

MINISTERIO DE INDUSTRIA  
DIRECCION GENERAL DE MINAS  
E INDUSTRIAS DE LA CONSTRUCCION  
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

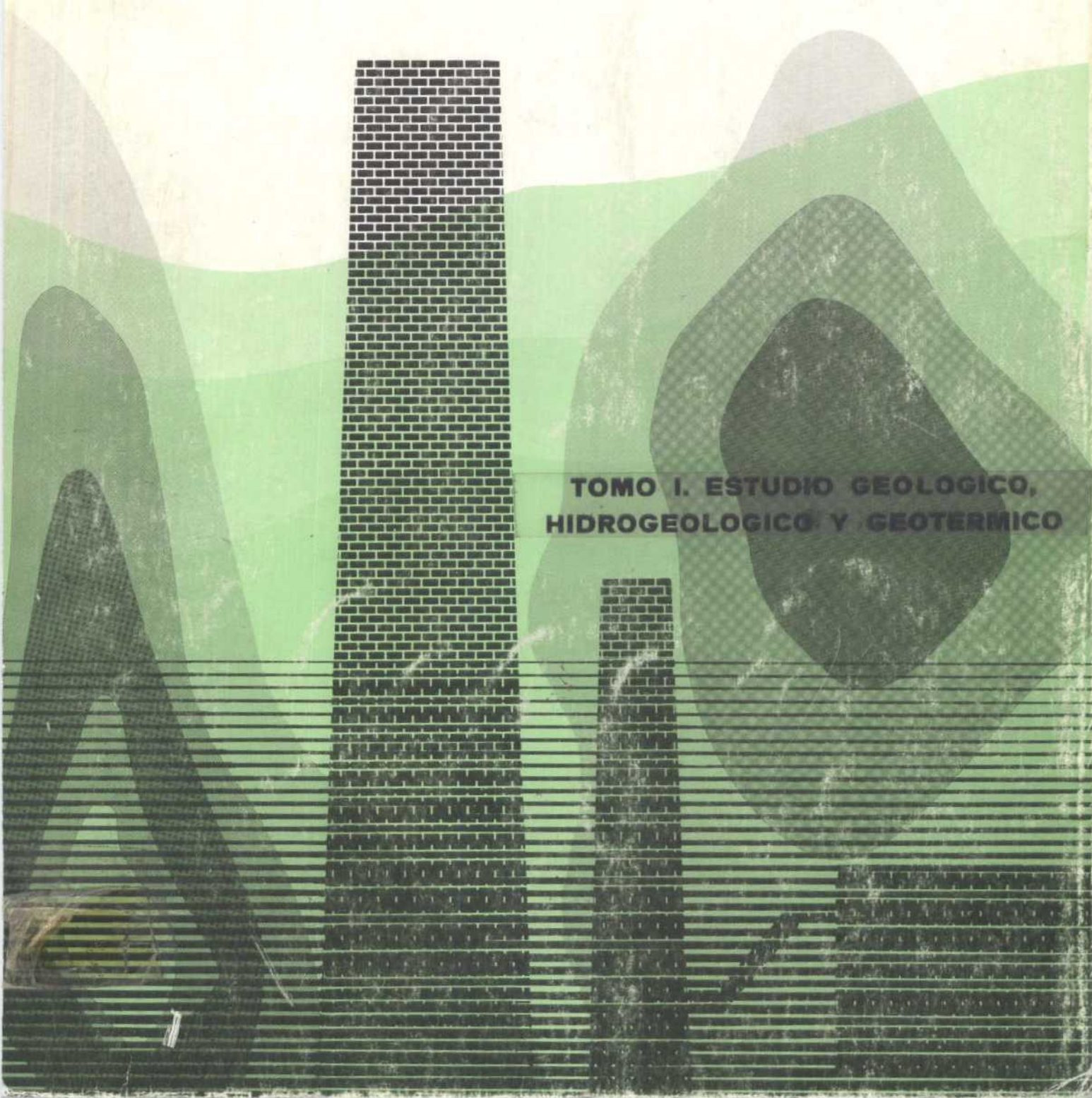
PLAN NACIONAL DE LA MINERIA  
PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTO  
DE MATERIAS PRIMAS NO ENERGETICAS

# FASE PRELIMINAR DE PROSPECCION DE RECURSOS GEOTERMICOS DE BAJA ENTALPIA EN EL VALLES (BARCELONA)

El presente estudio geológico, hidrogeológico y geotérmico tiene como finalidad principal la identificación de las zonas favorables para la explotación de recursos geotérmicos de baja entalpia en el Valle de Cardener (Barcelona). Para ello se ha realizado un estudio detallado de la geología regional, así como de las características hidrogeológicas y geotérmicas de las cuencas de interés. Los resultados obtenidos permiten establecer un orden de prioridades para la realización de estudios más profundos en las zonas más favorables.

## TOMO I. ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y GEOTERMICO

Este estudio geológico, hidrogeológico y geotérmico ha sido financiado por el Ministerio de Industria y Comercio, a través del Plan Nacional de la Minería y el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas No Energéticas.



**INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA**

**00502**

**FASE PRELIMINAR DE PROSPECCION  
DE RECURSOS GEOTERMICOS DE  
BAJA ENTALPIA EN EL VALLES  
(BARCELONA)**

**TOMO I. ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO  
Y GEOTERMICO.**

**COMPANIA GENERAL DE SONDEOS S.A.**

**DICIEMBRE 1977**

**TOMOS QUE COMPRENDE ESTE INFORME**

**TOMO I - ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO  
Y GEOTERMICO.**

**TOMO II - PROSPECCION GRAVIMETRICA.**

**TOMO III - PROSPECCION ELECTRICA ( Resistividades  
y Autopotenciales ).**

**TOMO IV - ANEXOS.- ANALISIS QUIMICOS Y CURVAS  
DE S.E.V.**

**TOMO V - MAPAS Y FIGURAS FUERA DEL TEXTO**

**INDICE**

TOM 1 • ESTUDIO GEOLOGICO, HIDROGEOLOGICO Y GEOTERMICO

	Paginas,-
1.- <u>INTRODUCCION</u> .....	1
2.- <u>GEOLOGIA GENERAL DE LA FOSA DEL VALLES</u> .....	4
2.1.- INTRODUCCION.....	4
2.2.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	6
2.3.- NATURALEZA DEL ZOCALO.....	8
2.4.- ESTRATIGRAFIA Y SEDIMENTOLOGIA DE LOS - MATERIALES MIOCENOS.....	10
3.- <u>HIDROGEOLOGIA DE LA FOSA DEL VALLES</u> .....	22
3.1.- CLIMATOLOGIA.....	22
3.2.- ESCORRENTIA SUPERFICIAL.....	26
3.3.- HIDROLOGIA SUBTERRANEA.....	29
3.3.1.- Geometria de los acuíferos.....	29
3.3.2.- Parámetros hidrogeológicos.....	31
3.3.3.- Capacidad de embalse.....	31
3.3.4.- Recarga potencial de los acuífe <u>r</u> ros miocenos.....	33
3.3.5.- Descarga de los acuíferos mioce <u>r</u> nos.....	34
3.3.6.- Conclusiones.....	25
4.- <u>DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA INVESTIGADA</u>	38
4.1.- INTRODUCCION.....	38
4.2.- ESTRATIGRAFIA Y MATERIALES.....	38
4.2.1.- Materiales del horst.....	38
4.2.2.- El relleno de la fosa.....	41
4.2.3.- Depósitos cuaternarios.....	42

	Paginas,-
4.3.- DISPOSICION ESTRUCTURAL.....	42
4.3.1.- Relación Cordillera Prelitoral	
Depresión del Ebro.....	43
4.3.2.- Contacto Depresión Prelitoral	
Fosa del Vallés.....	45
5.- <u>INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA</u> .....	46
6.- <u>ANALISIS ISOTOPICOS</u> .....	55
6.1.- TRITIO.....	55
6.2.- DEUTERIO Y OXIGENO-18.....	56
7.- <u>HIDROQUIMICA</u> .....	61
7.1.- HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES....	61
7.2.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES	66
7.3.- HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS	
DE CIRCULACION SOMERA.....	70
8.- <u>TERMOMETRIA HIDROQUIMICA</u> .....	77
9.- <u>CALCULO DE POROSIDADES</u> .....	80
10.- <u>RESUMEN</u> .....	81
11.- <u>CONCLUSIONES</u> .....	89
12.- <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	90

### LISTA DE FIGURAS EN TEXTO

- Fig. 1.- Esquema morfoestructural de NE de Cataluña.
- " 2.- Esquema litológico de la fosa del Vallés.
- " 3.- Cortes geológicos interpretativos de la fosa del Vallés.
- " 4.- Disposición estratigráfica de los materiales miocénicos en el Vallés.
- " 5.- Mapa de isoyetas medias del Vallés (1959-75).
- " 6.- Balance hídrico del Vallés.
- " 7.- Cortes estructurales de la Cordillera Prelitoral en la zona estudiada.
- " 8.- Relación Deuterio - Oxígeno 18 de los fluidos termales.
- " 9.- Diagrama de Schöller - Berkaloff de las aguas termales.
- " 10.- Diagramas de potabilidad de las aguas termales.
- " 11.- Distribución log-normal del contenido en sílice.

### INDICE DE TABLAS

- Tabla I.- Precipitación media anual en el Vallés.
- II.- Temperatura media anual en el Vallés.
- III.- Escorrentía superficial en el Vallés.
- IV.- Inventario de puntos de agua.
- V.- Estabilidad química de las aguas termales.
- VI.- Cuadro comparativo de las calidades químicas de las aguas termales.

MAPAS FUERA DE TEXTO

Mapa I.- Mapa hidrogeológico del Vallés.

II.- Mapa geológico

III.- Puntos de agua inventariados y muestreados.

IV.- Mapa hidroquímico (diagramas de Stiff)

V.- Mapa de anomalías hidroquímicas.



## **INTRODUCCION**

## 1.- INTRODUCCION

El PLAN NACIONAL DE ABASTECIMIENTOS DE MATERIAS PRIMAS MINERALES tiene como contenido y alcance contemplar el potencial abastecedor que realmente puede desarrollar el país, para conocer si, mediante las acciones pertinentes, pueden - aprovecharse al máximo y racionalmente nuestros recursos natu rales.

En el análisis del PLAN de las sustancias sustu tivas de recursos energéticos deficitarios, cuyo empleo produ ciría el ahorro consiguiente en la importación de hidrocarburos, se consideran los recursos energéticos menos convencionales, pero cuyo aprovechamiento, hasta ahora muy poco atendido, pue de cooperar a una mejora de la dependencia en el abastecimien to de crudos.

Con este planteamiento, resulta lógico tratar de desarrollar al máximo los recursos energéticos originales y en particular los renovables como es el caso de la energía - geotérmica, de conocida rentabilidad. En base a estos razona mientos surge el presente estudio de FASE PRELIMINAR DE PROS PECCION DE RECURSOS GEOTERMICOS DE BAJA ENTALPIA EN EL VALLES (BARCELONA).

La zona de estudio se sitúa a unos 30 kms. al NE de la ciudad de Barcelona, en la comarca natural del Vallés de donde toma el nombre el proyecto realizado. Comprende un rectángulo de 18 Kms. de longitud por 6 de anchura, orientado NE-SW, que tiene por límites las poblaciones de Sentmenat y - Samalús e incluye las dos localidades con manifestaciones ter

males: Caldes de Montbui (70°C) y La Garriga (60°C):

Las coordenadas de los vértices de la referida -  
 área son:

2° 19' 30" long E	2° 20' 00" long E
41° 42' 0" lat. N	41° 39' 20" lat. N
2° 8' 0" long E	2° 8' 30" long E
41° 39' 0" lat. N	41° 36' 0" lat. N

La zona fue escogida en función de la temperatura de sus aguas (los de mayor temperatura en superficie de España), la estructura geológica favorable y la cercanía de los puntos termales a núcleos de población tan importantes e industrializados como Sabadell, Tarrasa y Granollers (8-10 Km).

El trabajo ha sido realizado por la COMPAÑIA GENERAL DE SONDEOS, en colaboración con el I.G.M.E. participando el siguiente personal:

C.G.S. D. José Francisco Albert Beltrán (Dr. en Ciencias Geológicas); Geología, hidrogeología, geoquímica, isótopos, termometrías y conclusiones generales.

D. Angel Granda Sanz (Ingeniero de Minas): Geofísica eléctrica por resistividades y potencial espontáneo. Interpretación y conclusiones geofísicas.

D. Antonio Esquinas García (Ingeniero Técnico de Minas): Operador de geofísica.

I.G.M.E.: D. Juan Plata Torres (Dr. Ingeniero de Minas) y equipo: Prospección gravimétrica.

# **GEOLOGIA GENERAL DE LA FOSA DEL VALLES**

## 2.- GEOLOGIA GENERAL DE LA FOSA DEL VALLES

### 2.1. INTRODUCCION.-

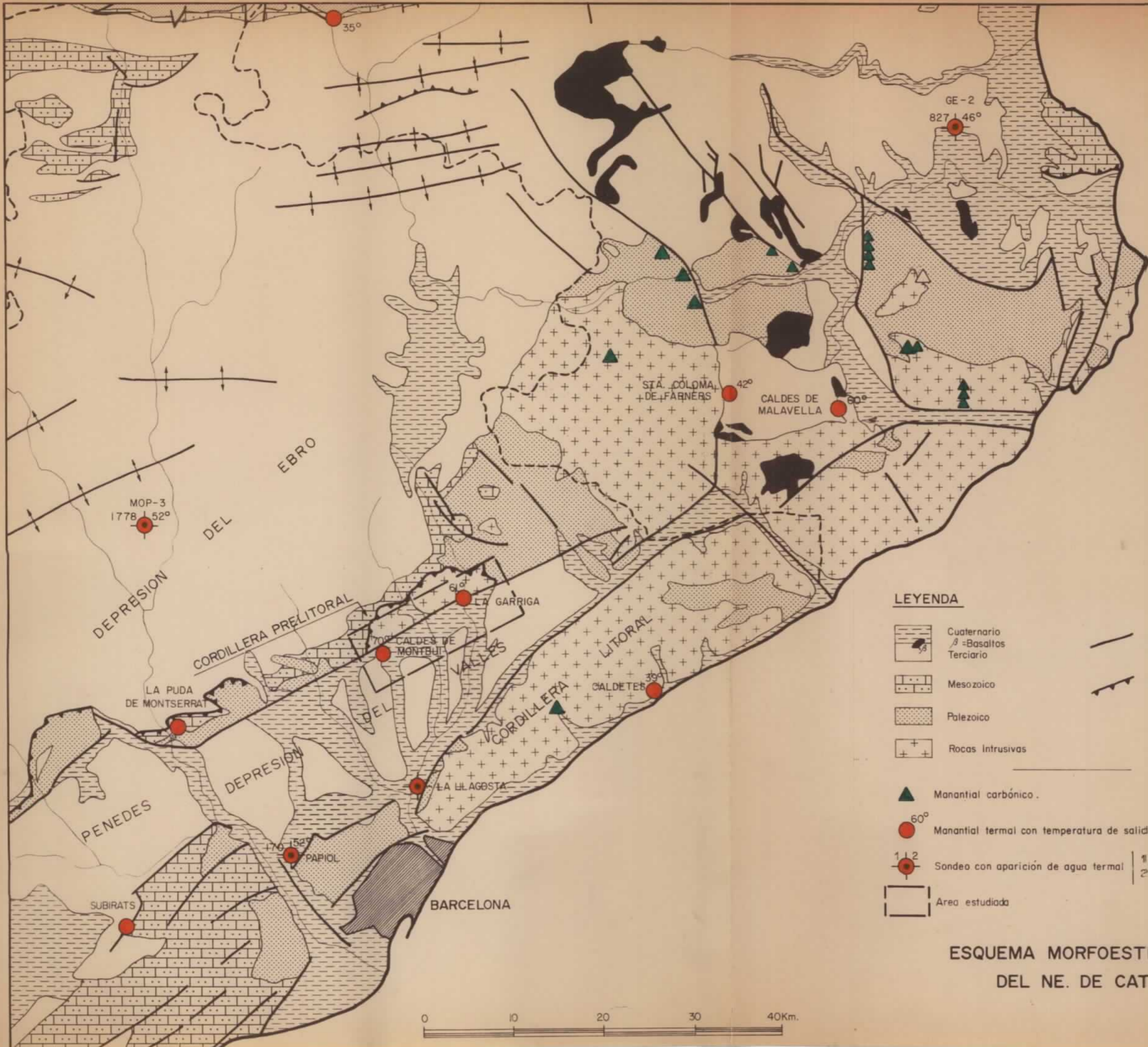
El Sistema Mediterráneo o Catalánides, accidente periférico paralelo a la costa situado en el NE español afectando a las provincias de Tarragona, Barcelona y Gerona, no es más que el afloramiento continental de un vasto sistema distensivo de horsts y grabens de dirección paralela a la costa, que se prolonga como mínimo hasta las Baleares según revela la sísmica petrolera que se realiza en la zona de offshore.

Dentro del ámbito continental, las Cordilleras Costeras Catalanas están integradas por tres unidades morfoestructurales perfectamente diferenciadas constituidas por dos cordilleras, la Litoral y la Prelitoral, separadas por una fosa intermedia denominada Depresión Prelitoral (Fig. 1).

- La Cordillera Litoral, inmediata y paralela a la costa, se extiende desde el cabo de Bagur, en la provincia de Gerona, hasta un poco al sur de Villanueva y Geltrú, donde desaparece bajo el mar. Forman parte de esta cordillera sierras de 300 a 700 m. entre las que destacan las de Collcerola, Maresme y Garraf.

- La Cordillera Prelitoral se extiende desde Gerona hasta más allá de Tortosa, donde conecta con el Sistema Ibérico. Su contacto con la Depresión del Ebro es, en la mayor parte de su trazado, cabalgante y su complejidad estructural es tanto mayor cuanto más hacia el SW.

00502



**LEYENDA**

- Cuaternario  
β-Basaltos  
Terciario
- Mesozoico
- Paleozoico
- Rocas Intrusivas
- Falla
- Cabalgamiento

- Manantial carbónico.
- Manantial termal con temperatura de salida del agua.
- Sondeo con aparición de agua termal | 1-profundidad de captación  
2-temperatura del agua.
- Area estudiada

**ESQUEMA MORFOESTRUCTURAL DEL NE. DE CATALUÑA**

- La Depresión Prelitoral constituye una larga fosa tectónica que, en forma de amplio corredor de 10 a 20 km. de ancho, se interpone entre las dos cordilleras antes citadas. Topográficamente es una franja de tierras deprimidas, situada entre 100 y 250 m. de altura, que comprende entre otras las comarcas del Penedés (al SW del Llobregat) y el Vallés (al NE del mencionado río).

## 2.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.-

Como se ha comentado anteriormente la fosa del Vallés constituye un sector de la Depresión Prelitoral, la cual forma parte a su vez del conjunto distensivo de la costa mediterránea española con vulcanismo plio-cuaternario asociado.

Este afloramiento continental de tectónica de bloques NE-SW que da lugar a los Catalánides, se prolonga en la terminación septentrional de los mismos dando lugar a horsts (Guilleríes, Gabarres) y a fosas tectónicas con vulcanismo reciente (La Selva, Olot, Ampurdán).

Todo el sistema estructural NE-SW está intersectado por importantes fallas de desgarre dextrógiro perpendiculares al mismo (falla del Francolí, Llobregat, Tordera, etc) - que han dado lugar a movimientos relativos entre bloques.

En este sector central de los Catalánides se distinguen dos fases de tectónica de fractura (FONTBOTE, 1954; - ESTEBAN Y SANTANACH, 1974) superpuestas en el espacio pero separadas en el tiempo: una primera compresiva y una segunda de distensión.



Los movimientos tendentes a un acortamiento horizontal, es decir, las estructuras de compresión (desgarres y fallas inversas) tuvieron lugar desde el Eoceno superior hasta finales del Oligoceno y comenzaron en la parte NE de los Catalánides propagándose hacia el SW. Consecuencia de esta fase es el cabalgamiento de la Cordillera Prelitoral sobre la Depresión del Ebro a lo largo de la mayor parte de su contacto mutuo.

Durante el Mioceno tiene lugar la fase de acortamiento vertical (distensión) que origina la fosa propiamente dicha.

FONTBOTE (1954) además de llegar a estas conclusiones generales al analizar la geometría de la Cordillera Prelitoral entre el río Anoia y el Montseny, y las relaciones entre esta unidad tectónica y los materiales de las depresiones del Ebro y del Vallés-Penedés, precisó que la falla que limita la fosa por el NNW (falla occidental) actuó primero como inversa (Eoceno superior - Oligoceno) y después como normal durante el Mioceno.

Que la actividad tectónica prosiguió durante el Plioceno y en la actualidad el proceso sigue vigente lo demuestran dos hechos significativos:

- En la porción NE de la fosa (Massanet, Tordera) y en las depresiones tectónicas más septentrionales (La Selva, Olot) aparecen manifestaciones volcánicas de edad pliocénica y cuaternaria. Esta actividad es paralela a la puesta de manifiesto en la plataforma marina frente a las costas de

Gerona y Barcelona (J. SERRA, 1975) que se prolonga, según recientes investigaciones sísmicas, a las zonas de off-shore de Tarragona y Castellón.

- La zona del Vallés presenta una notable actividad sísmica. Los epicentros se localizan sobre las dos fracturas que constituyen la fosa, aunque son mucho más abundantes en la falla oriental, de escaso salto, que en la occidental (ALBERT, 1976) donde la geofísica petrolera permite situar el zócalo hasta 4000 m. en algunos puntos.

Los epicentros situados en esta fractura corresponden a una profundidad hipocentral de 4 km., por lo que cabe deducir que es el zócalo de la fosa el que sigue en movimiento. Como consecuencia, las máximas tensiones y, por consiguiente, la mayor frecuencia de seismos e incluso las mayores intensidades se localizan sobre la falla oriental que pone en contacto la fosa con la Cordillera Litoral.

El resultado final de estos procesos tectónicos es una fosa cuyo zócalo presenta un hundimiento axial hacia el SW a la vez que se halla basculado en dirección NW. Todo esto se traduce en potencias de relleno miocénico de hasta 4,000 m., como ya se ha puesto de manifiesto anteriormente, junto a la falla occidental.

### 2.3. NATURALEZA DEL ZOCALO.-

Resulta interesante el conocimiento de la litología del zócalo de la Depresión Prelitoral con vistas a su posible aprovechamiento geotérmico en forma de acuíferos profun

dos, con posible agua caliente.

La porción de fosa situada al SW del río Llobregat, es decir, la depresión del Penedés, se halla limitada por dos horsts de naturaleza eminentemente calcárea. El borde correspondiente a la Cordillera Litoral lo constituye el macizo de Garraf, integrado por una potente serie carbonatada de edad jurásica y cretácica. El otro horst, correspondiente a la Cordillera Prelitoral, lo constituyen el bloque del Gayá y el macizo de Bonastre, también con predominio de materiales calcáreos mesozoicos.

El soporte del relleno miocénico de la depresión del Penedés está constituido por materiales carbonatados mesozoicos, de indudable interés bajo el punto de vista de roca almacén de agua caliente, ya que la recarga puede efectuarse directamente por los horsts de borde, de igual naturaleza litológica. De hecho no existen manifestaciones térmicas en superficie como en la falla occidental del Vallés, pero Vallés y Penedés son la misma fosa, la distinción es solo topográfica y comarcal, no geológica. Por otra parte, la falla oriental del Vallés, donde no existen manifestaciones superficiales, resulta productiva bajo el punto de vista geotérmico, ya que son varios los pozos que al intersectar la fractura extraen agua caliente (S. Cugat, La Llagosta, etc).

En la zona del Vallés el Mesozoico se halla casi totalmente desmantelado, quedando únicamente retazos de materiales triásicos muy localizados. El zócalo del Vallés debe estar constituido por materiales paleozoicos y graníticos predominando quizás estos últimos sobre los esquistos y pizarras.

De hecho, el sondeo Martorell-1, ubicado en las cercanías de esta población, atravesó 2.300 m. de Mioceno para tocar a continuación metamórfico. Igual sucedió con el sondeo de Granollers a 1.000 m. de profundidad. Otra prueba del proceso de erosión sufrido por este sector de los Catalánides antes de la fase distensiva que originó la formación de la fosa, es que los cantos que constituyen las pudingas del macizo de Montserrat son cada vez más antiguos a medida que se asciende en la serie, llegando a observarse cantos de materiales paleozoicos e incluso graníticos en la parte superior. Esta inversión litológica es una buena prueba del proceso de desmantelamiento que experimentó el área fuente, en este caso el vecino macizo eoceno de los Catalánides.

#### 2.4. ESTRATIGRAFIA Y SEDIMENTOLOGIA DE LOS MATERIALES MIOCENOS

La fosa del Vallés se halla limitada por fallas de características geológicas similares pero de diferente edad y grado de desplazamiento. Así, mientras la falla que limita la Cordillera Prelitoral con la Depresión probablemente empezó a actuar durante el Oligoceno, aunque sin pruebas para asegurarlo, y siguió actuando hasta el Mioceno superior, la falla que limita de Depresión con la Cordillera Litoral, solo afecta y aún muy ligeramente, a los sedimentos de la base del Burdigaliense (ROSELL et al, 1973).

Este hecho motiva un desplazamiento del eje de sedimentación de la fosa durante el Mioceno, con las consiguientes repercusiones estratigráficas, ya que durante el hundimiento fue asiento de una importante sedimentación continental y, en menor escala, marina, que comprende desde el Burdigaliense

al Pontiense (figs. 2 y 3).

Como consecuencia de todo lo expuesto, los niveles basales de la serie (Burdigaliense) aparecen en el contacto con la Cordillera Litoral y se hunden hacia el NNW con inclinaciones suaves que oscilan entre los 5º y los 20º de manera que van quedando recubiertos por depósitos miocénicos cada vez más recientes. La gran fractura occidental pone ya en contacto en superficie la Cordillera Prelitoral con materiales pontienses (Vallesiense-Turolense).

Los cambios laterales de facies son frecuentes e importantes. Así, mientras en el Vallés los sedimentos miocénicos son casi exclusivamente de carácter continental con pequeños tramos marinos, a partir del meridiano de Villafranca del Penedés hacia el SW pasan a las facies marinas que dominan casi exclusivamente en el Bajo Penedés y Campo de Tarragona.

El reparto de facies del Mioceno en la zona del Vallés puede resumirse como sigue en sentido ascendente (ROSELL et al. 1973) (fig. 4).

a) Mioceno basal (Burdigaliense). - Integrado por arcillas y limos rojos en los que, esporádicamente, se intercalan capas lenticulares de areniscas de grano fino a medio. Afloran desde S. Cugat a Castellbisbal, localidad este última en la que ha aparecido la fauna fósil que permitió su datación.

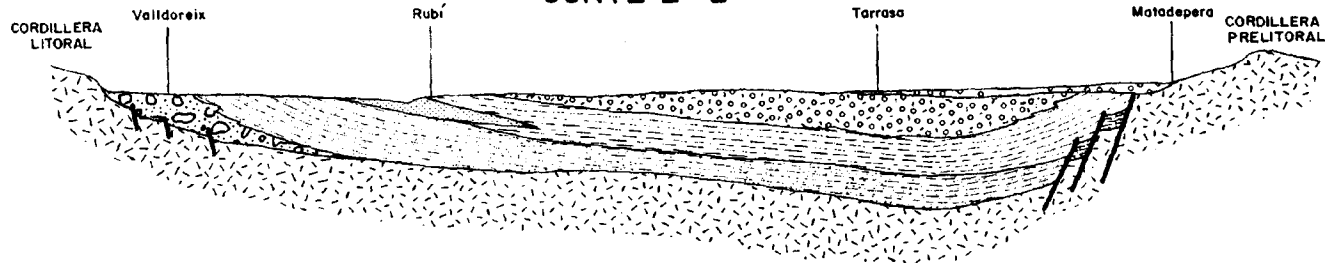
El nivel basal de este tramo suele ser de naturaleza conglomerática (S. de S. Cugat, Puig Pedrós, etc) con cantos de caliza, pizarra y cuarzo, matriz arenoso-arcillosa



NNW.

CORTE I'-I

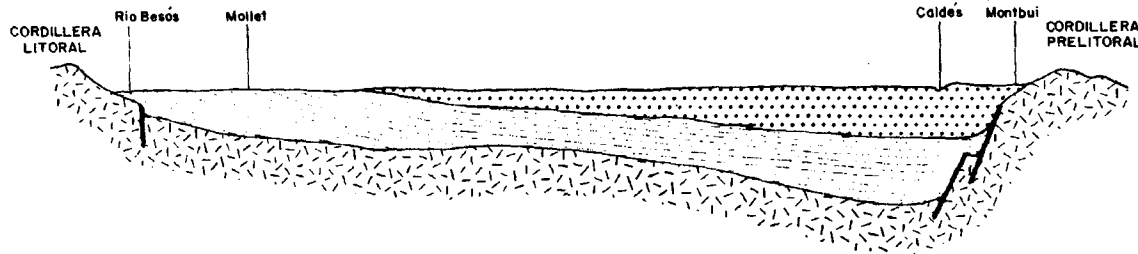
SSE.



CORTE II'-II








WNW.

ESE.

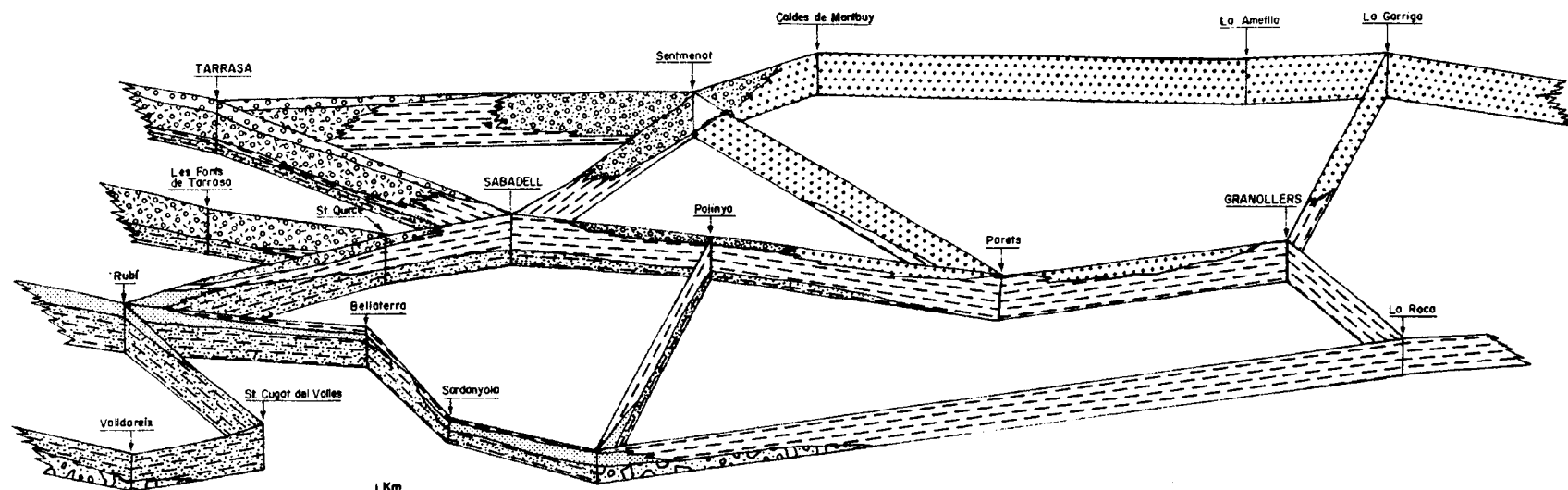


ESCALA vertical horizontal | 1:100.000

LEYENDA

	Conglomerados Pontianses.		Helveciense marino
	Arcosas de Caldes de Montbui.		Burdigaliense
	Cono Les Fonts de Tarrasa.		b = Arcillas y areniscas rojas. a = Conglomerados rojos basales.
	Arcillas amarillas del Vindoboniense - Vallesienso.		Zócalo

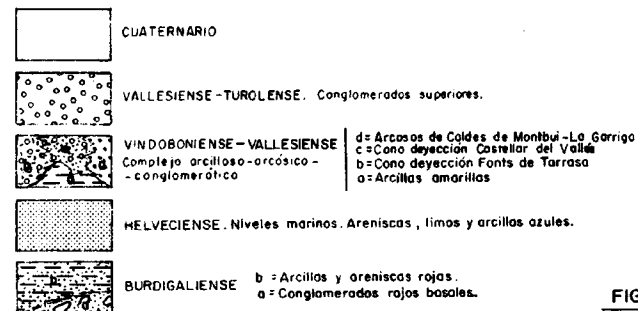
CORTES GEOLOGICOS INTERPRETATIVOS  
DE LA FOSA DEL VALLES



1 Km  
1 Km  
250 m.  
ESCALA GRAFICA

## DISPOSICION ESTRATIGRAFICA DE LOS MATERIALES MIOCENOS EN EL VALLES

(Según las unidades definidas por ROSELL *et al*, 1.973)





rojiza y cemento carbonatado.

Los materiales rojodetríticos finos son de origen fluviotorrencial sedimentados en una llanura aluvial de pendiente muy suave. Los niveles conglomeráticos basales intercalados en la serie detrítica fina corresponden a conos de deyección torrenciales cuyos materiales proceden de la Cordillera Litoral (Sierra de Collcerola-Tibidabo). Estas formaciones conglomeráticas, dada su génesis, deben poseer hacia el interior de la cuenca reducidas dimensiones pasando probablemente a materiales finos a poca distancia de su lugar de deposición (límite Cordillera Litoral-fosa del Vallés).

b) Niveles marinos de Rubí y Cerdanyola (Helveciense).- Situados sobre los niveles rojos continentales del Burdigaliense. El tramo de Rubí está compuesto por un nivel inferior de areniscas verdosas de grano fino con matriz arcillosa y abundantes fósiles marinos, uno intermedio de arcillas grises alternando con arenas de grano fino y otro superior arenoso-conglomerático. La disposición de este tramo es en cuña adelgazándose hacia el E, mientras que hacia el W engrosa progresivamente a expensas del complejo arcilloso rojo subyacente. Se aprecian, a parte de la correspondiente fauna marina, ripples de corriente, estratificación cruzada planar y láminas cruzadas que permiten considerarlos como depósitos de playa en sentido amplio. La transgresión provino del SW (Penedés).

El tramo marino de Cerdanyola está compuesto por dos niveles: uno basal calcáreo de grano grueso lumaquélico - (dominando la Turritella) y uno superior arcilloso, de color

gris, con intercalaciones de limos. Hacia el W las arcillas superiores toman coloraciones amarillas desapareciendo en las inmediaciones de la ermita de Sta. María de Campanyà. El nivel arenisco inferior pasa, en este mismo sentido, a arenisca lumauquímica (dominando las Ostreas) arcillosa muy deleznable.

El nivel de areniscas inferior posee láminas cruzadas de pequeña pendiente muy manifiestas. En el nivel superior arcilloso predomina la laminación paralela y las capas limosas presentan láminas cruzadas, contactos inferiores erosionales y desarrollo lenticular. Todo ello, apoyado en la abundante fauna, con pobreza de especies y riqueza de individuos, hace pensar en una sedimentación típica de bahía. La transgresión del mar que permitió la sedimentación de estos materiales se efectuó por el valle del río Besós.

c) Complejo arcilloso-arcósico-conglomerático (Vindoboniense-Vallesiense).- Esta unidad está formada fundamentalmente por arcillas amarillentas que incluyen frecuentes lentejones de areniscas, arcosas y conglomerados de neto carácter continental procedentes de la erosión de la Cordillera Prelitoral y, en menor grado, de la Litoral. En ella quedan englobadas tres subunidades detrítico-groseras que de W a E son:

- Cono de deyección de Les Fonts de Tarrasa
- Cono de deyección de Castellar del Vallés
- Arcosas de Caldes de Montbui-La Garriga

Las citadas arcillas amarillas van perdiendo potencia hacia el E (Cordillera Litoral), mientras que incremen

tan notablemente su potencia hacia el W, donde intercalan los importantes conos torrenciales antes mencionados. Los niveles superiores pasan progresivamente a las arcosas de Caldes de Montbui-La Garriga.

1.- Cono de deyección de Les Fonts de Tarrasa.-

Conglomerados de color gris con cantos de caliza (40%), cuarzo (30%), pizarra (17%), lidita (7%) y rocas graníticas, cuarcita y arenisca (6%). La matriz es arenosa y no están cementados.

Las capas de conglomerados pasan de W a E a las arcillas amarillas. En las inmediaciones de Sabadell, los extremos de los canales de conglomerados de esta subunidad interfieren con la terminación de los canales de los niveles bajos del cono de deyección de Castellar del Vallés.

Son depósitos torrenciales de mucha pendiente y poca longitud cuya dirección de aporte es sensiblemente de N. a S. La disposición de las capas de conglomerados es siempre en forma de canales cuya dirección de aporte es la expuesta, con contacto inferior erosional y contacto superior plano, paralelo y neto. La estructura interna de los canales es siempre una estratificación oblicua a gran escala de tipo festón.

Por el W se prolonga hasta el valle del río Llobregat, por el E hasta cerca de Sabadell, por el S hasta las inmediaciones de Rubí y por el N su límite es más impreciso - pues queda fosilizado por depósitos más recientes.

## 2.- Cono de deyección de Castellar del Vallés.-

Conglomerados grises con cantos de pizarra (58%), rocas filonianas (20%), granito (15%), cuarzo (5%) y caliza (2%). La matriz es arenoso-arcillosa.

Se observa variación litológica en secuencia vertical por erosión del área fuente. En la base existen abundantes cantos de caliza y areniscas de procedencia triásica, aunque predominan los de pizarra. En la parte alta, aunque siguen dominando los cantos de pizarra, son más abundantes los de granito.

Las características sedimentológicas de esta subunidad son las mismas que las descritas para el cono de deyección antes referido. Los aportes son también de N a S, es decir, de la Cordillera Prelitoral a la fosa, aunque el curso fluviotorrencial que le dió origen era de menor importancia que el anteriormente descrito. La cabecera del cono se sitúa en las inmediaciones de Castellar del Vallés y los paleocanales que alcanzan mayor longitud se sitúan en las cercanías de Sta. Perpetua de la Moguda y Santiga.

## 3.- Arcosas de Caldes de Montbui-La Garriga.- Se

trata de una amplia indentación detrítica de arcosas y arcillas arcósicas procedentes de la erosión del cabalgamiento granítico que constituye la Cordillera Prelitoral desde Caldes de Montbui hasta más al NE de La Garriga.

Se componen, litológicamente, de abundantes granos de cuarzo, feldespatos completamente caolinizados y biotita. In-

tercalan niveles lenticulares, de contacto inferior erosional, de naturaleza conglomerática con cantos de rocas aplíticas y porfídicas unidos por matriz arcósica.

Hacia el W pasan a los materiales del cono torrencial de Castellar del Vallés y hacia el S varían lateralmente a las arcillas amarillentas.

d) Conglomerados superiores (Vallesiense-Turolense)

Se trata de conglomerados de color pardo con cantos de pizarra (85%), cuarzo (5%), rocas porfídicas (5%), arenisca y caliza (5%) y matriz arenoso-arcillosa. Hacia la base aumenta ligeramente la proporción de calizas y hacia el techo aumenta la proporción de arcilla de la matriz, llegando a constituir en los niveles superiores hasta el 50% de la roca.

Las capas son lenticulares, con el plano inferior erosional y una estratificación cruzada a gran escala de tipo festón. Las paleocorrientes poseen una componente principal orientada de NW a SE, perpendicular a la Cordillera Prelitoral. Estas características permiten interpretar también estos materiales como pertenecientes a una serie de conos de deyección de tipo torrencial.

El conjunto corresponde a un nivel postectónico; a lo sumo las capas más inferiores están afectadas ligeramente por los últimos impulsos de la orogénesis alpídica en esta zona. Al SE de Tarrasa esta unidad reposa en franca discordancia cartográfica sobre los materiales infrayacentes (cono de deyección de Les Fonts de Tarrasa y arcillas amarillas del -

Vindoboniense-Vallesiense).

Se extienden desde Viladecaballs (W) hasta cerca de Castellar del Vallés (E). Hacia el centro de la fosa su límite cartográfico está en Sabadell.

Como resultado de la distribución de facies del - Mioceno, tanto en sentido horizontal como vertical, y del tipo de tectónica que afectó a la Depresión, sincrónica con la sedimentación, se desprende que la sedimentogénesis del Mioceno no es más compleja de lo que a primera vista podría parecer.

En el labio de falla correspondiente al Mioceno - que limita con la Cordillera Prelitoral afloran los conglomerados arcillosos del Vallesiense-Turolense. Estos, en sus niveles basales, se hallan afectados por la falla, con pliegues y fracturas de detalle cuyos ejes y planos son paralelos a la orientación principal de la falla que limita la fosa por su - borde NW.

Por el contrario, los materiales miocénicos que - afloran en el límite con la Cordillera Litoral, están poco - trastornados tectónicamente. Ello es debido a que esta fractura se produjo antes de depositarse el Mioceno basal y tan solo actuó visiblemente una vez depositados los materiales del Burdigaliense más inferior.

En la zona central de la Depresión, la disposición tectónica del Mioceno es muy simple, con buzamiento constante al NW ó NNW e inclinación que oscila entre 5° y 20°. Las fragturas que lo surcan son de pequeño salto (3-6 m) y corta traza cartográfica.

Como síntesis del análisis de la cuenca puede decirse que a excepción de las cuñas marinas, la mayor parte de los sedimentos proceden de la erosión de la Cordillera Prelitoral, estando limitada la influencia de la Litoral a los situados en su mismo borde. Las cuñas marinas, de edad Helveciense, no son sincrónicas, aunque no muy separadas en el tiempo, y corresponden a transgresiones procedentes del SW (Penedés) para el nivel marino de Rubí y del SE, a través del valle del río Besós, la de Cerdanyola del Vallés.

# **HIDROGEOLOGIA DE LA FOSA DEL VALLES**



### 3.- HIDROGEOLOGIA DE LA FOSA DEL VALLES.

El estudio hidrogeológico general del Vallés se ha efectuado en base a los datos climatológicos y de aforos existentes en Comisaria de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas, así como a los resultados del Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales del Pirineo Oriental efectuado por la Dirección General de Obras Hidráulicas a través de estos organismos.

Como la finalidad del presente informe no es detallar la totalidad de datos elaborados, sino cuantificar la hidrogeología de la zona, se citarán únicamente las conclusiones obtenidas a este respecto.

#### 3.1. CLIMATOLOGIA.-

Se han empleado los datos de las estaciones siguientes cuyos resultados se expresan en las tablas I y II.

	<u>Período</u>	<u>Datos</u>
Caldes de Montbui	1959-75	Temperatura y Precipitac.
Cánoves	1959-75	P
Cardedeu	1965-75	T-P
Granollers	1965-75	T-P
Llinás	1959-75	P
Martorell	1965-75	T-P
Matadepera	1959-75	P
Montmeló	1965-75	P
Olesa de Montserrat	1959-64	P
Sabadell	1965-75	T-P
Sta. Eulalia de Ronsana	1959-75	P

TABLA I: PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN EL VALLES

(1959-1975)

Año	Caldes Montbui	Cánoves	Cardedeu	Granollers	Llinás	Martorell	Matadepera	Montmeló	Olesa	Sabadell	Sta. Eulalia
59-60	522,4	879,1			661,9		971,7		625,4		702,3
60-61	599,4	525,8			786,8		720,6		657,7		600,2
61-62	794,8	748,5			781,0		875,0		820,1		
62-63	915,0	1048,1			1120,4		1781,3		963,2		883,8
63-64	775,7	751,6			659,7		610,5		431,6		697,9
64-65	478,5	552,1			611,7		560,0				433,5
65-66	819,2	785,1	782,2	832,8	679,2	633,3	837,8	724,0		635,0	398,9
66-67	442,6	592,5	462,9	491,6		495,5	547,3	542,8		398,9	380,0
67-68	610,1	807,1	596,2	590,5		548,5	662,3	585,5		550,0	510,1
68-69	794,3	1048,2	907,7	859,3	1013,2	797,1	1052,7	893,2		815,0	886,8
69-70	407,6	572,8	474,8	463,9	476,7	352,7	343,0	467,9		386,7	423,1
70-71	1038,5	1256,0	1249,7	1065,8	1210,0	762,7	1055,0	880,2		900,6	820,4

TABLA I: PRECIPITACION MEDIA ANUAL EN EL VALLES (Continuación)

(1959-1975)

Año	Caldes Montbui	Cánoves	Cardedeu	Granollers	Llinás	Martorell	Matadepera	Montmeló	Olesa	Sabadell	Sta. Eulalia
71-72	1169,3	1148,0	1156,5	1074,7	1010,0	1069,1	1140,2	923,2		946,5	968,6
72-73	470,3	451,0	380,2	405,6	322,1	512,0	550,0	377,0		444,2	337,2
73-74	693,9	842,0	766,1	675,5	884,0	760,0	882,2	579,1		763,6	601,1
74-75	599,4	577,7	576,6	635,7	702,3		627,2	587,0		476,7	551,8
Media Anual	714,4	786,9	735,3	709,5	779,9	658,9	826,0	655,9	699,6	631,7	613,0

PRECIPITACION MEDIA (1959-75) = 710 mm.

TABLA II: TEMPERATURAS MEDIAS EN EL VALLES

(Período 1959-75)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Media Anual
CARDEDEU	7,3	8,2	9,0	11,8	15,4	19,1	22,6	22,6	19,5	14,8	10,4	7,0	13,9
SALDES DE MONIBUL.	6,6	7,4	8,4	11,6	15,4	19,2	22,8	22,8	19,4	14,4	8,6	6,1	13,5
GRANOLLERS	7,9	8,7	9,5	12,2	15,7	19,5	23,0	22,9	19,9	15,5	11,1	7,4	14,4
HARTORELL (+)	6,7	8,0	9,6	13,8	18,0	22,1	25,4	25,0	20,5	15,1	10,5	6,6	15,1
SABADELL	8,4	8,9	10,0	12,8	16,3	20,1	23,4	23,3	20,4	15,7	10,3	7,9	14,8
<u>MEDIA MENSUAL</u>	<u>7,4</u>	<u>8,2</u>	<u>9,3</u>	<u>12,4</u>	<u>16,1</u>	<u>20,0</u>	<u>23,4</u>	<u>23,3</u>	<u>19,9</u>	<u>15,1</u>	<u>10,2</u>	<u>7,0</u>	<u>14,3</u>

(+) Datos incompletos.

TEMPERATURA MEDIA (1959-75): 14,3°C.

Partiendo de los datos proporcionados por estas - estaciones, se ha elaborado el mapa pluviométrico medio del - Vallés para el período reseñado (fig. 5). El correspondiente de isotermas medias anuales no se ha confeccionado por insufi- ciencia de estaciones de observación.

Los resultados obtenidos pueden resumirse del mo- do siguiente:

- Superficie del Vallés:  $700 \text{ km}^2$ .
- Precipitación media anual: 710 mm.
- Aportación pluviométrica anual directa:  $497 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .
- La distribución mensual es muy irregular, co- rrespondiendo los períodos más lluviosos a los meses compren- didos entre septiembre y noviembre (40% del total) y de abril a junio.
- Temperatura media anual:  $14,3^\circ\text{C}$ .
- La evapotranspiración real, estimada mediante - métodos empíricos (Coutagne, Turc, etc) se cifra en  $550 \text{ mm/año}$  equivalentes a  $385 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

### 3.2. ESCORRENTIA SUPERFICIAL.-

A partir de las superficies de las cuencas y de - los caudales modulares calculados con los datos de las estacio- nes de aforo existentes, se han estimado las aportaciones me- dias anuales de estos ríos a su entrada en el Vallés y las a- portaciones de las cuencas situadas directamente en esta co- marca (tabla III).

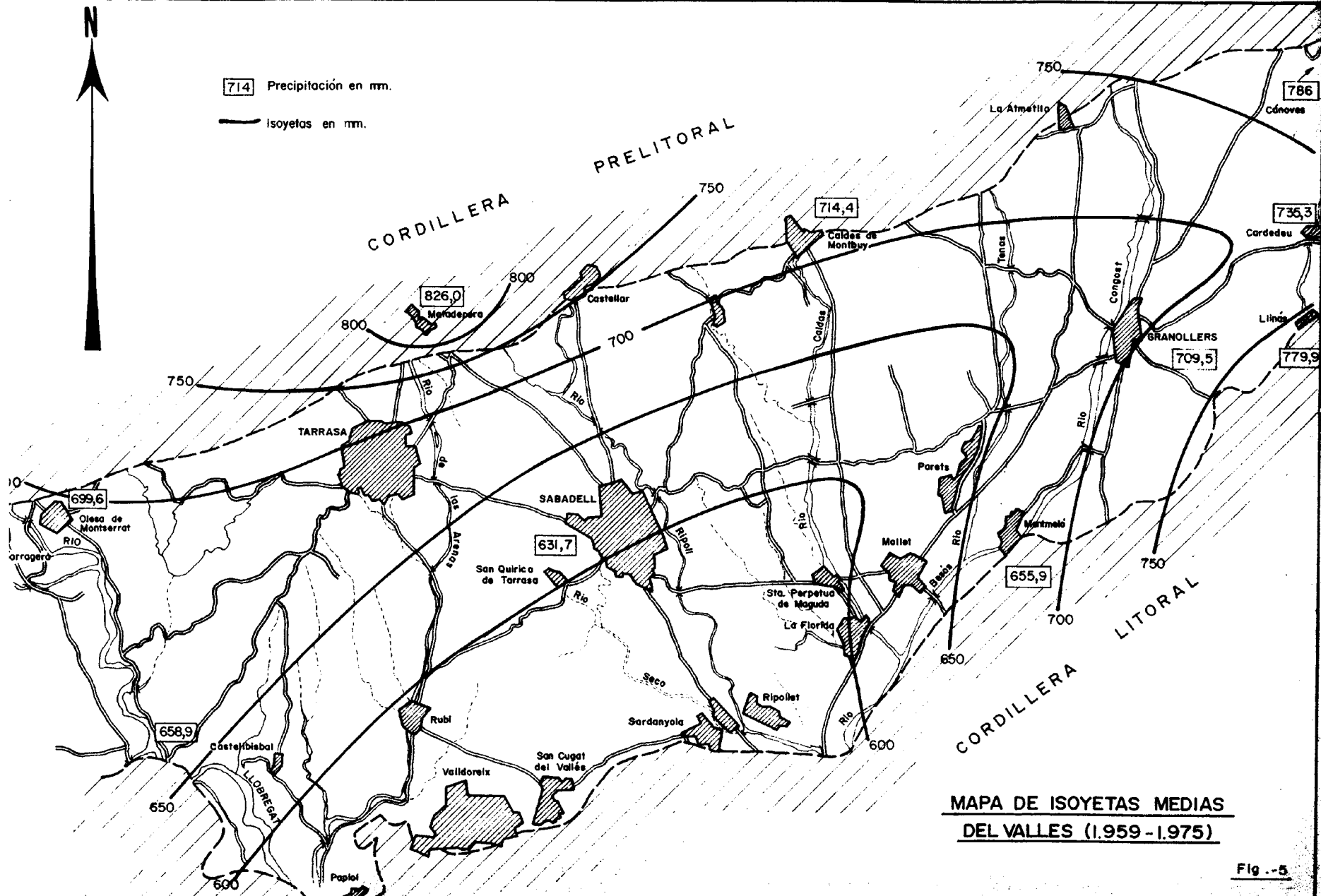


TABLA III: ESCORRENTIA SUPERFICIAL EN EL VALLES

<u>Cuenca</u>	<u>Cursos</u>	<u>Superficie de la cuenca en el Vallés (Km<sup>2</sup>).</u>	<u>Superficie de la cuenca tributaria al Vallés (Km<sup>2</sup>)</u>	<u>Aportaciones de las cuencas tributarias al Vallés (Hm<sup>3</sup>/año).</u>	<u>Aportaciones de las cuencas del Vallés (Hm<sup>3</sup>/año)</u>
LLOBREGAT	Directos al Llobregat	21,5	6	0,8	2,7
	Riera de Rubí	82,0	52,0	2,6	3,8
BESOS	Riera Seca	31,3	2,0	0,1	1,9
	Rio Ripoll	136,0	107,0	15,8	11,9
	Riera de Caldes	21,0	91,0	4,3	1,1
	Riera Caganell	44,3	2,5	0,1	2,1
	Rio Tenes	43,0	124,5	17,2	5,6
	Rio Congost	168,5	54,5	7,8	17,7
	Rio Mogent	135,0	45,0	5,8	12,1
	Directo al Besós	12,0	61,0	5,7	0,9
	T O T A L .....	694,6	548,5	60,2	59,8

- La esorrentía del propio Vallés origina, por - tanto, una aportación anual de  $59,8 \text{ Hm}^3$ , que representa el 12% de la pluviometría.

- La reducida longitud de los ríos, la escasa superficie de sus cuencas y la variabilidad de las precipitaciones, confieren a los cursos superficiales de agua del Vallés un carácter muy irregular, hasta el punto de que muchos de ellos permanecen secos gran parte del año, siendo su régimen torrencial.

Solo los ríos Congost, Ripoll y la riera de Tenes poseen una cierta regulación debido a la existencia en sus cabeceiras, de una serie de acuíferos calcáreos que desaguan en estos ríos.

- Como la mayoría de los ríos de la vertiente mediterránea catalana, presentan dos períodos de estiaje: uno importante en el mes de agosto y otro menos acusado en enero. Las crecidas presentan sus máximos en mayo y octubre.

### 3.3. HIDROLOGIA SUBTERRANEA.-

Bajo el punto de vista geotérmico resulta de interés el estudio de los acuíferos miocenos que constituyen el relleno de la fosa, más que el de los aluviales cuaternarios. Por este motivo nos referiremos exclusivamente a los primeros.

#### 3.3.1. Geometría de los acuíferos.-

Las formaciones miocenas que actuan como acuíferos en la zona del Vallés son (mapa I):



- Niveles detríticos groseros burdigalienses
- arenas del Helveciense marino
- facies conglomeráticas torrenciales del Vindobo  
niense-Vallesiense.
- conglomerados superiores del Vallesiense- Turo-  
lense.

No obstante, en cuanto a su funcionamiento, se - consideran todos los acuíferos como una sola unidad hidrogeológica constituida por una potente formación arcillosa de más de 1500 m. de potencia (hasta 4000 m.) que actua como acuitardo, con intercalaciones de niveles detríticos más o menos grosoros de permeabilidad variable que se alimentan por estar concectados directamente con superficie y/o a través de la lenta recarga que permite el acuitardo general.

A partir de la cartografía geológica y del inventario de pozos y sondeos efectuado por el M.O.P. en el Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales del Pirineo Oriental (1971) se deducen las siguientes características geométricas:

<u>Acuífero</u>	<u>Superficie afloramiento (km<sup>2</sup>)</u>	<u>Potencia media de la formación (m)</u>
Conglomerados y arenis <u>ca</u> s burdigalienses.	35	300
Arenas helvecienses	10	50
Facies torrenciales vin <u>do</u> bonienses.	475	500
Conglomerados pontienses	30	150

### 3.3.2. Parámetros hidrogeológicos.-

A partir del inventario reseñado (MOP-1971) y de determinados ensayos de bombeo efectuados en la zona por diversas entidades, puede cuantificarse el orden de magnitud de los parámetros hidrogeológicos de los mencionados niveles acuíferos. El inventario referido cita un total de 54 sondeos de profundidades comprendidas entre 75 y 300m, aunque las profundidades más frecuentes oscilan entre 100 y 200 m. con el nivel estático entre 7 y 30 m.

<u>Acuífero</u>	<u>nº de pozos con datos.</u>	<u>Transmisividad (m<sup>2</sup>/d)</u>		<u>Porosidad eficaz estimada(%)</u>
		<u>media</u>	<u>máxima</u>	
Conglomerados y areniscas burdigalienses.	10	3	5	1-2
Arenas helvecien <u>ses.</u>	3	2	5	2-5
Facies torrenci <u>ales vindobonienses</u>	40	5	30	1-2
Conglomerados pon <u>tienses.</u>	1	-	1	1-2

Las transmisividades son, como puede apreciarse, muy bajas, de manera que suelen obtenerse caudales de 1 a 5 l/s con descensos del orden de los 100 m. Los mejores rendimientos se obtienen en las facies conglomeráticas de los depósitos torrenciales vindobonienses, con transmisividades máximas de 30 m<sup>2</sup>/día y caudales de 15 a 20 l/s.

El mapa hidrogeológico que se ha confeccionado (mapa I), pretende reflejar las permeabilidades y los potenciales de infiltración de las distintas unidades lito y morfoestructurales que integran el sistema.

### 3.3.3. Capacidad de embalse.-

Como cuantificación aproximada de la potencialidad

de estos acuíferos miocenos para usos convencionales (no geotérmicos), se ha calculado el orden de magnitud de su capacidad útil de embalse, es decir, la cantidad de agua teórica y racionalmente movilizable para usos domésticos, industriales y agrícolas.

No se ha considerado apropiado calcular la capacidad de embalse de los acuíferos por separado ya que, como se ha dicho anteriormente, se estudia su funcionamiento en conjunto, como si se tratara de una sola unidad hidrogeológica.

Con los datos de que se dispone no es posible valorar con precisión la capacidad útil de embalse de cada acuífero. Por otra parte tampoco parece interesante determinar con mucha precisión esta característica, puesto que la baja permeabilidad del acuífero impide movilizar los volúmenes de agua almacenados y, por consiguiente, utilizar con eficiencia los embalses subterráneos.

Para calcular la capacidad útil de los acuíferos miocenos explotable actualmente para usos convencionales, se ha partido de las dimensiones de los acuíferos y de las porosidades estimadas, suponiendo que era posible provocar un descenso medio uniforme de 20 m. para pozos de unos 100 m. de profundidad.

<u>Volumen sedimentos (Hm<sup>3</sup>)</u>	<u>Porosidad eficaz global (%)</u>	<u>Capacidad útil drenable. (Hm<sup>3</sup>)</u>
11.000	1	110
11.000	2	220

### 3.3.4. Recarga potencial de los acuíferos miocenos.-

El balance hídrico efectuado (precipitación = 497 Hm<sup>3</sup>/año, evapotranspiración real = 385 Hm<sup>3</sup>/año y escorrentía superficial = 59,8 Hm<sup>3</sup>/año) condiciona un valor de infiltración eficaz de 52,2 Hm<sup>3</sup>/año para la fosa del Vallés.

No obstante, la recarga potencial de los acuíferos miocenos puede obedecer a los siguientes motivos:

a) Infiltración directa del agua de lluvia .- La lluvia total caída sobre los 700 Km<sup>2</sup> de cubeta es de 497 Hm<sup>3</sup>/año. Teniendo en cuenta que la superficie de aluvial cuaternario es de unos 80 Km<sup>2</sup>, la lluvia total caída sobre los materiales miocenos es del orden de 440 Hm<sup>3</sup>/año. Suponiendo un coeficiente de infiltración medio de 0,1, la recarga potencial sería de 44 Hm<sup>3</sup>/año a través del Mioceno y de 8,2 Hm<sup>3</sup>/año por infiltración directa en el Cuaternario (0,15%).

b) Infiltración de las aguas superficiales de los cauces de los ríos por contacto directo con el Mioceno.- Este tipo de infiltración de las aguas de superficie procedentes de otras cuencas por contacto directo con los materiales miocenos parece poco importante. Debe ocurrir solamente en los valles altos, donde apenas existe recubrimiento de cuaternario. Suponemos que la recarga sea como máximo del 1% de la aportación de los ríos a la entrada del Vallés (60 Hm<sup>3</sup>/año), es decir, 0,6 Hm<sup>3</sup>/año.

c) Entradas de agua subterránea procedente de otros acuíferos.- El Mioceno podría estar recargado por el agua de -

los aluviales cuaternarios, en caso de ser los ríos influentes. No obstante esto no parece probable ni generalizable para el Vallés ya que en la mayor parte de lugares, el nivel piezométrico de los acuíferos miocenos suele estar a cota superior a la de los cuaternarios durante la mayor parte del año. Los ríos del Vallés, son, en la mayor parte de su trazo, efluentes respecto a los materiales miocenos infrayacentes.

### 3.3.5. Descarga de los acuíferos miocenos.-

Aparte del régimen efluente referido, la descarga natural de los acuíferos miocenos en forma de manantiales es muy escasa. Los pocos manantiales existentes arrojan caudales de 5-30 l/minuto, equivalentes a una descarga total de - 0,25 a 0,5 Hm<sup>3</sup>/año.

Por otra parte, la cuantificación actual de las extracciones en el Mioceno del Vallés, según informes de Comisaría de Aguas del Pirineo Oriental y Servicio Geológico de Obras Públicas es de tan solo 5 Hm<sup>3</sup>/año distribuidos del modo siguiente:

- Uso doméstico y urbano: 0,4 Hm<sup>3</sup>/año
- Uso industrial: 4,0 Hm<sup>3</sup>/año
- Uso agrícola: 0,6 Hm<sup>3</sup>/año

La descarga de agua termal, natural y artificial suma entre las dos localidades con manifestaciones (Caldes de Montbui y La Garriga) un total aproximado de 0,50 Hm<sup>3</sup>/año.

Puede concluirse por tanto que la descarga a la

que están sometidos los acuíferos miocenos es del orden de  $6 \text{ Hm}^3/\text{año}$ .

### 3.3.6. Conclusiones

La diferencia entre la capacidad de embalse y las extracciones y todos los resultados expuestos llevan a concluir que la fosa del Vallés, en lo que respecta a los materiales miocenos, está constituida por una serie de acuíferos por lo general pobres que se hallan subexplotados, siendo el principal factor limitante de esta escasa extracción la baja permeabilidad y la consiguiente baja productividad de los pozos.

En la fig. 6 se resume el balance hídrico efectuado para los materiales miocenos del Vallés, resultando unos excedentes anuales de infiltración de  $38,6 \text{ Hm}^3$ . Este excedente de agua recarga a los acuíferos cuaternarios aluviales, que es por donde en realidad se efectúa la descarga general del sistema y la extracción mayoritaria de agua para usos consumitivos en el Vallés, hasta el punto de estar sobreexplotados en determinadas épocas del año.

Todo este razonamiento concuerda con los resultados isotópicos obtenidos en las aguas termales de la zona -- donde los tiempos de residencia son considerables (cap. 6), así como con el comportamiento hidráulico de estos manantiales cuya descarga es constante frente a sequías prolongadas y lluvias intensas (ALBERT, 1976). Este comportamiento obedece a un modelo físico en el que el coeficiente de agotamiento es nulo, implicando por tanto un almacenamiento considerable frente al caudal de emisión, con bajos valores de transmisividad. El balance hídrico efectuado confirma también este razonamiento.

BALANCE HIDRICO DEL VALLES (Hm<sup>3</sup>/año)

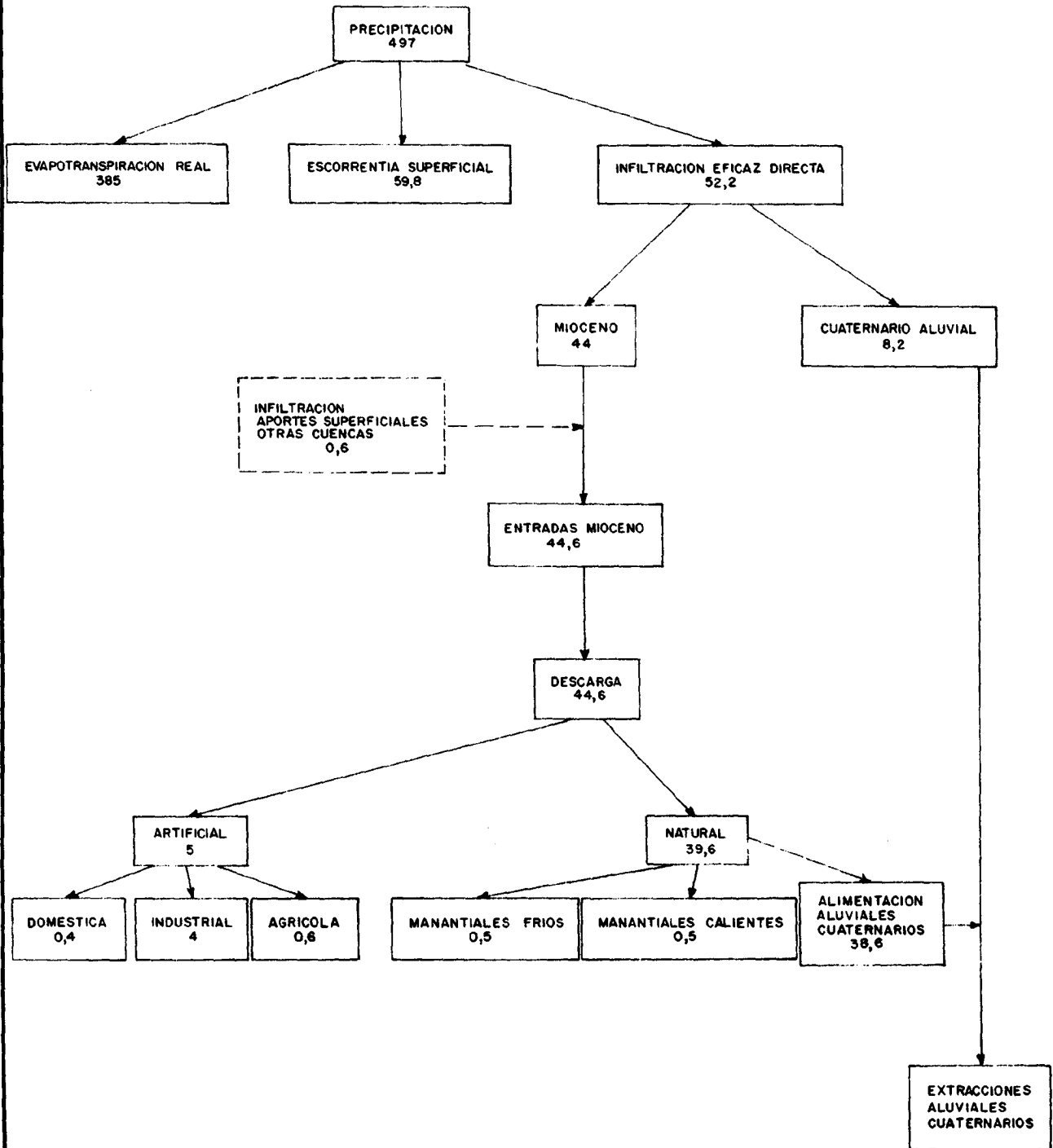


Fig. - 6

Los manantiales termales constituyen un medio de descarga natural de las aguas basales más antiguas, y contribuyen a una lenta pero constante renovación de las reservas hidráulicas de la fosa.



## **DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA INVESTIGADA**

#### 4.- DESCRIPCION GEOLOGICA DE LA ZONA INVESTIGADA.

##### 4.1. INTRODUCCION.-

Se ha efectuado una cartografía a escala 1:10.000 de un área aproximada de 110 Km<sup>2</sup> comprendida en un rectángulo de 18 Km de longitud por 6 Km de anchura, alineado según la - fractura occidental del Vallés.

La zona se extiende en longitud desde la población de Sentmenat (SW) hasta Samalús (NE), ambas sobre la línea de fractura, de manera que abarca a las localidades de Caldes de Montbui y La Garriga donde aparecen las manifestaciones termales objeto de este estudio, también sobre el accidente citado.

Se han cartografiado, en consecuencia, a lo largo de los 18 Km referidos, unos 3 Km de anchura de horst e igual extensión de fosa tectónica, prestando especial atención al - contacto por falla entre ambas unidades morfoestructurales, accidente condicionante de las manifestaciones geotérmicas.

##### 4.2. ESTRATIGRAFIA Y MATERIALES.-

Mientras el horst que da lugar a la Cordillera - Prelitoral está integrado en esta zona por materiales fundamentalmente intrusivos y, en menor proporción, metamórficos y triásicos, la fosa está rellena con los productos de erosión de estos relieves y, en consecuencia, su naturaleza es eminentemente arcósica.

##### 4.2.1. Materiales del horst.-

La Cordillera Prelitoral está integrada, en la zo

na cartografiada, por los siguientes materiales:

a) Granodioritas y cortejo filoniano.- Las rocas intrusivas de esta zona son granitos plagioclásicos (granodioritas) de textura heterogranular, aunque predomina el grano - medio hipidiomorfo.

La plagioclasa es el mineral dominante. Se presenta en cristales hipidiomorfos frecuentemente sericitizados en mayor o menor grado.

El cuarzo aparece en cristales alotriomorfos que, en ocasiones, alcanzan gran desarrollo respecto a los demás - minerales confiriendo a la roca un cierto aspecto porfídico.

La mica es biotita de hábito tabular. A menudo está cloritizada.

El complejo filoniano asociado es de tipo predominantemente aplítico, aunque existen también pegmatitas, granófidios, cuarzos filonianos y en casos contados rocas básicas.

La edad del conjunto intrusivo es postwesfaliense y pretriásica.

b) Paleozoico indiferenciado.- Se trata de una serie monótona de pizarras satinadas resultante del metamorfismo de un conjunto pelítico homogéneo a causa de las intrusiones granodioríticas tardihercinianas.

Bajo el punto de vista petrográfico son cloritoesquistos de textura lepidoblástica de escaso grado metamórfico.

Por su situación regional y por analogía de litofacies con otros afloramientos del Montseny datados, suelen atribuirse al Cambro-Ordovícico.

c) Buntsandstein.- Serie detrítica roja que se apoya discordante sobre los materiales paleozoicos y que se caracteriza por su gran constancia litológica y sedimentológica en todos los Catalánides. Recientemente M. MARZO (1973) ha precisado su sedimentología que se sintetiza a continuación:

- Nivel basal de hasta 8 m. de potencia de conglomerados cuarcíticos dispuestos en estructuras de "scour and fill" y asociados a canales de arenisca de reducida potencia. Se interpretan como depósitos distales de un ambiente de pie de monte sedimentados mediante corrientes intermitentes y procesos de tipo "sheet flood".

- Unidad media arcillosa con canales de arenisca muy bien desarrollados con estratificación cruzada tipo "trough". Se disponen en secuencias cíclicas con características "fining upwards" originadas en una llanura de inundación surcada por cursos fluviales meandriformes.

- Unidad superior arcillosa que pasa gradualmente a los materiales marinos del Muschelkalk.

El conjunto posee una potencia de 150-200 m.

d) Muschelkalk inferior.- Comprende 60-80 m. de dolomías de grano fino y calizas micríticas con niveles locales hacia la base de "pseudofucoides" y nódulos de siliceo. En

la parte alta son frecuentes los "algal mat" y estructuras - del tipo "bird-eyes".

Su potencia es de unos 60-80 m.

e) Muschelkalk medio.- Arcillas y areniscas de color rojo que poseen carácter lenticular a muy gran escala. Incluyen niveles de yeso blanco. En la zona cartografiada aparecen como niveles pinzados en las calizas inferiores.

#### 4.2.2. El relleno de la fosa.-

El relleno miocénico de la fosa del Vallés, en toda la zona cartografiada lo integra la unidad "Arcosas de Caldes de Montbui - La Garriga". Está constituida, como ya se ha comentado anteriormente (2.4), por arcosas procedentes de la meteorización de la Cordillera Prelitoral, que en esta zona es de naturaleza eminentemente granítica, que se iban depositando a medida que tenía lugar el hundimiento de la fosa durante el Mioceno superior (Vindoboniense-Vallesiense).

Bajo el punto de vista litológico estas arcosas - están integradas por abundantes granos de cuarzo, de feldespato caolinizado y, en mucha menor proporción, de biotita. La matriz es arcilloso-caolínica y no se hallan cementados.

Intercalan niveles lenticulares, de contacto basal erosional, de naturaleza conglomerática con cantos heterométricos de rocas aplíticas y porfídicas unidos por matriz arcósica y algo de cemento carbonatado, que los hace más resistentes a la erosión que las propias arcosas.

Estas facies groseras corresponden a depósitos torrenciales procedentes también de la citada Cordillera Prelitoral. Un magnífico ejemplo de tales conos torrenciales aparece al pie de este relieve entre Caldes de Montbui y Sta. Eulalia de Ronsana abarcando una extensión aproximada de  $6 \text{ km}^2$  -- (mapa II). Otros retazos conglomeráticos son visibles al SE de Sentmenat (relacionado probablemente con el cono de Castellar del Vallés) y al S de la Ametlla, localizado este último en el desmonte de la carretera de esta localidad a Barcelona. No obstante los depósitos cuaternarios enmascaran su geometría.

#### 4.2.3. Depósitos cuaternarios.--

Integrados principalmente por aluviales actuales y depósitos de pie de monte, indentan unos con otros siendo en muchos casos difícil su distinción debido a que la zona cartografiada corresponde a la rotura de pendiente entre la Cordillera y la fosa y coalescen ambos tipos de depósitos. Por otra parte, tanto unos como otros son limos pardo-rojizos con lentejones locales de cantos, heterométricos y angulosos cuando son de pie de monte - torrencial, y algo más rodados si su origen es aluvial, aunque es muy frecuente el retrabajamiento local de los primeros por parte de los cursos de agua de mayor longitud.

#### 4.3. DISPOSICION ESTRUCTURAL.--

Como se ha referido en el capítulo de tectónica general (2.2), la cordillera Prelitoral consiste en una cuña de materiales paleozoicos (intrusivos y metamórficos) y triásicos intercalada entre el Eoceno de la Depresión del Ebro y el relleno de la Depresión Prelitoral. La cordillera cabalga sobre la Depresión del Ebro, y al otro lado el contacto es -

por falla directa de gran salto en el límite Cordillera Prelitoral - Depresión del Vallés. (Fig. 7)

Ambos accidentes quedan reflejados en la zona cartografiada y son consecuencia del juego compresión-distensión expuesto en el capítulo referido.

#### 4.3.1.- Relación Cordillera Prelitoral - Depresión del Ebro

Aunque en la zona cartografiada no aparezca de modo directo el contacto entre la Cordillera Prelitoral y el Eoceno de la Depresión del Ebro, si que se aprecian los rasgos tectónicos que caracterizan a este contacto.

Mientras en el sector situado al N. de Tarrasa y Castellar del Vallés, la citada Cordillera se resuelve en un importante cabalgamiento de Paleozoico sobre el Eoceno de la Depresión del Ebro cubriendo totalmente los materiales triásicos (fig.7 ), pocos kilómetros más al NE, ya al N. de Sentmenat la hoja cabalgante aparece erosionada dejando el Triás al descubierto. No obstante aparecen klipmes aislados de materiales paleozoicos sobre el propio Eoceno que atestiguan el corrimiento (Rocas de la Jofresa) (Fig. 7).

En la cartografía adjunta (mapa II), al NW de Caldes, puede apreciarse uno de estos klipmes de pizarras sobre los materiales rojos del Buntsandstein.

No solo es el Paleozoico el cabalgante sobre los materiales triásicos de la propia Cordillera e incluso de la Depresión del Ebro, sino que existe un notable cabalgamiento

# CORTES ESTRUCTURALES DE LA CORDILLERA PRELITORAL EN LA ZONA ESTUDIADA

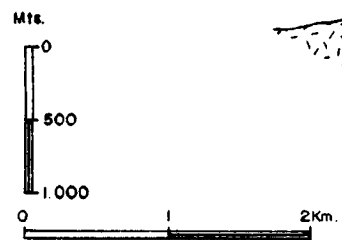
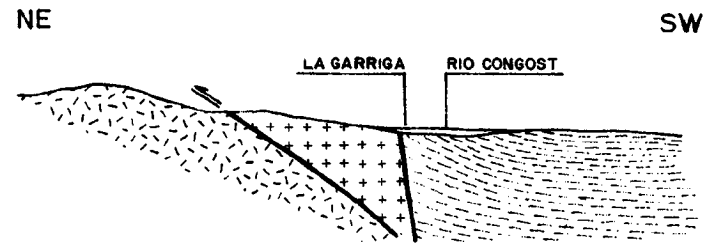
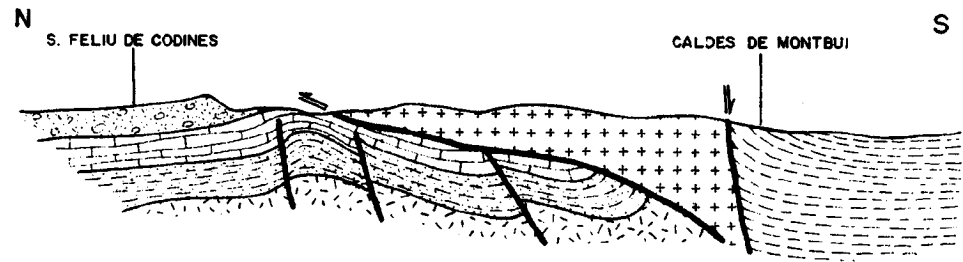
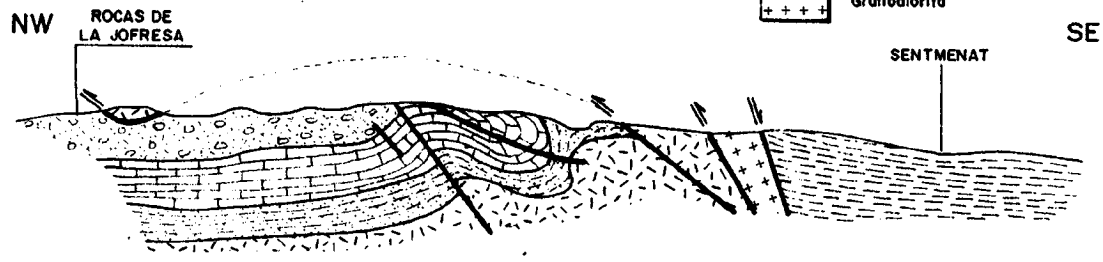
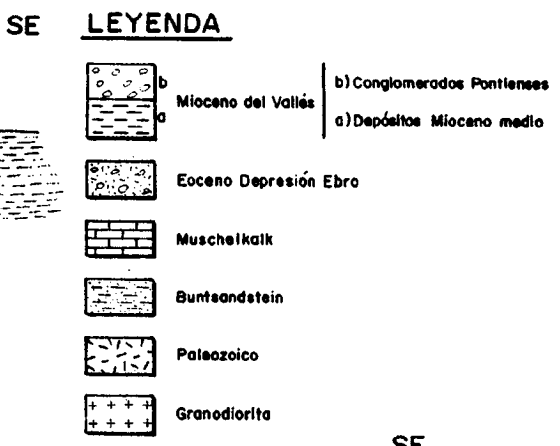
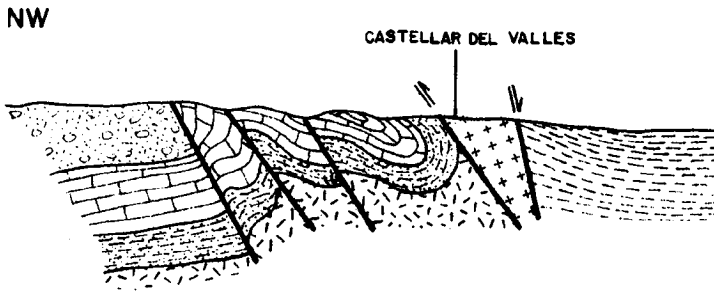
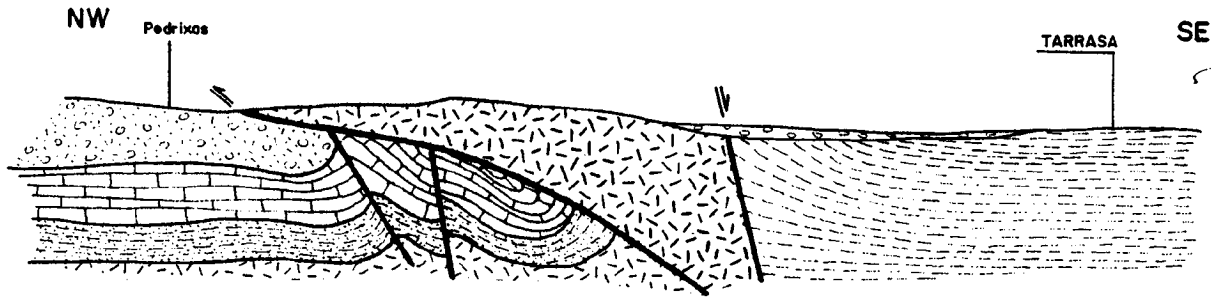


Fig. - 7



de las granodioritas sobre la serie referida que comienza al N. de Caldes de Montbui y se prolonga hasta La Garriga. El - valles del río Tenes, a su paso por Bigues, Riells y El Rieral constituye un magnífico ejemplo de ventana tectónica que permite observar la serie cabalgada (mapa II).

La parcial erosión de este cuerpo cabalgante y - consiguiente sedimentación en la fosa, es la que ha suministrado los materiales que dan lugar a la unidad "Arcosas de - Caldes de Montbui - La Garriga" que se extiende al pie del - citado accidente. La zona cartografiada queda centrada en estas unidades.

#### 4.3.2.- Contacto Depresión Prelitoral - Fosa del Vallés

El estudio de esta alineación tectónica fue efectuado por FONTBOTE en 1954 interpretándola como una cuña. Así, mientras el contacto granito - Mioceno es una falla directa, el contacto granito - Paleozoico es una falla inversa. La discontinuidad de los afloramientos graníticos y los buzamientos de ambas fallas es indicio para FONTBOTE de una coalescencia que cuando se presenta a un nivel más alto pone en contacto el Paleozoico directamente con el Mioceno.

En la zona cartografiada la falla no resulta visible a consecuencia de los depósitos cuaternarios que enmascaran el contacto entre la Cordillera Prelitoral y el Vallés a lo largo de su trazado. Solo entre Sentmenat y Caldes se hace patente la fractura con evidentes signos de milonitización del granito y torsión de los depósitos miocenos.

**INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA**

## 5.- INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Durante el período de máximo estiaje (finales de agosto - primeros de septiembre) se ha llevado a cabo un inventario de puntos de agua con paralela toma de muestras que pretendía un doble objetivo.

1.- Detectar anomalías geoquímicas por mezcla de fluido termal con aguas subterráneas de circulación poco profundo, y para ello esta era la mejor época del año.

2.- Determinar la profundidad media de los acuíferos más superficiales de la zona con el fin de programar - con más acierto la malla de observación termométrica que se ha de efectuar en fase posterior, ya que la existencia de niveles saturados a la profundidad a la que deben instalarse - las termorresistencias siempre es motivo de perturbación térmica.

En la tabla IV se resume el inventario efectuado. Su localización sobre el terreno queda reflejada en el mapa III.

El inventario no debe tomarse en sentido estricto con objetivo primordial de establecer la piezometría local, ya que los pozos no están nivelados topográficamente y una buena parte de los abiertos en el Mioceno captan el agua de acuíferos colgados locales.

La conclusión inmediata y a tener en cuenta es que a la profundidad a la que se deberá perforar para emplazar las termorresistencias (35-40 m) se encontrarán niveles

acuíferos que podrán dificultar las lecturas termométricas - por favorecer la creación de corrientes de convección en el interior de los pozos de observación.

La temperatura media de las aguas en la época del muestreo resultó de 16°. Por debajo de este valor quedan manantiales y galerías (15,0° - 15,5°C), mientras que muchos pozos presentan temperaturas de 16,5°C.

Aparte de los manantiales termales propiamente dichos, se ha detectado al NE de La Garriga, en Samalús, un reducido núcleo anómalo situado sobre el contacto granito-Mioceno con temperaturas de 17° (CN-1 y CN-3) y 22°C (CN-2) en pozos abiertos de escasa profundidad (10-26 m).

TABLA IV - INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Simbología: Q= Cuaternario    M= Mioceno    T= Trias    P= Paleozoico    G= Granito  
 p= pozo                      g= galería

(La inicial de la referencia corresponde a la del término municipal en el que se ha tomado la muestra).

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> <u>(m<sup>3</sup>/d)</u>	<u>Prof. total</u> <u>(m)</u>	<u>Prof. agua</u> <u>(m)</u>	<u>Temp.</u> <u>(°C)</u>	<u>Observ.</u>
<u>SENTMENAT</u>								
1 ✓	S-1	Manantial Can Ramoneda	Q	1,4	-	-	15,5º	
2 ✓	S-2	Manantial Can Fruitós	P	-	-	-	15,5º	
3 ✓	S-3	Pozo Castillo de Sentme nat.	M	0,5	15	7	15,0º	
4 ✓	S-4	Pozo Domingo Ramoneda	Q	0,5	12	6	15,5º	
5 ✓	S-5	Pozo Can Cisá	M	1,0	30	5	16,0º	
6 ✓	S-6	Pozo Fábrica Vigas Ma- jorica.	M	1,0	45	20	16,0º	
7 ✓	S-7	Pozo Granja Fogardo (ex- plot. ganadera)	Q	144	8	5	15,5º	
8 ✓	S-8	Pozo Granja Fogardo (uso doméstico).	M	72	16	10	15,0º	p+g
9	S-9	Pozo Miguel Morral	M	12	14	6	16,5º	
10	S-10	Pozo Can Anec	Q	65	20	7	15,5º	
11	S-11	Pozo Can Patjan	Q	480	6	1,5	15,0º	
12	S-12	Galería Can Patjan	M	-	-	-	16,5º	

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> (m <sup>3</sup> /d)	<u>Prof. total</u> (m)	<u>Prof. agua</u> (m)	<u>Temp.</u> (m)	<u>Observ.</u>
13 /	S-13	Pozo Mas Turull	Q	120	22	10	15,5º	
14 /	S-14	Galeria Mas Turull	M	-	-	-	15,5º	
15 /	S-15	Pozo Sebastián Gómez	Q	2	8	5	15,5º	
16 /	S-16	Pozo cabalgamiento gra- nito/pizarra	P	-	-	17	16,5º	
<u>CALDES DE MONTBUI</u>								
17 /	C-1	Agua termal Caldes de - Montbui.	G				70º	
18 /	C-2	Pozo Celestino Pican- yol.	Q+G	24	27	21	16,0º	
19 /	C-3	Pozo Can Creus	Q+G	0,7	16	14	16,5º	
20 /	C-4	Pozo Granja S. Antonio	G	2,5	85	83	16,5º	
21 /	C-5	Pozo Can Pascualet	Q+G	3,6	13	12	15,5º	
22 /	C-6	Manantial Torre Nueva	T	1,4	-	-	15,0º	
23 /	C-7	Manantial Mas Pascual	T	2	-	-	15,0º	
24 /	C-8	Pozo Mas Maset	Q	1	6	4	15,5º	
25 /	C-9	Galerfa Can Queraltó	M	-	-	-	15,5º	
26 /	C-10	Pozo Can Roca	Q	0,5	16	14	16,0º	
27 /	C-11	Pozo Granja Sanco	Q+M	3	17	14	16,0º	
28 /	C-12	Pozo Escuela Agricult.	Q+M	5	10	6	15,5º	p+g
29 /	C-13	Pozo Can Pujol	Q	-	-	-	15,5º	

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> <u>(m<sup>3</sup>/d)</u>	<u>Prof. total</u> <u>(m)</u>	<u>Prof. agua</u> <u>(m)</u>	<u>Temp.</u> <u>(°C)</u>	<u>Observ.</u>
30 /	C-14	Pozo Can Valls Nou	M	0,5	30	25	16,5º	
31 /	C-15	Pozo Can Negrell	Q	-	-	-	16,0º	
32 /	C-16	Pozo Can Viladevall	M	0,2	20	17	16,5º	
33 /	C-17	Galeria Can Viladevall	Q	-	-	-	15,5º	
34 /	C-18	Pozo Fàbrica Aceite	G	5	30	15	15,5º	p+g
35 /	C-19	Pozo La Vinya	G	0,5	18	16	16,5º	
36 /	C-20	Pozo Can Gatell	Q+G	4	12	10	15,5º	
37 /	C-21	Pozo Granja Calderina	G	10	42	39	16,0º	
38 /	C-22	Galeria Can Camp.	G	17	-	-	15,5º	
39 /	C-23	Pozo Villa Angela	G	1	21	15	16º	p+g
40 /	C-24	Manantial Can Cararoc	G	3	-	-	15,5º	
41	C-25	Galeria Can Solé	G	36	-	-	15,5º	
<u>BIGUES</u>								
42	B-1	Pozo Castillo de Montbui	G	0,7	14	12	16,0º	
43 /	B-2	Pozo Can Regassol	G	10	27	24	16,5º	
44 /	B-3	Pozo Can Maties	Q	2	6	4	16,0º	
45	B-4	Pozo Can Flix	Q+G	2,5	7	5	16,0º	
46	B-5	Pozo Can Garriga	G	1	32	30	15,5º	p+g
47	B-6	Pozo Can Frare	G	2	24	21	16,5º	

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> <u>(m<sup>3</sup>/d)</u>	<u>Prof. total</u> <u>(m)</u>	<u>Prof. agua</u> <u>(m)</u>	<u>Temp.</u> <u>(°C)</u>	<u>Observ.</u>
48 /	B-7	Pozo Can Isidret Nou	G	10	42	40	16,0º	p+g
49 /	B-8	Pozo Can Prunavell	G	0,3	24	23	16,0º	
50 /	B-9	Pozo Can Ribafort	Q+G	0,2	24	23	15,5º	
51 /	B-10	Pozo Can Pecador	G	10	30	26	16,0º	
<u>STA. EULALIA DE RONSANA</u>								
52 /	E-1	Pozo Can Artiguetes	G	0,7	21	19	16,5º	
53 /	E-2	Pozo Can Rosas	G	25	18	16	16,5º	p+g
54 /	E-3	Pozo Can Vidal	G	40	15	11	16,0º	
55 /	E-4	Pozo Can Lluc	Q+G	60	16	11	16,5º	
56 /	E-5	Pozo Can Brugué	Q+G	1	40	28	16,0º	
57 /	E-6	Pozo Can Penedes	G	0,5	27	23	16,5º	p+g
58 /	E-7	Pozo Jaime Ciurans	G	-	-	-	16,5º	
59 /	E-8	Manantial Can L'Ermitá	Q+G	4	-	-	15,5º	
60 /	E-9	Manantial del Abre	Q+G	6	-	-	15,5º	
61 /	E-10	Pozo Can Tabac	Q+G	24	14	8	16,0º	
62 /	E-11	Pozo Can Maspons	Q+G	0,7	20	18	16,5º	
63 /	E-12	Galeria Can Cabot	M	36	-	-	15,5º	
64 /	E-13	Pozo Can Valls	M	0,2	17	15	16,5º	
65 /	E-14	Pozo Can Puig	Q+M	72	18	15	16,0º	p+g



<u>nr</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> (m <sup>3</sup> /d)	<u>Prof. total</u> (m)	<u>Prof. agua</u> (m)	<u>Temp.</u> (°C)	<u>Observ.</u>
66	E-15	Pozo Can Farell	Q+M	-	-	-	16,09	
67	E-16	Pozo Can Benet	M	0,2	20	19	16,59	
68	E-17	Pozo La Bastida Vella	M	1,5	35	32	16,59	
69	E-18	Galeria Can Brusenga	M	-	-	-	15,59	
70	E-19	Pozo Can Payás	Q	0,5	7	5	16,0	
71	E-20	Pozo Can Ferreteria	Q	-	12	10	16,0	
72	E-21	Pozo Jaime Parellada	Q+M	0,8	20	17	16,0	
73	E-22	Pozo Can Gafá	Q+M	120	50	32	15,59	
74	E-23	Galeria Can Barbany	G	-	-	-	16,09	
75	E-24	Pozo Can Roura	Q+G	0,5	20	17	16,59	
76	E-25	Manantial del Doctor	Q+G	29	-	-	15,09	
77	E-26	Pozo Can l'Hermano	Q+G	72	12	7	16,09	
78	E-27	Pozo Can Roques Albes	G	24	16	13	15,59	
79	E-28	Pozo Can Unyó	G	0,7	13	12,5	16,59	
<u>L. IY A DE SURT</u>								
80	L-1	Pozo Can Barragué	M	0,5	20	18	16,09	
81	L-2	Pozo Can Artigues	M	0,0	21	19	16,09	
82	L-3	Pozo Can Caponet	M	0,7	16	15	16,09	
83	L-4	Pozo Can Senalla	M	1,5	21	20	16,09	

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuífero</u>	<u>Caudal</u> (m <sup>3</sup> /d)	<u>Prof. total</u> (m)	<u>Prof. agua</u> (m)	<u>Temp.</u> (°C)	<u>Observ.</u>
84 ✓	L-5	Pozo Can Riera	M	1,5	15	12	16,0º	
85 ✓	L-6	Pozo Can Pinar	Q+M	1,5	21	18	16,0º	
<u>LA AMETLLA</u>								
86 ✓	A-1	Pozo Can Pau Adjutori	M	0,5	33	31	16,5º	
87 ✓	A-2	Pozo Can Plandolic	Q+M	-	-	-	16,0º	
88 ✓	A-3	Pozo can Rodoreda	Q+M	0,5	20	12	16,0º	
89 ✓	A-4	Pozo Granja Mallorca	G	0,6	22	16	16,5º	
90 ✓	A-5	Pozo Can Fornis	G	-	-	-	15,5º	
91 ✓	A-6	Manantial El Serrat de La Ametlla	G	1,5	-	-	15,0º	
<u>LA GARRIGA</u>								
92 ✓	G-1	Agua termal de La Garri ga.	G	-	-	-	60º	
93 ✓	G-2	Pozo Can Burbó	G	-	30	29	16,5º	
94 ✓	G-3	Pozo Can Illa	Q	3,5	12	9,5	16,0º	
95 ✓	G-4	Pozo Can Vaiolf Vell	G	0,6	25	23	16,5º	
<u>CANOVES</u>								
96 ✓	CN-1	Pozo Mercé Serra (pa- rroquia Samalús)	G	24	19	16,5	17,0º	
97 ✓	CN-2	Pozo Can Samón	G	4	30	26	22,0º	

<u>nº</u>	<u>Referencia</u>	<u>Toponimia</u>	<u>Acuifero</u>	<u>Caudal</u> <u>(m<sup>3</sup>/d)</u>	<u>Prof. total</u> <u>(m)</u>	<u>Prof. agua</u> <u>(m)</u>	<u>Temp.</u>	<u>Observ.</u>
98 /	CN-3	Pozo Can Juliá	G	2,5	12	10	17,0º	
99 /	CN-4	Pozo Can Pau Roig	G	1,4	27	25,5	16,5º	
100 -	CN-5	Pozo Can Sastre	M	0,5	25	23,5	16,0º	

## **ANALISIS ISOTOPICOS**

## 6.- ANALISIS ISOTOPICOS

Para la correcta interpretación de la génesis de las manifestaciones termales, resulta imprescindible el conocimiento isotópico de los componentes de la molécula de agua, es decir, el contenido de deuterio, tritio y oxígeno-18 pues actúan como trazadores naturales de la propia molécula.

Las determinaciones de tritio han sido efectuadas en el Departamento de Radioisótopos del Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas del M.O.P., mientras que las de O-18 y deuterio se han llevado a cabo en el Laboratorio de Geología Dinámica de la Universidad Pierre y Marie Curie de París.

### 6.1. TRITIO

El muestreo fue efectuado el 13 de junio de 1.976, y después del correspondiente proceso de concentración electro-lítica los resultados obtenidos han sido:

	<u>U.T</u>
CALDES DE MONTBUI.....	menor que el fondo
LA GARRIGA.....	1,2 $\pm$ 1,7

J. ALBERT (1.976) para otras muestras tomadas el 16 de noviembre de 1974 y analizadas en los mismos laboratorios del M.O.P. cita:

	<u>U.T</u>
CALDES DE MONTBUI.....	2,2 $\pm$ 1,4
LA GARRIGA.....	9,6 $\pm$ 5,3

La concentración natural media de trítio para nuestra latitud antes de la primera explosión termonuclear de 1952 que comenzó a generar H-3 artificial era de 15 U.T. (OLIVE, 1970). Partiendo de esta base, en 1976, la concentración residual de estas aguas es de

$$C_t = C_o \exp\left(\frac{-0,693}{T} t\right)$$

$$C_{1976} = 15 \exp\left(\frac{-0,693}{12,26} (1976-1952)\right) = \underline{3,8 \text{ U.T.}}$$

Las aguas de Caldes y La Garriga son, por tanto, aguas meteóricas anteriores a las primeras explosiones termonucleares, por lo que su tiempo de residencia es superior a 25 años y carecen de mezcla con aguas de infiltración actuales.

Acotando más el problema, una concentración como la de La Garriga de 1,2 U.T. corresponde a un tiempo de tránsito de

$$t = \frac{T}{0,693} \ln \frac{C_o}{C_t}$$

$$t = \frac{12,26}{0,693} \ln \frac{15}{1,2} = \underline{45 \text{ años}}$$

mientras que para Caldes de Montbui han de resultar todavía mayor.

## 62. DEUTERIO Y OXIGENO-18

Los resultados del muestreo efectuado en diciembre de 1976, referidos al SMOW (Standard Mean Ocean Water) han sido:

	$\delta^{18} \text{‰}$	$\delta \text{D} \text{‰}$
CALDES DE MONTBUI	-7,14	-64,7
LA GARRIGA	-8,03	-64,2

Su comparación respecto a las aguas naturales se ha establecido en función de la relación media mundial establecida por CRAIG (1961) (Fig. 8):

$$\delta \text{D} = 8\delta^{18} + 10$$

La similitud morfológica entre las posibles zonas de alimentación de ambos sistemas, en caso de que éstas sean distintas, ha de motivar un fraccionamiento isotópico muy semejante. En consecuencia, se supone como hipótesis inicial que la variación isotópica en función de la altura de la zona de recarga no debe tener una importancia significativa, ya que la variación normal suele ser de  $0,2 - 0,3 \text{‰}$  cada 100 m.

Ambas muestras presentan contenidos similares de deuterio (-64,2 y -64,7) frente a variaciones más acusadas de  $\delta^{18}$  (-8,03 y -7,14). La recta de variación del  $\delta^{18}$  interseca a la de las aguas meteóricas en el punto  $\delta \text{D} = -64,5$   $\delta^{18} = -9,2$  (fig. 8), que debería ser la composición inicial del fluido en el momento de la recarga.

El incremento de  $\delta^{18}$  respecto al SMOW implica un enriquecimiento en este isótopo del fluido termal, bien por evaporación o por intercambio con la roca encajante.

Dada la no excesiva temperatura que se le supone

al sistema (100-120°C; Capítulo 8) resulta más lógico pensar en un intercambio isotópico con la roca encajante, que, por otra parte, no parece demasiado intenso. En efecto, las rocas ácidas tipo granito y similares poseen un  $\delta_{O-18}$  comprendido entre +7 y +12 ‰, por lo que un fluido inicial con  $\delta_{O-18} = -9,2$  habrá experimentado un ligero enriquecimiento de  $\delta_{O-18}$  para alcanzar valores de -7 a -8 como sucede en Caldes y La Garriga.

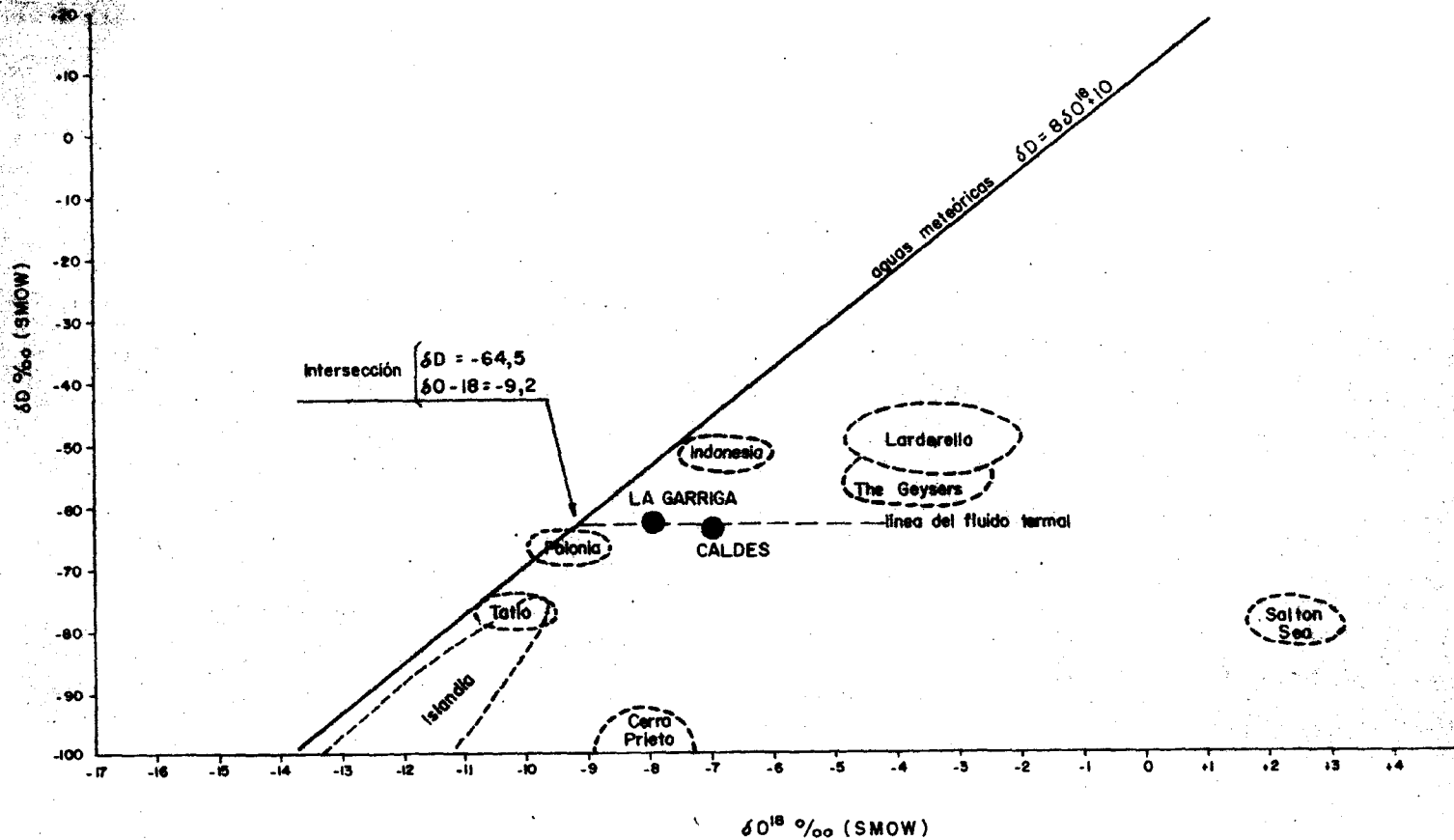
Otra idea a la que apunta este escaso intercambio isotópico es a suponer la ausencia de calizas en el almacén. El contenido de  $O-18$  de las calizas marinas oscila entre +20 y +30 ‰, por lo que si existieran estas, el intercambio hubiera sido más notable y los valores de  $O-18$  se apartarían más de la recta de las aguas meteóricas para alcanzar valores más cercanos a 0 o incluso a cifras positivas.

Este hecho no hace más que confirmar los criterios geológicos expuestos en el apartado 2.3 sobre la naturaleza del zócalo, en el que suponía remota la posibilidad de existencia de Trías en el mismo y por supuesto de Mesozoico.

A título comparativo en la fig. 8 se han representado los campos de variación isotópica de otras zonas geotérmicas.

Los isótopos permiten, por tanto, ratificar la idea que por hidrogeología se tenía en cuanto a su largo tiempo de tránsito, cuantificándolo, y reafirmar la idea que se poseía sobre la ausencia de calizas que pudieran actuar como posible almacén, así como validar el orden de magnitud de la tempera-





RELACION DEUTERIO-OXIGENO 18 DE LOS FLUIDOS TERMALES

tura calculada mediante termometria hidroquimica (cap. 8).

**HIDROQUIMICA**

## 7.- HIDROQUIMICA

Con el fin anteriormente comentado (cap. 5) de - detectar anomalías geoquímicas que revelaran posibles escapes de fluido termal a lo largo de la falla sobre la que se asientan Caldas de Montbui y La Garriga, se ha procedido al análisis de 100 puntos de agua a ambos lados de la fractura distribuidos del modo siguiente: 2 manantiales termales, 9 manantiales fríos, 80 pozos y 9 galerías. Se adjuntan también a título comparativo los análisis de las aguas superficiales de la riera de Caldes y del río Congost. (ALBERT, 1976).

Se escogió la época de máximo estiaje para efectuar el muestreo por suponer que, de existir mezcla con aguas termales, ésta se haría más patente en estas condiciones.

Los análisis químicos han sido efectuados en los laboratorios de AITASA (Aguas Industriales de Tarragona, S.A.) y se adjuntan como apéndice al final de la memoria.

### 7.1.- HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES

Antes de entrar en la discusión de los análisis químicos es importante resaltar la estabilidad química de las aguas termales en el tiempo, pues es un dato que corrobora - las conclusiones obtenidas con los análisis isotópicos respecto a una descarga de las aguas más profundas de la fosa con largo tiempo de tránsito.

En la tabla V se pone de manifiesto la mencionada estabilidad, a pesar de corresponder las determinaciones a épocas, métodos analíticos y laboratorios diferentes. Este hecho, unido a los resultados isotópicos y a la total constancia de descarga de los manantiales ante el régimen de precipitaciones

TABLA V.- ESTABILIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES  
(resultados en p.p.m)

	<u>CALDES DE MONTBUI</u>					
	<u>Oliver Rodés</u> <u>(1910)</u>	<u>Oliver Rodés</u> <u>(1935)</u>	<u>Albert</u> <u>(1972)</u>	<u>Trilla</u> <u>(1973)</u>	<u>Albert</u> <u>(1974)</u>	<u>C.G.S.</u> <u>(1976)</u>
$\text{CO}_3\text{H}^-$	209,6	138,6	155,2	157	148,1	158
$\text{CO}_3^=$	-	-	-	-	-	-
$\text{SO}_4^=$	48,1	51,9	45,1	47,2	47,8	27
$\text{Cl}^-$	547,4	539,9	539,6	520	536,4	553
$\text{SiO}_2$		103	84,5	60	90,0	66
$\text{Na}^+$	412,4	432,4	397,5	400,0	398,1	370
$\text{Ca}^{++}$	25,6	26,1	23,2	26,0	22,6	26
$\text{K}^+$	26,7	28,1	20,8	20,0	20,2	18,5
$\text{Mg}^{++}$	0,4	0,5	1,4	0,3	0,9	0,7

LA GARRIGA

	<u>Albert</u>	<u>C.G.S.</u>
	<u>(1973)</u>	<u>(1976)</u>
$\text{CO}_3\text{H}^-$	164	178
$\text{CO}_3^=$	9,0	7,2
$\text{SO}_4^=$	29,1	28
$\text{Cl}^-$	75	75
$\text{SiO}_2$	61	60
$\text{Na}^+$	138	96
$\text{Ca}^{++}$	3,5	5,6
$\text{K}^+$	3,3	4,1
$\text{Mg}^{++}$	0,1	2,9

(coeficiente de agotamiento nulo) (J. ALBERT, 1976) son pruebas de una prolongada permanencia en profundidad.

Las dos manifestaciones termales del Vallés occidental, Caldes de Montbui y La Garriga, a pesar de situarse sobre el mismo accidente geológico y estar separadas tan solo 12 Km. no corresponden a la misma célula convectiva.

Mientras las aguas de La Garriga son bicarbonatado-sódicas con una composición química cuantitativa y cualitativamente similar a la de todas las aguas termales de Cataluña asociadas a materiales graníticos (J. ALBERT, 1976), - las de Caldes de Montbui presentan un marcado carácter clorurado sódico con una mineralización casi tres veces mayor -- (1482 p.p.m. de residuo seco frente a 507 p.p.m. de La Garriga) (fig. 9).

El termalismo de Cataluña viene caracterizado por dos particularidades químicas (J. ALBERT, 1976): notables contenidos de sílice y concentraciones de sodio superiores al 80% del total de miliequivalentes de cationes, independientemente de cuál se la fórmula aniónica. En nuestro caso ambas aguas verifican estas características (análisis C-1 y G-1 del apéndice), aunque una es clorurada y la otra bicarbonatada.

El carácter clorurado sódico de las aguas de Caldes de Montbui con relación en miliequivalentes  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+$  cercana a la unidad puede inducir a varias suposiciones:

- Las aguas con elevado tiempo de tránsito tienden a ser de naturaleza clorurada sódica por haberse ido re-

C.G.S. HIDROGEOLOGIA

ANALISIS

MUESTRA

Residuo  
°C  
ppm

C  
µs/cm

TH

pH

Diagrama de  
SCHOELLER-BERKALOF

ESTUDIO DE GEOTERMIA VALLES.....  
ACUIFERO.....

FIG 9

Proced.

CALDES  
MONTBUI  
(C-1)

LA  
GARRIGA  
(G-1)

1482

2075

68

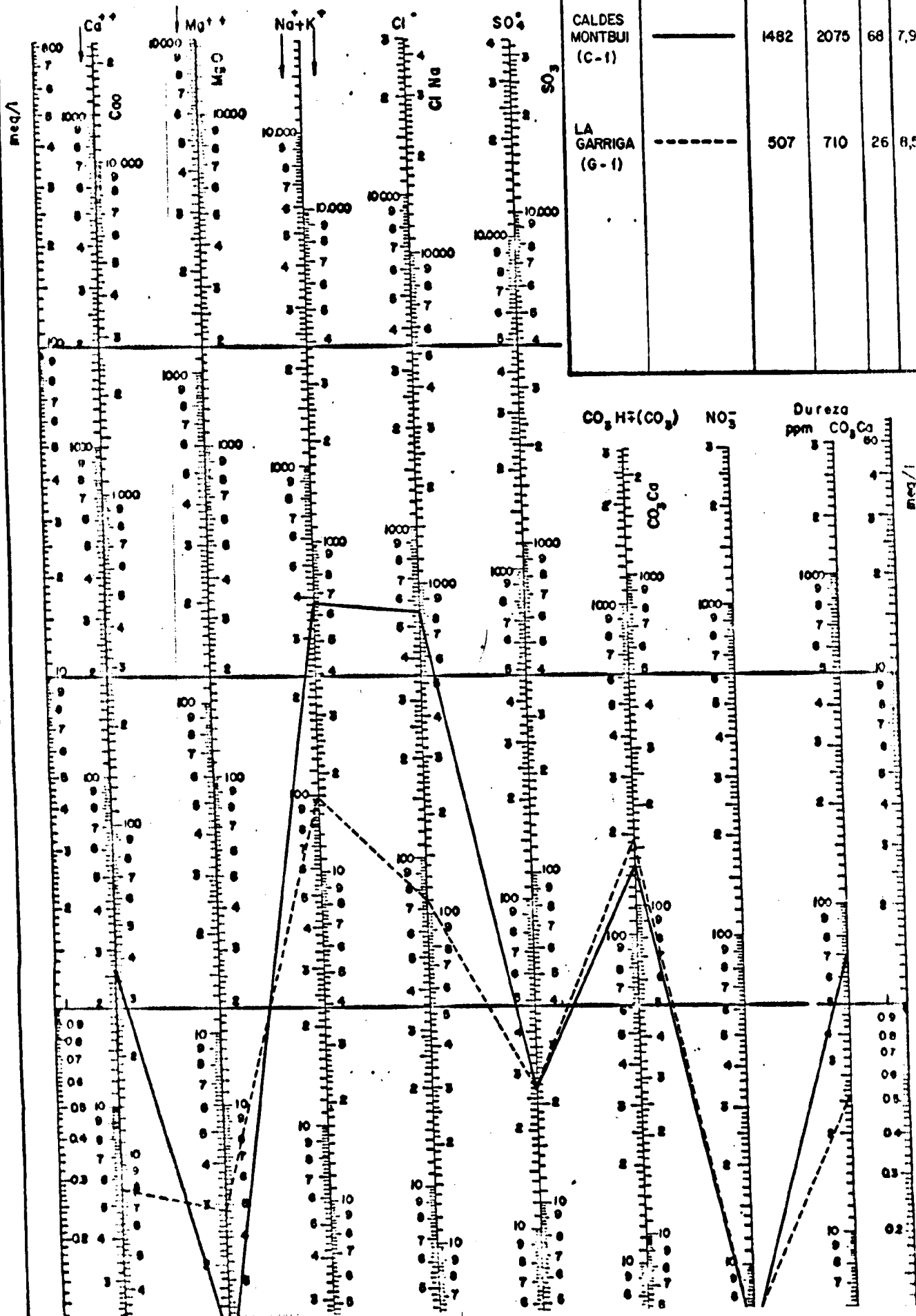
7.9

507

710

26

8.5



basando los productos de solubilidad de carbonatos y sulfatos a medida que adquieren mineralización e ir precipitando, de manera que la fórmula iónica final es:



No obstante esta composición suele alcanzarse - por encima de 180 meq/l, correspondiente a unos 5100 p.p.m. de residuo seco que es cuando se ha superado ya el producto de solubilidad del yeso.

No es este el caso del agua de Caldes de Montbui, cuyo contenido de sales es de 36 meq/l equivalente a 1500 - p.p.m. de residuo seco y por tanto no se han alcanzado los - limites de precipitación. Por otra parte, los bicarbonatos son unas 8 veces más abundantes que los sulfatos y el calcio supera notablemente al contenido de magnesio.

- Podría corresponder a aguas con recorrido por facies evaporíticas. Dada la disposición estructural de la zona, no sería de extrañar la existencia de pinzas de Trías en la falla en la que aparecen las manifestaciones termales, que pudieran dar lugar a este tipo de mineralización. Sorprende no obstante la escasa concentración de  $\text{SO}_4^{=}$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  - frente al contenido de  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$ , ya que las facies evaporíticas del Trías (Muschelkalk medio y Keuper) son eminentemente sulfatadas.

- Quizás la mejor justificación que puede darse al quimismo de las aguas de Caldes de Montbui sea la de modificación por cambios de base. En efecto, la escasez de sulfatos y alcalinotérreos frente a cloruros y sodio, y conside



rando también que no existen signos en superficie de reducción bacteriana de sulfatos, puede explicarse por cambios de bases entre el agua de infiltración del Vallés y los sedimentos marinos existentes en la fosa. Estos retendrían alcalinotérreos cediendo alcalinos y tenderían a hacer negativo el índice de cambio de bases, como ocurre de hecho:

$$rCl - r(Na+K) / rCl = -0,06$$

$$rCl - r(Na+K) / r(SO_4 + CO_3H) = -0,30$$

La justificación al carácter bicarbonatado sódico de las aguas de La Garriga frente a la composición bicarbonata cálcica de las aguas de infiltración debe buscarse en un equilibrio albita - anortita en profundidad (J. ALBERT, 1975. y 1976).

## 7.2.- CALIDAD QUIMICA DE LAS AGUAS TERMALES

En toda prospección de fluidos geotérmicos, además de intentar conocer las posibilidades en cuanto a caudal de descarga y temperatura se refiere, no debe olvidarse otro factor fundamental; el de su calidad química.

El cálculo de su agresividad o capacidad de incrustación referida al  $CO_3Ca$  se ha efectuado con el gnomograma de Hoover-Langelier obteniéndose los siguientes resultados:

	<u>CALDES</u>	<u>LA GARRIGA</u>
pH (70°):	7,3	pH (60°): 7,6
pH <sub>eq</sub> (70°):	7,5	pH <sub>eq</sub> (60°): 8,1
pH (18°):	7,9	pH (18°): 8,5
pH <sub>eq</sub> (18°):	8,3	pH <sub>eq</sub> (18°): 8,7

A ambas temperaturas referidas, los pH de las aguas son inferiores a los correspondientes pH de equilibrio, por lo que resultan ligeramente agresivas. Además, esta agresividad referida al CO<sub>2</sub> se ve incrementada en Caldes por el contenido de ClNa. Bajo este punto de vista, la calidad química de las aguas de La Garriga es superior a la de Caldes de Montbui dado su escaso contenido de Cl<sup>-</sup> (75 p.p.m. frente a 550 p.p.m. de Caldes).

No debe ser esta consideración motivo de recelo frente a una futura utilización, ya que aguas infinitamente peores de calidad como son las de Melún en París se emplean con éxito para los mismos fines a pesar de su elevado grado de corrosión. La tabla VI es lo suficientemente expresiva al respecto.

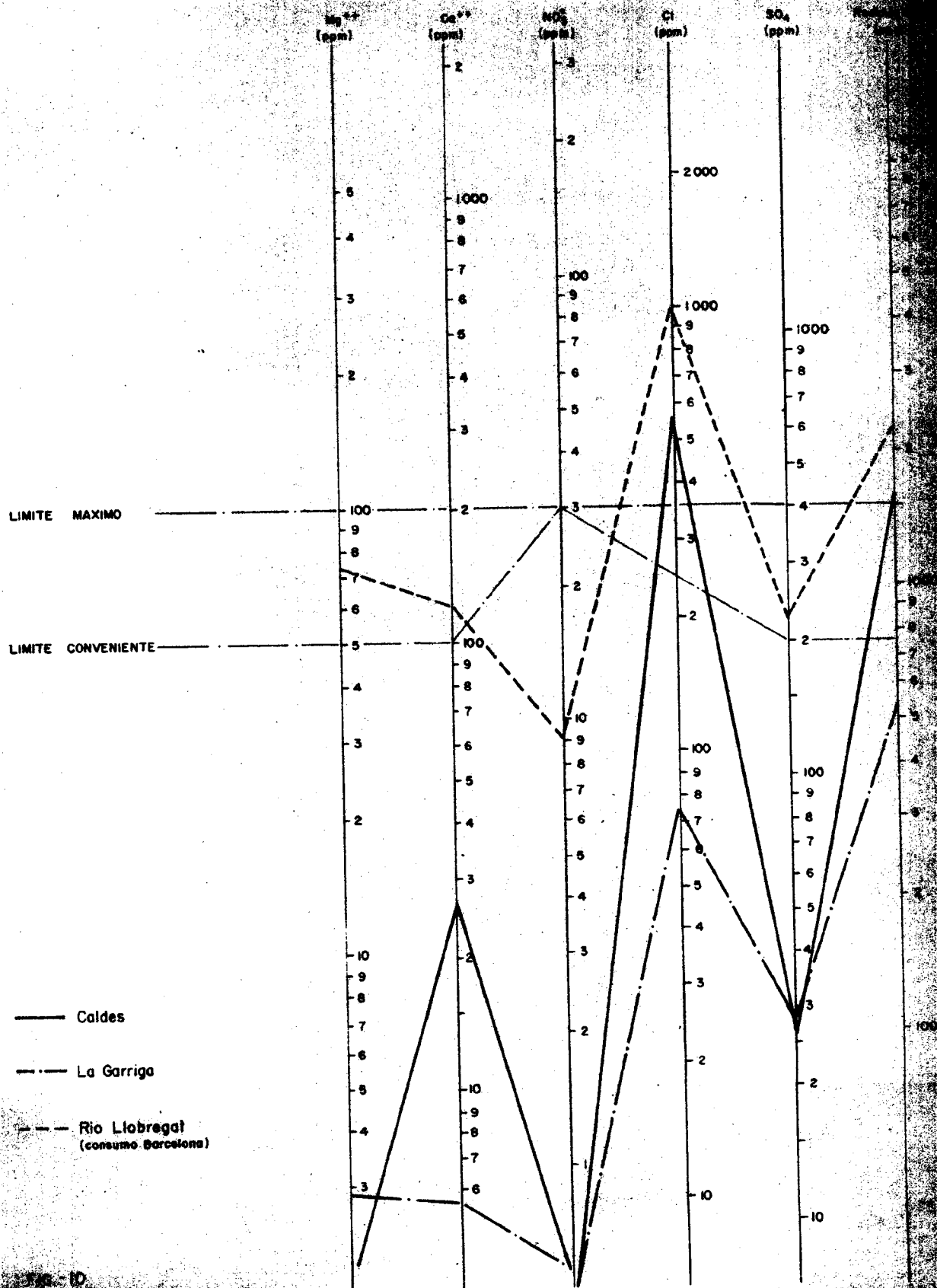
Mientras en gran parte de las aguas termales de Cataluña se advierte un cierto desprendimiento de SH<sub>2</sub> con vida bacteriana asociada de tipo sulforreductor (Spro vibrio) - y/o sulfooxidante (Beggiatoa, Thiothrix) (J. ALBERT, 1976), las manifestaciones de Caldes de Montbui y La Garriga constituyen una excepción a este hecho, por lo que su calidad química se ve notablemente mejorada.

En la fig. 10 se representan los diagramas de potabilidad de ambas aguas en relación con las normas del Código Alimentario Español. Las aguas de La Garriga son de una calidad excelente, mientras que las de Caldes de Montbui solo sobrepasan el límite establecido en cloruros.

Debe advertirse que el efecto nocivo de los clo-

TABLA VI : CUADRO COMPARATIVO DE LAS CALIDADES QUIMICAS DE -  
LAS AGUAS TERMALES.

	CALDES MONTBUI	LA GARRIGA	MELUN (FRANCIA)
pH a 18°C	7,9	8,5	6,4
Temperatura	71° (previstos 110°- 120°C)	60° (previstos 100°C)	70°
Residuo seco (p.p.m)	1.596	546	14.000
Dureza (p.p.m. CO <sub>3</sub> Ca)	68	26	2.000
ClNa (p.p.m)	911	123	10.000
SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (p.p.m)	27	28	700
Observaciones	Ausencia de SH <sub>2</sub> y de bacterias asociadas		SH <sub>2</sub> y bac terias sulforre- ductoras corrosivas



ruros en el cuerpo humano es nulo. Su único inconveniente, y de ahí la reglamentación, estriba en el sabor que dan al agua, que comienza a hacerse patente a partir de los 600 -- p.p.m. según las normas de la O.M.S. El organismo humano admite hasta 2.500 p.p.m. y buena prueba de ello es el diagrama de potabilidad que se adjunta en la misma fig. 10 referido a las aguas del río Llobregat, que son las que emplea para consumo doméstico buena parte de la población de Barcelona.

### 7.3.- HIDROQUIMICA DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS DE CIRCULACION SOMERA.

La asimetría de la fosa del Vallés y su disposición sedimentaria han de condicionar el flujo subterráneo profundo hacia la falla occidental. Las aguas de infiltración, al llegar al contacto impermeable constituido por la base del horst Prelitoral, y una vez calientes, ascienden por la fractura hasta alcanzar la superficie por efecto de su menor densidad.

Según este esquema, muy común en todas las zonas donde existen manifestaciones geotérmicas superficiales, no es extraño pensar que mientras una parte del fluido alcanza directamente la superficie en forma de manantiales, otra parte del mismo puede diseminarse a medida que asciende por los materiales miocenos próximos a la fractura mezclándose con las aguas de infiltración reciente.

La toma de muestras referida al principio del capítulo ha tenido como finalidad detectar estas posibles mezclas como indicadoras de escapes de fluido termal en otras zonas que no sean los circuitos ascendentes principales que llegan a superficie.

Resulta de interés acotar este fenómeno, pues permite interpretar con mayor precisión los resultados de la red termométrica que ha de implantarse con posterioridad.

El muestreo se ha efectuado a ambos lados de la línea de falla teniendo especial cuidado en que estén representadas aguas pertenecientes a todas las litofacies existentes en la zona, con el fin de conocer las facies hidroquímicas tipo y detectar mejor las anomalías.

Entre las poblaciones de La Ametlla y La Garriga se ha reducido notablemente la densidad de muestreo por estar todos los pozos abiertos en cuaternario aluvial y ser de escasa profundidad (<10m). Las anomalías, de existir, han de manifestarse prioritariamente en pozos sobre materiales miocenos.

El criterio empleado para determinar la posible mezcla ha sido triple:

- Por una parte, la diferente concentración de  $\text{SiO}_2$  existente entre aguas frías y aguas que han estado sometidas a influencia geotérmica. Como la sílice precipita muy lentamente al enfriarse el agua, valores elevados de  $\text{SiO}_2$  en pozos, galerías, etc. pueden constituir un buen indicio de mezcla.

- Dado que otra característica de las aguas termales de la región es su elevado contenido en  $\text{Na}^+$  (siempre superior al 80% de m.e.q./l) frente a la escasez de  $\text{Ca}^{++}$ , - mientras que las aguas de infiltración reciente presentan características opuestas ( $\text{Ca}^{++} \gg \text{Na}^+$ ), y dada la movilidad -

del sodio como ión, una mezcla de ambas aguas podrá reconocerse por la relación entre ambos cationes.

- Eventualmente, y dado que las aguas termales - de Caldes de Montbui son de naturaleza clorurada, mientras - que las de La Garriga y la mayor parte de las de infiltración reciente son bicarbonatadas, el ión cloruro, que como se sabe es un buen trazador, puede constituir también un indicador - de "contaminación termal" del sistema de Caldes.

En el mapa IV se han dibujado los diagramas de - Stiff de todas las muestras analizadas. Este tipo de representación permite evaluar directamente las características cuantitativas de cada agua, así como compararlas directamente con las termales. Por otra parte, cada diagrama va coloreado en función del tipo de litofacies en la que se capta el agua para facilitar el estudio comparativo. El contenido en sílice se indica en el interior del polígono.

Cabe destacar la notable homogeneidad de las aguas procedentes del granito, frente a la mayor variedad de las - extraídas en las arcosas miocenas. El mapa permite una primera visión de las anomalías y éstas, como era de esperar, se - sitúan sobre los materiales detríticos que constituyen el relleno de la fosa.

El mapa V constituye el mapa de anomalías en función de los criterios antes expuestos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ ).

Para calcular el fondo regional de la concentración de sílice se ha procedido al estudio estadístico de los resul-

tados analíticos. En la fig. 11 puede verse que las concentraciones de  $\text{SiO}_2$  tienden a ajustarse a una distribución - log-normal en la que los valores de la mediana y la media - son respectivamente 18 y 20 p.p.m. Observese que el contenido en sílice de los dos cursos superficiales más importantes de la zona, riera de Caldes y río Congost, es de 19 p.p.m. Se ve rifica por tanto aquí la regla general de que las aguas de es correntía superficial suelen presentar, en ausencia de contaminación, una composición que equivale a la media de las aguas correspondientes a las distintas litofacies atravesadas.

El criterio que se emplea normalmente para destacar anomalías y que consiste en sumar a la media el valor de una o dos desviaciones standard no se ha aplicado ya que:

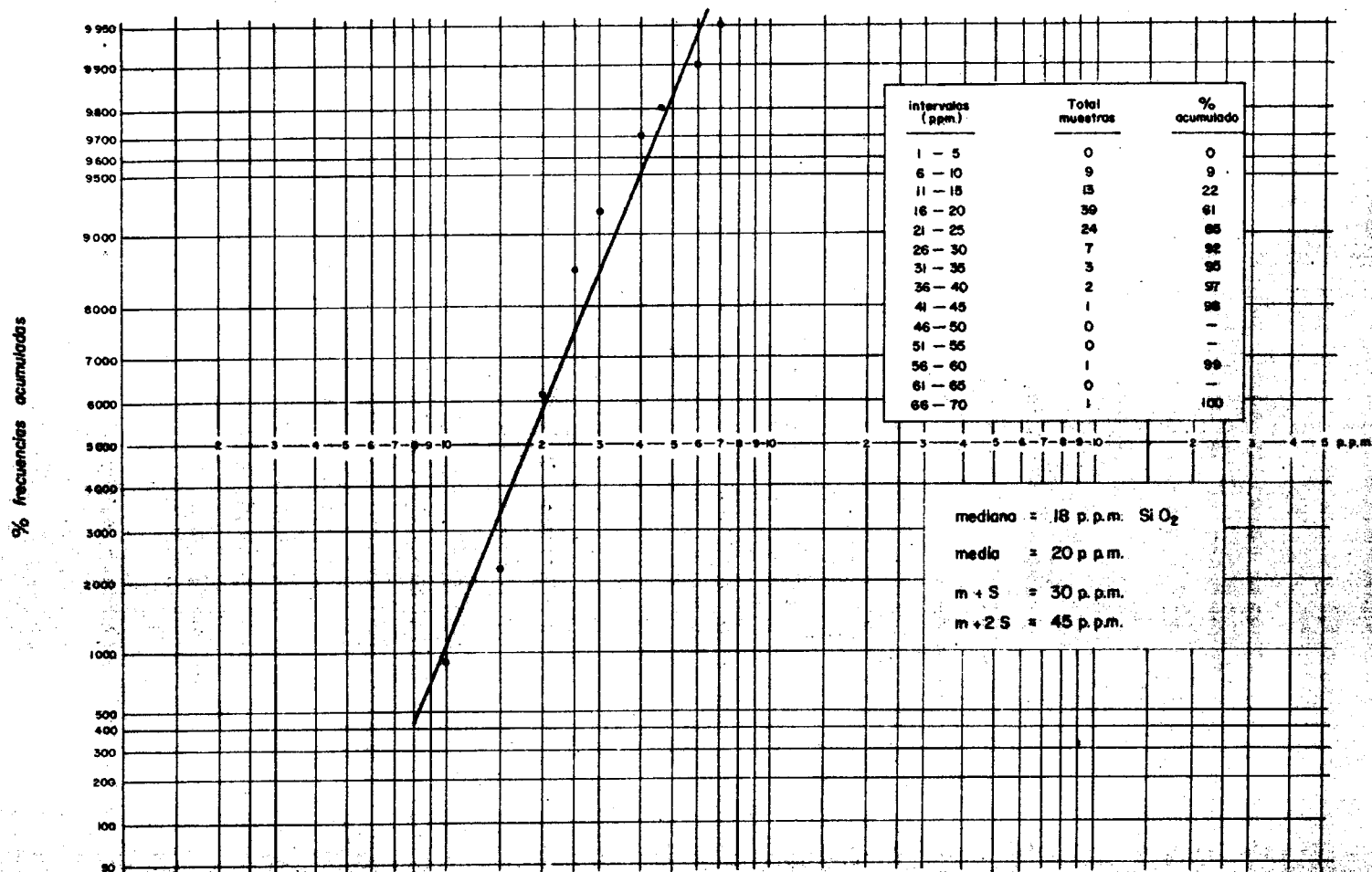
- Si se toma como anómalo todo valor superior a  $m + 2S (=45 \text{ p.p.m.})$ , las dos únicas muestras a tener en cuenta serían las propias aguas termales de Caldes y La Garriga.

- Podría considerarse como anómalo todo valor superior a  $m + S (=30 \text{ p.p.m.})$ , pero como sigue siendo un criterio totalmente arbitrario y existe un hecho que permite deshacer la arbitrariedad, se ha preferido tenerlo en cuenta: Efectivamente, dado que se ha detectado en Samalús una anomalía térmica propiamente dicha correspondiente a las muestras CN-1 CN-2 y CN-3 ( $17^\circ\text{-}22^\circ\text{C}$ ) y su concentración en sílice es de - 27-28 p.p.m., se ha preferido considerar como anómala toda muestra con un contenido en  $\text{SiO}_2$  superior a 25 p.p.m.

El criterio empleado para seleccionar las posibles anomalías ligadas a cloruros ha sido la relación  $r\text{Cl}^- / r\text{CO}_3\text{H}^-$ . Este valor es de 6,02 en Caldes y 0,72 en La Garriga



## DISTRIBUCION LOG-NORMAL DEL CONTENIDO EN SI O<sub>2</sub> DE LAS AGUAS MUESTREADAS



En consecuencia, y debido a las extremas composiciones que presentan ambas aguas entre sí, se ha considerado como indicativo de anomalía todo valor de esta relación superior al de La Garriga, es decir, mayor que 0,7.

Idéntico razonamiento se ha seguido para delimitar las anomalías de sodio, pero empleando la relación  $rNa^+ / rCa^{++}$ . Dada la afinidad existente entre estos cationes con los aniones empleados en la anteriormente expuesta, lógico es suponer que la relación en miliequivalentes para definir la anomalía sea la misma.

Un punto, el S-16, aparece como anómalo sin serlo (mapas IV y V): la anomalía de  $Na^+$  se debe a ser agua procedente de Trias (sulfatada calco-sódica).

También el agua de G-3 resulta sospechosa. Presenta anomalía de  $Cl^-$  y  $Na^+$ , pero debe advertirse que se trata de un pozo abierto en el aluvial del río Congost a tan solo 200 m. del mismo, y que la propia agua del río es clorurada sódica y presenta idéntica anomalía, aunque menos acusada, - kilómetro y medio aguas arriba de donde se ha tomado la muestra. Por otra parte, resulta muy extraño pensar en una mezcla con agua termal, ya que de existir, debería ser con agua de La Garriga, y ésta no es clorurada sino bicarbonatada.

Aparte de lo anteriormente expuesto, las anomalías encontrados han sido (mapa V):

Muestra	Anomalías			T <sup>a</sup>
	SiO <sub>2</sub>	Na/Ca	Cl/CO <sub>3</sub> H	
CN-1	28			
CN-2	27			22 <sup>o</sup>
CN-3	28			
B-10	38			
A-1	27	1,81	2,00	
E-6	38			
E-17	40			
L-1	32	0,82	1,94	
L-2		0,70	2,32	
L-3	42			
L-4	32			
L-6	26			
C-10		1,25	2,06	
C-14	32		1,09	
C-16	30			
C-18			1,39	

Las anomalías encontradas son escasas y poco concluyentes por su dispersión y ambigüedad. Adviértase que contenidos anormalmente elevados de sílice (38, 40 y 42 p.p.m) no van parejos a anomalías de Na<sup>+</sup> y/o Cl<sup>-</sup>.

## **TERMOMETRIA HIDROQUIMICA**

8.- TERMOMETRIA HIDROQUIMICA

Como las determinaciones isotópicas revelan un - largo tiempo de residencia del agua, así como ausencia de mezcla con aguas de infiltración reciente, se cumplen las premisas imprescindibles para la aplicación de geotermómetros químicos.

Para calcular la temperatura del último equilibrio agua-roca se han empleado cinco geotermómetros basados en cuatro criterios químicos distintos: contenido de sílice, relación Na/K, Na-K-Ca y equilibrio albita-anortita.

Para mayor precisión, el geotermómetro SiO<sub>2</sub> se ha desglosado en todas sus posibles variantes en previsión de que pudieran existir fases o variedades de SiO<sub>2</sub> en equilibrio con el fluido termal, que no fueran el cuarzo del granito. Los resultados obtenidos han sido

	<u>CALDES DE MONTBUI - 71° -</u>	<u>LA GARRIGA - 60° -</u>
Sílice amorfa	(-2°)	(-6°)
β Cristobalita	(17°)	(13°)
α Cristobalita	(64°)	(60°)
Calcedonia	86°	81°
Cuarzo (sin vapo- rización)	115°	110°
Cuarzo (con vapo- rización)	114°	110°

Los resultados entre paréntesis son aberrantes, pues son inferiores a la propia temperatura de salida del -

agua termal. En consecuencia, las únicas variedades posibles de sílice han de ser el cuarzo y/o la calcedonia.

Por otra parte, la fase vapor, en caso de existir, es mínima. Esta posibilidad ya se apuntó también en el capítulo 6 en base al escaso fraccionamiento isotópico del oxígeno.

En base a este razonamiento el cálculo geotermométrico puede resumirse como sigue:

	<u>CALDES DE MONTBUI</u>	<u>LA GARRIGA</u>
Calcedonia	86°	81°
Cuarzo (FOURNIER)	115°	110°
Cuarzo (SIEVER)	105°	100°
Na/K	122°	109°
Na-K-Ca	136°	100°
Albita-Anortita	108°	98°
Temperatura media	112°	100°

Puede apreciarse que las temperaturas encontradas con la aplicación de los diferentes geotermómetros son muy parecidas, por lo que puede admitirse perfectamente su fiabilidad sobre todo al estar basados en criterios químicos distintos.

Aparte de estos indicadores cuantitativos, existe otro de tipo cualitativo digno de mención: el bajo contenido de  $Mg^{++}$ .

La interacción del magnesio del agua con las arcillas es una reacción que depende de la temperatura, siendo ma

yor la incorporación de este catión a los minerales arcillosos cuanto mayor es esta última.

El escaso contenido de  $Mg^{++}$  en ambas aguas termales (0,7 p.p.m. en Caldes y 2,9 p.p.m. en La Garriga) frente al correspondiente mayor contenido de las aguas de infiltración reciente y circulación somera (10-70 p.p.m.) es un argumento más para suponer la existencia de las temperaturas calculadas mediante geotermómetros cuantitativos.

## **CALCULO DE POROSIDADES**



## 9.- CALCULO DE POROSIDADES

Conocidas ya las temperaturas de equilibrio agua-roca en profundidad, las características fisico-químicas de las aguas termales y la resistividad de la roca que teóricamente constituye el almacén, resulta factible, mediante la ecuación recientemente propuesta por KAVLAKOĞLU (1975), calcular la porosidad del sistema.

	<u>CALDES</u>	<u>LA GARRIGA</u>
Resistividad almacén ( $\Omega.m$ )	400	400
Resistividad agua termal (18°C) ( $\Omega.m$ )	4,8	14
Resistividad agua termal a su temperatura de salida ( $\Omega.m$ )	2,1	6,8
Temperatura del agua (°C)	70°	60°
Temperatura de equilibrio (°C)	117°	103°
POROSIDAD ESTIMADA (%)	5	9

Estos resultados no deben tomarse en sentido estricto, sino como cuantificación aproximada de la fenomenología existente. El cálculo llega a una conclusión volumétrica en función de las variaciones de resistividad que experimenta un teórico almacén isótropo que contiene agua de salinidad y temperaturas conocidas.

A pesar de todo, el resultado es de sumo interés para cuando, una vez detectada la anomalía térmica en la fase termométrica, se intente ubicar el posible almacén. Por otra parte este dato resulta imprescindible a la hora de calcular el espaciamiento entre pozo de producción o inyección en caso de que debiera proyectarse un sistema de explotación de este estilo.

## **RESUMEN**

## 10.- RESUMEN

### A.- GEOLOGIA

- La sísmica petrolera y otros trabajos oceanográficos españoles y franceses han puesto de manifiesto que el sector comprendido entre la costa catalana y las Baleares se traduce en un vasto sistema distensivo de horsts y fosas con vulcanismo plio-cuaternario asociado.
- Los Catalánides, unidad morfoestructural compuesta por dos cordilleras: Litoral y Prelitoral. y una fosa intermedia, la Depresión Prelitoral, constituyen un afloramiento continental de este amplio sistema distensivo, que se extiende desde el extremo sur de la provincia de Tarragona hasta la de Gerona, en dirección NE-SW paralela a la costa.
- Se conoce con el nombre de Depresión del Vallés a la porción septentrional de la Depresión Prelitoral situada al norte del río Llobregat. La porción de fosa situada al S. del citado río se denomina Penedés.
- La depresión del Valles - Penedés es una fosa de distensión asimétrica cuyo zócalo presenta un hundimiento axial hacia el SW a la vez que se halla basculado en dirección NW. Esto se traduce en potencias de relleno crecientes hacia la falla occidental del Penedés, de manera que en esta zona el zócalo se detecta a unos 4000 m. de profundidad.
- La fosa es de edad neógena, con relleno esencialmente de Mioceno continental detrítico. No obstante, la actividad de

la fosa durante el Plio-cuaternario se pone de manifiesto - mediante manifestaciones volcánicas en su porción NE y una notable actividad sísmica en época histórica.

- La naturaleza del zócalo miocénico es caliza en la zona del Penedés y granítica y/o pizarrosa en el Vallés, pues el límite septentrional de los materiales carbonatados mesozoicos se sitúa en el valle de Llobregat.
- En la zona investigada del Vallés, (cuadrícula delimitada por las poblaciones de Sentmenat, Samalús, Mollet y Cardedeu) el relleno miocénico es eminentemente arcósico con potentes intercalaciones conglomeráticas de origen torrencial. Bajo estos niveles, y ya sobre el zócalo granítico, se halla un potente nivel arcilloso rojo del Mioceno basal.

#### B.- GEOFISICA

- La investigación sísmica y gravimétrica efectuada en la zona pone de manifiesto la asimetría de la fosa, de manera que - mientras el salto de la falta oriental se cifra en unos -- 1000 m, en la occidental (Caldes - La Garriga) puede sobrepasar los 2000 m. En el centro de la fosa, a modo de eje paralelo a los bordes, existe una elevación del zócalo que lo sitúa a 900 m. en la vertical de Granollers y Lissá de Vall y se va hundiendo progresivamente hacia el SW, al igual que el eje de la fosa, de manera que en Martorell (valle del - Llobregat) la dorsal central se sitúa a los 2000 m y el labio hundido de la falla occidental sobrepasa los 3000 m.

Un corte perpendicular a la fosa se resuelve, en consecuencia, en un profundo surco en la parte occidental,

un umbral en el centro y un nuevo hundimiento menos pronunciado en la falla oriental.

- Entre Caldes y La Garriga, la falla occidental sobre la que se asientan estas poblaciones y sobre la que aparecen las manifestaciones termales parece resolverse en un único plano muy verticalizado frente al que se sitúan dos importantes mínimos gravimétricos (que corresponden al surco referido) a un kilómetro escaso de la línea de fractura, frente a las poblaciones de Caldes y La Atmella-La Garriga.
- Admitiendo, por la tendencia que se observa en los perfiles sísmicos, que estos máximos respondan a profundidades de al menos 2000 m, el referido plano de fractura debería tener unos 70° de inclinación, no siendo de extrañar aun una verticalización mayor.
- Existe otro sistema ortogonal de fracturas, menos importantes, que estructura el basamento a modo de mosaico de cubetas y pilares.
- La eléctrica profunda (resistividades) efectuada a lo largo de la fractura occidental entre dos localidades termales referidas, pone de manifiesto, bajo las arcosas, y a lo largo del primer kilómetro hacia el eje de la fosa a partir del borde granítico, un substrato resistivo situado entre los 200 y 400 m. de profundidad que se interpreta como debido a los conglomerados de borde de naturaleza torrencial. No se han obtenido penetraciones mayores de 550 m.
- Los registros de potencial espontáneo presentan las anomalías más significativas en el granito. El método ha resulta-

do de dudosa interpretación y por este motivo se prefiere - considerar sus resultados como secundarios y susceptibles - de revisión en todo momento.

### C.- HIDROGEOLOGIA

- La fosa del Vallés está constituida por una serie de acuíferos por lo general pobres ( $T= 1-30 \text{ m}^2/\text{día}$ ) que se hallan - subexplotados a pesar de la gran demanda de agua existente. El principal factor limitante de esta escasa extracción es la baja permeabilidad y la consiguiente baja productividad de los pozos.
- Las extracciones se cifran en  $5 \text{ Hm}^3/\text{año}$  y la descarga natural a través de manantiales es de  $1 \text{ Hm}^3/\text{año}$ . A pesar de esto, el balance hídrico del Vallés pone de manifiesto un excedente de infiltración de  $38,6 \text{ Hm}^3/\text{año}$ , que a su vez recarga los acuíferos aluviales cuaternarios. Es a través de estas formaciones por donde se realiza la descarga mayoritaria del sistema y la extracción principal de agua para el consumo.
- Los análisis del contenido en tritio de las aguas termales revelan un tiempo de tránsito de 45 años en el caso de La Garriga y superior a esta cifra, pero no cuantificable ya mediante este isótopo, para las de Caldes de Montbui.
- Por otra parte, el comportamiento de los manantiales es -- constante frente a las variaciones de recarga (sequías prolongadas o lluvias intensas). Este comportamiento obedece - a un modelo físico en el que el coeficiente de agotamiento

es nulo, implicando por tanto un almacenamiento considerable frente al caudal de emisión, con bajos valores de transmisividad.

- En base a todo lo expuesto cabe concluir por tanto que los manantiales termales constituyen un medio de descarga natural de las aguas basales y más antiguas de la fosa, contribuyendo a una lenta pero constante renovación de las reservas hidráulicas de la misma.
- El flujo basal de agua caliente se ve condicionado hacia la falla occidental por el propio basculamiento del zócalo impermeable. Por otra parte, este movimiento, que fue sincrónico con el proceso de relleno de la fosa, ha dado lugar también a que las formaciones litológicas se inclinen hacia la referida fractura.

La surgencia del agua caliente a la superficie se debe sin duda al fenómeno combinado del contacto del relleno de la fosa con el impermeable del horst prelitoral y a un ascenso por termosifón motivado por la menor densidad del agua recalentada frente a la de infiltración.

#### D.- HIDROQUIMICA

- La composición química de las aguas termales, tanto de Caldes como de La Garriga, goza de una gran estabilidad en el tiempo. Análisis de 1910, 1935 y de 1972 al 76 son prácticamente coincidentes.
- Las aguas del Caldes de Montbui y La Garriga corresponden

- a dos circuitos termales diferentes e independientes entre sí. Mientras las primeras son cloruradas sódicas ( $rCl^-/rN^+ \approx 1$ ) con un residuo seco de 1600 p.p.m., las segundas son bicarbonatadas sódicas con tan solo 550 p.p.m. de sales disueltas.
- La naturaleza clorurada sódica de las aguas termales de Caldes de Montbui parece deberse a cambios de base con los sedimentos marinos existentes en la fosa. No obstante, y a pesar de ser la hipótesis más consistente de entre todas las planteadas, debe tomarse con ciertas reservas.
  - La naturaleza bicarbonatado-sódica de las aguas termales de La Garriga queda plenamente justificada mediante un equilibrio albita - anortita en profundidad, entre el agua de infiltración (bicarbonatada cálcica), y los materiales graníticos a una temperatura determinada.
  - La calidad de los fluidos termales es muy buena frente a la de otras aguas termales hoy en día en explotación. Su baja mineralización a pesar de su temperatura, la ausencia de  $-SH_2$  y microorganismos del ciclo del azufre asociados, y la similitud de su pH de salida respecto al teórico de equilibrio condicionan una buena calidad, aunque resultan ligeramente agresivas (0,2 - 0,5 unidades de pH).
  - Las aguas termales son potables respecto las reglamentaciones del Código Alimentario Español y de la Organización Mundial de la Salud.
  - La prospección de anomalías geoquímicas no ha puesto de manifiesto anomalías importantes y significativas, por lo que -



no se ha detectado ninguna otra vía de salida del agua termal al exterior aparte de las típicas ya conocidas.

#### E.- GEOTERMIA.

- Los cálculos geotermométricos, efectuados en base a criterios químicos revelan temperaturas de equilibrio agua-roca muy similares. Las temperaturas medias son de 110° para Caldes de Montbui y 100°C para La Garriga.
- En base a estos cálculos termométricos y a las resistividades conocidas de los fluidos termales y de la posible roca almacén, se deduce una porosidad del 5% para el sistema de Caldes y del 9% para el de La Garriga.
- Ambas aguas termales presentan contenidos similares de deuterio frente a variaciones más acusadas de oxígeno-18. El ligero incremento de este isótopo respecto al SMOW implica un enriquecimiento del mismo bien por evaporación o por intercambio con la roca encajante. Visto el orden de magnitud de las temperaturas que se esperan en profundidad, se supone más factible la posibilidad de intercambio con la roca encajante, ya que el proceso de vaporización, si existe es poco importante. De ser así, el O-18 indica que el intercambio isotópico no se ha realizado con calizas, pues el intercambio hubiera sido más notable, habida cuenta de los largos tiempos de residencia del fluido termal.

Hay que destacar pues, según los resultados isotópicos, la presencia de posibles almacenes de calizas mesozoicas en el zócalo de la fosa. Tanto la geología, como la geofísica como la geoquímica isotópica parecen apuntar ha-

cia una circulación en materiales cristalinos.

- La prospección eléctrica pone de manifiesto dos zonas de mínimos resistivos perfectamente delimitadas frente a Caldes y La Garriga. A medida que aumenta la profundidad, estas zonas conductoras se van alejando de la traza del contacto fosa - horst. Según se desprende del informe geofísico, estos mínimos de resistividad pueden interpretarse como zonas de mayor temperatura respecto a las áreas circundantes.

## **CONCLUSIONES**

## 11.- CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido definir con suficiente detalle la morfología geológica de la Fosa del Vallés, en la zona en que se ubican las manifestaciones termales más calientes de la península. De un modo general el esquema de todo el sistema se ajusta los campos tanto del área mediterránea como mundiales en intensa investigación e incluso explotación (zona de distensión, actividad volcánica pliocuaternaria, intensa actividad sísmica, etc).

Los resultados obtenidos en esta primera fase de la prospección son alentadores: geológicos, hidrogeológicos - buena recarga, favorable dirección de flujo -, excelente calidad de los fluidos, y temperaturas de equilibrio calculadas en 100-120°. En consecuencia, se considera aconsejable proseguir la investigación pasando a realizar una red termométrica que permita calcular gradientes, y eventualmente flujos, que definan el punto concreto más idóneo para una posible explotación. En cuanto a esto último conviene señalar que la zona se encuentra ubicada en muy buena situación para su aprovechamiento urbano, industrial y agrícola, en un área densamente poblada.

## **BIBLIOGRAFIA**

12.- BIBLIOGRAFIA

- ALBERT, J.F. (1975).- "El equilibrio albita-amortita como termómetro hidrogeotérmico en zonas graníticas". Acta Geol. Hisp., Año X, nº 5 p. 170-174. Barcelona.
- ALBERT, J.F. (1976).- "Estudio geotérmico preliminar de Cataluña". Tesis doctoral. Facultad de Geológicas de Barcelona. 461 pp. Inédita.
- BATALLER, J.R. (1933).- "Condiciones geológicas de las aguas minerales de Cataluña". Publicación nº 8 del Laboratorio de Geología del Seminario de Barcelona. - 90 p.p.
- CRAIG, H. (1961).- "Standard for reporting concentrations of deuterium and O-18 in natural waters". Science - nº 133 p. 1833-1834.
- ESTEBAN, M; SANTANACH, P. (1974).- "¿El modelo de cuña compuesto de Migliorini es aplicable a la estructura del sector central de los Catalánides? Acta Geol. Hisp. Año IX, nº 2. pags. 33-41. Barcelona.
- FONTBOTE, J.M. (1954).- "Las relaciones tectónicas de la depresión del Valles - Penedés con la Cordillera Preli-toral Catalana y con la Depresión del Ebro". Real Soc. Esp. Hist. Nat., vol. extr. homenaje. E.H. - Pacheco, p. 281-310. Madrid.

- FOURNIER, R.O. (1976).- "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems". Geothermics vol. 5 n<sup>os</sup>. 1-4 pp. 41-50.
- FOURNIER, R.O. ROWE, J.J. (1966).- "Estimation of underground temperatures from the silica content of water from hot springs and wet steam wells". Amer. Jour. Sci. v. 264 p.p. 685-697.
- FORUNIER, R.O. TRUESDELL, A.H. (1973).- An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. Geochim. et Cosmochim. Acta, vol. 37 pp. 1255-1275.
- KAVLAKOĞLU, S. (1975).- "A method to determine reservoir temperature and porosity in geothermal fields". 2<sup>o</sup> U.N. Symposium on the development and Use of Geothermal Resources, p. 1713-1714 S. Francisco. U.S.A.
- M.O.P. (1971).- "Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales del Pirineo Oriental". Edición Limitada. C.A.P.O.-S.G.O.P. Barcelona.
- OLIVE, Ph, (1970).- "Contribution a l'etude geodynamique du cycle de l'eau dans l'hemisphere nord par la mé<sup>o</sup>du tritium". Tesis doctoral Fac. Ciencias Paris, 137 p.p. Edición.
- ROSELL, J. et. alt. (1973).- "Sedimentología del Mioceno del Vallés occidental (prov. de Barcelona)". Acta -- Geol. Hisp. Año VIII, n<sup>o</sup> 1, p. 25-29. Barcelona.

00502

SERRA, J. (1975): "El precontinente catalán entre Cap Bagur y Arenys de Mar. Estructura y sedimentación reciente". Tesis doctoral. Facultad de Geología de Barcelona. 187 p.p. Inéditos.

TRILLA, J. (1974).-"Sobre el origen de las aguas termales de Caldes de Montbui". Acta Geol. Hisp. Año IX nº 4 p. 144-148.