



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

**APLICACION DE LAS TECNICAS ISOTOPICAS
AL ESTUDIO DE PROBLEMAS HIDROGEO-
LOGICOS (2ª FASE: 1990-92).**

INFORME FINAL



MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

37063

I N D I C E

	<u>Pág.</u>
1.- <u>INTRODUCCION</u>	1
2.- <u>ORIGEN DE LA ALIMENTACION DE LAS DESCARGAS DEL BORDE DE LA CORDILLERA IBERICA CON LA DEPRESION DEL EBRO ENTRE LOS RIOS HUERVA Y GUADALOPE (ARAGON)</u>	4
2.1.- <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	5
2.2.- <u>METODOLOGIA DE TRABAJO</u>	7
2.3.- <u>MUESTREO REALIZADO</u>	9
2.4.- <u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	12
2.4.1.- <u>Sector de Mediana-Fuentes de Ebro</u>	21
2.4.2.- <u>Manantial de Ariño</u>	30
2.4.3.- <u>Sector de Caspe-Chiprana</u>	32
2.4.4.- <u>Laguna Salada Grande de Alcañiz</u>	33
3.- <u>ORIGEN DE LA RECARGA DEL HACHO DE LOJA (GRANADA)</u>	35
3.1.- <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	36
3.2.- <u>METODOLOGIA DE TRABAJO</u>	44
3.3.- <u>MUESTREO REALIZADO</u>	46
3.4.- <u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	46
4.- <u>ESTUDIO DE LA DINAMICA DE ALIMENTACION Y DESCARGA DE LA DIVISORIA DE LOS RIOS GUADIARO-GUADALETE EN LA SERRANIA DE RONDA (MALAGA)</u>	65
4.1.- <u>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u>	66
4.2.- <u>METODOLOGIA DE TRABAJO</u>	78
4.3.- <u>MUESTREO REALIZADO</u>	81
4.4.- <u>RESULTADOS OBTENIDOS</u>	81

	<u>Pág.</u>
5.- <u>CARACTERIZACION ISOTOPICA DE LOS ACUIFEROS DEL CAMPO DE CARTAGENA</u>	99
5.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	100
5.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO....	106
5.3.- RESULTADOS OBTENIDOS.....	109
6.- <u>ESTUDIO DE LA RELACION RIO-ACUIFERO Y DE LA DINAMICA DE FLUJO SUBTERRANEO EN EL SISTEMA ACUIFERO DEL MOLAR (MURCIA-ALBACETE)</u>	130
6.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	131
6.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO....	142
6.3.- RESULTADOS OBTENIDOS.....	144
7.- <u>DETERMINACION DEL ORIGEN DE LA SALINIDAD EN LA DEPRESION DE BENISA (ALICANTE)</u>	152
7.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	153
7.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO....	156
7.3.- RESULTADOS OBTENIDOS.....	160
8.- <u>BIBLIOGRAFIA</u>	168

ANEXO : ANALISIS QUIMICOS

- ARAGON
- HACHO DE LOJA-SIERRA GORDA (GRANADA)
- DIVISORIA GUADIARO-GUADALETE
- CAMPO DE CARTAGENA
- EL MOLAR (MURCIA-ALBACETE)
- DEPRESION DE BENISA (ALICANTE)

1.- INTRODUCCION

El presente Proyecto constituye una continuación al Proyecto del mismo nombre, entregado en diciembre de 1989, en el que se planteaba el empleo de isótopos como técnica complementaria a la resolución de problemas hidrogeológicos específicos y concretos.

En esta referida primera parte del Proyecto se discutió con las oficinas regionales del ITGE la problemática particular de cada caso y se planteó un plan de acción a seguir cuya ejecución e interpretación constituye el objeto del presente informe.

Como ya se expuso en la primera parte del estudio, las técnicas isotópicas no deben contemplarse como elementos de solución de casos complejos. Se trata, simplemente, de otras herramientas de trabajo que, unidas a la hidroquímica, hidráulica, etc. permiten avanzar más en el conocimiento de los mecanismos hidrogeológicos que rigen el sistema en cuestión.

Este planteamiento se ratifica en el presente Proyecto. En unos casos, su aplicación ha resultado esclarecedora en la resolución de las cuestiones planteadas como objetivos de trabajo; en otros, simplemente han aportado datos complementarios o incluso se han mostrado ineficaces.

A efectos de redacción del Proyecto, se ha seguido la misma tónica que en su Primera parte: se describe de manera muy concreta el planteamiento y objetivos de cada problema específico; se explica la problemática de la zona con una breve

reseña hidrogeológica que, en algunos casos, corresponde textualmente a alguna publicación efectuada por los miembros del equipo de trabajo de la propia oficina regional o de grupos de trabajos afines; por último, se explica el muestreo efectuado, se adjuntan los resultados analíticos y se interpretan los resultados con el fin de intentar aportar conclusiones a la problemática planteada.

Los análisis de isótopos estables se han llevado a cabo en el Laboratoire d'Hydrologie et Géochimie Isotopique de la Universidad Paris-Sud, bajo la supervisión del Prof. Jean Charles Fontes.

Los análisis de tritio han sido ejecutados en el Centre de Recherches Geodynamiques de Thonon-les-Bains bajo la supervisión del Prof. André Ferhy.

Todos los análisis químicos que se adjuntan, correspondientes a este Proyecto, han sido llevados a cabo en los propios laboratorios del ITGE.

El Proyecto ha sido llevado a cabo por TECNOLOGIA Y RECURSOS DE LA TIERRA, S.A. bajo la supervisión de Dña. MARIA GOMEZ MARTOS del Instituto Tecnológico GeMinero de España.

2.- ORIGEN DE LA ALIMENTACION DE LAS DESCARGAS DEL

BORDE DE LA CORDILLERA IBERICA CON LA DEPRESION

DEL EBRO ENTRE LOS RIOS HUERVA Y GUADALOPE

2.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Sistema Acuífero 58 (Mesozoico Ibérico de la Depresión del Ebro) fue definido por el P.I.A.S. (IGME, 1981). Este Sistema engloba al conjunto de acuíferos comprendidos entre la Sierra de Moncayo y la divisoria Guadalupe-Matarraña, que constituyen el límite de la Cordillera Ibérica con la Depresión del Ebro. En realidad, no corresponde a un sistema acuífero en sentido estricto, sino a una agrupación de formaciones no acogidas a otros sistemas limítrofes (n^{os} 13, 15, 55, 57, 59, 62, etc.).

Al iniciarse este trabajo (1990), el ITGE llevaba a cabo el "Estudio hidrogeológico para la actualización del Mesozoico Ibérico de la Depresión del Ebro", centrado fundamentalmente en las cuencas de los ríos Aguasvivas, Martín y Guadalupe, seguramente las más desconocidas del conjunto del Sistema. Por otro lado, el SGOP había iniciado casi simultáneamente el "Estudio para la evaluación de recursos subterráneos de los acuíferos relacionados con la provincia de Zaragoza".

El presente trabajo se planteó de acuerdo con la oficina del ITGE de Zaragoza, con el fin de apoyar, mediante técnicas isotópicas, los estudios anteriormente referidos, centrandó la investigación en determinar el origen de las grandes descargas de la Ibérica entre los ríos Huerva y Guadalupe.

En este sector existen una serie de importantes

circulaciones de agua que se manifiestan en el límite de la Ibérica con la Depresión del Ebro, bien en su mismo contacto o en el Terciario de borde, en forma de caudalosos manantiales, productivos acuíferos cautivos o extensas lagunas endorréicas.

Por parte de la Universidad de Zaragoza se apunta la posibilidad de que la alimentación de estas descargas pueda deberse a un activo flujo regional que, con infiltración preferente en la Ibérica, circule hasta los niveles inferiores del sistema carbonatado mesozoico (Lías y/o Muschelkalk). La falla noribérica y estructuras asociadas, favorecerían su aparición como flujo ascendente constituyendo, también, un activo mecanismo de transporte de solutos (Martínez Gil et al., 1988).

En nuestro caso y siempre de acuerdo con el planteamiento de la oficina regional del ITGE en Zaragoza, se centra el estudio en el análisis de las siguientes descargas:

SECTOR DE MEDIANA-FUENTES DE EBRO (ZARAGOZA)

- Manantial de Mediana. Importante descarga de 200 l/s con escasa variabilidad estacional, que se utiliza como abastecimiento a la localidad del mismo nombre (650 habit.) a la vez que permite el riego de 230 ha. Se halla asociado en superficie a los depósitos miocenos y el agua es sulfatada cálcico-magnésica con un contenido salino de 1,1 gr/l. (nº ITGE: 28162001).
- Sondeo surgente de Fuentes de Ebro. En realidad se trata de tres sondeos (28163001, 28163002 y 28163003) muy próximos que, tras atravesar dos centenares de metros de Terciario detrítico-evaporítico, penetran en calizas seguramente mesozoicas produciendo agua surgente sulfatada sódico-cálcica de 2,2 gr/l a 24 °C.

SECTOR DE ARIÑO (TERUEL)

- Manantial de Ariño. Asociado a los materiales jurásicos de la Sierra de Arcos, se sitúa en la margen izquierda del río Martín unos 2 Km al norte de la localidad de Ariño (nº ITGE: 28188001). Presenta una descarga de 400 l/s con escasa variabilidad estacional y sus aguas son sulfatadas cálcicas con un contenido salino de 2,0 gr/l.

SECTOR DE CASPE-CHIPRANA (ZARAGOZA)

- Baños de Fonté. Antiguo balneario actualmente en ruinas situado en las proximidades de la estación de Chiprana y asociado a los materiales miocenos que circundan el curso del Ebro por su margen derecha.
- Laguna Salada de Chiprana (Caspe). Laguna endorréica situada a 1,5 Km de los baños, que cubre una extensión aproximada de 40 ha.

SECTOR DE ALCAÑIZ (TERUEL)

- Laguna Salada Grande de Alcañiz. Laguna endorréica de unas 80 ha. situado a 5 Km al E de Alcañiz, asociada al Terciario detrítico-evaporítico.

2.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO

La metodología del estudio isotópico del origen de la alimentación de estas descargas se establece del modo siguiente:

- 1.- Instalación de una red de 10 pluviómetros en la zona de estudio, convenientemente distribuidos tanto por la C. Ibérica como por la Depresión del Ebro, con el fin de

intentar establecer las leyes de variabilidad del ^{18}O y el ^2H en longitud, latitud y altura.

Tres de estos pluviómetros se han hecho coincidir con los principales núcleos de puntos problema (Mediana, Chiprana y Alcañiz) para tener una referencia directa de las aguas de lluvia que alimentan el Mioceno local.

Los pluviómetros se instalaron en marzo de 1990 recolectándose en mayo del mismo año. Se han procurado evitar, de este modo, las lluvias de verano siempre de carácter tormentoso en esta zona y, por tanto, no representativas de la dinámica isotópica general.

- 2.- Muestreo de los cuatro cursos más importantes de aguas superficiales que drenan la Ibérica en el sector a estudiar: ríos Huerva, Aguasvivas, Martín y Guadalopillo-Guadalope. En todos los casos se han tomado las muestras aguas arriba de las colas de los primeros embalses para evitar fenómenos de concentración isotópica por evaporación. Las aguas así muestreadas, por tanto, han de corresponder a la composición isotópica media de la zona de drenaje de cada río aguas arriba del punto de muestreo. De este modo, se puede tener una idea de los valores integrados medios de la Ibérica en este tramo, a comparar con los más puntuales de unas simples lluvias de primavera.
- 3.- Muestreo isotópico de las descargas problema. Una vez calculadas las ecuaciones de variabilidad (X, Y, Z) para cada isótopo estable (^{18}O , ^2H) en la zona de trabajo mediante las aguas meteóricas previamente analizadas, con los resultados analíticos de las descargas se podrá conocer cuál es el área de alimentación aproximada de cada una de ellas.

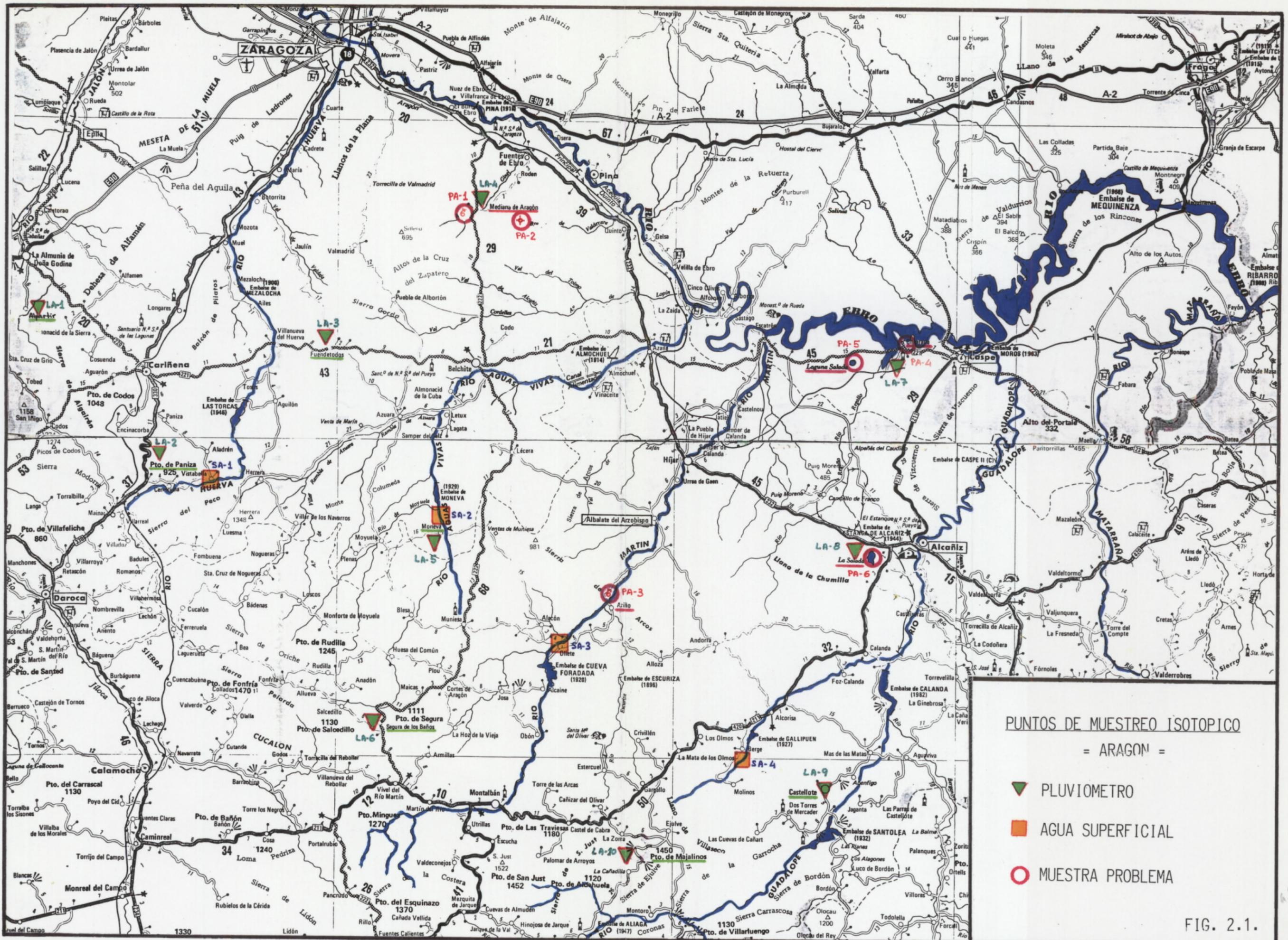
4.- Con el fin de disponer de otra vía complementaria de apoyo isotópico a las conclusiones deducidas mediante el empleo de ^{18}O y ^2H , se ha analizado también el $^{34}\text{S}+^{18}\text{O}$ del sulfato disuelto y el $^{13}\text{C}+^{18}\text{O}$ de los bicarbonatos, precipitándolos con Ba_2Cl , respectivamente en medio ácido y básico. Cuanto más pesados tiendan a ser estos valores, mayor influencia de medio marino podrán de manifiesto. Dado el carácter continental de los sedimentos de la Depresión del Ebro y las facies marinas de los materiales de la Ibérica, quizás se advierta el suficiente contraste isotópico como para poder determinar cuál es la unidad fuente de sus sulfatos y cloruros.

5.- De las 10 muestras de lluvia obtenidas, se han llevado a cabo tres determinaciones de ^3H para conocer la concentración actual de este isótopo en las precipitaciones.

Del mismo modo, de las seis muestras problema se han analizado también sus contenidos de tritio con el fin de cuantificar el posible tiempo de residencia de las mismas y completar, mediante este parámetro, el esquema del circuito dinámico de cada una de ellas.

2.3.- MUESTREO REALIZADO

En la fig. 2.1 se indica la situación de todos los puntos de agua muestreados. Como ya se ha referido en el capítulo precedente, los pluviómetros se han instalado de manera que cubran la zona en los tres ejes del espacio. En la tabla 2.1 se indica su posición reseñando la unidad morfoestructural a la que pertenecen y su cota altimétrica, variando ésta desde los 140 m



PUNTOS DE MUESTREO ISOTOPICO

= ARAGON =

- ▼ PLUVIOMETRO
- AGUA SUPERFICIAL
- MUESTRA PROBLEMA

FIG. 2.1.

213

**TABLA 2.1.- SITUACION DE LAS MUESTRAS ISOTOPICAS DE AGUAS
METEORICAS EN ZARAGOZA-TERUEL**

PLUVIOMETROS

MUESTRA	LOCALIDAD	UNIDAD	X(UTM)	Y(UTM)	Z(m)
LA-1	Alpartir	C. Ibérica	635.5	4587.6	500
LA-2	Pto. Paniza	C. Ibérica	646.6	4566.6	940
LA-3	Fuendetodos	C. Ibérica	670.6	4578.7	750
LA-4	Mediana	D. Ebro	690.5	4592.8	310
LA-5	Moneva	C. Ibérica	681.8	4555.5	659
LA-6	Segura Baños	C. Ibérica	672.6	4534.1	1100
LA-7	Baños Fonté	D. Ebro	736.8	4567.7	140
LA-8	Alcañiz	D. Ebro	737.2	4548.7	350
LA-9	Castellote	C. Ibérica	726.2	4520.2	776
LA-10	Pto. Majalinos	C. Ibérica	703.0	4514.0	1430

AGUAS SUPERFICIALES

MUESTRA	RIO	LOCALIDAD	X(UTM)	Y(UTM)	Z(m)
SA-1	Huerva	Vistabella	654.8	4564.7	740
SA-2	Aguasvivas	Moneva	681.8	4555.5	650
SA-3	Martín	Oliete	695.7	4541.5	520
SA-4	Guadalopillo	Berge	717.3	4526.5	710

sobre el nivel del mar del pluviómetro de Chiprana hasta los 1430 m del puerto de Majalinos. Las lluvias corresponden al período enero-abril de 1990, evitando así las tormentas estivales de resultados isotópicos distorsionadores.

Por lo que respecta a los cursos de agua superficiales, se ha preferido muestrear el Guadalopillo en vez del Guadalope por los dos grandes embalses que existen en el curso alto de este último (Santolea y Calanda). De este modo se elimina la posibilidad de fraccionamientos por evaporación.

En la tabla 2.2 se resume el muestreo efectuado, cuyos resultados analíticos se discuten e interpretan en el próximo apartado. Las muestras poseen numeración correlativa, anteponiéndose una A (Aragón) y tres letras variables según se trate de muestras problema (P), aguas superficiales (S) o aguas de lluvia (L).

2.4.- RESULTADOS OBTENIDOS

En las tablas 2.3 y 2.4 se resumen los resultados isotópicos correspondientes a las muestras referenciadas en el capítulo precedente. Los análisis químicos de las aguas superficiales y aguas problema se adjuntan en el Anexo.

En la fig. 2.2 se representa la correlación $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ de las aguas de lluvia de la zona, que responden a la ecuación:

$$\delta\text{D} = 5,6 \delta^{18}\text{O} - 7,6 \quad (r^2 = 0,90)$$

La inclusión de las aguas de los cursos superficiales a la misma nube de puntos (fig. 2.3), conduce a una ecuación similar con un todavía mayor grado de ajuste.

TABLA 2.2.- RESUMEN DEL MUESTREO REALIZADO

	¹⁸ O	² H	³ H	¹³ C+ ¹⁸ O	³⁴ S+ ¹⁸ O	QUIMICA
<u>AGUAS PROBLEMA</u>						
PA-1 Man. Mediana	X	X	X	X	X	X
PA-2 Son. Fuentes Ebro	X	X	X	X	X	X
PA-3 Man. Ariño	X	X	X	X	X	X
PA-4 Baños Fonté	X	X	X	X	X	X
PA-5 Laguna Caspe	X	X	X	X	X	X
PA-6 Laguna Alcañiz	X	X	X	X	X	X
<u>AGUAS SUPERFICIALES</u>						
SA-1 Rio Huerva	X	X				X
SA-2 Rio Aguasvivas	X	X				X
SA-3 Rio Martín	X	X				X
SA-4 Rio Guadalopillo	X	X				X
<u>AGUAS LLUVIA</u>						
LA-1 Alpartir	X	X				
LA-2 Pto. Paniza	X	X	X			
LA-3 Fuendetodos	X	X				
LA-4 Mediana	X	X				
LA-5 Moneva	X	X				
LA-6 Segura de Baños	X	X	X			
LA-7 Baños de Fonté	X	X				
LA-8 Alcañiz	X	X				
LA-9 Castellote	X	X				
LA-10 Pto. Majalinos	X	X	X			
TOTAL	20	20	9	6	6	10

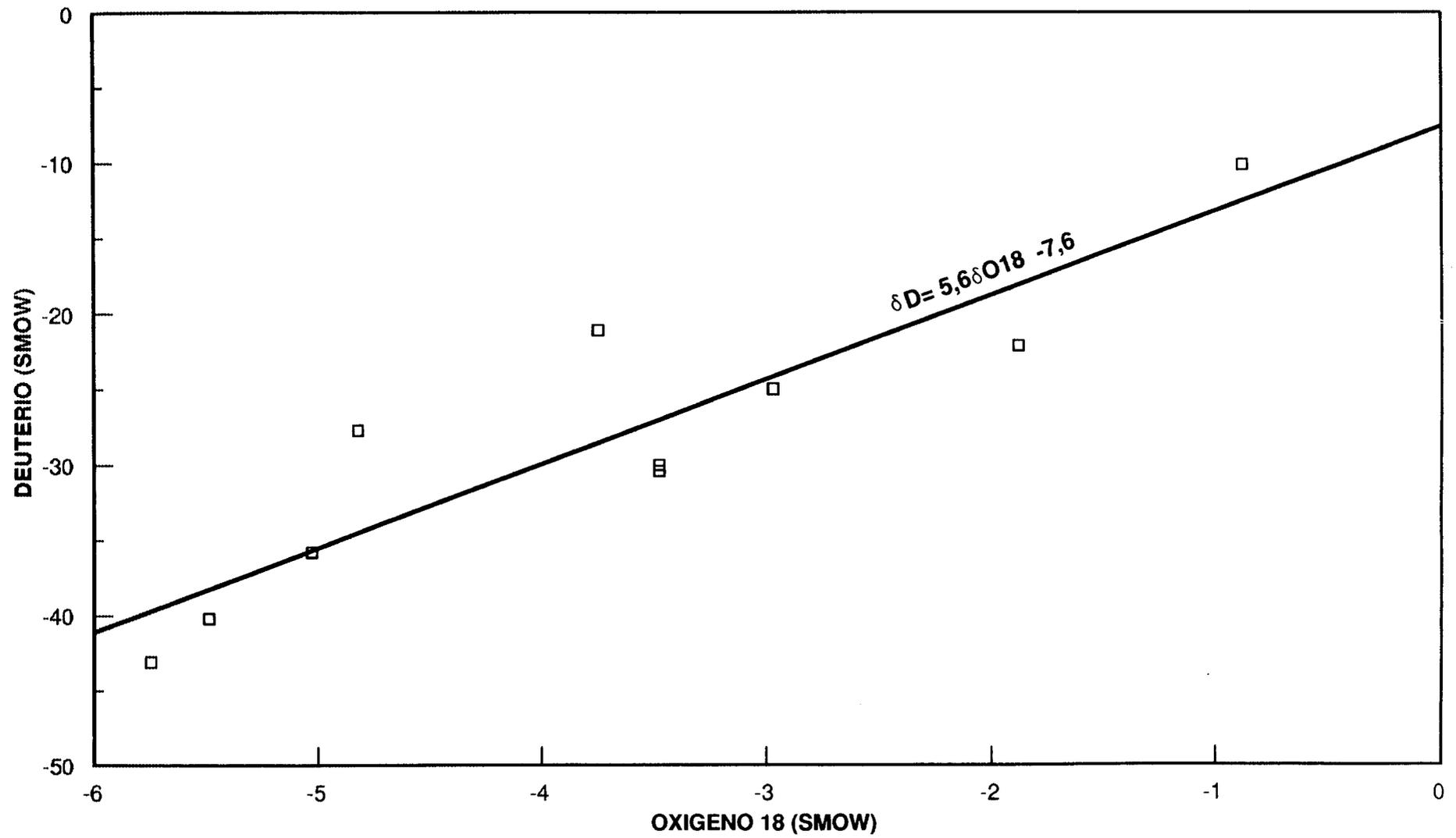
TABLA 2.3.- RESULTADOS ISOTOPICOS DE LAS AGUAS METEORICAS

	^{18}O (‰SMOW)	^2H (‰SMOW)	^3H (UT)
<u>AGUAS LLUVIA</u>			
LA-1 Alpartir	-5.49	-40.2	8.5±1.6
LA-2 Pto. Paniza	-3.48	-30.4	
LA-3 Fuendetodos	-5.75	-43.1	10.4±1.6
LA-4 Mediana	-1.88	-22.1	
LA-5 Moneva	-2.97	-25.0	
LA-6 Segura de Baños	-4.82	-27.7	
LA-7 Baños de Fonté	-0.88	-10.1	10.2±1.6
LA-8 Alcañiz	-3.75	-21.1	
LA-9 Castellote	-3.48	-30.0	
LA-10 Pto. Majalinos	-5.03	-35.8	
<u>AGUAS SUPERFICIALES</u>			
SA-1 Rio Huerva	-7.13	-53.2	
SA-2 Rio Aguasvivas	-6.14	-50.6	
SA-3 Rio Martín	-6.24	-47.2	
SA-4 Rio Guadalopillo	-4.08	-40.1	

TABLA 2.4.- RESULTADOS ISOTOPICOS DE LAS AGUAS PROBLEMA

	MEDIANA PA-1	FTES. EBRO PA-2	ARIÑO PA-3	FONTE PA-4	LAG. CASPE PA-5	LAG. ALCAÑIZ PA-6
^{18}O (SMOW)	-5.48	-5.41	-7.41	-4.42	+1.55	+0.83
^2H (SMOW)	-51.0	-51.0	-52.1	-45.6	-6.60	-14.1
^3H (UT)	4.2±1.4	2.0±1.3	7.2±1.4	14.8±1.7	12.8±1.6	13.6±1.6
CO_3^-						
^{13}C (PDB)	-11.93	-6.67	-8.87	-15.10	-8.61	-17.39
^{18}O (PDB)	-12.26	-11.53	-12.49	-9.70	-5.36	-10.21
SO_4^-						
^{34}S (CDT)	+10.3	+11.0	+12.6	+9.8	+12.1	+9.0
^{18}O (SMOW)	+14.0	+14.6	+12.1	+12.8	+17.9	+9.0

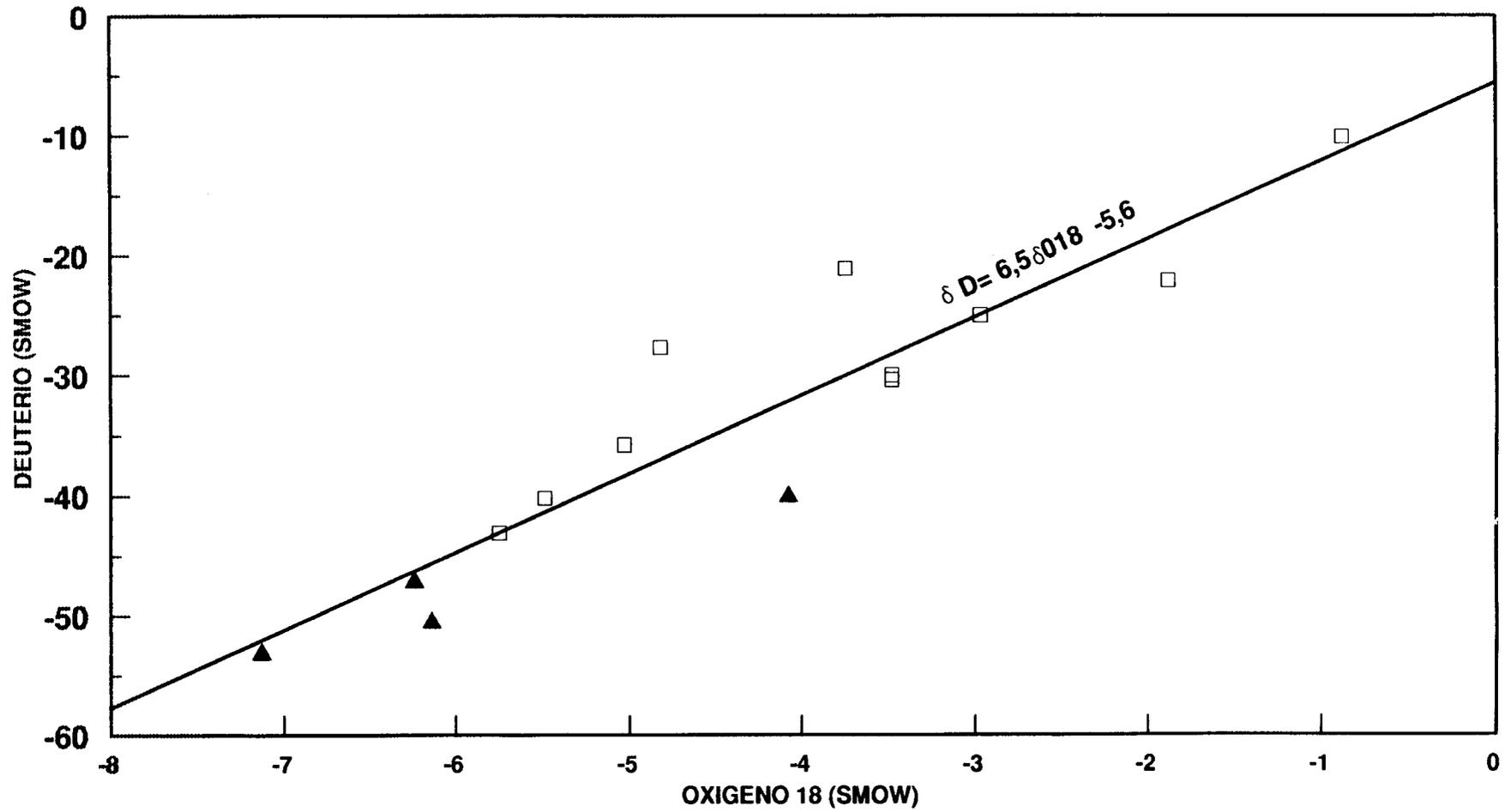
DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA



ref.:c:\pccc\diagrama.la.drw

Fig. 2.2

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA + SUPERFICIALES



ref.:c:\pirc\diagm\la-sa.drw

LLUVIA	AGUAS SUPERFICIALES
□	▲

Fig. 2.3

$$\delta D = 6,5 \delta^{18}O - 5,6 \quad (r^2 = 0,92)$$

Este hecho implica la práctica ausencia de evaporación en las aguas de estos principales cursos superficiales. El fenómeno es justificable al haber sido muestreadas en su curso alto y proceder de macizos carbonatados de rápido coeficiente de infiltración.

El buen ajuste zonal de las aguas meteóricas permite plantear con cierta fiabilidad las leyes de variabilidad isotópica en función de la longitud, latitud y altura con el fin de intentar delimitar las zonas de recarga preferencial de las aguas problema.

Esta correlación se ha calculado con los dos isótopos estables de la molécula del agua, ^{18}O y 2H , aunque, como es sabido pero no suficientemente demostrado, este tipo de correlación suele funcionar mucho mejor con el ^{18}O que con el deuterio.

Las figs. 2.4 y 2.5 constituyen las respectivas correlaciones entre ^{18}O -altura y 2H -altura de las aguas meteóricas estudiadas. Las correspondientes ecuaciones de ajuste son:

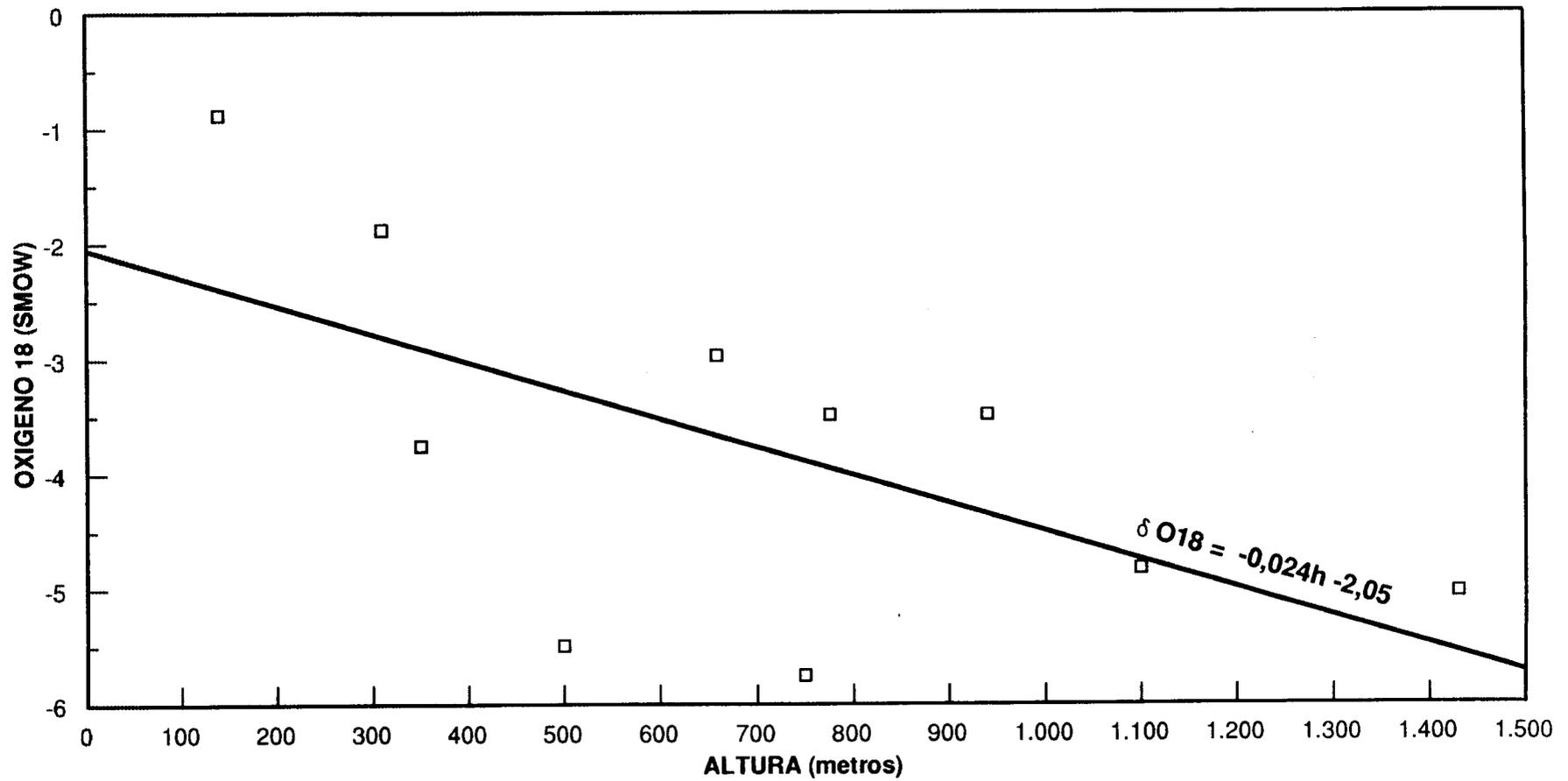
$$\begin{aligned} \delta^{18}O &= -0,0024 h - 2,05 & (r^2 = 0,61) & \quad (\text{fig. 2.4.}) \\ \delta^2H &= -0,014 h - 18,78 & (r^2 = 0,56) & \quad (\text{fig. 2.5.}) \end{aligned}$$

Los valores del coeficiente de regresión del orden de 0,6 indican una deficiente correlación, aunque los valores absolutos de las pendientes angulares y los términos independientes de las ecuaciones están dentro de los valores normales definidos para otras zonas de la geografía española.

Por lo que respecta a las ecuaciones de variabilidad de longitud y latitud, la variación temporal de inclinación del

CORRELACION ALTURA - OXIGENO 18(SMOW)

aguas de lluvia

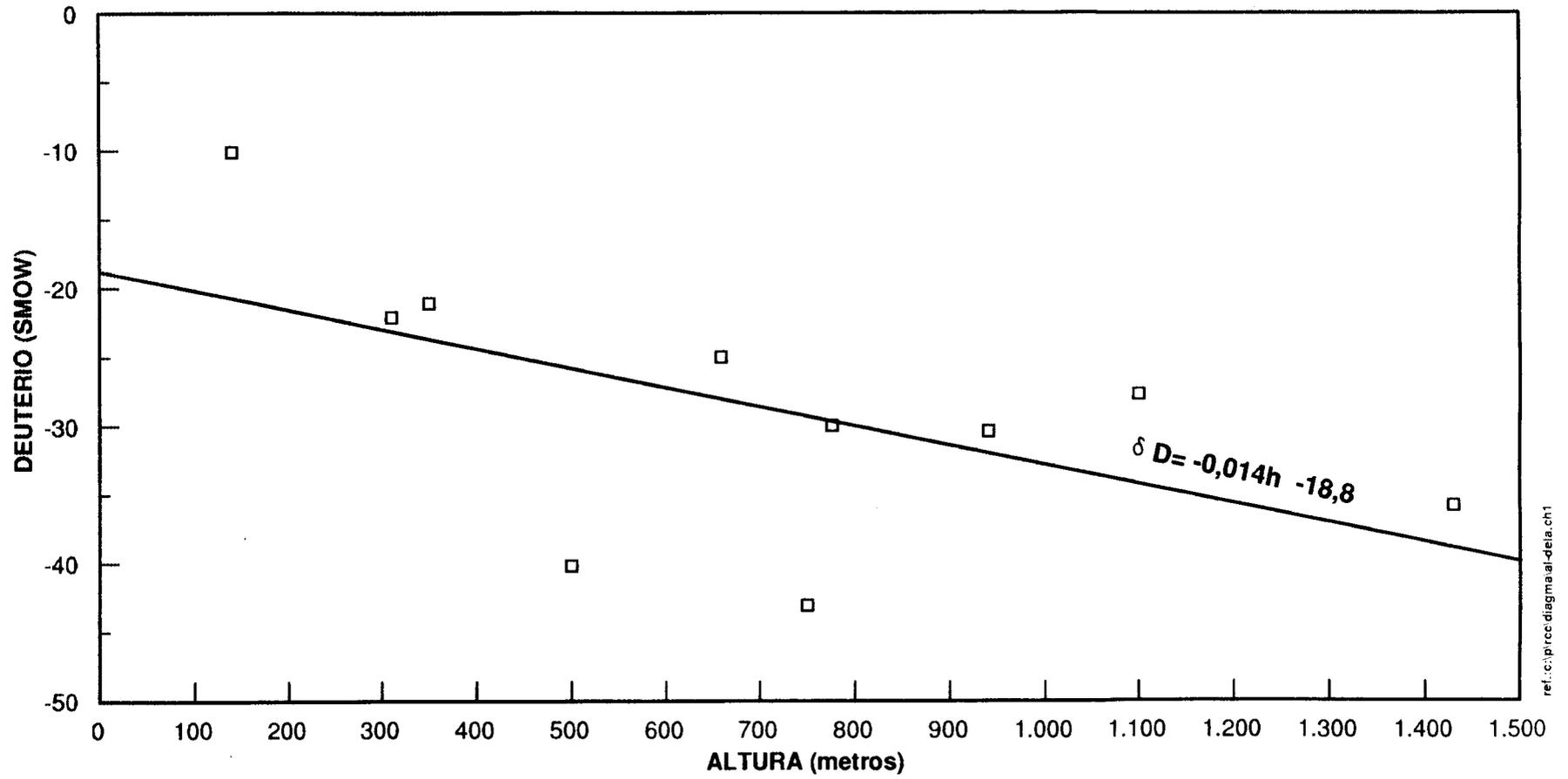


ref.: c:\pcc\diagrama\al-ox18

Fig. 2.4

CORRELACION ALTURA - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia



ref.:c:\prcci\diagrama\delta.d.ch1

Fig. 2.5

vector W-E que define las precipitaciones peninsulares suele ser acusada, por lo que la correlación de las coordenadas X, Y respecto al contenido isotópico tiene tendencia a presentar siempre coeficientes de ajuste inferiores a 0,5. No obstante, y con todas las reservas, puede resultar indicativa a la hora de acotar el proceso de recarga.

De acuerdo con este razonamiento, las figs. 2.6 y 2.7 representan el ajuste de la variabilidad isotópica en función de la longitud, referida al meridiano Lérida-Benicarló que se ha tomado como origen arbitrario de escala. Se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\delta^{18}\text{O} &= -0,016 \text{ l(km)} - 1,58 & (r^2 = 0,47) \\ \delta^2\text{H} &= -0,138 \text{ l(km)} - 10,77 & (r^2 = 0,62)\end{aligned}$$

Del mismo modo, el efecto de latitud, mucho menos perceptible, y por tanto con un error considerablemente mayor que impide tenerlo en consideración vale (figs. 2.8 y 2.9).:

$$\begin{aligned}\delta^{18}\text{O} &= -0,014 \text{ l(km)} - 2,94 & (r^2 = 0,28) \\ \delta^2\text{H} &= -0,036 \text{ l(km)} - 26,46 & (r^2 = 0,12)\end{aligned}$$

En la fig. 2.10 se han representado los puntos problema respecto a la recta de aguas de lluvia locales calculada para este fin. Mediante líneas a trazos se han unido estos mismos puntos con cada una de las aguas de lluvia que corresponden a su zona de existencia física. Resulta evidente que existe una clara desconexión geográfica entre la zona de descarga y la de recarga teóricas. Analicemos cada uno de los puntos problema.

2.4.1.- SECTOR DE MEDIANA-FUENTES DE EBRO

El manantial de Mediana y el sondeo surgente de Fuentes de

CORRELACION LONGITUD - OXIGENO (SMOW)

aguas de lluvia

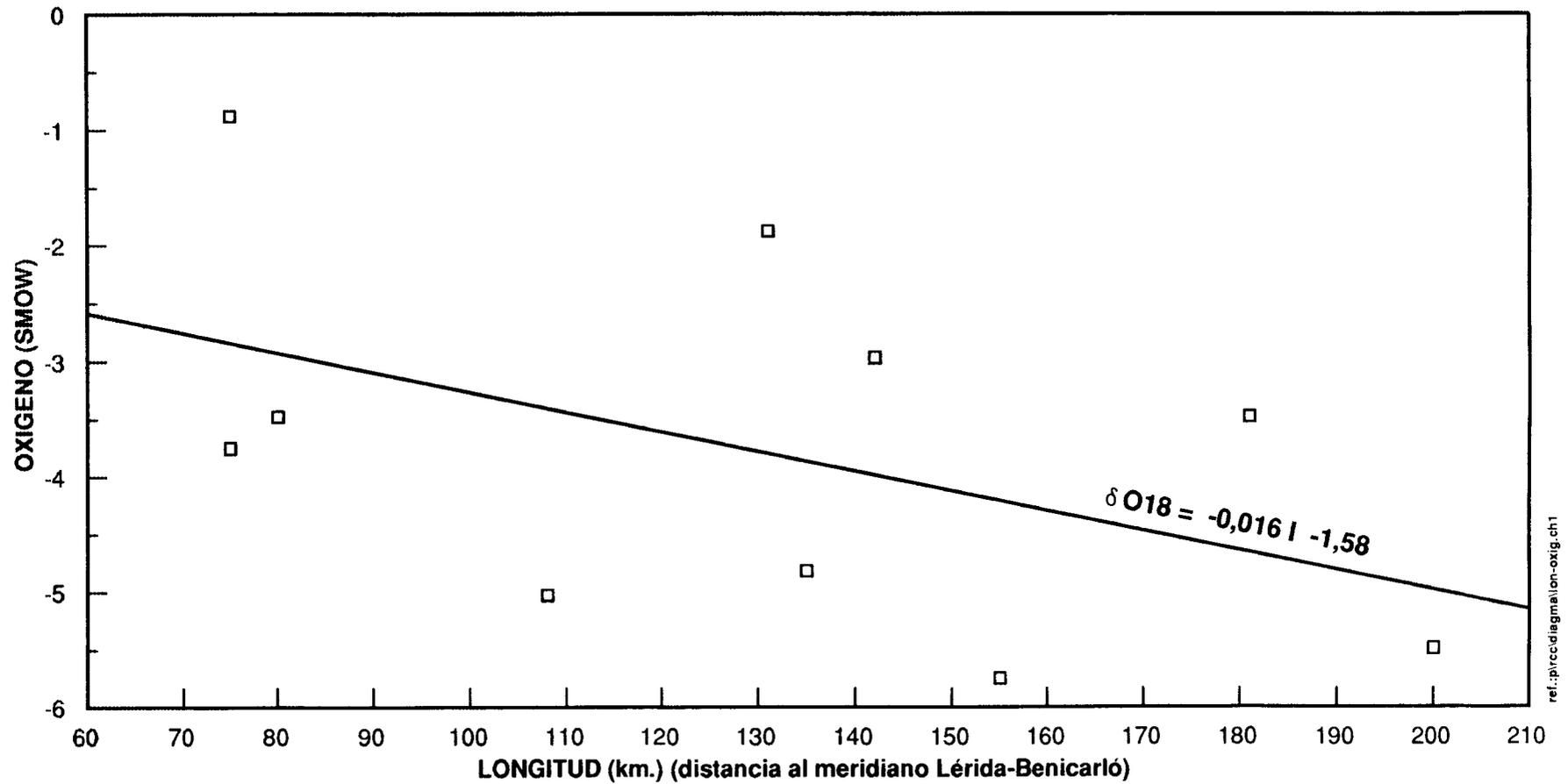


Fig. 2.6

CORRELACION LONGITUD - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia

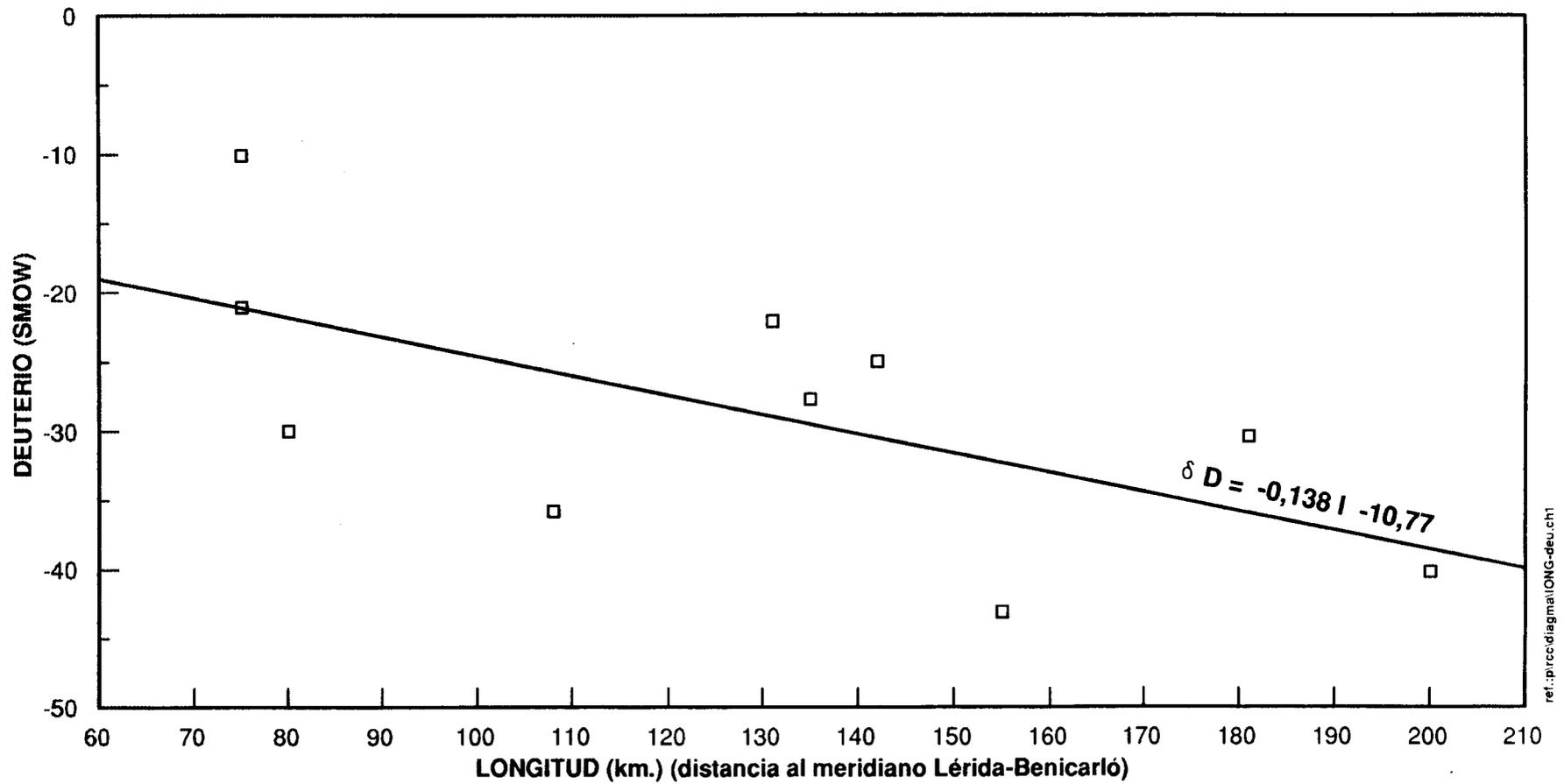
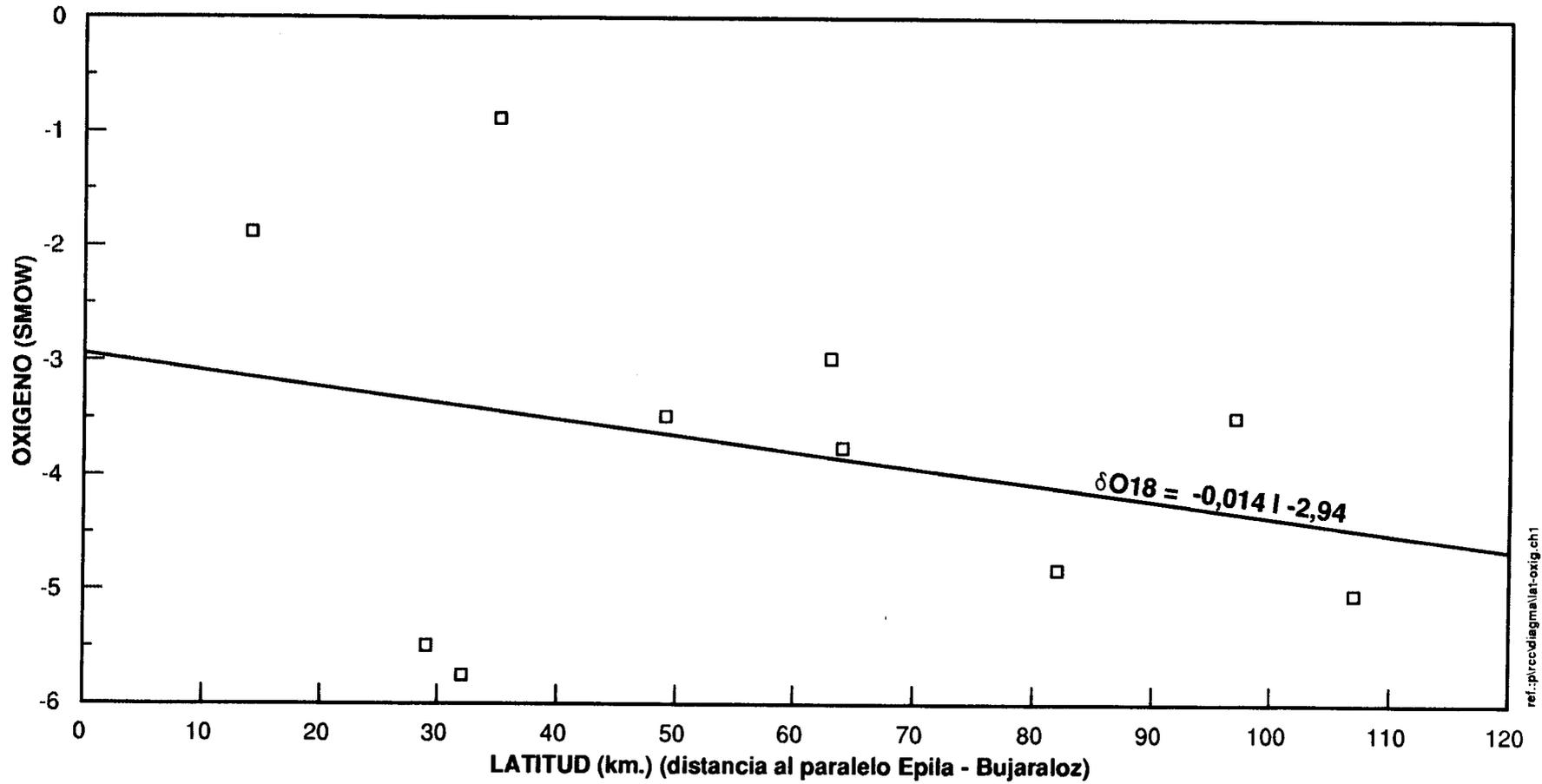


Fig. 2.7

CORRELACION LATITUD - OXIGENO (SMOW)

aguas de lluvia

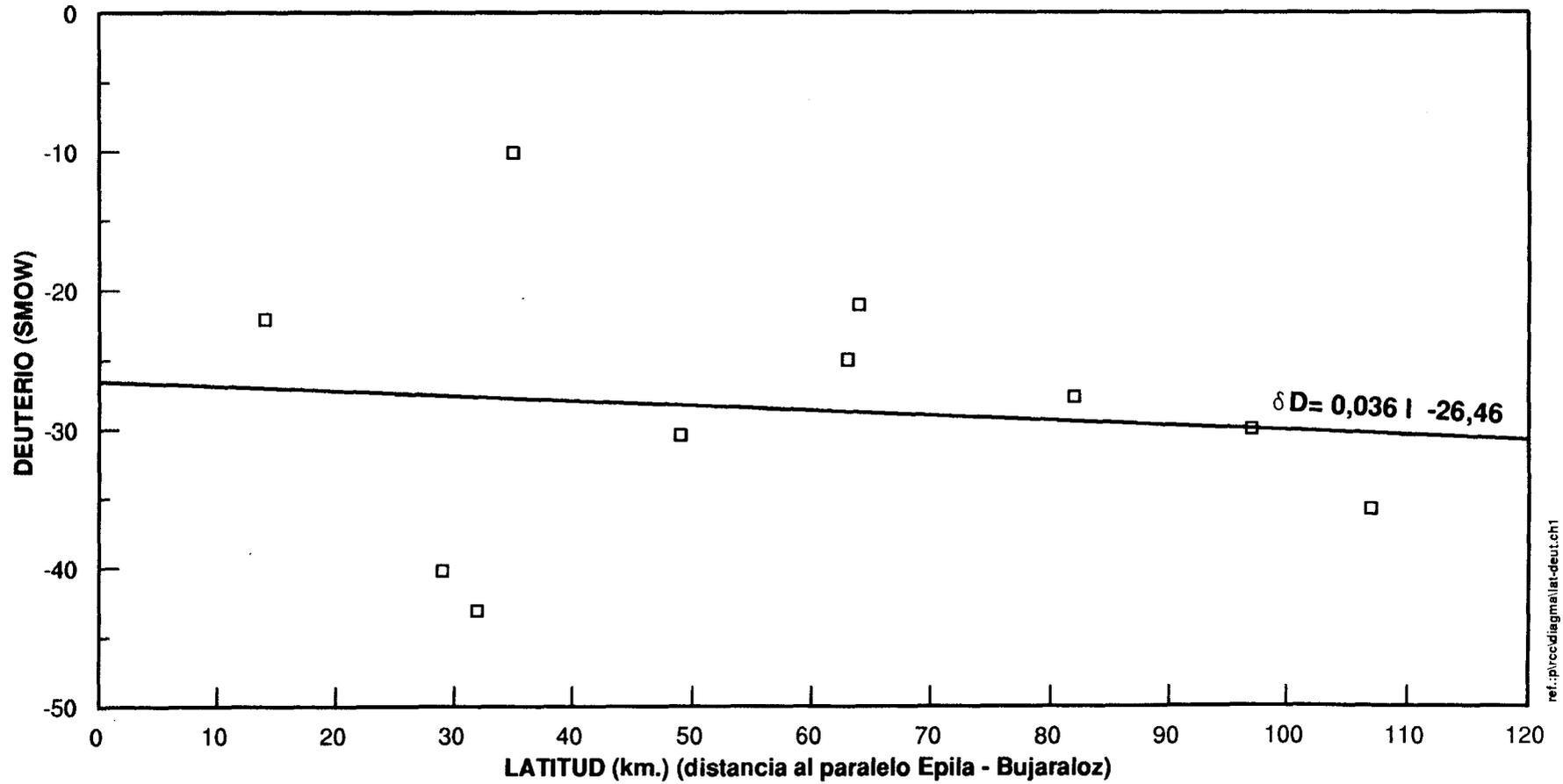


ref.:p:rcvdiagm\lat-oxig.ch1

Fig. 2.8

CORRELACION LATITUD - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia



ref.: p:\ccod\diagma\lat-deu.ch1

Fig. 2.9

CORRELACION AGUAS METEORICAS - AGUAS PROBLEMA

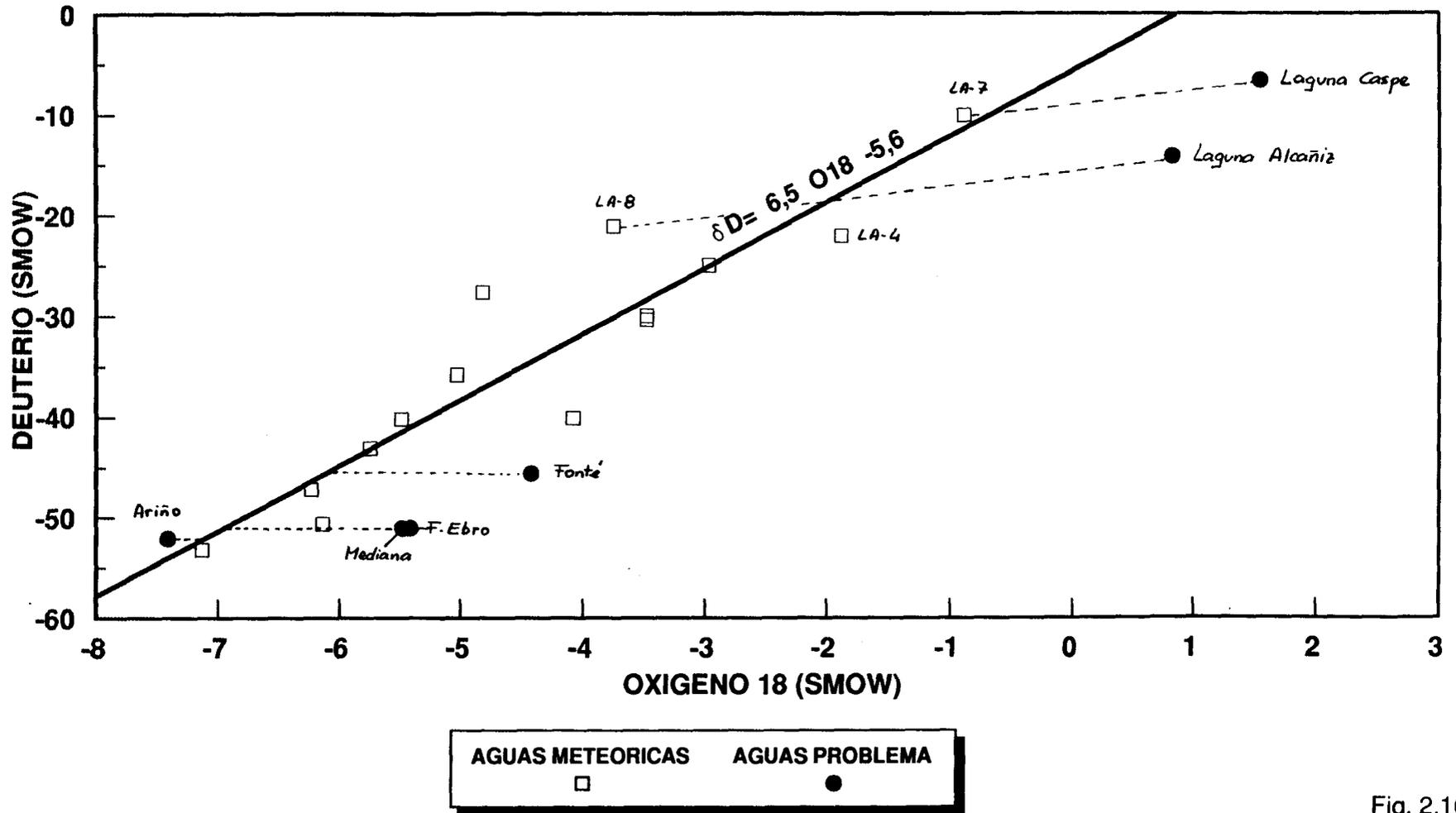


Fig. 2.10

Ebro presentan resultados similares de ^{18}O y ^2H , deduciéndose por tanto un origen común en cuanto a zona geográfica de recarga.

Las lluvias de la zona corresponderían a la composición isotópica de la muestra LA-4, pluviómetro situado en la localidad de Mediana ($^{18}\text{O} = 1,88$, $^2\text{H} = -22,1$). Las muestras problema de agua subterránea tienen, sin embargo, una composición isotópica totalmente diferente ($^{18}\text{O} = -5,4$, $^2\text{H} = -51,0$), que proviene de un agua de lluvia de composición original: $^{18}\text{O} = -6,8$, $^2\text{H} = -51,0$. (fig. 2.10).

Esta composición isotópica mucho más ligera, corresponde a una zona de recarga de mayor altura topográfica. De acuerdo con las leyes de variabilidad previamente definidas, esta altura debería ser de 1750 m. (^{18}O) y 2250 m (^2H). Al igual que sucede en la mayor parte de los casos, el ^{18}O responde mucho mejor al efecto altura que el ^2H . Si, además, se tiene en cuenta que el grado de ajuste de las ecuaciones de variabilidad dejan bastante que desear ($r^2 \approx 0,6$), cabe concluir que la recarga tiene lugar en una zona cuya cota altimétrica es del orden 1.300 ± 500 m.

El grado de ajuste de los efectos de longitud y latitud no permite repetir este ejercicio de manera rigurosa, aunque si marca que la recarga tiene lugar unos 200 ± 100 km al **sur** del paralelo de Epila-Bujaraloz y 230 ± 100 km al **oeste** del meridiano de Lérida-Benicarló. Sin pretender más precisión, resulta evidente que la recarga proviene de la Ibérica. Una mayor laxitud de interpretación permitiría situar la recarga por la Sierra de Cucalón, más por lógica interpretativa que por rigor científico en base a la cantidad y calidad de los datos existentes.

Los valores de ^{13}C y ^{18}O de la molécula de carbonato de las aguas problemas son más pesados en el sondeo de Fuentes de Ebro

que en el manantial de Mediana. Este resultado puede interpretarse como un mayor intercambio del agua con sedimentos marinos del primero respecto al segundo, o a una circulación preferente por materiales continentales del agua de Mediana respecto a la de Fuentes de Ebro.

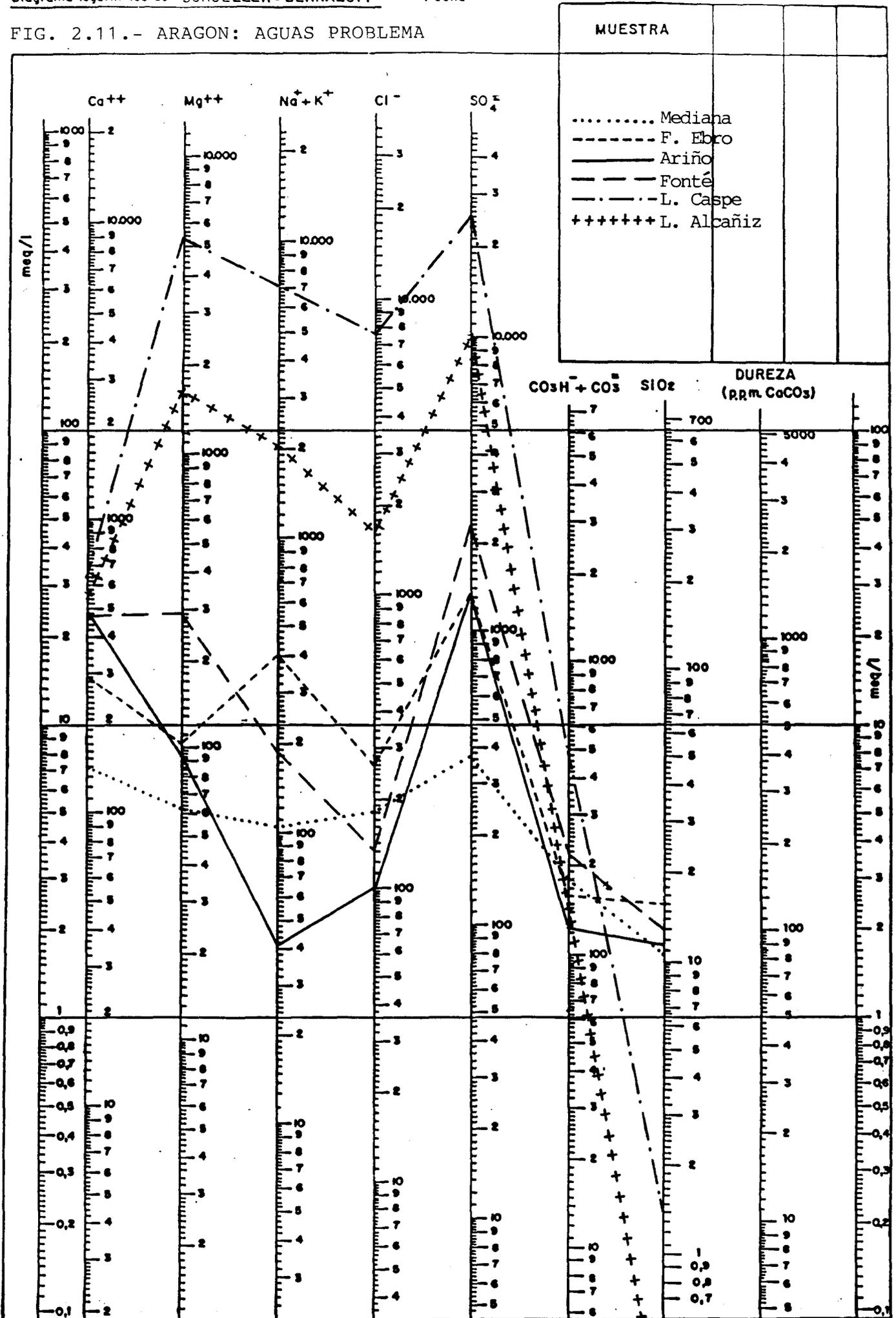
Los contenidos de ^{34}S (SO_4)⁻ son muy similares (+10 \approx +11%) y lejanos del +21% que corresponderían al agua típicamente marina. Este valor es típico de aguas que adquieren su mineralización por circulación en facies mixtas, continentales y marinas, promediando el referido valor de +10%. Del mismo modo, el contenido en ^{18}O de la molécula de sulfato (+14,0 / +14,6%) está dentro del rango normal para aguas dulces (+8 / +17%).

De acuerdo con las muestras tomadas específicamente para este estudio, los contenidos de tritio de las lluvias actuales en la zona son de 8,5 - 10,4 U.T. El manantial de Mediana presenta un contenido de 4,2 U.T. y el sondeo de Fuentes de Ebro de 2,0 U.T.

Para estos valores puede considerarse en primera aproximación un modelo de circulación a pistón, que en todo caso correspondería a agua pre-nuclear del período 1951-1959, siendo el tiempo de tránsito del agua del sondeo de Fuentes de Ebro mayor que el del manantial de Mediana.

Esta afirmación hecha por vía isotópica viene confirmada por la composición química de las aguas (fig. 2.11 y Anexo). En efecto, ambos análisis corresponden a aguas sulfatadas alcalinas o alcalino-térreas, pero presentando doble mineralización la del sondeo de Fuentes de Ebro frente a la del manantial de Mediana.

FIG. 2.11.- ARAGON: AGUAS PROBLEMA



En conclusión, por tanto, ambas aguas poseerían un origen geográfico común, con recarga en la misma zona de la Ibérica y con tiempos de tránsito superiores a los 35-40 años, aunque mayor en el caso del sondeo de Fuentes de Ebro respecto al Mediana. El enriquecimiento relativo en isótopos pesados del agua de Fuentes de Ebro apunta a un mayor grado de contacto con materiales marinos mesozóicos; en el caso de Mediana la circulación estaría más influenciada por litofacies de tipo continental.

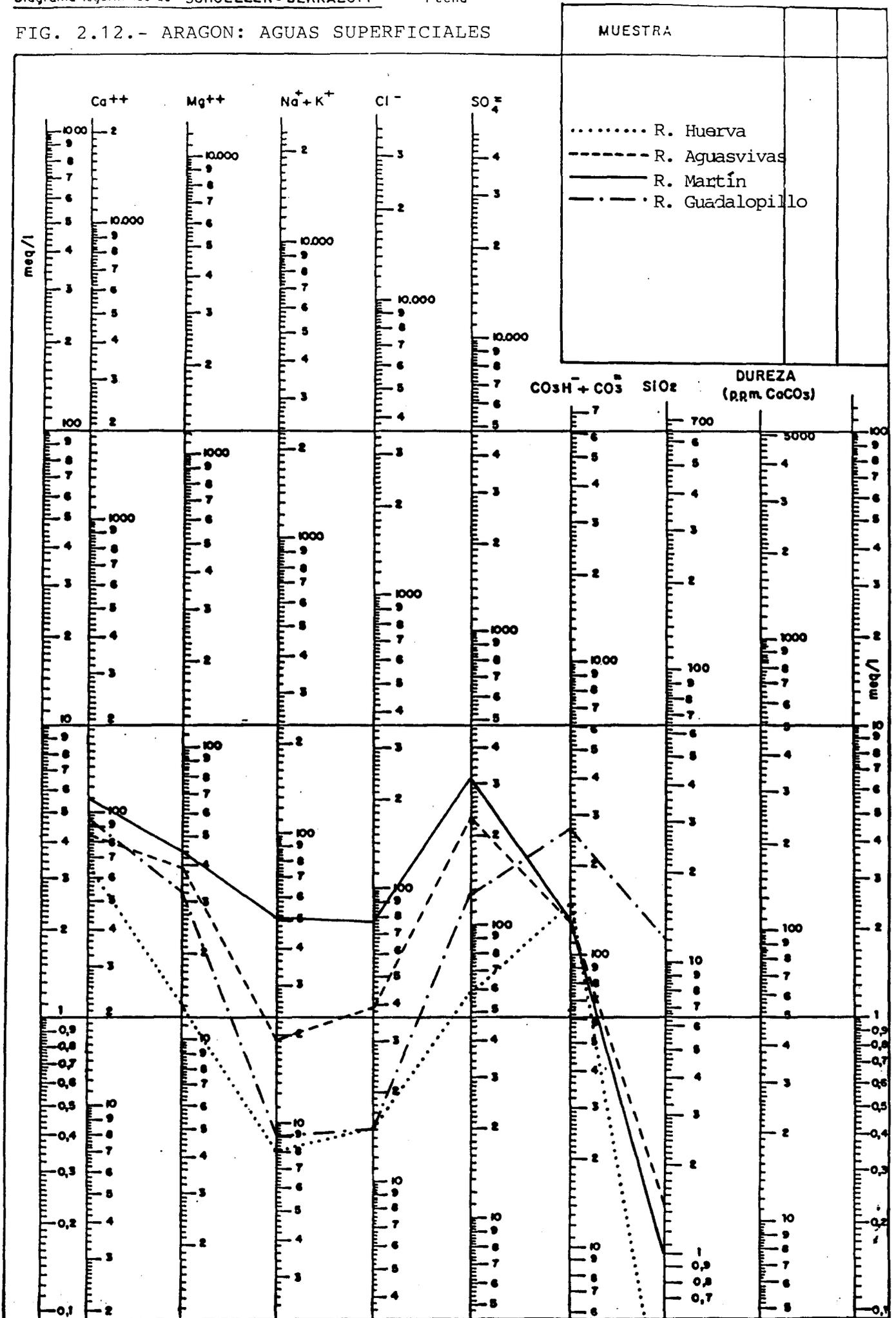
2.4.2.- MANANTIAL DE ARIÑO

El contenido en ^{18}O y ^2H de las aguas del manantial de Ariño corresponde prácticamente al valor de la precipitación local (fig. 2.10), sin ningún fenómeno modificador adicional, es decir, a un agua de lluvia con valores de $^{18}\text{O} = -7,1$ y $^2\text{H} = -51,5$.

De acuerdo con las correlaciones de variabilidad espacial, esta precipitación correspondería a una zona de recarga prácticamente coincidente con la del sistema de Mediana-Fuentes de Ebro antes referida ($^{18}\text{O} = -6,8$ y $^2\text{H} = -51,0$), por lo que son válidos todos los razonamientos efectuados en el apartado precedente. Igual puede decirse de los valores de ^{13}C y ^{34}S , muy similares a los anteriormente citados.

El contenido de tritio es de $7,2 \pm 1,4$ U.T., que corresponde a un tiempo de tránsito del orden de 3-6 años para un modelo de flujo de pistón. La composición química sulfatada cálcica con una relación $r\text{SO}_4^{=}/r\text{Ca}^{++}$ próxima a la unidad indica una inequívoca circulación por yesos (fig. 2.11). El agua del río Martín, a su paso por el manantial es también sulfatada cálcica, aunque con una mineralización cuatro veces menor (fig. 2.12).

FIG. 2.12.- ARAGON: AGUAS SUPERFICIALES



El valor de +12,6% de ^{34}S sería acorde con una típica circulación por los materiales del Keuper.

Estamos, por tanto, ante un agua recargada por el mesozóico de la Ibérica, no en la Sierra de Arcos donde aparece, sino sobre el gran anticlinal desventrado de núcleo triásico situado al SW, con una circulación rápida (3-6 años), pero suficiente para adquirir una mineralización cuatro veces superior a la del drenaje epidérmico de la misma zona representado por el río Martín.

2.4.3.- SECTOR DE CASPE-CHIPRANA

Se trata en este caso de discutir los orígenes de la descarga correspondiente a los Baños de Fonté y de la Laguna Salada de Chiprana, situados geográficamente muy próximos, al este de Caspe.

Los contenidos isotópicos en ^{18}O y ^2H de ambas muestras problema resultan rotundamente distintos. Además, las aguas de Fonté no corresponden en absoluto con la muestra de lluvia (LA-7) obtenida en este mismo lugar (fig. 2.10).

En efecto, el agua subterránea de los Baños de Fonté obedecería a una recarga de lluvia con una composición isotópica de $^{18}\text{O} = -6,2\%$ y $^2\text{H} = -45,0\%$, muy apartada de la precipitación local obtenida en el pluviómetro LA-7 allí instalado ($^{18}\text{O} = -0,88\%$, $^2\text{H} = -10,1\%$).

La recarga de los Baños de Fonté habría que situarla en una cota de 800 ± 200 m, que correspondería a los primeros relieves de la Ibérica, y a unas coordenadas próximas a la zona de Alcorisa-Castellote. Se trataría, por tanto, de un circuito

subterráneo equivalente al superficial del Guadalupe.

El aligeramiento isotópico en ^{13}C y ^{34}S respecto a las demás muestras problema debería interpretarse como una circulación predominante por materiales de facies continental, en consonancia con su composición sulfatada cálcico-magnésica y a su grado de mineralización.

Por otra parte, el contenido de $14,8 \pm 1,7$ U.T., muy próximo a las lluvias actuales puede justificarse mediante un modelo de pistón con 35 años de tiempo de tránsito, o bien como una mezcla de aguas recientes de los últimos 5 años, lo cual correspondería a un drenaje epidérmico acusadamente rápido a través del Terciario continental.

El agua de la laguna de Chiprana, por el contrario, corresponde por su contenido en $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ a la lluvia local (LA-7), derivada hacia pesado de acuerdo con la típica recta de evaporación de pendiente $\text{tg}\alpha = 1,44$ (fig. 2.10).

A la vista de estos resultados totalmente inequívocos, no puede sustentarse la hipótesis de una recarga por la Ibérica y una circulación profunda emergente, sino que se trata de un puro y simple fenómeno de endorreismo.

Las $12,8 \pm 1,6$ U.T. apoyarían esta afirmación, al estar las lluvias actuales en $10,4 \pm 1,6$ U.T. Este contenido de tritio correspondería, sencillamente, a una mezcla de lluvias de los últimos 3-5 años.

2.4.4.- LAGUNA SALADA GRANDE DE ALCAÑIZ

Idéntico razonamiento puede hacerse de esta otra gran

laguna. Según puede observarse en la fig. 2.10, su relación $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ se corresponde con la de las lluvias locales de la zona de Alcañiz (LA-8) de acuerdo con una recta de evaporación de casi idéntica pendiente que la de Chiprana ($\text{tg}\alpha = 1,52$).

La concentración de tritio, del $13,6 \pm 1,6$ U.T. indica también una mezcla de aguas recientes, correspondientes a las precipitaciones de los últimos cinco años.

Los contenidos de ^{13}C y ^{34}S son acusadamente más ligeros que los de la Laguna de Chiprana, indicando una velocidad del proceso entre evaporación/alimentación notablemente menor que en la Laguna de Caspe.

3.- ORIGEN DE LA RECARGA DEL HACHO DE LOJA (GRANADA)

3.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el presente proyecto se puede estudiar la existencia o no de conexión hidráulica entre las unidades calcáreas de Sierra Gorda y el Hacho de Loja (Granada), así como determinar el origen de la recarga del Hacho de Loja.

El acuífero de Sierra Gorda (unidad subbética del sector occidental granadino) comprende, además del macizo carbonatado del mismo nombre, otro pequeño macizo situado al N de éste, denominado Hacho de Loja y un área deprimida endorréica que se localiza al S de aquél, conocida como el poljé de Zafarraya (fig. 3.1.).

Una pequeña porción del área, en su extremo suroeste, pertenece a la provincia de Málaga y corresponde también a la vertiente mediterránea. El resto de la zona, sin embargo, no vierte superficialmente a la cuenca del Guadalquivir en su totalidad, sino que una parte importante lo hace a la cuenca endorréica de Zafarraya.

El Hacho de Loja es un afloramiento bien individualizado que alcanza la altitud máxima de 1.025 m, situado al norte del río Genil y de la ciudad de Loja. El acuífero está constituido por calizas y dolomías jurásicas de unos 600 m de potencia y una superficie de afloramiento de 9 km². El substrato impermeable corresponde a materiales del Trías (Keuper). El acuífero está cubierto localmente por formaciones margosas cretácicas.

El macizo de Sierra Gorda propiamente dicho tiene una superficie aproximada de 260 km². Los flancos del macizo suelen ser abruptos, mientras que la topografía de la parte superior es más suave, con alturas comprendidas normalmente entre 1.400 y 1.600 m, donde existe un espectacular desarrollo de formas kársticas de absorción.

Este macizo lo integran dos unidades diferentes: la de Sierra Gorda al norte y la de Zafarraya al sur. En la primera, el acuífero se desarrolla en calizas jurásicas de potencia desconocida, pero que debe alcanzar varios centenares de metros. El substrato, verosímilmente triásico, no llega a aflorar. Al este del macizo, el acuífero aparece cubierto por formaciones cretácicas impermeables. La unidad de Zafarraya presenta una secuencia esencialmente carbonatada; en relación con ella existe una potente formación de litología diversa y edad mayoritariamente paleógena, que aflora al sur y al oeste del macizo (Complejo de Colmenar-Periana), de carácter impermeable en su conjunto.

En el poljé de Zafarraya existe un relleno fundamentalmente detrítico, del orden del centenar de metros, compuesto por materiales margoarenosos terciarios de permeabilidad variable y aluviones cuaternarios permeables, que se dispone sobre los materiales carbonatados del macizo. Se evidencia una comunicación hidráulica entre ambos acuíferos, carbonatado y detrítico.

El poljé está recorrido longitudinalmente por el arroyo de la Madre, procedente de Sierra Tejeda, que, además de ceder parte de su caudal al acuífero cuaternario a lo largo de su cauce, se infiltra totalmente a través de unos sumideros, los cuales ocasionalmente pueden, en función de la pluviometría, actuar también como puntos de emisión. Estas características,

junto a otras de tipo geomorfológico, unidas a su considerable extensión, del orden de 40 km², hacen de este poljé una de las formas kársticas más espectaculares en su género de todo el ámbito mediterráneo occidental.

Desde el punto de vista tectónico, se admite que la unidad de Zafarraya cabalga sobre la de Sierra Gorda, contacto que se halla afectado a su vez por fallas normales posteriores y sobre el cual se localiza el poljé. El macizo principal, correspondiente a la unidad de Sierra Gorda, tiene una estructura a manera de gran domo alargado, afectado también por varios sistemas de fallas; se sospecha que esta unidad cabalga sobre la del Hacho de Loja, aspecto que, sin embargo, no puede observarse con claridad debido a los recubrimientos que enmascaran el contacto.

Los materiales discordantes que afloran en el borde oriental del acuífero están integrados por depósitos permeables de conglomerados y calcarenitas, sobre los que se dispone una formación de margas y limos, a veces con yesos, de carácter impermeable. La potencia de esta serie neógena es de unos 250 m. Los materiales carbonatados jurásicos de las unidades de Sierra Gorda y Zafarraya forman un único conjunto hidrogeológico. La conexión también se sospecha en relación con la unidad del Hacho de Loja, ya que en ésta existe un drenaje visible cuya magnitud supera ampliamente los recursos propios de la misma, mientras que su eventual relación hidráulica con otros acuíferos en situación más septentrional parece difícil de mantener.

De manera general, el acuífero presenta los siguientes límites, todos ellos impermeables: metapelitas de la unidad Sierra Tejada por el sureste; materiales del Complejo de Colmenar-Periana por el suroeste y oeste; depósitos del Trias (Keuper) por el noroeste y norte y cretácicos y neógenos por el

este. Con estos condicionantes, no deben ser importantes las salidas subterráneas hacia acuíferos adyacentes.

La pluviometría del área se estima en unos 860 mm/año, con un período de estiaje entre Junio y Septiembre. Dadas las características morfológicas de la sierra puede concluirse que la escorrentía superficial reviste escasa importancia pasando la mayor parte de las precipitaciones no evapotranspiradas a infiltrarse en el acuífero (40% de la pluviometría).

En el macizo de Sierra Gorda se han determinado valores de transmisividad entre 100 y 900 m²/día. Registros piezométricos en relación con los acuíferos del poljé de Zafarraya ponen de manifiesto, para el acuífero kárstico profundo, un flujo subterráneo de componente norte en aguas altas y una divisoria de direcciones hacia el norte y el sur en estiaje, todo ello en el sector occidental del poljé. La profundidad del nivel varía, según los sectores, entre 25 y 100 m, con fluctuaciones importantes (se han citado de hasta 100 m). Un sondeo efectuado en las inmediaciones del manantial de Guaro ha registrado variaciones de nivel de 40 m, siempre en estrecha relación con la distribución pluviométrica.

El acuífero relacionado con los materiales cuaternarios del poljé presenta el nivel piezométrico muy próximo a la superficie, con fluctuaciones escasas. Existen casi 400 captaciones de pequeña profundidad y gran diámetro que en su mayoría proporcionan caudales reducidos (unos 10 l/s) a costa de grandes descensos (varios metros) y tiempos de recuperación largos (más de dos horas). La superficie piezométrica del acuífero pone de manifiesto un drenaje hacia los sectores donde se localizan los sumideros, así como la existencia de recarga procedente del arroyo de la Madre.

En condiciones de pluviometría normal, debido al potencial hidráulico de ambos acuíferos, el superficial alimenta al profundo. Los acuíferos intermedios entre ambos, correspondientes a tramos permeables dentro de la serie neógena de relleno, presentan un comportamiento desigual, según se hallen o no, conectados con el acuífero kárstico.

Los recursos totalizan 115 hm³/año, de los que 112 hm³/año pueden considerarse como aportes propios. De dicha cifra, aproximadamente 12 hm³/año corresponden al drenaje visible en relación aparente con el Hacho de Loja y 3 hm³/año son imputables a percolación de aguas superficiales en el poljé de Zafarraya. Los bombeos se han evaluado en 3,5 hm³/año. El resto de los recursos, casi 111 hm³/año, se drenan por manantiales, que presentan una oscilación de entre 72 y 157 hm³/año.

Existen indicios de que toda el área de Sierra Gorda funciona hidráulicamente como un único acuífero, que en el área del poljé de Zafarraya presenta una divisoria de aguas subterráneas.

Esta divisoria condiciona que, aproximadamente, el 90% de la descarga tenga lugar por una serie de manantiales concentrados en el extremo septentrional del macizo de Sierra Gorda (tabla 3.1. y fig. 3.1). Las cotas de surgencia oscilan entre 445 y 530 m, lo que supone un gradiente aproximado de 1,6% respecto a la cota del borde oeste del poljé.

El 10% de la descarga restante se realiza en el borde meridional, a través del manantial de Guaro (703 m. de cota), con un gradiente aproximado doble al anterior (tabla 3.1.).

Los manantiales de Riofrio y Plines son los más caudalosos; entre los dos suponen una aportación de casi 50 hm³/año.

TABLA 3.1.- PRINCIPALES MANANTIALES DE DESCARGA DE LA UNIDAD

ZONA NORTE (90% DESCARGA)

Nº MAPA	Nº ITGE	DENOMINACION	CAUDAL MEDIO (l/s)	COTA (m)
1	1842-10012	Manzanil	128	530
2	1842-10011	La Cadena	192	520
3	1842-10001	Terciado	99	520
4	1841-50036	Borbollote	142	445
5	1841-50003	Frontil	493	498
6	1841-50007	Plines	200	502
7	1841-50038	Genasal	352	490
8	1841-60026	Agicampe	captado	640
9	1742-40001/2/3	Riofrio	1.415	514
10	1742-40004	La Tajera	613	526
11	1842-20004/5	Bañuelo y Membrillo	<u>100</u>	560
			3.734	

ZONA SUR (10% DESCARGA)

Nº MAPA	Nº ITGE	DENOMINACION	CAUDAL MEDIO (l/s)	COTA (m)
-	1743-40005	Guaro	0-2000 (captado)	703

El manantial de Guaro registra las mayores oscilaciones de caudal, entre cero y casi 2000 l/s, lo que indica que la parte que drena hacia el sur, a mayor cota, corresponde a un karst más desarrollado; no obstante este manantial está regulado mediante un sondeo (1743-4018). Le siguen en irregularidad los manantiales de La Tajea y El Manzanil, los de mayor cota del sector septentrional. La menor variabilidad corresponde al manantial del Frontil, en el borde sur del Hacho de Loja.

La extracción por bombeo en el sistema acuífero de Sierra Gorda se estima sólo en 1-3,5 hm³/año, concentrada en el área de poljé de Zafarraya. No se conocen descargas directas al río Genil, ni hipotéticas salidas hacia el Este.

Por lo que respecta concretamente al Hacho de Loja, tan sólo existe un sondeo que afecte al acuífero carbonatado de la unidad (abastecimiento de Huetor-Tajar nº 6032). Su nivel es, pues, el representativo de la superficie piezométrica en el sector NE.

Ante la inexistencia de otras captaciones, en otros sectores los niveles piezométricos vendrán marcados por los manantiales de descarga más importantes. A este respecto, el manantial del Frontil (1841-5003), situado a unos 500 m.s.n.m., constituye muy probablemente, la principal descarga de todo el sector central y meridional de la Unidad.

El segundo punto de drenaje en importancia es el manantial de Agicampe (1841-6026), que actualmente se encuentra captado por un sondeo realizado en 1980 con objeto de regular sus recursos (1841-6032). Ambos puntos de agua determinan también el nivel piezométrico del sector nororiental de la Unidad.

La dirección principal de circulación del agua dentro del Hacho de Loja se supone de norte a sur, y no parece existir ningún tipo de conexiones entre esta Unidad y otros sistemas próximos, dado que el borde NW está prácticamente individualizado por los materiales de baja permeabilidad del Triás, y el SW se encuentra también limitado por los impermeables del complejo Moraleda de Zafallona. Según el conocimiento actual de la zona, parece, además, realmente difícil pensar en una conexión con la Unidad de Sierra Gorda debido al nivel de base impuesto por el río Genil. En cualquier caso, este es el problema que se intenta resolver con los análisis de isótopos estables.

3.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO

El problema de la interconexión entre el drenaje del Hacho de Loja y las descargas de Sierra Gorda puede intentar resolverse mediante isótopos estables, dado el potencial efecto combinado entre latitud y altura de ambos sistemas hidráulicos.

Como ya se ha referido, por criterios hidrogeológicos se conoce que la descarga principal del sistema de Sierra Gorda tiene lugar por su vertiente septentrional, mientras que la del Hacho de Loja ocurre por la meridional. Se procede, en consecuencia, al estudio isotópico de ambas descargas analizando el contenido isotópico de los siguientes manantiales:

Hacho de Loja

- Manantial del Frontil (sector S)
- Manantial de Agicampe (sector N)

Sierra Gorda

- Manantial La Tajera (sector NW)

- Manantial Riofrío (sector NW)
- Manantial Genasal (sector N)
- Manantial Borbollote (sector N)
- Manantial La Cadena (sector NE)
- Fte. del Membrillo (sector NE)

De este modo, pues, quedan determinadas bajo el punto de vista isotópico las descargas de ambas unidades al cubrir analíticamente toda su zona de aparición. Por otra parte, se han tomado muestra de todos los manantiales para proceder a su análisis químico con el objetivo de intentar caracterizar también por esta vía las diferentes descargas, si resultara posible.

Con el fin de determinar si existe suficiente variabilidad isotópica en función de la extensión geográfica de la zona (longitud, latitud y altura), que permita caracterizar las entradas por lluvia, se han instalado cuatro pluviómetros totalizadores situados en posiciones previamente estudiadas para cubrir este potencial efecto de fraccionamiento, teniendo en cuenta que la cota de descarga del conjunto de manantiales es de 450-550 m. La disposición de los pluviómetros es la siguiente:

Hacho de Loja

- Cortijo del Hacho: cota 720 m.

Sierra Gorda

- Repetidor de Pico Cabras: cota 1.480 m. (sector central)
- Casas del Clavelón: cota 720 m. (sector occidental)
- Cortijo del Cardador: cota 900 m. (sector oriental)

El pluviómetro del Hacho de Loja y el oriental y occidental de Sierra Gorda se han situado a cota similar (\approx 800 m) con el fin de determinar si existe variabilidad espacial XY en las lluvias locales.

3.3.- MUESTREO REALIZADO

En la fig. 3.2 y en la tabla 3.2 se indica la situación de todos los puntos de agua muestreados. La tabla 3.3 resume las determinaciones analíticas llevadas a cabo. Las lluvias corresponden al período febrero-mayo de 1990, evitando así las tormentas estivales de resultados isotópicos distorsionadores.

3.4.- RESULTADOS OBTENIDOS

La tabla 3.4 resume los resultados isotópicos obtenidos, y en el Anexo se adjuntan los correspondientes químicos.

Con las cuatro aguas de lluvia de la zona se obtiene una ecuación referida al $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ de valor (fig. 3.3).

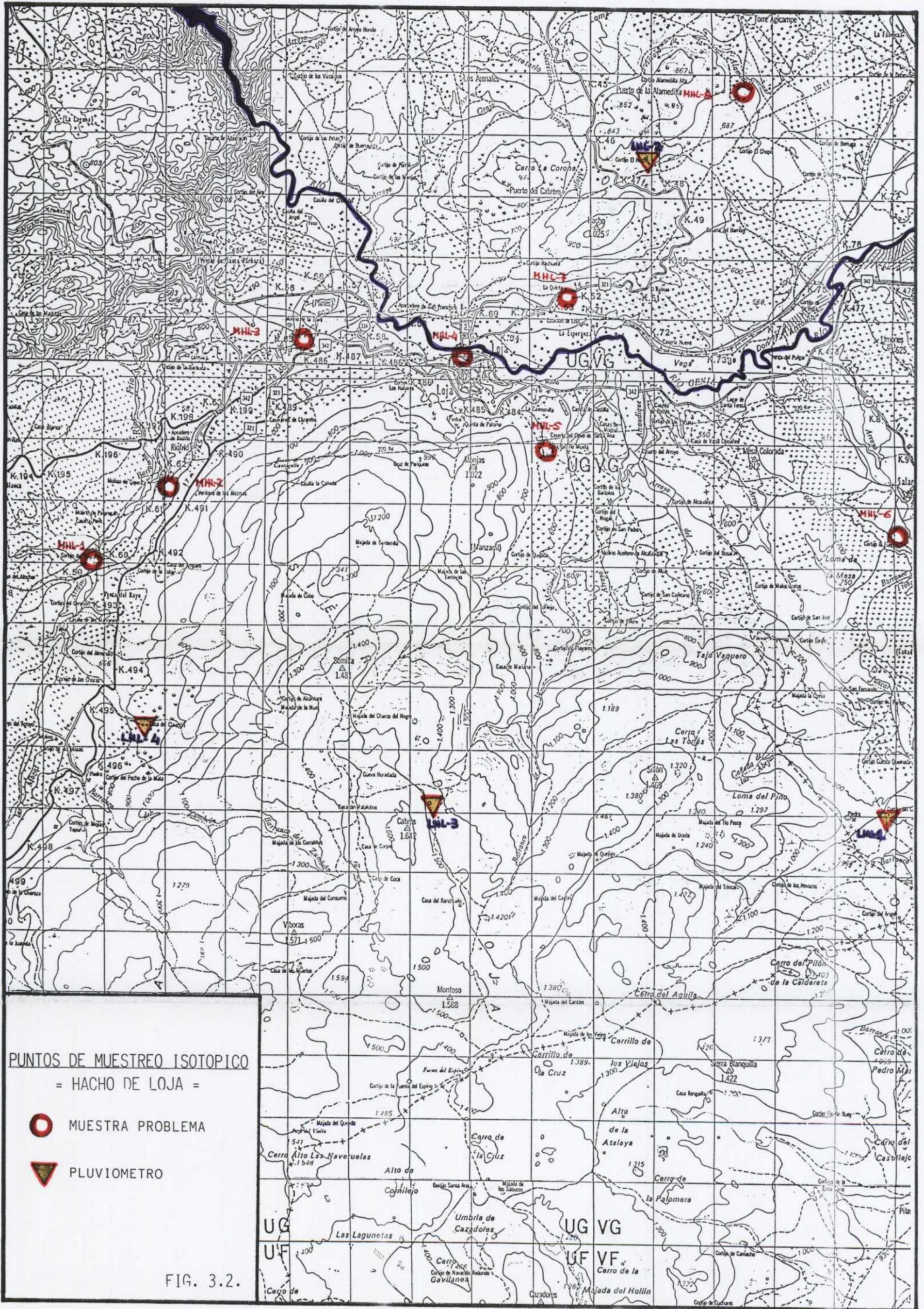
$$\delta\text{D} = 5.3\delta^{18}\text{O} - 10.7 \quad (r^2 = 0.82)$$

Por otra parte, con las ocho descargas de los manantiales locales se obtiene una ecuación muy similar (fig. 3.4).

$$\delta\text{D} = 5.4\delta^{18}\text{O} - 10.2 \quad (r^2 = 0.88)$$

Resulta evidente que las aguas descargadas por los manantiales resultan de las propias precipitaciones locales, hasta el punto de que la correlación conjunta de todos los puntos analizados conlleva a la misma ecuación antes descrita con un mayor grado de ajuste (fig. 3.5). Puede establecerse, por tanto, para la zona una ecuación de correlación $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ que tiene valor

$$\delta\text{D} = 5.3\delta^{18}\text{O} - 10.6 \quad (r^2 = 0.92)$$



0524

TABLA 3.2.- SITUACION DE LAS MUESTRAS ISOTOPICAS

MANANTIALES

UNIDAD	MUESTRA	DENOMINACION	Nº ITGE	X(UTM)	Y(UTM)	h(m)	Q medio(l/s)
SIERRA GORDA	MHL-1	LA TAJEA	1742-40004	391.7	4111.0	526	613
	MHL-2	RIOFRIO	1742-40001	393.2	4112.4	514	1415
	MHL-3	GENASAL	1841-50038	395.1	4114.5	490	352
	MHL-4	BORBOLLOTE	1841-50036	397.8	4114.35	445	142
	MHL-5	LA CADENA	1842-10011	399.3	4112.8	520	192
	MHL-6	MEMBRILLO	1842-20004	405.1	4111.6	560	100
HACHO DE LOJA	MHL-7	FRONTIL	1841-50003	399.5	4115.3	498	493
	MHL-8	AGICAMPE	1841-60026	402.5	4118.7	640	CAPTADO

PLUVIOMETROS

UNIDAD	MUESTRA	DENOMINACION	X(UTM)	Y(UTM)	h(m)
SIERRA GORDA	LHL-1	CORTIJO CARDADOR	404.9	4107.1	910
HACHO DE LOJA	LHL-2	CORTIJO EL HACHO	400.9	4117.6	720
SIERRA GORDA	LHL-3	REPETIDOR PICO CABRAS	397.4	4107.2	1480
SIERRA GORDA	LHL-4	CASAS DEL CLAVELON	392.6	4108.4	720

TABLA 3.3.- RESUMEN DEL MUESTREO REALIZADO

MANANTIALES

MUESTRA	DENOMINACION	¹⁸ O	² H	³ H	QUIMICO
MHL-1	LA TAJEA	X	X		X
MHL-2	RIOFRIO	X	X	X	X
MHL-3	GENASAL	X	X		X
MHL-4	BORBOLLOTE	X	X		X
MHL-5	LA CADENA	X	X	X	X
MHL-6	MEMBRILLO	X	X		X
MHL-7	FRONTIL	X	X	X	X
MHL-8	AGICAMPE	X	X	X	X

PLUVIOMETROS

MUESTRA	DENOMINACION	¹⁸ O	² H	³ H
LHL-1	CORTIJO CARDADOR	X	X	
LHL-2	CORTIJO EL HACHO	X	X	X
LHL-3	REPETIDOR PICO CABRAS	X	X	X
LHL-4	CASAS DEL CLAVELON	X	X	

TOTAL	12	12	6	8
-------	----	----	---	---

TABLA 3.4.- RESULTADOS ISOTOPICOS

MANANTIALES

MUESTRA	DENOMINACION	^{18}O (SMOW)	^2H (SMOW)	^3H (U.T.)
MHL-1	LA TAJEA	-7.00	-48.6	
MHL-2	RIOFRIO	-4.77	-36.7	9.2±1.1
MHL-3	GENASAL	-6.49	-45.4	
MHL-4	BORBOLLOTE	-5.80	-40.6	
MHL-5	LA CADENA	-6.99	-49.4	8.6±1.1
MHL-6	MEMBRILLO	-7.10	-48.6	
MHL-7	FRONTIL	-5.11	-41.3	9.2±1.1
MHL-8	AGICAMPE	-5.71	-35.4	6.2±1.1

PLUVIOMETROS

MUESTRA	DENOMINACION	^{18}O (SMOW)	^2H (SMOW)	^3H (U.T.)
LHL-1	CORTIJO CARDADOR	-4.65	-38.4	
LHL-2	CORTIJO EL HACHO	-2.43	-24.2	7.4±1.1
LHL-3	REPETIDOR PICO CABRAS	-4.81	-38.9	8.5±1.1
LHL-4	CASAS DEL CLAVELON	-4.52	-28.7	

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA

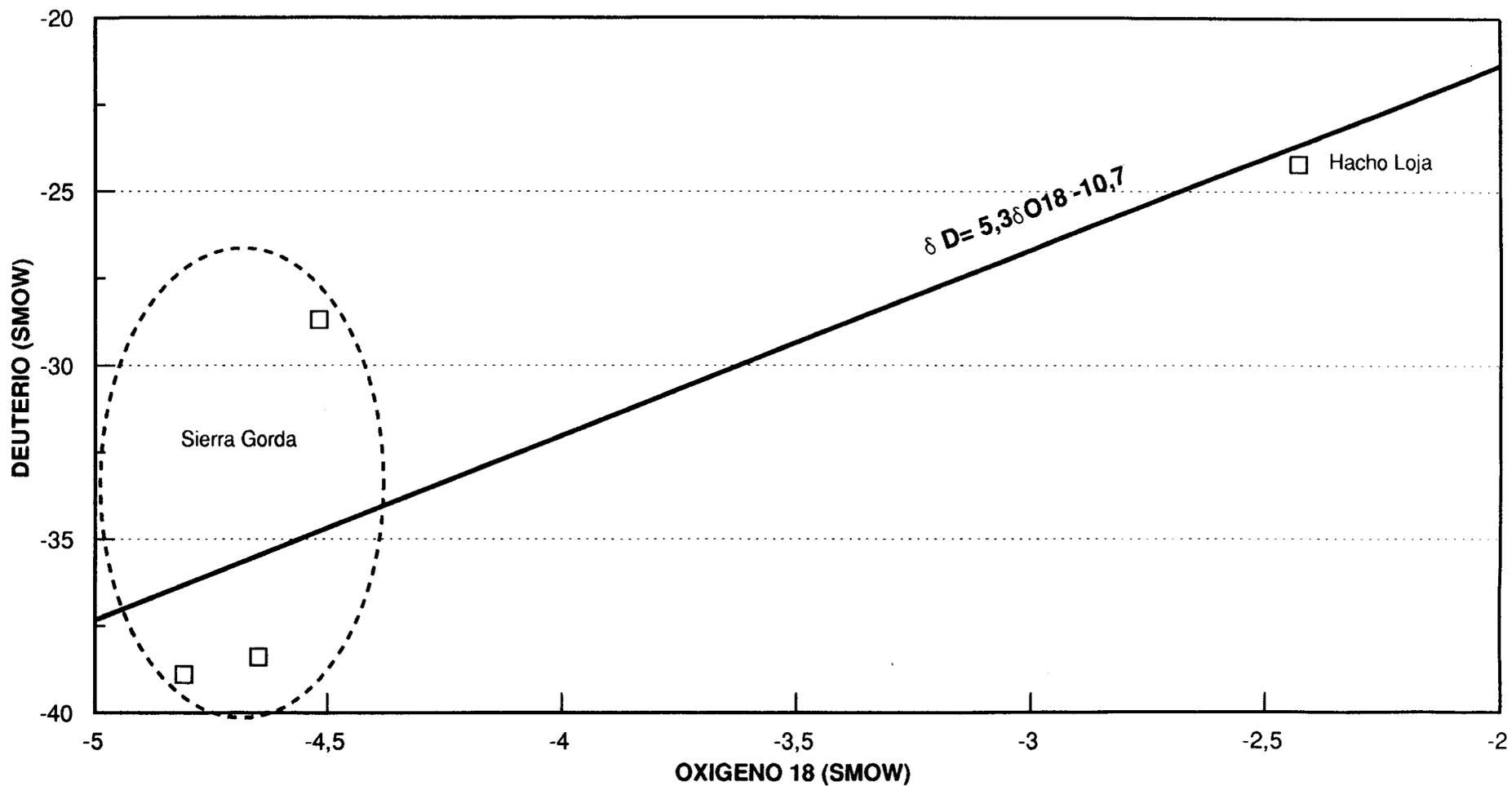


Fig. 3.3

DIAGRAMA AGUAS MANANTIALES

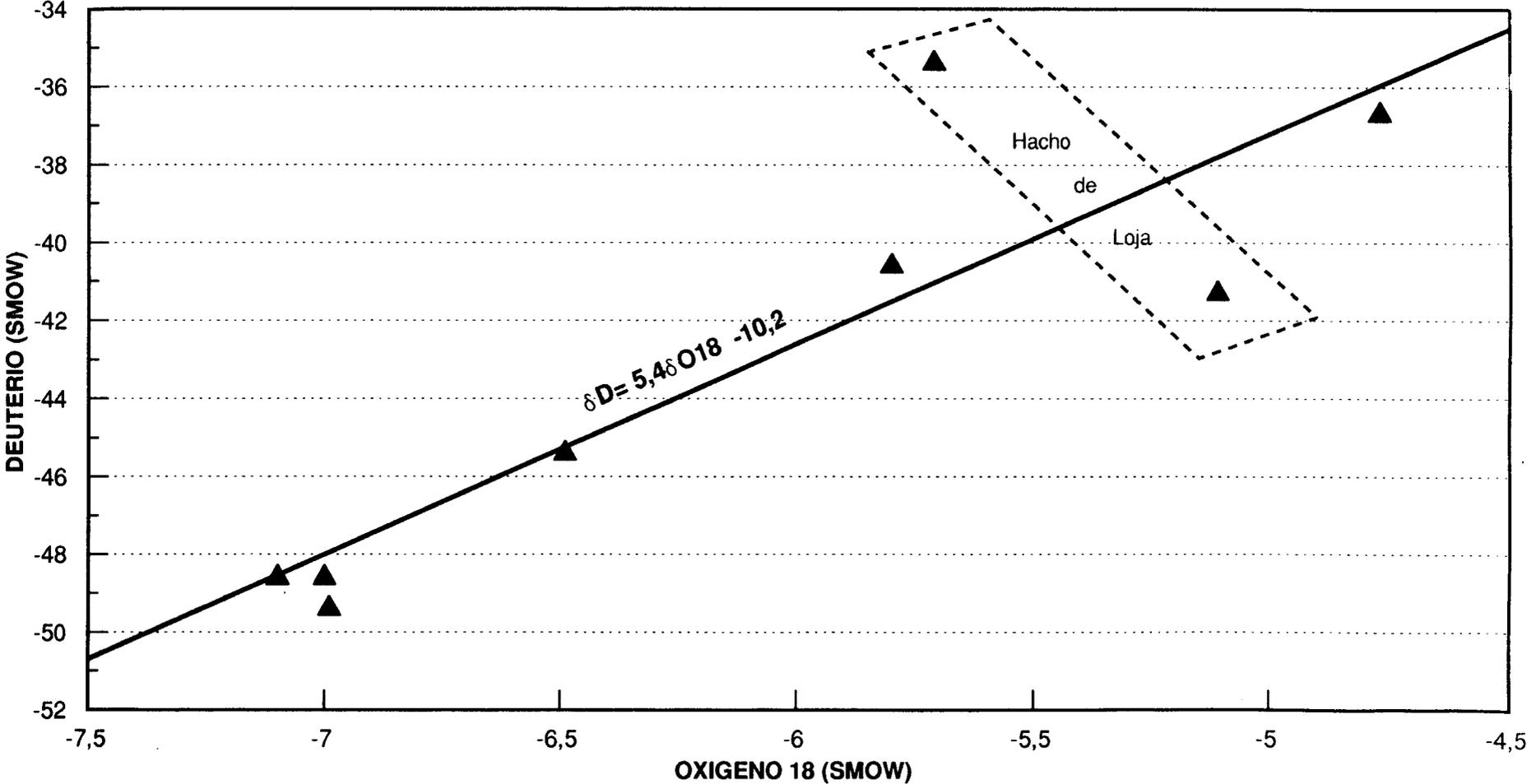


Fig. 3.4

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA + AGUAS MANANTIALES

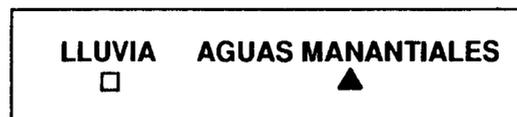
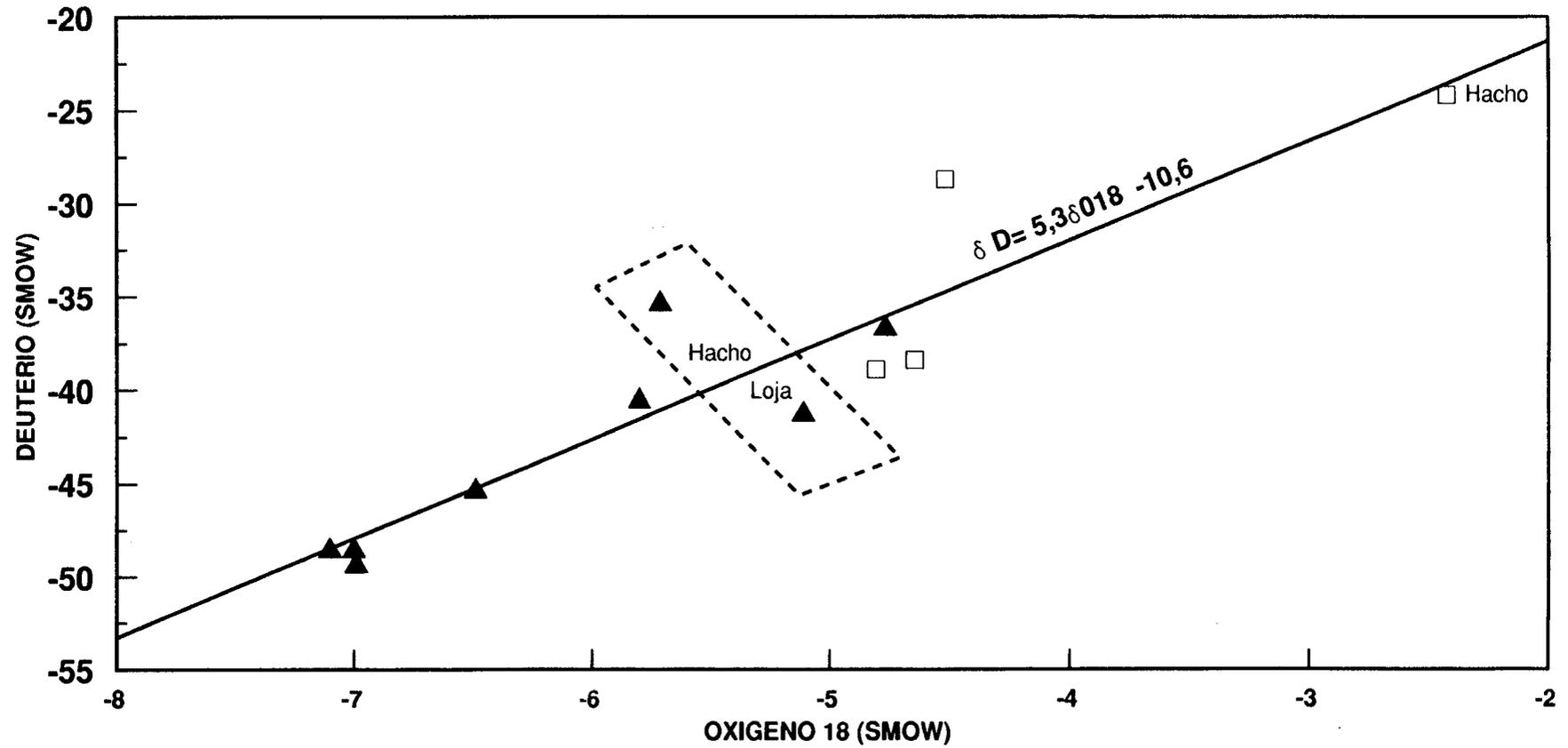


Fig. 3.5

De la observación de estos gráficos se deduce que la lluvia recogida en el Cortijo del Hacho (LHL-2) se individualiza bien de las de Sierra Gorda pero, los dos manantiales del Hacho, Frontil (MHL-7) y Agicampe (MHL-8), responden a una composición isotópica que se engloba en la de las restantes descargas de Sierra Gorda, como si su origen fuera común.

El análisis detallado de esta correlación $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ pasa por intentar determinar las ecuaciones de variabilidad isotópica en función de las tres coordenadas espaciales: altura, longitud y latitud.

Resulta evidente que cuatro puntos constituyen una pobre aportación a un intento de correlación. No obstante, la reducida extensión de la zona de estudio para instalar pluviómetros y detectar variabilidad isotópica no aconseja una mayor densidad de puntos de muestreo. Los resultados deben tomarse, por tanto, como una primera aproximación al problema.

Las figs. 3.6 y 3.7 constituyen las correlaciones por efecto de altura referidas al ^{18}O y al ^2H de las cuatro lluvias muestreadas, obteniéndose las siguientes ecuaciones de variabilidad:

$$\begin{aligned}\delta^{18}\text{O} &= -1,65 h - 2,51 & (r^2 = 0,53) \\ \delta^2\text{H} &= -0,015 h - 17,90 & (r^2 = 0,76)\end{aligned}$$

El efecto de longitud no resulta válido para ningún isótopo al obtenerse ajustes de 0,2 e incluso una pendiente inversa en el comportamiento del deuterio (figs. 3.8 y 3.9):

$$\begin{aligned}\delta^{18}\text{O} &= -0,048 l(\text{km}) - 3,71 & (r^2 = 0,22) \\ \delta^2\text{H} &= +0,403 l(\text{km}) - 35,76 & (r^2 = 0,28)\end{aligned}$$

El efecto de la latitud, por el contrario, se manifiesta

CORRELACION ALTURA - OXIGENO 18 (SMOW)

aguas de lluvia

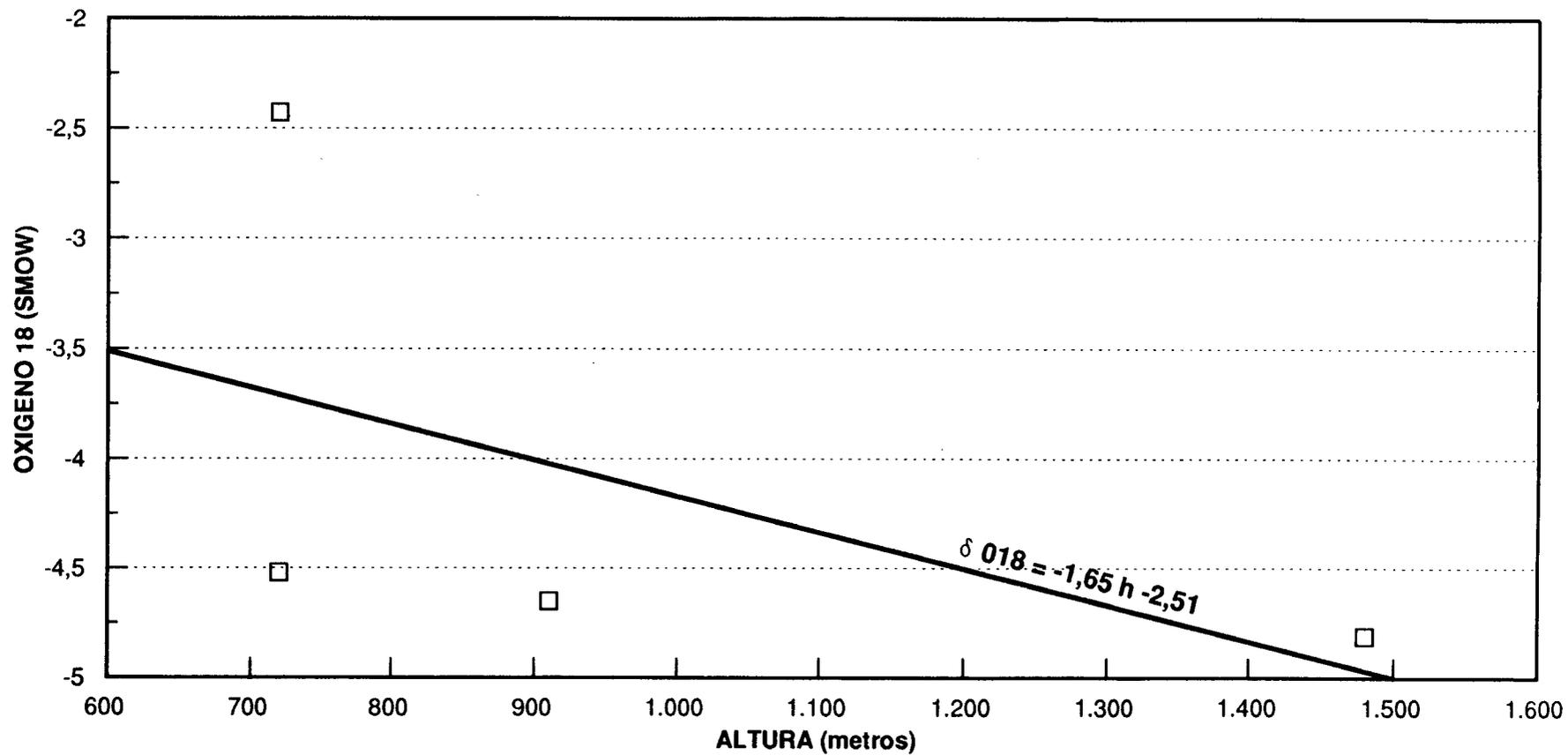


Fig. 3.6

CORRELACION ALTURA - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia

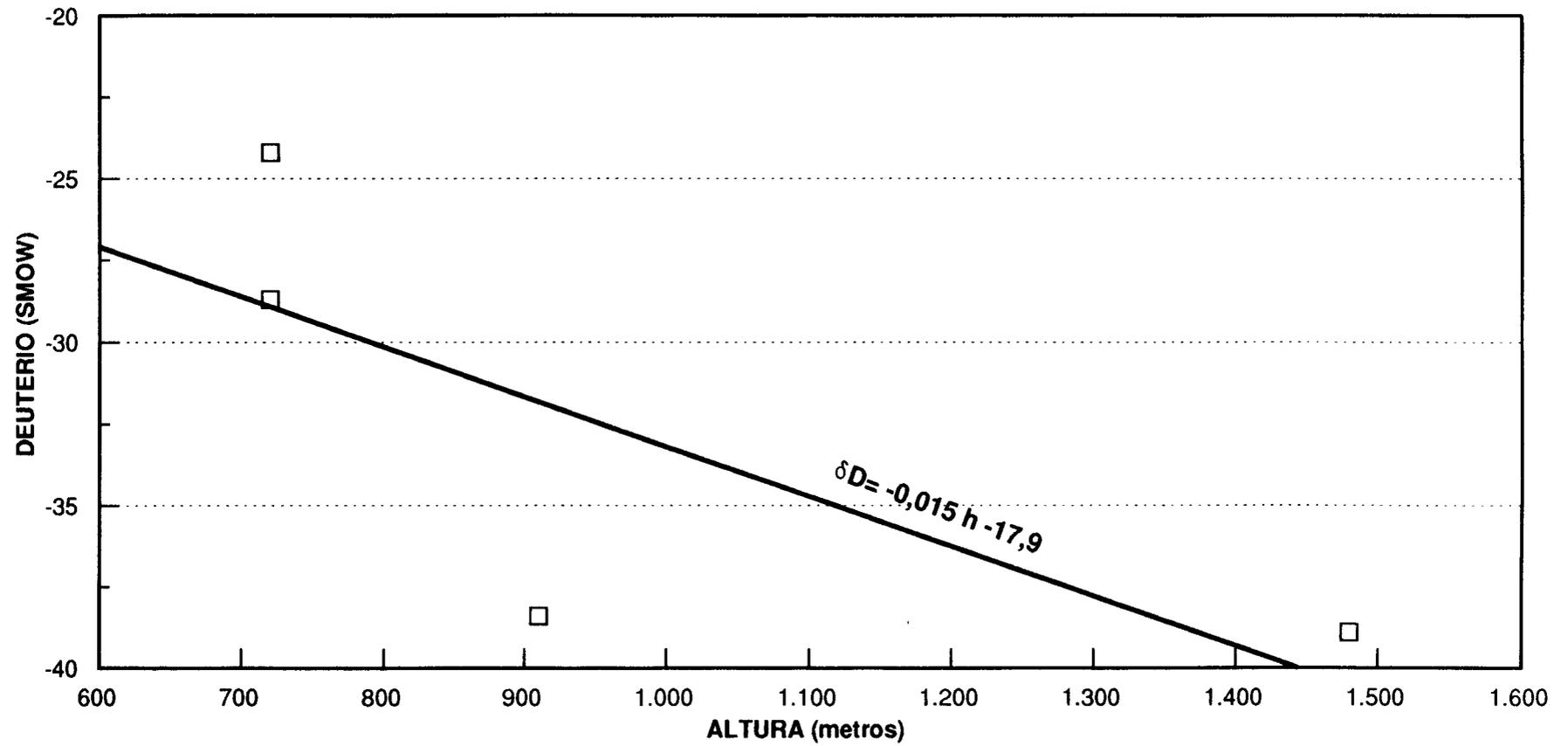


Fig. 3.7

CORRELACION LONGITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

aguas de lluvia

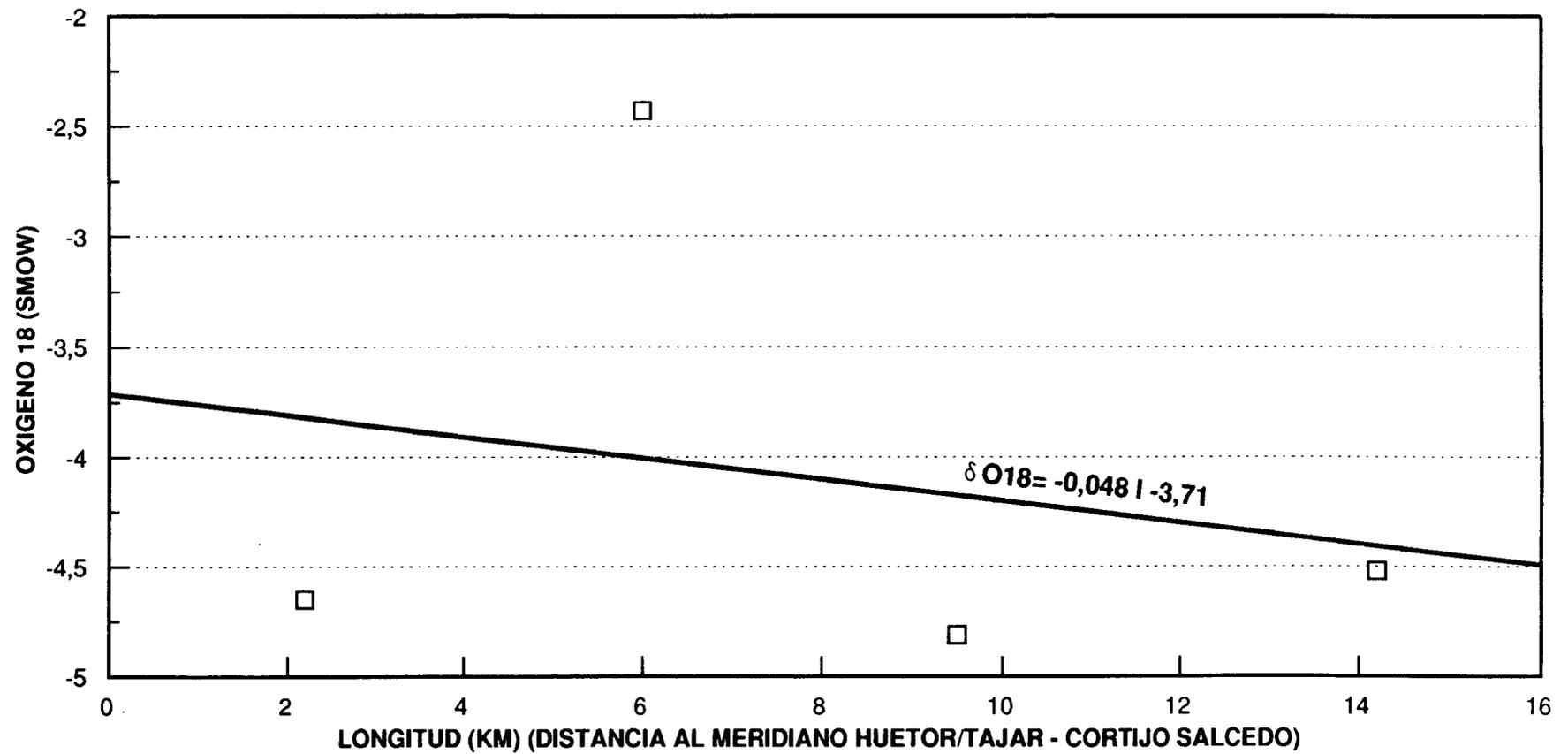


Fig. 3.8

CORRELACION LONGITUD - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia

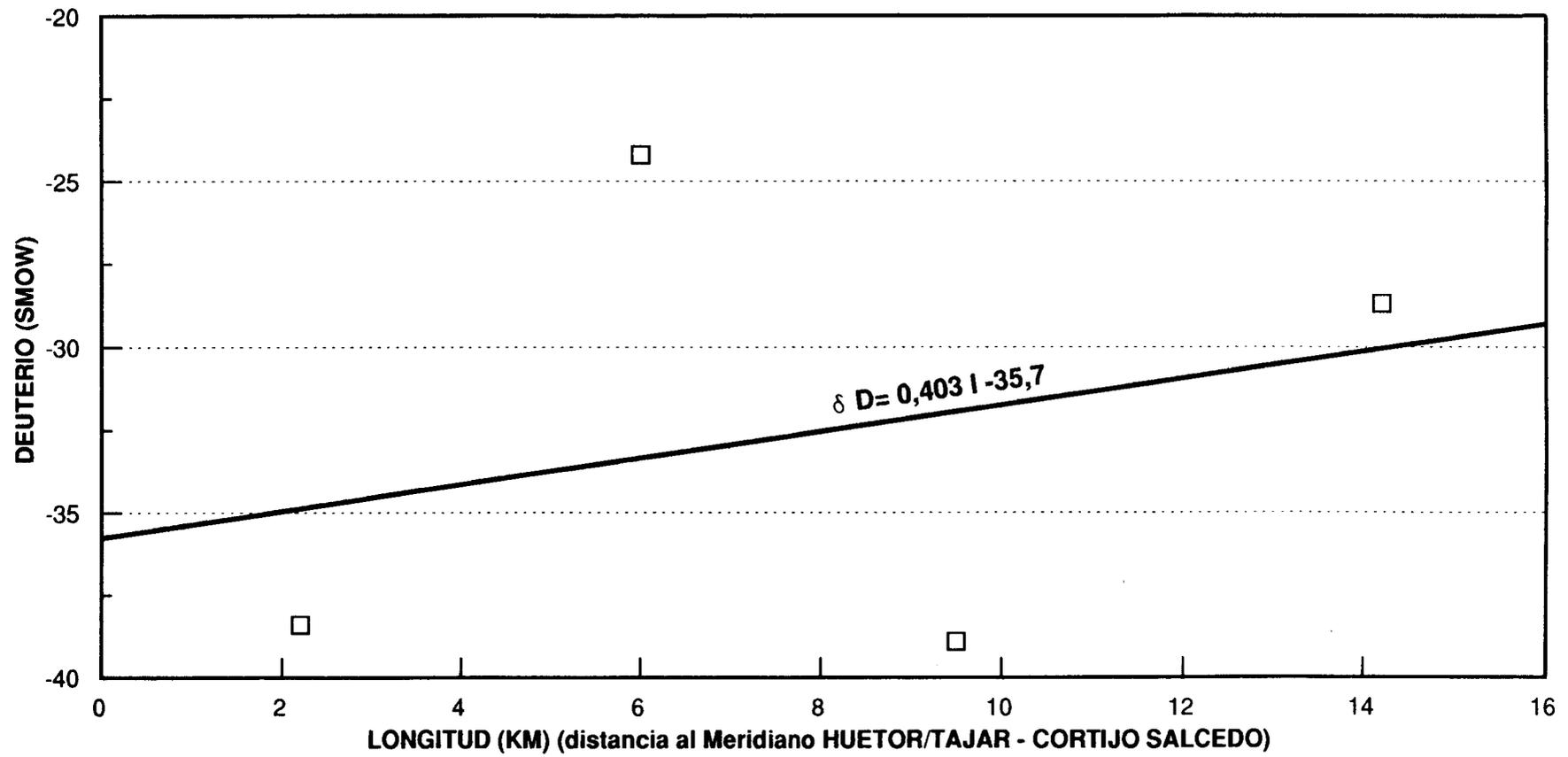


Fig. 3.9

operativo obteniéndose como ecuaciones (figs. 3.10 y 3.11):

$$\delta^{18}\text{O} = -0,22 \text{ l(km)} - 2,13 \quad (r^2 = 0,99)$$

$$\delta^2\text{H} = -1,20 \text{ l(km)} - 21,78 \quad (r^2 = 0,84)$$

De todo lo expuesto se deduce lo siguiente:

- La disposición de los puntos de lluvia en el diagrama $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ (fig. 3.5) viene determinada, fundamentalmente, por un efecto de latitud, es decir, la componente N-S es la dirección de actuación preferente de las lluvias zonales, apoyada en menor medida por el lógico efecto de altura.
- Según este razonamiento, las lluvias de la zona del Hacho de Loja (LHL-2) quedan perfectamente individualizadas bajo el punto de vista isotópico de las de Sierra Gorda.
- Las aguas de descarga del borde septentrional de Sierra Gorda presentan una variabilidad isotópica mayor que las propias lluvias analizadas. Este fenómeno es debido seguramente a que la propia dinámica kárstica imprime un régimen de descarga distinto a cada una de ellas, promediando de modo diferente las lluvias estacionales.

A este respecto, manantiales del sector occidental (Tajea), central (La Cadena) y oriental (Membrillo) presentan composiciones isotópicas prácticamente idénticas. Por el contrario, manantiales situados a posición intermedia como Genasal, Barbollote y Riofrío tienen una dispersión isotópica mayor a pesar de corresponder, inequívocamente, a descargas del mismo sistema.

- Las aguas de manantiales de la zona del Hacho de Loja (Frontil y Agicampe) están isotópicamente más próximas a las lluvias de Sierra Gorda que a las propias del Hacho,

CORRELACION LATITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

aguas de lluvia

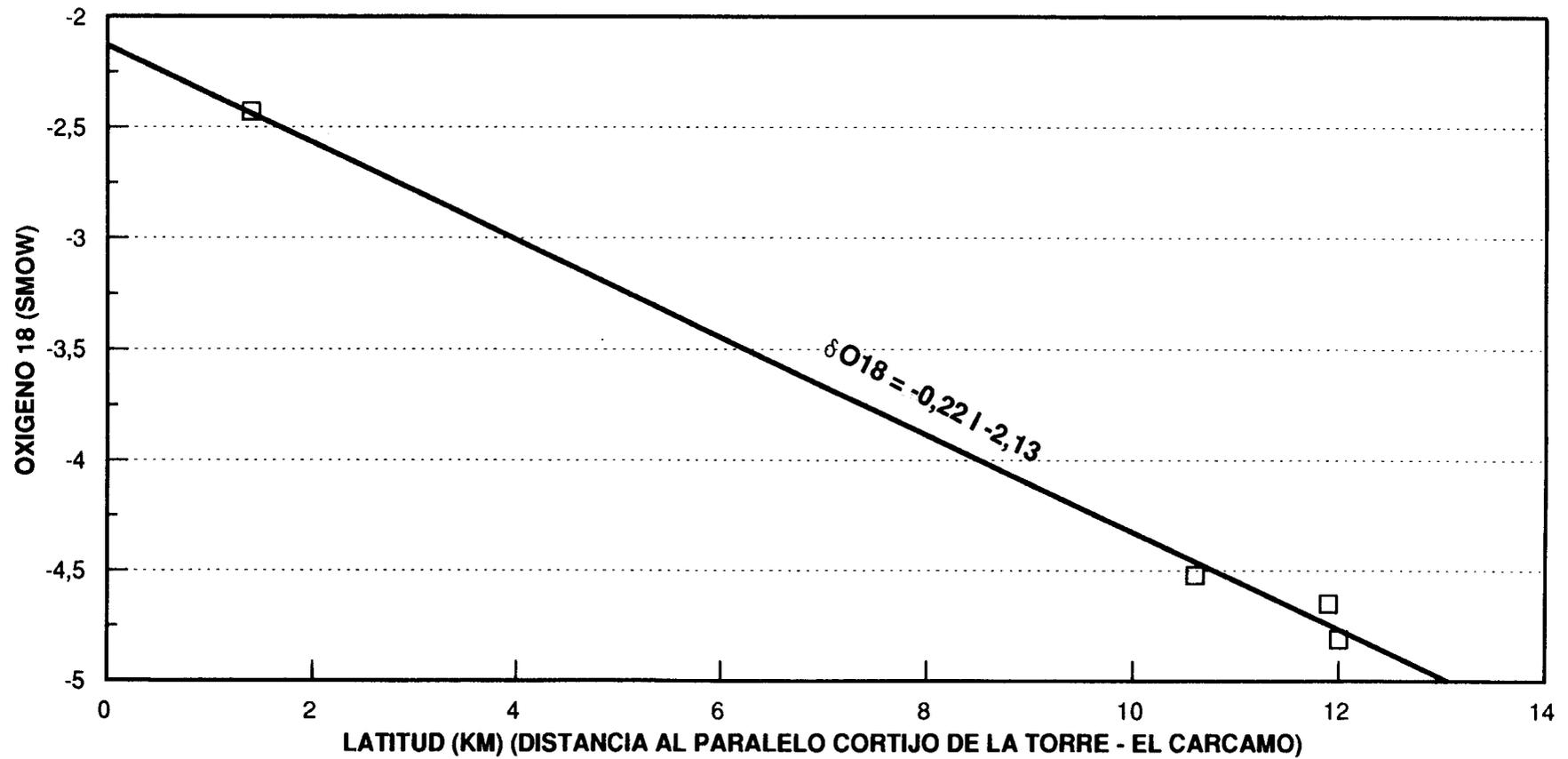


Fig. 3.10

CORRELACION LATITUD - DEUTERIO (SMOW)

aguas de lluvia

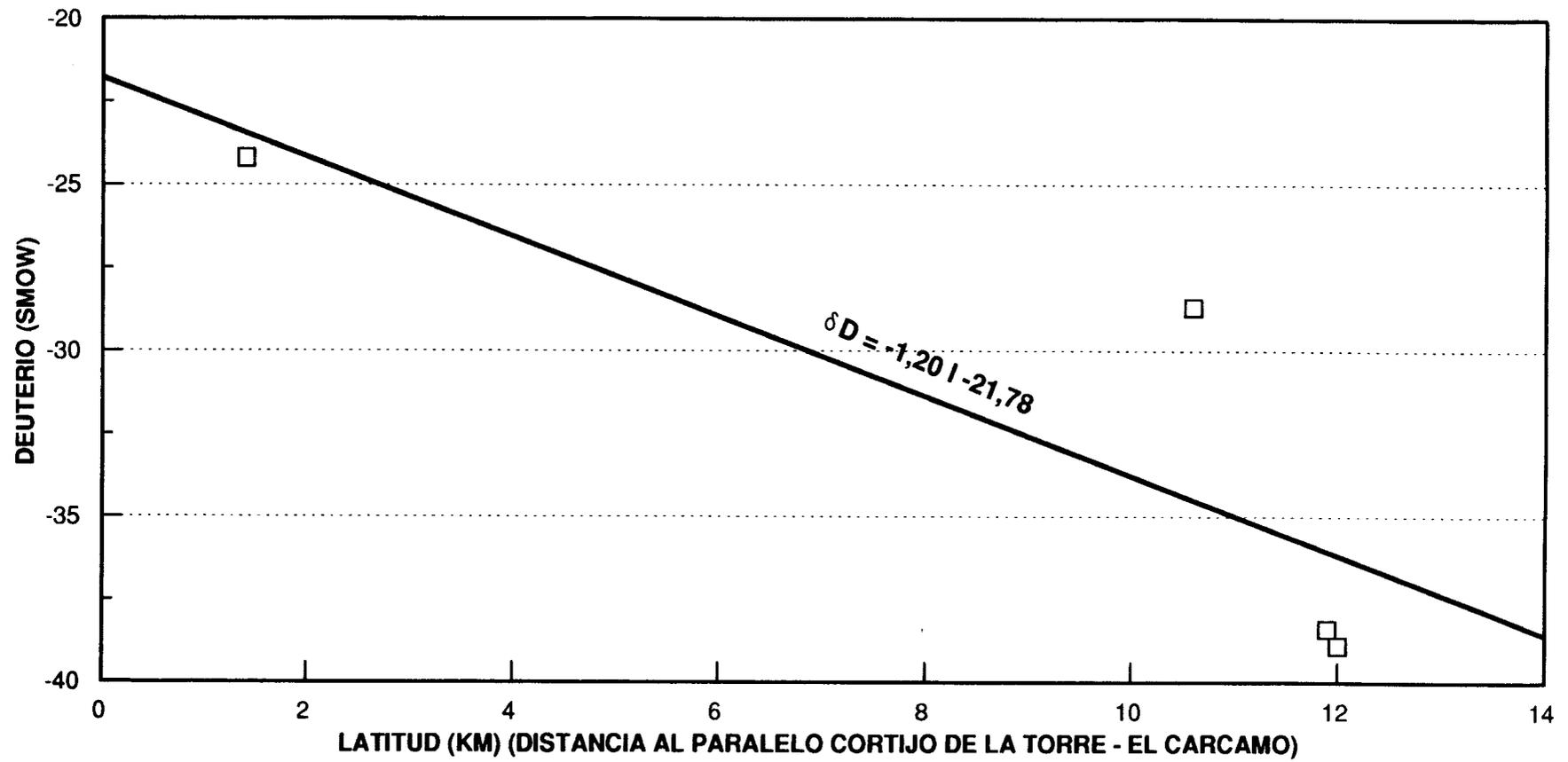


Fig. 3.11

y sus descargas son isotópicamente similares a las de Sierra Gorda.

- Los análisis químicos de todos estos manantiales resultan cualitativamente parecidos, pero con acusadas variaciones cuantitativas que apoyan la idea de diferentes circuitos. Por lo que respecta a las descargas del Hacho de Loja, el manantial del Frontil (MHL-7) corresponde a la misma familia hidroquímica que las de Sierra Gorda, mientras que Agicampe, clorurado sódico y con una mineralización cinco veces superior, resulta distinta de todas las restantes aguas bicarbonatadas cálcicas de la zona (fig. 3.12).

En cualquier caso, la composición química es una consecuencia de un equilibrio entre agua, litofacies y tiempo de residencia en su circuito subterráneo, independientemente del origen de la recarga del agua.

- Las lluvias locales estaban en 1990 en valores de 7.4 ± 1.1 U.T. (tabla 3.4). Las descargas de Sierra Gorda tienen esta misma concentración, por lo que se trata de lluvias actuales. El manantial del Frontil corresponde a una dinámica igual a la de las descargas de Sierra Gorda. Sólo el manantial de Agicampe presenta un contenido de 6.2 ± 1.1 U.T. que, con la tolerancia analítica, queda dentro del rango de lluvias actuales; de lo contrario habría que atribuirlo a un agua de 1955, planteamiento muy cuestionable conociendo la dinámica kárstica del sistema.

A tenor de los resultados disponibles, por tanto, la conclusión que aparece como más fundamentada es la de considerar a las descargas del Hacho de Loja y las del norte de Sierra Gorda como pertenecientes al mismo sistema dinámico, con recarga preferente en esta última unidad. Las lluvias del Hacho resultan

notablemente más pesadas que las de Sierra Gorda. De la observación de la fig. 3.5. podría apuntarse que las lluvias del Hacho de Loja, una vez infiltradas, podrían pasar a formar parte del mismo sistema subterráneo que Sierra Gorda. Su carácter más pesado motivaría el desplazamiento hacia positivo también de sus descargas, pero el mayor volumen de infiltración ligera de Sierra Gorda llegaría a enmascarar parcialmente este proceso.

4.- ESTUDIO DE LA DINAMICA DE ALIMENTACION Y DESCARGA

DE LA DIVISORIA DE LOS RIOS GUADIARO-GUADALETE

EN LA SERRANIA DE RONDA (MALAGA)

4.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con el presente proyecto se pretende estudiar la dinámica de alimentación y descarga de la divisoria de los ríos Guadalete y Guadiaro en el Mesozóico de la Serranía de Ronda (Málaga).

En la Ley de 15 de Julio de 1953 se aprueba el "Plan de Ordenación de los ríos Guadarranque, Hozgarganta y Guadiaro". Tiene como finalidad la transformación de secado en regadío, la producción de energía eléctrica y el abastecimiento de la zona industrial del Campo de Gibraltar y de varios municipios de los que constituyen la zona: Algeciras, Los Barrios, San Roque, La Línea, Castellar y Jimena de la Frontera.

Como parte del Plan se contempla el trasvase de unos 200 hm³/año de la cuenca excedentaria del Guadiaro a la deficitaria del Guadalete.

Hasta el momento el Plan solo se ha llevado a cabo en su primera parte (Plan Guadarranque) lo que representa un 25% de lo inicialmente proyectado y no incide en el proyectado trasvase. Las obras realizadas (Presas de Guadarranque y de Charco Redondo) regulan los recursos de cuencas pequeñas, como las del Guadarranque y del Palmones y distribuyen el agua en la comarca del Campo de Gibraltar.

En este orden de cosas, el ITGE ha llevado a cabo una serie de "Estudios de Investigación Hidrogeológica para la Regulación

de los Recursos Hídricos Subterráneos de la divisoria Guadiaro-Guadalete" que tiene como objetivo principal analizar las posibilidades de extracción de aguas subterráneas en la zona de la divisoria entre las cuencas del Guadalete y del Guadiaro con el doble fin de:

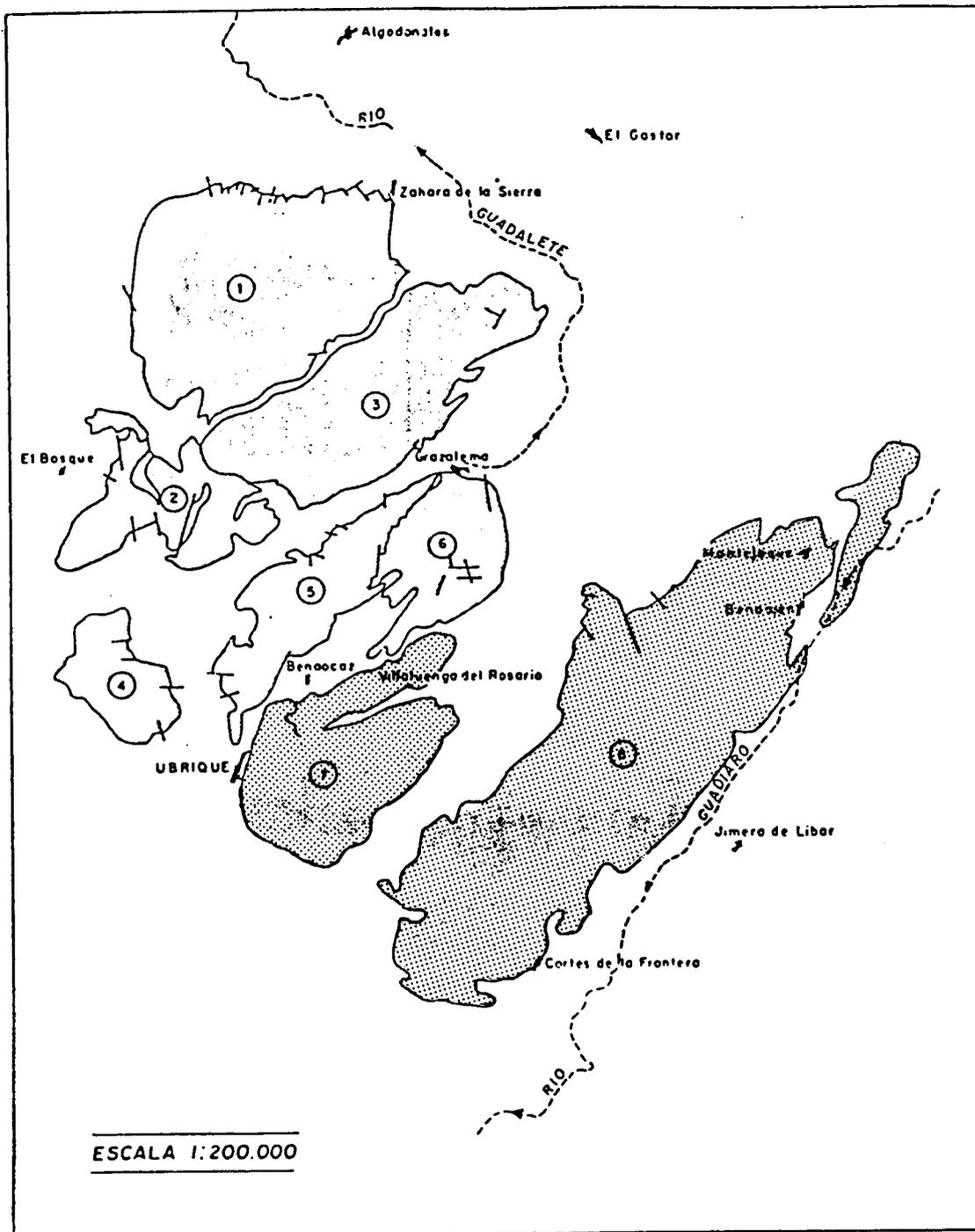
- Incrementar la regulación y/o la garantía de los caudales regulados por los embalses actuales, con la explotación estratégica de las aguas subterráneas.
- Replantear la necesidad actual del trasvase Guadiaro-Guadalete por lo menos en el sentido convencional.

Como es obvio, todo se reduce a un problema económico de satisfacer la demanda al menor coste posible. Si con la explotación de aguas subterráneas se consigue reducir la capacidad de los embalses previstos (Guadalcacín II y Guadiaro), eliminar el túnel de trasvase o retrasar las obras un plazo considerable el estudio habrá adquirido toda su justificación.

Bajo el punto de vista pluviométrico, el sector considerado es uno de los de mayor precipitación absoluta de la Península, con medias comprendidas entre 1000 y 2000 mm/año, correspondiendo los máximos a la Sierra de Grazalema.

La fig. 4.1. representa las unidades hidrogeológicas implicadas en la referida divisoria Guadiaro-Guadalete. En nuestro caso, y como objetivo de este estudio isotópico, el problema se centra en el análisis de la alimentación y descarga de las unidades 7 (Unidad de Ubrique) y 8 (Unidad de Montejaque-Cortés o Sierra de Líbar).

- ESQUEMA DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS -



Divisoria Guadalete - Guadiaro

- | | | | |
|---|---------------------------------|---|------------------------------------------------|
| ① | Unidad de Zafalgar-Labradillo | ⑤ | Unidad Sierra Alta - Penón Grande ó del Hondón |
| ② | " de El Bosque | ⑥ | " " del Endrinal |
| ③ | " Sierra del Pinar-Monte Prieto | ⑦ | " de Ubrique |
| ④ | " de Silla | ⑧ | " Montejaque - Cortes |

FIG. 4.1.

UNIDAD DE MONTEJAQUE-CORTES

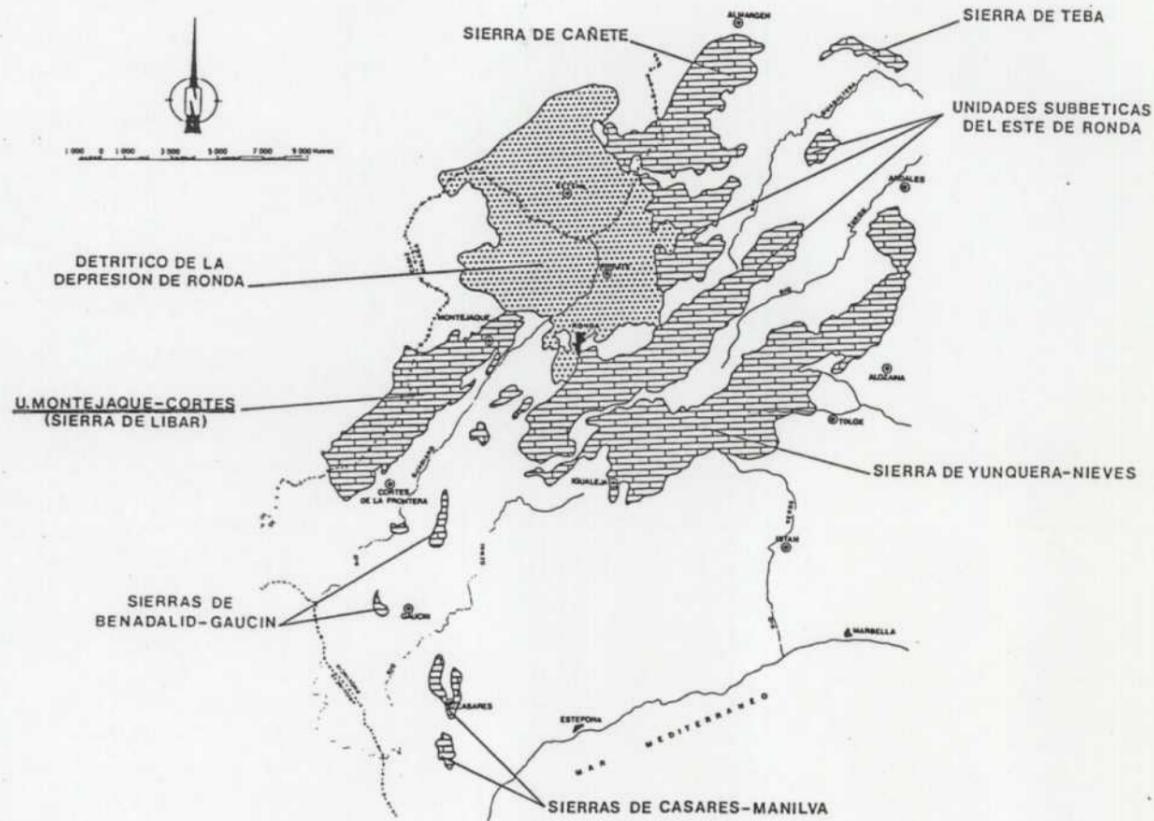
La Unidad de Montejaque-Cortes (Sierra de Líbar) es la más occidental de las unidades de la Serranía de Ronda. La mayor parte de ella se sitúa sobre la provincia de Málaga, perteneciendo su extremo suroccidental a la de Cádiz. Se trata de un macizo de orientación NE-SW, que ocupa una superficie próxima a los 85 km² de materiales atribuidos al Subbético Interno (fig. 4.2.).

El acuífero que constituye este sistema hidrogeológico es una formación de calizas y dolomías de edad liásica que puede superar los 500 metros de espesor. Se caracteriza por el elevado grado de karstificación que presenta, con numerosas y espectaculares manifestaciones morfológicas, tanto superficiales como subterráneas (lenares, dolinas, poljés, valles, ciegos, simas..., etc.) que hacen de esta Sierra uno de los karst más importantes del país.

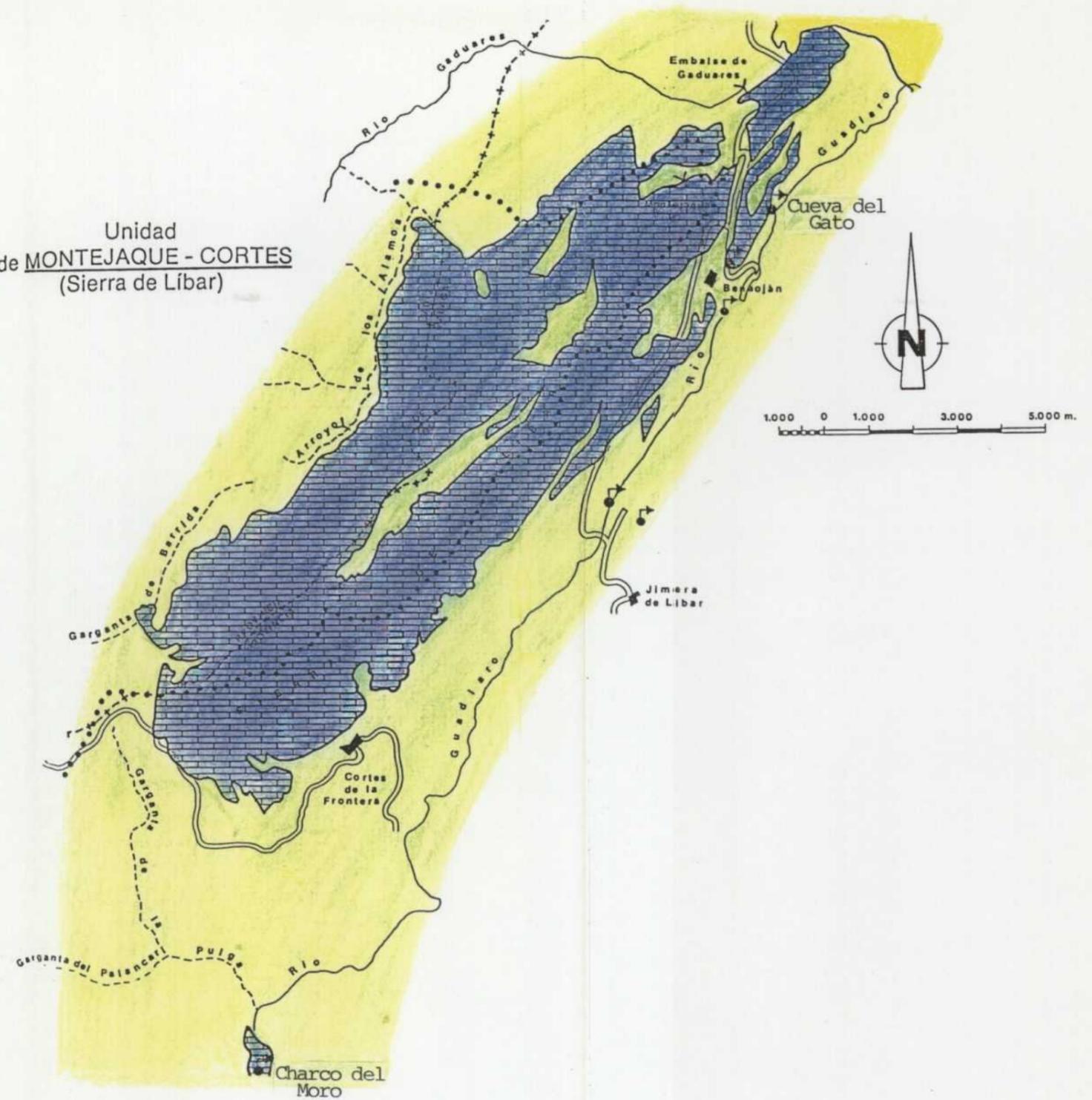
La estructura del macizo corresponde a dos anticlinales paralelos separados por fracturas longitudinales que dan lugar a depresiones y poljés en el sector central de la unidad. Sus bordes están limitados por la presencia de materiales impermeables del Cretácico. Parece claro que existen varios compartimentos delimitados por fracturas que no impiden la conexión hidráulica entre ellos, al menos en la mayor parte de los casos.

La alimentación de este acuífero se produce por infiltración de las precipitaciones sobre sus afloramientos y también de la escorrentía generada en las cuencas endorréicas del río Gadares (43,5 km²) y del Arroyo de los Alamos (30 km²) que, cuando se produce, termina por desaparecer en sumideros situados en los bordes oeste y norte de la Unidad.

DISTRIBUCION DE UNIDADES HIDROGEOLOGICAS



Unidad de MONTEJAQUE - CORTES
(Sierra de Líbar)



LEYENDA

- | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|  | ACUIFERO MIOCENO-CUATERNARIO.
Materiales detríticos indiferenciados. |  | Divisoria hidrográfica. |
|  | CRETACICO - MIOCENO.
Margas, margocalizas, calizas margosas
y arcillas del Flysch del C. de Gibraltar. |  | Manantial de caudal medio superior a 100 l/s. |
|  | ACUIFERO CARBONATADO. JURASICO.
Calizas y dolomías. |  | Otros manantiales significativos. |
|  | TRIASICO.
Arcillas, areniscas y evaporitas. |  | Sumideros. |

FIG. 4.2.

La descarga del acuífero tiene lugar a través de manantiales situados en su totalidad en la vertiente oriental de la Sierra. Destacan por su caudal los de la Cueva del Gato (740 l/s a cota 440 m) (nº 14448003), el Ejío de Benaoján (880 l/s también a cota 440 m) (nº 14448004) y el del Charco del Moro (800 l/s) que se sitúa en el cauce del río Guadiaro, asociado a un pequeño afloramiento de materiales jurásicos alejado de la sierra de Líbar, pero casi con seguridad relacionado hidrogeológicamente con este acuífero. Además de los manantiales, a lo largo del cauce del río Guadiaro o en sus proximidades, entre Benaoján y Jimena de Líbar existen varias emergencias difusas y otras localizadas cuyo caudal medio en conjunto se aproxima a los 300 l/s, que también corresponden a descargas de este acuífero. Todos los manantiales, especialmente los más caudalosos, tienen un régimen de descarga irregular con fuertes variaciones de caudal, evidenciando su carácter eminentemente kárstico.

Los volúmenes almacenados en los acuíferos, calculados en base a los coeficientes de agotamiento de los manantiales antes referidos son de 1,1 - 5,9 hm³ para la Cueva del Gato y de 2,6 - 7,7 hm³ para el caso del Ejío de Benaoján.

Los recursos totales de esta Unidad se cifran en un mínimo de 90 hm³/año, de los cuales unos 55 hm³/año corresponden a la infiltración de las precipitaciones caídas directamente sobre el acuífero. El resto se estima que corresponde a las aportaciones del río Guadares y del Arroyo de los Alamos, que se infiltran totalmente en la Unidad a través de sumideros.

Es de destacar que se trata de la Unidad con mayores recursos de la Serranía de Ronda, la totalidad de los cuales descargan en la cuenca del río Guadiaro.

El notable grado de evolución del karst implica que la circulación entre simas o sumideros y manantiales de descarga sea acusadamente rápida (figs. 4.3. y 4.4.). A grandes rasgos, el flujo subterráneo parece dirigirse desde las simas existentes al oeste y norte de la Unidad, a los tres grandes puntos de drenaje antes referidos, situados al este (Cueva del Gato y El Ejío) y sur (Charco del Moro) de la misma (fig. 4.5.), totalizando una descarga de 75-80 hm³/año.

UNIDAD DE UBRIQUE

Algo similar cabría decir de esta Unidad, que corresponde a la Sierra del mismo nombre y a la vertiente meridional de la Sierra de Caillo.

Los materiales permeables están constituídos por dolomías y calizas jurásicas pertenecientes al Subbético Interno que alcanzan una potencia superior a los 500 m.

La estructura de la Sierra de Ubrique corresponde a un anticlinal, cuyo eje de dirección N70°E se sitúa paralelamente en la Manga de Villaluenga y 1 km. al sur de ésta, afectado en sus bordes por fallas normales.

Los límites de la Unidad son, en gran parte, de carácter tectónico, impuesto por la actuación de las fallas normales en el extremo sur y oeste y por el contacto, localmente mecánico, con el Trias impermeable en el extremo norte. El límite oriental corresponde al contacto normal entre la serie jurásica y las facies de "capas rojas" del Cretácico.

El grado de karstificación de los materiales carbonatados que forman la unidad es elevada, favorecido en gran medida por

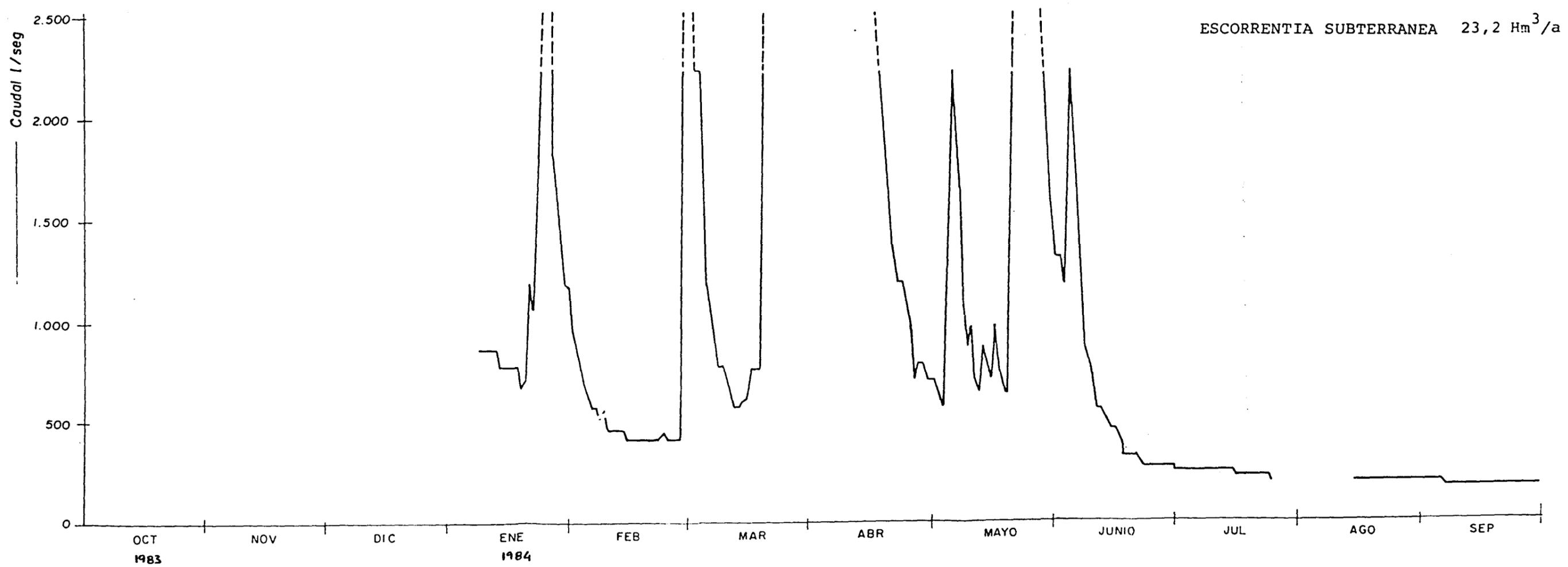
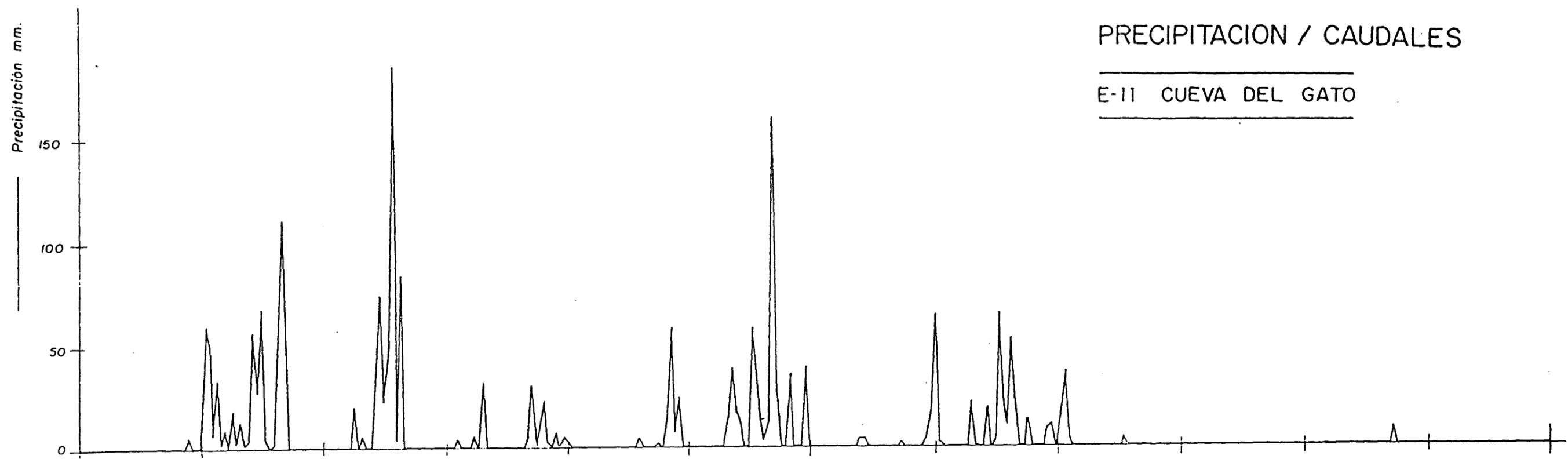


FIG. 4.3.

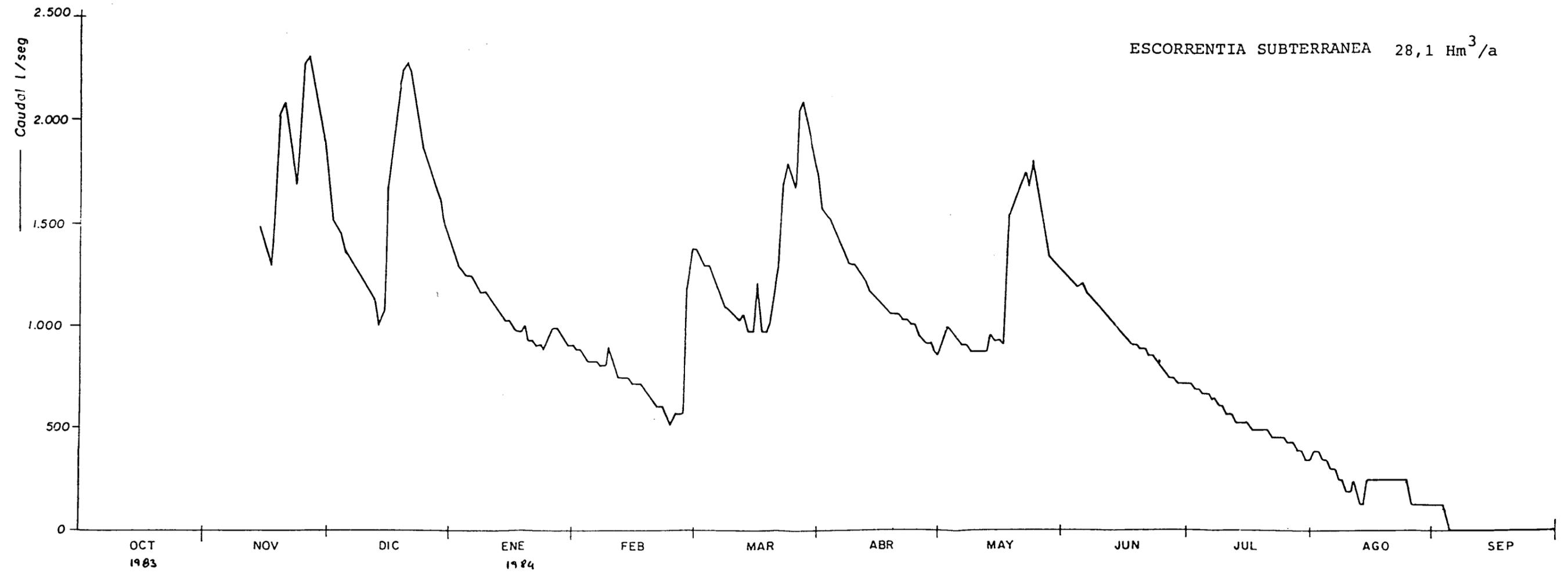
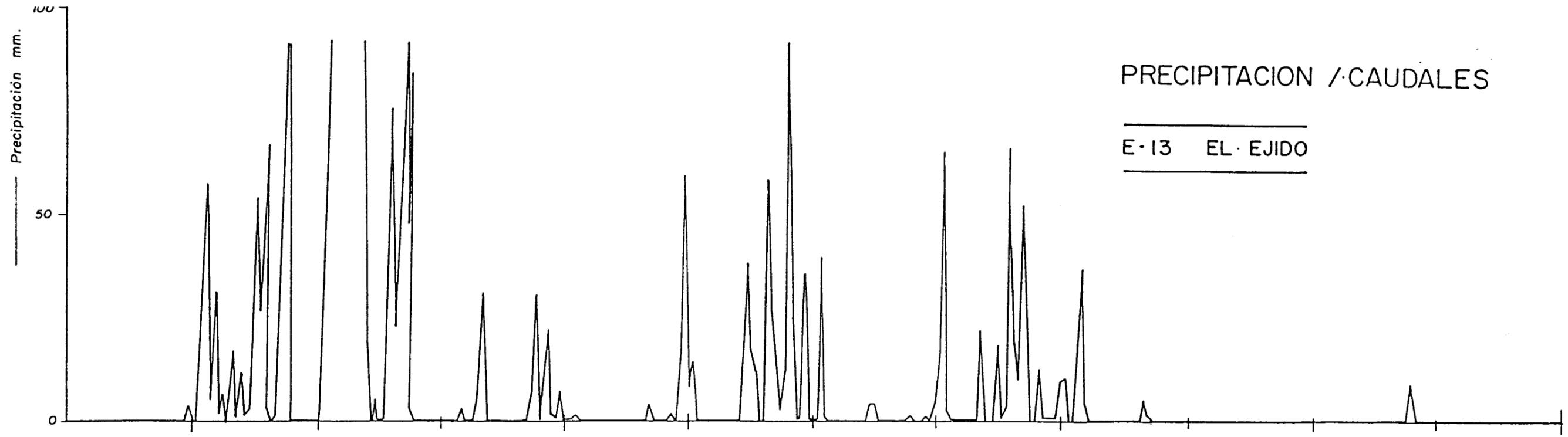
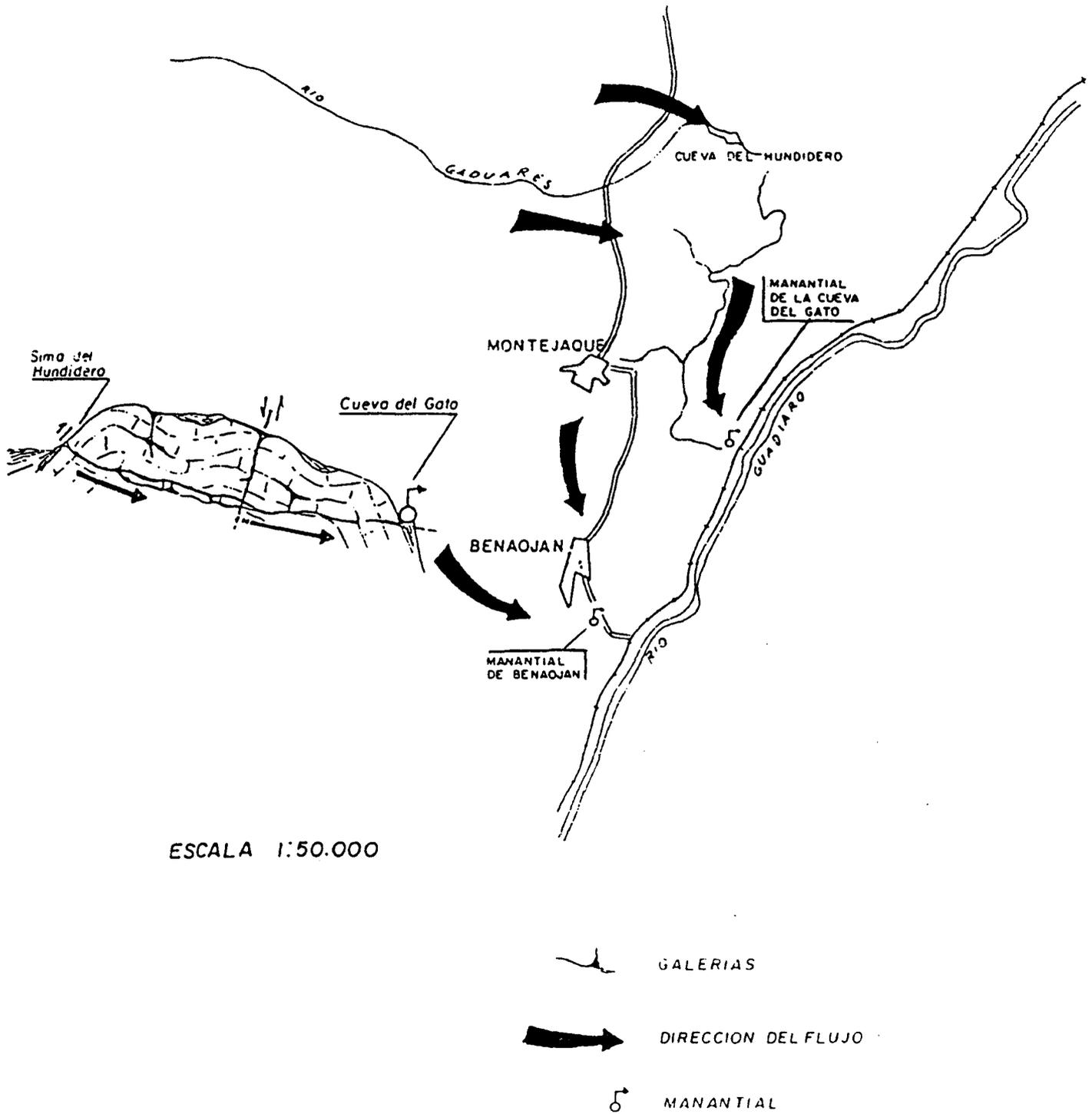


FIG. 4.4.

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO
SISTEMA HUNDIDERO CUEVA DEL GATO

FIG. 4.5.



La surgencia de El Ejio y Charco del Moro responden a este mismo esquema de funcionamiento.

la fuerte tectónica. Las formas exokársticas más representativas corresponden al poljé de la Manga de Villaluenga originado por la acción de la fallas gravitacionales de dirección N70°E y que constituye una cuenca endorréica de 7 km² de superficie. También se localizan algunas dolinas de fondo llano y campos de lenar muy bien desarrollados.

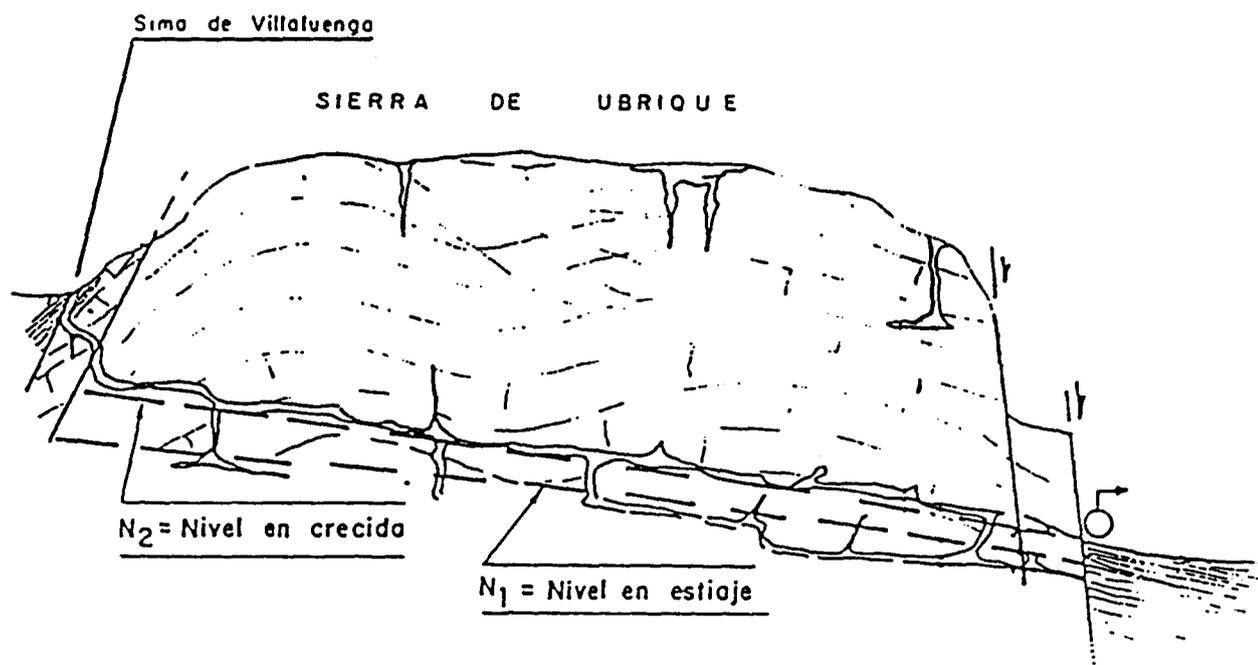
Como formas endokársticas más importantes hay que señalar la sima de Villaluenga, originada por disolución a través de una fractura y que actúa de sumidero de la cuenca endorréica del mismo nombre.

Solamente se han inventariado tres surgencias importantes, con caudales medios mayores a 1 l/s, directamente relacionados con la Unidad de Ubrique. Dos de ellas corresponden a manantiales permanentes situados en el borde de la unidad y dentro de la población de Ubrique: El manantial de Cornicabra (1444-5041), el más importante, que sirve de abastecimiento al núcleo urbano (340 metros s.n.m.) y el manantial del Saltadero o Algarrobal (1444-5001), situado a igual cota y que se encuentra regulado por un sondeo (30 l/s) que, en época estival, se emplea para complementar el abastecimiento a Ubrique.

Los caudales de ambos manantiales presentan unas variaciones estacionales muy importantes y estrechamente ligadas al régimen pluviométrico como queda patente en los diagramas precipitación/descarga obtenidos por el ITGE.

Además existe otro importante manantial, El Garciago (1445-1004) de carácter estacional, localizado en el borde sur y claramente ligado a la red de fracturas del Salto del Pollo. Este manantial presenta un funcionamiento tipo "trop plein", de forma que tras una época de fuerte precipitación se producen importantes salidas a través de varios puntos situados a cotas

absolutas variables entre 360 y 410 metros. En conjunto estas salidas llegan a drenar un caudal superior a 3000 l/s durante un tiempo que, en función de la intensidad y duración de las precipitaciones, puede oscilar entre 7 y 30 días (fig. 4.6.).



ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LAS SURGENCIAS DEL GARCIAO

FIG. 4.6.

La circulación de las aguas subterráneas en el interior de la Unidad de Ubrique responde a un esquema sencillo y en términos generales bien conocidos.

El agua caída sobre los afloramientos carbonatados se infiltra en el acuífero a través de las fisuras o discurre hacia las partes deprimidas donde una parte se evapora y otra, unida

al agua de escorrentía superficial procedente de las cuencas endorréicas, percola en el acuífero por la sima de Villaluenga y otros sumideros de menor entidad.

La posterior circulación en el interior de la Unidad se ve favorecida por la existencia de conductos kársticos bien desarrollados que propician velocidades relativamente altas (500-1000 m/día). Este hecho se ha podido constatar mediante el empleo de fluoresceína inyectada en la sima de Villaluenga y captada en los manantiales de Benafeliz y el Saltadero a los 6 días y en el de Cornicabra a los 11, todos situados a 5-6 km de la sima en línea recta.

Las salidas controladas con escalas totalizan 5,2 hm³ (IGME 1983-84) (4,2 hm³ en Cornicabra y 1,0 hm³ en El Saltadero).

La descomposición del hidrograma correspondiente a las aportaciones en la estación de aforo del río Ubrique para el mismo período, da unos valores de escorrentía subterránea variables entre 6,5 y 12,8 hm³, de los que 3,5 proceden del manantial de Benafeliz y el resto de las descargas de la Unidad de Ubrique (3-9,3). Admitiendo como valor más probable el segundo, la aportación subterránea de la Unidad de Ubrique totalizaría 9,3 hm³ (5,2 hm³ correspondientes al drenaje a través de Cornicabra y Saltadero y 4,1 hm³ perteneciente a la descarga por las surgencias del Garciago y los manantiales del borde Sur): valor que extrapolado a la serie de 20 años representa unos recursos medios de 9 hm³/año.

4.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO

No resulta sencillo plantear un estudio de un sistema

kárstico como el referenciado mediante isótopos, cuando el tiempo de respuesta del sistema es tan rápido por existir velocidades del orden de 500-1000 m/día. Isótopos válidos para estos órdenes de magnitud de tiempo como el ^{82}Br ($t_{\frac{1}{2}} = 36$ horas), ^{131}I ($t_{\frac{1}{2}} = 8$ días) ó $^{51}\text{Cr-EDTA}$ ($t_{\frac{1}{2}} = 27,8$ días) resultan inviábiles por el enorme contenido de isótopo + portador que sería necesario introducir en el sistema para un completo estudio.

En estos casos, el mejor trazador sigue siendo la fluoresceína que, convenientemente dosificada, permite un análisis detallado del comportamiento hidráulico del sistema.

La dinámica del complejo kárstico podría intentar estudiarse mediante análisis muy continuados (semanales-mensuales, según la pluviometría) de los contenidos en isótopos estables y tritio, comparándose las entradas por lluvias con las descargas del sistema, durante un período de varios meses de observación. El costo de la operación, en tiempo y análisis, resultaría muy elevado, por lo que quizás sólo sería recomendable el estudio de alguna descarga en concreto. Por otra parte, se desconoce si la variabilidad isotópica local resultaría lo suficientemente acusada como para poder acotar los tiempos de respuesta entre entradas y salidas, así como delimitar la divisoria subterránea entre las cuencas del Guadiaro y Guadalete.

Por todo lo expuesto se decidió, en el planteamiento inicial de este trabajo, conocer ante todo si la zona era lo suficientemente extensa y las lluvias lo suficientemente caracterizadas, como para que pudieran detectarse los efectos de variabilidad isotópica en longitud, latitud y altura. La cuantificación de estos gradientes resulta fundamental para poder abordar, en una eventual segunda fase de trabajo, los aspectos de detalle anteriormente referidos.

Se ha procedido, por tanto, al análisis de ^{18}O y ^2H de las siguientes descargas:

Unidad de Montejaque. Descargas al Guadiaro.

- Cueva del Gato (Zona NE)
- Ejío de Benaoján (Zona NE)
- Estación de Jimera de Líbar (Zona Centro-E)
- Charco del Moro (Zona S)

Unidad de Ubrique. Descargas al Guadalete.

- M. Cornicabra (Zona de Ubrique)
- M. Saltadero (Algarrobal) (Zona de Ubrique)
- Fte. de los 20 Pilares (Zona de Ubrique)

De este modo quedan caracterizadas bajo el punto de vista isotópico las principales descargas de ambas unidades. Se han tomado, además, muestras adicionales para proceder a su análisis químico con el fin de intentar caracterizarlas también por esta vía, si resultara posible.

Con el fin de determinar si existe suficiente variabilidad isotópica en función de la extensión geográfica de la zona (longitud, latitud y altura), que permita caracterizar las entradas por lluvia, se han instalado siete pluviómetros totalizadores situados en posiciones previamente estudiadas para cubrir este potencial efecto de fraccionamiento. Su disposición ha sido la siguiente:

Unidad de Montejaque

- Cueva de la Pileta (Sector NE)
- Cortijo los Encinales (Sector Centro-S)
- Cortijo del Puerto del Oso (Gaucín) (Sector S)

Unidad de Ubrique

- Benaocaz (Sector Centro-W)
- El Cerrillo (Villaluenga) (Sector Centro)

- Puerto del Boyar (Grazalema) (Sector NW)
- Cortijo Monte de Abela (Sector NE)

Mientras las descargas de los manantiales se localizan, por lo general, entre cotas +340 a +460 m. los pluviómetros han podido instalarse entre 550 y 920 m. de altura. Conseguir mayores cotas para obtener una más amplia gama de correlación ha resultado imposible por lógicos problemas de acceso en estas sierras.

4.3.- MUESTREO REALIZADO

En la fig. 4.7 y en la tabla 4.1. se indica la situación de todos los puntos de agua muestreados. La tabla 4.2. resume las determinaciones analíticas llevadas a cabo. Las lluvias corresponden al periodo enero-mayo de 1990, evitando así las tormentas estivales de resultados isotópicos potencialmente distorsionadores.

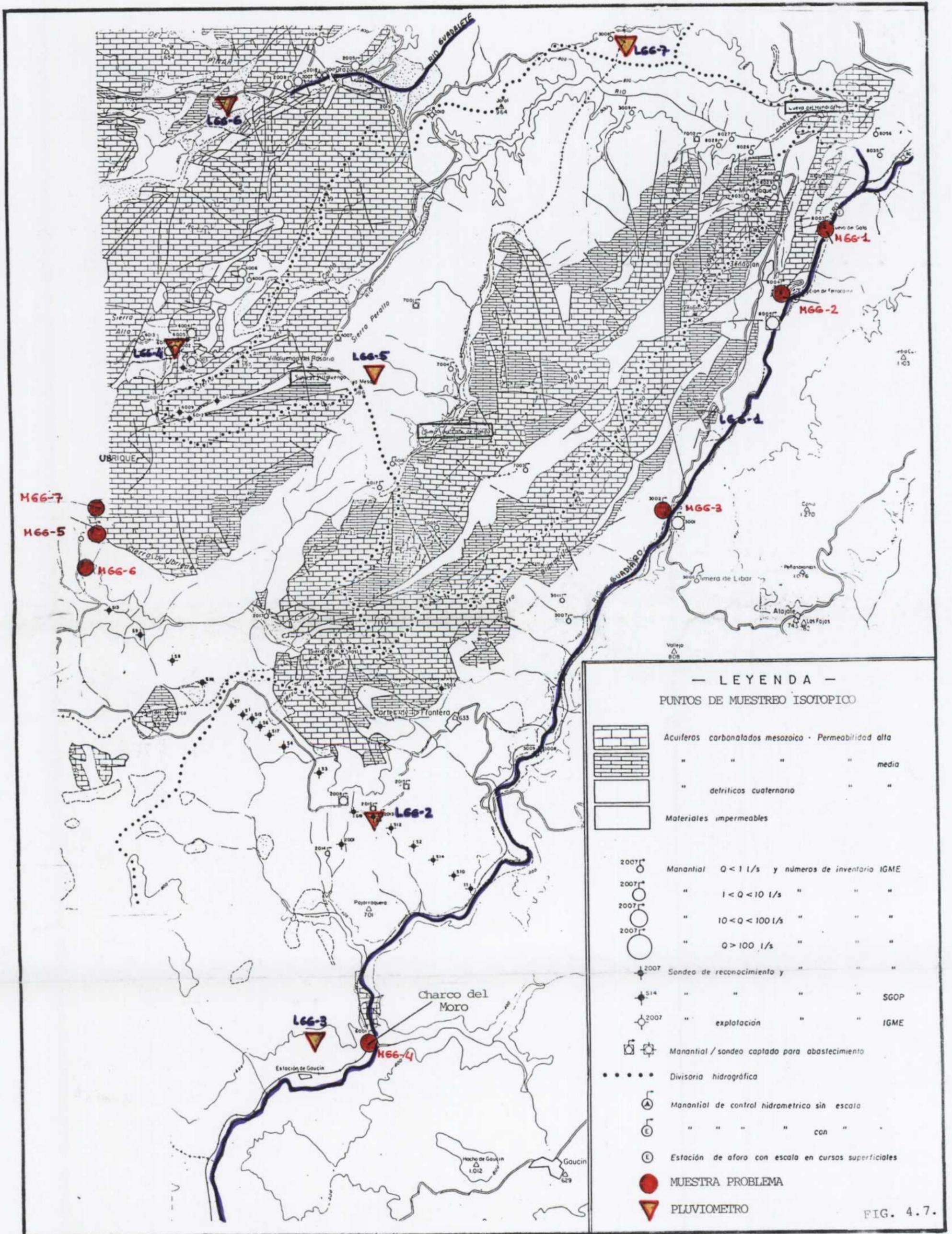
4.4.- RESULTADOS OBTENIDOS

La tabla 4.3. resume los resultados isotópicos obtenidos, y en el Anexo se adjuntan los correspondientes químicos.

Con las siete aguas de lluvia de la zona se obtiene una ecuación referida al $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ de valor (fig. 4.8):

$$\delta\text{D} = 2,1 \delta^{18}\text{O} - 18.9 \quad (r^2 = 0,46)$$

Por otra parte, con las siete descargas de los principales manantiales locales (fig. 4.9) se obtiene como ecuación:



— LEYENDA —
PUNTOS DE MUESTREO ISOTOPICO

- Acuíferos carbonatados mesozoico - Permeabilidad alta
- " " " " media
- " detriticos cuaternario " "
- Materiales impermeables
- 2007 $Q < 1 \text{ l/s}$ y números de inventario IGME
- 2007 $1 < Q < 10 \text{ l/s}$ " " "
- 2007 $10 < Q < 100 \text{ l/s}$ " " "
- 2007 $Q > 100 \text{ l/s}$ " " "
- 2007 Sondaje de reconocimiento y " " "
- 514 " " " " SGOP
- 2007 " explotación " " IGME
- Manantial / sondeo captado para abastecimiento
- Divisoria hidográfica
- Manantial de control hidrometrico sin escala
- " " " " con " "
- Estación de aforo con escala en cursos superficiales
- MUESTRA PROBLEMA
- PLUVIOMETRO

FIG. 4.7.

TABLA 4.1.- SITUACION DE LAS MUESTRAS ISOTOPICAS

MANANTIALES

UNIDAD	MUESTRA	DENOMINACION	X (UTM)	Y (UTM)	h (m)	DESCARGA
MONTEJAQUE	MGG-1	CUEVA DEL GATO	300.3	4067.2	460	GUADIARO
	MGG-2	EJIO DE BENAJOAN	299.2	4065.7	460	GUADIARO
	MGG-3	EST. JIMERA LIBAR	296.3	4060.3	400	GUADIARO
	MGG-4	CHARCO DEL MORO	288.3	4047.3	220	GUADIARO
UBRIQUE	MGG-5	SALTADERO (ALGARROBAL)	281.5	4061.5	340	GUADALETE
	MGG-6	FTE. 20 PILARES	281.5	4060.0	340	GUADALETE
	MGG-7	CORNICABRA	281.6	4062.5	360	GUADALETE

PLUVIOMETROS

UNIDAD	MUESTRA	DENOMINACION	X (UTM)	Y (UTM)	h (m)
MONTEJAQUE	LGG-1	CUEVA DE LA PILETA	297.4	4062.9	640
	LGG-2	CORTIJO LOS ENCINARES	288.5	4052.6	660
	LGG-3	CORTIJO DEL PUERTO DEL OSO	287.3	4048.9	550
UBRIQUE	LGG-4	BENAOCAZ	283.2	4064.8	720
	LGG-5	EL CERRILLO	288.5	4064.0	960
	LGG-6	PUERTO DEL BOYAR	285.0	4070.6	920
	LGG-7	CORTIJO MONTE DE ABELA	295.0	4072.0	800

TABLA 4.2.- RESUMEN DEL MUESTREO REALIZADO

MANANTIALES

MUESTRA	DENOMINACION	¹⁸ O	² H	QUIMICO
MGG-1	CUEVA DEL GATO	X	X	X
MGG-2	EJIO DE BENAJOAN	X	X	X
MGG-3	EST. JIMERA LIBAR	X	X	X
MGG-4	CHARCO DEL MORO	X	X	X
MGG-5	SALTADERO (ALGARROBAL)	X	X	X
MGG-6	FTE. 20 PILARES	X	X	X
MGG-7	CORNICABRA	X	X	X

PLUVIOMETROS

MUESTRA	DENOMINACION	¹⁸ O	² H
LGG-1	CUEVA DE LA PILETA	X	X
LGG-2	CORTIJO LOS ENCINARES	X	X
LGG-3	CORTIJO DEL PUERTO DEL OSO	X	X
LGG-4	BENAOCAZ	X	X
LGG-5	EL CERRILLO	X	X
LGG-6	PUERTO DEL BOYAR	X	X
LGG-7	CORTIJO MONTE DE ABELA	X	X

TOTAL	14	14	7
-------	----	----	---

TABLA 4.3.- RESULTADOS ISOTOPICOS

MANANTIALES

MUESTRA	DENOMINACION	^{18}O (SMOW)	^2H (SMOW)
MGG-1	CUEVA DEL GATO	-2.94	-25.4
MGG-2	EJIO DE BENAJOAN	-2.94	-23.9
MGG-3	EST. JIMERA LIBAR	-5.34	-32.9
MGG-4	CHARCO DEL MORO	-5.24	-31.4
MGG-5	SALTADERO (ALGARROBAL)	-4.54	-26.3
MGG-6	FTE. 20 PILARES	-4.02	-22.5
MGG-7	CORNICABRA	-2.87	-21.3

PLUVIOMETROS

MUESTRA	DENOMINACION	^{18}O (SMOW)	^2H (SMOW)
LGG-1	CUEVA DE LA PILETA	-4.25	-26.6
LGG-2	CORTIJO LOS ENCINARES	-5.16	-27.9
LGG-3	CORTIJO DEL PUERTO DEL OSO	-3.71	-25.1
LGG-4	BENAOCAZ	-3.73	-27.7
LGG-5	EL CERRILLO	-3.82	-27.6
LGG-6	PUERTO DEL BOYAR	-4.63	-33.5
LGG-7	CORTIJO MONTE DE ABELA	-4.71	-28.6

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA

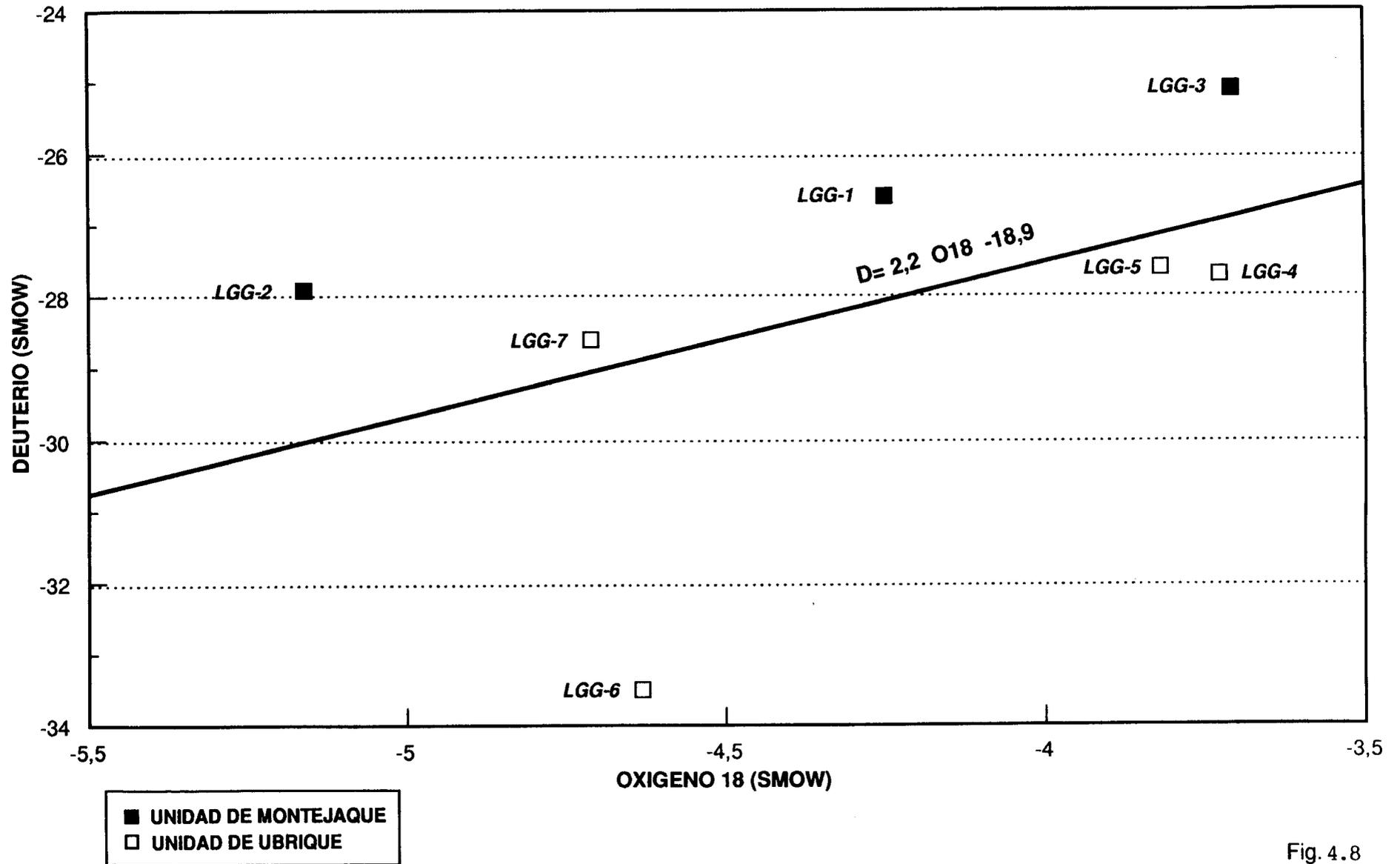


Fig. 4.8

DIAGRAMA AGUAS MANANTIALES

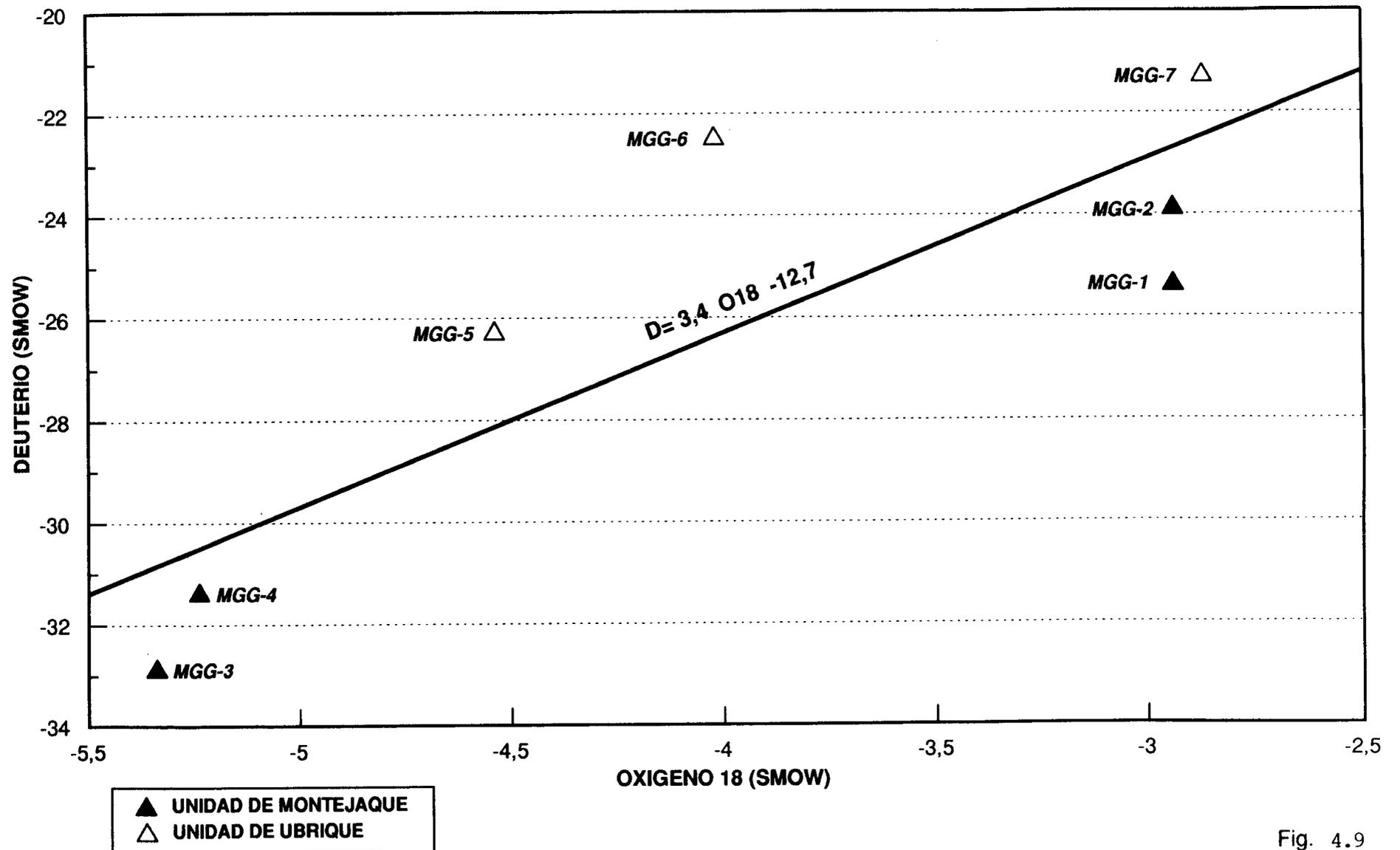


Fig. 4.9

$$\delta D = 3,4 \delta^{18}O - 12,7 \quad (r^2 = 0,84)$$

De la simple observación del grado de ajuste de ambas nubes de puntos se deduce que, mientras las descargas presentan un coeficiente de correlación aceptable, las aguas de lluvia carecen de correlación válida.

Resulta, a priori, un fenómeno poco frecuente que tiene, como explicación más plausible, la de una acusada heterogeneidad de los frentes de lluvia durante el periodo de observación.

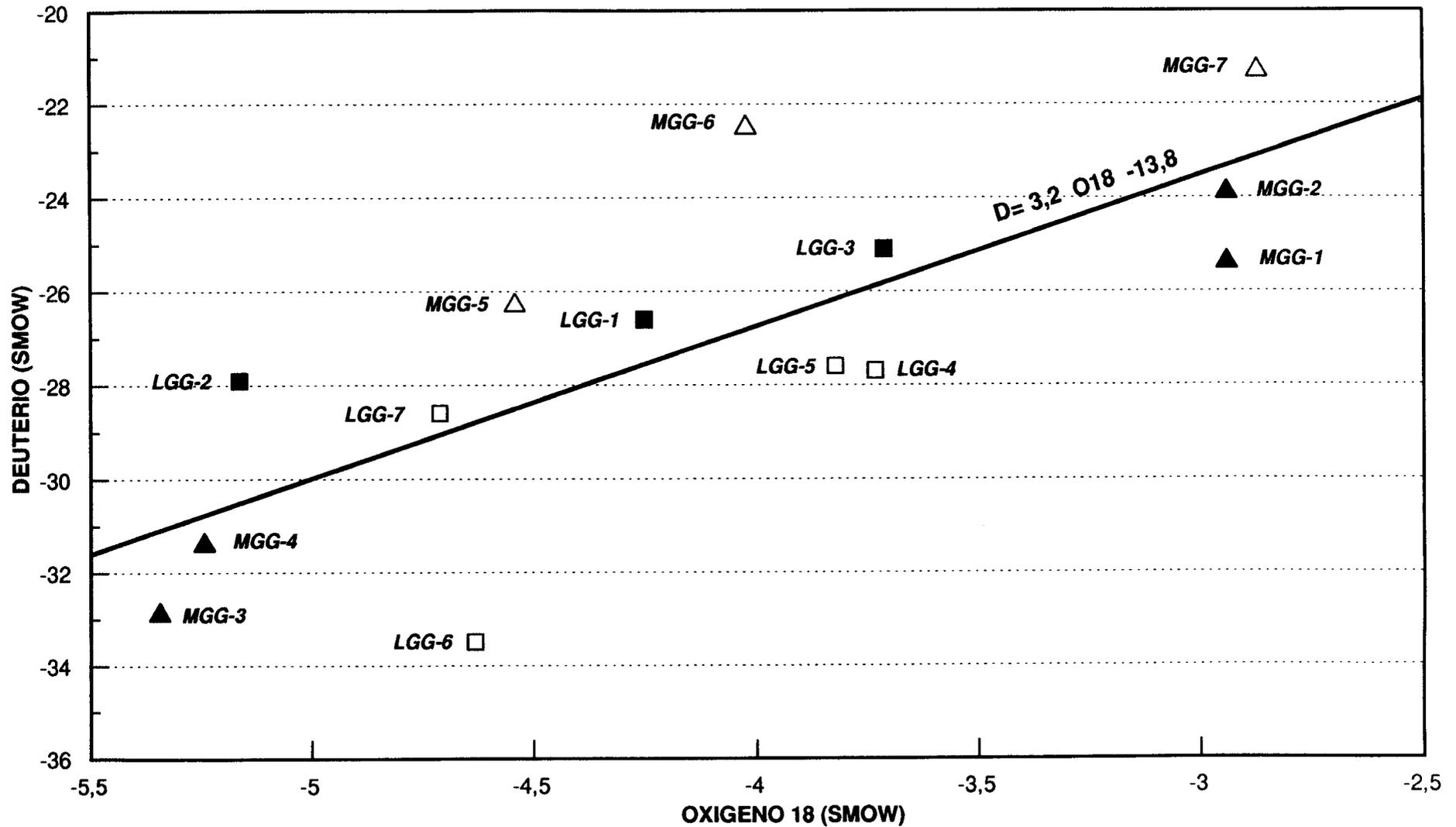
Como se ha reseñado anteriormente, el muestreo se ha llevado a cabo en el periodo enero-mayo, con el fin de eliminar el anormal régimen de tormentas estivales debidas a evaporaciones intensas puntuales.

Es bien conocido que este sector goza de un microclima particular con uno de los mayores índices de precipitación de la Península (1000-2000 mm/año). Solo cabe concluir, que esta particularidad se debe a un cúmulo de variables meteorológicas particulares que predominan sobre la normal variabilidad isotópica de los frentes con movimiento W-E y por este motivo se distorsiona notablemente el contenido isotópico.

Curiosamente, las aguas de descarga de los manantiales presentan un efecto integrador que tiende a reconducir la ecuación $^{18}O/^{2}H$ hacia valores de ajuste mucho más aceptables. Evidentemente, la combinación de ambas (lluvia+manantiales) ofrece ya un claro efecto distorsionador (fig. 4.10).

Las figs. 4.11 a 4.16 constituyen el análisis de la descomposición de los efectos de altura, longitud y latitud en la dinámica isotópica de las aguas de lluvia. Se observan los siguientes efectos:

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA + AGUAS MANANTIALES



UNIDAD	LLUVIA	AGUAS MANANTIALES
MONTEJAQUE	■	▲
UBRIQUE	□	△

Fig. 4.10

CORRELACION ALTURA - OXIGENO 18 (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA

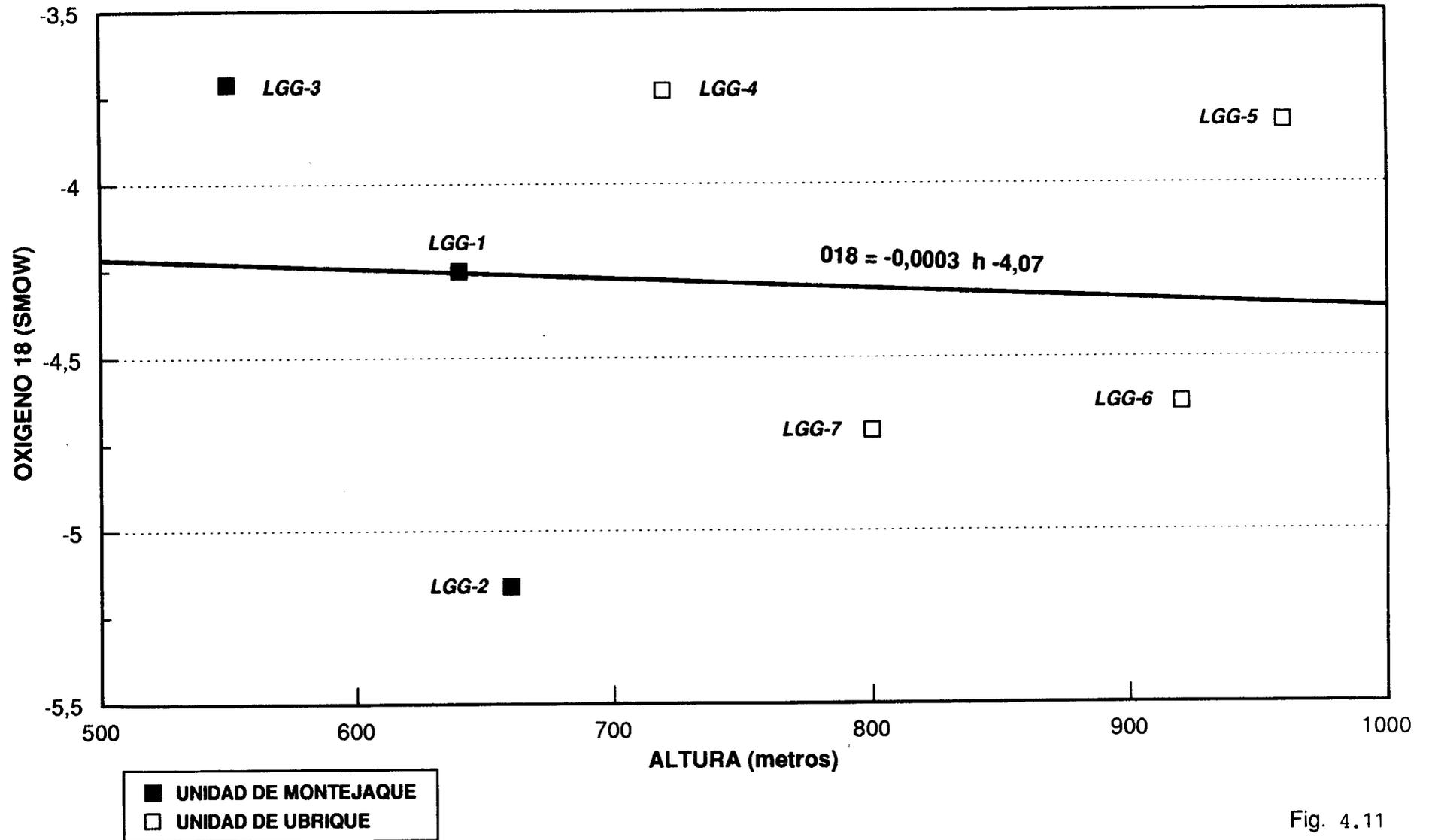


Fig. 4.11

CORRELACION ALTURA - DEUTERIO (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA

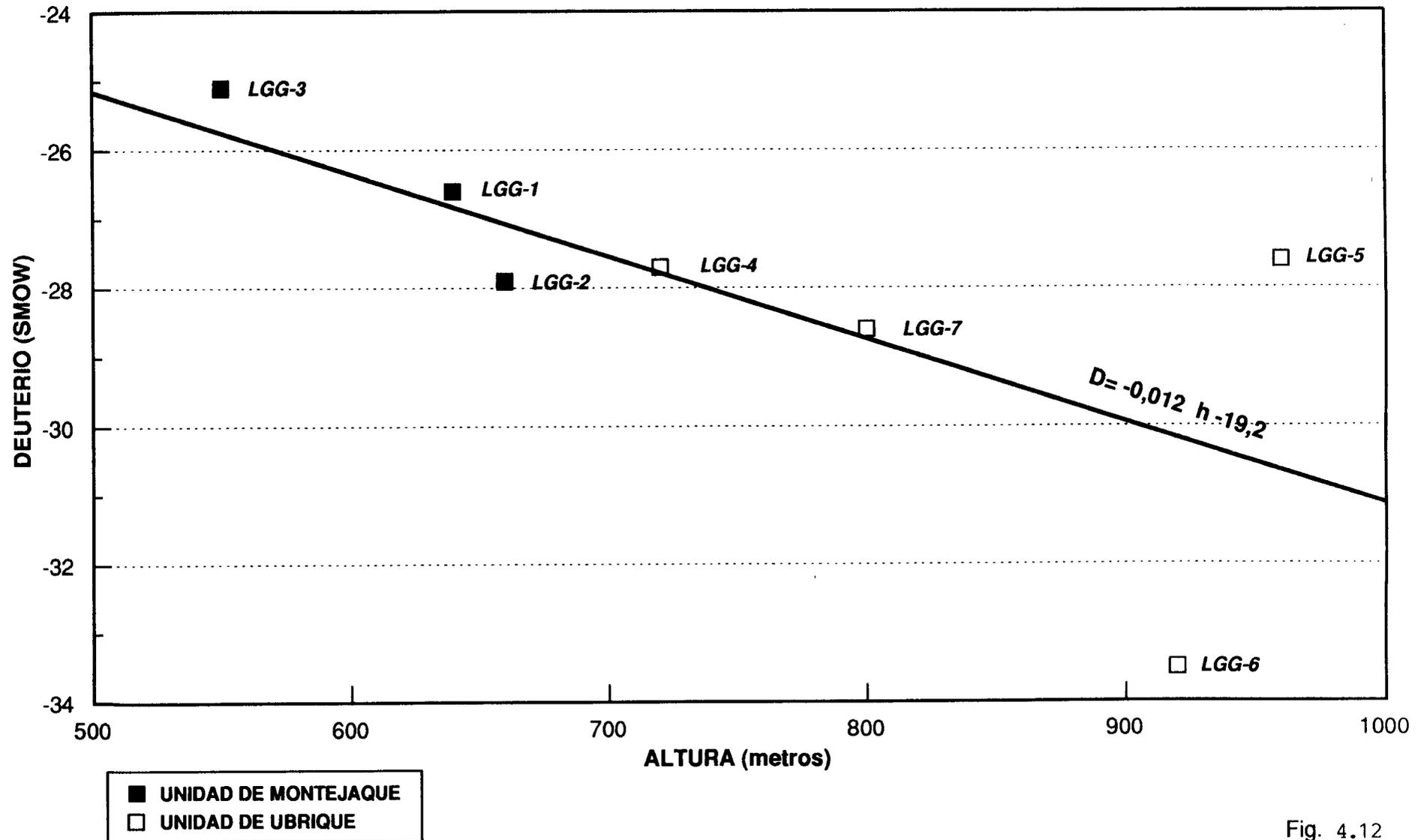


Fig. 4.12

CORRELACION LONGITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA

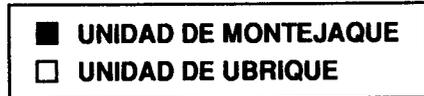
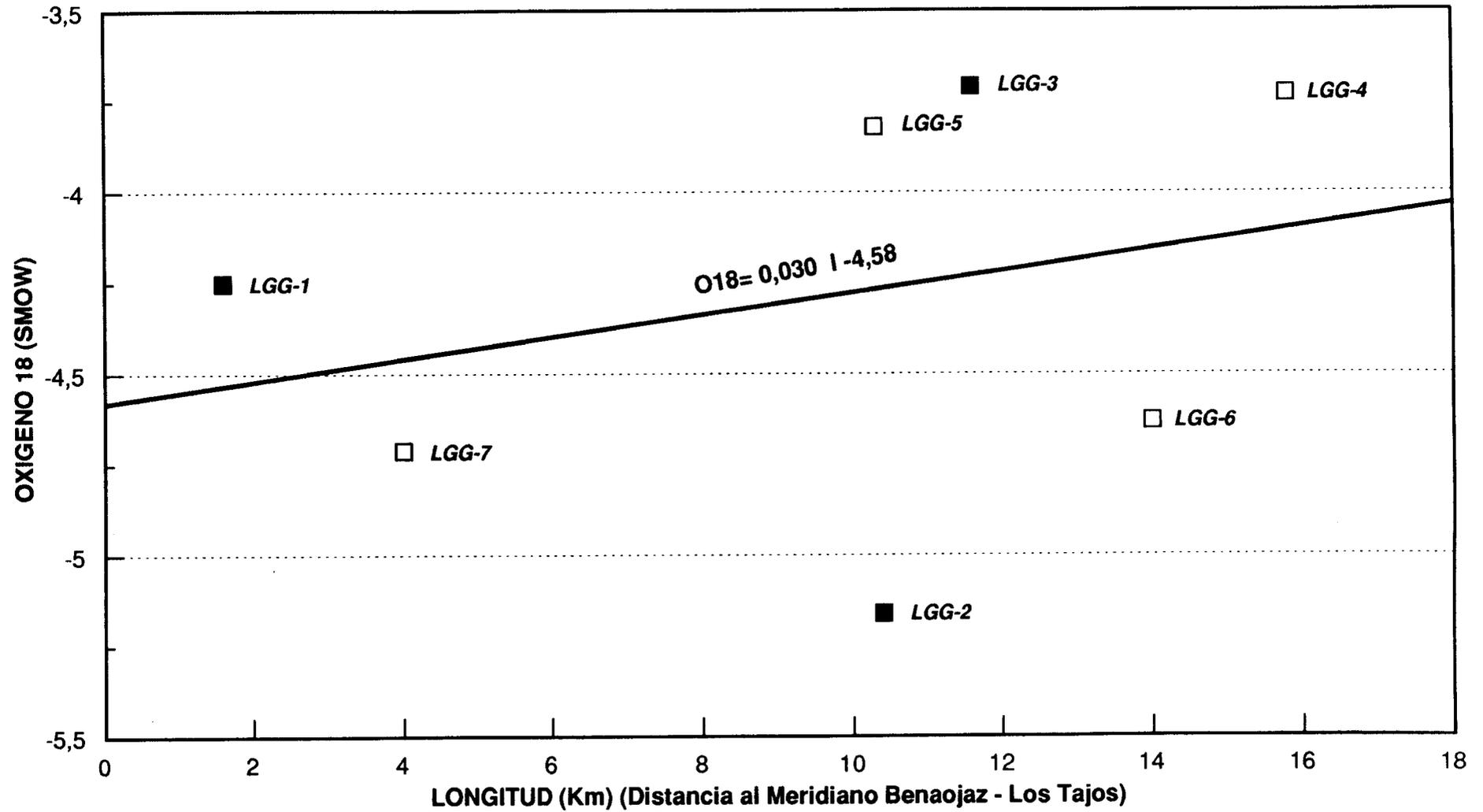
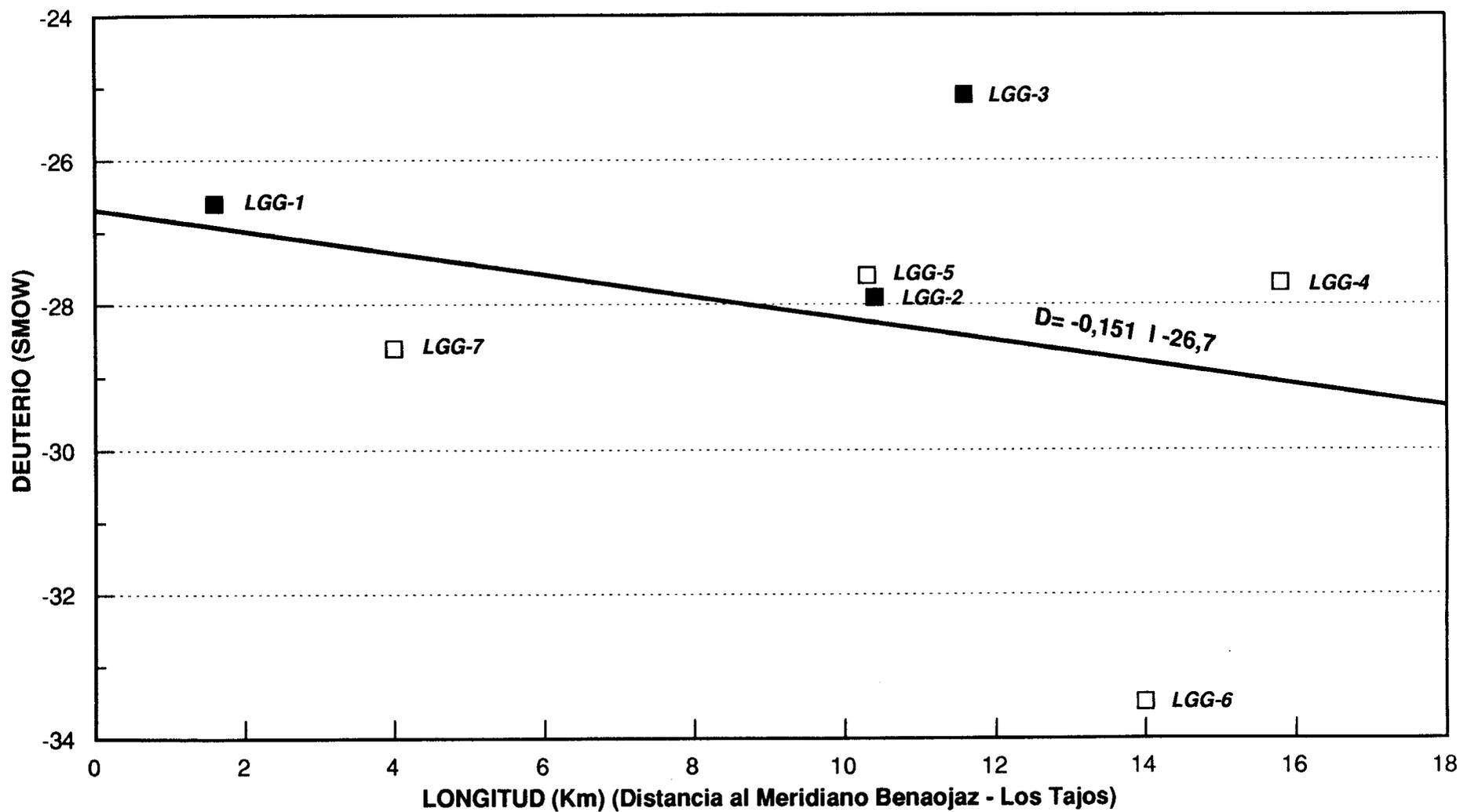


Fig. 4.13

CORRELACION LONGITUD - DEUTERIO (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA



■ UNIDAD DE MONTEJAQUE
□ UNIDAD DE UBRIQUE

Fig. 4.14

CORRELACION LATITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA

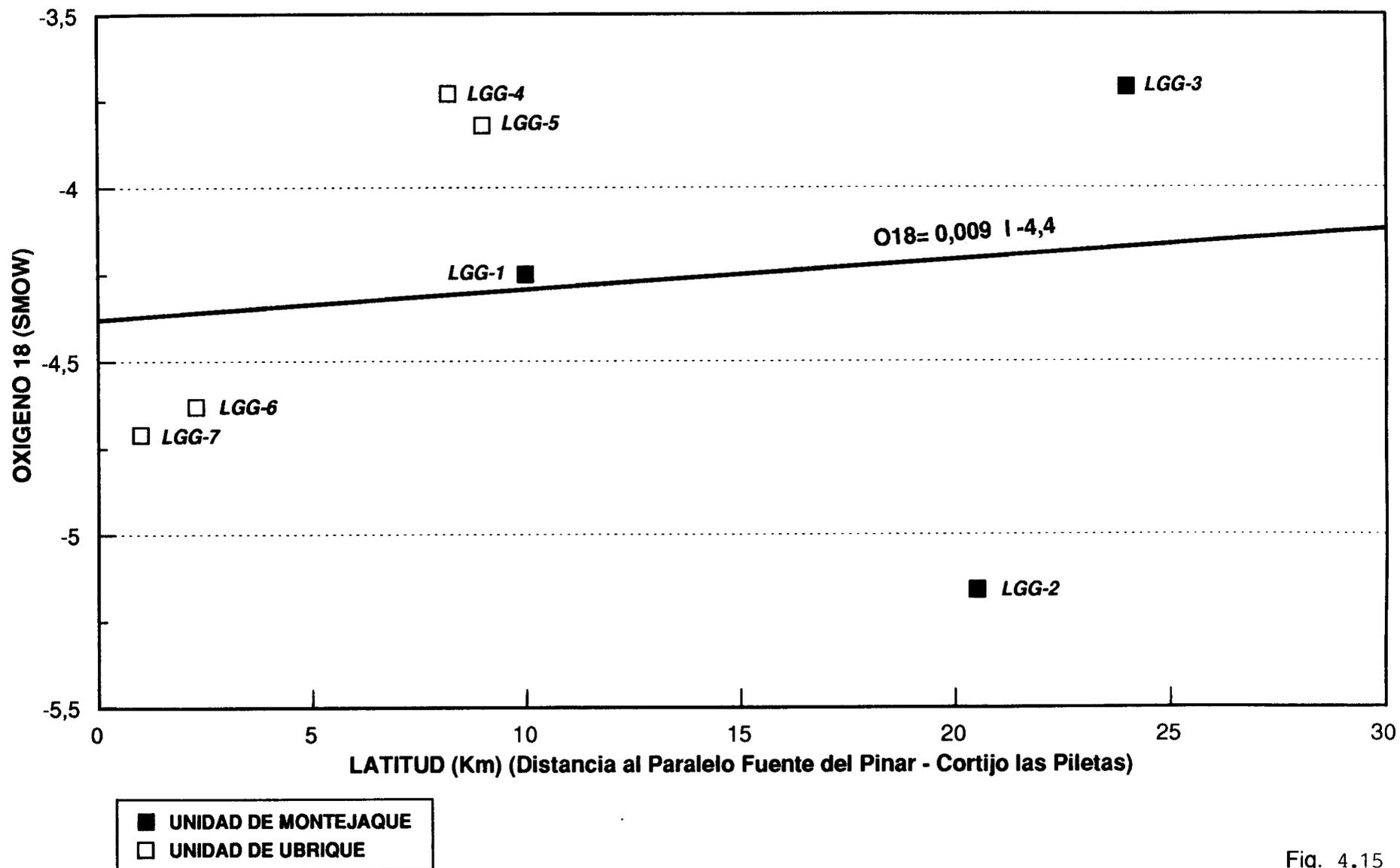


Fig. 4.15

CORRELACION LATITUD - DEUTERIO (SMOW)

AGUAS DE LLUVIA

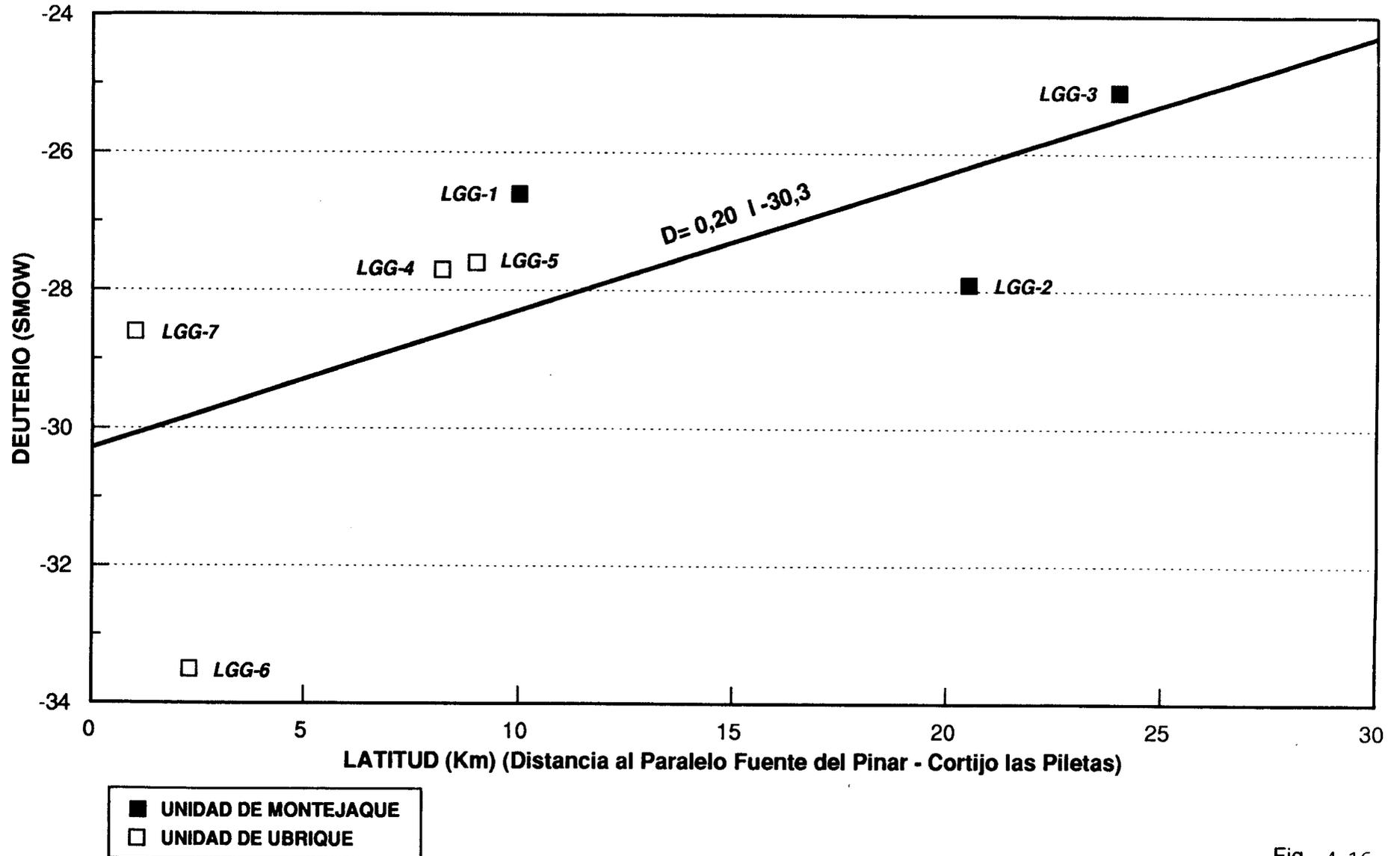


Fig. 4.16

- La correlación ^{18}O -altura, la que usualmente funciona con mayor precisión y está más experimentada, no existe.
- La correlación ^2H -altura presenta valores correctos y un coeficiente de ajuste relativamente aceptable ($r^2 = 0,7$) en este contexto.
- El efecto de longitud se manifiesta con pendientes de signo contrario para el ^{18}O que para el ^2H .
- En el efecto de latitud, también el deuterio muestra valores mucho más coherentes que los dispersos del oxígeno-18.

Resulta evidente la total anarquía de resultados isotópicos, sobre todo en lo que a ^{18}O se refiere. Es por este motivo que nos inclinamos a suponer que el origen de esta dispersión de resultados haya que buscarla, como hipótesis más coherente, en una elevada génesis de lluvias motivada por condicionantes meteorológicos variados que tienen un efecto distorsionador sobre la dinámica isotópica asumida como convencional.

Con estos resultados, cualquier intento de correlación entre los aportes de aguas de lluvia y las descargas resulta atrevido y metodológicamente incoherente.

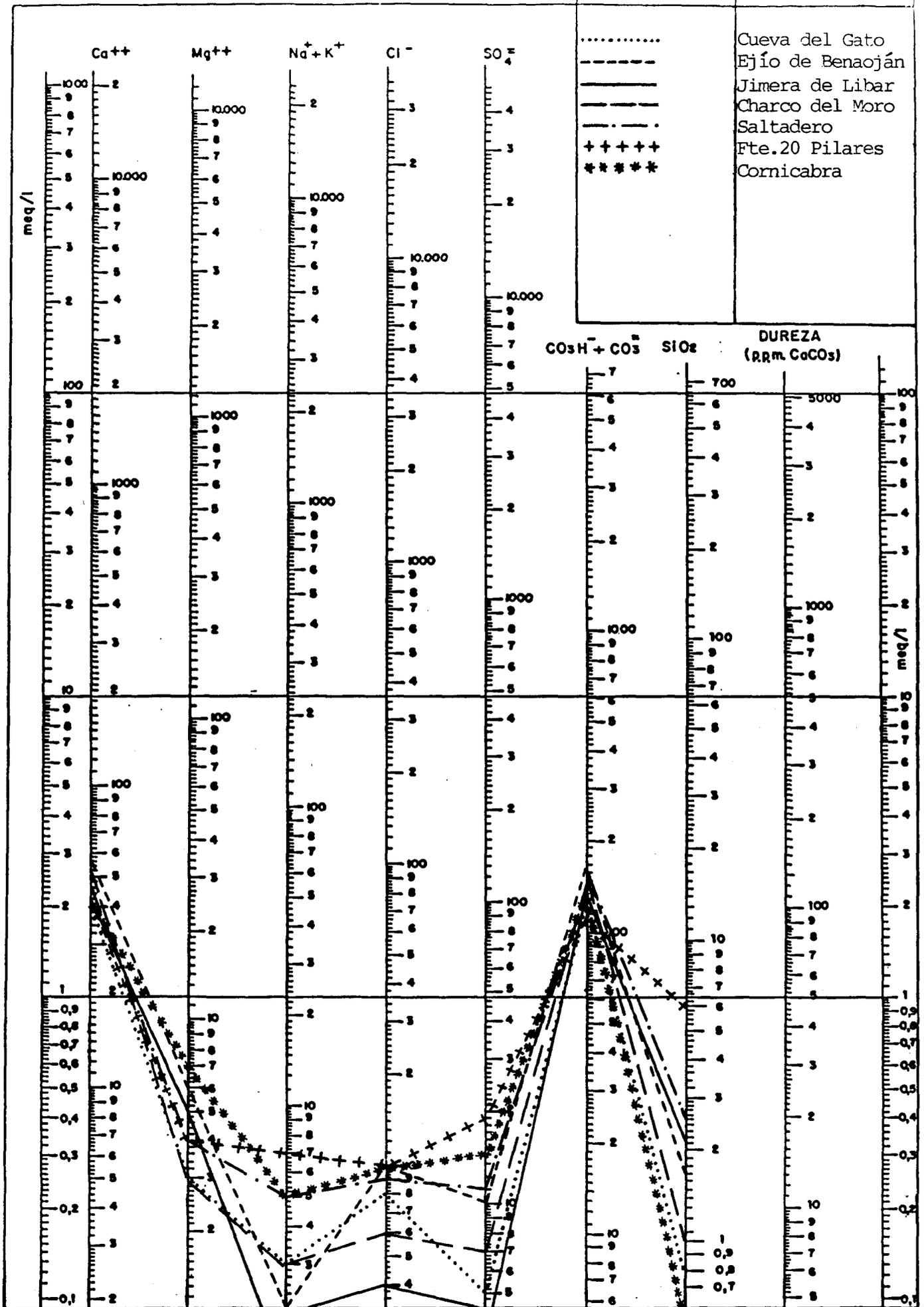
Obsérvese como también, en lo que a los contenidos isotópicos de las descargas se refiere (figs. 4.7 y 4.9) la dispersión de resultados analíticos invalida el criterio geográfico. Descargas próximas como las de la Cueva del Gato y la Estación de Benaoján en el Guadiaro, resultan isotópicamente similares a las del manantial Cornicabra de Ubrique. Por el

contrario, otras dos descargas de esta localidad, los manantiales Saltadero y la Fuente de los 20 Pilares aparecen como acusadamente distintas. Del mismo modo, las descargas de Jimera de Libar y las del Charco del Moro, las más meridionales, resultan isotópicamente similares a pesar de su acusado distanciamiento geográfico.

Poco aportan también los análisis químicos, dado que todas las aguas resultan bicarbonatado-cálcicas, cuantitativamente y cualitativamente muy similares, como corresponde a una circulación exclusiva por materiales carbonatados (fig. 4.17). Como carácter distintivo, solo puede comentarse el mayor contenido de Cl^- y Na^+ de las descargas de Ubrique, doble que las correspondientes al sector oriental del Guadiaro, pero se trata de ordenes de magnitud bajos (8-10 ppm frente a 4-6 ppm) y carentes de toda representatividad.

Estamos, pues, ante un caso en el que la aplicación de los isótopos estables resulta totalmente inoperativo.

FIG. 4.17.- ANALISIS QUIMICOS



5.- CARACTERIZACION ISOTOPICA DE LOS ACUIFEROS

DEL CAMPO DE CARTAGENA

5.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Con este estudio se pretende llevar a cabo la caracterización isotópica de los diferentes acuíferos que conforman el Campo de Cartagena y, si resulta posible, determinar la potencial interconexión vertical de los mismos.

La comarca del Campo de Cartagena (Sistema Acuífero nº 48) está delimitada por las Sierras de Unión, Cartagena, La Muela, Algarrobo, Columbares, Escalona y su prolongación hasta llegar a Punta Prima. Comprende las cuencas costeras de las ramblas de Benipila del Albuñón y de los ríos Seco y Nacimiento, con una extensión de 1580 km².

El Campo de Cartagena corresponde a una gran cuenca subsidente, cuya disposición es la de un gran sinclinorio neógeno de dirección NW-SE que buza hacia el SE.

Apoyado al NW y N sobre materiales béticos de las Sierras de Carrascoy y Cresta del Gallo y al S en las Sierras costeras de la Muela y Cartagena-La Unión, presenta sedimentos desde el Helveciense hasta el Cuaternario más o menos reciente.

Por el W queda probablemente independizado del Valle del Guadalentín, debido al posible elevamiento del relieve bético entre las Sierras de Carrascoy y de Almenara.

Dentro del Campo de Cartagena se distinguen de base a techo

los siguientes acuíferos:

- Rocas carbonatadas del Triás bético: Se localizan en la prolongación hacia el N de la Sierra de las Victorias. Su potencia es inferior a 200 m. y está constituido por dolomías que pueden captarse a poca profundidad en determinados puntos.
- Conglomerados del Helveciense: No se explota dada su gran profundidad.
- Conglomerado y areniscas del Tortonense inferior-medio: En la parte N del Campo está representado por más de 500 m de conglomerados poligénicos que hacia el E pasan a areniscas. En el sector meridional, al norte de la ciudad de Cartagena, está integrado por 15 m de calizas que a veces pasan a areniscas.
- Calcarenitas bioclásticas del Andaluciense: Formación de 50-150 m de potencia situado en la parte central y oriental del Campo.
- Areniscas del Plioceno: Unos 10-60 m de areniscas que ocupan la misma área que el Andaluciense, situándose a techo.
- Cuaternario: Conglomerados, arenas y arcillas presente en la casi totalidad del campo.

En realidad, los tres únicos acuíferos interesantes los constituyen el basamento bético y el llamado Grupo V (Andaluciense-Plioceno) en sus dos tramos: el inferior de calcarenitas bioclásticas y el superior de areniscas separadas por un tramo margoso que los independiza.

El acuífero constituido por el basamento bético se intersecta, fundamentalmente, en los alrededores del Cabezo Gordo (zona de Torre Pacheco-S.Javier) y en el borde meridional del Campo y se caracteriza por producir, frecuentemente, agua termal de hasta 50°C con abundante CO₂ libre de procedencia endógena. El acuífero se encuentra sobreexplotado. La profundidad media del agua es de unos 150 m.

Las calcarenitas bioclásticas del Andaluciense abarcan una superficie de unos 635 km², de los cuales afloran 25 km². Presenta límites definidos en el N y S. En la zona central se produce un cambio de facies de las calizas, que pasan lateralmente a margas. Por el NE, el acuífero se prolonga hasta Torrevieja y las calcarenitas pasan lateralmente a molasas muy permeables con espesores de hasta 200 m. Al W el límite es más impreciso, si bien no parece haber continuidad hacia la cuenca de Fuente Alamo al existir bajo el Pliocuaternario un umbral de materiales béticos.

El acuífero se estructura como un amplio y suave sinclinorio. La profundidad del techo del acuífero, en cota absoluta respecto al nivel del mar, oscila entre +150 m en la zona más septentrional y -300 m en San Pedro del Pinatar, poniéndose de manifiesto el hundimiento progresivo del acuífero en dirección SE.

El acuífero superior, constituido por las areniscas del Plioceno, posee una superficie de 700 km² de los que afloran 75 km². Su disposición es la de un amplio sinclinorio de eje E-W, cuya topografía se adapta a la del acuífero inferior siendo sus límites similares.

Se encuentra separado de éste por un paquete de margas cuyo espesor no excede los 120 m. Por la parte meridional, ambos

acuíferos están conectados por lo que se consideran como acuífero único. Además, gran cantidad de sondeos captan agua de los dos acuíferos, originándose así un drenaje artificial desde el acuífero superior al inferior. La profundidad del techo del acuífero plioceno oscila entre +200 m en la zona septentrional y -150 m en San Pedro del Pinatar (30-170 m respecto al suelo).

Parece ser importante, por otra parte, la influencia que el acuífero basal triásico pueda ejercer en la recarga del Andaluciense, mediante el aporte de aguas profundas calientes y de CO₂ endógeno.

La alimentación de todo el conjunto procede de la infiltración de la lluvia útil, estimándose en 30-40 hm³/año. Las extracciones por bombeo suponían, en el momento de entrar en funcionamiento el trasvase Tajo-Segura, un total de 116 hm³/año, de los que 70 hm³/año correspondían al extremo NE del Campo. La explotación de recursos era, por tanto, de unos 80 hm³/año como mínimo, con el consiguiente descenso continuado de los niveles piezométricos (hasta 8 m/año entre San Javier y Torre vieja).

Las reservas útiles existentes en el acuífero Plioceno Inferior (hasta los 250 m. en la profundidad del N.P.) son del orden de 600 a 1200 hm³, mientras que para el acuífero Plioceno Superior, las reservas útiles y totales (el muro del acuífero se encuentra a menos de 250 m de profundidad) se estiman entre 400 y 800 hm³. Por tanto las reservas útiles de los acuíferos del Plioceno se encuentra entre 1000 y 2000 hm³.

Por lo que a la calidad de las aguas se refiere, resulta difícil asignar los análisis a un nivel permeable concreto ya que los sondeos no poseen, en la mayoría de los casos, cementaciones que aislen los niveles impermeables o poco permeables.

De manera general y orientativa la calidad del agua en los acuíferos es la siguiente (fig. 5.1.):

- *Andaluciense*: salinidades comprendidas entre 1000 y 2000 mg/l, siendo su facies del tipo cloro-sulfatada-mixta, aunque no se descarta la posibilidad de salinidades superiores en zonas próximas al mar.
- *Plioceno Superior*: la salinidad entre 2000 y 4000 mg/l, aunque en este caso parece estar muy influenciada por las arcillas y margas con yeso del techo del acuífero, que no están cementadas en ningún caso. Su facies es cloro-sulfatada-mixta.
- *Tortonense de la Sierra del Puerto*: 500-800 mg/l con facies bicarbonatada-clorurada-magnésica-sódica.
- *Tortonense meridional*: presenta salinidades entre 2000 y 4000 mg/l. Es muy probable que también en este acuífero la salinidad sea más elevada, por la influencia de las capas arcillosas superiores no cementadas que presentan yesos. Facies clorurada-sódica y clorurada-sulfatada-mixta.
- *Triásico de la Sierra de las Victorias*: salinidades entre 1500 y 3000 mg/l, con facies sulfatada-mixta.

En definitiva, se ha comprobado que en el Campo de Cartagena la calidad del agua se ve principalmente afectada por el mal acabado de numerosos sondeos existentes, ya que en su gran mayoría no disponen de cementaciones que pudieran impedir el drenaje de las aguas del Cuaternario hacia los acuíferos explotados.



CAMPO DE CARTAGENA

MAPA DE SALINIDAD TOTAL

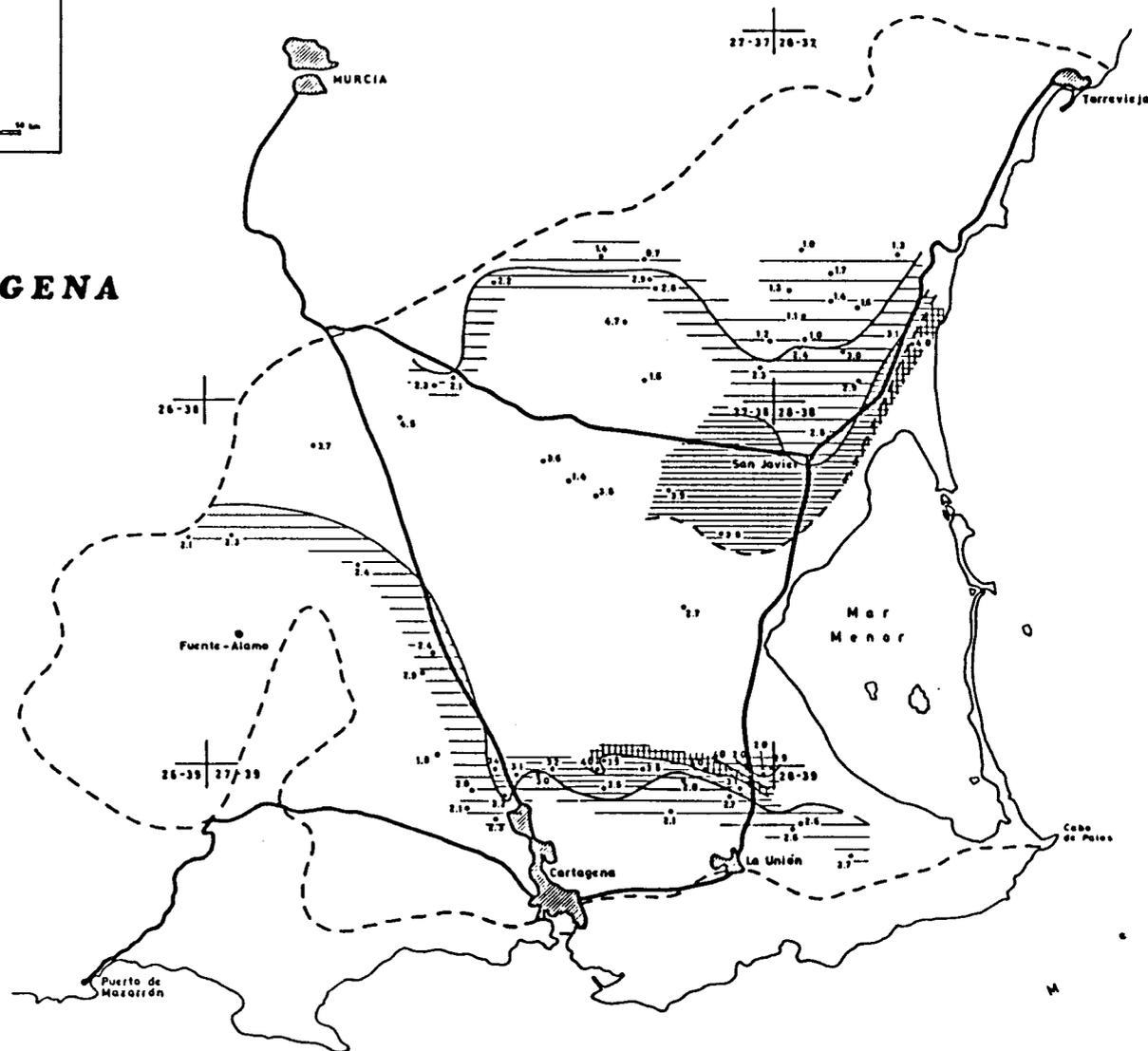
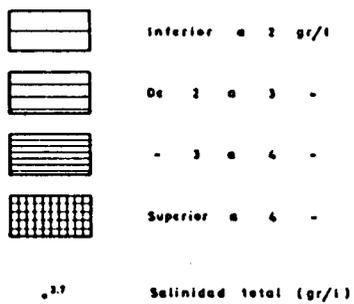


FIG. 5.1.

5.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO.

Resulta evidente que el estudio de la interconexión en la vertical de los diferentes acuíferos del Campo de Cartagena pasa, ante todo, por el intento de caracterización isotópica, si resulta posible, de cada uno de ellos.

Por consiguiente, resulta necesario analizar el contenido isotópico de ^{18}O , ^2H y ^3H del acuífero superior Plioceno, del inferior Andaluciense y del basamento Triásico. Este planteamiento no resulta trivial por el mal acabado de los pozos antes referido que interconecta unos niveles productivos con otros. En cualquier caso hay que admitir, de entrada, la influencia que los aportes del acuífero basal tienen en la recarga del Andaluciense.

El empleo del ^{14}C resulta problemático, dado el activo flujo de CO_2 endógeno existente en la zona, que puede falsear los resultados. Este tipo de CO_2 , por su origen, no contiene ^{14}C , por lo que la actividad original del ^{14}C del agua puede resultar notablemente afectada al adicionarse este gas.

Dada la especial configuración de los acuíferos pliocenos y su solapamiento en planta como consecuencia del relleno de la cuenca, las áreas de recarga pueden resultar muy semejantes y, en consecuencia, no existir contraste entre sus correspondientes contenidos en isótopos estables.

Conscientes de todo lo expuesto, se ha llevado a cabo el siguiente plan de muestreo (fig. 5.2.):

- Instalación de 12 pluviómetros en las sierras que limitan el Campo por el norte (S. del Puerto y S. de Columbreras) y por el sur (S. del Algarrobo y S. de la Muela), así como

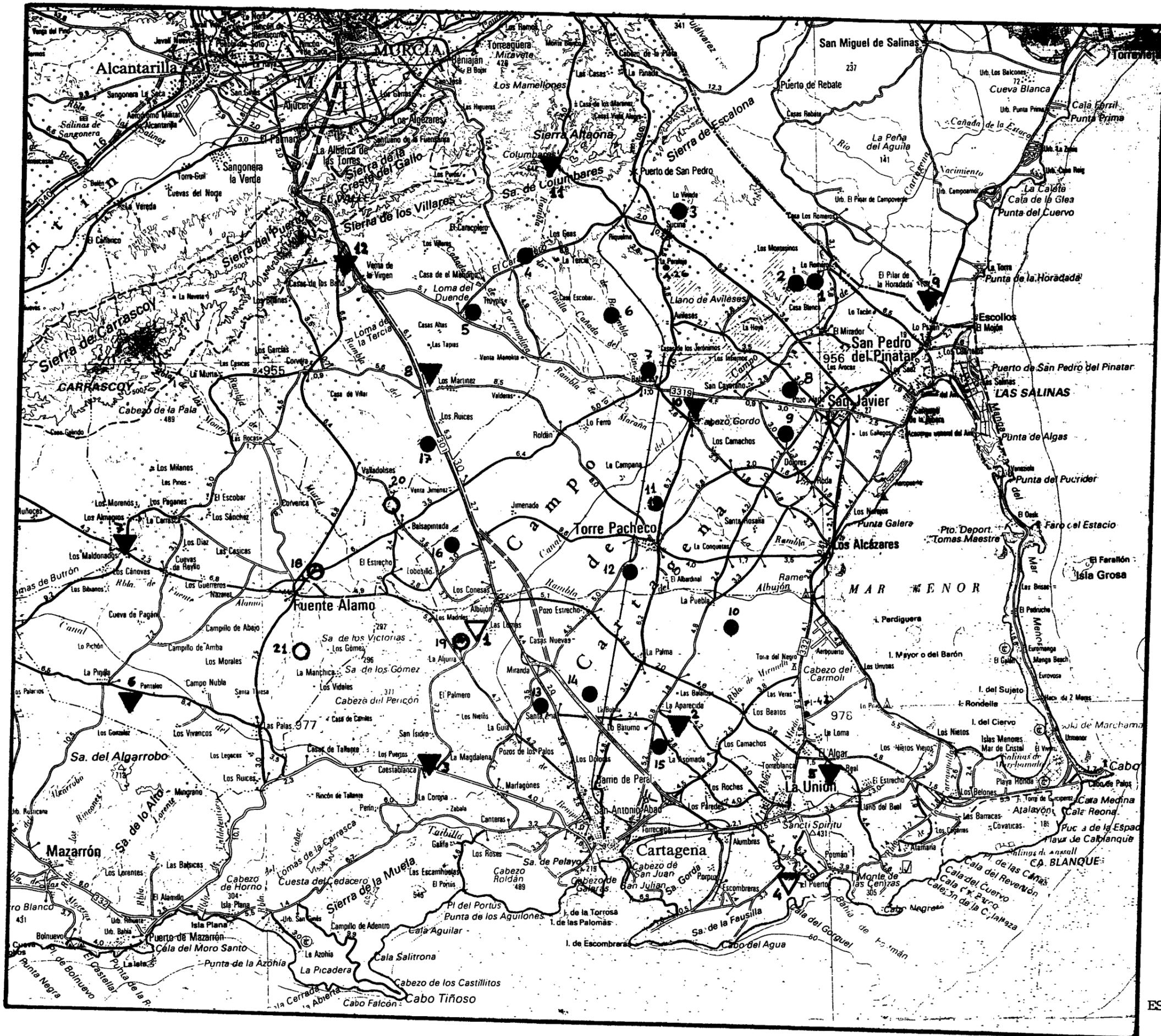


FIG. 5.2.
MUESTREO DEL CAMPO DE
CARTAGENA.

LEYENDA

- ▼ Pluviometro muestreado
- ▽ Pluviometro inutilizado
- Sondeo en Andaluciense
- Sondeo en Plioceno
- Sondeo en Triás

ESCALA 1:200.000

a lo largo y ancho del propio Campo de Cartagena con el fin de estudiar la variabilidad isotópica de las lluvias por efecto de longitud, latitud y altura, y conocer los valores normales de tritio de las lluvias zonales. Respecto a este último isótopo se han tomado cuatro muestras, correspondientes a los pluviómetros instalados en los límites N, S y W del Campo.

- Muestreo de 10 sondeos representativos de cada uno de los tres acuíferos referidos, analizando su contenido en ^{18}O , ^2H y ^3H y, en algunas ocasiones de ^{13}C ($\text{CO}_3=$), con el objetivo de comparar estos resultados con los de las lluvias locales que han de constituir la recarga de estos acuíferos. La selección de estos sondeos se ha llevado a cabo estudiando las múltiples fichas de puntos de agua existentes y escogiendo aquellas que proporcionaban más garantías por sus características constructivas (profundidad, estructura de la cementación, etc.) de captar el agua en el acuífero deseado.
- Análisis químicos de las aguas de estos mismos pozos cuya finalidad sería la de disponer de datos adicionales a los isotópicos que permitieran, eventualmente, ayudar a la interpretación de los resultados obtenidos.

La instalación de los pluviómetros se llevó a cabo en febrero de 1991 y se recogieron las muestras en mayo, con el fin de no hacer intervenir en el muestreo, ni las tormentas estivales ni las típicas gotas frías de principio de otoño, tan frecuentes en esta zona y, por supuesto, distorsionadoras de los normales valores isotópicos de las lluvias convencionales.

De los 12 pluviómetros instalados, sólo pudieron recuperarse 10, dado que uno apareció roto y otro fué robado.

Por lo que hace referencia a los 30 sondeos que debían ser inicialmente muestreados, correspondiendo 10 a cada uno de los tres acuíferos referidos, ha resultado posible muestrear 9 del Andaluciense, 8 del Plioceno y sólo 4 del Trías basal. En todos los casos, la imposibilidad de muestreo se ha debido al abandono del pozo por parte de sus propietarios o a la falta de bomba, caso muy frecuente en los sondeos que captan agua del Trías profundo (salada, termal y con gas en muchos casos).

En la tabla 5.1. y la fig. 5.2. se resume el muestreo efectuado.

5.3.- RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 5.2. se resumen todos los resultados isotópicos derivados del muestreo efectuado y en el Anexo se incluyen los correspondientes análisis químicos.

La fig. 5.3. constituye el diagrama $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ de las aguas de lluvia recogidas. La recta de regresión resulta ser

$$\delta D = 6,30 \delta^{18}\text{O} - 1,65 \quad (r^2 = 0,86)$$

aceptable en cuanto a coeficiente de correlación, aunque no resulta así la descomposición de sus componentes espaciales.

En efecto, las figs. 5.4. y 5.5. indican la correlación respecto a la altura de cada uno de los isótopos estables de la molécula del agua. En ambos casos, aunque la pendiente de la recta sea correcta, su coeficiente de regresión no puede admitirse por excesivamente bajo: $r^2 = 0,216$ (^{18}O) y $r^2 = 0,172$ (^2H). Las correlaciones por efecto de longitud y latitud resultan inferiores en todos los casos a 0,1, por lo que

TABLA 5.1.- CAMPO DE CARTAGENA: MUESTREO EFECTUADO

PLUVIOMETROS

MUESTRA	SITUACION	ALTURA (m)	$^{18}\text{O}/^2\text{H}$	^3H
LCC-1	Las Lomas	INUTILIZADO		
LCC-2	La Aparecida	35	X	X
LCC-3	Cuestablanca	140	X	
LCC-4	El Puerto	DESAPARECIDO		
LCC-5	Beal	60	X	X
LCC-6	Pantaleo	240	X	
LCC-7	Los Maldonados	180	X	X
LCC-8	Los Martínez	170	X	
LCC-9	Pilar de la Horadada	20	X	
LCC-10	Cabezo Gordo	80	X	
LCC-11	Sierra Columbares	450	X	X
LCC-12	Casas de los Baños	310	X	

SONDEOS ANDALUCIENSE

MUESTRA	Nº INVENTARIO ITGE	TOPONIMIA	PROF. (m)	$^{18}\text{O}/^2\text{H}$	^3H	^{13}C	QUIMICO
PCC-1	28375225	La Navarro	-	X	X		X
PCC-2	27378069	La Montesino	280	X	X		X
PCC-3	27378061	La Virador	260	X	X		X
PCC-4	27376083	Torremolina	350	X	X	X	X
PCC-5	27376061	Valentín Hernández	400	X	X		X
PCC-6	27377049	Casa Escobar	260	X	X		X
PCC-7	27383043	Los Cortados- Balsicas	300	X	X	X	X
PCC-8	27384053	Hnos. Conesa-Sánchez	280	X	X		X
PCC-9	27384036	Los Pardos	255	X	X		X

SONDEOS PLIOCENO

MUESTRA	Nº INVENTARIO ITGE	TOPONIMIA	PROF. (m)	$^{18}\text{O}/^2\text{H}$	^3H	^{13}C	QUIMICO
PCC-10	27388037	Lo Cego	129	X	X		X
PCC-11	27383009	Los Cegarros	-	X	X	X	X
PCC-12	27387011	El Barranquillo	160	X	X		X
PCC-13	27392019	Bas Cazorla	100	X	X	X	X
PCC-14	27387035	Sánchez Pedreño	140	X	X		X
PCC-15	27393065	García Murcia	-	X	X		X
PCC-16	27386005	Pallarés	211	X	X		X
PCC-17	27382016	Casa Las Monjas	240	X	X		X

SONDEOS TRIAS

MUESTRA	Nº INVENTARIO ITGE	TOPONIMIA	PROF. (m)	$^{18}\text{O}/^2\text{H}$	^3H	^{13}C	QUIMICO
PCC-18	27385009	Fco. Celdrán	170	X	X	X	X
PCC-19	27386033	Juan Jimenez	150	X	X	X	X
PCC-20	27381042	Alfonso García	490	X	X		X
PCC-21	27385046	Tomás Arroyo	200	X	X		X

TABLA 5.2.- CAMPO DE CARTAGENA: RESULTADOS ISOTOPICOS

AGUAS LLUVIA

MUESTRA	¹⁸ O (‰SMOW)	² H (‰SMOW)	³ H (UT)
LCC-2	-3.13	-16.8	7.4 ± 0.9
LCC-3	-3.30	-21.4	
LCC-5	-2.58	-18.6	7.5 ± 0.9
LCC-6	-2.93	-19.5	
LCC-7	-1.60	-9.5	6.6 ± 0.9
LCC-8	-1.08	-9.8	
LCC-9	-2.19	-17.8	
LCC-10	-2.55	-20.1	
LCC-11	-3.71	-23.0	7.4 ± 0.9
LCC-12	-4.41	-33.0	

SONDEOS ANDALUCIENSE

MUESTRA	¹⁸ O (‰SMOW)	² H (‰SMOW)	³ H (UT)	¹³ C PDB	¹⁸ O PDB
PCC-1	-5.63	-31.2	≤1.1		
PCC-2	-5.53	-31.5	≤1.1		
PCC-3	-2.63	-20.7	4.5 ± 0.9		
PCC-4	-6.08	-39.0	≤1.3	-1.12	-4.40
PCC-5	-6.03	-40.3	≤1.2		
PCC-6	-4.80	-32.4	≤1.5		
PCC-7	-5.55	-41.3	≤1.2	-1.94	-7.18
PCC-8	-4.98	-34.6	≤1.3		
PCC-9	-5.33	-38.1	≤1.2		

SONDEOS PLIOCENO

MUESTRA	¹⁸ O (‰SMOW)	² H (‰SMOW)	³ H (UT)	¹³ C PDB	¹⁸ O PDB
PCC-10	-4.67	-36.1	≤1.2		
PCC-11	-4.83	-33.0	≤1.2	-7.33	-8.42
PCC-12	-4.62	-36.6	≤1.3		
PCC-13	-5.25	-35.2	≤1.1	-8.12	-6.45
PCC-14	-5.08	-37.4	≤1.0		
PCC-15	-5.36	-33.1	≤1.1		
PCC-16	-5.81	-41.0	≤1.1		
PCC-17	-4.60	-36.1	≤1.1		

SONDEOS TRIAS

MUESTRA	¹⁸ O (‰SMOW)	² H (‰SMOW)	³ H (UT)	¹³ C PDB	¹⁸ O PDB
PCC-18	-5.83	-41.6	≤1.2	-3.97	-7.14
PCC-19	-5.44	-35.6	≤1.1	-8.65	-5.68
PCC-20	-5.73	-42.5	≤1.1		
PCC-21	-4.29	-27.1	≤1.1		

DIAGRAMA AGUAS DE LLUVIA

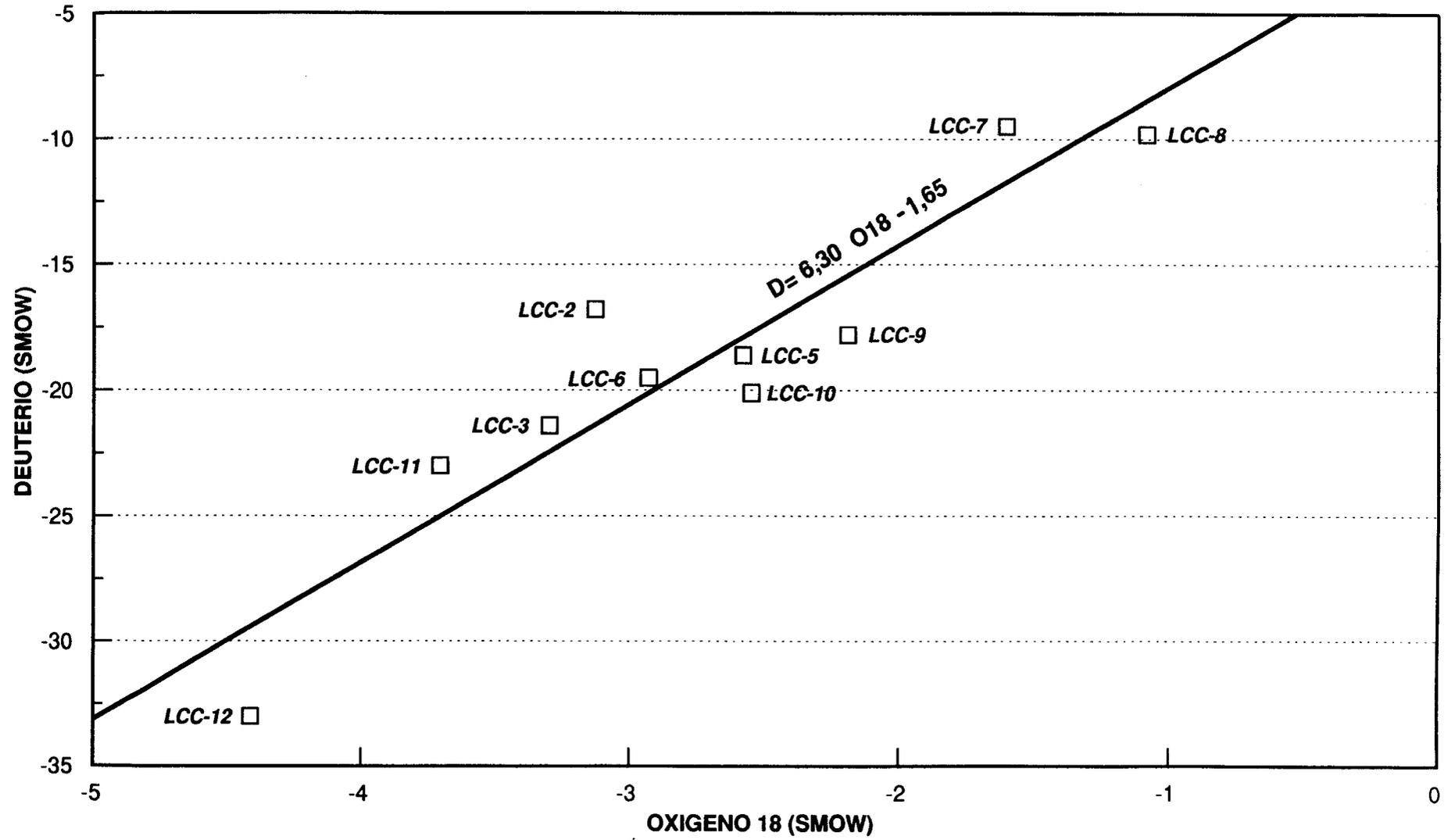


Fig. 5.3

CORRELACION ALTURA - OXIGENO 18 (SMOW)

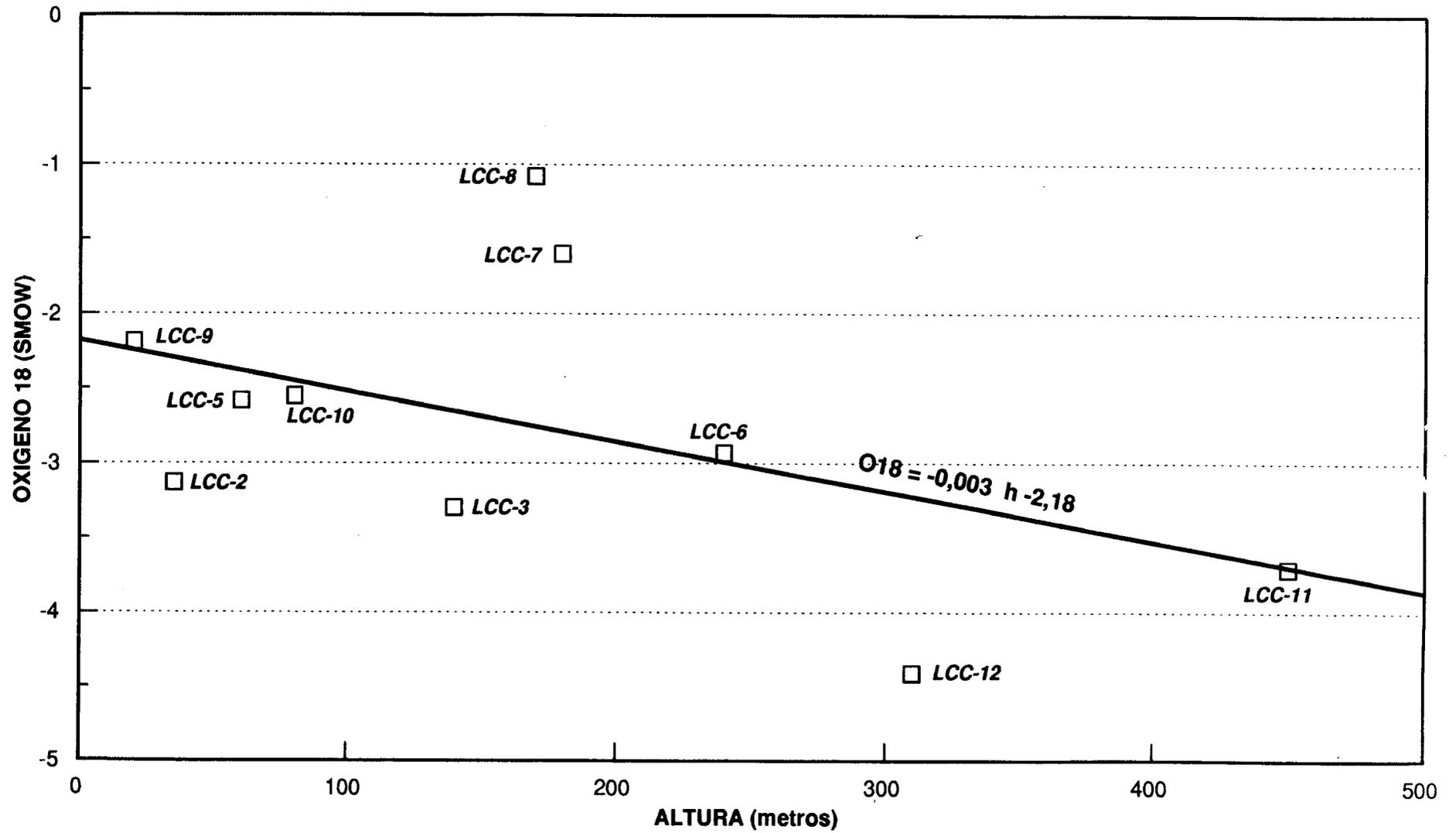


Fig. 5.4

CORRELACION ALTURA - DEUTERIO (SMOW)

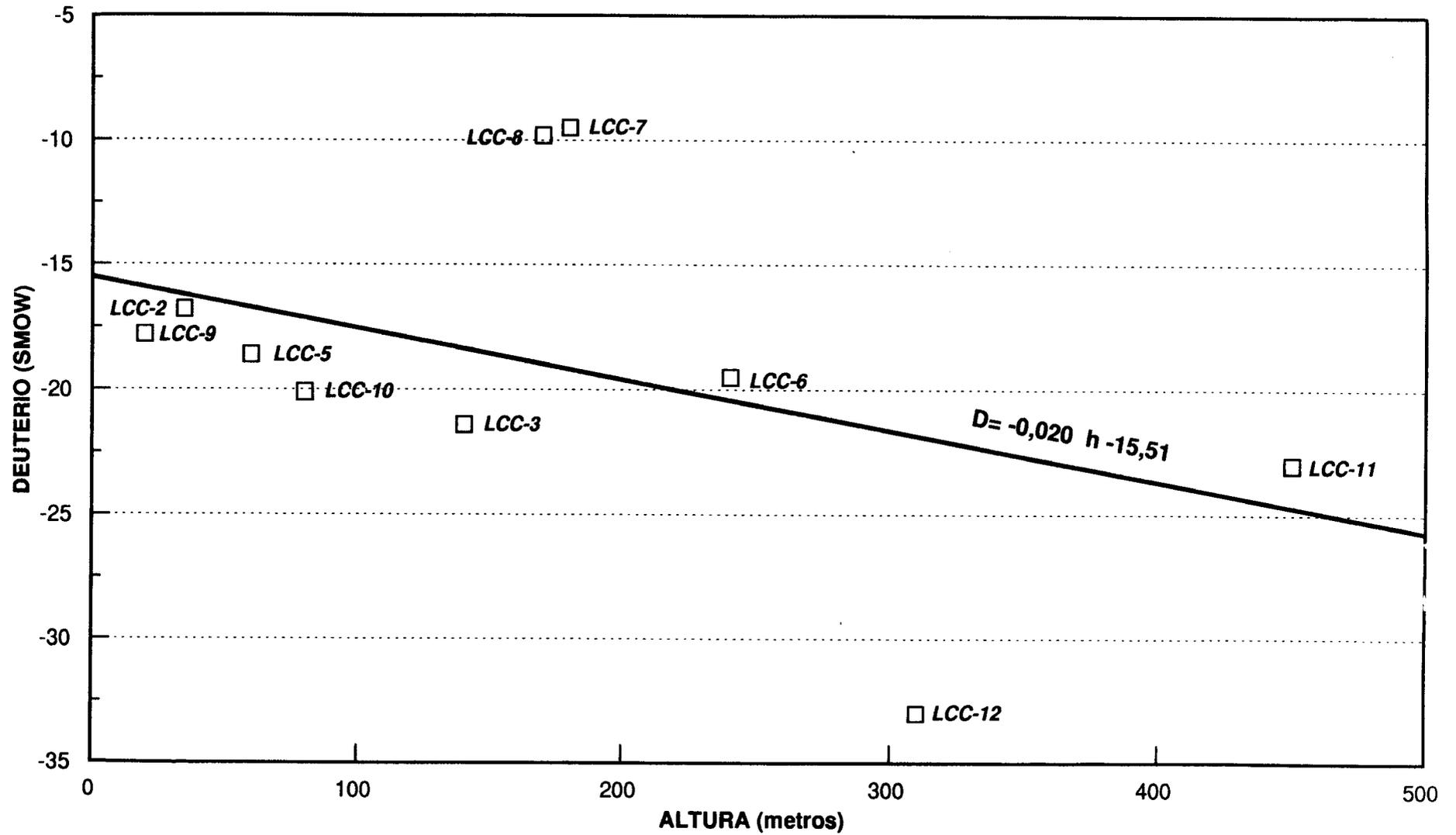


Fig. 5.5

pueden considerarse como inexistentes (figs. 5.6. a 5.9.).

Existe, sin duda, un fenómeno distorsionador que invalida este tipo de correlación. Un análisis detallado de los resultados parece apuntar que se trata de un escaso contraste geográfico. En efecto, los pluviómetros situados a cotas superiores a los 200 m., en las sierras circundantes al Campo de Cartagena, se disponen en posición correcta sobre los diagramas, es decir, presentan el aligeramiento isotópico que les corresponde, creciente con el incremento de altura. Es la dispersión de resultados del mayor número de puntos ubicados a cota inferior a 200 m, a lo largo y ancho del Campo, lo que distorsiona la correlación.

Otro aspecto diferente es intentar justificar tal variabilidad y dispersión de resultados a nivel del propio llano del Campo de Cartagena. En este caso, seguramente el escaso contraste geográfico juega un importante papel, dicho de otro modo, los 40 x 40 km que ocupa el Campo no permiten definir una suficiente variabilidad isotópica X-Y. Por otra parte, quizás la proximidad al mar y la existencia de una gran masa de agua fácilmente evaporable como es el Mar Menor puedan contribuir a la distorsión de estos valores analíticos.

En la fig. 5.10 se representan pozos y lluvias conjuntamente, tomando como referencia la recta previamente definida por las lluvias locales. En esta caso se advierten dos hechos sorprendentes e inequívocos:

- A. Existe una clara separación isotópica entre aguas de lluvia y aguas subterráneas. Las actuales precipitaciones resultan isotópicamente mucho más pesadas que las aguas subterráneas, pertenezcan estas al acuífero que pertenezcan.

CORRELACION LONGITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

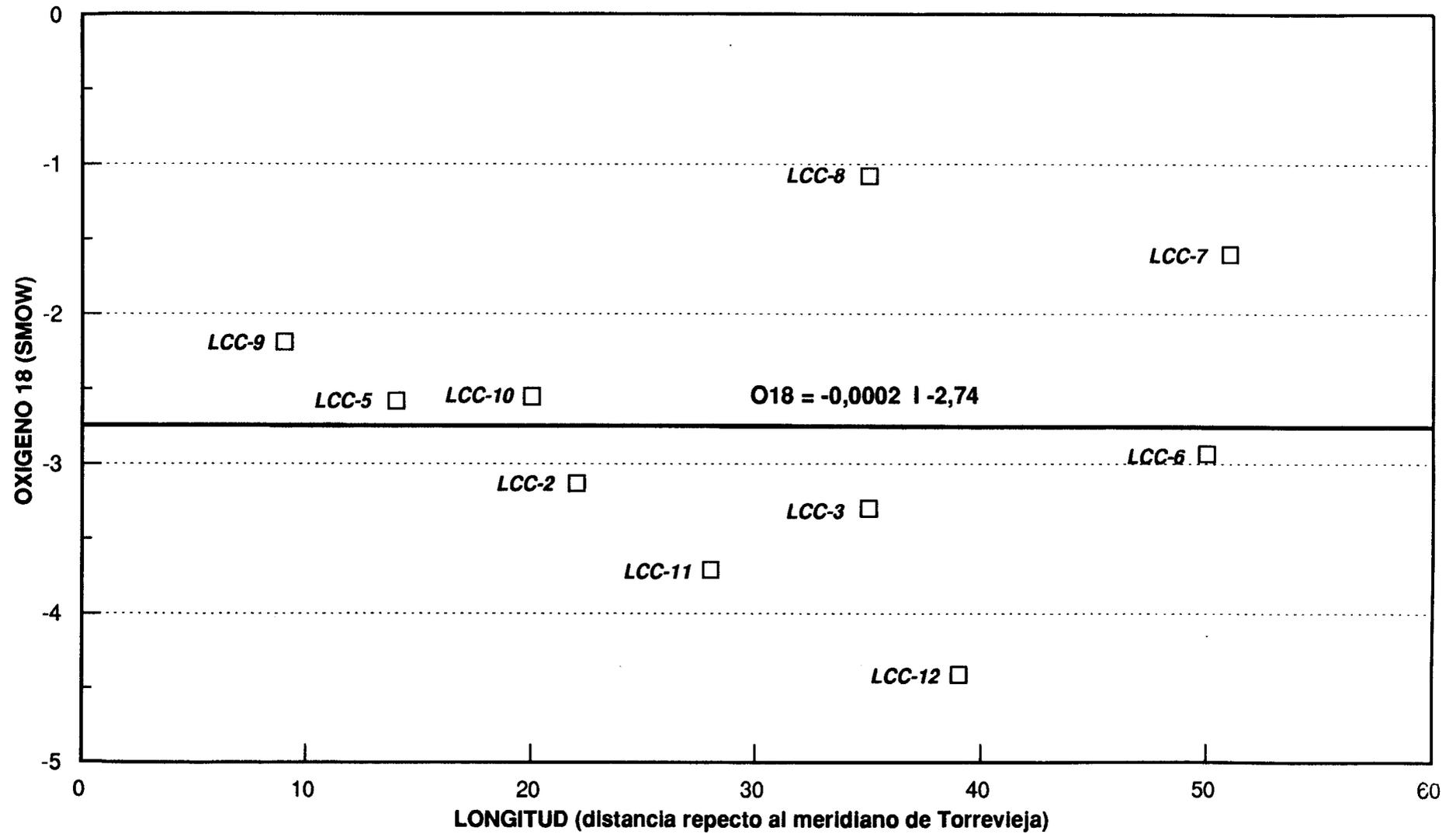


Fig. 5.6

CORRELACION LONGITUD - DEUTERIO (SMOW)

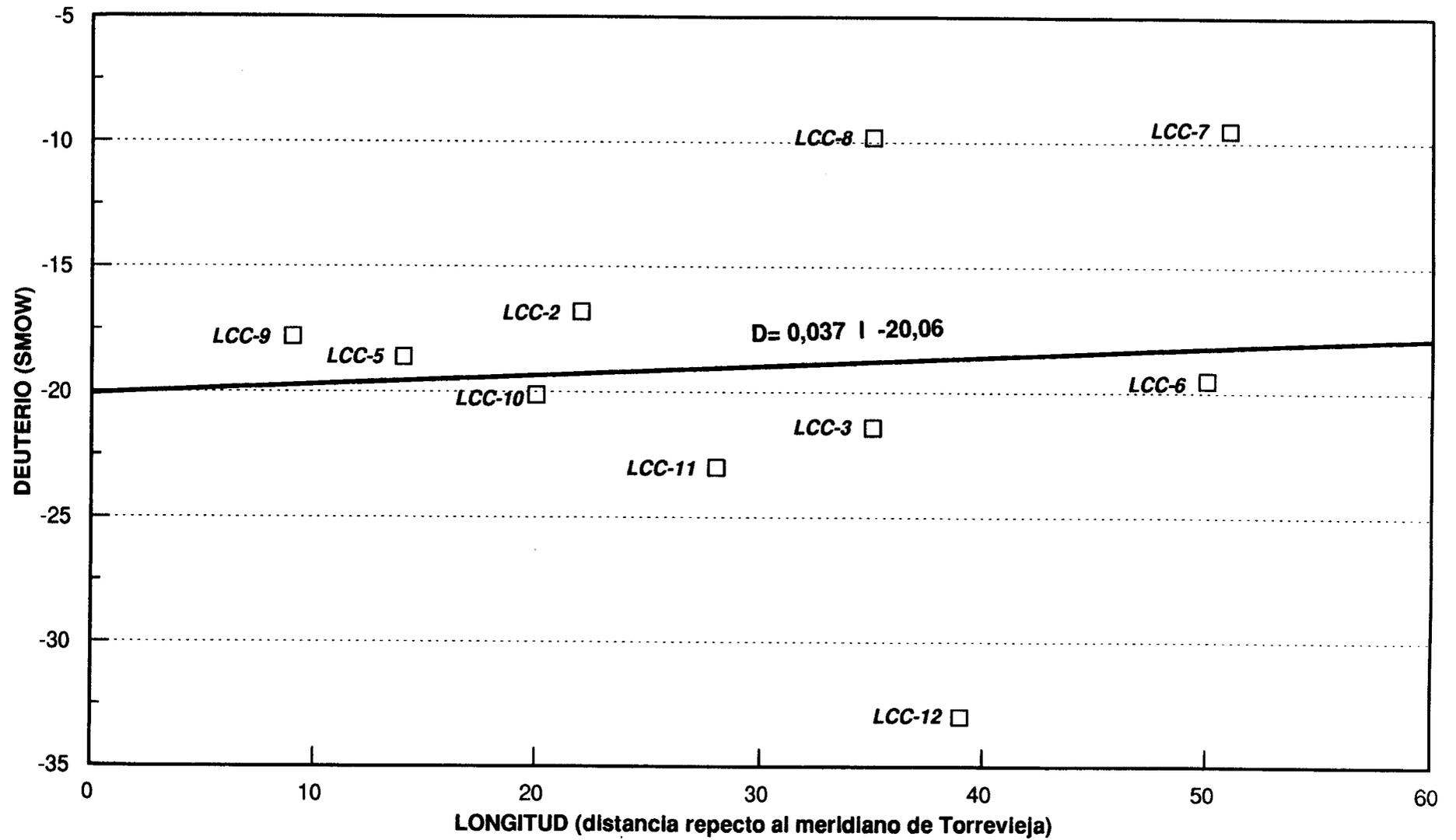


Fig. 5.7

CORRELACION LATITUD - OXIGENO 18 (SMOW)

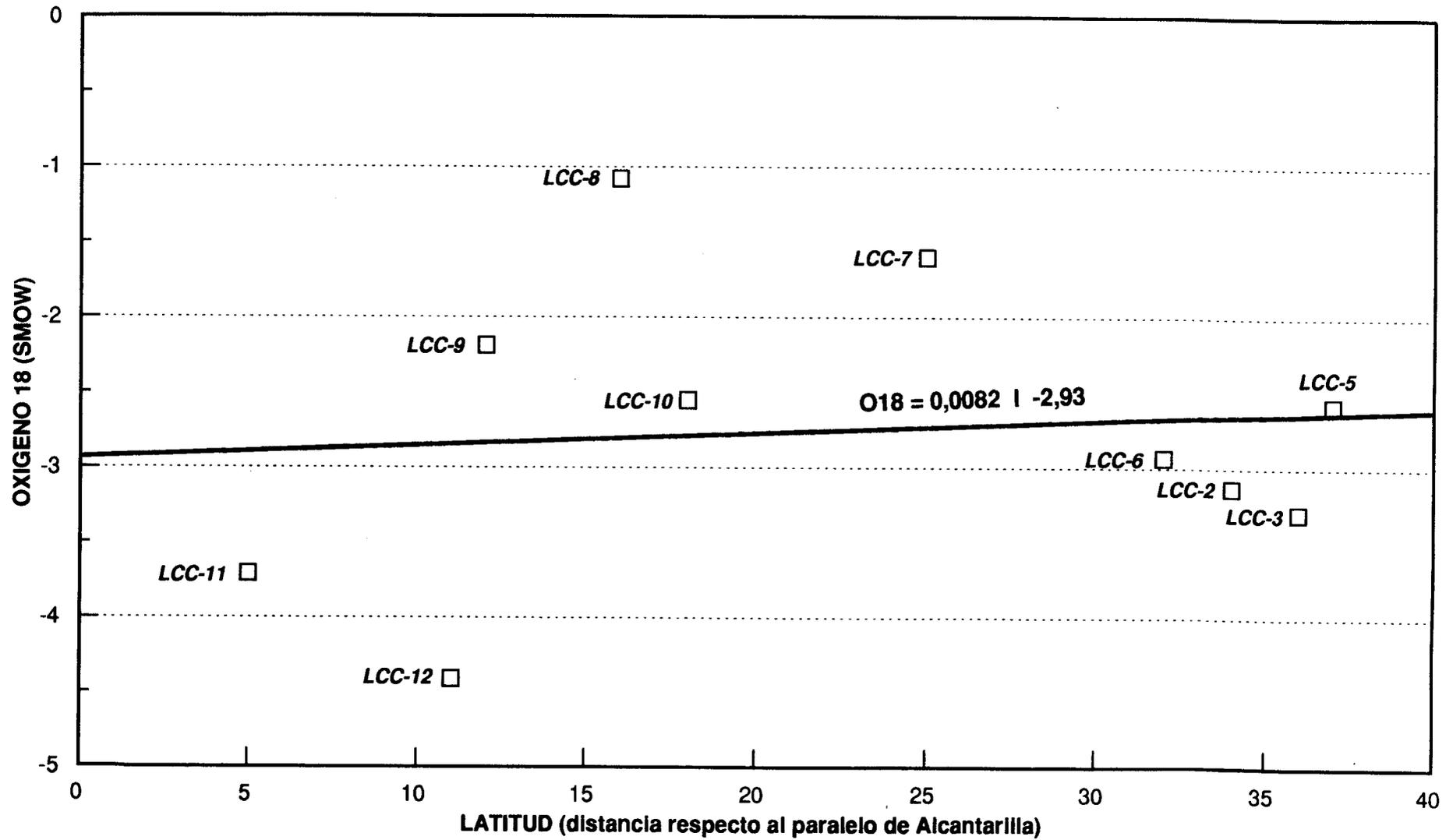


Fig. 5.8

CORRELACION LATITUD - DEUTERIO (SMOW)

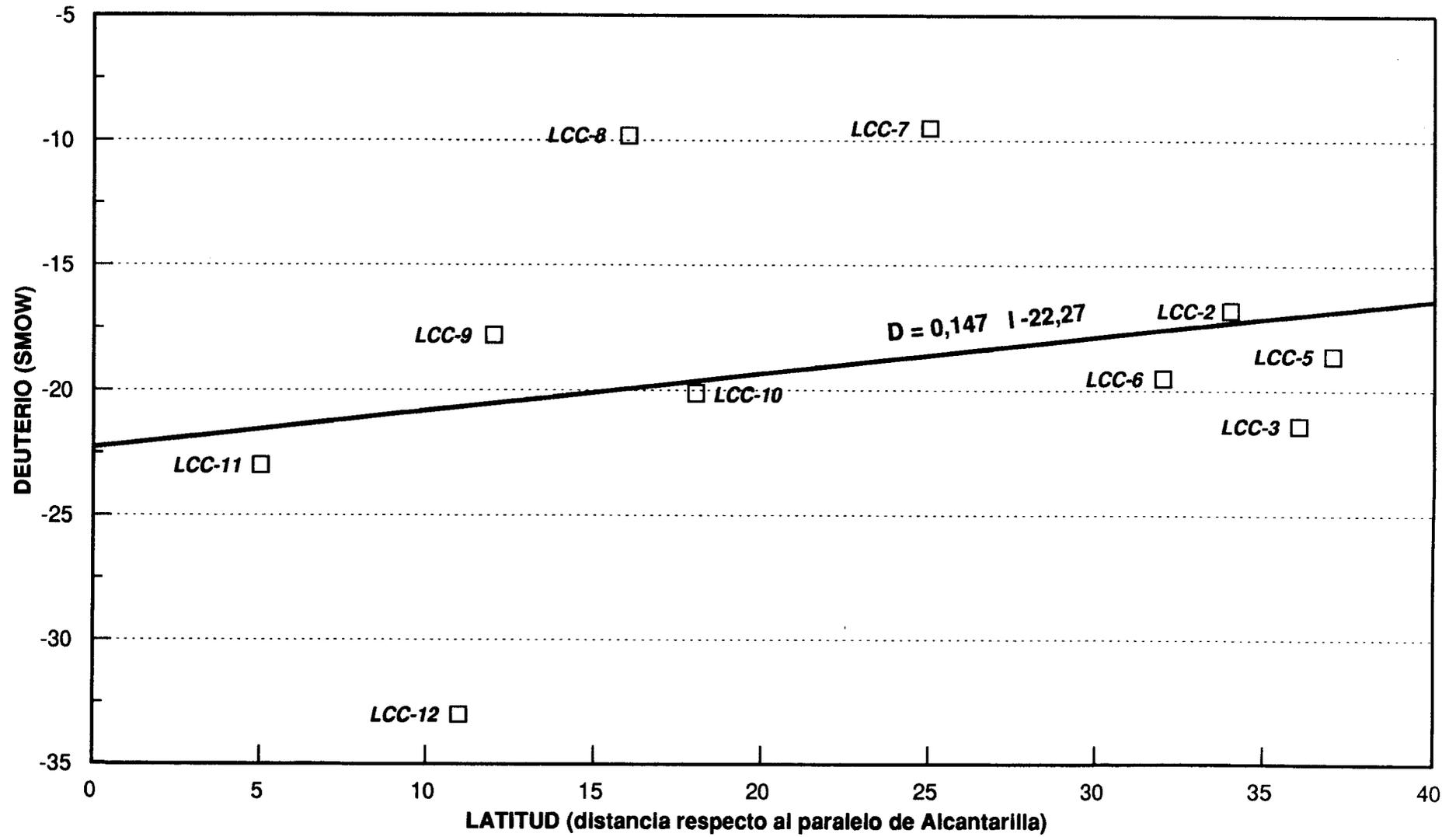


Fig. 5.9

Para justificar este hecho sólo caben apuntar tres hipótesis de trabajo:

- Los acuíferos del Campo de Cartagena se recargan por las lluvias de las sierras circundantes, de manera que las precipitaciones caídas directamente en el llano no llegan a participar en la infiltración eficaz de los acuíferos infrayacentes. Esta infiltración preferencial se producirá a cotas superiores a los 400 m, dado los valores isotópicamente más ligeros de todas las aguas subterráneas.
 - Las aguas subterráneas analizadas, corresponden todas ellas a una infiltración antigua, con un clima mucho más frío que el actual, que daba lugar a valores isotópicos mucho más ligeros. Adviértase que todos los análisis de tritio resultan inferiores al límite de detección y que, en el caso del Andaluciense, el único sondeo con valores de tritio superior (PCC-3 → 4,5 U.T.) posee unos valores de 180 y ^2H equivalentes a las lluvias actuales. No obstante, serían necesarias dataciones de ^{14}C para poder afirmar esta suposición.
 - Una combinación de las dos hipótesis antes reseñadas.
- B. No existe diferenciación isotópica entre los tres niveles acuíferos analizados que permitan su caracterización. Estudiados de manera individualizada (figs. 5.11, 5.12 y 5.13) se observan los siguientes hechos:
- Las aguas del Plioceno presentan un coeficiente de correlación de $r^2 = 0,17$ sin ninguna representatividad estadística. Todas ellas corresponden a recarga prenuclear, anteriores a 1952, y los resultados de ^{13}C están dentro de la más absoluta normalidad.

SONDEOS PLIOCENO

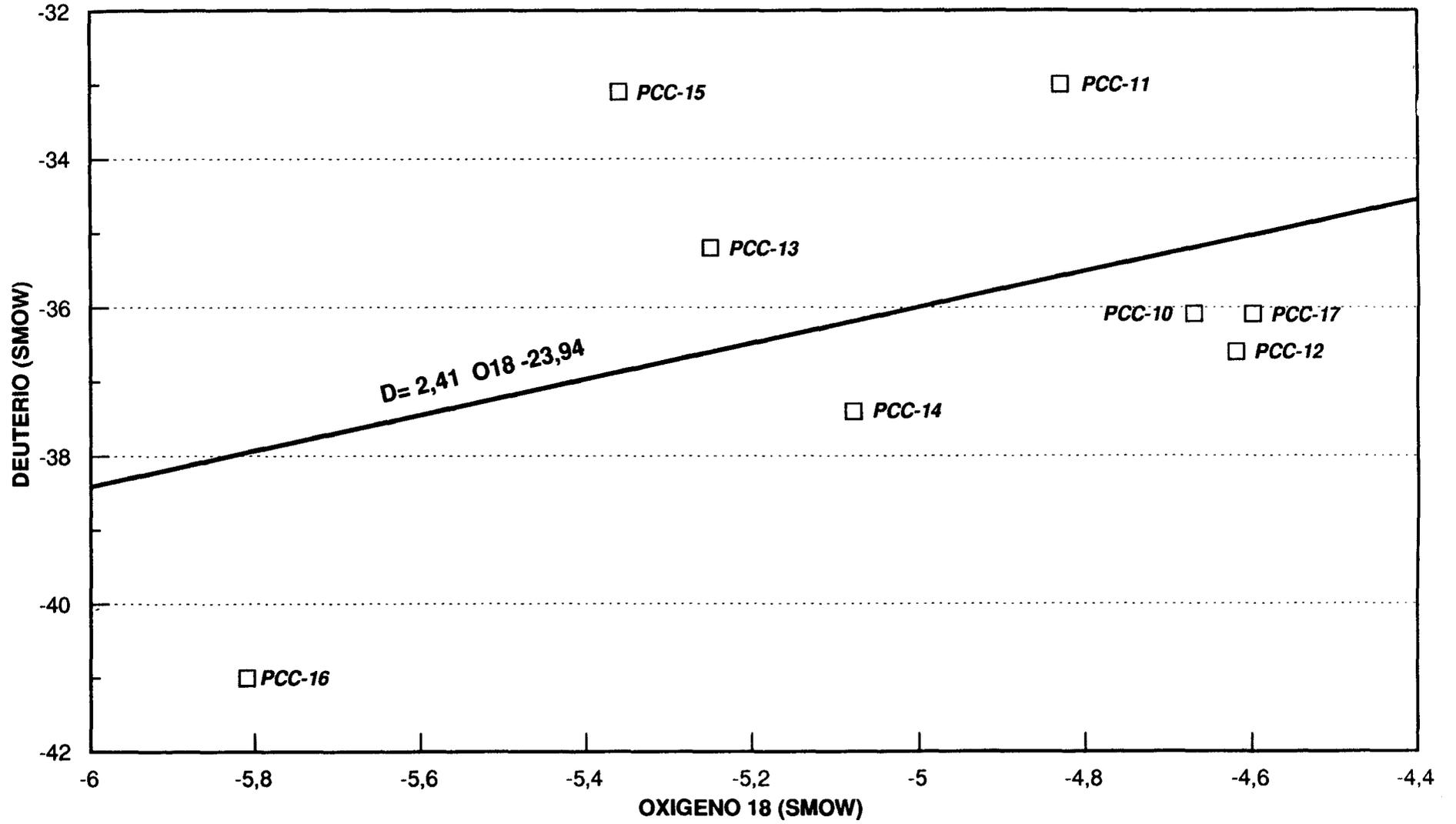


Fig. 5.11

SONDEOS ANDALUCIENSE

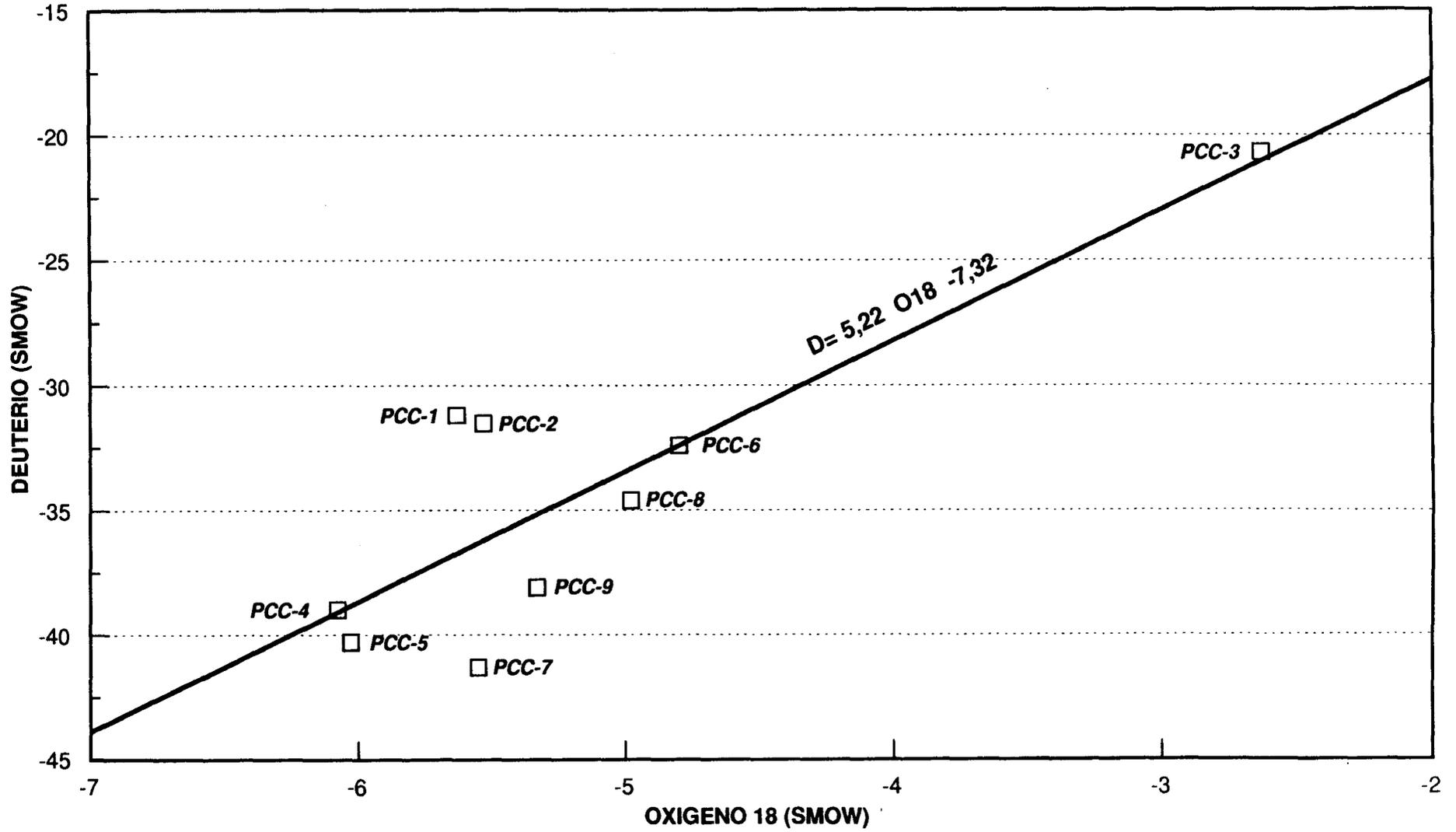


Fig. 5.12

SONDEOS TRIAS

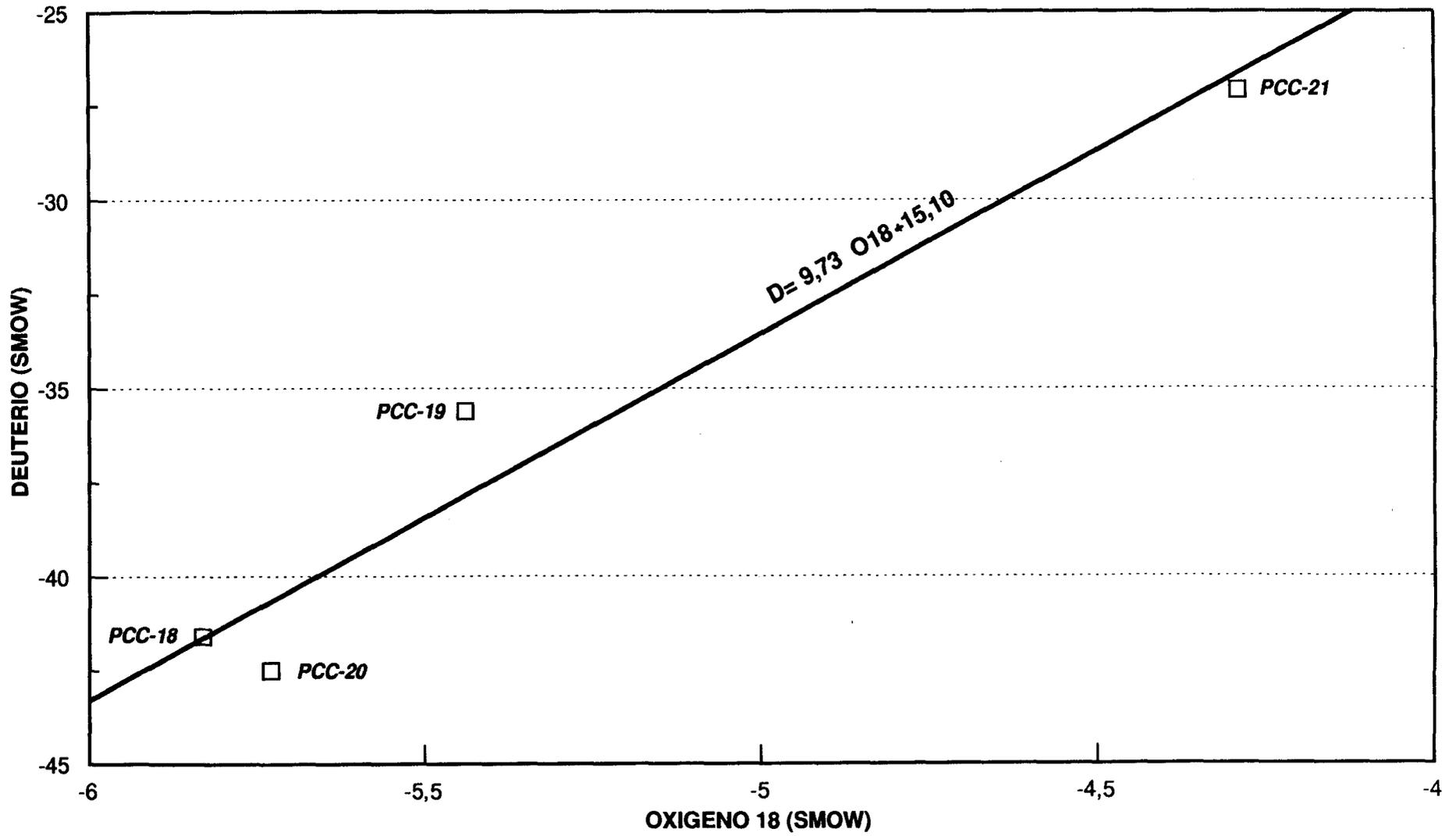


Fig. 5.13

- Para el Andaluciense, se obtiene un coeficiente de correlación mínimamente aceptable ($r^2 = 0,72$), incluyendo incluso el punto con tritio antes referenciado (PCC-3). Se trata, salvo este sondeo, de aguas prenucleraes y su caracterización isotópica más clara la da el ^{13}C de la molécula de carbonato. Se trata de valores muy pesados (-1 a -2 ‰ PDB), solamente justificables si se admite una clara influencia de materiales marinos que permitan este intercambio isotópico.

- Las profundas aguas del Trías, salinas y en ocasiones calientes y con gas carbónico, presentan un excelente coeficiente de ajuste ($r^2 = 0,94$) que pone de manifiesto su comportamiento correcto bajo el punto de vista isotópico. Se trata también de aguas prenucleares y el ^{13}C se comporta como más variable, dado que de los dos análisis existentes, uno corresponde a valores similares a los del Plioceno, mientras que el otro, más pesado, tiende a aproximarse a los valores del Andaluciense. En este caso, la presencia variable de CO_2 endógeno puede dar lugar a una acusada dispersión de datos.

Las aguas, pues, cuanto más profundas, mejor correlacionan bajo el punto de vista isotópico. No obstante, se desconoce hasta qué punto, la homogeneidad de resultados isotópicos entre los diferentes niveles que impide su caracterización, puede ser debida al mal acabado de los pozos, que permite la mezcla del agua correspondiente a niveles diferentes. En cualquier caso, esta premisa ha estado siempre presente y la selección de puntos se ha realizado procurando obviar en lo posible este hecho.

Los análisis químicos de cada nivel acuífero no ayudan a resolver este planteamiento dado que se trata en todos los casos

de aguas cloruradas-sulfatadas mixtas.

Las figs. 5.14, 5.15 y 5.16 constituyen sus representaciones gráficas en diagramas de Schoeller. Las aguas del Plioceno, como ya se ha expuesto en el capítulo 5.1., resultan las más salinas, siendo su mineralización, como grupo, doble que la del Andaluciense. Estas últimas y las del Triás, presentan características muy similares.

Sin olvidar, pues, el inconveniente sobre el estado de terminación de los sondeos a la hora de aventurar posibles conclusiones, tanto bajo el punto de vista químico como isotópico parece apuntarse el hecho de una comunicación entre el acuífero triásico y el andaluciense. Por otra parte, si bien bajo el aspecto químico el Plioceno presenta una mayor salinidad, su impronta isotópica resulta similar a la de las restantes aguas subterráneas. En cualquier caso, el objetivo perseguido, que era la caracterización isotópica de los acuíferos del Campo, no resulta posible.

FIG. 5.14.- SONDEOS PLIOCENO

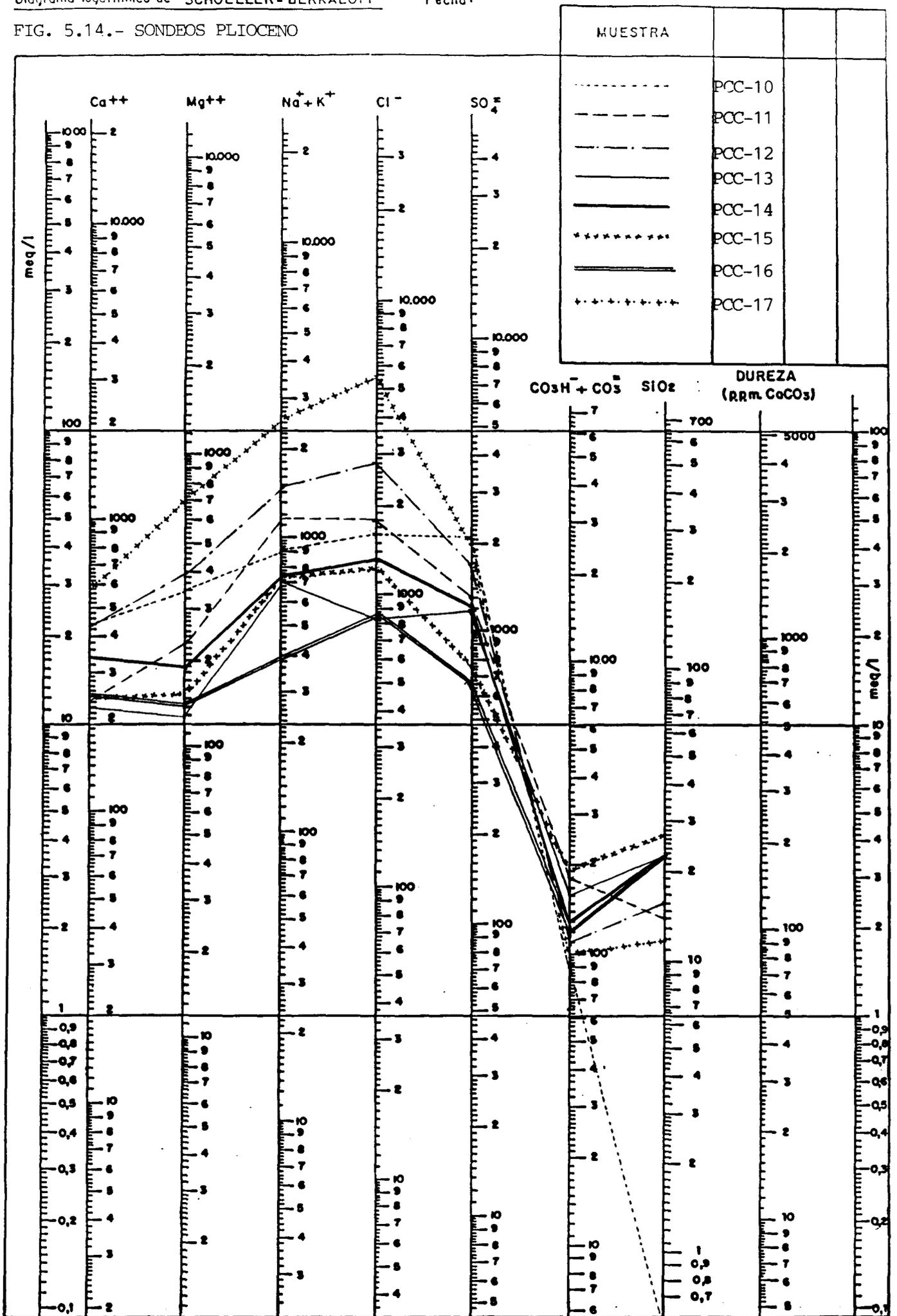


FIG. 5.15.- SONDEOS ANDALUCIENSE

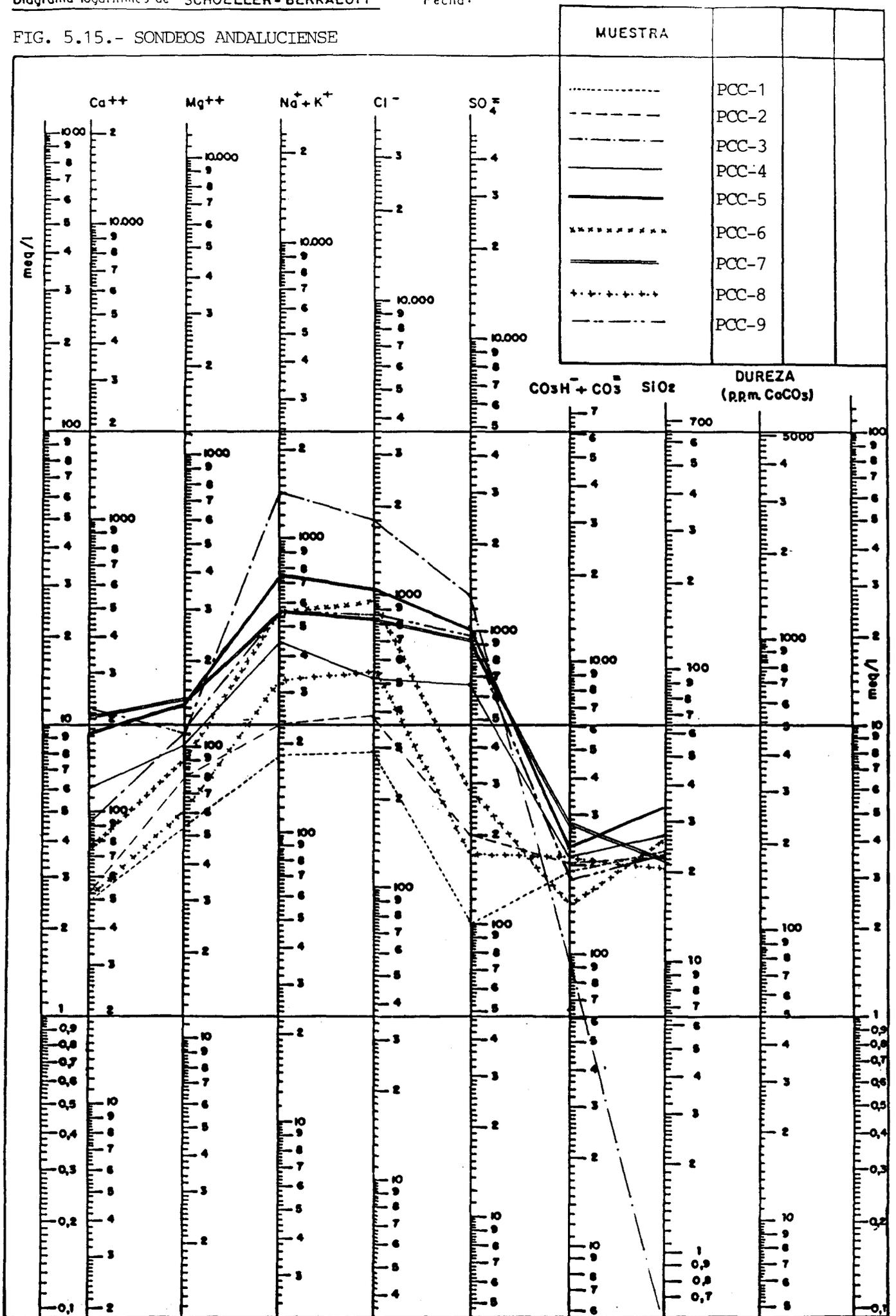
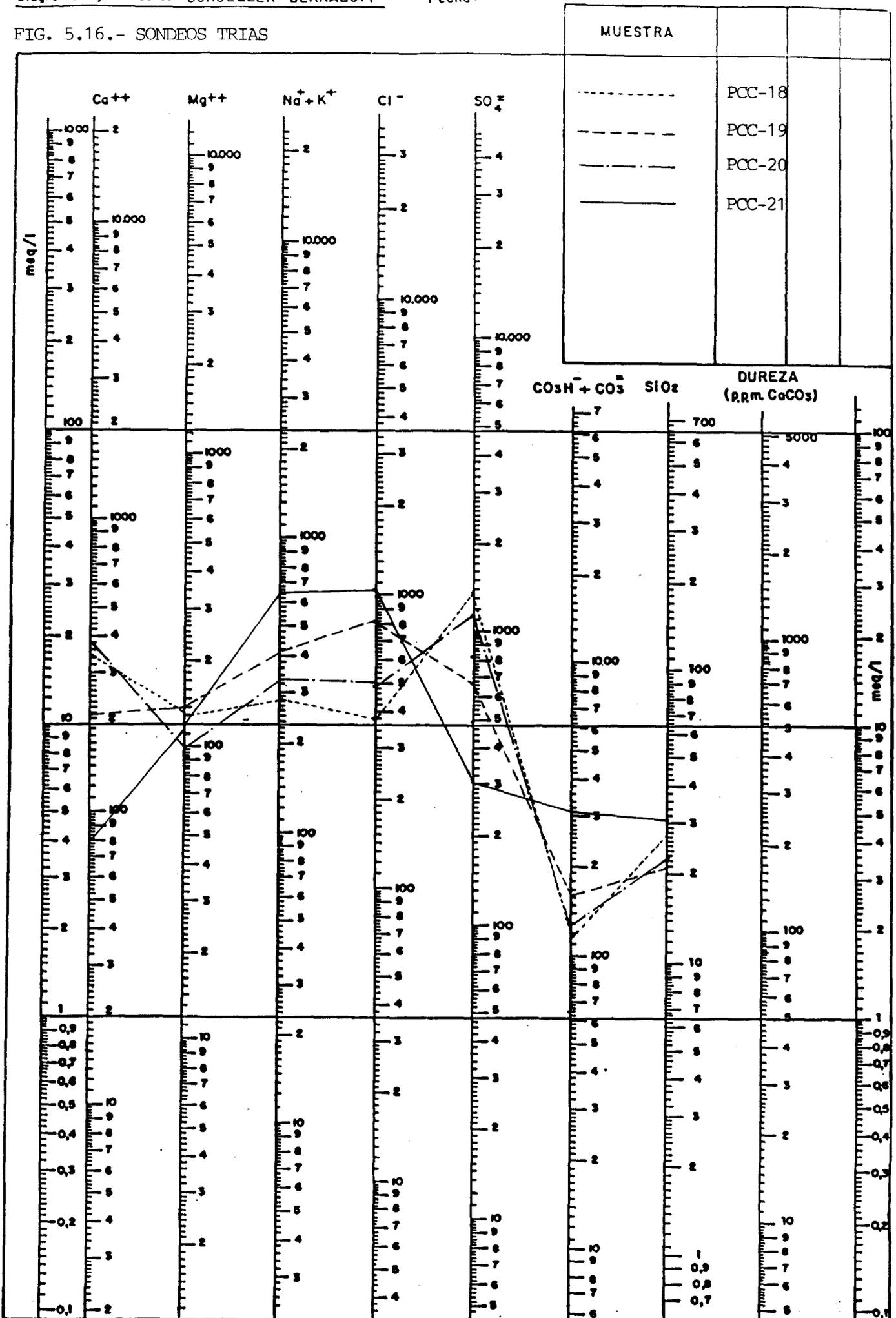


FIG. 5.16.- SONDEOS TRIAS



6.- ESTUDIO DE LA RELACION RIO-ACUIFERO Y DE LA

DINAMICA DE FLUJO SUBTERRANEO EN EL SISTEMA

ACUIFERO DEL MOLAR (MURCIA-ALBACETE)

6.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua del río Tajo se trasvasa al río Mundo fundamentalmente de febrero a septiembre. Se pretende averiguar si en época de aguas bajas en el acuífero del Molar, cuando se trasvasa agua del Tajo al cauce del río Mundo, éstas recargan al referido acuífero.

Los antecedentes y el planteamiento del caso quedan definidos en la nota presentada por los técnicos del IGME-ENADIMSA al IV Simposio de Hidrogeología, la cual se adjunta íntegra y se completa con otros mapas y esquemas procedentes de otros trabajos del ITGE.

EL MOLAR: NUEVO SISTEMA ACUIFERO A INCORPORAR EN LA GESTION
.COORDINADA DE AGUAS SUPERFICIALES-AGUAS SUBTERRANEAS DE LA
CUENCA DEL SEGURA.

L. Solís García-Barbón. Ldo. en C. Geológicas. IGME
T. Rodríguez Estrella. Dr. C. Geológicas. ENADIMSA
J. Almoquera Lucena. Ldo. en C. Geológicas. IGME
J. G. de las Heras Gandullo. I. de Minas. IGME

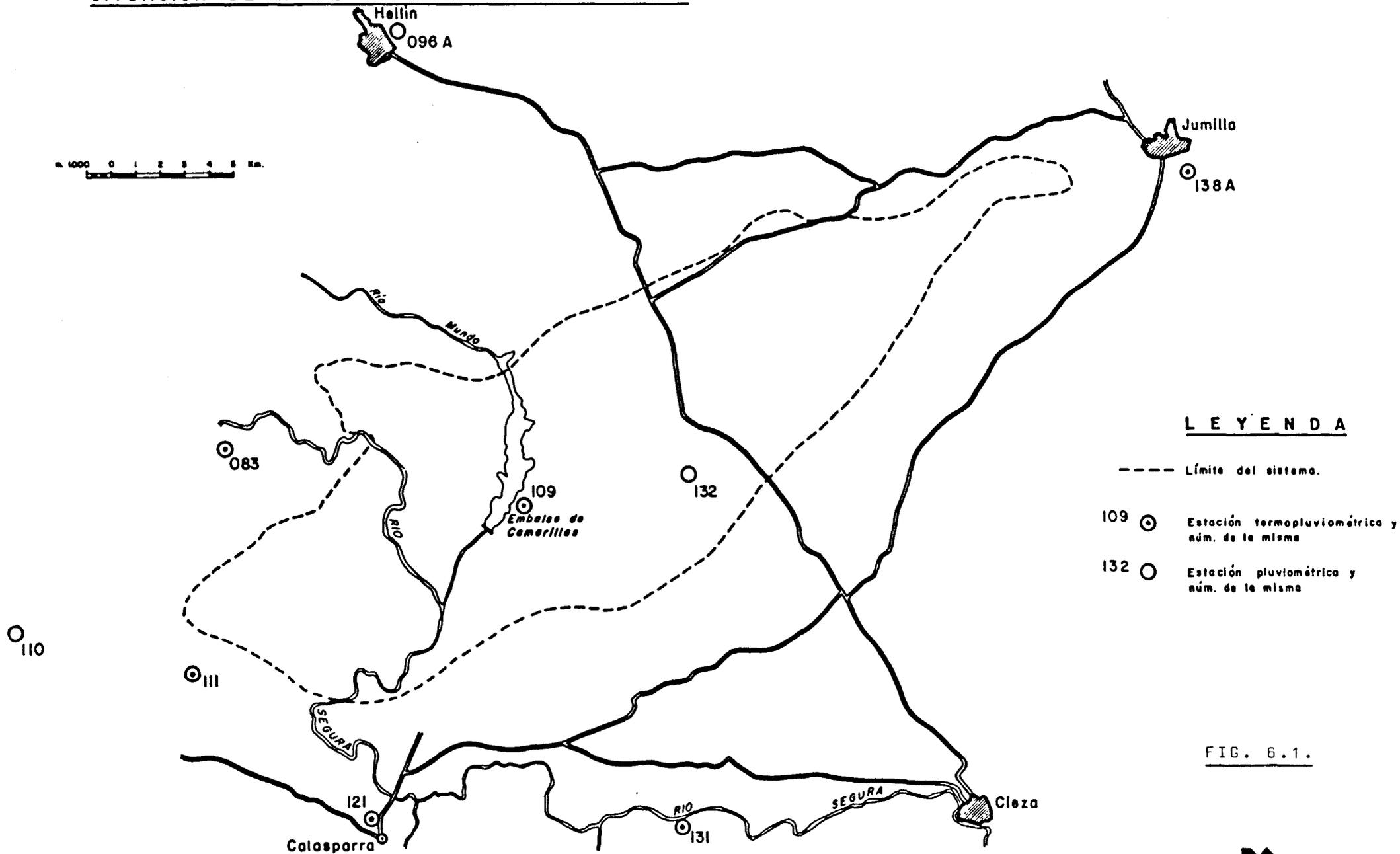
RESUMEN

Se exponen los principales resultados alcanzados en la investigación del sistema acuífero del Molar, que el IGME viene realizando desde 1985. Fruto de este trabajo, ha sido la definición de las principales características de un sistema acuífero de 260 Km², conectado hidráulicamente con los ríos Segura y Mundo y en el que existe una explotación de aguas subterráneas que hasta ahora no ha detruido recursos de las aguas superficiales reguladas que circulan sobre el sistema.

1. INTRODUCCION

La región en que se asienta el sistema acuífero del Molar se localiza en gran parte sobre una zona meridional de la provincia de Albacete (término municipal de Hellín) y en menor proporción en los términos municipales de Jumilla, Calasparra, y Moratalla, en la provincia de Murcia. (fig. 6.1.).

SISTEMA ACUIFERO "EL MOLAR"
SITUACION DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS



LEYENDA

- Límite del sistema.
- 109 ⊙ Estación termopluviométrica y núm. de la misma
- 132 ○ Estación pluviométrica y núm. de la misma

FIG. 6.1.

Es una región de topografía suave, bordeada de montañas cuyo clima es mediterráneo, semiárido (valores medios de pluvio-metría comprendidos entre 300 y 400 mm. en el período 1956-1975 mesotérmico (temperatura media anual 16°C para el mismo período y con muy escasa variación estacional de humedad.

Por su situación (enmarcado entre el sistema acuífero del Sinclinal de Calasparra, al Sur y los de Candil, Cenajo y Ca-bras, al Norte) (IGME, 1985) y su peculiaridad geomorfológica de formar una amplia depresión ocupada por materiales preferentemen-te arcillosos y por tanto impermeables del Mioceno, con escasas posibilidades de captación de aguas subterráneas, no se abordó un estudio hidrogeológico sistemático hasta tiempos recientes. Sin embargo, surgió un serio problema que hizo aconsejable el - inicio de una investigación en profundidad; este fue el de la gran proliferación de sondeos próximos al río por lo que se ha-cía necesario establecer la relación río-acuífero-embalses super-ficiales.

Este trabajo recoge las principales conclusiones alcan-zadas hasta la fecha en la investigación iniciada en 1985 (IGME, 1986 y 1987).

2. GEOLOGIA

Desde el punto de vista geológico, la región estudiada está enclavada en el dominio del Prebético Externo de las Cordi-lleras Béticas.

2.1. ESTRATIGRAFIA

La serie estratigráfica del Mesozoico resulta de la sín-tesis de diversos autores: FOURCADE, 1970; JEREZ, 1973; AZEMA, 1977; IGME, 1974, 1981 y 1984; RODRIGUEZ ESTRELLA, 1979. Sobre el Trías en facies "Keuper" se tiene:

- Unos 150 m. de dolomías atribuibles al Lías inferior.
- 50 m. de margas verdes y dolomías atribuibles al Lías medio-superior.
- 200 m. como máximo de dolomías atribuibles al Dogger, que dis-minuye de potencia hacia el Sur.
- Entre 0 y 25 m. de calizas nodulosas del Oxfordiense.
- Entre 45 (Srra. de Los Donceles) y 175 m. (Pico Tienda) de ca-lizas y margas del Kimmeridgiense inferior.
- 20 a 30 m. de dolomías o calizas del Kimmeridgiense medio.
- 20 a 60 m. de calizas, margas y areniscas del Kimmeridgiense - superior - Portlandiense.
- Entre 150 a 400 m. de arenas, arcillas y conglomerados, (facies "Utrillas"), atribuibles al Cretácico inferior.
- Entre 175 y 275 m. de dolomías y dolomías arcillosas atribuibles al Cenomaniense-Turoniense.
- Entre 200 a 335 m. de calizas, ocasionalmente arenosas y con niveles dolomíticos, del Senoniense.

La potencia del Cretácico superior disminuye hacia el Norte.

A continuación se localiza una importante laguna estra-tigráfica que alcanza hasta la base del Mioceno.

Entre el Aquitaniense y el Langhiense se deposita una serie constituida por conglomerados, areniscas, calizas y margas. A partir del Mioceno medio, se inicia un proceso transgresivo que origina depósitos de conglomerados, calizas arenosas y areniscas durante el Serravaliense-Tortonense. Desde aquí y hasta el final del Mioceno superior, están representadas margas y calizas de carácter fundamentalmente lagunar (facies "Pontiense"). Entre el final del Mioceno superior y el inicio del Plioceno, se instaura en la región un depósito fundamentalmente detrítico. La potencia máxima de este conjunto no debe superar los 600 m. En este tiempo parece ser que tienen lugar las erupciones volcánicas del tipo lamproítico, en morfología intrusiva y derramada.

Durante el Plio-Cuaternario se desarrolla una formación de conglomerados continentales. Los materiales recientes del Cuaternario son de origen aluvial, eluvial y coluvial.

2.2. TECTONICA

La estructura tectónica general de la región estudiada es la de un sinclinorio con un eje mayor de dirección NE-SO, que casi alcanza los 40 Km. de longitud, con una anchura máxima de 11 Km. Destaca en el centro de esta macro-estructura, un levantamiento motivado por un horst tectónico. Pueden distinguirse los fases tectónicas mayores y sucesivas.

Una fase compresiva de edad Mioceno medio, tránsito al Mioceno superior, en la que se inicia la estructuración fundamental de la zona mediante el desarrollo de las grandes fallas del río Mundo, Agramón - La Celia - Jumilla, Ontur - Jumilla, Chopi-lo - Sierra del Puerto, Sierras del Puerto - Picarcho y la falla Norte del sector Las Minas - La Dehesilla.

Una fase distensiva que se desarrolla durante el Mioceno superior, en la que se originan 3 tipos de fenómenos: generación de fallas directas (bien removilización de fallas anteriores, bien completamente originales a esta fase), ascenso diapírico de rocas plásticas del Triás y ascenso de rocas volcánicas lamproíticas, generadas en la fase compresiva en una placa litosférica subducente, (LOPEZ RUIZ et al., 1980).

3. HIDROGEOLOGIA

3.1. ROCAS ACUIFERAS E IMPERMEABLES

Las rocas acuíferas principales del sistema del Molar son las dolomías del Dogger y las dolomías y calizas del Cretácico superior; de buenas características hidráulicas, pero reducida potencia, son las dolomías del Kimmeridgiense medio y por último, pero con desarrollo local, las calizas del Mioceno (sobre todo del superior).

Las dolomías del Lías inferior son microcristalinas y se encuentran generalmente a gran profundidad, sin llegar nunca a aflorar, muy aisladas del ciclo hidrológico por su impermeable de techo. En consecuencia, esta formación presenta escaso interés hidrogeológico.

En cuanto a las rocas impermeables, destacan por su importancia en la fijación de los límites hidrogeológicos del sistema, las arcillas del Triás, las margas del Lías medio-superior y las arenas y arcillas del Cretácico inferior. Según las zonas, el Mioceno margoso puede actuar como impermeable de techo.

Tramos poco permeables y de características hidráulicas mediocres, se localizan en el Kimmeridgiense inferior y en el Portlandiense.

3.2. LIMITES HIDROGEOLOGICOS. ESTRUCTURA DEL SISTEMA

Los límites estancos del sistema vienen fijados por importantes accidentes tectónicos. (fig. 6.2.).

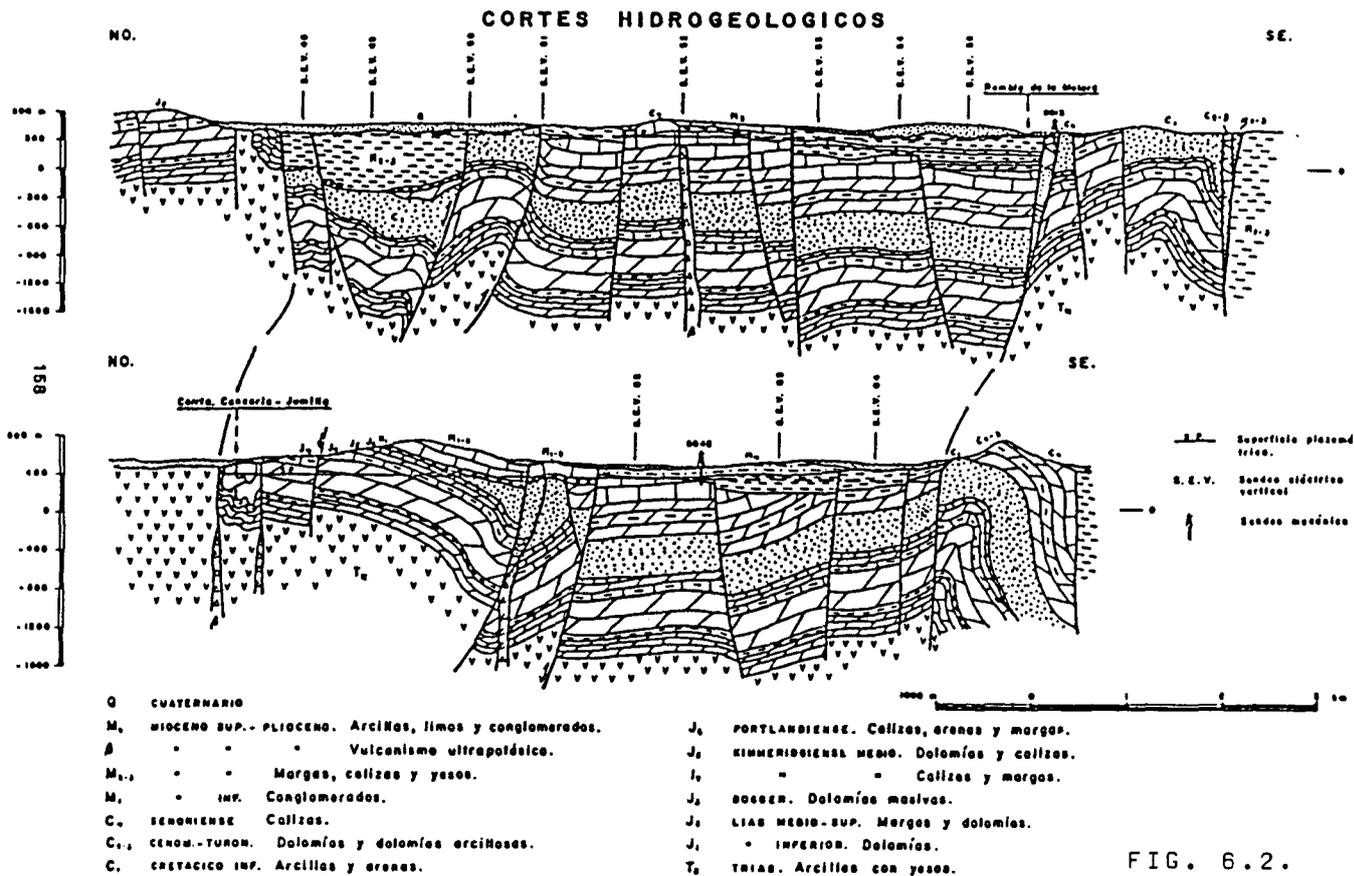


FIG. 6.2.

El límite Norte queda fijado por el sinclinal de Sierra Seca, falla del Río Mundo y Falla Agramón - La Celia - Jumilla.

El límite Sur, por las fallas que bordean la lineación Sierra del Puerto - Cabezo del Asno - Sierra del Picarcho.

El límite Este, por la falla Ontur - Jumilla.

El límite Oeste, por la lineación Chopillo - Sierra de Pajares.

En cada uno de estos límites se ponen en contacto las rocas acuíferas del sistema con el Triás, el Lías medio-superior, o el Cretácico inferior.

El sistema acuífero del Molar se ha dividido en tres zonas, cada una de las cuales posee un conjunto de características hidrogeológicas comunes, las cuales condicionan o pueden llegar a condicionar el flujo subterráneo. A estas zonas se les ha dado el rango de subsistema acuífero y son:

- Los Donceles - Tienda, en el que las rocas acuíferas principales son del Jurásico.

- Horst Las Minas - La Dehesilla, donde las rocas acuíferas principales son del Cretácico superior y en una pequeña proporción del Mioceno superior.

- Cañada del Venado - Molar, con rocas acuíferas pertenecientes al Mioceno superior y Cretácico superior.

En los dos últimos subsistemas, el Jurásico se encuentra a profundidades muy considerables, superiores a 1.000 m., y tiene un interés preferente, más como roca almacén que como roca a través de la cual se pueda producir un flujo subterráneo significativo.

3.3. INTERPRETACION PIEZOMETRICA

Los sondeos disponibles como piezómetros están irregularmente distribuidos dentro del sistema acuífero, concentrándose en cuatro sectores: Sierra de Los Donceles, Pico Tienda, La Dehesilla y Peralejo-Cañada Berosa. Para suplir esta dificultad, el IGME ha realizado tres sondeos de investigación, durante el año 1986 y otros 3 en 1987, proyectándose algunos más para un futuro próximo.

3.3.1. Variaciones de los niveles piezométricos

La evolución de los niveles piezométricos a lo largo del año hidrológico sigue ritmos diferentes y tendencias incluso contrapuestas, según las zonas del sistema.

Entre febrero y el 2 de octubre de 1986, ésta ha sido la siguiente:

a) Descenso general de la cota de la superficie piezométrica:

- Sobre 0,5 m. en el Pico Tienda, como consecuencia del régimen hidrológico natural y la explotación de la zona.
- Entre 0,2 y 1,7 m. en la Sierra de Los Donceles, a consecuencia fundamentalmente de la disminución estacional de infiltración de lluvia útil.
- Entre 2,4 y 24 m. en La Dehesilla, a consecuencia fundamentalmente de la fuerte explotación de aguas subterráneas en el período.

b) Ascenso general de la cota de la superficie piezométrica, debido al incremento de la infiltración de las aguas superficiales del río Segura al sistema acuífero en el sector Peralejo - Cortijo de Las Hoyas. Ello es debido a que las aguas superficiales circulantes por la zona de contacto río-acuífero están reguladas por los embalses del Cenajo y de Camarillas, coincidiendo por tanto los mayores desembalses con los períodos de mayor demanda agrícola. El ascenso de nivel piezométrico medido en los sondeos osciló entre 0,97 y 3,38 m.

La evolución de niveles entre el 2 y el 21 de octubre de 1986 ha sido la siguiente:

a) Ascenso general de la cota de la superficie piezométrica:

- Sobre 1 m. en la zona representativa de la Sierra de Los Donceles, debido a la infiltración de lluvia útil que se produce en la región a consecuencia de las fuertes lluvias de la primera quincena del mes.
- Sobre 1 m. en La Dehesilla (y en áreas concretas probablemente más), donde al fenómeno anterior se agrega el correspondiente al cese de los bombeos.

b) Descenso general de la cota de la superficie piezométrica, debido a la disminución de la infiltración de las aguas superficiales al sistema, en el sector Peralejo - Cortijo de las Hoyas. La reducción de la aportación regulada del río tiene su origen en la disminución estacional de la demanda de aguas superficiales para riego, magnificada ese año por el efecto de las lluvias caídas en las zonas de riego en dicho período.

Las medidas obtenidas en febrero de 1987 son significativamente las mismas que las de igual mes de 1986, salvo en dos áreas concretas:

- En el sector oriental de la Sierra de Los Donceles, don de la medida del nivel piezométrico en 1987 en el sondeo 2534-7015 fue 1,79 m. mayor que el año anterior. Aunque no parece en modo alguno aconsejable hacer afirmaciones rotundas en base a tan escasos datos de evolución, de confirmarse en el futuro esta tendencia, a falta de explotación es esta zona, este comportamiento sólo puede explicarse por el efecto de la disminución de la infiltración de aguas superficiales, a consecuencia del vaciado del embalse de Camarillas.
- En el sector de La Dehesilla, puede apreciarse un aumento generalizado de la profundidad del nivel piezométrico, que llega a alcanzar los 19 m. en el sondeo 2534-8011, aunque hacia los bordes de esta importante zona de explotación, se observa el equilibrio.

3.3.2. Flujo subterráneo. Relaciones río-acuífero

El sentido general del flujo del sistema, en su sector centro-oriental, es NE-SO, desde las áreas de infiltración del Pico Tienda y Sierra del Molar hacia Cañada Berosa que constituye la salida natural del sistema acuífero en el mismo cauce del río Segura. En la Sierra de Los Donceles, el flujo es NO-SE, haciéndose progresivamente N-S en dirección igualmente hacia Cañada Berosa.

En la fig. 6.3. se presentan los mapas de isopiezas de los meses de febrero de 1986 y 1987, y octubre de 1986. Como rasgos más característicos pueden destacarse:

a) El cono de explotación localizado en el sector de La Dehesilla ha originado un umbral hidrogeológico, que se ha desplazado unos 2 Km. hacia el SO entre los meses de febrero de 1986 y 1987.

b) La infiltración de aguas superficiales al sistema, que se produce especialmente entre el embalse de Camarillas y Cañada Berosa, origina un notable apuntamiento en la morfología de las isopiezas en esa zona.

La relación entre aguas superficiales y aguas subterráneas, tiene distinto carácter e intensidad a lo largo de los sucesivos tramos de los ríos Segura y Mundo en el sistema del Molar.

En el río Segura, hasta su confluencia con el río Mundo, se localizan 2 zonas con aportaciones pequeñas del sistema acuífero al río (al Sur de las casas del Prado Piñero y en la zona Las Minas - El Maeso).

En el río Mundo, desde su entrada en el sistema hasta el embalse de Camarillas, puede existir una infiltración de aguas superficiales provenientes de las aguas estancadas a través de los materiales poco permeables del Mioceno. De todos modos, tal como se mencionó en el apartado de piezometría, esta relación no está todavía probada siendo además un área en que las rocas acuíferas principales aparecen bastante selladas por recubrimientos arcillosos.

Entre la cerrada del embalse de Camarillas y Cañada Berosa se produce una infiltración generalizada de las aguas superficiales de los ríos Mundo y Segura en el sistema acuífero, que origina variaciones sustanciales en la cota de la superficie piezométrica, dependiendo de la altura de lámina de agua en el río. Por una parte, la misma cerrada se sitúa sobre un afloramiento de calizas del Senoniense, con lo que la lámina de agua está permanentemente en contacto con la roca acuífera. Por otra, el río desarrolla en esta zona depósitos aluviales y a partir de la Casa del Peralejo un régimen meandriforme; ambos fenómenos favorecen la infiltración.

Por último, el conjunto de aguas superficiales infiltradas sale del sistema acuífero al río en su mismo cauce, en el sector indicado como manantial de Cañada Berosa.

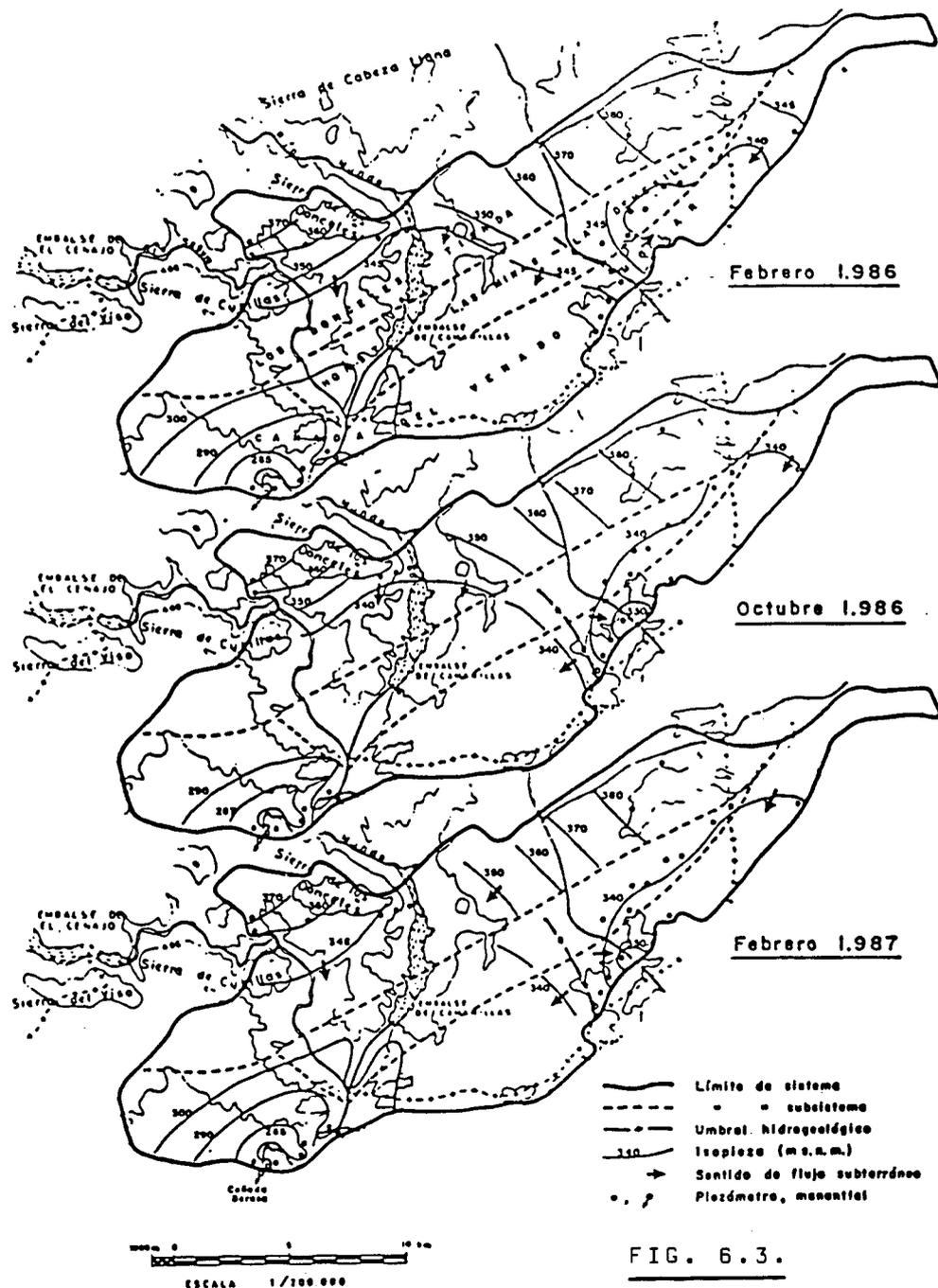


FIG. 6.3.

MAPAS DE ISOPIEZAS

3.4. ALIMENTACION: RECURSOS

Los recursos totales del sistema puede desglosarse en tres apartados:

a) La infiltración de lluvia útil, que está comprendida entre 2 y 3,6 Hm³/año.

b) Las entradas laterales subterráneas, que están comprendidas entre una magnitud inapreciable y unos 0,3 Hm³/año.

c) La infiltración de aguas superficiales, cuya cuantificación resulta imposible precisar, pero que por comparación con el vecino sistema acuífero del Sinclinal de Calasparra, puede llegar a alcanzar una magnitud importante.

3.5. SALIDAS

En estos momentos, las salidas del sistema tienen dos orígenes: la salida natural del manantial de Cañada Berosa y la explotación por bombeo.

El volumen de agua bombeada en 1986 alcanzó la cifra de unos 6,85 Hm³, lo que representa un importante aumento con respecto a la explotación de 1981, que era tan solo de 2,5 Hm³.

La aportación en el mismo cauce del río Segura del manantial de Cañada Berosa puede descomponerse en dos apartados.

a) Un componente resultante de la proporción de lluvia útil infiltrada que no puede ser regulada con la distribución actual de la explotación. Alcanza un valor comprendido entre 1,3 - 2,3 Hm³/año.

b) Un componente resultante de la infiltración de una parte de las aguas superficiales del río Mundo y Segura en el sistema, de magnitud desconocida en el presente estadio de la investigación.

3.6. CONSIDERACIONES SOBRE LA EXPLOTACION DEL SISTEMA ACUIFERO

Resulta muy importante señalar que la explotación durante el año 1986 (a pesar de exceder a la infiltración de lluvia útil en un valor comprendido entre 3 y casi 5 Hm³/año) no ha destruido más agua de los recursos totales del sistema que una parte de la que se infiltra procedente de la lluvia en los sectores a las zonas de bombeo. Ello es debido a dos razones:

- Lejanía de las explotaciones con respecto a las zonas de infiltración de aguas superficiales.
- Estructura hidrogeológica del sistema, que posibilita la formación de un umbral hidrogeológico y aísla la zona de mayor explotación (sector de la Dehesilla) del resto del sistema. El sector de Pico Tienda puede considerarse en equilibrio entre explotación e infiltración.

Por lo tanto, el estado del sistema en el sector de la Dehesilla debe calificarse como de sobreexplotación local. Esta situación, de continuar las importantes extracciones en esta zona, puede ir extendiéndose progresivamente a otros sectores colindantes (especialmente en dirección SO) originando la continuación del desplazamiento del umbral hidrogeológico de la Dehesilla hacia las zonas de infiltración de aguas superficiales. De producirse este indeseable efecto, el régimen regulado de las aguas superficiales de la zona se vería sensiblemente modificado, de modo que una parte de las aguas bombeadas en los sondeos se detraería de este componente, que en condiciones no influenciadas se restituiría de un modo natural al río Segura por el manantial de Cañada Berosa.

La situación puesta de manifiesto a lo largo de la investigación emprendida, ha aconsejado al IGME la concentración de un importante esfuerzo de control piezométrico y de calidad química; con ello se pretende obtener series temporales de duración suficiente para proceder a una modelización del flujo subterráneo y estudiar la conveniencia de introducir este sistema acuífero en el modelo de gestión coordinada de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del Segura (IGME, 1985) y del que actualmente participan los embalses subterráneos del Sinclinal de Calasparra y Vega Alta.

Entre las medidas aconsejables a corto plazo para una optimización de la gestión del sistema, sería deseable pudiera llegarse a una distribución de la explotación tal que se regulara totalmente la aportación procedente de la infiltración de lluvia útil. Estas medidas deben verse favorecidas por la lejanía de las principales zonas de infiltración de lluvia (Sierra de Los Donceles, Pico Tienda y Sierra del Molar) con respecto a las zonas de contacto río-acuífero (Cañada Berosa - cerrada del embalse de Camarilla).

6.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO.

Dado que el trasvase Tajo-Mundo tiene lugar de febrero-marzo a septiembre-octubre, y que las composiciones de los isótopos estables de las dos cuencas son necesariamente distintas, se ha definido un plan de trabajo encaminado a intentar utilizar este contraste para determinar las relaciones entre el río Mundo y el acuífero del Molar.

En base a este planteamiento, y de acuerdo con las indicaciones de la oficina del ITGE de Murcia, se ha establecido un muestreo basado en los siguientes puntos (fig. 6.4.):

- Caracterización isotópica del agua de los ríos Mundo y Segura a su entrada en el sistema acuífero.
- Análisis isotópicos de tres sondeos situados en la entrada del sistema, a la cola del embalse de Camarillas:
 - .Sondeo 2534-7021 del ITGE
 - .Sondeo 2534-7017 } A cota del embalse de Camarillas
- .Sondeo 2534-7011
- .Sondeo 2534-6010
 } En la Sierra de los Donceles- Análisis isotópico del piezómetro del ITGE 2535-3016 situado en la Estación de Las Minas, en la confluencia de los ríos Mundo y Segura.
- Análisis de dos piezómetros del ITGE situados a ambos lados del umbral hidrogeológico del NE del acuífero: 2534-8019 y 2534-8020.
- Análisis de la parte meridional del acuífero por donde se produce la descarga. Estaba previsto, siempre a indicación

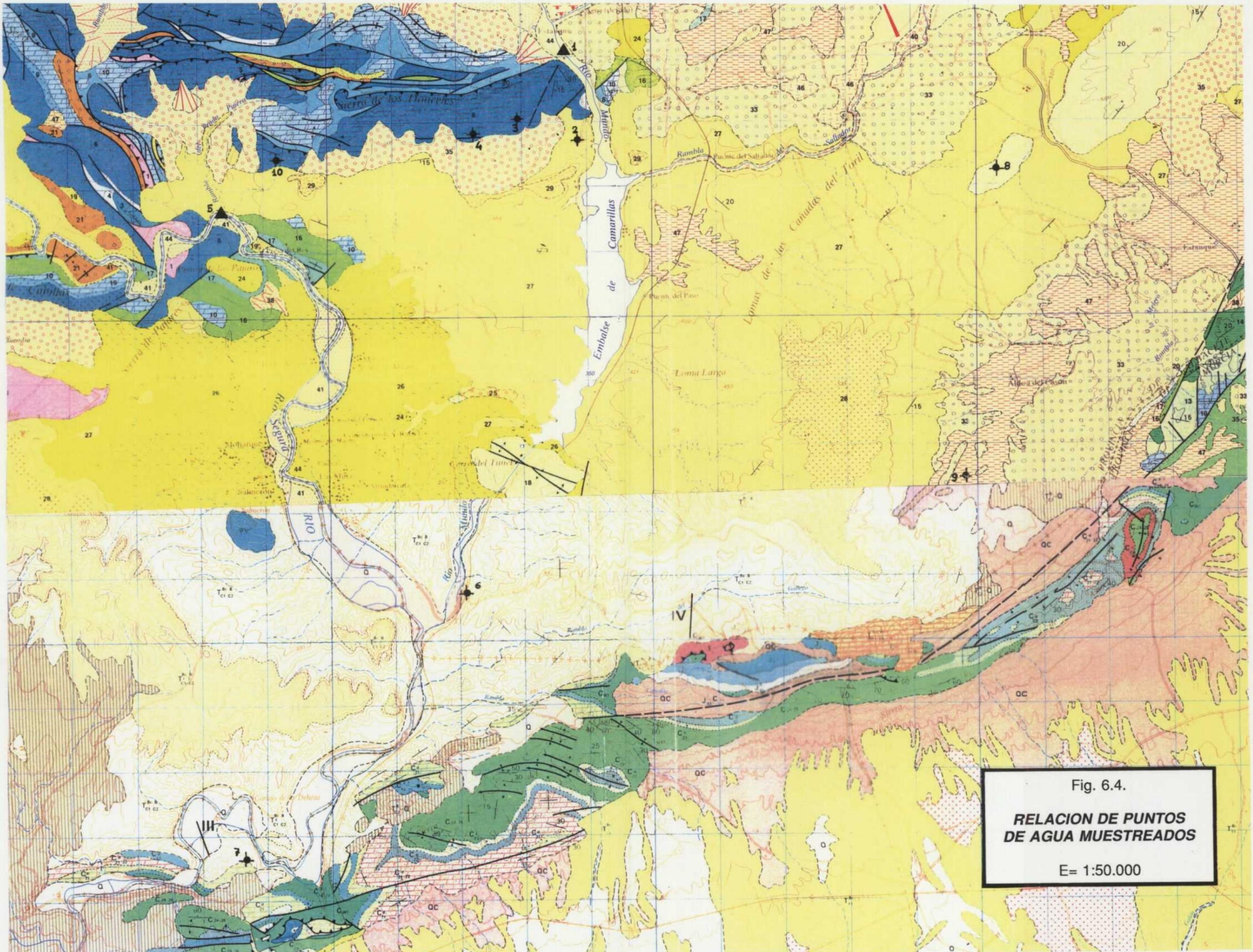


Fig. 6.4.
**RELACION DE PUNTOS
 DE AGUA MUESTREADOS**
 E= 1:50.000

de la oficina del ITGE de Murcia, el muestreo de tres sondeos: 2535-2016, 2535-2015 y 2535-2006 pero solo resultó posible llevarlo a cabo en el último citado.

Estos puntos han sido objeto de muestreo en febrero-91 (fin del período de no trasvase) y en septiembre del mismo año (fin del período de trasvase) con el objetivo de intentar encontrar variaciones significativas en el contenido isotópico.

La tabla 6.1. resume el muestreo efectuado y la 6.2. los correspondientes resultados analíticos.

6.3.- RESULTADOS OBTENIDOS

En la tabla 6.2. se resumen los resultados isotópicos obtenidos y en la fig. 6.5. se han representado los valores de los mismos en un diagrama oxígeno-18/deuterio.

Del análisis de estos resultados cabe hacer las siguientes reflexiones:

- Las aguas superficiales de los ríos Mundo y Segura en época de no trasvase resultan prácticamente idénticas bajo el punto de vista isotópico.
- Los contrastes isotópicos entre época de no trasvase y de trasvase resultan poco relevantes. El ^{18}O difiere en un -1,66% mientras que el deuterio lo hace en solo un -3,8%, valor mucho menos significativo que el primero a la hora de pretender encontrar contrastes.
- Las aguas subterráneas a la entrada del sistema, correspondientes tanto a la cola del embalse de Camarillas

TABLA 6.1.- MUESTREO EFECTUADO

	Nº ITGE	TOPONIMIA	PROF. (m)	REFERENCIA	FIN PERIODO NO TRASVASE		FIN PERIODO TRASVASE
					¹⁸ O/ ² H	Químico	¹⁸ O/ ² H
RIO MUNDO ENTRADA SISTEMA				PMR-1	X	X	X
RIO SEGURA ENTRADA SISTEMA				PMR-5	X	X	X
AGUAS SUBTERRANEAS ENTRADA SISTEMA							
Cola Embalse Camarillas	2534-7021	ITGE	60	PMR-2	X	X	X
	2534-7017	Las Higuericas	150	PMR-3	X	X	X
Sierra de los Donceles	2534-7011	Las Higuericas	191	PMR-4	X	X	X
	2534-6010	Alberdinares	132	PMR-10	X	X	X
AGUAS SUBTERRANEAS CONFLUENCIA MUNDO-SEGURA	2535-3016	Estación Las Minas	81	PMR-6	X	X	X
DIVISORIA SUBTERRANEA ZONA NE	2534-8019	Loma Serra	233	PMR-8	X	X	X
	2534-8020	Casón de Abajo	180	PMR-9	X	X	X
SALIDAS SUBTERRANEAS DEL ACUIFERO	2535-2006	Las Hoyas	181	PMR-7	X	X	X

TABLA 6.2.- RESULTADOS OBTENIDOS

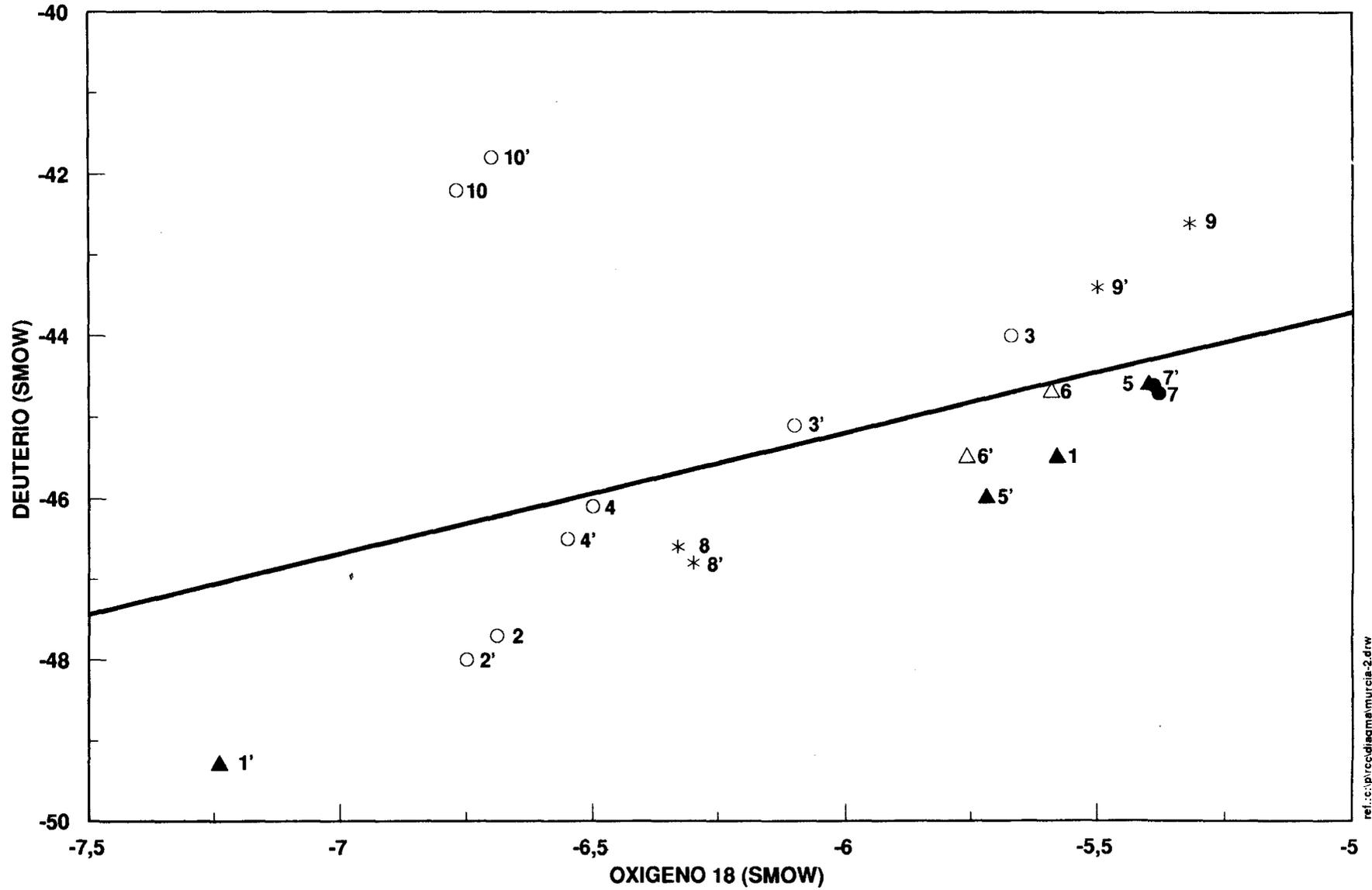
	Nº ITGE	REFERENCIA	FIN PERIODO NO TRASVASE		FIN PERIODO TRASVASE	
			¹⁸ O SMOW	² H SMOW	¹⁸ O SMOW	² H SMOW
RIO MUNDO ENTRADA SISTEMA		PMR-1	-5,58	-45,5	-7,24	-49,3
RIO SEGURA ENTRADA SISTEMA		PMR-5	-5,40	-44,6	-5,72	-46,0
AGUAS SUBTERRANEAS ENTRADA SISTEMA						
Cola Embalse Camarillas	2534-7021	PMR-2	-6,69	-47,7	-6,75	-48,0
	2534-7017	PMR-3	-5,67	-44,0	-6,10	-45,1
Sierra de los Donceles	2534-7011	PMR-4	-6,50	-46,1	-6,55	-46,5
	2534-6010	PMR-10	-6,77	-42,2	-6,70	-41,8
AGUAS SUBTERRANEAS CONFLUENCIA MUNDO-SEGURA	2535-3016	PMR-6	-5,59	-44,7	-5,76	-45,5
DIVISORIA SUBTERRANEA ZONA NE	2534-8019	PMR-8	-6,33	-46,6	-6,30	-46,8
	2534-8020	PMR-9	-5,32	-42,6	-5,50	-43,4
SALIDAS SUBTERRANEAS DEL ACUIFERO	2535-2006	PMR-7	-5,38	-44,7	-5,39	-44,6

NOTA: En la Fig. 6.5., donde se representan estos valores, se han numerado los puntos de acuerdo con su número de referencia siguiendo la siguiente regla:

8 ... punto PMR-8 en época de no trasvase

8'... punto PMR-8 en época de trasvase

CORRELACION O-18 /H-2 EN EL MOLAR



- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> ▲ Cursos superficiales ○ Aguas subterráneas entrada sistema △ Aguas subterráneas confluencia Mundo-Segura | <ul style="list-style-type: none"> * Divisoria subterránea zona NE ● Aguas subterráneas salida sistema |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Fig. 6.5

ref.: c:\p\cediag\m\murcia-2.drw

como a la Sierra de los Donceles, presentan una composición intermedia a la de ambos períodos (trasvase y no trasvase), indicando una cierta influencia de recarga local del agua del embalse hacia el interior del acuífero.

- Esta influencia no se percibe ni en la parte intermedia del acuífero (zona de confluencia Mundo-Segura) ni en la salida del mismo. En ambas zonas, las aguas subterráneas corresponden a la composición isotópica local, no detectándose indicio alguno de mezcla isotópica con agua trasvasada.
- Se aprecia una clara diferenciación isotópica entre los puntos PMR-8 y PMR-9 correspondientes a las dos zonas opuestas de la divisoria subterránea de la zona NE. Los análisis del punto PMR-8, situado teóricamente en zona de sentido de flujo opuesto al embalse de Camarillas, presentan unos resultados similares a los de la mezcla de aguas de la entrada del sistema. Los valores del punto PMR-9, por el contrario, equivalen a las típicamente zonales, sin indicio alguno de mezcla de aguas.
- En general puede afirmarse que la diferenciación isotópica de las aguas subterráneas entre época de trasvase y de no trasvase es prácticamente inexistente. El efecto de "contaminación" isotópica del acuífero por la entrada de aguas procedentes de la otra cuenca, se traduce en una alteración de la relación isotópica $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ de las aguas subterráneas de la entrada del sistema, pero, por el momento, no en el resto del sistema acuífero.
- La diversidad litológica del sistema motiva una acusada variabilidad cuantitativa y cualitativa de la composición química de sus aguas, sobre todo en cuanto a componentes

de origen evaporítico se refiere (figs. 6.6. y 6.7.). Este criterio, por tanto, no resulta significativo a la hora de buscar potenciales relaciones río-acuífero.

Fig. n°: 6.6.- ENTRADA DEL SISTEMA

LEYENDA	
MUESTRA	
	Rio Mundo
	Rio Segura
	PMR-2
	PMR-3
	PMR-4
	PMR-10

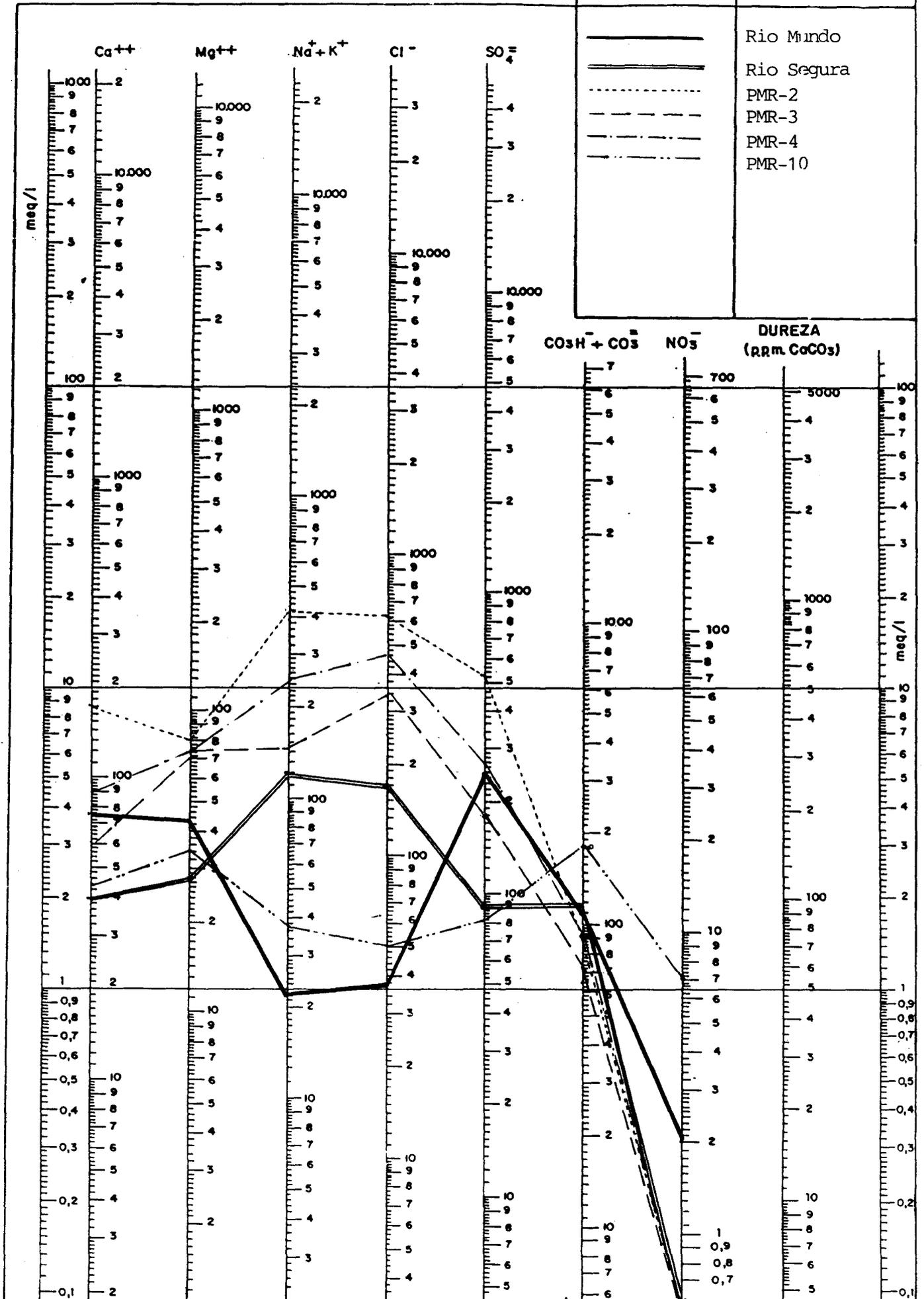
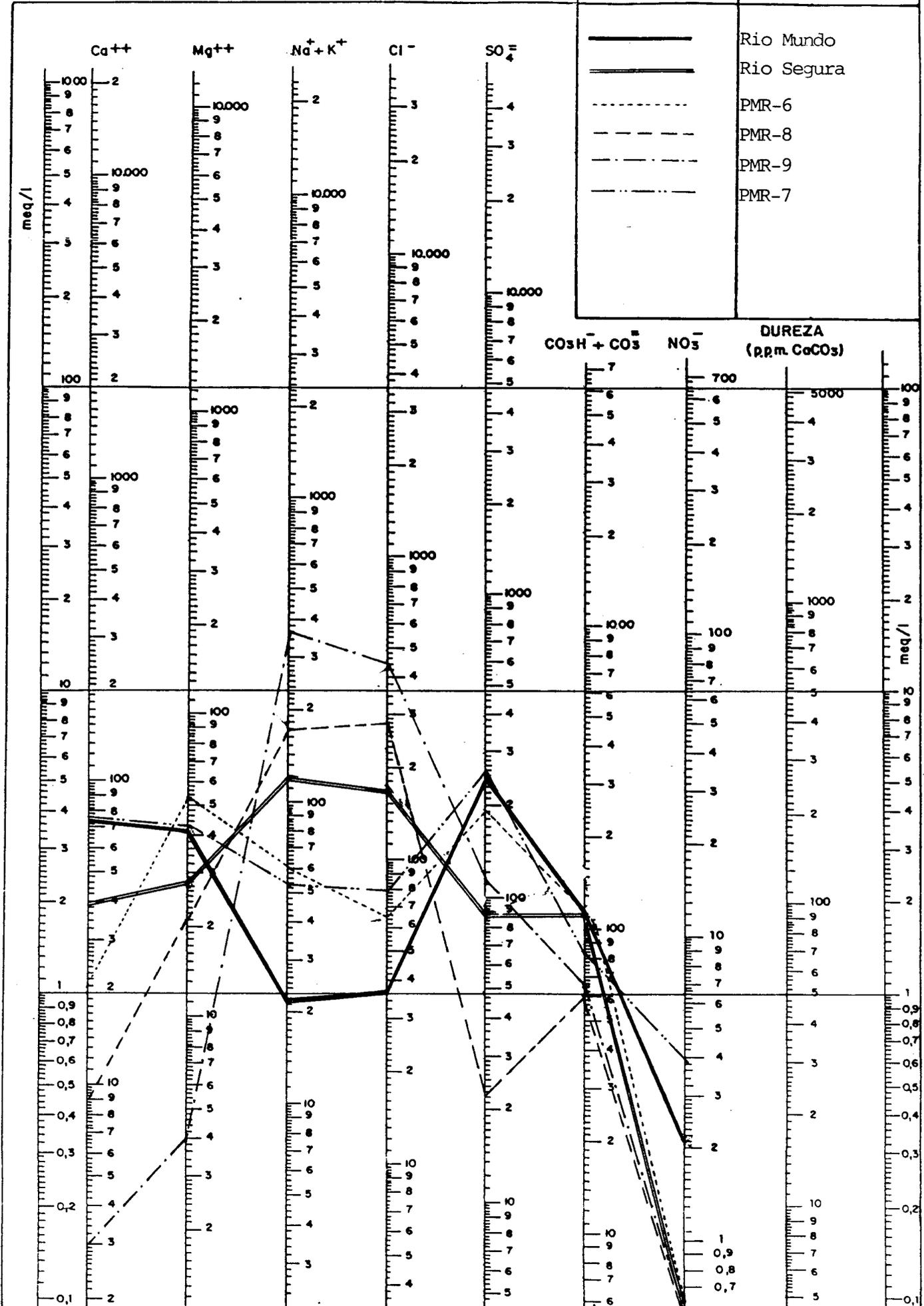


Fig. n°: 6.7.- ZONA CENTRAL Y SALIDA DEL SISTEMA

LEYENDA	
MUESTRA	
	Rio Mundo
	Rio Segura
	PMR-6
	PMR-8
	PMR-9
	PMR-7



7.- DETERMINACION DEL ORIGEN DE LA SALINIDAD

EN LA DEPRESION DE BENISA (ALICANTE)

7.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acuífero de la Depresión de Benisa se sitúa al nordeste de la provincia de Alicante, en donde ocupa un sector adyacente al mar Mediterráneo, entre el cabo de San Antonio y el Morro de Toix, limitado hacia el interior por la sierra del Mongó al norte; las sierras de Castellar y Loma Larga al oeste y la sierra de Benisa al sur. Estas alineaciones montañosas configuran un anfiteatro natural con cotas de hasta 1.130 m.s.n.m. que enmarca una depresión que se extiende entre la cota 300 y el nivel del mar, interrumpida solamente en el sector litoral comprendido entre el cabo de la Nao y la Punta de Moraira por los abruptos relieves de la Sierra de Llorensá.

La superficie del acuífero es de 248 km², de los cuales 146 km² corresponden a afloramientos de materiales considerados impermeables. Las poblaciones más importantes ubicadas en su interior son Jávea, Benisa, Calpe, Teulada, Senija y Benitachell.

Las formaciones transmisivas son numerosas, destacando las carbonatadas mesozóicas, profundas en la mayor parte de la depresión y las calizas arrecifales del Oligoceno. Los materiales miocenos de facies "tap" presentan intercalaciones calcáreas que localmente resultan productivas, aunque por regla general constituyen acuíferos colgados de escasa entidad, salvo cuando están en conexión lateral con los acuíferos mesozoicos y paleógenos antes referidos.

Se desconoce con exactitud las relaciones entre los diferentes niveles transmisivos mesozoicos y oligocenos, pero es muy probable que la conexión hidráulica exista incluso con las calcarenitas de la base del Mioceno, por lo que a gran escala se trataría de un acuífero único que tendría como sustrato impermeable las margas neocomienses. Hacia el techo, el conjunto estaría confinado por las margas en facies "tap".

La piezometría varía entre +60 m. en el sector SW de la depresión hasta cotas comprendidas entre 0 y +10 m. en el NE. Se desconoce, no obstante, la posición del nivel piezométrico en todo el litoral comprendido entre el Morro de Toix y Punta Moraira. Parece verosímil, no obstante, la existencia de una divisoria piezométrica que divide al acuífero en dos sectores: uno septentrional en el que la circulación se efectúa en dirección NE y otro meridional en el que la circulación adopta una fuerte componente sur en dirección al Morro de Toix (fig. 7.1.).

Por otra parte, los diferentes niveles productivos intercalados en las margas miocenas constituye pequeños acuíferos aislados cuyos niveles piezométricos muestran un fuerte control morfológico, con cotas que varían entre +210 m. en Benisa, +100 m. en Benitachell y +5-0 m. en Moraira.

Las salidas al mar constituyen el principal mecanismo de descarga del acuífero, sobre todo en las zonas del Morro de Toix, Peñón de Ifach y Punta Moraira, aunque se trata de una canalización rápida a favor del karst basal.

En este contexto se aprecia otro fenómeno ampliamente representado en la depresión de Benisa: la captación de aguas con elevados contenidos salinos ($\text{Cl}^- > 3000$ ppm) en sondeos profundos, alejados hasta 6 km. del litoral y con cotas

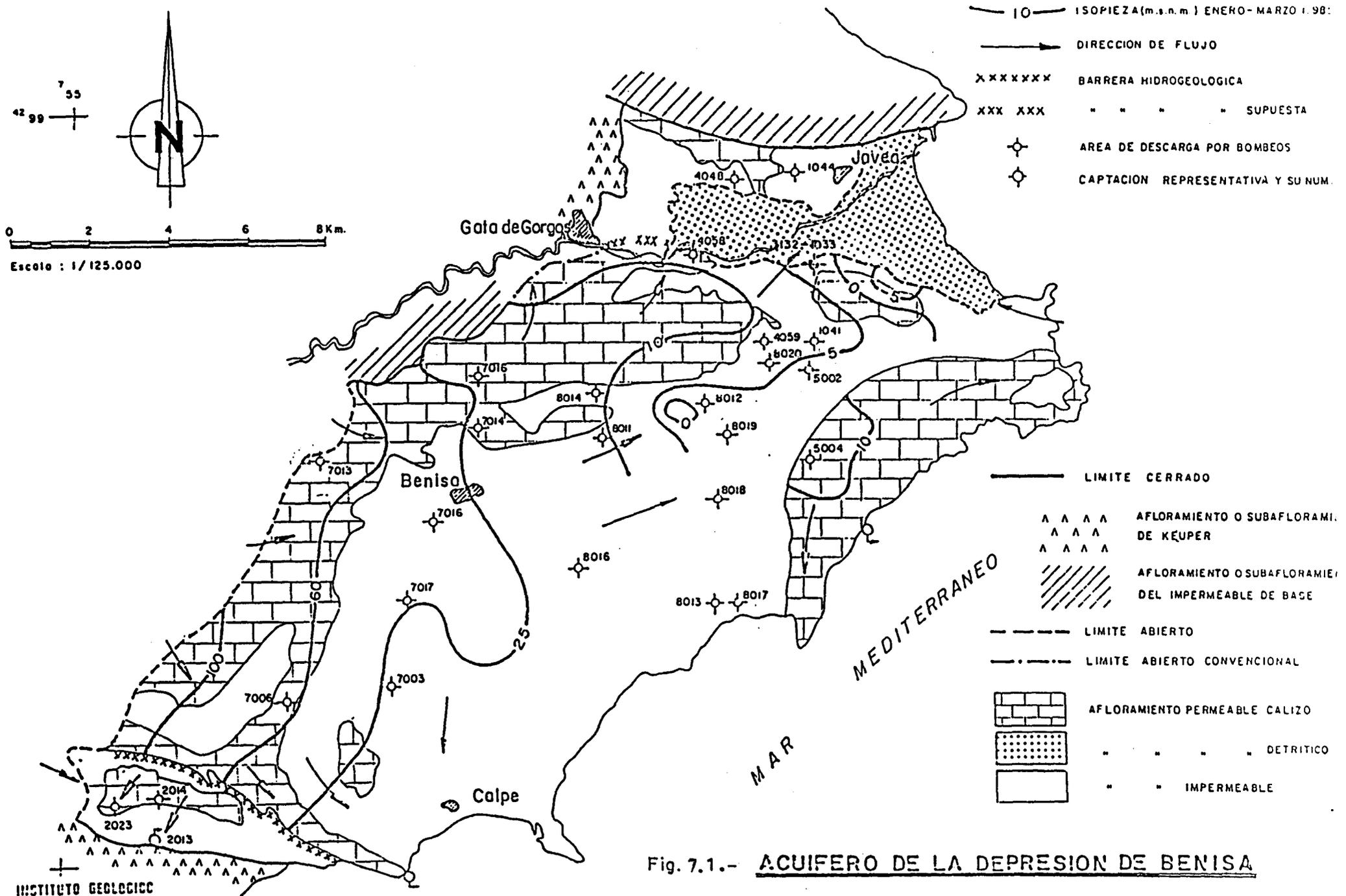
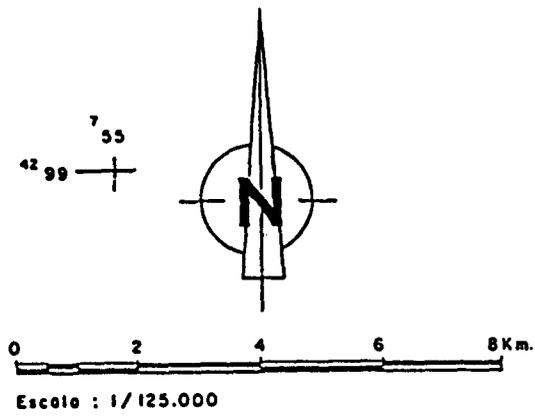


Fig. 7.1.- ACUIFERO DE LA DEPRESION DE BENISA

piezométricas netamente positivas, que varían entre 10 y 60 m. sobre el nivel del mar.

Este fenómeno podría ser debido a la presencia de una salinidad congénita fósil de los materiales detríticos, a que el pie de la interfase penetre acusadamente en el interior y la zona de mezcla alcance un gran desarrollo o a la presencia del Keuper en profundidad que ponga en solución litofacies salinas, como sucede en otras zonas de Alicante cuando aparecen manantiales salinos con altísimas concentraciones de cloruros.

7.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO. MUESTREO REALIZADO.

El problema se aborda mediante el empleo conjunto de técnicas geoquímicas e isotópicas. Para ello se analiza, primeramente, bajo el punto de vista químico e isotópico, el agua marina local. En el primer caso se determinan componentes específicos marinos como el B, Br y Sr. A pesar, también, de poseer valores relativamente constantes, se analizan también los contenidos de ^{18}O , ^2H , ^3H , $^{34}\text{S}+^{18}\text{O}$ y $^{13}\text{C}+^{18}\text{O}$ del agua de mar.

La composición isotópica de la salinidad debida a una posible circulación por el Keuper se ha tipificado mediante el análisis de $^{34}\text{S}+^{18}\text{O}$ y $^{13}\text{C}+^{18}\text{O}$ del agua del manantial salado de Novelda. Se trata de un manantial que, con un importante caudal de 8 l/s drena esta litofacies en la localidad referida. Posee una salinidad de 30 gr/l y es, quizás, uno de los manantiales salados más característicos de la geografía peninsular asociado al Keuper.

Una vez caracterizados los potenciales polos salinos, se procede igualmente con la componente atmosférica o subterránea somera, muestreando el contenido isotópico de tres manantiales

ubicados en las sierras que circundan por el oeste a la depresión de Benisa y a cotas diferentes para cubrir la posible variabilidad espacial. Dado que no se trata de determinar zonas de recarga, sino de evaluar el origen de una salinidad con posibles mezclas en el acuífero, se ha preferido contar con el efecto integrador de los manantiales a utilizar resultados puntuales de lluvias de una evidente menor representatividad. En todos los casos, el agua de estos manantiales corresponde a acuíferos colgados de significación muy local, pero que cumplen perfectamente su cometido como muestras de referencia isotópica atmosférica.

Con todos los resultados químicos e isotópicos reseñados, correspondientes a la caracterización de las dos posibles componentes, salada y recarga meteórica, se está en condiciones de poder estudiar las potenciales mezclas, tanto bajo el punto de vista cuantitativo como cualitativo y determinar el origen de la salinidad.

Con este fin, la oficina regional del ITGE en Murcia ha indicado los puntos de agua más significativos a muestrear en base a su experiencia en la zona. Se trata de siete sondeos situados en los términos municipales de Calpe, Benisa, Benitachell y Jávea.

En las figs. 7.2. y 7.3 se indica la situación de todos los puntos de agua muestreada, a excepción del manantial salado de Novelda, que queda más al SW.

Por lo que respecta a los pozos problema, suelen estar inactivos por su contenido salino, unos sin mecanismos de elevación y otros abandonados o con las bombas deterioradas. Por este motivo, de los siete pozos sugeridos para muestrear por la oficina regional del ITGE, solo ha resultado posible la toma de muestras en cuatro de ellos.

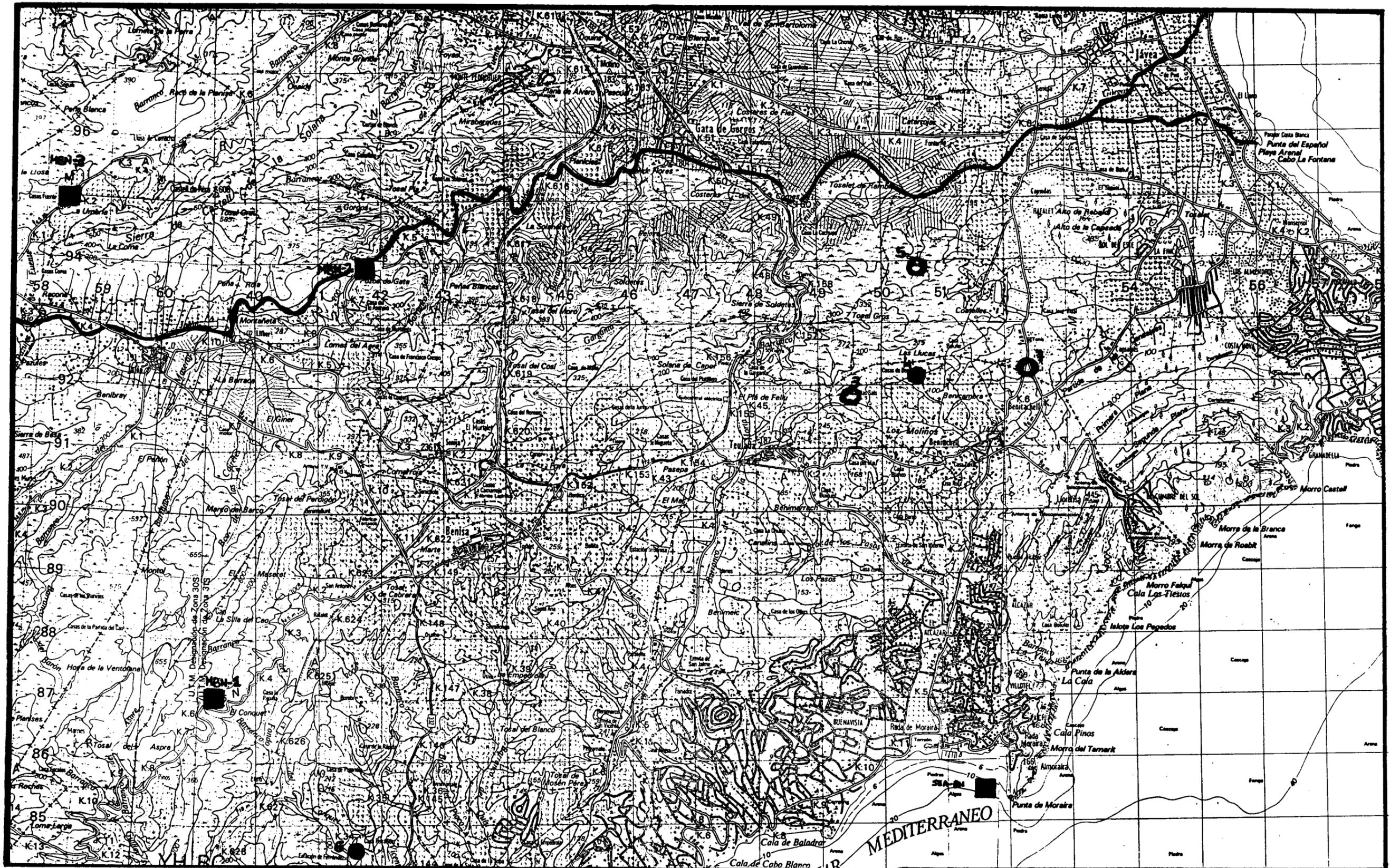


FIG. 7.2.- PUNTOS DE MUESTREO ISOTOPICO

- AGUAS DE REFERENCIA
- MUESTRAS PROBLEMA
- PUNTOS NO MUESTREADOS

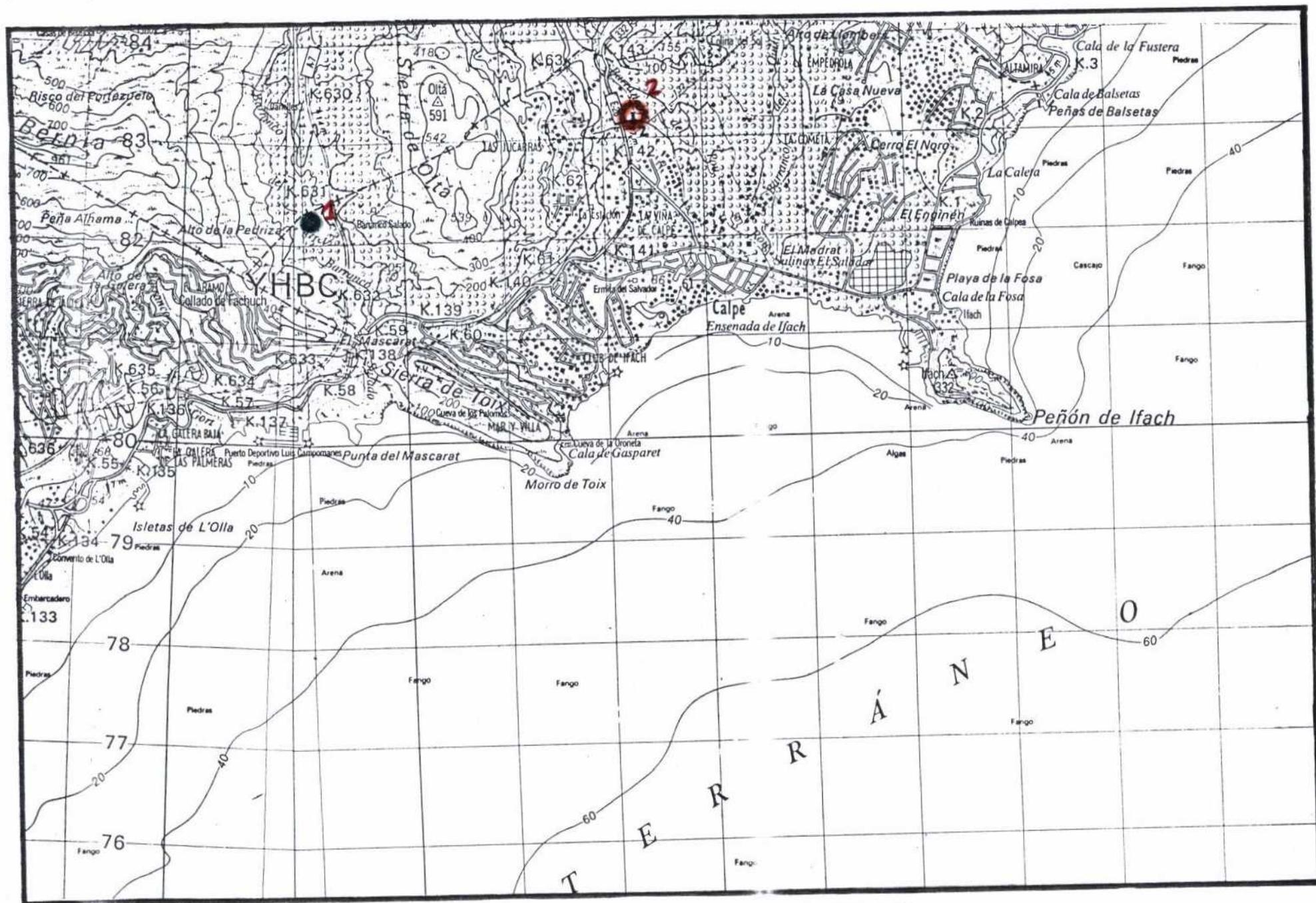


FIG. 7.3.- PUNTOS DE MUESTREO ISOTOPICO

En las tablas 7.1. y 7.2. se resume el muestreo efectuado. Las muestras poseen numeración correlativa, anteponiéndose las siglas BN (Benisa) y letras variables según se trate de muestras de manantiales (M), pozos problema (P), agua marina (S) o de Keuper (K).

7.3.- RESULTADOS OBTENIDOS

Si a lo largo de este trabajo, en el que se han estudiado casos muy diversos mediante isótopos, en alguna ocasión ha habido que concluir que como técnica de estudio resultaban prácticamente inoperantes, en este caso se puede decir lo contrario, pues conducen a conclusiones realmente concretas e inequívocas.

En la tabla 7.3. se adjuntan los resultados de todas las muestras previamente referenciadas, que se representan graficamente en la fig. 7.4.. Del análisis de los mismos se deducen las siguientes conclusiones:

- Las aguas de los pozos problema tienen una relación $^{18}\text{O}/^2\text{H}$ muy similar entre ellas y muy próxima a la de las aguas de lluvia que alimentan los pequeños manantiales colgados tomados como referencia meteórica.
- Los análisis de ^{13}C y ^{18}O de la molécula de carbonato disuelto presentan también resultados muy similares en todos los casos entre aguas subterráneas y aguas de lluvia.
- Todos estos resultados están, además, muy próximos a los del manantial salado de Novelda, tomado como polo de referencia de un drenaje típico de Keuper. Su variación relativa en ^{18}O y ^2H se debe a una lógica variabilidad

TABLA 7.1.- SITUACION DE LAS MUESTRAS ISOTOPICAS EN LA DEPRESION DE BENISA

MUESTRA	TOPONIMIA	LOCALIDAD	Nº ITGE/ ENADIMSA	X(UTM)	Y(UTM)	ALTURA (n.mar) Z(m)	PROF. (m)
<u>MANANTIALES</u>							
MBN-1	-	Pinós	-	239.4	4286.8	360	-
MBN-2	-	Llíbar	-	241.7	4293.8	380	-
MBN-3	F. Lavadero	Alcalalí	-	758.3	4294.8	300	-
<u>AGUAS SALADAS TIPO</u>							
S-BN	Agua mar	Moraira	-	250.5	4286.1	0	-
K-BN	F. Salada	Novelda	28341001	694.4	4256.9	430	-
<u>POZOS PROBLEMA</u>							
PBN-1	Bco. Salado	Ayunt.Calpe	-	239.2	4282.3	-	-
PBN-2	Pou Roig	Ayunt.Calpe	848.306	242.3	4283.2	60	>35
PBN-3	Casa Blas	Benitachell	822.136	249.4	4291.9	170	163
PBN-4	Casa Benicambra	Benitachell	822.140	250.6	4292.1	120	103
PBN-5	Tarraulla	Jávea	822.448	250.7	4293.8	80	78
PBN-6	Fernandet	Benisa	-	241.6	4284.5	80	64
PBN-7	Lluca Soler	Jávea	823.202	252.4	4292.3	75	330

OBSERVACIONES:

- PBN-1 No muestreado. Sin bomba ni tendido eléctrico.
PBN-2 Llevaba 6 meses sin funcionar. Muestreado a los 30 minutos de funcionamiento.
PBN-3 Muestreado. Abastece a la urbanización Castellón Vida. Imposible tomar la muestra sin clorar.
PBN-4 Abandonado. Cerrado con tapa de hierro, pasador y tuercas. No muestreado.
PBN-5 Muestreado, aunque sin usar desde hace 2 años. Gran cantidad de herrumbre . No aclara después de 45 minutos de bombeo.
PBN-6 Abandonado y tapado con una plataforma de cemento.
PBN-7 Muestreado antes de cloración. Abastece a la urbanización Los Cerezos de Jávea.

TABLA 7.2.- RESUMEN DEL MUESTREO REALIZADO

MUESTRA	^{18}O	^2H	^3H	$^{13}\text{C}+^{18}\text{O}$	$^{34}\text{S}+^{18}\text{O}$	QUIMICO
<u>POZOS PROBLEMA</u>						
PBN-2	X	X	X	X	X	X
PBN-3	X	X	X	X	X	X
PBN-5	X	X	X	X	X	X
PBN-7	X	X	X	X	X	X
<u>AGUAS SALADAS TIPO</u>						
KBN (Fte. Salada)	X	X	X	X	X	X
SEA-BN (Agua Mar)	X	X	X	X	X	X
<u>MANANTIALES</u>						
MBN-1	X	X	X			
MBN-2	X	X				
MBN-3	X	X	X	X		
TOTAL	9	9	8	7	6	6

TABLA 7.3.- RESULTADOS ISOTOPICOS

MUESTRA	¹⁸ O (‰SMOW)	² H (‰SMOW)	³ H (UT)	CARBONATOS		SULFATOS	
				¹³ C PDB	¹⁸ O SMOW	³⁴ S CDT	¹⁸ O SMOW
<u>POZOS PROBLEMA</u>							
PBN-2	-5.49	-28.5	5.7 ± 0.8	-12.20	+25.19	+9.70	+13.80
PBN-3	-5.25	-32.2	6.1 ± 0.8	-10.94	+23.46	+8.80	+17.30
PBN-5	-5.37	-28.1	7.1 ± 0.8	-13.51	+25.71	Muestra	insuficiente
PBN-7	-5.29	-27.6	3.3 ± 0.8	-10.37	+25.95	+8.30	+10.0
<u>AGUAS SALADAS TIPO</u>							
KBN (Fte.Salada Keuper)	-6.50	-53.3	7.7 ± 1.0	-14.91	+23.46	+12.5	+10.0
SBN (Mar)	+1.00	+5.9	2.2 ± 1.0	-17.26	+18.81	+20.7	+8.9
<u>MANANTIALES</u>							
MBN-1	-4.81	-28.8	6.5 ± 1.1				
MBN-2	-4.72	-24.0					
MBN-3	-4.44	-32.3	9.0 ± 1.1	-14.57	+23.65		

CORRELACION O-18/H-2 EN BENISA

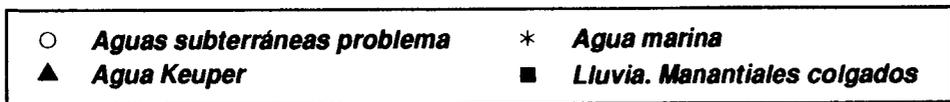
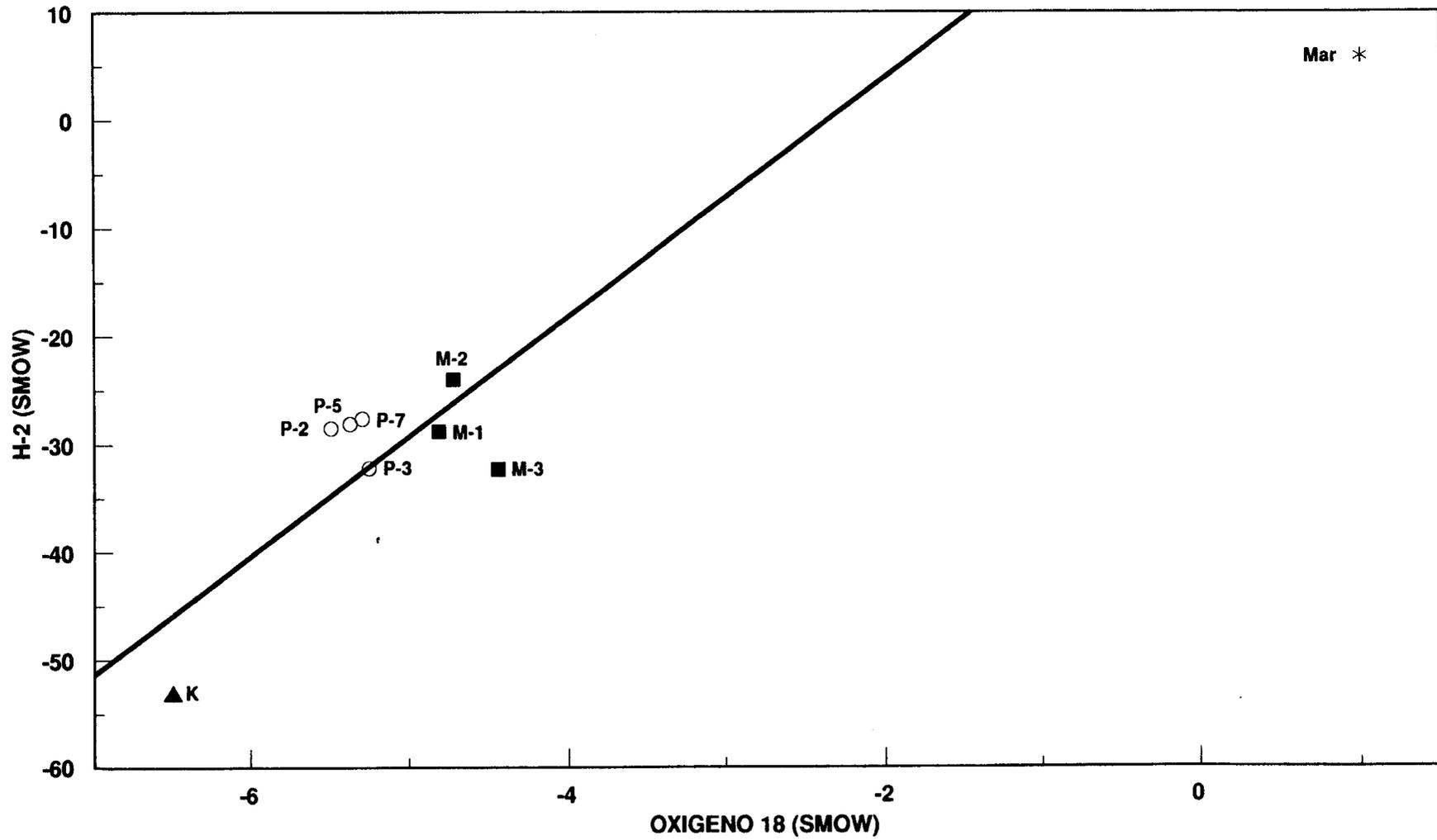


Fig. 7.4

geográfica al estar situado unos 60 km al SW de la depresión de Benisa.

- No se observa el más mínimo desplazamiento hacia pesado en ^{18}O y ^2H de las aguas subterráneas problema, por efecto de una hipotética mezcla con agua marina. Incluso las aguas subterráneas resultan más ligeras que las de los manantiales colgados tomados como referencia de lluvia.
- Tampoco se observa indicio alguno de agua marina en los análisis de carbonatos y sulfatos. Los valores de ^{13}C y ^{34}S y sus correspondientes oxígenos están más alejados del agua de mar que los del manantial salado de Novelda.
- Los valores de tritio de las aguas subterráneas se corresponden con los de las aguas meteóricas de los manantiales colgados. Solo el valor de $3,3 \pm 0,8$ de la muestra PBN-7 puede presentar un tipo de tránsito más acusado, lo cual es lógico si se considera la profundidad de 330 m. de este pozo, frente a los 78-163 m. de los restantes.

Todos los resultados isotópicos conllevan a afirmar, de manera inequívoca, que la salinidad de los pozos de la depresión de Benisa no es debida a la presencia de agua marina. Se trata de un proceso de puesta en contacto de un agua de recarga meteórica más o menos actual con materiales evaporíticos que son los que le confieren su elevada salinidad.

Los análisis químicos, por su parte, resultan también indicativos. De los cuatro pozos muestreados, solo los dos que se hallan en proceso de utilización abasteciendo a sendas urbanizaciones poseen una mayor concentración salina (PNB-3 y PNB-7). El PNB-5 parado desde hacía 2 años y bombeado 45 minutos

antes de muestrear, presenta una facies bicarbonatada cálcica sin ningún indicio de salinización. El PNB-2, detenido desde hacía 6 meses, ofrece unas características intermedias entre los tres referidos (fig. 7.5.).

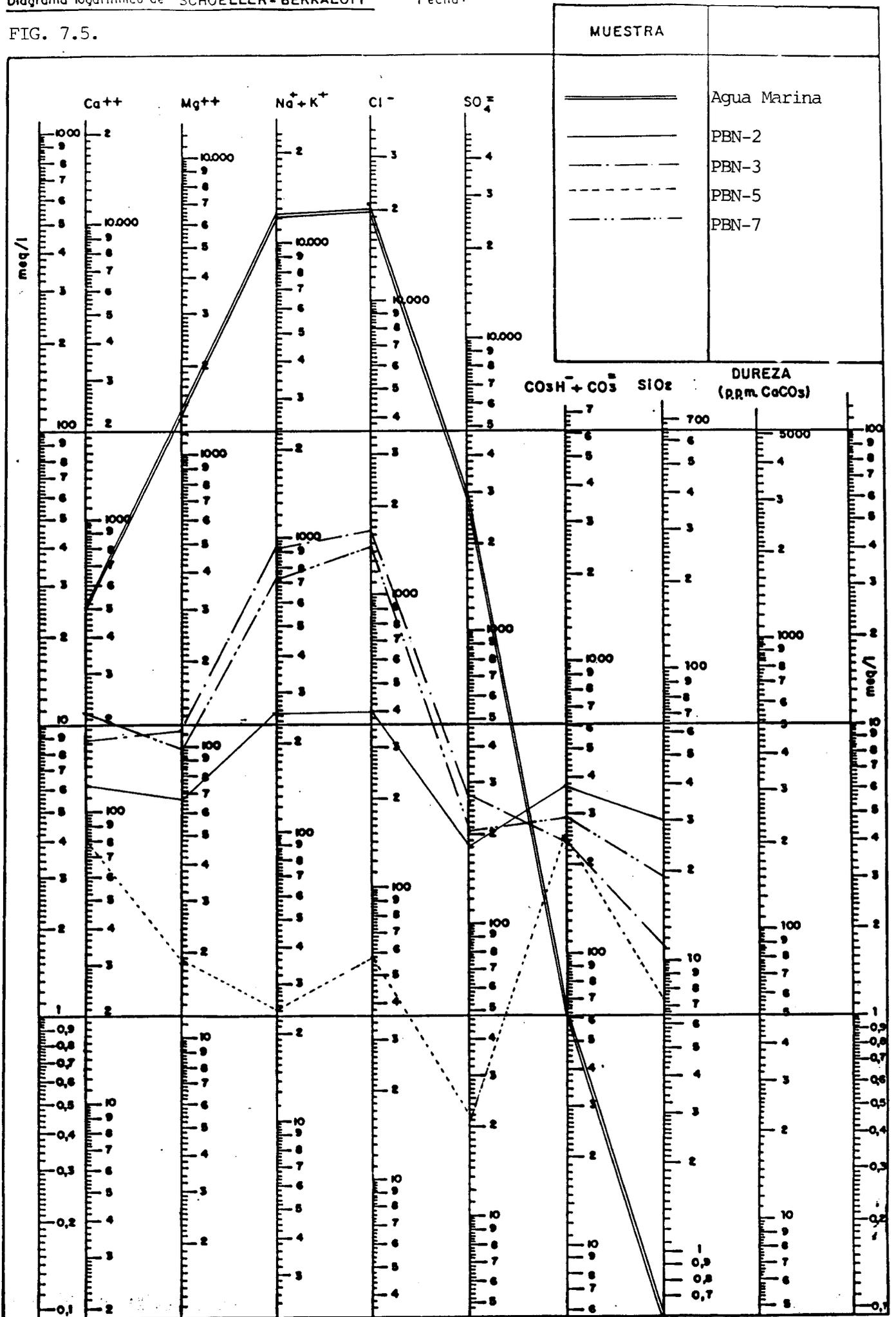
Si nos referimos, por tanto, a las dos muestras más salinas podemos extraer las siguientes conclusiones:

- Su mineralización cuantitativa es 13-15 veces menor que la marina.
- Bajo el punto de vista cualitativo, el perfil típicamente marino queda alterado por un acusado déficit relativo de magnesio y un exceso real de bicarbonatos y sílice.
- Respecto a los indicadores minoritarios típicos marinos, disminuyen los órdenes de magnitud de la proporción antes referida (16-20 veces menor para el B y el Br) y aumentan en el caso del Sr (5-6 veces menor).

El desequilibrio entre proporciones relativas de unos elementos típicamente marinos y otros, así como entre los mayoritarios, es la única indicación química de que no se trata de una mezcla entre agua meteórica y agua marina, congénita o intruida.

Los isótopos, en este caso, vienen definitivamente en ayuda de la hidroquímica convencional, para puntualizar que se trata de un equilibrio entre agua meteórica y evaporitas marinas. Estas evaporitas, por su propia génesis, son las que proporcionan al agua problema su "anisotropía" relativa respecto al agua marina tipo, para un determinado grado de dilución.

FIG. 7.5.



8.- BIBLIOGRAFIA

BIRNBAUN, S.J.; COLEMAN, M. (1979).- *Source of sulphur in the Ebro Basin (Northon Spain). Tertiary nonmarine evaporite deposito as evidenad by sulphur isotopos.* Chemical Geology. V. 25, pp. 163-168.

DIPUTACION DE ALICANTE-ITGE (1982).- *Las Aguas Subterráneas en la Provincia de Alicante.* 753 pp.

DIPUTACION DE MALAGA (1988).- *Atlas hidrogeológico de la Provincia de Málaga.* 151 pp.

FRITZ, P.; FONTES, J.Ch. (1986).- *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry.* Elsevier. 548 pp.

HOEFS, J. (1987).- *Stable isotope geochemistry.* Springer-Verlag. 241 pp.

ITGE (1989). *Las aguas subterráneas de España. Estudio de Síntesis.* 591 pp.

MARTINEZ GIL et al. (1989).- *El drenaje subterráneo en la Cordillera Ibérica en la cuenca del Ebro como proceso de movilización y transporte de substancia en disolución. Sus implicaciones en el aporte de sulfatos.* Guía de Campo III Revisión P.I.C.G. Zaragoza.

PLATA, A. (1972).- *Isótopos en Hidrología.* Edit. Alhambra. 328 pp.

SANCHEZ, J.A. et al. (1987).- *El drenaje subterráneo de la Cordillera Ibérica en la Depresión terciaria del Ebro y procesos geológicos asociados.* II Congreso de Geoquímica de España. pp. 3-8. Soria.

SOLIS, L. et al. (1987).- *El Molar: nuevo sistema acuífero a incorporar en la gestión coordinada de aguas superficiales-subterráneas de la cuenca del Segura.* IV Simposio Nacional de Hidrogeología. pp. 65-75.

A N E X O

ANALISIS QUIMICOS

ARAGON



Banda de envío nº 5175
Referencia de laboratorio PA-1
Referencia de envío (Ident. de la muestra) Nº GONZALEZ MARTOS
Fecha de entrega a Laboratorio 15 / I / 91

INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: Nº REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, MT, Prof. T, D.Q.O, Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, Rα(2), Rβ(2), N° Muestras, Minicio prueba, 221 222, 223, 228, 229 230, 231, 236, 237 238, 239, 244, 245 246, 247, 252

El Jefe de Laboratorio: [Signature]
RECIBIDO D.A.S. [Signature]
V° B°
Recibido Gabinete Informática [Signature]

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
El punto decimal es representado por (Δ). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en μS/cm.; (2) en pCi/l
Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
R = Radiactividad.
Prof T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Blank lines for observations.



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: Nº REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T, Prof. T, D.Q.O., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P, Plaguicidas total, R alpha (2), R beta (2), Ensayo Bombeo, N° Muestras, Min. inicio prueba.

Signature and receipt section: El jefe de Laboratorio (signature), RECIBIDO D.A.S., V° B°, Recibido Gabinete Informática

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
• F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
• El punto decimal es representado por (). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad.
Prof. T
Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES: (Large empty area for notes)



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T., Prof. T, D.Q.O., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P, Plaguicidas total, R alpha (2), R beta (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, 221-222, 223-228, 229-230, 231-236, 237-238, 239-244, 245-246, 247-252

El jefe de Laboratorio: [Signature]
RECIBIDO D.A.S. [Signature]
V° B°
Recibido Gabinete Informática [Signature]

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
El punto decimal es representado por (.)
Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
H.A.P = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
R = Radioactividad.
Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES: [Blank lines for notes]

HACHO DE LOJA - SIERRA GORDA (GRANADA)



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T, Prof. T, D.Q.O., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, R α (2), R β (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, 221-222, 223-228, 229-230, 231-236, 237-238, 239-244, 245-246, 247-252

Signature and receipt area: El Jefe de Laboratorio, RECIBIDO D.A.S., V° B°, Recibido Gabinete Informática

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
• F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
• El punto decimal es representado por (). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad.
• Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Vertical grid of boxes for observations



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T, Prof. T, D.Q.O, Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, R alpha (2), R beta (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, 221-222, 223-228, 229-230, 231-236, 237-238, 239-244, 245-246, 247-252

Signature and receipt section: El Jefe de Laboratorio (signature), RECIBIDO D.A.S. (date), V° B° (signature), Recibido Gabinete Informática (date)

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
• F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
• El punto decimal es representado por (/). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
• Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
• Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
• H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
• R = Radiactividad.
• Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES

Vertical grid of boxes for observations

DIVISORIA GUADIARO-GUADALETE (MALAGA)

CAMPO DE CARTAGENA

EL MOLAR



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Bono de envío nº 5406
Referencia de Laboratorio PMR-2
Referencia de envío (Ident. de la muestra) M. GOMEZ MARTOS
Fecha de entrega a Laboratorio 25/01/91

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T., Prof. T, D.Q.O., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, R alpha (2), R beta (2), N° Muestras, Min inicio prueba, 221-222, 223-228, 229-230, 231-236, 237-239, 245-246, 247-252

El Jefe de Laboratorio: [Signature]
RECIBIDO D.A.S. 1/1
Vº Bº
Recibido Gabinete Informática 1/1

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
El punto decimal es representado por (). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo
Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
R = Radiactividad.
Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Vertical grid of boxes for observations



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Bono de envío nº 5406
Referencia de Laboratorio PMR-9
Referencia de envío (ident. de la muestra) 19-GONZALEZ MARRAS
Fecha de entrega a Laboratorio 25/01/91

Grid of boxes for data entry with labels: N° REGISTRO, Fecha de toma, Fecha de análisis, M.T., Prof. T., D.Q.O., Cl, SO4, HCO3, CO3, NO3, Na, Mg, Ca, K, pH, Conductividad 20°C(1), R.S. 110°C, NO2, NH4, P2O5, SiO2, Temp. en campo, F2, B, F, Li, Br, Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cr, Ni, Cd, As, Sb, Se, Al, CN, Detergentes, Hg, Fenoles, H.A.P., Plaguicidas total, R α (2), R β (2), N° Muestras, Min. inicio prueba, 221-222, 223-228, 229-230, 231-236, 237-238, 239-244, 245-246, 247-252

El jefe de Laboratorio: [Signature]
RECIBIDO D.A.S. 1/1
V° B°
Recibido Gabinete Informática 1/1

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
F2 Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
El punto decimal es representado por (.). Las demás determinaciones serán redondeada a número entero, justándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto: (1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
R = Radiactividad.
Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Series of horizontal lines for recording observations.

DEPRESION DE BENISA (ALICANTE)



INFORME DE DETERMINACIONES REALIZADAS

Bono de envío nº 5175
Referencia de Laboratorio **SBN-1**
Referencia de envío (Ident. de la muestra) **Nº GONZALEZ MARTOS**
Fecha de entrega a Laboratorio **15 / I / 91**

Nº REGISTRO	Fecha de toma	Fecha de análisis	M.T.	Prof. T	D.Q.O.	Cl	SO ₄		
9	10 15	16 21	22	23 26	27 30	21305	3025		
HCO ₃	CO ₃	NO ₃	Na	Mg	Ca	K	pH	Conductividad 20°C(1)	
41 44	45 47	48 51	52 56	57 60	61 65	66 69	70 72	73 78	
65	0	0	11790	1369	499	440	7.7	51900	
R.S. 110°C	NO ₂	NH ₄	P ₂ O ₅	SiO ₂	Temp. en campo	F ₂			
79 84	85 88	89 92	93 96	97 100	101 102	103			
000	000			05					
B	F	Li	Br	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr
104 108	109 112	113 116	117 120	121 124	125 128	129 132	133 136	137 140	141 144
				092					
Ni	Cd	As	Sb	Se	Al	CN	Detergentes	Hg	Fenoles
145 148	149 152	153 156	157 160	161 164	165 168	169 172	173 176	177 180	181 184
H.A.P.	Plaguicidas total	R α (2)	R β (2)	Ensayo Bombeo	Nº Muestras	Min. inicio prueba			
185 189	190 195	196 200	201 204	205 209	210 213	214 215	216 220		
221 222	223 228	229 230	231 236	237 238	239 244				
245 246	247 252								

El Jefe de Laboratorio: <i>[Signature]</i>	RECIBIDO D.A.S. /	Vº Bº	Recibido Gabinete Informática /
-----------------------------------------------	----------------------------------	----------------	------------------------------------------------

INDICACIONES

- Cualquier modificación en los datos de base, comunicarlo en ficha de punto de agua.
- F₂ Se indicará si hay datos en la 2ª parte de la ficha con S o N
- El punto decimal es representado por (1). Las demás determinaciones serán redondeadas a número entero, ajustándolas a la última casilla de la derecha de cada campo.
- Las determinaciones son expresadas en mg/l, excepto:
(1) en µS/cm.; (2) en pCi/l
- Eventualmente, el contenido específico de cada plaguicida será expresado en OBSERVACIONES
- H.A.P. = Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos
- R = Radiactividad.
- Prof. T Profundidad de la toma de muestras en metros.

OBSERVACIONES:

Intoxicación = 5'03 µg/l

Boro y Boro no se pondrán las cas.



ANALISIS DE CUATRO MUESTRAS PERTENECIENTES A LA DIVISION DE AGUAS
SUBTERRANEAS, PRESENTADAS POR Da MARIA GOMEZ MARTOS.

DETERMINACIONES (mg/L)	REFERENCIA DE MUESTRAS			
	A-2	A-3	A-5	A-7
Na	247	883	23	751
K	8	27	1	16
Ca	120	172	80	220
Mg	66	112	18	98
NH ₄	0,00	0,00	0,00	0,00
NO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00
SiO ₂	29,3	11,0	7,3	18,9
SO ₄	178	247	21	212
Cl	398	1633	58	1420
NO ₃	35	9	<0,5	34
CO ₃	0	0	0	0
HCO ₃	371	238	252	290
PO ₄	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Cu	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Zn	<0,05	<0,05	<0,05	2,20
B	0,33	0,28	0,05	0,22
Sr	1,79	0,77	<0,50	0,94
Br	1,60	4,00	0,34	4,05
D.Q.O	1,2	3,2	0,8	3,1
pH	7,3	7,7	7,6	7,4
Conductividad *	2170	5420	555	4930

* Determinación en $\mu\text{mohs/cm}$

Madrid, 8 Abril de 1992

EL JEFE DEL LABORATORIO