente).

Al Sur del "Contacto Límite" está la Zona Bética s.str., la cual probablemente pertenece a una placa distinta (Microplaca de Alborán) de la Placa Ibérica o Europea. La Microplaca de Alborán habría sufrido un desplazamiento de gran magnitud (centenas de kilómetros) hacia el Oeste.

Sólo a partir del final del Eoceno medio y especialmente durante el Mioceno inferior y medio parece haber una clara interacción entre la Microplaca de Alborán y la Placa Ibérica. Así la beligerancia de la primera sobre la segunda da lugar, entre otros fenómenos, a la "expulsión" y desenraizamiento prácticamente total del dominio Subbético Interno o Meridional el cual, generalmente, es desplazado hacia el Norte por encima del Subbético inmediatamente septentrional. La continuación de la presión rela

tiva (los esfuerzos relativos también podrían entenderse de modo inverso) de la Microplaca de Alborán sobre la Placa Ibérica original, inmediatamente después, una "fase de divergencia" (Jerez, F. 1979) por lo cual el propio Subbético se estrecha, a modo de estructura en abanico (si bien con un flanco septentrional bastante más desarrollado que el meridional), superponiéndose sobre sí mismo y sobre sus márgenes respectivos (Prebético y Bético s.str.).

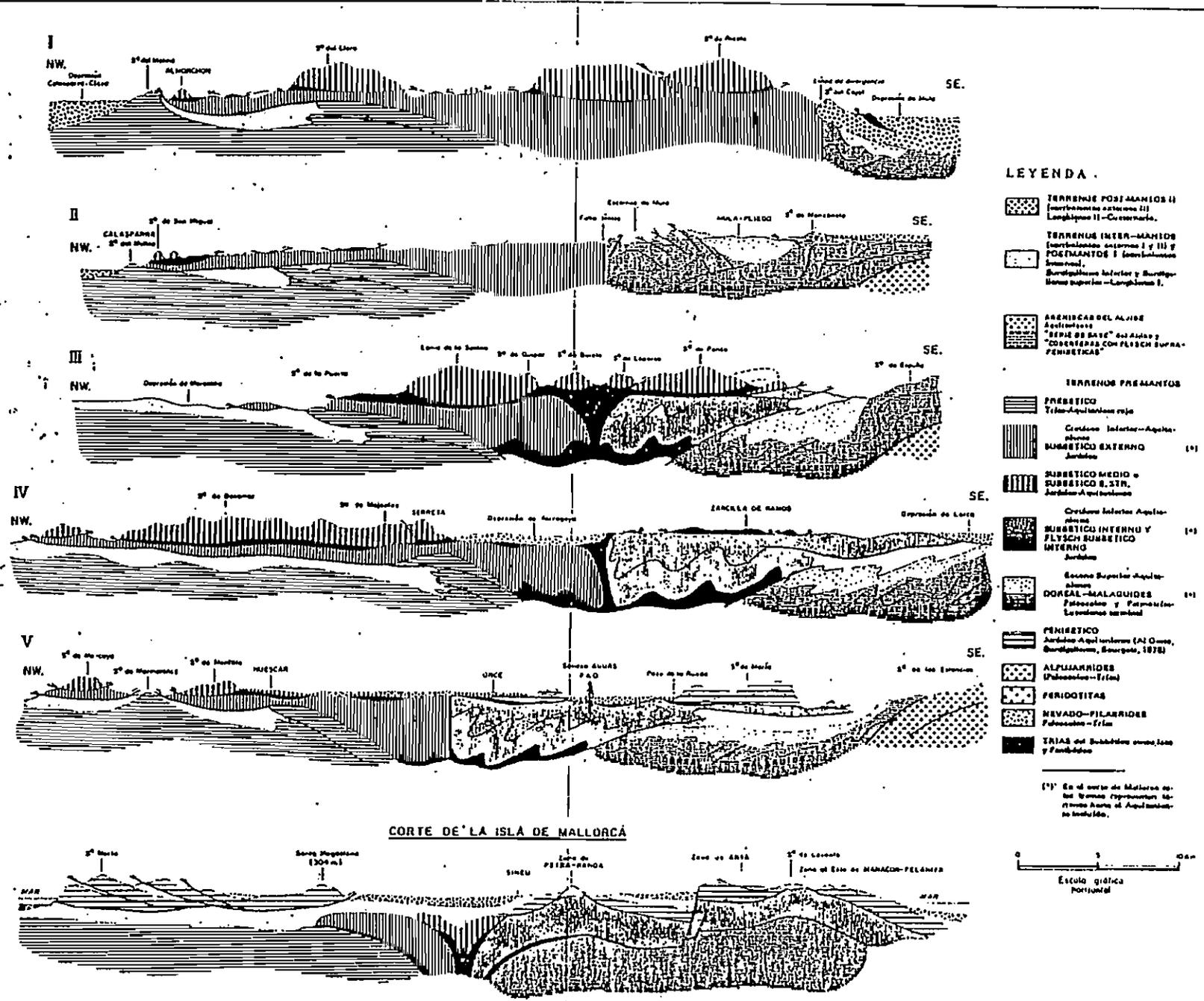
La estructura de la Zona Bética s.str. constituida por mantos de corrimiento de enorme envergadura (más de 100 Km) de procedencia meridional y en los que participa el Paleozoico (plegado junto con la cobertera mesozoica) estaba fundamentalmente terminada a finales del Eoceno medio, si bien desde el Eoceno superior al Aquitaniense ambos incluidos se desarrollan importantes depósitos de flyschs en la "Zona Límite" (borde septentrional de la Zona Bética s.str. fundamentalmente) y, al final del Aquitaniense todavía hay reajustes (v. gr. "ventanas tectónicas al Sur de S^a Harana, cabalgamiento de S^a Manzanete -ENE de S^a Espuña, Murcia-, cabalgamientos de Maláguides y Alpujárrides sobre el Penibético de Ronda-Torcal, etc.).

En el Mioceno medio (intra-Langhiense) la estructura en abanico del Subbético iniciada anteriormente (finiAquitaniense) recibe un nuevo impulso como consecuencia de nuevas interacciones entre las placas de modo que aquella se estrecha aún más en su núcleo (aproximadamente situado a nivel del Subbético medio) y provoca indirectamente (por elevación y consiguiente deslizamiento) amplios corrimientos gravitatorios de las coberteras más superficiales y unidades del Guadalquivir -1^a fase-; lease Sierra Norte, en el caso de la isla de Mallorca, etc.) del Subbético que conformaba ya entonces el ala más externa del abanico.

CORTES GEOLÓGICOS ESQUEMÁTICOS DE LAS CORDILLERAS BÉLICAS

Por Fernando JEREZ MIR, 1979

Escala horizontal original 1:200 000



LEYENDA

- TERRENO POS-JURÁSICO II (incluyendo a veces II) Langhiano II - Cretácico.
- TERRENO INTER-MANICHIO (incluyendo a veces I y II) y POS-MANICHIO I (incluyendo a veces I) Burdigalio inferior y Burdigalio superior - Langhiano I.
- ARENISCAS DEL ALJIBE (incluyendo a veces "SEPIE DE BASE" de Aljibe y "COBERTURAS CON FLISCH SUPRA-PENINSÚLICAS")
- TERRENO PREMONTANO
- PREBÉTICO (Típicamente rojo) Cretácico inferior - Aljibe inferior
- SUBBÉTICO EXTERNO (1*) Jurásico
- SUBBÉTICO MEDIO o SUBBÉTICO S.STR. (1*) Cretácico inferior - Aljibe inferior
- SUBBÉTICO INTERNO y FLISCH SUBBÉTICO INTERNO (1*) Cretácico superior - Aljibe inferior
- DORSAL-MALAGUIDES (1*) Paleoceno y Paleógeno - Cretácico superior
- PENINSULAR (1*) Jurásico - Aljibe inferior (Aljibe, Burdigalio, Serranía, 1978)
- ALPUJARRIDES (1*) Paleoceno - Triásico
- PERIDOTITAS
- NEVADO-FILARRIDES (1*) Paleoceno - Triásico
- TRIÁSICO del Subbético externo y Interno

(*) En el corte de Mallorca se han representado algunos bloques de Aljibe inferior.

0 5 10 km
Escala gráfica horizontal

Fig. 2 - Corte de la isla de Mallorca (en figura de bibliografía)

2.3.2.- Estructura de la isla de Mallorca

La isla de Mallorca puede ser dividida en tres zonas con diferente estructura: Sierra Norte, Zona Central y Sierra de Levante.

La Sierra Norte presenta términos desde el Triás inferior hasta el Burdigaliense superior-Langhiense. La estructura interna predominante es de directriz típicamente bética (NE-SO) , con vergencia hacia el NO y consisten en una serie de escamas, fundamentalmente tres, cabalgantes unas sobre otras, en ocasiones con envergadura de corrimiento (v. gr., ventana tectónica de Puig puñent).

La estructura anterior ya fué propuesta por Fallot (1922) en su tesis doctoral. Desde el punto de vista adoptado en este informe este modelo clásico sigue siendo válido y hasta cierto punto único (en lo que se refiere a la estructura interna, sin considerar la Sierra Norte como conjunto en relación con lo demás) pues los demás modelos supuestamente alternativos propuestos posteriormente, o no varían aquel primero en lo fundamental, o bien no constituyen realmente modelos tectónicos o estructurales, sino más bien una serie de apreciaciones paleogeográficas y/o sedimentológicas sobre las distintas etapas de la historia geológica de Mallorca.

No obstante, en lo que se refiere a la relación de la Sierra Norte en su conjunto respecto a los otros dominios (Central y Sierra de Levante) presentes en la isla, existe otro modelo (Jerez, F., 1979) que propone para la Sierra Norte una procedencia meridional (fig. 3), en su patria paleogeográfica situada más al Sur de la Sierra de Levante y emplazada, como un manto de corrimiento, sobre los terciarios de la región central. Desde

el punto de vista adoptado en este informe se piensa que, con los datos actuales, no puede rechazarse la posible validez de este modelo (salvo en lo que se refiere a la Sierra de Levante donde, actualmente, el autor sólo admite la existencia de un sólo conjunto Subbético paraautóctono, eso sí, con cabalgamientos internos de importante envergadura pero sin llegar al grado de aloctonía propuesto anteriormente).

La Zona Central de la isla es la que presenta un relieve más suave y se caracteriza por la presencia predominante de los materiales post-mantos (Serravaliense en adelante) acumulados en varias fosas, que alcanzan espesores de hasta 3.000 m (datos de sondeos y geofísica) y entre los que sobresalen los materiales mesozoicos-paleógenos del substrato Subbético. Es importante reseñar que entre estos materiales del substrato s.str. y los post-mantos se intecalán los depósitos marinos del Burdigaliense-Langhiense, los cuales, al contrario que en las otras dos áreas (Sierras Norte y de Levante), se encuentran aquí muy bien conservados pudiéndose presumir su existencia bajo la mayor parte de la Depresión Central de Mallorca. En fin, la estructura de esta Zona Central es en general suave en lo que se refiere a los terrenos post-mantos, algo más apretada en los materiales del Burdigaliense-Langhiense, y bastante replegada, con directrices béticas (NE-SO) y vergencia hacia el NO, en el substrato Subbético s.str.

La Sierra de Levante, bastante menos montañosa que la Sierra Norte, abarca términos desde el Triás superior hasta el Cretácico inferior y, en menor proporción, pequeños afloramientos del Paleógeno y Burdigaliense-Langhiense. La diferencia fundamental entre esta zona y las dos anteriores estriba, por una parte, en la dirección (NO-SE) de las estructuras que aquí es en gran parte (mitad meridional de la Sierra) perpendicular a la directriz bética en general (NE-SO); y, por otro lado, en la edad de

los cabalgamientos que aquí son fundamentalmente más antiguos (anteriores al Burdigaliense y posteriores al Eoceno superior probablemente del fini-Oligoceno), si bien también hay evidencia de otros movimientos posteriores (intra-Langhiense) análogos a los de más al Norte.

2.3.3.- Neotectónica. Direcciones de fallamiento más significativas

Como proceso geológico más interesante desde el punto de vista geotérmico, hay que destacar el cambio de régimen tectónico que se produce durante el Cuaternario antiguo en todas las Béticas. La fase distensiva anterior pasa a ser compilesiva y, como resultado, lo que se obtiene es el cambio de funcionamiento de fallas preexistentes; las que, en época anterior, funcionaron como normales, en este momento lo hacen en desgarre dextro o sinistro.

Basta decir que la tectónica cuaternaria afecta en general a todas las Cordilleras Béticas aunque su actividad queda, lógicamente, mucho mejor reflejada en las áreas deprimidas donde se han depositado los terrenos más recientes (en el caso concreto de la isla de Mallorca, la Zona Central y las costas meridional y oriental).

En cuanto a la actividad neotectónica en la isla de Mallorca, en concreto, se suscribe, con ciertos matices, las ideas contenidas en las memorias del MAGNA de Mallorca recientemente realizado por el IGME y que son expuestas a continuación:

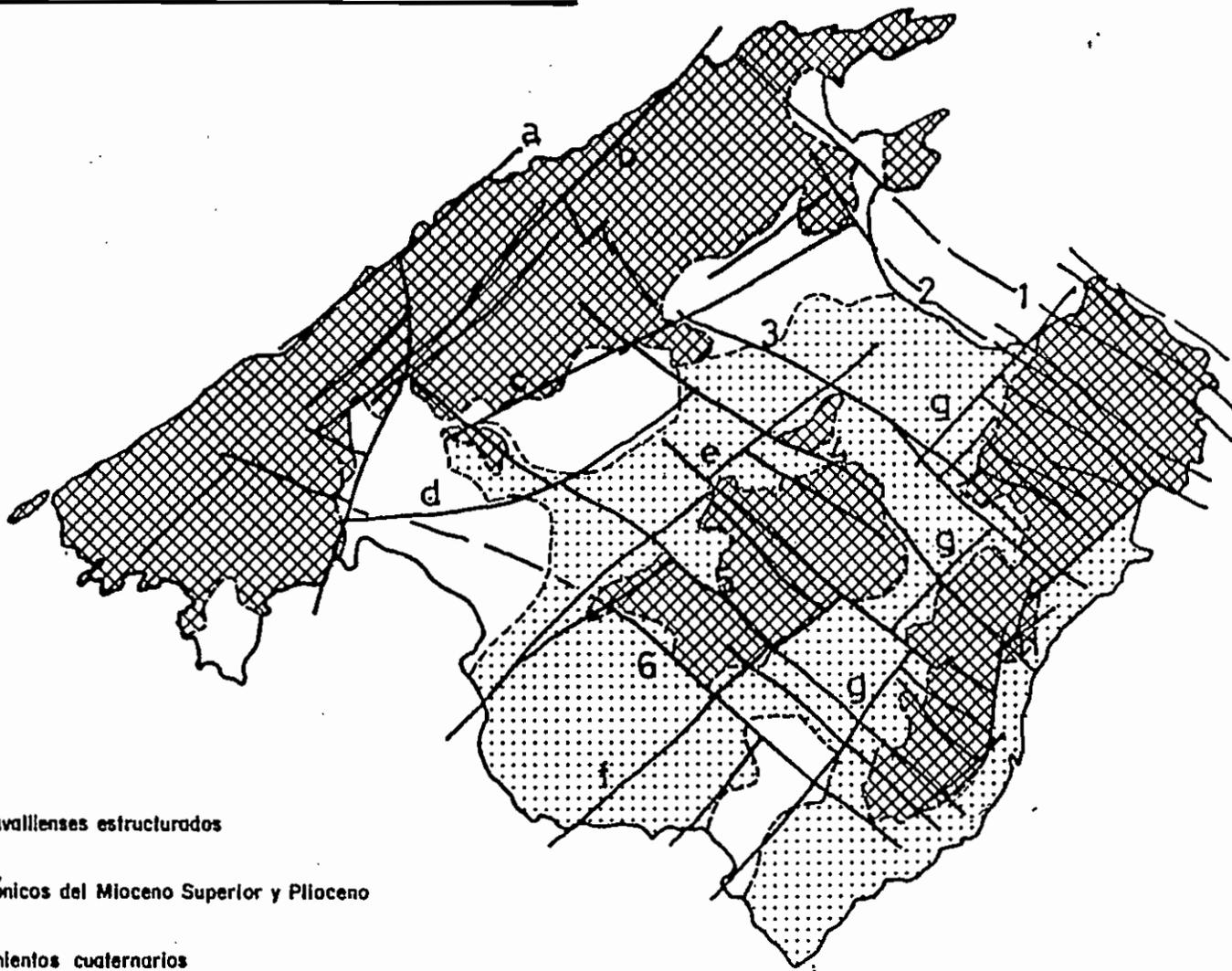
El Pleistoceno inferior y medio es el período con mayor actividad tectónica. Diversos niveles marinos de esta edad aparecen a distintas alturas. Al Sur de la Sierra Norte se desarrolla un sistema de fosas subsidentes que se rellenan con depósitos

de abanicos aluviales con potencias de 100 m o incluso más. Estos mismos depósitos continentales están afectados por fallas con saltos de hasta varias decenas de metros.

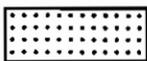
También durante el Cuaternario más reciente existen signos de actividad tectónica como la morfología actual de las costas y el relieve de la Sierra Norte (valles y torrentes colgados o sin cabecera, glacis basculados, etc.), existencia de fallas que afectan a coluviones recientes, localización de manifestaciones termales probablemente más o menos alineados con determinadas fracturas recientes y actividad sísmica.

En cuanto a las direcciones de fallamiento más significativas (fig. 4), cabe decir que son fundamentalmente dos. Una, NE-SO, paralela a las directrices béticas y, la otra, NO-SE, perpendicular a la anterior. La primera coincide, aproximadamente con la orientación general de las Sierras Norte y de Levante y también con las costas noroccidental y suroriental de la isla. La segunda, salvando las irregularidades menores, también es sub paralela a grosso modo, a las otras dos costas, nororiental (Bahía de Alcudía) y suroccidental (Bahía de Palma), de tal modo que esas dos directrices de falla conforman un paralelogramo en el que puede insuibirse bastante ajustadamente el contorno de la isla de Mallorca.

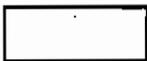
Fig. 3 . PRINCIPALES FALLAS Y LINEAMIENTOS



Materiales preserravallenses estructurados



Depósitos posttectónicos del Mioceno Superior y Plioceno



Principales afloramientos cuaternarios

25-

3.- HIDROGEOTERMIA

3.1.- ROCAS ALMACEN

Las únicas rocas almacén de interés geotérmico presentes en la zona de estudio son la formación dolomítico-calcárea del Retiense-Lías y el conjunto de calcarenitas y complejos arrecifal y terminal del Mioceno superior (acuífero inferior del Llano de Palma).

Aunque existen otros niveles en la serie con carácter así mismo de roca-almacén, éstos no presentan interés geotérmico, bien por no constituir acuíferos importantes (v. gr. calcarenitas del Mioceno inferior y/o Mioceno medio) o bien, aún constituyendo buenos acuíferos (v. gr. colianitas o "mares" del acuífero superior del Llano de Palma), por encontrarse muy cerca de la superficie y sin una cobertera impermeable suficiente (v. gr. Cuaternario). Aunque esto último podría, a priori, aplicarse también al conjunto carbonatado del Mioceno superior, el interés geotérmico de este último le viene, indirectamente, del almacén Retiense-Liásico, con el cual está bien comunicado, como luego se verá (3.3.).

3.2.- ROCAS SELLO

El Triásico en general y, especialmente, el Keuper, constituyen el principal impermeable de base que hace el papel de muro regional de los posibles acuíferos o sistemas de interés hidrogeotérmico en la zona de estudio.

El Dogger-Malm y el Cretácico inferior de facies predominantemente margosas o calizo-arcillosas, constituyen el techo impermeable inmediato del sistema hidrogeotérmico definido por las dolomías y calizas del Retiense-Lías.

El Paleógeno, por su importante proporción de arcillas y margas también puede considerarse, en conjunto, como una roca-sello.

En el macizo inferior y medio, aunque localmente pueden alcanzar cierta importancia como acuíferos los niveles detríticos (principalmente calcarenitas), la continuidad lateral de los mismos así como sus características hidráulicas son bastante aleatorias y, en cualquier caso, predominan con mucho las facies margosas que alcanzan un gran espesor y continuidad lateral de modo que constituyen un buen impermeable de base para el acuífero del Mioceno superior.

El Plioceno, con margas y arcillas en abundancia (salvo en las facies costeras) constituye un impermeable de base para los acuíferos del Cuaternario.

3.3.- SISTEMA HIDROGEOTERMICO DE LLUCHMAYOR-BAÑOS DE SAN JUAN

Constituye , sin lugar a dudas, el sistema hidrogeotérmico más importante , tanto por su temperatura como por sus dimensiones, de la isla de Mallorca, y puede considerarse, en realidad y desde un punto de vista amplio, como el único sistema hidrogeotérmico de interés de toda la isla.

Se trata de un sistema mixto formado por dos niveles acuíferos. Un acuífero inferior o del substrato Subbético y un acuífero superior o de cobertera.

En sentido estricto habría un sólo sistema hidrogeotérmico genuino, que sería el inferior, ya que el carácter geotérmico del subsistema de cobertera le viene impuesto, de forma más o menos local, a este último, por la segura existencia de un fenómeno de mezcla de aguas entre las frías propias del mismo y las termales procedentes del substrato.

3.3.1.- Acuífero superior o de cobertera (Mioceno superior)

3.3.1.1.- Formación acuífera

Calcarenitas del Tortoniense y calizas arrecifales y oolíticas de los complejos arrecifal y terminal del Messiniense.

La potencia del conjunto varía entre 0 y 150 m, aunque localmente puede alcanzar los 300 m.

3.3.1.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El Muro del acuífero viene definido por las margas con yesos del Serravaliense y, más inferiormente, por las margas del Burdigaliense-Langhiense.

El Techo del acuífero está constituido sólomente por una capa más o menos delgada (20 m) de arcillas ("terra rossa") o arcillas y limos del Cuaternario ya que las colianitas y "mares" pliocuaternarias, también presentes, no pueden considerarse como impermeables.

Los Límites Hidrogeológicos Laterales son, por un lado, los bordes de la Sierra de Levante y demás zonas montañosas (área de Randa, etc.) y, por otro lado, la línea de costa (meridional principalmente). En la zona de Felanita-Porreres parece existir

una cierta barrera impermeable, a juzgar por el salto de nivel piezométrico que allí se produce, así como por la diferente calidad de agua a uno y otro lado de la supuesta barrera.

La Estructura es sencilla, desde el punto de vista tectónico, por tratarse de terrenos prácticamente horizontales, es decir sin pliegues ni fallas de importancia, en principio. No obstante, en los bordes de la Depresión, o incluso, en el interior de la misma, no es descartable la presencia de fallas sinsedimentarias, condicionantes de la sedimentación negógena, reactivadas en la etapa neotectónica del Cuaternario. Las directrices más probables de estos accidentes serían, por un lado, la directriz bética típica (NE-SO, o ENE-OSO) y, por otra parte, la perpendicular (NO-SE) a esta última.

3.3.1.4.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION de este sistema es de dos tipos: infiltración directa y recarga subterránea. En la alimentación por infiltración directa del agua de lluvia hay que tener en cuenta, por un lado, la precipitación sobre los afloramientos del acuífero y, por otro, la posible alimentación vertical a través del acuífero pliocuaternario o de la delgada capa de materiales, más o menos semipermeables de esta edad que sirven de techo al acuífero Mioceno superior.

Como datos orientativos entre los empleados para el cálculo de la alimentación por los anteriores conceptos se tiene que las variaciones termopluviométricas del año 1979, en las estaciones de Campos-Subestación y Campos (Salinas de Levante) son las siguientes:

- La pluviometría media es de 370 mm. El conjunto del área está

comprendida entre las isoyetas de 200 y 600 mm.

- La temperatura media fué de 15,9°C, con un máximo de 36°C el 31 de Julio y un mínimo de 0°C el 4 de Marzo. Para el conjunto del Subsistema de Lluçmayor.

- Campos (nomenclatura empleada en el Mapa Nacional de Sistemas Acuíferos), con unos 800 Km² de superficie se estimaba en el informe de "Recursos Totales" (1973) una recarga por infiltración específica de 19-24 Hm³/año, una infiltración por cursos superficiales de 1,2 Hm³/año y otra recarga por excedentes de riego y pérdida en conducciones de 2,5-3,5 Hm³/año, lo cual hace un total de 22,7-28,7 Hm³/año (la infiltración específica se calculó mediante un balance termopluviométrico utilizando el método de THORNIWAITHE, con una capacidad media de Campo de 35 mm).

Un cálculo más actualizado procedente del informe del IGME - (1982) sobre evolución piezométrica (periodo 1974-1981) correspondiente a la totalidad del acuífero de Lluçmayor-Campos es el siguiente.

- Infiltración directa Zona de Campos		
. Sector Norte (Felanitx-Porreres)	11-13	Hm ³ /año
. Sector Sur	12-15	"
. Resto del Sistema	29-36	"
- Infiltración cursos superficiales	1,2-1,2	"
- Excedentes de riegos		
. Zona de Campos-Sector Sur	3- 4	"
. Resto del Subsistema	1,5-2	"
- Total alimentación	58,7-72,2	"

- En el sector septentrional o área de Felanitx-Porreres, la superficie estimada de recarga es de 125 Km². Con una pluviometría media anual de 450 mm y una infiltración eficaz estimada del 20% de la pluviometría, se obtiene una recarga anual por infiltración de 11 Hm³/año. A esta cifra de recarga habría que añadir 1 Hm³/año de retorno de riegos.

- En el sector Sur de la zona de Campos también se ha aplicado, en el cálculo anterior, un coeficiente de infiltración de 0,2-0,25 sobre una cifra media de precipitación de 400 mm en 150 Km y, en el resto del subsistema, los mismos parámetros para una superficie de 365 Km².

Los excedentes de riego se han evaluado en el 15-20% del volumen total utilizado, con dotaciones anuales de 8.500 m³/Ha en el sector Sur y de 7.000 m³/Ha en el resto del subsistema, correspondiendo 2.310 Ha a la Depresión y 1.115 Ha al resto del acuífero.

- En cuanto a la recarga subterránea que en este caso sería de carácter preponderantemente termal, se considera evidente su existencia dada la presencia de las manifestaciones termales de Lluchmayor-Baños de San Juan, todas ellas ubicadas directamente en el acuífero Mioceno superior y, cuyo origen, por razones lógicas de proporcionalidad entre profundidad y temperatura, sólo puede buscarse en un acuífero situado, inferiormente que, a juzgar por el contexto geológico, no puede ser otro más que el Retiense-Lías inferior dolomítico.

La alimentación por este concepto es difícil de establecer pero, lógicamente, no puede superar, en ningún caso, la propia alimentación (ver 3.3.2.3.) del Subsistema inferior o del Substrato subbético, de la que habría que deducir un volumen impor

tante por salidas al mar, así como por descargas frías en general (manantiales y/o sondeos de explotación en el Subbético de la Sierra de Levante y Sierras Centrales).

La DESCARGA del sistema se produce principalmente por pérdidas al mar así como por bombeos. En el informe de Síntesis o Recursos Totales se estimaban los siguientes volúmenes, en año medio, para el conjunto del Subsistema de Lluchmayor-Campos:

- Regadío y Abastecimiento	19-20 Hm ³ /año
- Flujo subterráneo al mar	4-10 "
- Evaporación directa	1- 1 "
Total descarga	24-31 "

El cálculo más actual sobre descarga contenido en el informe (1982) sobre Evolución Piezométrica citado más arriba es el siguiente:

- Regadíos (Descarga por bombeo-1)	
. Zona de Campos-Sector Sur	19-20 Hm ³ /año
. Resto del Subsistema	8- 9 "
- Abastecimientos (Descarga por bombeo-2).	1,5- 2 "
- Volúmenes estimados en función de los caudales autorizados en el registro de pozos y manantiales.	
. Zona de Campos-Sector Sur	0,2-0,25 "
. Resto del Subsistema	4- 4 "
. Evaporación directa	1- 1 "
. Flujo subterráneo al mar	25-35 "
Total Descarga	58,7-71,2 "

Las estaciones de la Depresión de Campos (19-20 Hm³/año) se realizan en un área de 150 Km² mientras que las del resto del subsistema (12-13 Hm³/año) se producen en una superficie de unos 500 Km² (debido a esta dispar distribución, la situación -intrusión marina- en el resto del subsistema no es tan grave como en la Depresión de Campos.

La TEMPERATURA de surgencia en la Font Santa de Sant Joan (83 l/s) es de 37,5°C (temperatura de la superficie del agua en el pozo, a 1,5 m del suelo), aunque en bombeo puede alcanzar 41-42°C. La temperatura existente en diversos sondeos que extraen agua cerca de Lluchmayor así como en otras perforaciones de la Zona de Campos - Ses Salines (v. gr. son Roselló, Sa Coma, etc.) se sitúa entre 23 y 50°C. Teniendo en cuenta que debe existir una evidente mezcla con las aguas frías del acuífero Mioceno superior (estas últimas, a su vez afectadas por una importante intrusión marina), es de suponer que la temperatura del agua termal original debe superar apreciablemente los 50°C. Suponiendo que el acuífero jurásico se encuentre a una profundidad media de - 1.000 - 2.000 m (sumando a la cobertera neógena, la serie cretácico-paleógena impermeable del Subbético) la temperatura en profundidad, con un gradiente geotérmico normal (0,033°C/m) sería de 50-80°C.

3.3.1.4.- Nivel piezométrico. Características hidráulicas y Calidad química. Recursos y Reservas.

El área de Campos-Ses Salines es una zona llana con elevaciones inferiores a 20 m.s.n.m.

El área de Felanitx-Porreres tiene cotas superiores a los 80 m, también es una zona llana y presenta un escalón topográfico con respecto a la anterior.

Al Noroeste de la localidad de Campos del Puerto se ha puesto de manifiesto la existencia de un umbral impermeable al parecer constituido por margas del Helveciense que, en principio, aislaría la zona de Felanitx-Porreres del área de Campos-Ses Salines, esta última con problemas de intrusión marina.

En las proximidades de la costa el nivel piezométrico viene dado por la cota de los Baños de San Juan (m.s.n.m.), surge ncia que se encuentra aproximadamente a 1,5 m de la superficie del terreno.

Hacia el interior y, más concretamente en el área de Lluchmayor, el nivel piezométrico está entre y m. En la zona de Campos del Puerto la profundidad del agua está alrededor de los 40 m, mientras que en la de Felanitx, el agua está a 40-60 m de profundidad. Al pasar de la Zona de Campos a la de Felanitx, hay un salto piezométrico de +20 m aproximadamente.

Los niveles piezométricos en la época en que no se producen extracciones y en la misma localidad de Campos del Puerto (situada a unos 10 Km de la costa) son de 0,70 m.s.n.m. y de unos 0,50 m.s.n.m. en aquellos meses en que se produce la demanda punta para regadíos (Febrero y Septiembre, respectivamente). Se han llegado a registrar variaciones de 0,60 m entre los valores de Diciembre y Julio de 1979 para la isopieza situada a 2 Km al Norte de Campos del Puerto por lo que, por extrapolación hacia el resto del acuífero, se puede estimar que en la zona comprendida entre la línea de costa y 6 Km al interior, el plano de agua se encuentra por debajo de la cota cero en plena temporada de regadío.

En cuanto a CARACTERISTICAS HIDRAULICAS no se posee datos cuantitativos sobre transmisividad y/o coeficiente de almacenamento.

miento, si bien en las pruebas realizadas durante la ejecución de algunos sondeos de reconocimiento y piezométricos en las zonas de Lluchmayor-Campos y de la Marineta, se estimaron valores de T relativamente elevados.

En lo que se refiere a CALIDAD QUIMICA , debido al desfase en el tiempo entre la recarga de la Depresión y los bombeos, en invierno se produce una pérdida de recursos al mar mientras que en el período de estiaje se da una sobreexplotación del acuífero, acción esta última que lo ha salinizado en su totalidad ya que los niveles piezométricos, en esta época del año, se mantienen por debajo de la cota del nivel del mar, en gran parte de la de presión; de hecho, los análisis realizados dan contenidos en clo ruros de 12 - 6 gr/l.

Los recursos totales utilizables se estiman en 25-30 Hm³ /año, aunque se bombea un volumen superior (de ahí la sobreexplo^o tación y salinización consiguiente, mencionadas más arriba). El sector septentrional (zona de Felanitx-Porreres) posee unos re- cursos utilizables estimados en 11 Hm³/año de los que se bombean unos 7 Hm³ y el resto descarga a la Depresión de Campos.

En cuanto a RESERVAS, no se dispone de datos (coeficiente de almacenamiento, etc.) que permitan hacer una mínima evaluación.

En cualquier caso, todas las estimaciones anteriores sobre alimentación, descarga , recursos y reservas se refieren al total de las aportaciones, dentro de las cuales se incluye la aporta ción de agua estrictamente termal en una parte alicuota difícil de determinar pero siempre pequeña en relación al total.

3.3.2.- Acuífero inferior o del substrato Subbético

3.3.2.1.- Formación acuífera

Dolomías negras, calizas laminadas, oncolíticas y oolíticas, y cuarzoarenitas, del Retiense-Liásico.

La potencia del conjunto es de 400-500 m. En particular, el espesor de las dolomías es de unos 200 m.

3.3.2.2.- Límites hidrogeológicos y Estructura

El MURO del acuífero viene definido por las arcillas del Triásico en general y, especialmente, por las del Keuper que es el nivel situado más inmediatamente por debajo del almacén y, a la vez, el más impermeable.

El TECHO del acuífero está constituido, a nivel inferior e inmediato, por las formaciones predominantemente impermeables del resto del Jurásico, Cretácico y Paleógeno; y, a nivel más superior, por las margas del Burdigaliense-Langhiense y aún por las margas con yesos del Serravaliense.

Los LÍMITES HIDROGEOLOGICOS LATERALES son, en principio, amplísimos, hasta el punto de que podrían extenderse sobre todo en las direcciones Este, Sur y Oeste hasta hacerlos coincidir con la línea de costa ya que, a priori, y a pesar de la existencia de numerosas fallas y cabalgamientos más o menos locales no hay evidencia geológica de que exista ningún accidente lo suficientemente grande como para crear desconexiones hidrogeológicas de gran envergadura en el substrato. No obstante, es bastante probable la existencia de barreras hidrogeológicas de cierta importancia, a modo de umbrales que conlleven sentidos divergentes

de la escorrentía subterránea, como, por ejemplo, a lo largo de la Sierra de Levante y también hasta el interior de la isla.

La ESTRUCTURA es bastante complicada en el detalle debido al plegamiento relativamente apretado junto con su cortejo de fallas diversas, lo que debe provocar indudablemente numerosas desconexiones hidrogeológicas locales; no obstante, desde un punto de vista amplio, la estructura puede considerarse, más sencillamente, como un almacén plegado y fracturado pero en él, a pesar de su extensión muy considerable en la horizontal, sus diversos compartimientos no llegan a ser completamente estancos.

3.3.2.3.- Alimentación y Descarga. Temperatura

La ALIMENTACION de este sistema se produce por infiltración directa del agua de lluvia en los afloramientos calizo-dolomíticos del Retiense-Liásico ubicados principalmente en el extremo meridional de la Sierra de Levante y en las proximidades del Macizo de Randa.

Como datos orientativos a emplear para una estimación aproximada de la alimentación por el anterior concepto se extrae del "Informe hidrogeológico sobre la zona Sur de la Sierra de Levante" (1975) los referidos a la denominada "Unidad de Felanitx" (cuya recarga debe ir dirigida, aproximadamente en un 50%, hacia el interior -área de Campos del Puerto-).

- Las aportaciones por pluviometría en el período 1949-1974 se cifran en 585 mm/año.
- La evapotranspiración para el período 1968-1974 y según el método de Thornthwaite, se estima en el 78% de la pluviometría,

repartiéndose el 22% restante entre la infiltración y la esco
rrentía superficial. Estimando la infiltración en un 90% de
los excedentes resulta que, con una pluviometría de 28 Hm³/año,
la infiltración es del orden de 5-6 Hm³/año.

Considerando que sólo un 50% de la recarga de la Unidad
de Felanitx se dirige hacia el interior (el otro 50% iría a recargar
subterráneamente al acuífero calcarenítico costero), la recarga
en dirección del área de interés termal (Campos del Puerto-
Baños de San Juan) se cifra en un máximo de 2,5-3 Hm³/año.

Por otra parte si se considera que prácticamente sólo los
afloramientos dolomíticos de la Unidad de Felanitx y sus proximida
des, así como los del macizo de Randa y alrededores son proveedo
res de una cierta recarga hacia el acuífero termal inferior
de Lluçmayor-Baños de San Juan, dicha recarga puede estimarse
en un máximo de 3-3,5 Hm³/año, ya que la alimentación de la zona
del macizo de Randa es del orden de 10 veces inferior a la de
la Unidad de Felanitx.

Por otro lado, cabe la posibilidad de que el acuífero inferi
or dolomítico reciba una cierta alimentación subterránea procede
dente de acuíferos calizo-detriticos superiores del Mioceno (Burdig
aliense, Serravaliense o incluso Tortoniense) ya que es probable
que en determinadas áreas uno u otro de estos niveles miocéni
cos se haya depositado directamente encima de las dolomías del
Retiense-Liásico.

La DESCARGA de la Unidad de Felanitx se produce de tres
maneras: a) por bombeo; b) pérdidas al mar; y c) recarga del acuífe
ro superior termal.

La descarga por bombeo se estima en 2,5-3 Hm³/año que se

utilizan fundamentalmente para el abastecimiento urbano de la ciudad de Felanitx.

Las pérdidas al mar deben producirse principalmente por la vertiente oriental de la Sierra de Levante, a través del acuífero calcarenítico costero.

La descarga hacia el acuífero superior termal debe ser muy poco importante dado que, a su vez, la recarga propiamente termal del acuífero inferior se ve considerablemente reducida debido a los bombeos citados más arriba, cuyo volumen conjunto de extracción (2,5-3 Hm³/año) se equilibra prácticamente con la cifra estimada para la alimentación.

En lo que se refiere al área de Randa se considera que la mayor parte de la recarga subterránea del acuífero inferior se traduce en descarga, asimismo subterránea, hacia el acuífero superior. El volumen de esta descarga se estima en 0,5 Hm³/año.

En cuanto a la TEMPERATURA, no existe ninguna surgencia termal directa que permita estimar una cifra mínima. Únicamente cabe hacer, pues, extrapolaciones a partir de datos indirectos como son los aportados por los diversos sondeos termales cercanos a Lluchmayor, así como por la Font Santa de Sant Joan. Como ya se dijo (3.3.1.4.) la temperatura de surgencia de esta última es de 37,5°C y la de aquéllos se sitúa entre 23 y 50°C. Teniendo en cuenta que, en hipótesis, la termalidad del acuífero superior es "prestada" o impuesta, prácticamente en un 100%, por el acuífero inferior mediante mezcla de aguas, es de suponer que la temperatura en el almacén o acuífero inferior debe superar ampliamente los 50°C. Estimando una profundidad media de 1.000-2.000 m para este último, la temperatura del mismo, con un gradiente geotérmico normal (0,033°C/m) estaría entre 50-80°C.

3.3.2.4.- Nivel piezométrico. Características hidráulicas.
Recursos y Reservas.

No se posee datos concretos sobre niveles, si bien cabe señalar que la unidad dolomítica de Felanitx recarga lateralmente, por un lado al acuífero calcarenítico costero de la Sierra de Levante y, por otro, al acuífero Mioceno de Campos, por lo cual el nivel piezométrico del primero debe ser más elevado que el de los otros dos.

Otra inferencia que cabe hacer sobre el nivel piezométrico del acuífero dolomítico Retiense-Liásico es a partir de la Font de San Joan. En efecto, si se parte de la hipótesis que el carácter termal de esta surgencia natural es impuesto o inducido por el acuífero inferior Retiense-Liásico y que, por otro lado, dicha surgencia pertenece inequívocamente al acuífero superior Mioceno, hay que considerar que muy probablemente el nivel piezométrico del acuífero inferior sea, como mínimo, un poco más alto que el del acuífero superior.

En cuanto a CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS del acuífero dolomítico, cabe hacer referencia a los datos aportados por un ensayo de bombeo efectuado en 1983, en un sondeo de producción realizado cerca de Son Rosselló con fines de abastecimiento al municipio de Campos del Puerto. En dicho bombeo se dedujo un valor de $T = 600 \text{ m}^3/\text{día}$ y de $S = 8 \times 10^{-3}$. Análogamente en otro sondeo para abastecimiento al núcleo urbano de Felanitx (1981) se obtuvieron valores de $T = 700 \text{ m}^3/\text{día}$ y $S = 2 \times 10^{-3}$.

Los RECURSOS propiamente termales serían del orden de 3-3,5 $\text{Hm}^3/\text{año}$ como máximo. Este volumen equivale a la parte del total de la alimentación de las unidades dolomíticas de Felanitx y Randa, que se dirige directamente a recargar en profundidad

el acuífero dolomítico inferior e, indirectamente, también al acuífero mioceno superior.

Aunque se podría hacer una relativa estimación sobre RESER
VAS totales, utilizando los datos geológicos (potencia y exten
sión del almacén) y los referentes a características hidráulicas,
resulta muy aleatorio estimar que parte de dichas reservas (o
lo que es igual, que parte del acuífero) constituye propiamente
agua termal, por lo que, dada la insuficiencia actual de datos,
se obvia dicha estimación. No obstante, cabe añadir que dada la
gran extensión de las zonas donde el acuífero se encuentra a
considerable profundidad, las reservas propiamente termales deben
ser importantes. Si, además, se repara en que, en Geotermia, la
verdadera reserva es el calor contenido en la roca, siendo el
agua sólo un medio de transporte del mismo al entrar en con
tacto con aquélla, parece más interesante conocer las dimensiones,
distribución espacial y posición en profundidad de la roca calien
te o almacén que las reservas de agua termal propiamente dichas.

3.4.- CONCLUSIONES E HIPOTESIS HIDROGEOTERMICAS

- 1) En el área de estudio existe un único sistema hidrogeotérmico
constituído por dos acuíferos: a) acuífero superior o de cober
tera ; y b) acuífero inferior o del substrato Subbético.
- 2) El acuífero superior está constituído por las calcarenitas
del Tortoniense, junto con las calizas arrecifales y oolíticas
de los complejos arrecifal y terminal del Messiniense, con
una potencia entre 0 y 150 m, aunque localmente puede alcanzar
los 300 m.
- 3) El acuífero inferior está representado por las dolomías y cali
zas del Retiense-Liásico, con una potencia global de 400-500

m (aunque el espesor de las dolomías inferiores, que constituyen la parte más genuina del acuífero, es de sólo 200 m, aproximadamente).

- 4) Las manifestaciones termales de la zona son de dos tipos: a) sondeos termales próximos a Lluchmayor, con agua a temperaturas de 23-50°C; y b) la surgencia natural de la Font Santa de San Joan, con temperatura de 37,5°C.

Todas las anteriores manifestaciones termales pertenecen inequívocamente al acuífero Mioceno superior. Ambos tipos de manifestaciones responden esencialmente a un mismo fenómeno termal, estando más o menos ligadas entre sí y son explicables por medio de mecanismos de transferencia de calor asimismo fundamentalmente análogos.

- 5) Dada la estructura fundamentalmente subhorizontal del acuífero superior y su pequeña profundidad en general, cabe deducir que su termalidad es inducida o impuesta al mismo por un elemento exterior a él.
- 6) Desechada, a priori, la hipótesis de un foco activo latente a poca profundidad, por ser incompatible con el cuadro geológico regional, caben dos tipos de hipótesis para la explicación del fenómeno termal:

. Hipótesis A) existencia de fallas profundas, a través de las cuales el agua del acuífero superior circula por convección, calentándose en profundidad; en esta hipótesis el sistema geotérmico propiamente dicho se limita a la zona de falla y sus proximidades.

. Hipótesis B) existencia de un segundo acuífero a bastante mayor profundidad y, por consiguiente, temperatura, que di

recta o indirectamente cede su calor al acuífero superior, por vías o áreas privilegiadas en las que ese transvase de calor se realiza de forma brusca o rápida. En esta hipótesis también se contempla la existencia de fallas profundas pero no como constituyentes fundamentales, por sí mismas, del almacén y sistema hidrogeotérmico.

7) La hipótesis A) anterior se desecha porque, aún admitiendo la existencia de fallas profundas, se considera muy difícil, en un contexto geológico como el de la zona de estudio, caracterizado por la abundancia de materiales plásticos e impermeables (margas, etc.) que las propias fallas puedan actuar como un almacén regulador con la suficiente envergadura que, en este caso, sería necesaria para explicar el fenómeno termal.

8) Considerada la hipótesis B) como la más próxima a la realidad del termalismo en la zona de estudio, hay que añadir que, dentro de la misma, caberá, a su vez, otras dos hipótesis:

. Hipótesis B-1) la transferencia de calor se lleva a cabo por mezcla directa de aguas entre los dos acuíferos. Dentro de esta hipótesis se contemplan dos posibilidades: a) existencia de fallas profundas que afectan a los dos almacenes, de modo que el agua caliente del acuífero inferior ascienda rápidamente por las mismas, hasta mezclarse con la del acuífero superior, cediéndole parte de su calor; y b) contacto local directo entre la roca mojada de los dos almacenes o acuíferos; en este último caso no es estrictamente necesario (aunque sí bastante probable) la existencia de pilas profundas (si bien estas últimas no tienen por qué afectar al almacén superior aunque sí, en cambio, al inferior) ya que el contacto entre almacenes podría haberse producido en un período anterior de la historia geológica (por ejem

plo, por discordancia erosiva y posterior depósito de la calcarenita sobre un relieve previamente plegado); por otro lado, se hace hincapié en que el contacto debe ser solamente local y no generalizado, ya que es condición imprescindible para el mantenimiento de una "diferencia de potencial" geotérmico entre los dos acuíferos, el que el inferior se mantenga en general a bastante mayor profundidad que el superior, separados por formaciones impermeables de potencia considerable de tal modo que únicamente en áreas privilegiadas (v. gr. núcleos anticlinales muy erosionados) se dé un contacto directo entre almacenes.

- . Hipótesis B-2) la transferencia de calor no se hace directamente por medio del agua (actuando como medio de transporte) sino que ocurre a través de la imposición, a un nivel superior y muy próximo al del acuífero calcarenítico, de un gradiente local anormalmente alto para la profundidad a que se encuentra y mayor que el del entorno próximo; la imposición de dicho gradiente sería factible gracias a la proximidad local, y en la vertical, de los dos almacenes; este "gradiente impuesto" no requiere necesariamente (aunque sí es bastante probable) al igual de lo que se decía en la hipótesis B-1 (posibilidad b)), de la existencia de fallas profundas (que, al igual que allí no tienen por qué afectar al almacén superior) ya que, de igual modo que entonces, la proximidad entre almacenes se podría haber producido en un período anterior de la historia geológica (v. gr. por discordancia erosiva y posterior depósito de la calcarenita miocena, reduciendo considerablemente la potencia global de los niveles impermeables intermedios entre los dos almacenes aunque sin llegar a la erosión total de los mismos); evidentemente, en este caso, la primera parte del mecanismo de transferencia del calor es análogo al expuesto.

en la hipótesis B-1, si bien aquí la mezcla directa de aguas no se realiza entre los dos acuíferos (Mioceno y Altiense-Liásico) sino sólo entre dos partes del mismo acuífero (dolomías del Retiense-Liásico) situadas estructuralmente a distinto nivel.

- 9) La cuestión fundamental de que se ocupa este estudio, la explicación del fenómeno termal de Lluçmayor-Baños de San Juan debe encauzarse, en principio, a través de la hipótesis B) en sentido amplio, es decir, en sus tres acepciones (B-1-a, B-1-b y B-2), las cuales no son incompatibles entre sí y podrían, de hecho, estar realizándose conjuntamente. Al objeto de discernir si existe mezcla directa de aguas termales (acuífero inferior) y frías (acuífero superior) o no, pueden ser de gran utilidad los resultados de la campaña de geoquímica (Cap. 4).

De todas formas, aún en el caso de que se pusiera de manifiesto un fenómeno de mezcla de aguas a través de fallas, conviene señalar que el interés geotérmico no queda restringido, por eso, exclusivamente a la "línea de falla" ya que muy probablemente existen corrientes de convección impuestas en el acuífero superior que redistribuyen ese aporte de calor bastante más allá de dicha "línea".

4.- HIDROGEOQUIMICA

4.1.- INTRODUCCION

La presente investigación hidrogeoquímica del área de Lluchmayor, en la isla de Mallorca (Islas Baleares), ha sido llevada a cabo por el IGME, con la colaboración de la E.N. Adaro de Investigaciones Mineras. Este estudio es consecuencia directa de los resultados de las investigaciones que dentro del proyecto "Investigación Geotérmica Preliminar del Pirineo Oriental, zona Meridional del Prelitoral Catalán e Islas Baleares" fueron realizados en la isla de Mallorca en 1.983-84.

En dicho estudio se señalaron como únicas zonas de interés en la isla de Mallorca para proseguir las investigaciones, la zona de St. Joan y el área anómala de Lluchmayor, ambas asociadas a la depresión neógena meridional.

De las dos zona señaladas, se decidió limitar el presente estudio al área de Lluchmayor, debido a:

- La dificultad de cubrir el área entre ambas zonas con una densidad de desmuestre que permitiese la delimitación en planta, de una posible anomalía térmica entre ambas localidades.
- La salinización por intrusión marina de la Fte. de San Joan (tal como se aprecia en el análisis.Ver anexo), y el aleja-

miento de potenciales centros de consumo, como factores que en el momento actual determinan su menor interés geotérmico.

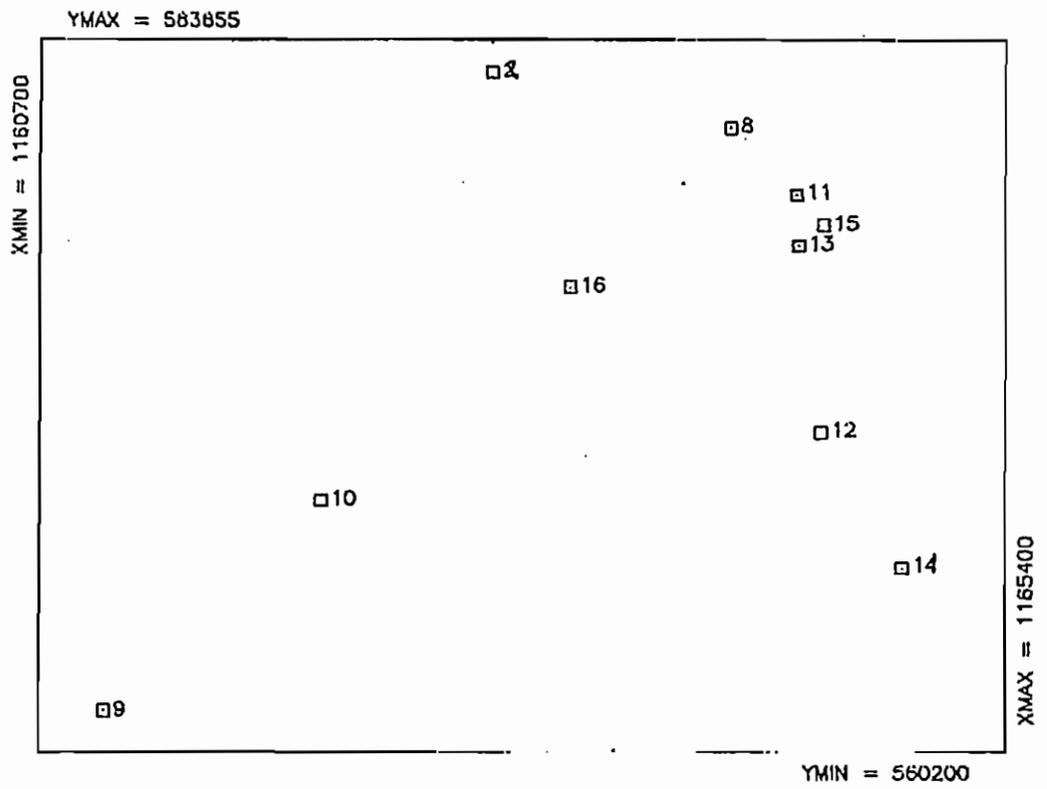
El estudio se ha realizado, tras una etapa de selección de los puntos de mayor interés potencial, a partir del muestreo de 10 sondeos, localizados en un área de $\sim 10 \text{ km}^2$ al sur de la población de Lluchmayor (figura 4.1 y plano 1).

Las temperaturas medidas en estos puntos se encuentran en el rango 18° - 50° C.

El número de puntos muestreados se ha visto limitado por el hecho de que numerosos sondeos se localizan en fincas en las que sus propietarios habitan únicamente en época veraniega, o eventualmente los fines de semana. Por este motivo, no ha sido posible abarcar con el desmuestre el área prevista en principio, que coincidiría aproximadamente con la cubierta por la campaña de geofísica, también llevada a cabo en el área de Lluchmayor con el objetivo final de realizar una interpretación conjunta de los resultados.

A la vista de esta situación, se plantea el interés de realizar una segunda campaña de desmuestre en la época de mayor afluencia de propietarios a la zona (meses de julio a agosto), con el fin de corregir los inconvenientes que se han derivado de esta situación.

Fig. 4.1.- SITUACION DE PUNTOS



3928 1 -- LLUCHMAYOR

4.2.- INVENTARIO DE PUNTOS MUESTREADOS

En la tabla 4.1 se recoge la relación de puntos muestreados, cuyo número de identificación corresponde al nº de hoja del mapa topográfico nacional a escala 1:50.000 en el que se encuentra, seguido del octante de la misma y nº de orden dentro de dicho octante.

El punto queda asimismo identificado a través de sus coordenadas de situación, toponimia, municipio en el que se localiza, y naturaleza de la manifestación.

En dicha tabla se señala también los puntos que en esta zona fueron muestreados en el estudio llevado a cabo en 1.983-84.

4.3.- TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO

Durante la campaña de desmuestra en campo llevada a cabo en la 2ª semana de Diciembre de 1.986, se realizó "in situ" la medida de los siguientes parámetros: temperatura, pH, Eh, conductividad, sílice y alcalinidad.

El análisis en los laboratorios de la E.N. ADARO, se ha realizado con el empleo de los siguientes técnicas analíticas:

- . Absorción Atómica (llama) Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ , Li^+ , SiO_2 .
- . Valoración: Cl^- , $\text{CO}_3^{=}$, CO_3H^-
- . Turbidimetría, gravimetría: $\text{SO}_4^{=}$
- . Espectrofotometría: NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , B

TABLA 4.1

INVENTARIO GENERAL DE PUNTOS.MALLORCA (I.BALEARES).1986

N_INF	NºINVENTARIO	NATURALEZA	TOPONIMIA	MUNICIPIO	COORDENADAS (Laabert)		CAMPAÑA
					X	Y	
L-9	3928 1 2	SONDEO	SDR JULIA	LLUCHMAYOR	1162900	563500	86
L-6	3928 1 8	SONDEO	SAN GALL	LLUCHMAYOR	116460	563230	83-86
L-1	3928 1 9	SONDEO	SON TEXIQUET	LLUCHMAYOR	1161015	560400	83-86
L-2	3928 1 10	SONDEO	BELL LLOC	LLUCHMAYOR	1162070	561410	83-86
L-5	3928 1 11	SONDEO	SA VELA	LLUCHMAYOR	1164380	562900	83-86
L-3	3928 1 12	SONDEO	TORRATXI	LLUCHMAYOR	1164500	561740	83-86
L-4	3928 1 13	SONDEO	SA VELA	LLUCHMAYOR	1164390	562650	86
L-7	3928 1 14	SONDEO	SON GUARDIOLA C.S.	LLUCHMAYOR	1164900	561085	86
L10	3928 1 15	SONDEO	C.CALA PI-A.PASCUAL	LLUCHMAYOR	1164510	562750	86
L-8	3928 1 16	SONDEO	S *AGUILA	LLUCHMAYOR	1163280	562450	86

. Electrodo de ión selectivo: F^-

En la tabla 4.2 se listan los resultados de las medidas realizadas en campo y laboratorio. Las muestras cuyo contenido en alguno de los elementos determinados es inferior al límite de detección de la técnica empleada, quedan reflejados mediante el valor de dicho límite, con signo negativo.

De la comparación de las determinaciones llevadas a cabo por duplicado en campo y laboratorio, cabe señalar:

- Existe una diferencia notable entre los valores de conductividad medidos en campo y laboratorio, cuya única explicación es la de un deficiente calibrado o error sistemático de alguno de los aparatos utilizados.
- Los contenidos de SiO_2 medidos en laboratorio resultan sistemáticamente inferiores a los resultados de las determinaciones llevadas a cabo en campo. Ello puede ser debido al empleo de diferentes técnicas analíticas: colorimetría visual en campo - absorción atómica en laboratorio, junto con posibles modificaciones en la muestra desde el momento de su recogida en campo hasta su análisis en el laboratorio.

La comparación de los contenidos de SiO_2 , llevada a cabo con los 5 puntos ya analizados en 1.983, -cuyos resultados se adjuntan en el anexo I para facilitar su consulta-, pone de manifiesto una similitud entre los valores medidos en laboratorio en ambas campañas (83-86), si bien en 4 de los 5 puntos no se dispone de datos de medidas en campo en 1.983.

En el único punto en el que en 1.983 se llevaron a cabo

TABLA 4.2

ANALISIS QUIMICO en PPM

IDENTIFIC	CL	SO4	CO3H	CO3	NO3	NO2	CA	HG	NA	K	TEMP
3928 1 2	106.5	20.0	274.5	0.0	45.0	-0.010	51.0	25.0	60.0	5.0	18.4
3928 1 8	355.0	420.0	320.0	0.0	5.0	-0.010	245.0	59.0	150.0	14.0	50.0
3928 1 9	337.2	368.0	305.0	0.0	30.0	-0.010	186.0	56.0	156.0	17.0	31.7
3928 1 10	305.0	348.0	355.0	0.0	38.0	0.050	193.0	59.0	162.0	17.0	33.1
3928 1 11	230.7	188.0	366.0	0.0	52.0	0.050	133.0	51.0	99.0	16.0	30.3
3928 1 12	177.5	60.0	305.0	0.0	50.0	0.600	73.0	35.0	101.0	10.0	23.5
3928 1 13	248.5	280.0	305.0	0.0	37.0	0.200	136.0	65.0	123.0	13.0	32.7
3928 1 14	159.7	40.0	335.5	0.0	20.0	0.050	50.0	26.0	103.0	11.0	18.7
3928 1 15	248.5	228.0	274.5	0.0	60.0	0.050	150.0	53.0	107.0	17.0	33.9
3928 1 16	390.5	460.0	365.0	0.0	5.0	-0.010	306.0	69.0	145.0	17.0	44.5

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

ANALISIS QUIMICO EN PPM

IDENTIFIC	TEMP	COND-C	COND-L	PH-C	PH-L	EH	SI02-C	SI02	LI	B	F	NH4
3928 1 2	18.4	770	620	7.56	7.65	-0.300	17.0	11.0	-0.10	-0.10	0.40	-0.10
3928 1 8	50.0	2220	1520	7.38	7.50	-0.190	36.0	28.0	-0.10	0.35	1.75	-0.10
3928 1 9	31.7	2060	1350	6.97	7.20	0.010	30.0	24.0	-0.10	0.30	1.00	-0.10
3928 1 10	33.1	2100	1400	8.03	7.87	-0.540	31.0	24.0	-0.10	0.35	1.40	-0.10
3928 1 11	30.3	1550	1125	7.26	7.40	-0.120	24.0	17.0	-0.10	-0.10	0.65	-0.10
3928 1 12	23.5	1050	800	7.66	7.75	-0.450	15.0	9.0	-0.10	-0.10	0.37	-0.10
3928 1 13	32.7	1740	1225	7.26	7.40	-0.140	23.0	19.0	-0.10	0.25	0.95	-0.10
3928 1 14	18.7	920	700	7.71	7.78	-0.400	22.0	11.0	-0.10	0.20	0.38	-0.10
3928 1 15	33.9	1700	1200	7.21	7.30	-0.080	27.0	15.0	-0.10	0.15	0.70	-0.10
3928 1 16	44.5	2570	1700	6.84	6.98	0.130	35.0	39.0	-0.10	0.45	1.95	-0.10

medidas de campo y laboratorio (Son fall 3928 1 8), estos valores fueron iguales en campo y laboratorio, siendo más próximo del valor de campo de la presente campaña (36 ppm).

El cálculo del error analítico para la totalidad de las muestras recogidas, se sitúa en límites aceptables, según los resultados que aparecen en la tabla 4.3

TABLA 4.3
CALCULO DEL ERROR ANALITICO

IDENTIFIC	SUM-c	SUM-A	XE
3928 1 2	7.34	8.67	4.15
3928 1 8	23.96	24.17	0.22
3928 1 9	21.11	22.71	1.83
3928 1 10	21.96	22.35	0.44
3928 1 11	15.55	17.29	2.66
3928 1 12	11.17	12.08	1.96
3928 1 13	17.81	18.48	0.92
3928 1 14	9.39	11.18	4.33
3928 1 15	16.93	17.26	0.48
3928 1 16	27.69	26.76	0.85

4.4.- TRATAMIENTO DE DATOS

El tratamiento de datos incluye:

- Cálculo de concentraciones en mlq/l (tabla 4.4).
- Cálculo en % mXq/l (tabla 4.5), como base para la clasificación de aguas según facies hidroquímicas, mediante el diagrama de Piper.
- Cálculo de parámetros de facies hidroquímicas (tabla 4.7), definidos por D'Amore F. et al. (1.983), a partir de los cuales se elaboran gráficos de caracterización de las aguas muestreadas.
- Cálculo de relaciones iónicas (tabla 4.6), relaciones indicadores conductividad (tabla 4.7) y otros indicadores cualitativos de temperatura (tabla 4.8), como parámetros adicionales de interés en la caracterización de la evolución geoquímica de las aguas objeto de estudio.
- Diagrama de Piper y gráficos D'Amore.
- Gráficos de dispersión.
- Cálculos geotermométricos.
- Cálculos de equilibrio químico.

4.5.- INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.5.1.- Caracterización Hidroquímica

La clasificación de las aguas se realiza a partir de los diagramas de Piper y gráficos D'Amore, representados en la figura 4.1.

TABLA 4.4
ANALISIS QUIMICO en EPM

IDENTIFIC	CL	SO4	CO3H	CO3	NO3	NO2	CA	HG	NA	K	LI	B	F	NH4
3928 1 2	3.0	0.4	4.5	0.0	0.73	-1.00	2.54	2.06	2.61	0.13	-1.00	-1.00	0.02	-1.00
3928 1 8	10.0	8.7	5.2	0.0	0.08	-1.00	12.23	4.85	6.52	0.36	-1.00	0.03	0.09	-1.00
3928 1 9	9.5	7.7	5.0	0.0	0.48	-1.00	9.28	4.61	6.79	0.43	-1.00	0.03	0.05	-1.00
3928 1 10	8.6	7.2	5.8	0.0	0.61	-1.00	9.63	4.85	7.05	0.43	-1.00	0.03	0.07	-1.00
3928 1 11	6.5	3.9	6.0	0.0	0.84	-1.00	6.64	4.19	4.31	0.41	-1.00	-1.00	0.03	-1.00
3928 1 12	5.0	1.2	5.0	0.0	0.81	0.01	3.64	2.88	4.39	0.26	-1.00	-1.00	0.02	-1.00
3928 1 13	7.0	5.8	5.0	0.0	0.60	0.00	6.79	5.35	5.35	0.33	-1.00	0.02	0.05	-1.00
3928 1 14	4.5	0.8	5.5	0.0	0.32	-1.00	2.50	2.14	4.48	0.28	-1.00	0.02	0.02	-1.00
3928 1 15	7.0	4.7	4.5	0.0	0.97	-1.00	7.49	4.36	4.65	0.43	-1.00	0.01	0.04	-1.00
3928 1 16	11.0	9.6	6.0	0.0	0.08	-1.00	15.27	5.67	6.31	0.43	-1.00	0.04	0.10	-1.00

TABLA 4.5
ANALISIS QUIMICO en %EPM

IDENTIFIC	%CL	%SO4	%CO3H	%CO3	%NO3	%CA	%HG	%NA	%K
3928 1 2	34.66	4.81	51.91	0.00	8.38	34.68	28.02	35.56	1.74
3928 1 8	41.42	36.17	21.69	0.00	0.33	51.03	20.25	27.23	1.49
3928 1 9	41.88	33.74	22.01	0.00	2.13	43.97	21.82	32.15	2.06
3928 1 10	38.49	32.41	26.03	0.00	2.74	43.85	22.09	32.08	1.98
3928 1 11	37.63	22.64	34.69	0.00	4.85	42.69	26.98	27.70	2.63
3928 1 12	41.44	10.34	41.38	0.00	6.68	32.61	25.77	39.33	2.29
3928 1 13	37.92	31.54	27.04	0.00	3.23	38.10	30.01	30.03	1.87
3928 1 14	40.30	7.45	49.19	0.00	2.89	26.56	22.76	47.69	2.99
3928 1 15	40.61	27.50	26.07	0.00	5.61	44.21	25.74	27.49	2.57
3928 1 16	41.16	35.79	22.36	0.00	0.30	55.15	20.50	22.78	1.57

TABLA 4.6

RELACIONES IONICAS

IDENTIFIC	CO3H+CO3		CL		SO4		CO3H+CO3+SO4		CL+SO4		SO4	
	CA	CA+MG	NA	NA+K	CA	CA+MG	CA+MG	NA+K+CA	CA	CO3H	CL	SO4
3928 1 2	1.77	0.98	1.15	1.10	0.16	0.09	1.07	0.65	0.81	0.67	0.14	
3928 1 8	0.43	0.31	1.53	1.45	0.72	0.51	0.82	0.98	0.40	1.91	0.87	
3928 1 9	0.54	0.36	1.40	1.32	0.83	0.55	0.91	1.04	0.50	1.90	0.81	
3928 1 10	0.60	0.40	1.22	1.15	0.75	0.50	0.90	0.93	0.50	1.48	0.84	
3928 1 11	0.90	0.55	1.51	1.38	0.59	0.36	0.92	0.92	0.63	1.08	0.60	
3928 1 12	1.37	0.77	1.14	1.08	0.34	0.19	0.96	0.75	0.79	1.00	0.25	
3928 1 13	0.74	0.41	1.31	1.23	0.86	0.48	0.89	1.03	0.79	1.40	0.83	
3928 1 14	2.20	1.19	1.01	0.95	0.33	0.18	1.37	0.74	0.86	0.82	0.18	
3928 1 15	0.60	0.38	1.51	1.38	0.63	0.40	0.78	0.93	0.58	1.56	0.68	
3928 1 16	0.39	0.29	1.75	1.63	0.63	0.45	0.74	0.94	0.37	1.84	0.87	

TABLA 4.7

PARAMETROS DE FACIES HIDROQUIMICAS

RELACIONES IND / (PPH)/COND (.ca-1)

IDENTIFIC	A	B	C	D	E	F	IDENTIFIC	B	F	NH4	LI
								COND	COND	COND	COND
3928 1 2	47.1	-30.8	0.9	6.4	10.8	-2.6	3928 1 2	-1.0E+00	6.5E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 8	-14.5	8.9	-14.2	6.9	49.6	22.3	3928 1 8	2.3E-04	1.2E-03	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 9	-11.7	1.6	-9.7	9.6	43.8	9.8	3928 1 9	2.2E-04	7.4E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 10	-6.4	0.3	-6.4	9.8	39.9	9.8	3928 1 10	2.5E-04	1.0E-03	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 11	12.1	-5.1	-9.9	0.6	35.0	12.4	3928 1 11	-1.0E+00	5.8E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 12	31.0	-29.0	-2.1	12.5	17.0	-9.0	3928 1 12	-1.0E+00	4.6E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 13	-4.5	1.5	-7.9	0.0	41.1	6.2	3928 1 13	2.0E-04	7.8E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 14	41.7	-40.2	7.4	21.0	0.1	-24.1	3928 1 14	2.9E-04	5.4E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 15	-1.4	0.0	-13.1	1.7	43.9	14.2	3928 1 15	1.3E-04	5.8E-04	-1.0E+00	-1.0E+00
3928 1 16	-13.4	13.0	-18.4	2.4	53.3	30.8	3928 1 16	2.6E-04	1.1E-03	-1.0E+00	-1.0E+00

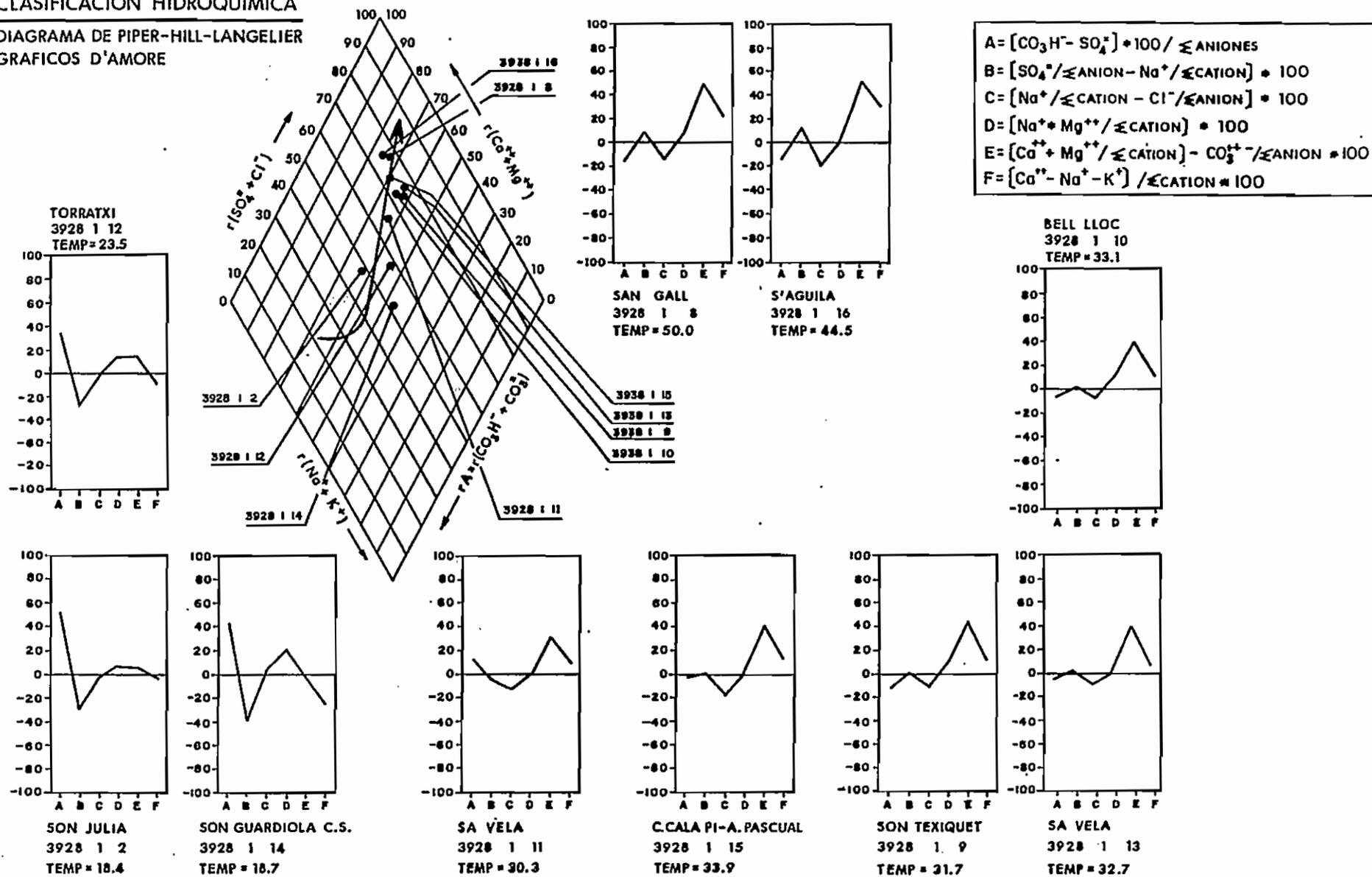
TABLA 4.8

INDICADORES CUALITATIVOS DE TEMPERATURA

IDENTIFIC	CL	CL	CL	CL	NA	NA	NA	NA
	B	F	SO4	CO3H	K	LI	CA	HG
3928 1 2	-	142.6	7.2	0.7	20.4	-	1.03	1.27
3928 1 8	309.3	108.7	1.1	1.9	18.2	-	0.53	1.34
3928 1 9	342.7	180.6	1.2	1.9	15.6	-	0.73	1.47
3928 1 10	265.7	116.7	1.2	1.5	16.2	-	0.73	1.45
3928 1 11	-	190.1	1.7	1.1	10.5	-	0.65	1.03
3928 1 12	-	257.0	4.0	1.0	17.2	-	1.21	1.53
3928 1 13	303.1	140.1	1.2	1.4	16.1	-	0.79	1.00
3928 1 14	243.5	225.1	5.4	0.8	15.9	-	1.80	2.10
3928 1 15	505.1	190.2	1.5	1.6	10.7	-	0.62	1.07
3928 1 16	264.6	107.3	1.2	1.8	14.5	-	0.41	1.11

Fig. 4.2.- CLASIFICACION HIDROQUIMICA

DIAGRAMA DE PIPER-HILL-LANGELIER
GRAFICOS D'AMORE



En ellos se pone de manifiesto una diferenciación geoquímica entre las aguas muestreadas que guarda relación con la temperatura medida en el punto de desmuestre. En este sentido y tal como se indica mediante la flecha dibujada sobre el diagrama de Piper, las aguas con temperaturas inferiores a 25°, son de tipo bicarbonatado sódico cálcico o bicarbonatado-clorurado sódico-cálcico, evolucionando a aguas de tipo cloruradas-sulfatadas cálcicos los puntos con temperatura superior a 40°.

Esta diferenciación geoquímica, se pone asimismo de manifiesto en los gráficos D'Amore (fig. 4.1), donde el modelo al que se adaptan las aguas con temperatura < 25° (n° 3928 1 2-12 y 14), se encuentra próximo al que correspondería a aguas cuya mineralización ha sido adquirida principalmente por circulación en contacto con materiales carbonatados; mientras que en los gráficos de los puntos con temperaturas > 40° (n° 3928-1 6 y 8), se pondría de manifiesto una mayor influencia en su mineralización de la disolución de materiales evaporíticos.

Los gráficos de las restantes manifestaciones, con temperaturas comprendidas entre 30°-34°, correspondería en principio a una mezcla entre los dos extremos enunciados.

El análisis de las relaciones iónicas (tabla 4.6), corrobora lo anteriormente expuesto.

En este sentido, se observa que:

- Las manifestaciones con temperatura $< 20^{\circ}$ (n^o 3928 1 2 y 3928 1 14) son las que presentan valores de la relación $\text{CO}_3\text{H}^- + \text{CO}_3^{=} / \text{Mg}^{++} + \text{Ca}^{++}$ próximos a la unidad.
- En las manifestaciones con temperatura superior a 23° (3928 1 8-9-10-11-13-15-16) la relación $\text{Cl}^- + \text{SO}_4^{=} / \text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{++}$, presentan valores próximos a la unidad. De este grupo, las manifestaciones, cuya temperatura está comprendida entre 23° - 33° (n^o 3928 1 9-10-11 y 13), presentan asimismo un valor aproximadamente constante y próximo a la unidad de la relación $\text{CO}_3\text{H}^- + \text{CO}_3^{=} + \text{SO}_4^{=} / \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, que indicaría fenómenos de solubilización mixta de materiales carbonatados y evaporíticos.
- Como característica distintiva adicional de los puntos con mayor temperatura ($T > 40^{\circ}$; 3928 1 8 y 6), cabe señalar unos valores más bajos de la relación Mg/Ca , y un menor contenido en NO_3^- .

La interpretación de las características de las aguas analizadas, dentro del esquema hidrogeológico de la zona, descrito en el capítulo , conduce a realizar las siguientes consideraciones:

- . Los sondeos n^o 3928 1 2-12 y 14, con menor temperatura ($T < 25^{\circ}$ C), baja mineralización ($600-1050 \mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$), y de facies predominantemente bicarbonatada, captan fundamentalmente aguas del acuífero más superficial o de cobertera, constituido por calizas arrecifales y calcarenitas del Torto niense.

Las características descritas para las manifestaciones, con temperaturas entre 30° - 33° y conductividades que oscilan entre $1.100-2.600 \mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$, indican que muy probablemente, las aguas muestreadas en estos sondeos, correspondan a una mezcla de aguas del acuífero superficial con otras procedentes del acuífero inferior -o substrato subbético- a mayor temperatura.

La mayor mineralización en estas aguas respecto a las que tienen una temperatura $< 30^{\circ}$, y las facies que presentan, estaría claramente influenciada por la presencia del Keuper a muro del acuífero inferior. En el punto de mezcla de aguas del acuífero más profundo con las del acuífero de cobertura se produciría asimismo un aporte salino por la existencia de margas y margas con yeso, como materiales que constituyen el límite entre ambos.

Por otra parte, el análisis de la distribución de temperaturas (fig. 4.3.), pone de manifiesto, que los puntos con temperatura superior a 32°C se encuentran alineados según una dirección NE-SO. Estos puntos corresponden asimismo a las aguas más mineralizadas (conductividad $> 1.800 \mu\Omega \cdot \text{cm}^{-1}$), tal como se refleja en el plano de isoconductividades (fig.4.4.).

La configuración de estas anomalías, así como la de algunos elementos indicadores que se estudiarán en el siguiente apartado, permite plantear como probable la existencia de una relación entre el fenómeno termal y la existencia de mecanismos (fracturas, discordancia erosiva), que permitirían

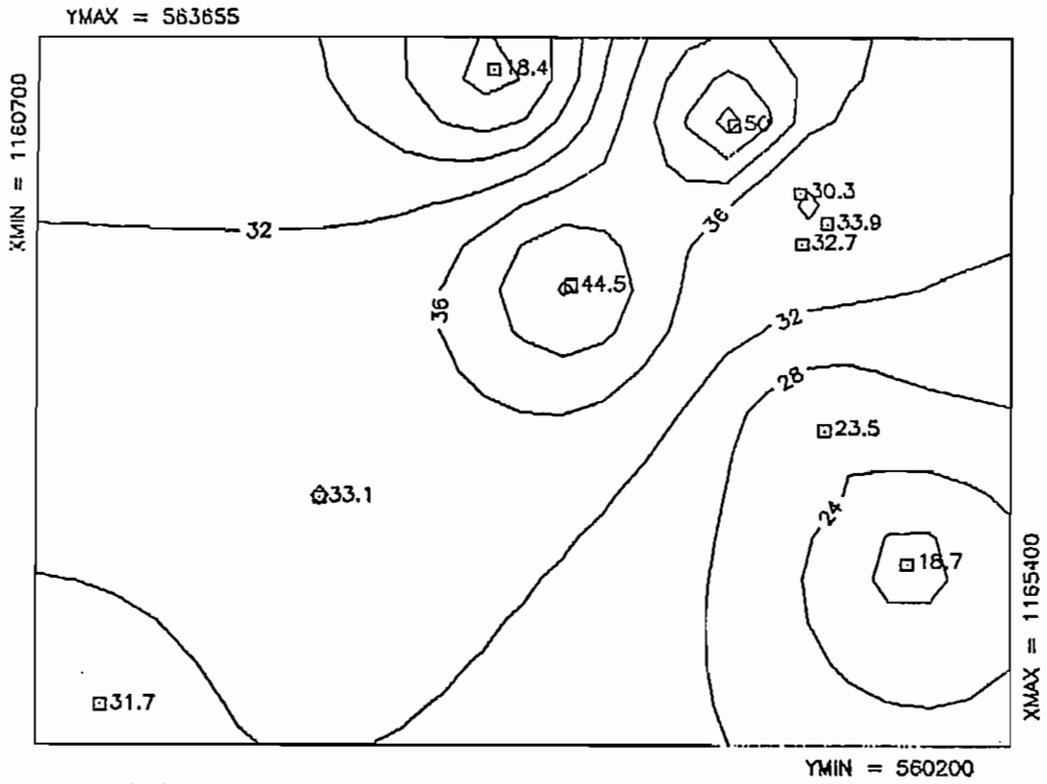


Fig. 4.3

TEMPERATURA (°C)

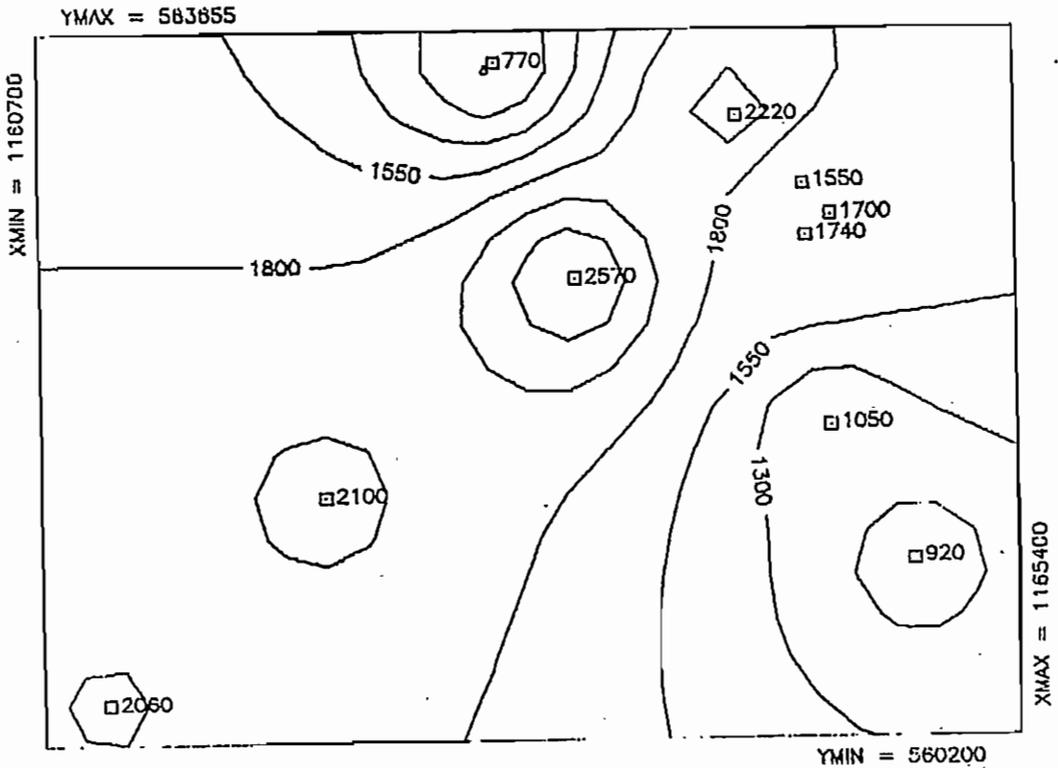


Fig. 4.4

CONDUCTIVIDAD -C

TABLA 4.10

SILICE-CANFO

IDENTIFIC	TEMP	Q-C	Q-S	CAL	ALB	CANA	CAK	NAK	NAKCA	NAKCANQ		NALI	KMG
										4/3	1/3		
3928 1 2	18.4	57	44	25	34	28	77	-	52	-	27	-	43
3928 1 8	50.0	87	75	56	56	33	84	-	60	-	59	-	35
3928 1 9	31.7	79	67	48	53	40	94	-	72	67	48	-	60
3928 1 10	33.1	81	68	49	54	41	93	-	72	66	47	-	59
3928 1 11	30.3	70	58	39	43	29	97	-	73	57	37	-	60
3928 1 12	23.5	53	39	21	35	41	92	-	71	49	27	-	54
3928 1 13	32.0	69	56	37	45	37	90	-	68	-	27	-	53
3928 1 14	18.7	67	54	35	48	50	100	-	82	42	25	-	59
3928 1 15	33.9	75	62	44	47	30	97	-	73	60	41	-	61
3928 1 16	44.5	86	74	55	53	28	86	-	61	-	63	-	58

IDENTIFIC	TEMP	Q-C	Q-S	CAL	ALB	CANA	CAK	NAK	NAKCA	NAKCANQ		NALI	KMG
										4/3	1/3		
3928 1 2	18.4	42	29	10	25	28	77	-	52	-	27	-	43
3928 1 8	50.0	77	64	45	49	33	84	-	60	-	59	-	55
3928 1 9	31.7	70	58	39	47	40	94	-	72	67	48	-	60
3928 1 10	33.1	70	58	39	47	41	93	-	72	66	47	-	59
3928 1 11	30.3	57	44	25	35	29	97	-	73	57	37	-	60
3928 1 12	23.5	36	22	3	25	41	92	-	71	49	27	-	54
3928 1 13	32.0	62	48	29	40	37	90	-	68	-1	27	-	53
3928 1 14	18.7	42	29	10	30	50	100	-	82	42	25	-	59
3928 1 15	33.9	53	39	21	32	30	97	-	73	60	41	-	61
3928 1 16	44.5	91	79	60	56	28	86	-	61	-1	63	-	58

la conexión entre los 2' acuíferos señalados.

Dicha hipótesis vendría apoyada por el hecho de la dirección de alineación de los sondeos anómalos (NE-SO), coincide con una de las direcciones de plegamiento y fallamiento más significativas de la isla de Mallorca, paralela a las directrices béticas.

Asimismo, se puede observar (en sentido amplio) que a medida que los sondeos se sitúan más alejados de la franja en la que se localizan los sondeos anómalos, las temperaturas y conductividades disminuyán paralelamente.

En este contexto, los dos sondeos que son en principio más representativos del acuífero profundo, corresponden a aquellos en los que se han medido las temperaturas más altas. (San fall, nº 3.928 1 8 y S'Aguila nº 3.928 1 16). Las conductividades más elevadas de estos puntos coinciden en señalar un menor porcentaje de mezcla con aguas superficiales menos mineralizadas.

4.5.2.- Elementos indicadores

El análisis de B, Li, F, NH_4^+ y SiO_2 en las manifestaciones objeto de estudio, se ha realizado con el objetivo de establecer la posible coincidencia de anomalías de los contenidos de los elementos anteriores, y otros indicios de termalidad, entre los que el más manifiesto es su correspondiente temperatura en el punto de muestreo.

En este sentido cabe realizar las siguientes observacio-

nes:

- El análisis de amoniaco y litio resultó infructuoso, dado que sus contenidos en la totalidad de las muestras se sitúan por debajo del límite de detección (0.1 ppm para ambos elementos).
- Los contenidos de silice, que varían entre 9-39 ppm, presentan una cierta correlación con la temperatura y conductividad (fig. 4.5 B-C).

Las anomalías de este elemento ($\text{SiO}_2 > 28$ ppm), delimitan una franja de dirección NO-SE en la que quedan comprendidos los puntos 3.928 1 8/9/10/16, coincidiendo con anomalías locales de temperatura (fig. 4.5 A).

- Los contenidos de boro, cuyo rango se sitúa entre $< 0,1-0,35$ ppm, presentan una cierta relación con la conductividad para aguas con valores de este parámetro (lab) $< 1.200 \mu\Omega.\text{cm}^{-1}$ (fig. 4.6 B), mientras que se constata una ausencia de correlación boro-temperatura (fig. 4.6 C) si bien las aguas de mayor temperatura, presentan contenidos más elevados (fig. 4.6 A).
- Los contenidos de flúor, en el rango 0.3-0.2 ppm, siguen frente al Ca^{2+} (fig. 4.7 C), al igual que en el caso de los $\text{SO}_4^{=}$ (fig. 4.8) una distribución aproximadamente lineal, que se interpreta como una participación de minerales de tipo SO_4Ca (anhidrita-yeso) y F_2Ca (fluorita), en el aporte de Ca^{2+} a las aguas.

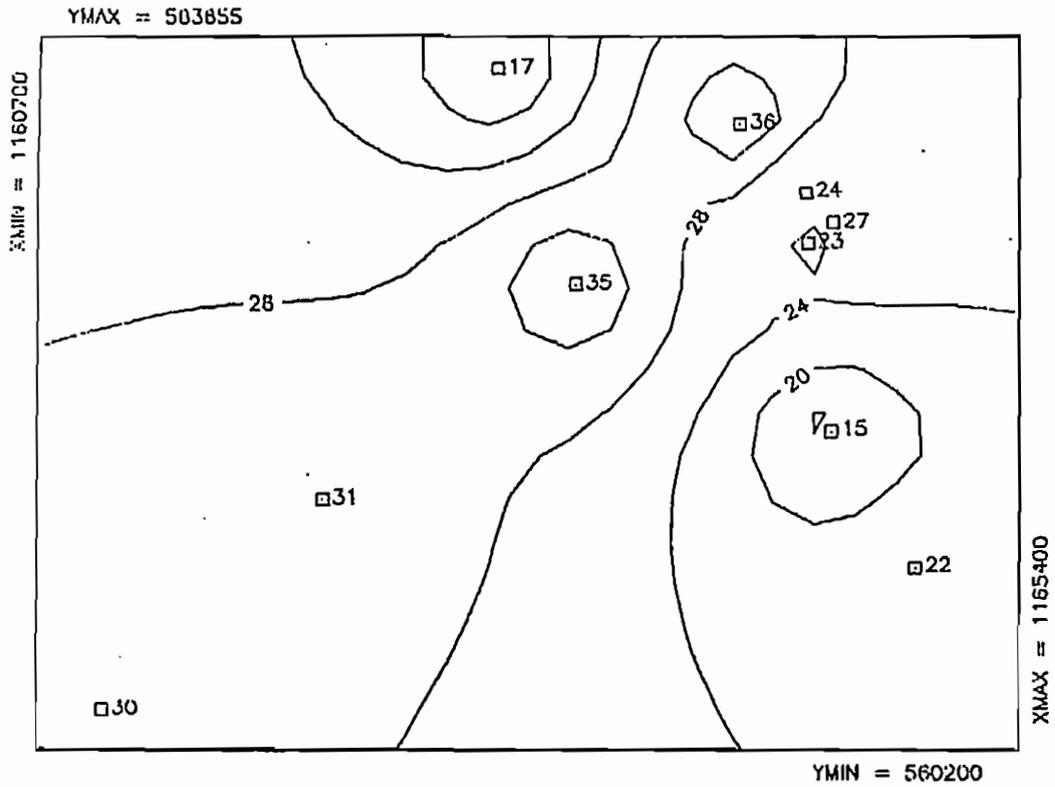
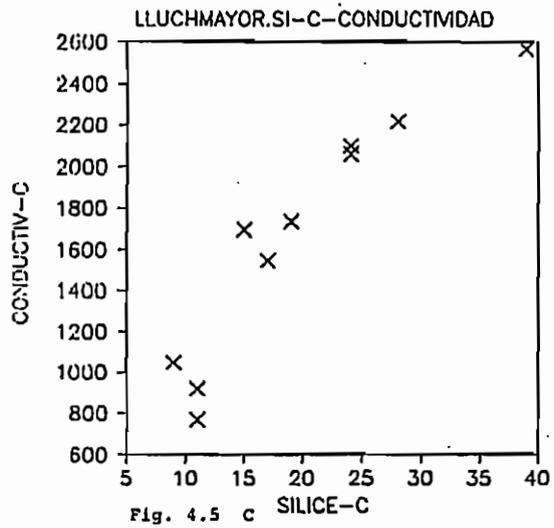
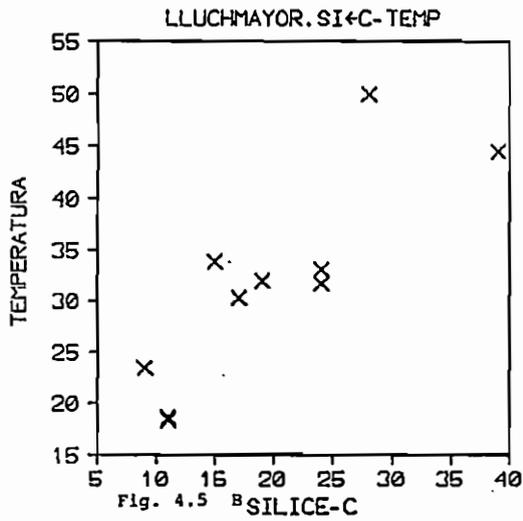


Fig. 4.5 A SILICE (ppm)



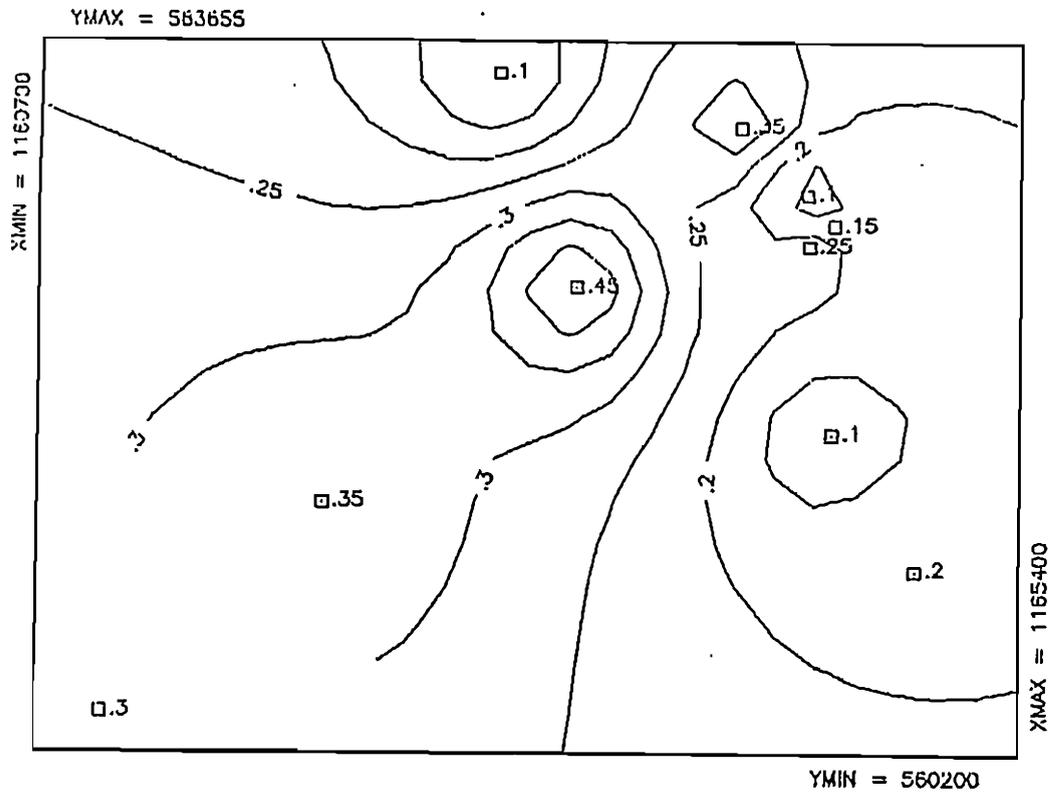
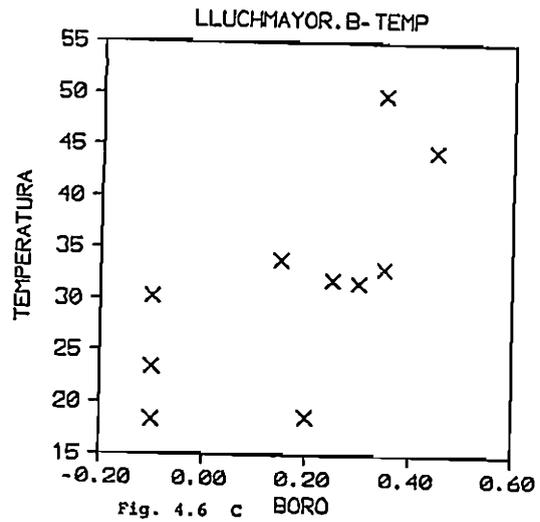
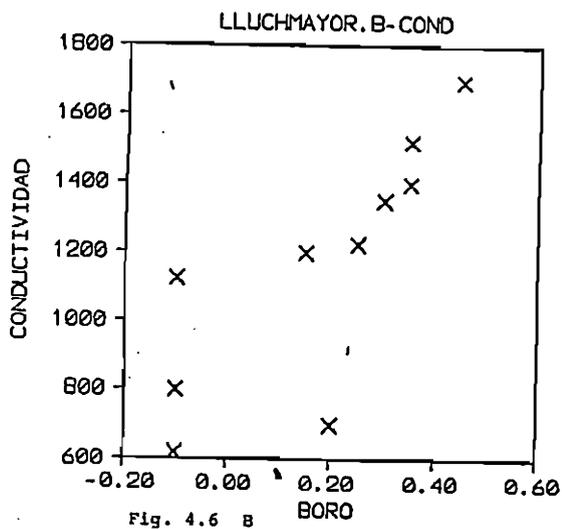


Fig. 4.6 A BORO (ppm)



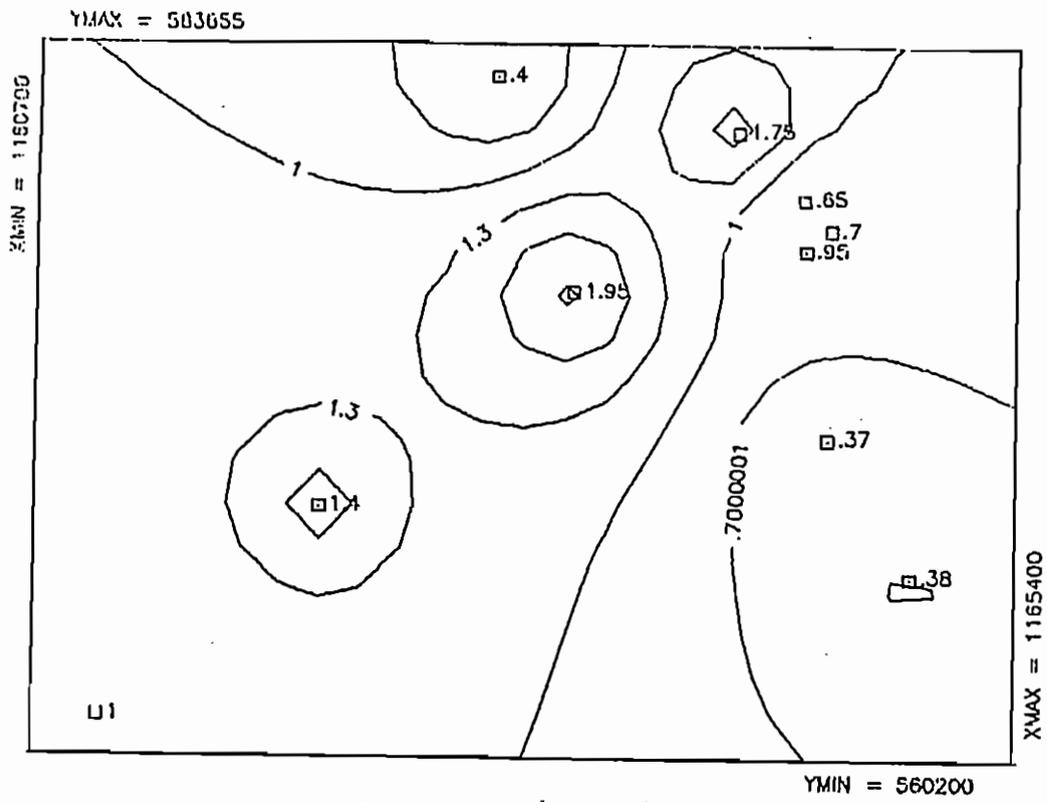
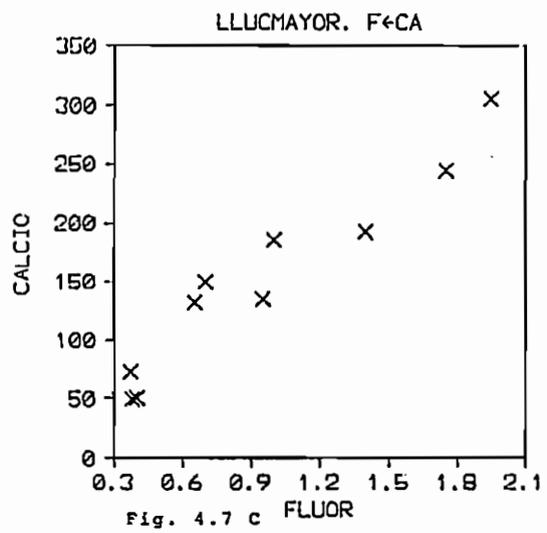
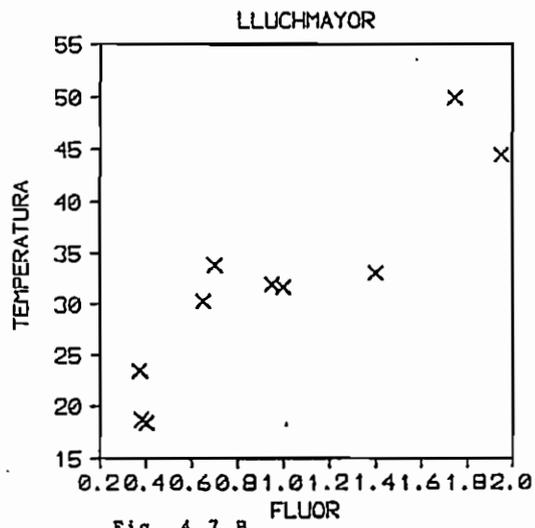


Fig. 4.7 A FLUOR (ppm)



LLUCHMAYOR, 1986

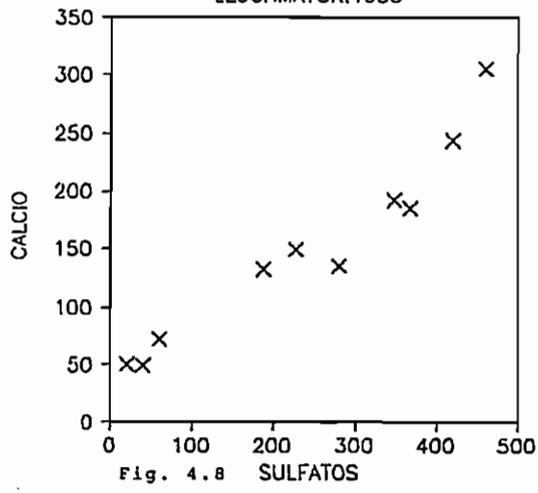


Fig. 4.8

- La distribución de contenidos de este elemento, cuyas anomalías ($F > 1$ ppm), coinciden sobre los sondeos de mayor temperatura, conductividad y contenidos de sílice, se refleja en la figura 4.7 A.

4.5.3.- Equilibrios químicos

En el cálculo del grado de saturación-insaturación de las aguas respecto a distintos minerales, no se han considerado las especies silicatadas debido a que no se disponía del análisis de contenidos de aluminio en las mismas. Dicho análisis por otra parte, requiere de un tratamiento de la muestra en campo, cuyo método no estaba puesto a punto en la época en que se realizó el muestreo.

Los valores del índice de saturación ($\Omega = \lg IAP/KT$), para las especies calcita, dolomita, cuarzo, calcedonia, anhidrita, yeso y fluorita, resultantes de la aplicación del programa EQEAU, a las aguas muestreadas, a las respectivas temperaturas de surgencia, se listan en la tabla 4.9.

TABLA 4.9

INDICES DE SATURACION MINERAL

$$\Omega = \text{LOG} (IAP/KT)$$

MUESTRA	T(°)	CALCITA	DOLOMI	CUARZO	CALCED.	ANHID.	YESO	FLUORITA
3928 1 2	18.4	0.28	1.55	0.55	0.25	- 2.64	- 2.33	- 1.51
3928 1 14	18.7	0.44	1.90	0.64	0.35	- 2.38	- 2.08	- 1.62
3928 1 12	23.5	0.61	2.23	0.40	0.11	- 2.04	- 1.80	- 1.60
3928 1 11	30.3	0.56	2.06	0.52	0.24	- 1.35	- 1.17	- 1.04
3928 1 9	31.7	0.40	1.61	0.60	0.31	- 0.98	- 0.82	- 0.61
3928 1 13	32.0	0.50	2.02	0.39	0.11	- 1.19	- 1.03	- 0.76
3928 1 10	33.1	1.17	3.18 (2.14)	0.59	0.30	- 0.99	- 0.84	- 0.33
3928 1 15	33.9	0.44	1.78	0.52	0.24	- 1.19	- 1.05	- 0.99
3928 1 16	44.5	0.60	1.94	0.50	0.23	- 0.63	- 0.60	- 0.05
3928 1 8	50.0	1.05	2.88	0.63	0.05	- 0.66	- 0.68	- 0.27

El análisis de estos resultados pone de manifiesto:

- La fase mineral de sílice más cercana al equilibrio en estas aguas, es la calcedonia, por lo que serán los resultados de la aplicación de el geotermómetro basado en esta variedad de la sílice, los que aporten valores de temperaturas teóricas más probables del último equilibrio.
- La evolución del grado de saturación respecto a la fluorita, yeso y anhidrita pone de manifiesto la existencia de condiciones más próximas al equilibrio respecto a estas fases minerales, en las manifestaciones con temperatura > 40°

mientras que los más alejados del equilibrio, corresponden a las manifestaciones con temperatura < 250 .

Dichos resultados son coherentes con las consideraciones realizadas a partir del análisis de los gráficos D'Amore, relaciones iónicas, gráficos de dispersión, y esquema hidrogeológico de la zona, en el sentido de atribuir una mayor mineralización a las aguas de mayor temperatura por solubilización de facies evaporíticas.

Se ha constatado la aparición de fluorita ($F_2 Ca$), cuya solubilización explicaría el origen de las anomalías de F^- en los mismos.

- El grado de saturación (Ω) respecto a las especies carbonatadas, indican que las aguas objeto de estudio se encuentran saturadas respecto a estas fases, sin que sea posible constatar una evolución de este parámetro en relación con la temperatura.

4.5.4.- Cálculos geotermométricos

En la tabla 4.10 se listan los resultados de la aplicación de los geotermómetros de fase líquida, considerándose para los geotermómetros de sílice los análisis de campo (A) y Laboratorio (B).

- El geotermómetro Na-Li no resulta aplicable en ningún punto, dado que los contenidos de litio se encuentran en todos ellos por debajo del límite de detección.
- El geotermómetro Na-K no resulta aplicable en estas aguas, ofreciendo para todos los puntos valores de temperatura

teórica del último equilibrio superiores a 160°, claramente fuera del rango de temperaturas aportadas por los restantes geotermómetros aplicados.

Dicho geotermómetro, sólo resulta aplicable para aguas con temperatura superior a 180°, viéndose afectado por fenómenos de intercambio catiónico en arcillas.

- Los geotermómetros que ofrecen temperaturas teóricas del último equilibrio más fiables, por su mayor paralelismo con las temperaturas de surgencias, y mayor coincidencia entre valores aportados, corresponden a: calcedonia, albita-anortita, y NaKCa con la corrección de magnesio. ($\beta = 1/3$).
- En el caso de aguas más representativas del acuífero profundo (3928 1 8 y 3928 1 16), su menor relación Mg/Ca determina que sea el resultado de NaKCa el valor a considerar, siendo por otra parte los resultados de la aplicación del cálculo de equilibrios a estas aguas los que aporten valores más próximos a los del agua en el acuífero profundo. En cualquier caso se plantea el interés de interpretar dichos resultados a la luz de los correspondientes a los análisis de tritio llevados a cabo en 1.983, (anexo I), que reflejan que se trata de aguas con periodos de tránsito superiores a 30 años, y ausencia de mezclas con aguas recientes.

En este sentido se interpreta que las temperaturas calculadas por los geotermómetros para dichos puntos (55°-60°), corresponderían a la temperatura de equilibrio reestablecido tras una eventual mezcla entre aguas del acuífero profundo y superficial, y según estos datos sería únicamente superior en 5°-10° a la del agua con mayor temperatura en el punto de muestreo.

- El geotermómetro K-Mg ofrece temperaturas en el rango 40°-60°, pero sin que se observe un paralelismo entre las respectivas temperaturas de surgencia.

IDENTIFIC	TEMP	Q-C	Q-S	CAL	ALB	CANA	CAK	NAK	NAKCA	NAKCAHG 4/3 1/3	NALI	KHG
3928 1 8	50.1	89	77	59	59	-1	87	-1	65	-1 58	-1	58
3928 1 9	31.5	72	59	40	49	41	84	-1	63	-1 52	42	54
3928 1 10	33.1	72	59	40	48	38	87	-1	65	-1 55	46	57
3928 1 11	30.1	60	46	-1	38	34	102	-1	80	50 33	93	62
3928 1 12	23.2	51	37	-1	-1	-1	91	-1	46	-1 42	77	54

5.- BIBLIOGRAFIA

5.1.- GEOLOGIA GENERAL

a) Cartografía

- MAPA GEOLOGICO NACIONAL, Escala 1:200.000, Síntesis de la cartografía existente. Hojas 57-66.
- MAPA GEOLOGICO NACIONAL, Escala 1:50.000 (2ª Edición -MAGNA-) Hojas 699 (PORRERES), 700 (MANACOR) , 724 (LLUCHMAYOR), 725-749 (FELANITX) y 748 (ISLA CONEJERA).

b) Tesis doctorales

- BOURROUILH, R. (1973).- Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du NE de Majorque (Balears). La terminaison nord-occidentale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale. These, Paris.

c) Otras publicaciones de carácter general

- ALVARO, M., OLMO, O. del, RAMIREZ DEL POZO, J. (1981). Características geológicas de Mallorca. Síntesis preliminar. Informe interno (Inédito). IGME,
- JEREZ MIR, F. (1979).- Contribución a una nueva síntesis de las Cordilleras Béticas. Bol. Geol. Min. t. 90, nº 6, pp. 1-53.

- JEREZ MIR, F. (1980) .- Propuesta de un nuevo modelo tectónico general para las Cordilleras Béticas. XXVI Congreso Geológico Internacional. París. Publicado Bol. Geol. Min. t. 92, nº 1, Año 1981, pp. 1-18, 3 mapas.
- POMAR. L. (1979).- La evolución tectosedimentaria de las Baleares. Análisis crítico. Acta Geol. Hispánica, t. 14, pp. 293-310.

5.2.- HIDROGEOLOGIA

- M.O.P., M.I., M.A. (1973).- Estudio de los Recursos hidráulicos totales de Baleares. Informe de Síntesis General.
- Informe sobre los sondeos de reconocimiento y piezométricos realizados para el estudio hidrogeológico de los embalses subterráneos de Lluchmayor-Campos y de la Marineta (Mallorca). S.G.O.P.
- IGME (1975).- Informe hidrogeológico sobre la zona Sur de la Sierra de Levante de la Isla de Mallorca.
- IGME (1981).- Estudio hidrogeológico para la ubicación de un sondeo de investigación-producción que cubra el abastecimiento al núcleo urbano de Felanitx.
- IGME (1981).- Nota técnica sobre el sondeo de producción para abastecimiento del municipio de Felanitx.
- IGME (1981).- Calidad de las aguas subterráneas en la isla de Mallorca. Colección Informe.
- IGME (1981).- Calidad química y focos potenciales de contaminación de las aguas subterráneas en la isla de Mallorca. Colección Informe.

- IGME (1982).- Evolución piezométrica de los acuíferos de la isla de Mallorca (período 1974-1981). Colección Informe.
- IGME (1983).- Informe final sobre el sondeo de producción para abastecimiento del municipio de Campos del Puerto.
- IGME (1983).- Mapa hidrogeológico de España, a E. 1:50.000. Hoja 38-27, Palma.

5.3.- GEOTERMIA

- IGME (1975).- Inventario General de Manifestaciones geotérmicas en el Territorio Nacional.
- IGME (1984).- Proyecto de investigación geotérmica preliminar del Pirineo oriental, Zona meridional del prelitoral catalán e islas Baleares. Vol. 3. ESTUDIO GEOTERMICO PRELIMINAR DE BALEARES.

A N E X O I

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS

ANALISIS QUIMICO EN PPM

IDENTIFIC	TEMP	COND-C	COND-L	PH-C	PH-L	EH	SI02-C	SI02	LI	B	F	NH4
3723 1 8	50.1	3154	1687	6.7	7.3	0.22	38.0	38.0	0.04	-0.50	2.20	-0.50
3723 1 9	31.5	1799	1423	7.0	7.5	0.22	-1.0	25.0	0.09	-0.50	1.00	-0.50
3723 1 10	33.1	1764	1395	7.0	7.4	0.18	-1.0	25.0	0.09	-0.50	1.10	-0.50
3723 1 11	30.1	1260	1063	7.3	7.6	-0.60	-1.0	18.0	0.15	-0.50	0.70	0.50
3723 1 12	23.2	731	758	7.3	7.7	0.19	-1.0	14.0	0.01	-0.50	0.30	-0.50

ANALISIS QUIMICO en PPM

IDENTIFIC	CL	SO4	CO3H	CO3	NO3	NO2	CA	MG	NA	K	TEMP
3723 1 8	305.0	543.0	216.0	0.0	18.0	-1.000	266.0	65.6	177.0	16.4	50.1
3723 1 9	325.0	485.0	258.0	0.0	8.5	-1.000	215.0	60.0	173.0	13.3	31.5
3723 1 10	315.0	497.0	250.0	0.0	1.4	-1.000	219.0	57.6	162.0	14.8	33.1
3723 1 11	218.0	210.0	243.0	0.0	31.2	-1.000	125.0	53.0	110.0	18.4	30.1
3723 1 12	160.0	57.0	162.0	0.0	23.8	-1.000	85.0	38.8	8.9	10.6	23.2

ANALISIS QUIMICO en EPM

IDENTIFIC	CL	SO4	CO3H	CO3	NO3	NO2	CA	MG	NA	K	LI	B	F	NH4
3928 1 8	6.6	13.4	3.5	0.0	0.29	-1.00	13.27	5.39	7.70	0.42	0.01	-1.00	0.12	-1.00
3928 1 9	9.2	10.1	4.2	0.0	0.14	-1.00	10.73	4.93	7.52	0.34	0.01	-1.00	0.05	-1.00
3928 1 10	8.9	10.1	4.1	0.0	0.02	-1.00	10.93	4.74	7.05	0.38	0.01	-1.00	0.06	-1.00
3928 1 11	6.1	4.4	4.0	0.0	0.50	-1.00	6.24	4.36	4.78	0.47	0.02	-1.00	0.04	0.93
3928 1 12	4.5	1.2	2.7	0.0	0.38	-1.00	4.24	3.19	0.39	0.27	0.00	-1.00	0.02	-1.00

ANALISIS QUIMICO en XEPM

IDENTIFIC	%CL	%SO4	%CO3H	%CO3	%NO3	%CA	%MG	%NA	%K
3928 1 8	33.24	51.56	13.63	0.00	1.12	49.54	20.14	28.74	1.57
3928 1 9	38.71	42.64	17.85	0.00	0.58	45.58	20.96	31.97	1.45
3928 1 10	36.29	43.70	17.66	0.00	0.10	47.30	20.50	30.50	1.64
3928 1 11	40.87	29.06	26.47	0.00	3.35	39.23	27.41	30.09	2.96
3928 1 12	51.55	13.56	30.33	0.00	4.38	52.42	39.43	4.78	3.35

CALCULO DEL ERROR ANALITICO

IDENTIFIC	SUM-c	SUM-A	%E
3928 1 8	26.79	25.96	0.79
3928 1 9	23.54	23.68	0.15
3928 1 10	23.10	23.20	0.11
3928 1 11	15.90	15.04	1.39
3928 1 12	8.09	8.75	1.96

PARAMETROS DE FACIES HIDROQUIMICAS

IDENTIFIC		A	B	C	D	E	F
3928	1 8	-37.9	22.8	-4.5	8.9	56.0	19.2
3928	1 9	-24.8	10.7	-6.7	10.9	48.7	12.2
3928	1 10	-26.0	13.2	-7.8	10.0	50.1	15.2
3928	1 11	-2.6	-1.0	-10.8	2.8	40.2	6.2
3928	1 12	16.8	8.8	-46.8	-32.0	61.5	44.3

RELACIONES IND / (PPH)/COND (.ca-1)

IDENTIFIC		B	F	NH4	LI
		COND	COND	COND	COND
3928	1 8	-1.0E+00	1.3E-03	-1.0E+00	2.3E-05
3928	1 9	-1.0E+00	7.0E-04	-1.0E+00	6.0E-05
3928	1 10	-1.0E+00	7.9E-04	-1.0E+00	6.2E-05
3928	1 11	-1.0E+00	6.6E-04	4.7E-04	1.4E-04
3928	1 12	-1.0E+00	4.0E-04	-1.0E+00	1.2E-05

RELACIONES IONICAS

IDENTIFIC		CO3H+CO3	CO3H+CO3	CL	CL	SO4	SO4	CO3H+CO3+SO4	CL+SO4	MG	CL	SO4
		CA	CA+MG	NA	NA+K	CA	CA+MG	CA+MG	NA+K+CA	CA	CO3H	CL
3928	1 8	0.27	0.19	1.12	1.06	1.01	0.72	0.91	1.03	0.41	2.44	1.55
3928	1 9	0.39	0.27	1.22	1.17	0.94	0.64	0.91	1.04	0.46	2.17	1.10
3928	1 10	0.37	0.26	1.26	1.20	0.93	0.65	0.91	1.04	0.43	2.17	1.14
3928	1 11	0.64	0.38	1.29	1.17	0.70	0.41	0.79	0.92	0.70	1.54	0.71
3928	1 12	0.63	0.36	11.66	6.86	0.28	0.16	0.52	1.16	0.75	1.70	0.26

INDICADORES CUALITATIVOS DE TEMPERATURA

IDENTIFIC		CL	CL	CL	CL	NA	NA	NA	NA
		B	F	SO4	CO3H	K	LI	CA	MG
3928	1 8	-1.0	74.5	0.6	2.4	18.4	1405.82	0.58	1.43
3928	1 9	-1.0	174.1	0.9	2.2	22.1	614.28	0.70	1.53
3928	1 10	-1.0	153.4	0.9	2.2	18.6	568.53	0.64	1.49
3928	1 11	-1.0	166.8	1.4	1.5	10.2	224.32	0.77	1.10
3928	1 12	-1.0	285.7	3.8	1.7	1.4	298.46	0.09	0.12

		<u>mg/l.</u>			<u>mg/l.</u>
<input type="checkbox"/>	Sulfuros S=		<input type="checkbox"/>	Anhídrido carbónico CO ₂ libre	
<input type="checkbox"/>	Sulfitos SO ₃ =		<input type="checkbox"/>	Anhídrido carbónico total	
<input type="checkbox"/>	Tiosulfatos S ₂ O ₃ =		<input type="checkbox"/>	Anhídrido carbónico agresivo	
<input type="checkbox"/>	Azuñre total S		<input type="checkbox"/>	Cloro Cl ₂ libre	
<input type="checkbox"/>	SH ₂ libre		<input type="checkbox"/>	Demanda química cloro D Q Cl	
	<input type="checkbox"/>	Agresividad	0 positiva	negativa 0	
	<input type="checkbox"/>	Fluoruros F-		mg/l.	
	<input checked="" type="checkbox"/>	Boro B	2,2	mg/l.	
<input type="checkbox"/>	Cromo hexavalente Cr ⁶⁺	mg/l.	<input type="checkbox"/>	Aceites y grasas	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Cianuros CN-	mg/l.	<input type="checkbox"/>	Hidrocarburos	mg/l.
	<input type="checkbox"/>	Detergentes aniónicos.		mg/l.	
	<input type="checkbox"/>	Fenoles		mg/l.	
	<input type="checkbox"/>	Putrescibilidad azul de metileno (5 días)		° día	

ELEMENTOS TRAZA O INFRA-TRAZA

<input checked="" type="checkbox"/>	Silice SiO ₂	17	mg/l.	<input type="checkbox"/>	Litio Li	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Estrencio Sr		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Rubidio Rb	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Bario Ba		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Cesio Cs	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Aluminio Al		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Mercurio Hg	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Antimonio Sb		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Moliódeno Mo	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Arsénico As		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Níquel Ni	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Cadmio Cd		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Oro Au	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Cobalto Co		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Plata Ag	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Cobre Cu		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Plomo Pb	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Hierro Fe		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Selenio Se	mg/l.
<input type="checkbox"/>	Manganeso Mn		mg/l.	<input type="checkbox"/>	Vanadio V	mg/l.
				<input type="checkbox"/>	Zinc Zn	mg/l.

OBSERVACIONES - DETERMINACIONES ESPECIALES