

PROYECTO DE INVESTIGACION DEL BORDE OESTE  
DEL PERDON

TOMO III.- ESTUDIO PETROLOGICO, MINERALOGICO Y  
GEOQUIMICO.

P.N.A.M.P.M.

Abril, 1.985



**e. n. adaro**  
de investigaciones mineras s.a.

50138

INVESTIGACION DEL BORDE OESTE DEL YACIMIENTO  
DEL PERDON. CARACTERIZACION PETROLOGICA, MI-  
NERALOGICA Y GEOQUIMICA DE ALGUNAS ZONAS DE  
ESTERILIDAD EN EL YACIMIENTO DE POTASAS DE  
NAVARRA, S.A. (BERIAIN, PAMPLONA).

Estudio realizado para E.N.A.D.I.M.S.A.

por el

Departamento de Petrología y  
Geoquímica de la  
Facultad de Geología de la  
Universidad de Barcelona.

Enero de 1.984

# I N D I C E

I.	INTRODUCCION	
1.1.-	<u>ANTECEDENTES Y OBJETIVOS</u> .....	1
1.2.-	<u>METODOLOGIA DE TRABAJO</u> .....	4
1.2.1.-	TRABAJOS DE MINA Y DE LABORATORIO. ESTU- DIO PETROGRAFICO Y MINERALOGICO .....	4
1.2.2.-	ESTUDIO DEL BROMO Y DE OTROS ELEMENTOS QUIMICOS .....	5
1.3.-	<u>ANTECEDENTES. INVESTIGACIONES ENTRE 1979 Y 1983</u> .....	7
1.3.1.-	SINTESIS DE LOS RESULTADOS PETROLOGICOS Y GEOQUIMICOS DE LA TESIS DOCTORAL DE L. ROSELL ORTIZ (Junio 1983) .....	7
1.3.1.1.-	<u>Litofacies y microestructura de las di- ferentes unidades</u> .....	7
1.3.1.2.-	<u>Geoquímica de la formación salina</u> .....	10
II.	TRABAJOS REALIZADOS EN LA CAMPAÑA ENTRE JUNIO Y DICIEMBRE DE 1983	
2.1.-	<u>LA GALERIA FN-86 DE LA ZONA DE UNDIANO</u> .....	16
2.1.1.-	EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS .....	16
2.1.2.-	OBSERVACIONES .....	32
2.1.2.1.-	<u>Contenido en bromo</u> .....	32
2.1.2.2.-	<u>Contenido y mineralogía de los sulfatos</u> .....	35
2.1.2.3.-	<u>Contenido en Sr, Ca, K, Mg y Li</u> .....	37
2.2.-	<u>EL BORDE W DE LA ZONA DE UNDIANO</u> .....	39
2.2.1.-	EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS .....	39
2.2.2.-	OBSERVACIONES .....	54
2.2.2.1.-	<u>Contenido en bromo</u> .....	54
2.2.2.2.-	<u>Contenido y mineralogía de los sulfatos</u> .....	57
2.2.2.3.-	<u>Contenido en Sr, Ca, K, Mg y Li</u> .....	60

2.3.- <u>ZONAS DE ESTERILIDAD CON PRESENCIA DE SAL TRANSFORMADA EN LA PLATAFORMA DE ESPARZA</u> .....	60
2.3.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS .....	60
2.3.2.- OBSERVACIONES .....	68
2.3.2.1.- <u>Contenido en bromo</u> .....	68
2.3.2.2.- <u>Contenido y mineralogía de los sulfatos</u> .....	68
2.3.2.3.- <u>Contenido en Sr, Ca, K, Mg y Li</u> .....	70
2.4.- <u>ZONA PROXIMA A LA FALLA DE ESPARZA</u> .....	72
2.4.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS .....	72
2.4.2.- OBSERVACIONES .....	72
2.5.- <u>SONDEO DE UTERGA</u> .....	74
2.5.1.- DESCRIPCION DE LOS TESTIGOS DE SAL .....	74
2.5.2.- OBSERVACIONES .....	77
III. DISCUSION DE LOS RESULTADOS	
3.1.- <u>LA EXPERIENCIA DE LA CUENCA POTASICA CATALANA</u> .....	79
3.1.1.- SINTESIS DE LOS RESULTADOS PETROLOGICOS Y GEOQUIMICOS DE LA TESIS DOCTORAL DE J.J. PUEYO MUR (Mayo 1975) .....	79
3.1.2.- SINTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DE ESTUDIOS DE ALGUNOS SONDEOS DEL MARGEN DE LA CUENCA (Diciembre 1983) .....	86
IV. CONCLUSIONES	
4.1.- <u>COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS DE LAS CUENCAS POTASICAS CATALANA Y NAVARRA</u> .....	89
4.2.- <u>CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO EN LAS DIFERENTES ZONAS DE LA MINA DE POTASAS DE NAVARRA</u> .....	92
4.3.- <u>SUGERENCIAS SOBRE UN CONTROL PETROGRAFICO Y GEOQUIMICO EN FUTURAS LABORES MINERAS DEL YACIMIENTO POTASICO</u> .....	98
V. BIBLIOGRAFIA CITADA .....	101

I. INTRODUCCION

### 1.1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

Con ocasión de la preparación de la tesis doctoral de doña Laura Rosell Ortiz en el Departamento de Petrología y Geoquímica de la Facultad de Geología de la Universidad de Barcelona, sobre la formación potásica del Eoceno superior marino de Pamplona, el equipo firmante de la presente Memoria realizó entre Diciembre de 1978 y Diciembre de 1982 diferentes visitas, muestreos y estudios en la mina de Beriain de POTASAS DE NAVARRA, S.A., todo ello siempre por iniciativa e interés científico propio, y con el beneplácito de la Empresa.

El objetivo primero de tales trabajos era el obtener un conocimiento petrológico, mineralógico y geoquímico general del yacimiento, que completara nuestra visión sedimentológica y petrogenética de esta formación salina potásica. Se partía de una estratigrafía muy bien establecida por las labores mineras y por las antiguas campañas de sondeos mecánicos realizados por ADARO, S.A. El objetivo último era comprender mejor el funcionamiento evaporítico de toda la cuenca surpirenaica durante el Eoceno superior, entre la cubeta de Pamplona y las explotaciones en la cuenca catalana.

En Junio de 1983, una vez cubierta esta fase, fue posible el iniciar una nueva etapa de investigaciones, esta vez a instancias de la E.N. ADARO, S.A. Los trabajos ahora realizados han estado más orientados a problemas de explotación y en concreto al de la esterilidad que aparece a lo largo de la galería FN-86, de la zona de Undiano. La cuestión básica en esta galería es saber si su pérdida de capas potásicas es debida a una no deposición original, es decir a una causa "primaria", o bien es debida a una disolución posterior, ya sea temprana o quizá tardía en la historia del yacimiento, pero en definitiva a una causa "secundaria".

En previsión de que la investigación petrológica y geoquímica a realizar en dicha galería no proporcionara en sí misma unos resultados totalmente suficientes o bien de interpreta-

ción inequívoca, se proyectó una investigación más general de los diferentes tipos de esterilidades presentes en la mina, como son:

- a) por disolución o estiramiento, en la zona W de Undiano, donde existe un pliegue asociado.
- b) por una amplia disolución en relación con zonas de desarrollo de silvinita "transformada" en la plataforma de Esparza, pero sin ninguna causa concreta bien establecida para ello.
- c) por disolución o estiramiento local, a lo largo de una fractura de primer orden, como la falla de Esparza.

En la fase final del presente estudio ha sido posible el muestreo de testigos del sondeo de Uterga, de POTASAS DE NAVARRA, S.A., del que ofrecemos igualmente algunos resultados analíticos.

Así pues, el objetivo principal de la investigación que a continuación expondremos, ha pasado a ser el de caracterizar cada una de las zonas estériles de la mina mediante criterios petrológicos, mineralógicos y geoquímicos, con la intención de que ello oriente sobre problemas que pudieran presentarse en un futuro. Dichos criterios son además de fácil aplicación a medida que progresan las labores mineras.

Dada la gran similitud de las formaciones potásicas de Navarra y Cataluña, nos ha parecido interesante el presentar aquí con fines comparativos lo esencial de nuestra experiencia en esta última, tanto en sus generalidades como en el aspecto concreto de las características que ofrece su borde deposicional en una zona donde prácticamente faltan ya los niveles potásicos. A tal fin incluimos el extracto de los resultados de una investigación reciente sobre muestras de varios sondeos.

La posición de las zonas estudiadas en la presente investigación se indica en la fig. 0.

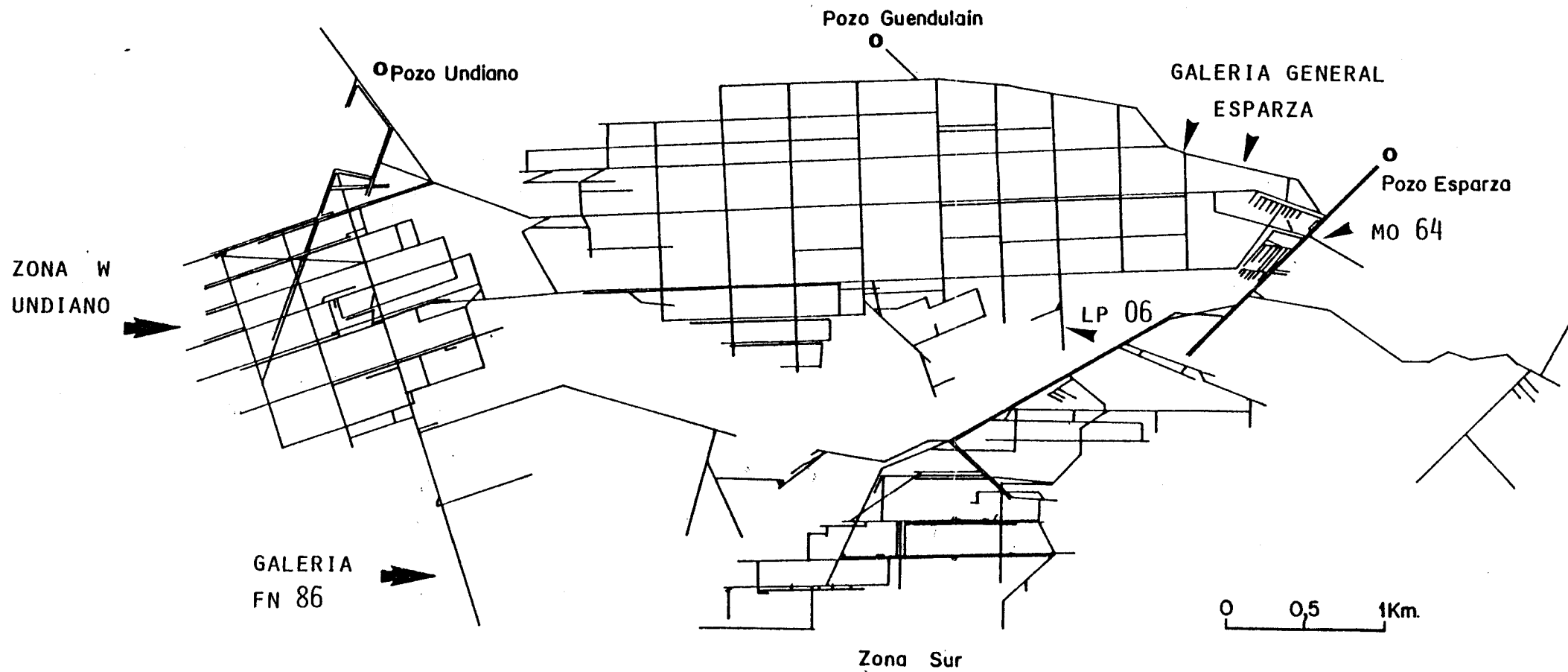


FIG. 0



## 1.2.- METODOLOGIA DE TRABAJO

### 1.2.1.- TRABAJOS DE MINA Y DE LABORATORIO. ESTUDIO PETROGRAFICO Y MINERALOGICO

El trabajo realizado en mina ha consistido, por lo general, en el muestreo de columnas estratigráficas de sal de muro sobre los hastiales de las galerías, y en ocasiones también de la silvinita, de la "caja" del paquete de silvinita o bien de las sales de techo. Para cada columna estudiada la "potencia muestreada" significa que se han tomado bloques seriados de roca que recomponen el grosor de la formación salina prácticamente en su integridad para dicha potencia. Cada uno de estos bloques seriados es una "muestra", cuyo peso promedio oscila entre 2,5 y 3,0 Kg.

Se han tomado en la mina un total de 186 muestras repartidas en 24 columnas y que cubren una potencia total muestreada de 33,30 m, principalmente de sal de muro. Algunas pocas muestras han sido tomadas sueltas, independientemente de las columnas.

En el laboratorio se han cortado las muestras con una sierra mecánica, obteniéndose dos lajas de la parte más central de las mismas. Una laja se ha destinado a archivo y la otra a obtención de análisis y láminas petrográficas. Tanto de las columnas de mina como de las lajas cortadas, así como de las preparaciones petrológicas, se han realizado algunas fotografías para archivo, y que no incluimos en la presente Memoria para no alargarla innecesariamente. Las descripciones petrográficas se han hecho sobre las lajas y han sido completadas con las anotaciones de mina y con el estudio petrográfico de las láminas delgadas.

Sobre las muestras de cada columna el número de preparaciones petrográficas y de análisis químicos realizados es muy variable, tal como puede verse en las tablas 2, 5 y 8. Se ha obtenido un total de 100 preparaciones (o láminas) y un número próximo a 300 análisis químicos, que implican un total cercano a 1.800 determinaciones elementales cuantitativas. El

interés del estudio de cada uno de los seis elementos determinados en cada análisis se justifica en el siguiente apartado.

Para la obtención de los análisis químicos se han separado pequeñas cantidades de roca salina directamente de la laja destinada a tal efecto, y se han molturado. De estas molturaciones y de un modo selectivo se han realizado 42 difracciones de Rayos X. El objetivo principal de estas difracciones ha sido la identificación de los minerales sulfatados que acompañan a la sal, además de la de otros posibles minerales accesorios presentes en muy pequeñas cantidades, como los carbonatos y el cuarzo. No se han identificado las especies arcillosas.

Los análisis químicos realizados han permitido el cálculo de la proporción de sulfatos (anhidrita y/o polihalita) presentes en las muestras de roca salina, como información complementaria.

#### 1.2.2.- ESTUDIO DEL BROMO Y DE OTROS ELEMENTOS QUÍMICOS

El estudio geoquímico de las rocas salinas es un aspecto fundamental en la investigación de este tipo de rocas ya que proporciona una información básica acerca de su formación, así como de los procesos que las han afectado durante su evolución diagenética y geológica.

De acuerdo con el objetivo del presente trabajo, se han analizado los elementos siguientes: bromo (Br), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), estroncio (Sr) y litio (Li). La determinación de Br se ha realizado mediante espectrometría de fluorescencia de rayos X. La determinación de K y Li se ha efectuado por fotometría de llama, y la de Ca, Mg y Sr, mediante espectrofotometría de absorción atómica.

a) Bromo: el bromo se encuentra en forma de solución sólida en la red cristalina de los minerales clorurados reemplazando al cloro. El contenido en bromo de cada cloruro está en función del contenido en este elemento de la salmuera a partir de la cual se ha producido la precipitación, de modo que al ir aumen-

tando la proporción de bromo en la salmuera, a medida que progresa la evaporación, también aumentará el contenido en este elemento en el mineral clorurado que está cristalizando. Así, por ejemplo, el contenido en bromo que presenta la halita cuando empieza a cristalizar a partir del agua marina está alrededor de 75 ppm, mientras que la halita que cristaliza paragenéticamente con la silvita tiene ya un contenido entre 200 y 250 ppm (VALYASHKO, 1956; HOLSER et al., 1968). En este sentido, es evidente la utilidad de este elemento en la prospección de depósitos potásicos.

Los procesos de recristalización y deformación que afectan a las rocas salinas pueden alterar el contenido original en bromo si se producen en presencia de salmueras cuyo contenido en este elemento sea distinto del de la salmuera primitiva.

b) Potasio: en las halitas, este elemento puede estar relacionado con algunos sulfatos (polihalita) y posiblemente también con inclusiones de salmuera residual. El contenido aumenta mucho en las halitas intercaladas entre facies potásicas de silvinita.

c) Calcio: este elemento está ligado esencialmente a los sulfatos (anhidrita, polihalita).

d) Magnesio: en las halitas de muro este elemento tiene una distribución similar al potasio. Estaría también relacionado con sulfatos (polihalita) y asociado a inclusiones de salmuera residual.

e) Estroncio: este elemento se halla sobre todo en los sulfatos cálcicos reemplazando al calcio, y puede encontrarse también, en menor proporción, en los cloruros, especialmente en la halita, reemplazando al sodio. Este elemento se enriquece considerablemente en las zonas estériles por retrometamorfismo (PUEYO MUR, 1975b) y, conjuntamente con el calcio es un indicador de salmueras sulfatadas. Se ha detectado en el ciclo Stassfurt del Zechstein alemán una variación paleogeográfica

de este elemento, de modo que su contenido aumenta desde el centro de cuenca hacia zonas marginales (BRAITSCH, 1971).

f) Litio: parece que este elemento se halla ligado esencialmente al material arcilloso. Su comportamiento geoquímico es análogo al del magnesio, y existe una acusada correlación positiva Li-Mg en ambientes salinos (STEWART, 1963; RONOY et al. 1970).

### 1.3.- ANTECEDENTES. INVESTIGACIONES ENTRE 1979 - 1983

#### 1.3.1.- SINTESIS DE LOS RESULTADOS PETROLOGICOS Y GEOQUIMICOS DE LA TESIS DOCTORAL DE LAURA ROSELL ORTIZ (Junio de 1983)

La formación salina de la cuenca potásica de Navarra constituye un macrociclo evaporítico que incluye, de base a techo, las unidades siguientes: a) una unidad basal anhidrítica, b) una unidad halítica (sal de muro), c) una unidad potásico-magnésica constituida por ciclos de silvita-halita en la parte inferior y ciclos de carnalita-halita en la parte superior, separados por un tramo halítico intermedio (sales intermedias), d) una unidad de halita y lutitas alternantes (sales de techo), y e) una unidad de lutitas versicolores (margas fajeadas) con niveles de anhidrita. La potencia promedio del conjunto es de 150 m.

#### 1.3.1.1.- Litofacies y microestructura de las diferentes unidades

Sal de muro: la sal de muro tiene una potencia promedio de 10 m y presenta litofacies bandeadas, con alternancia de bandas grises y bandas rosadas o blancas. El grosor de las bandas es de orden centimétrico: de 2 a 10 cm aproximadamente. No se distinguen horizontes (diastemas) arcillosos ya que no se presentan bien individualizados. Las bandas grises están constituidas predominantemente por grandes cristales de tipo tolva o "hopper" (restos de cristales primarios con ca-

ras deprimidas, que presentan numerosas inclusiones fluidas que confieren una opacidad blanca al cristal), con fragmentos arcillosos dispersos. Las bandas de color claro, rosadas o blancas, estan constituidas por cristales de tipo tolva, de tamaño menor que los anteriores, y por cristales de halita transparente. Se diferencian estas últimas de las anteriores bandas grises, por la falta de fragmentos arcillosos. El tamaño de grano se situa, en la mayoría de los casos, entre 1 y 3 mm, aunque las tolvas de mayor tamaño suelen alcanzar de 7 a 10 mm.

Cabe destacar que la parte más superior del paquete de sal de muro, próxima ya al contacto con el tramo de silvinita, presenta características algo distintas a las descritas: los diastemas arcillosos son mucho más patentes, y el aspecto de la halita es más parecido al de las halitas intercaladas en el tramo silvinítico que al del resto de la sal de muro.

Por lo que respecta a la microestructura de la sal de muro, está constituida esencialmente por un mosaico de grandes cristales de contornos irregulares, cuyo núcleo está formado por restos de tolvas con abundantes inclusiones, mientras que la parte externa es de halita transparente sin inclusiones. Estos cristales mixtos pueden asociarse a otros, generalmente más pequeños, de halita transparente, los cuales pueden llegar a formar niveles bien definidos. Los dos minerales sulfatados que se presentan en la sal de muro son anhidrita y polihalita, con un ligero predominio de este último.

Silvinita: el paquete de silvinita tiene una potencia promedio de 2 m, y está integrado por 18 capas de silvinita, algunas con más de un término de silvinita, separadas por niveles halíticos intermedios. El aspecto macroscópico de los niveles de silvinita no es homogéneo, sino que presentan una serie de variaciones relacionadas esencialmente con el color y el tamaño de grano. Las capas inferiores del paquete suelen ser de grano muy grueso y coloración rosada, mientras que el resto de capas son en general de grano más fino y coloración más rojiza. En las capas de silvinita, la secuencia ideal estaría

formada por la sucesión de los siguientes términos: fracción arcillosa y sulfatos, halita, silvita o silvita-halita, halita, fracción arcillosa y sulfatos. Esta sucesión se observa, por ejemplo, en las capas 10 y 11, sin embargo pueden presentarse muchas variaciones.

Las bandas silvíticas de las capas de silvinita se caracterizan por un carácter monomineral generalmente muy acusado y un tono rojizo. Es muy frecuente la presencia de granoclasificación en estas bandas (generalmente con los tamaños mayores en posición central), a veces observable a simple vista (capa 16, por ejemplo). Los cristales de silvita presentan casi siempre contornos irregulares, y generalmente están deformados por esquistosidad.

Las capas de halita intercaladas entre las capas de silvinita forman niveles de 2 a 12 cm, separados por diastemas arcillosos más o menos gruesos. Estos niveles halíticos suelen mostrar coloración rosada y tienen tamaño de grano fino. Por lo que respecta a la microestructura predomina aquí la halita transparente, aunque pueden presentarse acumulaciones excepcionales de cristales de tipo tolva, generalmente asociadas a niveles arcillosos. Aunque no es muy marcada, puede observarse una cierta granoclasificación en estos niveles. También en estas halitas se presentan anhidrita y polihalita como minerales sulfatados.

Carnalita: el paquete de carnalita está constituido por 8 capas de carnalita, separadas por niveles de halita y lunitas, con una potencia global promedio de 12 m. Localmente pueden faltar algunas de las capas por estiramiento del paquete. La carnalita presenta generalmente litofacies brechoides y masivas, y, más raramente, nodulares o bandeadas.

Las capas de halita intercaladas constituyen niveles de 1 a 5 cm, separados por diastemas arcillosos. Presenta también esta halita las dos variedades petrográficas ya citadas: halita transparente y tolvas, que aquí constituyen diferentes tipos de ciclos muy bien definidos.

La anhidrita es el único sulfato que se ha detectado en este tramo carnalítico, y se presentan también cristales de dolomita.

Silvinita transformada: las capas inferiores del paquete de carnalita se presentan con frecuencia transformadas a silvinita, pudiendo afectar el proceso, en algunas ocasiones, a todo el paquete. Esta unidad constituye lentejones más o menos aislados, asociados a zonas de disolución de la silvinita o de todo el paquete potásico. Está constituida esta variedad de silvinita, muy rica en K<sub>2</sub>O, por grandes cristales tanto rojos, de composición silvítica, como transparentes, de silvita o halita. En algunas zonas de la mina (Zona de Cámaras), los ciclos de silvinita transformada han preservado la disposición de los ciclos de carnalita-halita originales.

Sales de techo: Esta unidad, constituida por la alternancia de halita y lutitas, con niveles anhidríticos asociados, se halla por encima del paquete de carnalita. Tiene una potencia promedio de 50 a 75 m. La halita forma capas de 1 a 10 cm, separadas por niveles arcillosos laminados. El tamaño de grano de la halita aumenta hacia la parte superior de la unidad. Los niveles halíticos presentan ciclos similares a los que muestran las halitas intercaladas en la unidad de carnalita. La alternancia de bandas de halita transparente y bandas de tolvas confiere a la roca un aspecto bandeado.

#### 1.3.1.2.- Geoquímica de la formación salina

Se han analizado los elementos mayoritarios: sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y calcio (Ca), y los minoritarios: litio (Li), hierro (Fe), estroncio (Sr), rubidio (Rb) y bromo (Br). Sus valores promedio se indican en la tabla 1.

Elementos mayoritarios: el calcio no supera, en general, el 2% en las muestras analizadas excepto en las sales de techo donde algunas alcanzan un máximo de 5%. Procede fundamentalmente este elemento de la anhidrita (y también de la polihalita), que puede ser muy abundante en las sales de techo. También la

dolomita, que puede ser bastante abundante en esta unidad, puede contribuir a los elevados valores en Ca.

El K y el Mg presentan una buena correlación en la sal de muro, donde se hallan asociados en la polihalita y también, posiblemente, en inclusiones de salmuera residual. El contenido en Mg es algo más elevado en las halitas intercaladas entre carnalita y en las sales de techo que en el resto, debido quizá a la presencia de dolomita, y a la presencia de una pequeña proporción de carnalita en las primeras. Las halitas que presentan mayor contenido en K son las intercaladas en la unidad de silvinita.

Bromo: la sal de muro presenta un contenido promedio de 195 ppm, bastante alto en comparación con los valores obtenidos por PUEYO MUR (1975) en la cuenca potásica catalana (127 ppm). Se observa, por otra parte un claro incremento desde las muestras más bajas de la unidad analizadas (170-180 ppm) hasta las más próximas (220-230 ppm) al paquete de silvinita. El resto de halitas, incluidas las sales de techo, presentan contenidos más elevados, correspondientes a un estadio superior de concentración. En la silvinita el contenido en bromo oscila entre 2500 y 2900 ppm, y en la carnalita entre 3700 y 4300 ppm (ver figs. 1 y 2).

Rubidio: este elemento se halla en solución sólida en los minerales potásicos, especialmente en la carnalita, reemplazando al K. Los valores promedio son algo superiores a 100 ppm en la carnalita, mientras que en la silvinita no alcanzan las 5 ppm y en la silvinita transformada están por debajo de 3 ppm.

Hierro: este elemento se halla: a) en los silicatos de la fracción lutítica, b) en forma de hematites y goethita en carnalitas y silvinitas, c) en las halitas de la zona potásica, d) en las dolomitas asociadas a las sales de techo. Las sales de muro son las que presentan contenidos más bajos, mientras que las halitas de la zona potásica presentan valores elevados. Carnalitas y silvinitas presentan valores similares.



Fig. 1

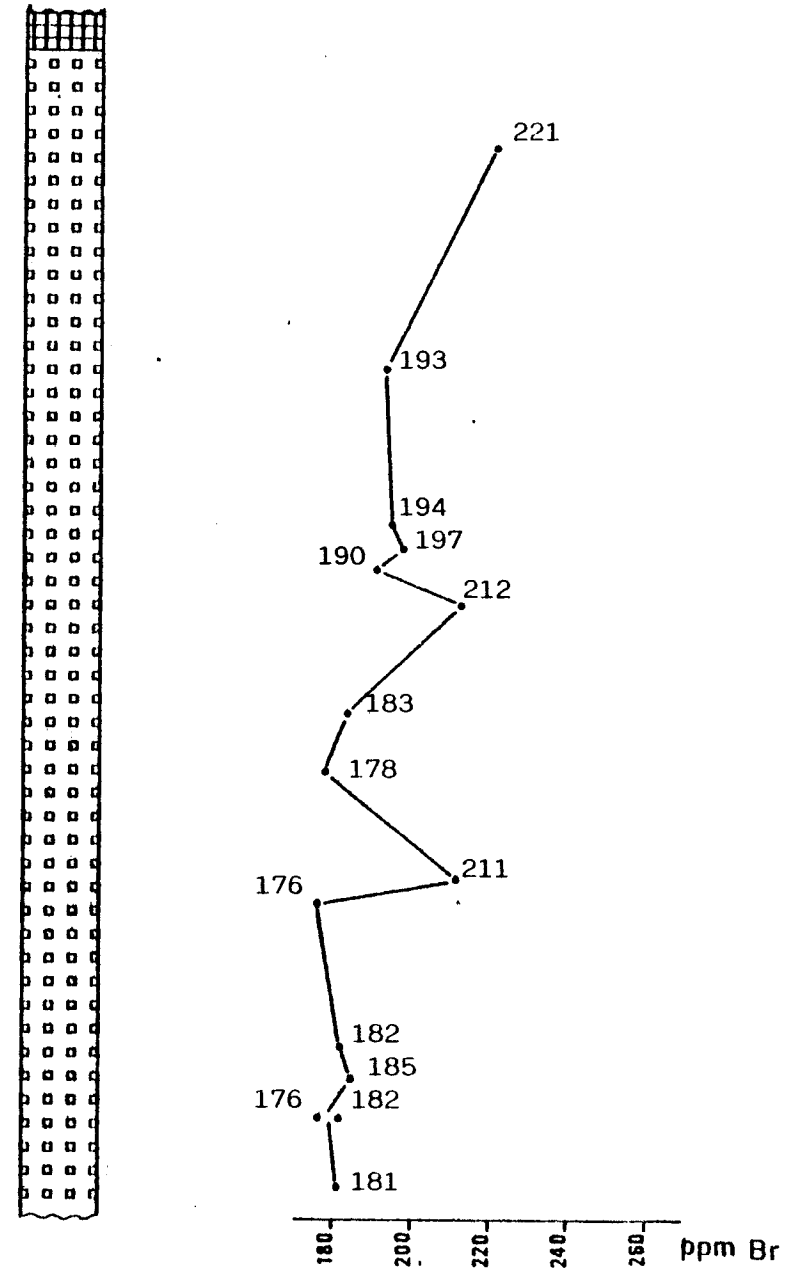
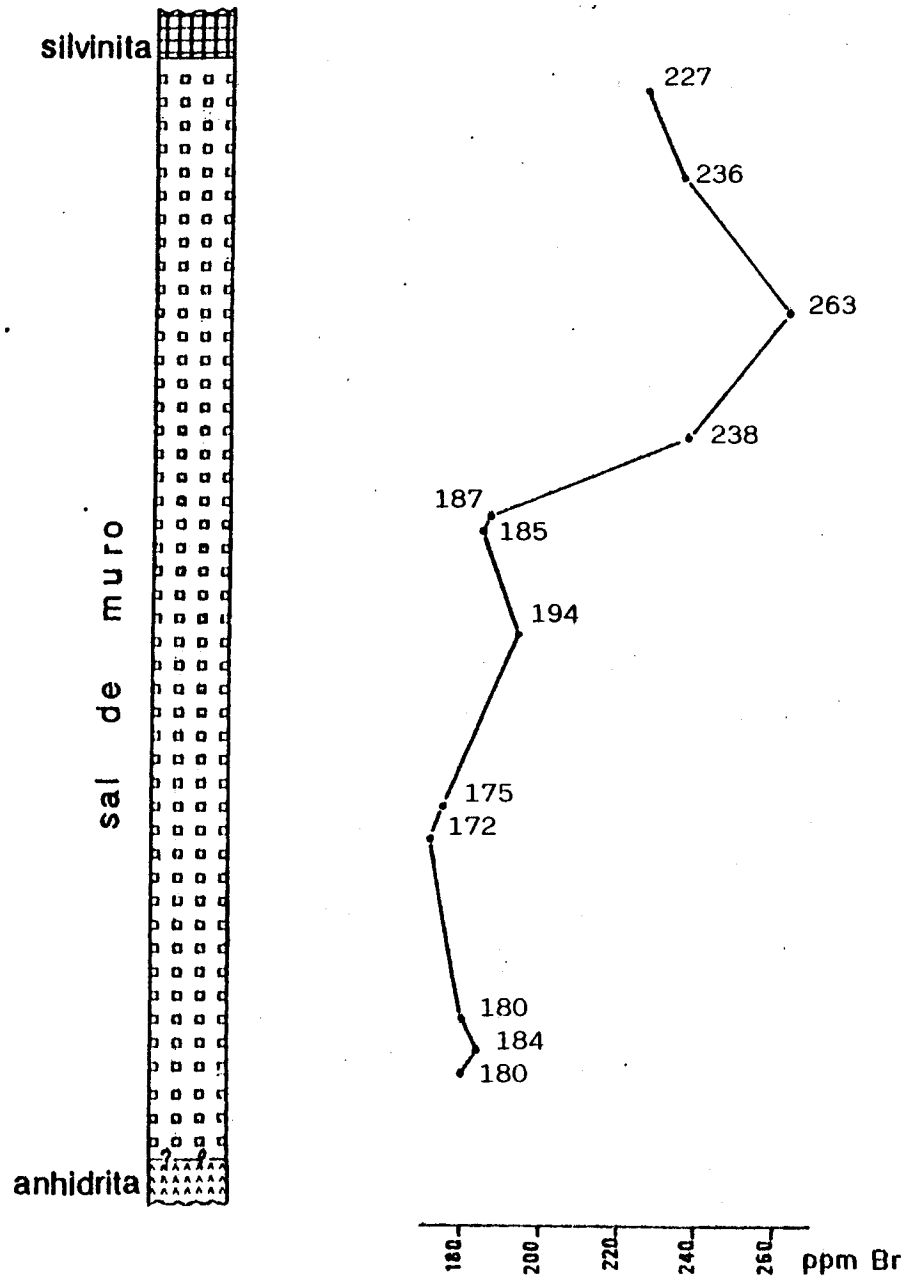
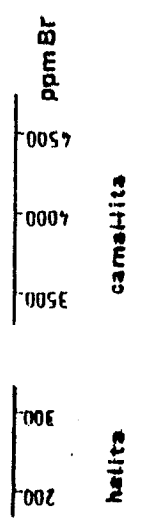
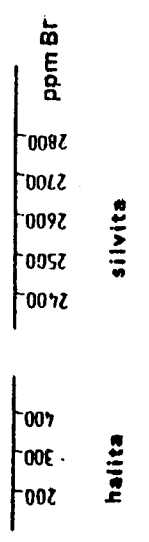
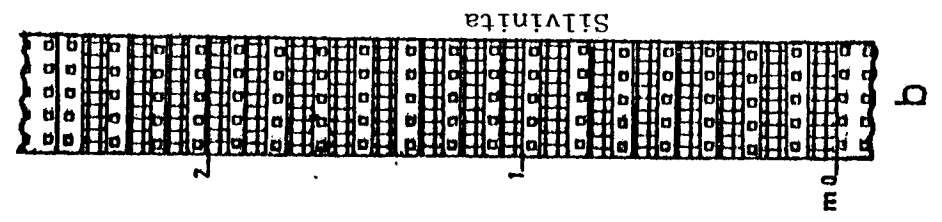
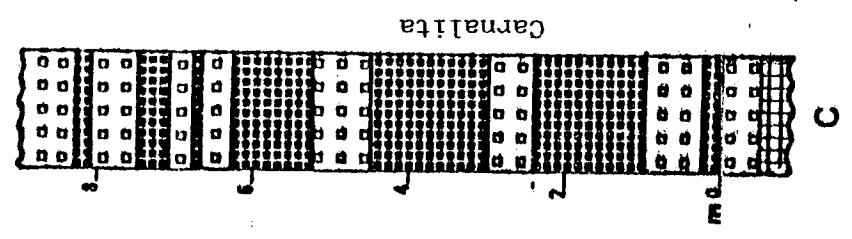
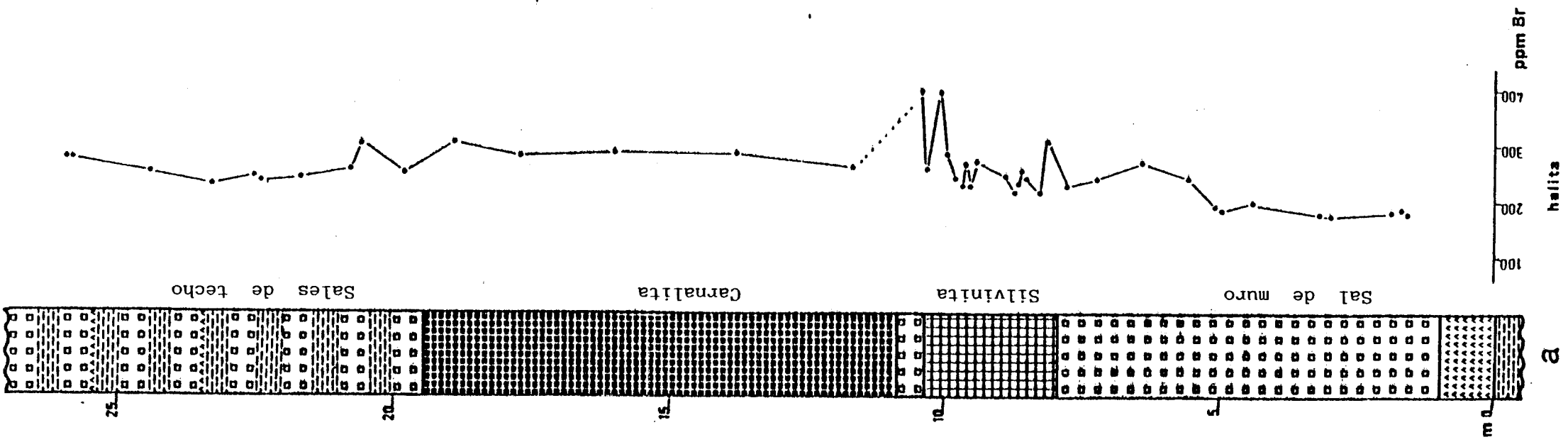


Fig. 2



MEDIANAS Y DESVIACIONES TÍPICAS

		<u>Ca</u>		<u>Mg</u>		<u>K</u>		<u>Na</u>	
		$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$
Halita de muro	27	9021,3	3865,0	2642,5	1755,2	4241,2	2564,6		
Halita entre silvinita	16	8903,0	3791,3	4895,5	2803,0	12288,7	9076,3		
Halita entre carnalita	5	18995,8	4843,4	3541,8	641,0	877,0	276,7		
Halita de techo	13	26864,3	9558,6	5651,7	4253,7	271,6	165,6		
Silvinita	26	6748,4	4614,8	2018,7	1361,9			111226,6	57686,2
Silvinita transformada	7	17663,8	2597,8	4084,2	1428,2			159610,4	47941,2
Carnalita	17	13162,2	4921,7	62819,3	8026,8	117270,1	25397,9	80795,7	38605,6

		<u>Li*</u>		<u>Rb</u>		<u>Sr</u>		<u>Fe</u>		<u>Br</u>	
		$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$	$\bar{x}$	$\sigma_n$
Halita de muro	27	846,1	653,0	-		238,6	118,0	152,7	154,3	195,6	22,6
Halita entre silvinita	16	1317,3	944,8	-		110,0	45,8	678,6	425,5	266,0	53,8
Halita entre carnalita	5	974,6	148,5	-		49,8	8,6	605,8	144,8	279,4	14,2
Halita de techo	13	1029,9	354,3	-		76,3	32,1	1197,3	800,6	250,0	19,0
silvinita	26	631,1	480,1	4561,6*	2832,1	56,7	30,8	382,9	275,3	1967,6	297,1
Silvinita transformada	7	1932,5	702,3	2761,1*	1232,6	51,1	10,1	677,4	178,2	738,2	151,2
Carnalita	17	1265,6	747,5	111,1	82,9	75,2	35,0	490,6	315,5	2885,9	345,6

\* datos en ppb, el resto en ppm

- por debajo del límite de detección

en blanco, no se ha analizado

TABLA 1.

Estroncio: la relación Sr/Ca varia en las diferentes halitas, pudiéndose distinguir tres campos: el de las halitas de muro, con contenidos máximos en Sr.; el de las halitas entre silvinita, en posición intermedia, y el de las halitas entre carnalita y de techo, con contenidos elevados en Ca.

Litio: este elemento, asociado sobre todo a la fase arcillosa, presenta en las muestras analizadas muy buena correlación con el Mg (excepto en la carnalita y en la silvinita transformada). Los valores promedio obtenidos están comprendidos entre 600 y 2000 ppb.

II. TRABAJOS REALIZADOS EN LA CAMPAÑA  
ENTRE JUNIO Y DICIEMBRE DE 1983

## 2.1.- LA GALERIA FN-86 DE LA ZONA DE UNDIANO

### 2.1.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS

Gran parte del trabajo realizado en la campaña de Junio a Diciembre de 1983 ha sido dedicado a esta galería. En ella se ha muestreado 12 columnas con un total de 105 muestras litológicas, que representan una potencia global de la formación salina de unos 20 metros. La tabla 2 ofrece los detalles de esta investigación.

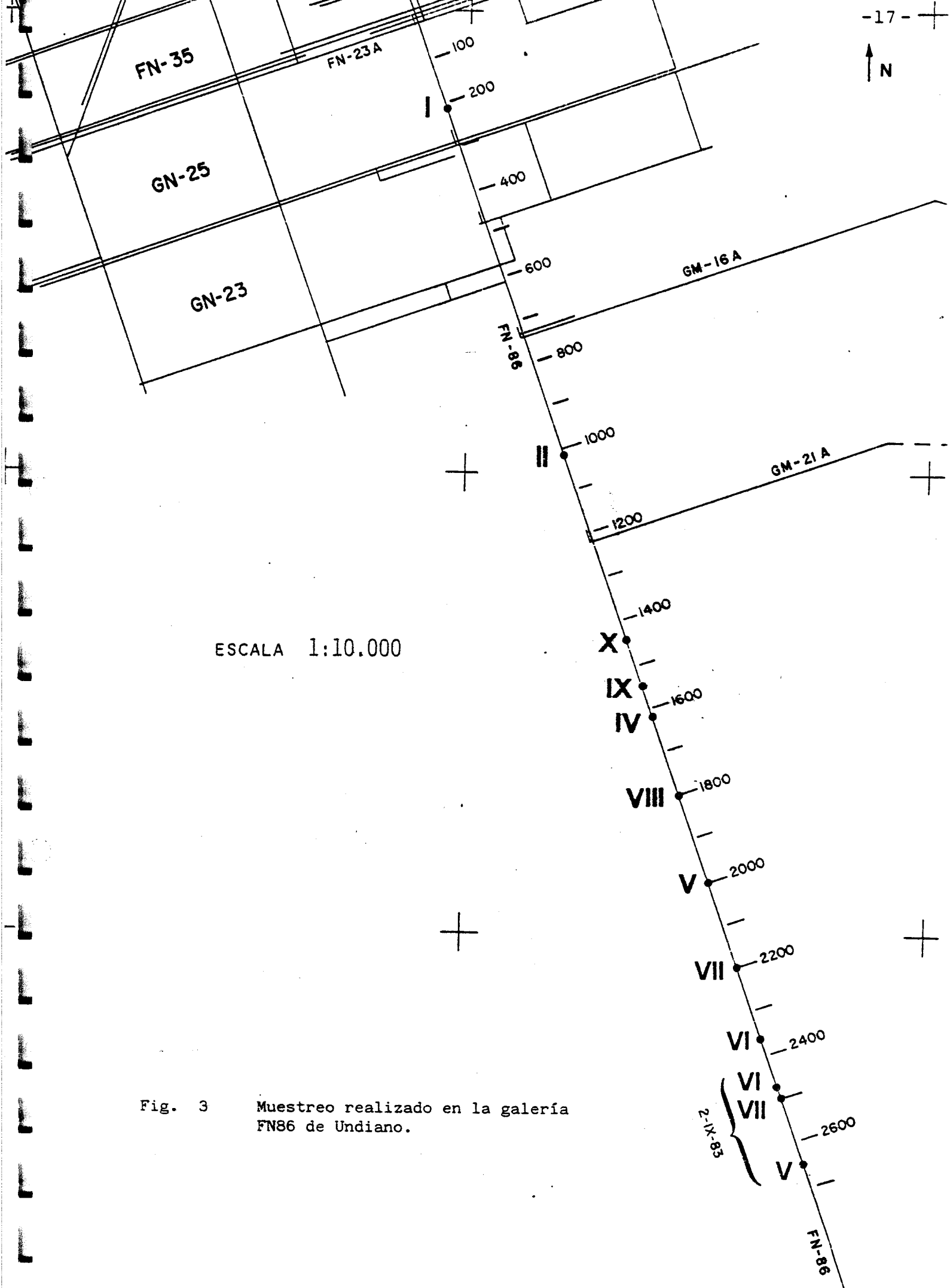
Desgraciadamente las muestras correspondientes a las tres últimas columnas muestreadas (cols. V, VI y VII del 2-9-1983), todas ellas de potencias muy reducidas, no han podido ser recuperadas, por lo que únicamente disponemos de su descripción de mina.

Se ha realizado un total de 174 análisis de bromo y otros 171 análisis de los cinco elementos Ca, K, Mg, Sr y Li sobre las muestras de las nueve columnas estudiadas, así como 70 preparaciones petrográficas. Las figuras 4 a 12 presentan los resultados para cada columna.

Sobre la fig. 3 se representa la posición de las columnas muestreadas a lo largo de la galería.

Por el hecho de estar levantados en los mismos hastiales de la galería, los tramos muestreados no corresponden siempre a un mismo horizonte estratigráfico preciso, sino que van siguiendo las vicisitudes del trazado de aquella. Ello implica una cierta limitación en la interpretación de los resultados, al no estar comparando análisis de una misma "capa" de sal de muro, sino de un intervalo más amplio de esta unidad salina. Sin embargo, este hecho no es una dificultad insalvable ya que disponemos de un conocimiento adecuado de cuál puede ser la variación en la vertical del contenido en bromo de la sal de muro (fig. 1).

Iniciando (figs. 4 y 14) el recorrido por esta galería (col. I) el paquete de silvinita es normal hasta acercarnos



ESCALA 1:10.000

Fig. 3 Muestreo realizado en la galería FN86 de Undiano.

'FECHA MUESTREO	'POSICION EN LA GALERIA (distancia respecto a la FN 23 A	'COLUMNA (nº)	'POTENCIA (metros)	'MUESTRAS LITOLÓGICAS	'ANÁLISIS GEOQUÍMICOS	'PREPARACIONES PETROGRÁFICAS	'DIFRACCIÓN DE RAYOS X
23-6-83	-39 m de P.T. 11 (Km 0,215)	I	2,50	9	20	8	2
23-6-83	-5 m de P.T. 69 (Km 1,019)	II	2,45	9	17	8	3
23-6-83	-5 m de P.T. 103 (Km 1,619)	IV	1,94	13	20	8	2
23-6-83	(Km 2,000)	V	1,93	7	15	8	2
23-6-83	P.T. 140 (Km 2,365)	VI	1,93	10	19	8	2
24-6-83	+3 m de P.T. 130 (Km 2,200)	VII	2,86	18	31	9	7
24-6-83	(Km 1,800)	VIII	1,615	8	15	8	3
24-6-83	frente cabecera 285 (Km 1,550) aprox.	IX	1,485	11	21	7	2
24-6-83	+6 m P.T. 95 (Km 1,445)	X	0,945	8	13	6	2
2-9-83	P.T. 158 (Km 2,648)	V	0,55	3	--	-	-
2-9-83	+27,5 m de P.T.145 (Km 2,475)	VI	0,87	5	--	-	-
2-9-83	+10,25 m P.T.147 (Km 2,497)	VII	0,64	4	--	-	-
TOTALES		12	19,715	105	171	70	25

TABLA 2.- Trabajos realizados con las muestras de la galería FN-86 (Undiano)



al km 1,000 medido a partir de la galería FN23A. En el km 1,019 (col. II) la potencia del paquete se reduce a 0,7 m y en el km 1,540 (col. III, que no pudo ser muestreada, sino sólo medida) es sólo de 0,5 m, existiendo ya una "caja" del paquete silvinítico bien definida, en la que se han perdido bastantes capas de silvinita. En el km 1,619 (col. IV) tanto el paquete de silvinita como su "caja" se han perdido y sobre la sal de muro se dispone directamente carnalita brechoide, en aparente discordancia. En el km 1,800 (col. VIII) ha desaparecido incluso la carnalita. A partir de aquí en la galería FN 86 sólo se observa sal de muro (col. VII en el km 2,200; col. VI en el km 2,360, y col. VII del 2-9-83 en el km 2,497) más o menos típica y los sondeos de avance indican que sobre ella vienen directamente las sales de techo. Poco antes del km 2,500, aproximadamente, reaparece localmente una sal de muro con apariencia de "caja" (col. VI del 2-9-83 en el km 2,475). A partir del km. 2,600 aproximadamente, la galería está abierta en sales de techo (col. V del 2-9-83) debido a la existencia de pliegues en escalera que hundan el yacimiento hacia el S, seguramente como manifestación de la proximidad a la falla de Esparza.

Una característica estructural de la galería FN-86 es la existencia a lo largo de toda ella de pliegues intrafoliares, bastante apretados y con vergencia hacia el S, es decir "cayendo" en el mismo sentido que profundiza la galería, y de los cuales no siempre es fácil observar las charnelas. Otros accidentes importantes de la galería FN-86, a partir de su confluencia con la FN-23A, son las fallas de los kms 0,350; 1,000; 1,840; y 2,130, así como el pliegue en escalera del km 2,600 (frente de principios de Septiembre de 1983), ya citado.

Las descripciones petrográficas de las columnas son las siguientes:

Columna I: La sal presenta (fig. 4) un tono rosado y bandas de espesor entre 2 y 10 cms. En los tramos más arcillosos hay

crisales hopper de halita de hasta 1-2 cm, que en las muestras del centro de la columna desarrollan morfologías en chevrons. En las bandas de sal transparente el grano es fino y no se distinguen granoclasificación ni recristalización, en general. El sulfato se presenta ya sea laminado o bien de un modo difuso e irregular, destacando pequeños nódulos. Hacia el techo de la columna, próxima a la silvinita, la laminación en la sal se hace más perfecta y desaparecen los sulfatos nodulosos o lenticulares. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 7 y 15) domina la polihalita, aunque la anhidrita está también presente.

Columna II: La sal presenta (fig. 5) un tono gris claro y bandas entre 2 y 10 cm. Se intercala alguna banda de tono rosado. En los horizontes más arcillosos se conserva algún cristal hopper de halita, sin embargo no se observan diastemas bien definidas de insolubles. En las zonas más libres de arcilla la sal tiende a transparente y el tamaño cristalino es medio. El aspecto general de la sal es ligeramente esquistoso y quizá haya un cierto grado de recristalización. En los residuos insolubles estudiados por difracción de tres muestras (nº 22, 30 y 38) únicamente se presenta anhidrita.

Columna IV: La sal presenta (fig. 6) un tono algo rosado, más o menos marcado según las bandas. No hay estructuras de diastemas bien definidas ni laminaciones, sino bandas en las que aumenta la proporción de sulfatos, aunque de un modo muy difuso y resaltándose entonces el tono rosado. Las pequeñas concentraciones de sulfatos no superan a masas de pocos milímetros. No parece existir ni esquistosidad ni recristalización en la sal. Tampoco se presentan bandas bien desarrolladas de sal más transparente. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 47 y 57) el sulfato que se presenta es polihalita, faltando la anhidrita.

Columna V: La sal presenta (fig. 7) tonos grises y blancos y bandas entre 10 y 12 cm. Se intercala alguna banda de tono rosado hacia la parte inferior de la columna. En los horizontes

más ricos en arcilla no se distinguen cristales hopper de halita. Los sulfatos son difusos y en masas muy pequeñas, excepto en las bandas rosadas donde son más abundantes y las masas alcanzan 1 cm de longitud. En la sal no se aprecia esquistosidad ni recristalización. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 62 y 73) el único sulfato presente es anhidrita.

Columna VI: La sal presenta (fig. 8) tonos grises y bandas o ciclos de entre 2 y 8 cm. Existen en ellos alternancias grises y transparentes. Sobre las primeras hay arcillas, así como masas nodulosas de sulfatos de tono claro, y son escasos los cristales hopper de halita. El tamaño cristalino de grano es mediano, en general. Se presenta cierta esquistosidad en los cristales de sal. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 83 y 92) el único sulfato presente es la anhidrita.

Columna VII: La sal presenta (fig. 9) tonalidad bastante rosada aunque hay también bandas grises. Existe una alternancia de bandas más transparentes y menos transparentes, con ciclos de espesor entre 3 y 8 cm. Los cristales hopper de halita se presentan en ambos tipos de bandas, aunque preferentemente en las poco transparentes. El tamaño cristalino es mediano. Existen algunas zonas nodulosas de sulfato, de tonos rosados. En los residuos insolubles estudiados por difracción de siete muestras (nº 98, 103, 104, 111, 116, 120 y 125) el único sulfato presente es la polihalita.

Columna VIII: La sal presenta (fig. 10) tonos algo rosados, además de grises, y bandas o ciclos de algunos cm de potencia. El tamaño cristalino es mediano. Se presentan formas nodulosas y lenticulares de sulfatos de color rosado de hasta 2-3 cm, relativamente abundantes. La sal presenta una cierta esquistosidad. En los residuos estudiados por difracción de tres muestras (nº 129, 133, 137) el único sulfato presente es polihalita.

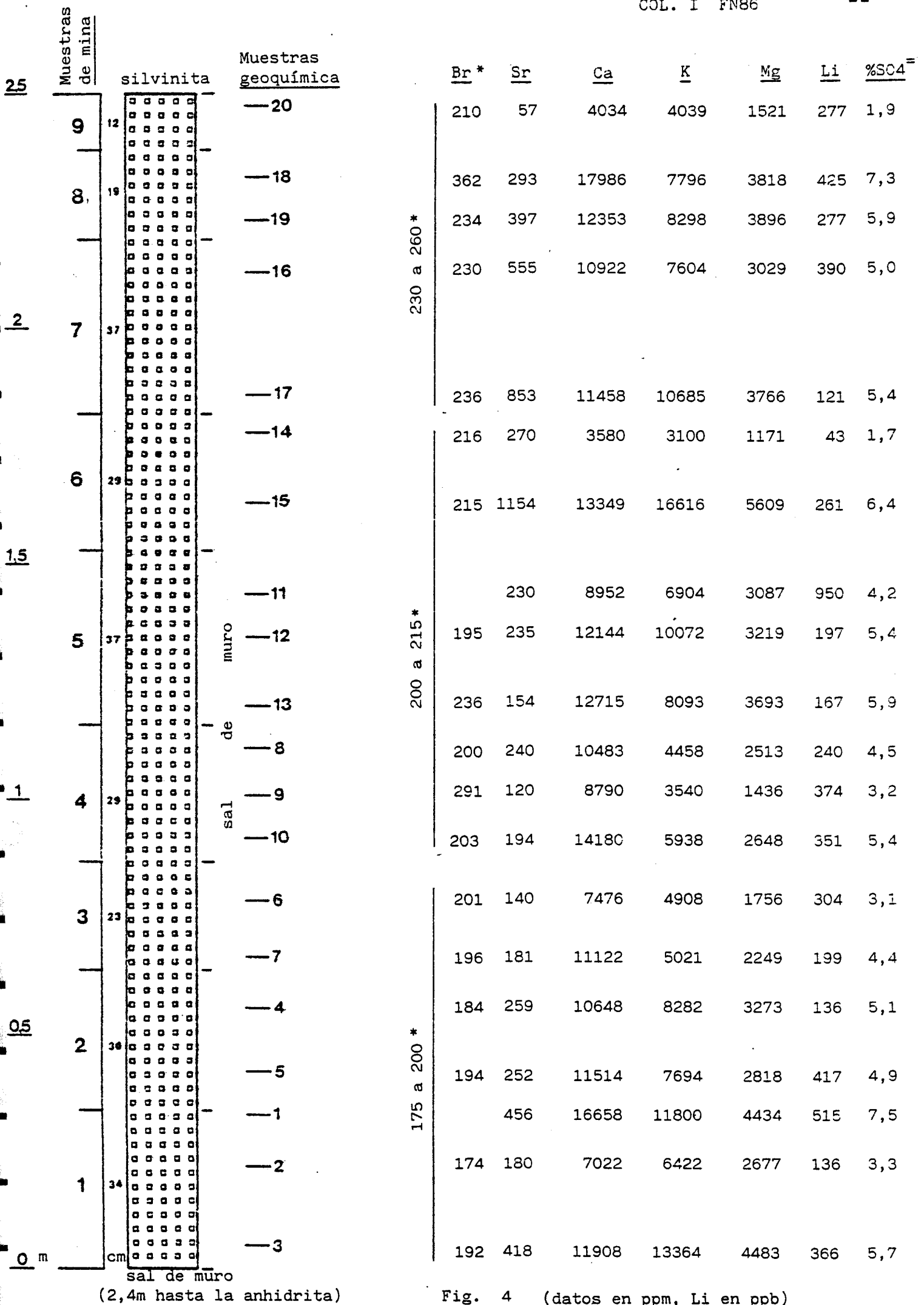


Fig. 4 (datos en ppm, Li en ppb)

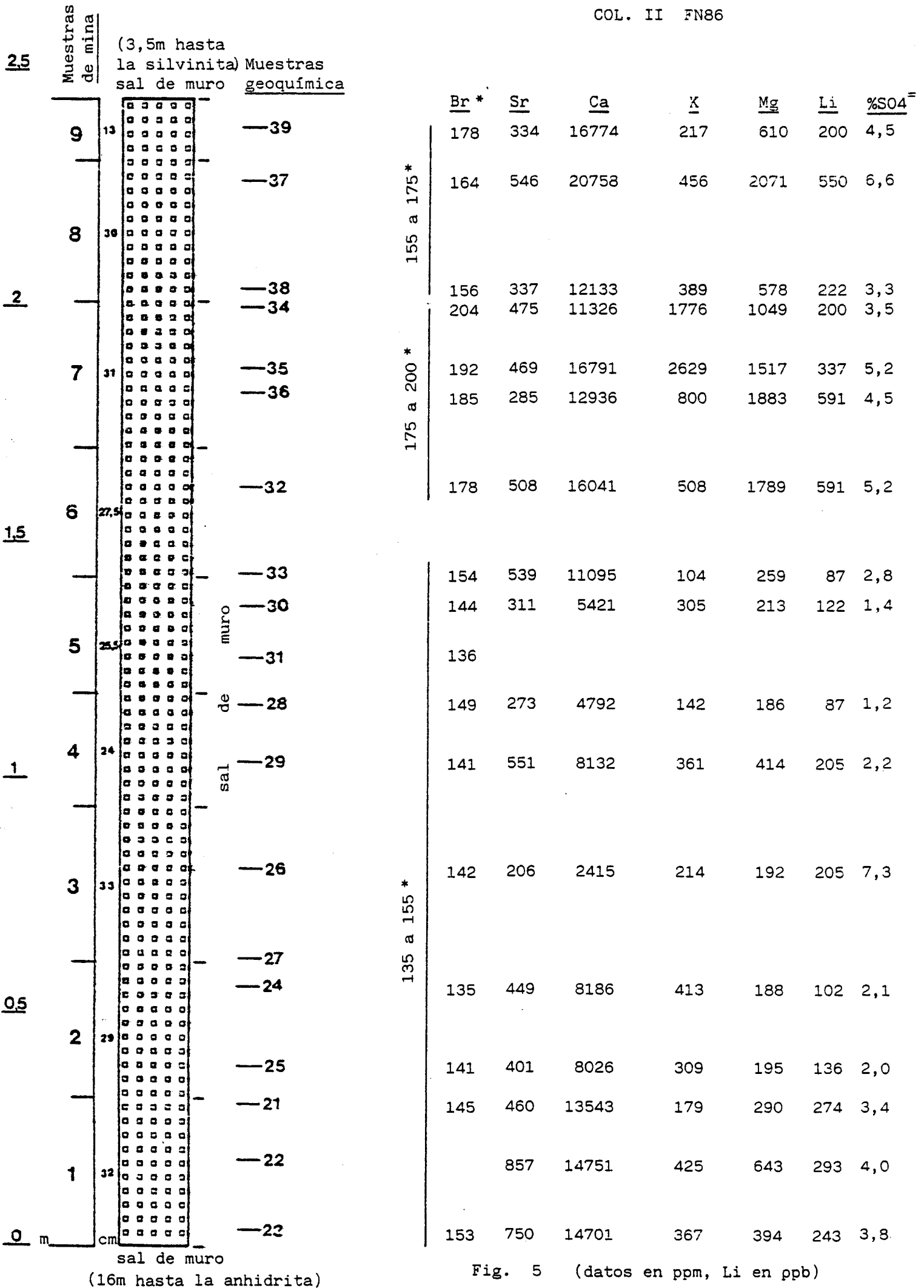


Fig. 5 (datos en ppm, Li en ppb)

COL. IV FN86

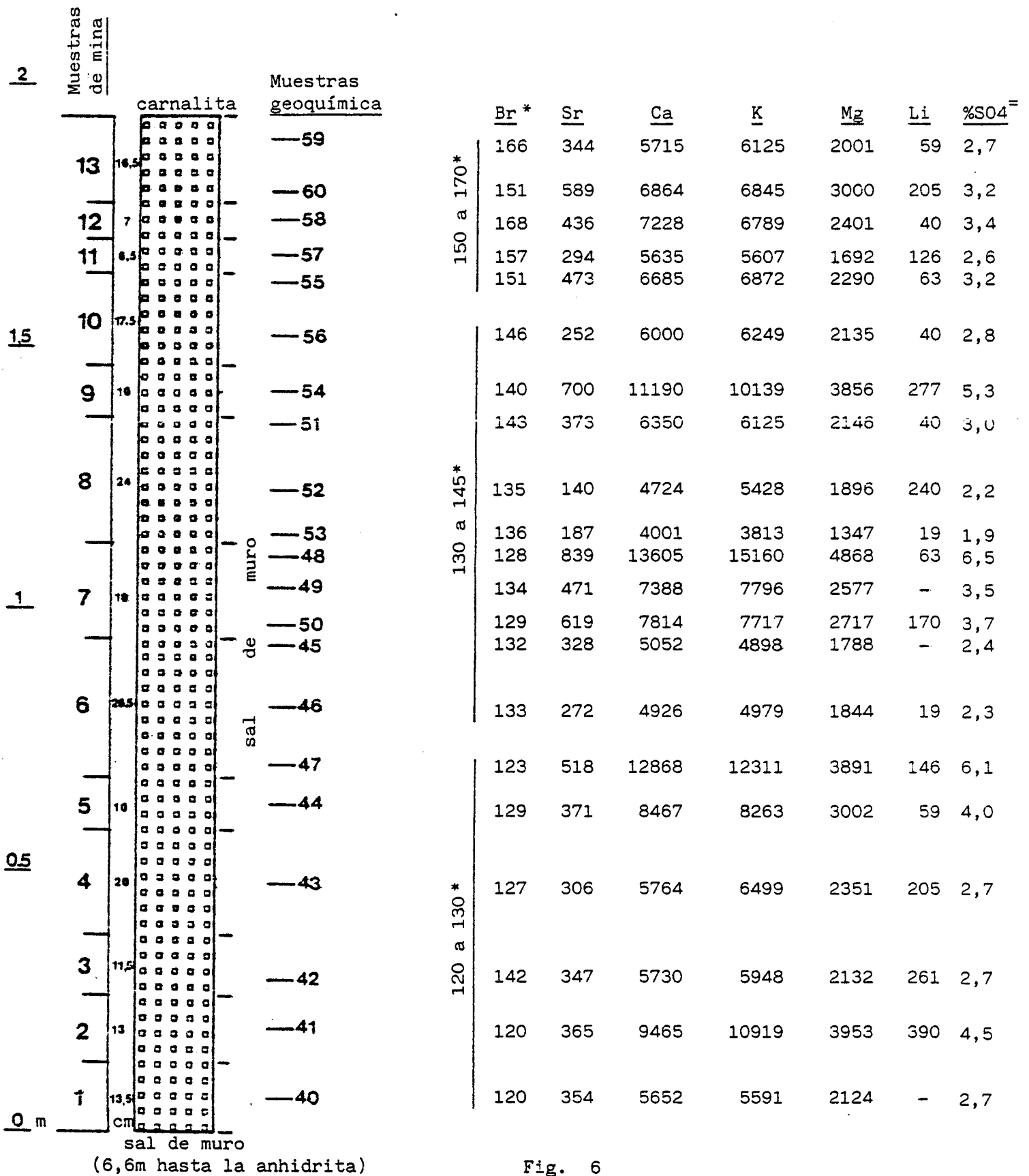


Fig. 6

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. V FN86

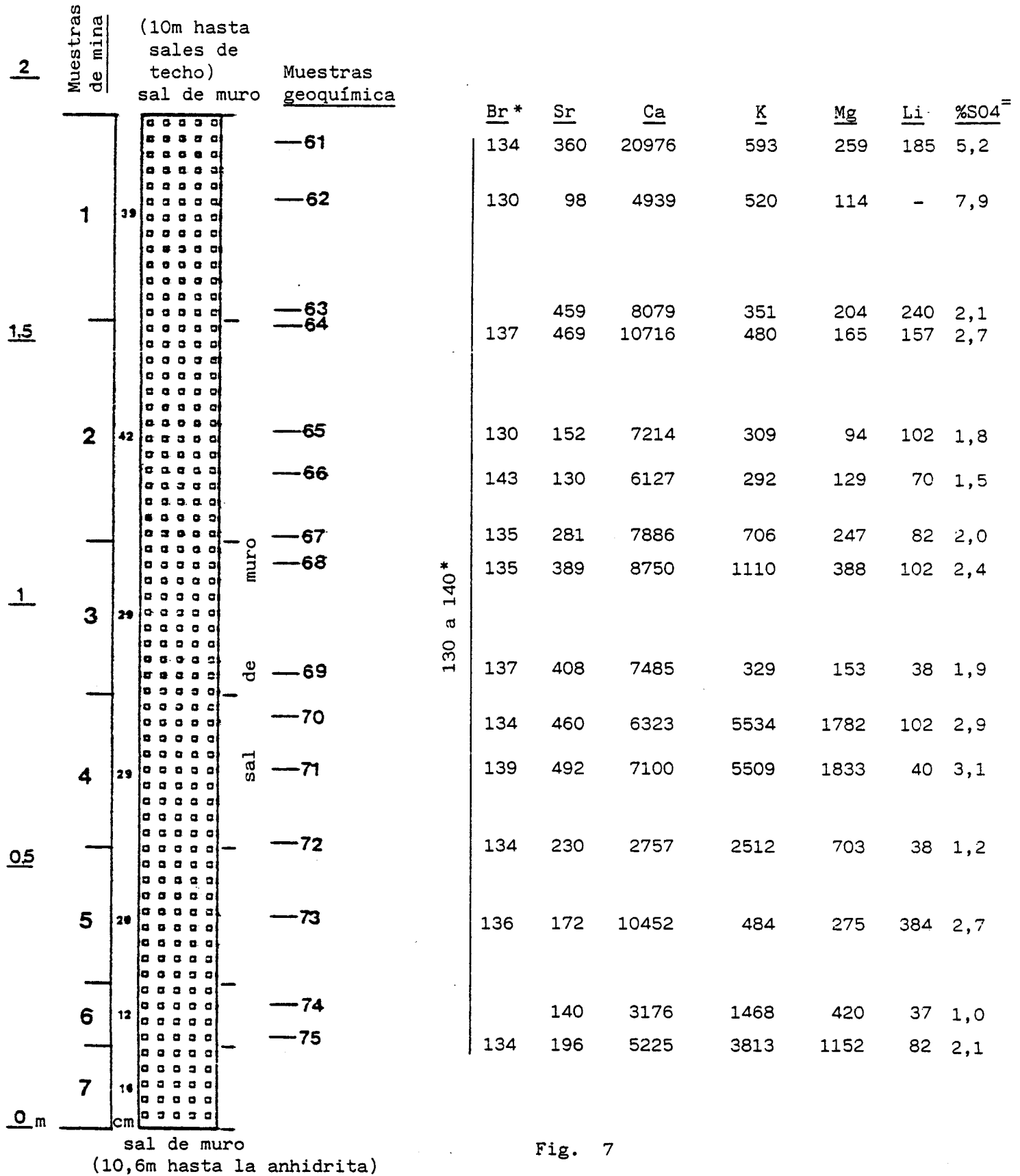


Fig. 7

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. VI FN86

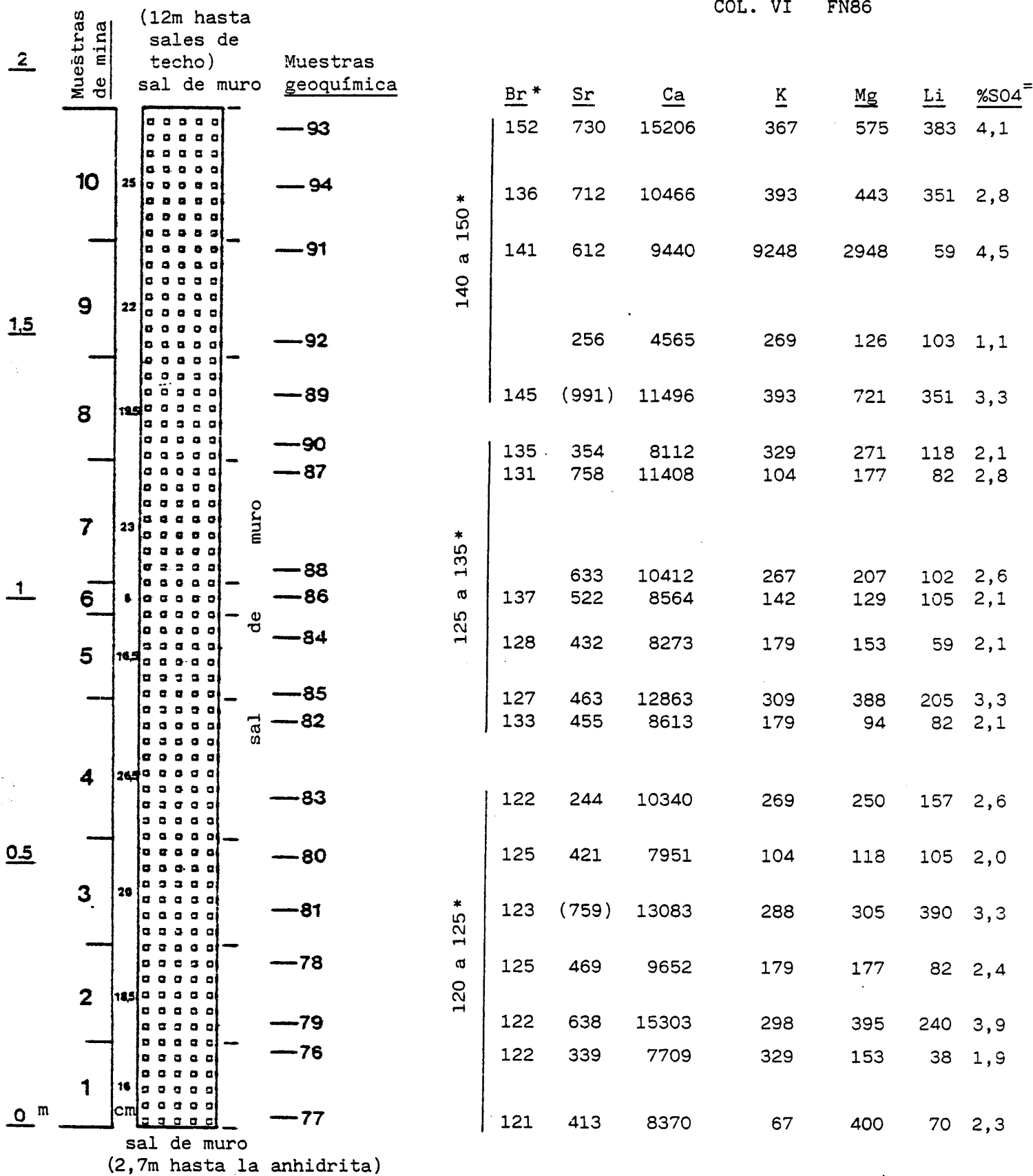


Fig. 8.  
(datos en ppm, Li en ppb)



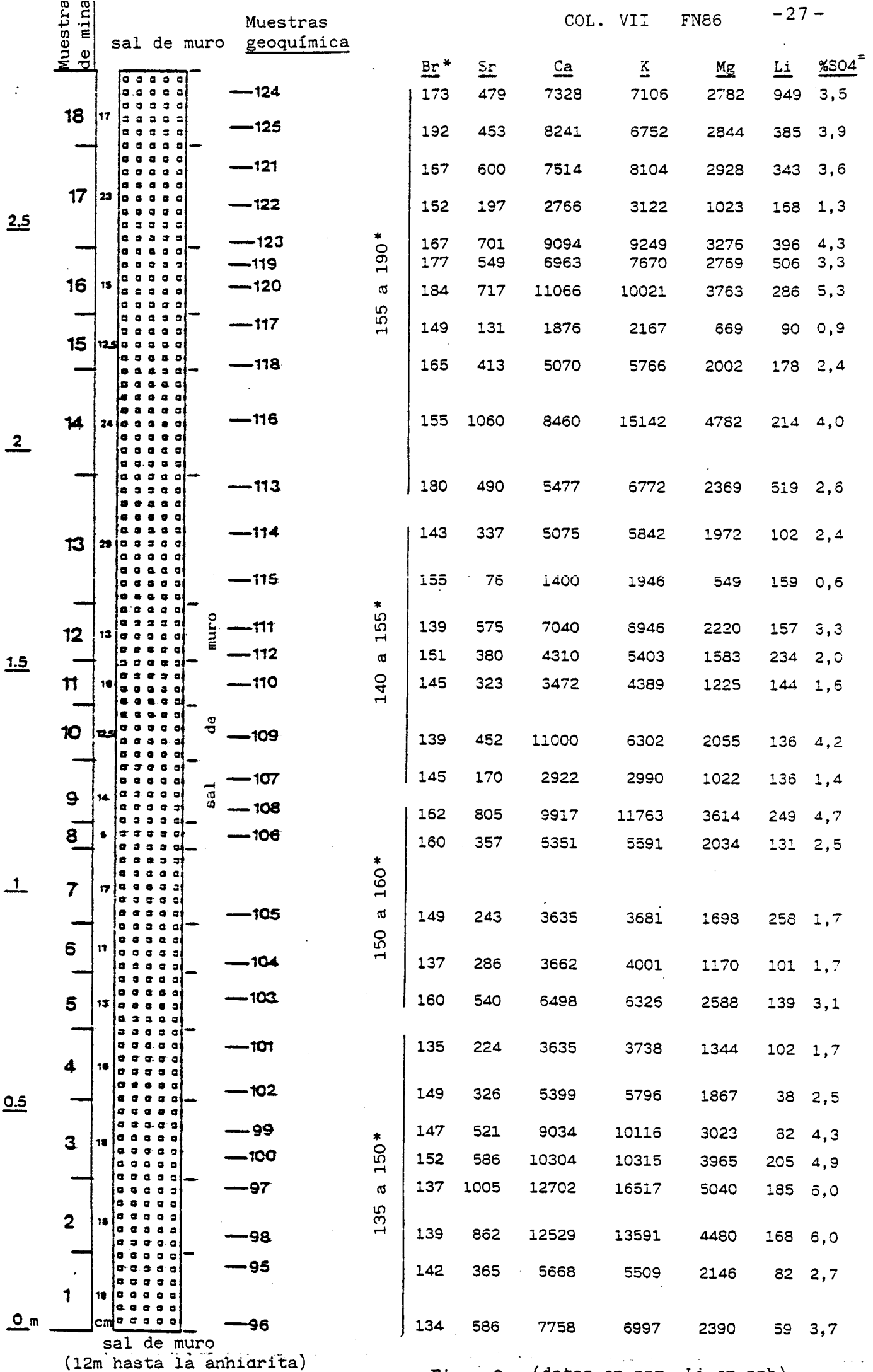


Fig. 9 (datos en ppm, Li en ppb)

COL. VIII FN86

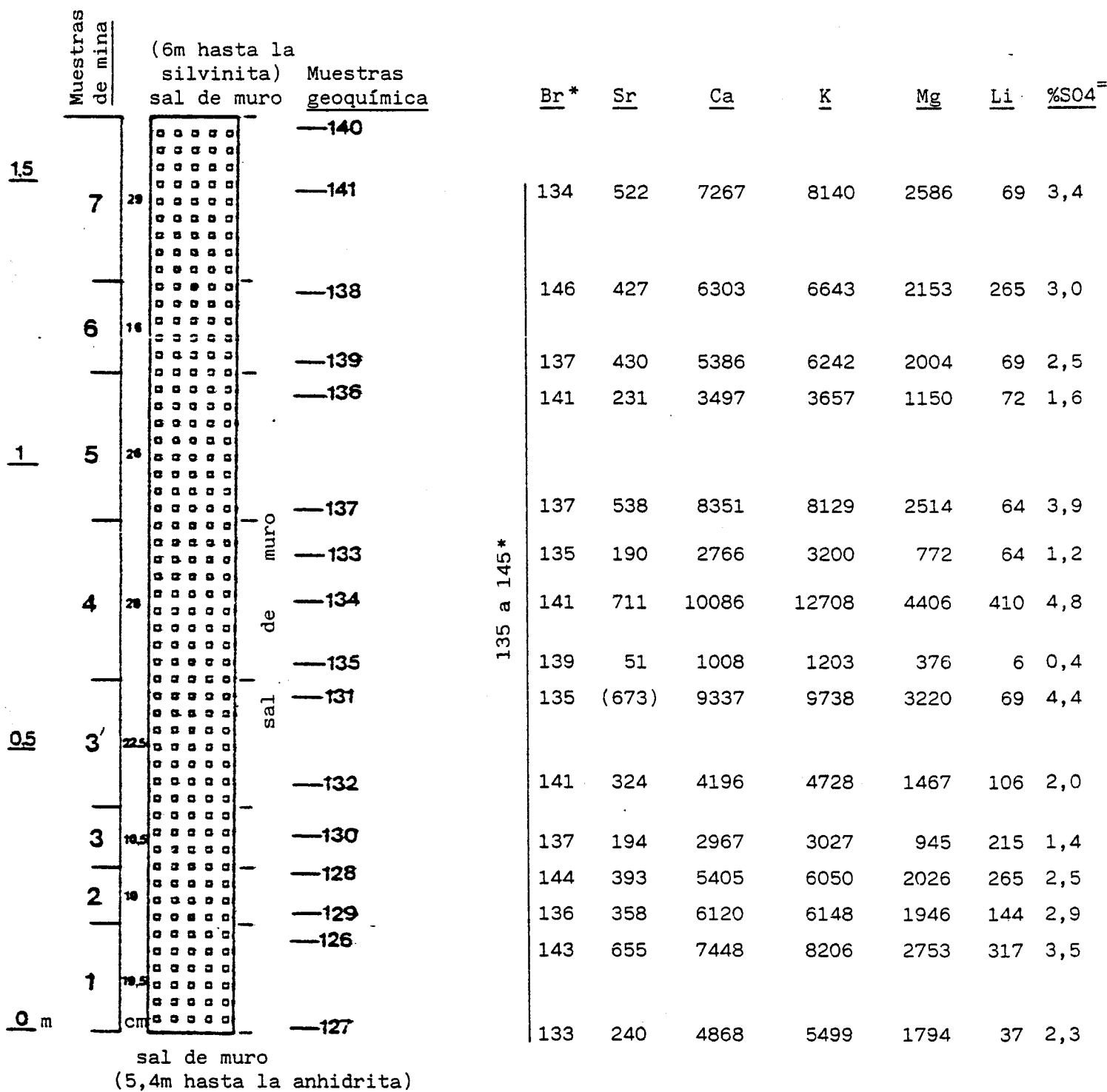


Fig. 10

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. IX FN 86

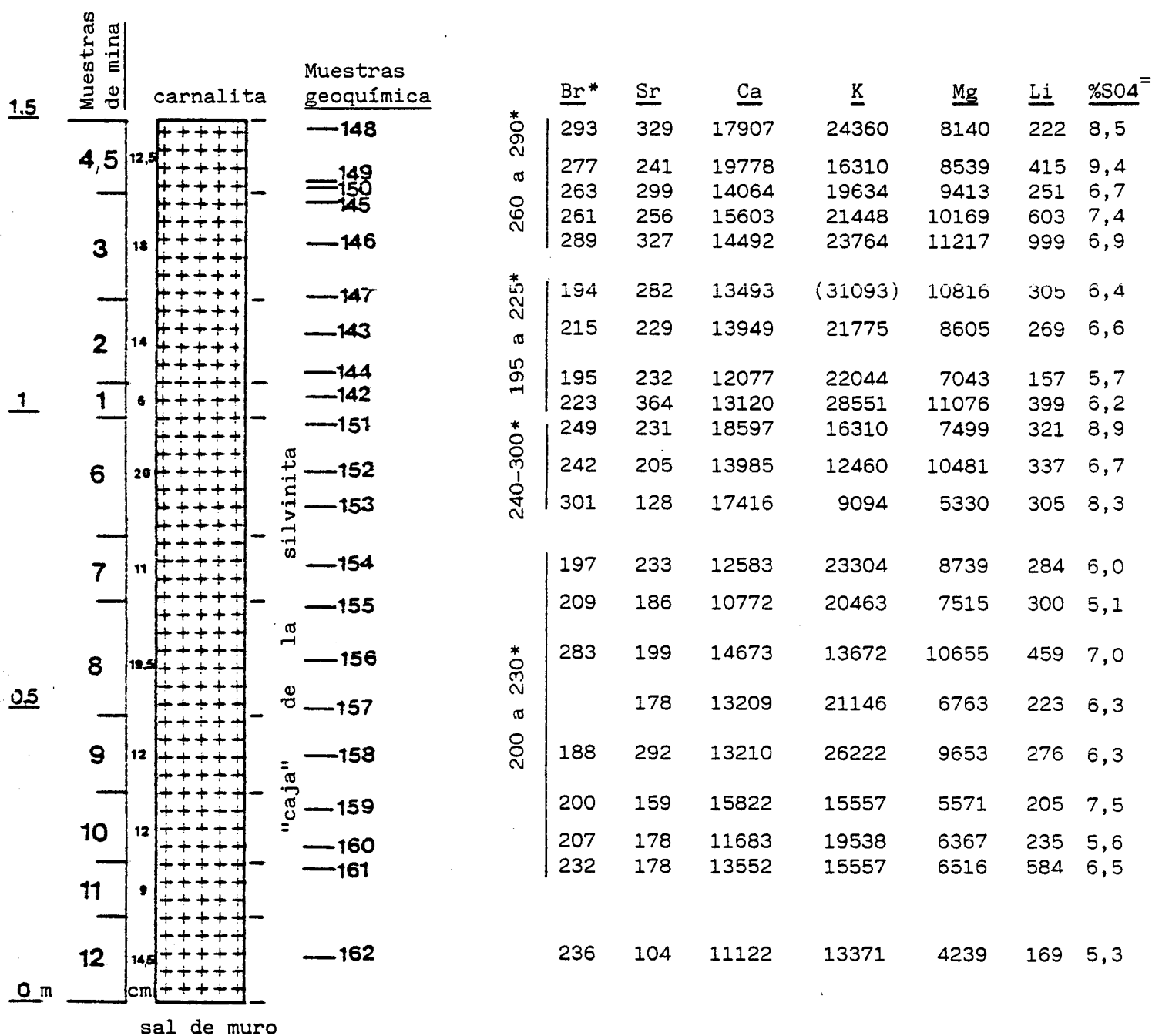


Fig. 11

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. X FN86

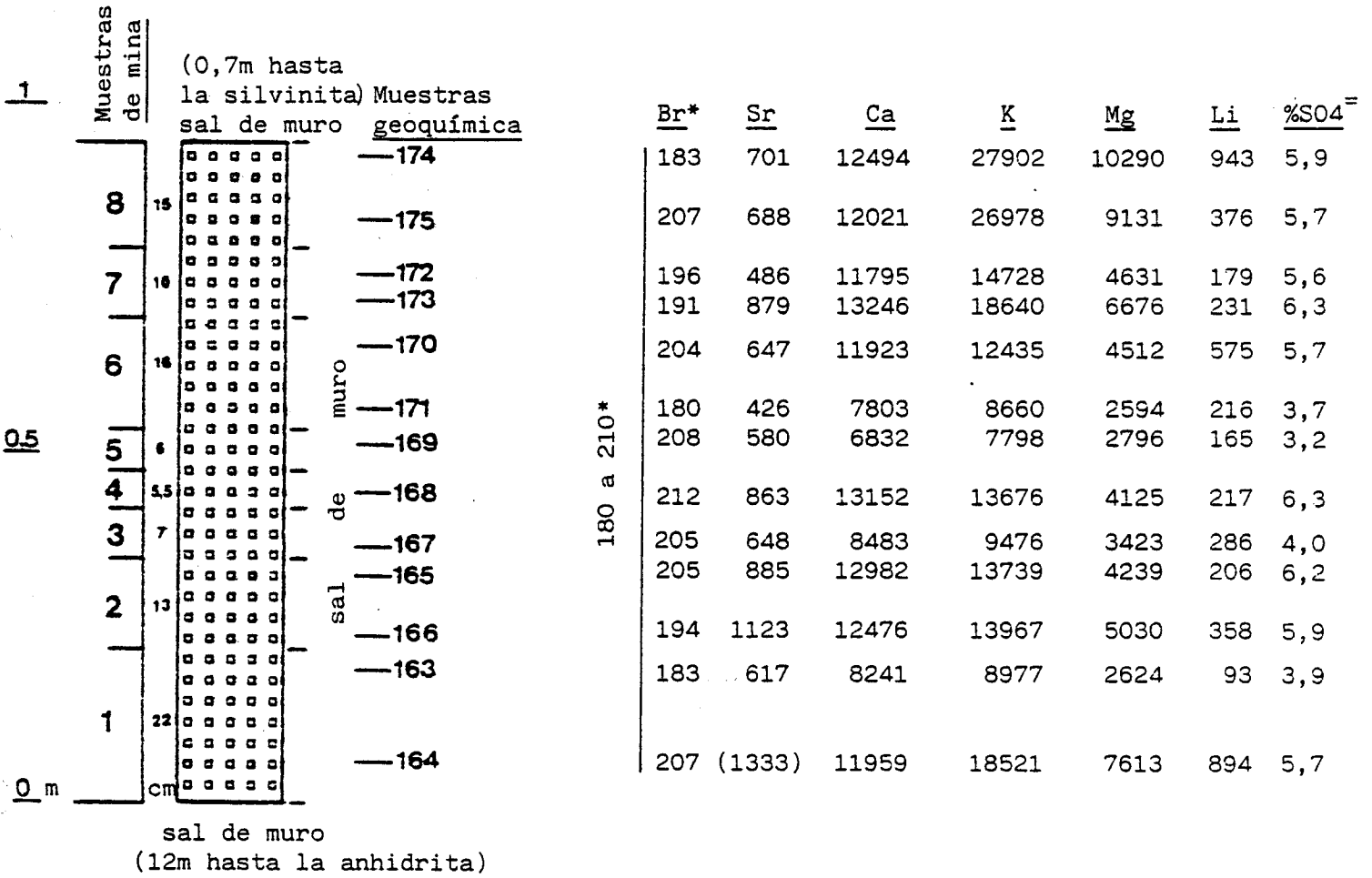
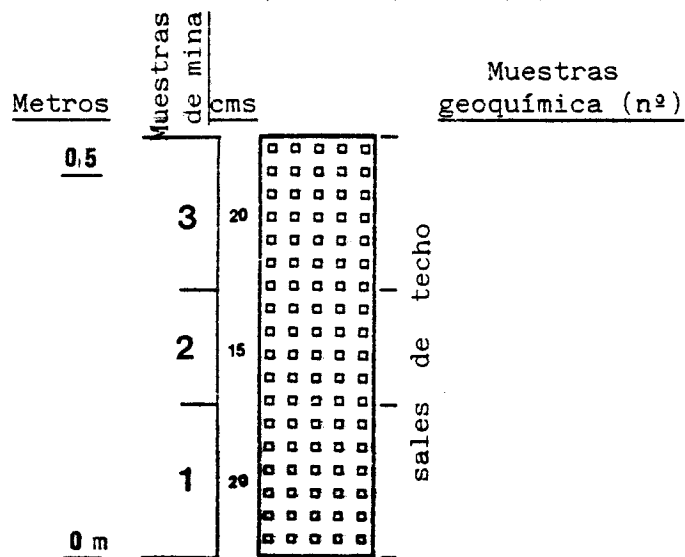


Fig. 12

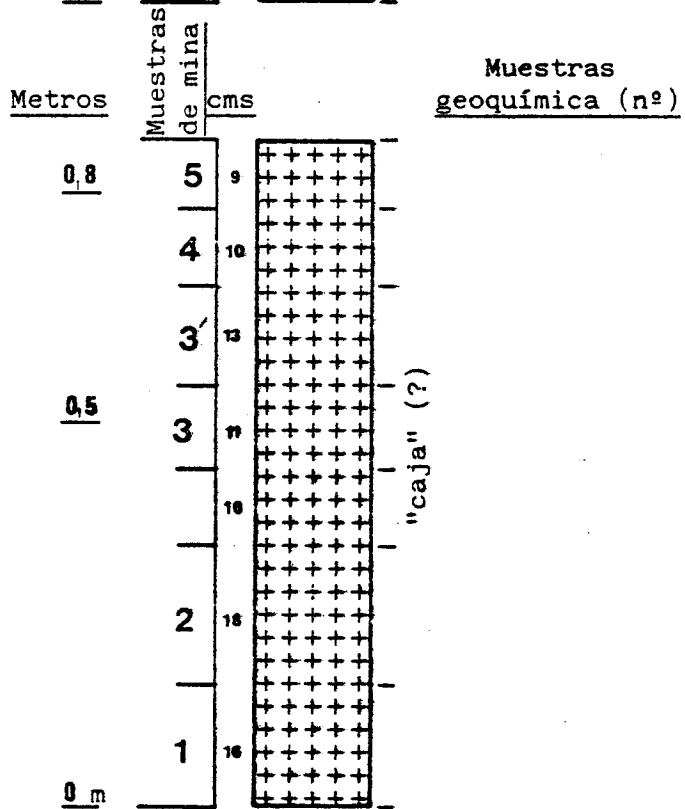
(datos en ppm, Li en ppb)

GALERIA FN 86 (UNDIANO) 2/9/83

COL. V  
(P.T. 158; Km 2,700)



COL. VI  
(+27,5m del P.T. 145)



COL. VII  
(+10,25m del P.T. 147)

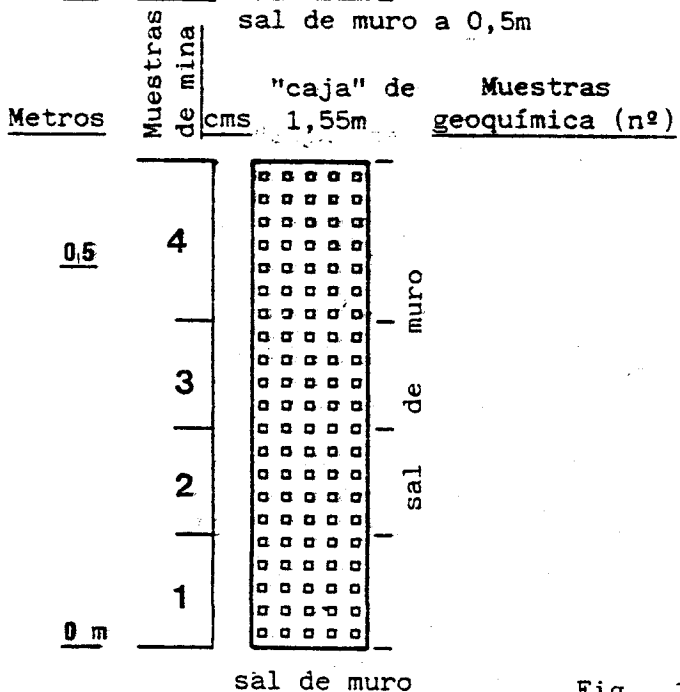


Fig. 13

Columna IX: La sal presenta (fig. 11) las características de la "caja" de la silvinita. Es de tono rojizo-rosado, de tamaño cristalino fino a medio, con laminaciones muy bien marcadas, tanto de sulfatos como arcillosas, con ciclos de espesor entre 0,5 y 6 cm. Presenta algunos cristales hopper de halita. El contenido en insolubles en las laminaciones es alto. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 144 y 157) el sulfato dominante es polihalita, encontrándose muy subordinada la anhidrita.

Columna X: La sal presenta (fig. 12) las características propias de la parte más alta de la sal de muro, que suele desarrollarse inmediatamente por debajo de la silvinita. Tiene tonos rosados, de diferentes intensidades. Hay alternancias de bandas transparentes y otras más ricas de sal y sulfatos, además de bandas oscuras en donde hay arcilla y sal. En estas últimas se desarrollan grandes cristales hopper de halita, rodeados por una trama de sulfato y arcilla. En el resto de bandas el tamaño cristalino de la sal es variable, oscilando entre el fino y el centimétrico, y en general el contenido en sulfatos es relativamente alto. En los residuos insolubles estudiados por difracción de dos muestras (nº 163 y 171) el único sulfato presente es la polihalita.

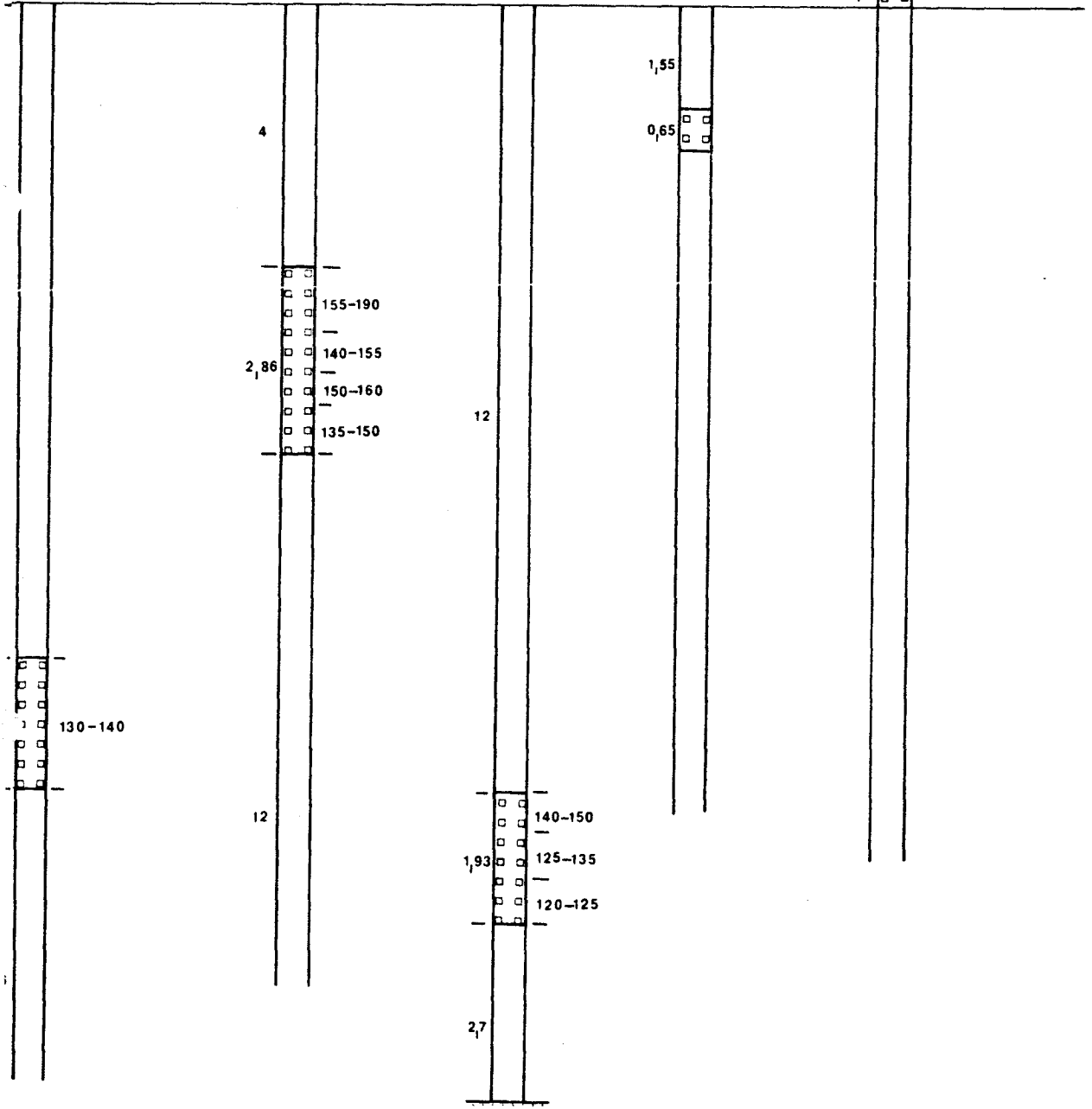
La fig. 13 representa las columnas levantadas el día 2 de septiembre de 1983 (columnas V, VI y VII) y cuyas muestras no han sido recuperadas de la mina.

#### 2.1.2.- OBSERVACIONES

##### 2.1.2.1.- Contenido en bromo

La fig. 14 sintetiza los valores de contenidos en bromo obtenidos de los 174 análisis realizados en las nueve columnas de la galería FN-86. Estos valores han sido agrupados en intervalos, aunque ocasionalmente algún valor aislado difiere del intervalo en que se encuentra. La oposición de las columnas muestreadas dentro del perfil general de la sal de muro,

V                      VII                      VI                      VII                      V  
 n 2,000                      km 2,200                      km 2,365                      km 2,497                      km 2,648  
 DE TECHO                      SAL DE TECHO                      SAL DE TECHO                      CAJA                      SAL DE TECHO



se ha obtenido de la consulta de las 35 hojas a escala 1:400 de POTASAS DE NAVARRA, que documentan la galería FN-86 hasta cerca de los 2800 m, a partir de su confluencia con la FN-23A.

En dicha figura las dos primeras columnas, tomadas como de referencia, sintetizan los valores de la fig. 1, e indican los altos contenidos en bromo (entre 175 y 235, principalmente) de la sal de muro en puntos normales de la mina, es decir, allí donde podemos considerar máxima la concentración de las salmueras originales de esta litofacies salina. Estos valores parecen concordar con los obtenidos en la columna I, correspondiente a la zona explotada de Undiano. A partir de aquí, y siguiendo la galería FN-86, la "normalidad" afecta también a las columnas II y X. Las anomalías empiezan en la columna IX, donde se presenta "caja" de silvinita en lugar de paquete silvinitico, y en la IV, donde ya falta incluso la "caja" y la carnalita sobreyace a una sal de muro cuyos dos metros superiores son de contenido relativamente bajos en bromo (entre 120 y 170 ppm). A partir de aquí falta totalmente la silvinita y en general, las sales de techo sobreyacen directamente a la sal de muro. Desgraciadamente en estas columnas (VIII, V, VII, VI) no se ha podido muestrear la sal de muro inmediatamente por debajo de las sales de techo, pero los valores ofrecidos por los diferentes tramos muestreados indican contenidos en bromo bajos (entre 120 y 155, principalmente) respecto a los de las columnas de referencia y las I, II y X, o "normales". Estos valores bajos, son sin duda originales y no parecen debidos a disoluciones tardías. El aumento progresivo hacia arriba de dichos valores en las columnas, como es el caso de la VI, indica claramente un origen primario y no un fortuito resultado de disoluciones postsedimentarias. La aparición ocasional de algún horizonte de mayor contenido en bromo dentro de estos de contenidos menores, como es el caso de la columna VII (o el de la columna II) puede ser un hecho también original como indican las columnas de referencia (fig. 1), o bien un efecto del plegamiento intrafoliar tan frecuentemente observado a lo largo de la galería FN-86.



### 2.1.2.2.- Contenido y mineralogía de los sulfatos

La tabla 3 ofrece los resultados de las 25 difracciones de Rayos X realizadas con muestras de la galería FN-86. Un primer comentario lo merece el carácter prácticamente exclusivo del sulfato presente en cada columna, ya sea polihalita (el dominante), o bien anhidrita, de menor frecuencia. Así, en las columnas II, V y VI predomina la anhidrita y en todas las restantes la polihalita. Son frecuentes los indicios de Kieserita, aunque sólo en muestras que presentan polihalita.

Por otro lado, y tal como puede comprobarse en las descripciones petrográficas de las nueve columnas (apartado 2.1.1.) parece haber una correspondencia bastante buena entre el tono rosado o rojizo del sulfato en la columna y su naturaleza polihalítica, mientras que cuando este sulfato muestra tono gris suele corresponder a anhidrita. Este hecho no había sido notado con anterioridad a esta investigación. Por el momento no podemos ofrecer para el mismo una interpretación genética.

Puede observarse, aunque ello no es una ley sino sólo una cierta tendencia, que hacia el extremo S (o profundo) de la galería FN-86 es la anhidrita el sulfato que más suele presentarse en las columnas (cols. V y VI), mientras que en las zonas de explotación normal o más próximas a ella la polihalita suele ser dominante (columnas I, X, IX, IV, VIII).

Respecto a la cantidad de sulfato presente en las muestras de cada columna puede observarse en la Tabla 4 (de valores promedios), que el valor mayor corresponde justamente a la "caja" de la silvinita (columna IX). Para el resto de las columnas estudiadas, curiosamente los valores mayores se encuentran en la sal de muro de la zona en que existe capa de silvinita (columnas I, II y X), con un promedio de 4,56%, mientras que para las zonas donde ya no se presentan capas de silvinita (cols. V, VII y VI) los valores son francamente menores, con una media del 2,77%. La col. IV, en la que a techo de la sal de muro todavía hay capas de carnalita, pero no de silvinita, ocupa una posición intermedia, con 3,4% de sulfato. Ello indi-

<u>Columna</u>	<u>nº muestra</u>	<u>Polihalita</u>	<u>Anhidrita</u>	<u>Kieserita</u>	<u>Cuarzo</u>
I	7	X	x		
I	15	X	(x)	(x)	(x)
II	22		X		
II	30		x		
II	38		X		
X	163	X			
X	171	X			
IX	144	X			
IX	157	X		(x)	
IV	47	X			
IV	57	X			
VIII	129	X			
VIII	133	x			
VIII	137	X			
V	62		X		
V	73		X		
VII	98	X		(x)	
VII	103	X			(x)
VII	104	x			
VII	111	X			
VII	116	X		(x)	(x)
VII	120	X		(x)	(x)
VII	125	X			
VI	83		X		
VI	92		x		

TABLA 3.- Resultados de las difracciones de Rayos X en las muestras correspondientes a las columnas de la galería FN 86. Simbología: X = abundante; x = poco abundante; (x) = indicios

ca claramente que en la galería FN-86, hacia el S, es decir hacia los contenidos menores, en Br, también decrecen los sulfatos, pareciendo ambos factores ser de origen primario. Probablemente también lo sea el que dichos sulfatos, hacia el S, sean igualmente más anhidríticos y menos polihalíticos.

#### 2.1.2.3.- Contenidos en Sr, Ca, K, Mg y Li

Los contenidos promedios de estos elementos se presentan en la Tabla 4.

Estroncio: Los contenidos promedio en este elemento que presentan las columnas de sal de muro a lo largo de la galería FN-86 son siempre más altos que los obtenidos en la sal de muro de la zona Sur (Tesis L. Rosell) pudiendo en algunos casos duplicar (o incluso triplicar, columna X) a estos últimos.

Los valores promedio obtenidos en algunas de las columnas de FN-86 son comparables a los citados por PUEYO MUR (1975) en litofacies estériles de la cuenca potásica catalana. Una posible explicación podría hallarse en la variación paleogeográfica que se ha detectado en la distribución de este elemento en el ciclo Stassfurt del Zechstein alemán, donde se ha observado que el contenido en estroncio aumenta desde el centro de cuenca hacia zonas más marginales (BRAITSCHE, 1971). En nuestro caso, la relación  $Sr/SO_4^{=}$  (tabla 4) muestra un aumento progresivo de valores a lo largo de la galería FN-86, en dirección S, exceptuando la "caja" de silvinita de la col. IX, que típicamente tiene un empobrecimiento en Sr frente a un enriquecimiento en  $SO_4^{=}$ .

Calcio: Los contenidos promedio que presenta este elemento en las columnas muestreadas en FN 86 son muy similares a los obtenidos en la sal de muro de la zona Sur. Pueden ser algo inferiores o superiores en relación con la ausencia o dominancia de anhidrita, que es el mineral que condiciona principalmente la cantidad de Ca presente.

Una excepción la constituye la columna IX ("caja" de la

	<u>Br</u>	<u>Sr</u>	<u>Ca</u>	<u>K</u>	<u>Mg</u>	<u>Li</u>	<u>%SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>	<u>Sr/SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>
COL. I (sal de muro)	220,5	331,9	10864,7	7731,7	3054,8	307,3	4,8	69,1
COL. II (sal de muro)	158,6	455,9	11636,5	564,3	733,5	261,4	3,7	123,2
COL. X (sal de muro)	214,5	711,9	11031,8	15038,2	5206,4	364,5	5,2	136,9
COL. IX ("caja silvinita")	237,7	230	14338,4	19229	8302,1	348,4	6,8	33,8
COL. IV (sal de muro)	138,5	408,4	7196,3	7336,8	2571,9	115,3	3,4	120,1
COL. VIII (sal de muro)	138,6	376	5667	6221,2	2007,4	144,8	2,6	144,6
COL. V (sal de muro)	135,2	295,7	7813,6	1600,6	527,8	110,6	2,7	109,5
COL. VII (sal de muro)	154,2	477,7	6618,2	7084,8	2425,2	222,6	3,1	154,1
COL. VI (sal de muro)	130,8	497,1	10096,1	721,7	422,6	162,6	2,7	184,1

TABLA 4.- Contenidos promedio en ppm (para el Li en ppb) de los elementos analizados en la sal de muro y en la "caja" de la silvinita, para la galería FN 86 (Undiano). Las columnas se han dispuesto de N (columna I) a S (columna VI), seriadamente.

silvinita) la cual presenta también contenidos elevados en K y Mg, en relación con los que presentan las halitas entre silvinita de la Zona Sur, analizadas en la Tesis de L. Rosell.

Potasio y Magnesio: El potasio presenta, bien contenidos algo más altos (un 50% más) o bien contenidos mucho más bajos que los obtenidos en la sal de muro de la Zona Sur. En ambos casos, los contenidos bajos están en relación con la ausencia de polihalita en la columna correspondiente, pues es éste el mineral que condiciona principalmente la riqueza en Mg y K en la mayoría de las muestras.

Contenidos muy altos en K y bastante altos en Mg, se observan en la columna X, y también en la columna IX.

Los contenidos altos en Mg y Ca podrían corresponder a un mayor contenido en sulfatos. Los contenidos muy elevados en K podrían deberse a la inclusión de una pequeña proporción de silvita en la sal de muro o en la halita de "caja".

Litio: Excepto en la columna X, donde los contenidos son similares a los obtenidos para la sal de muro de la zona Sur, los contenidos en este elemento son sistemáticamente más bajos.

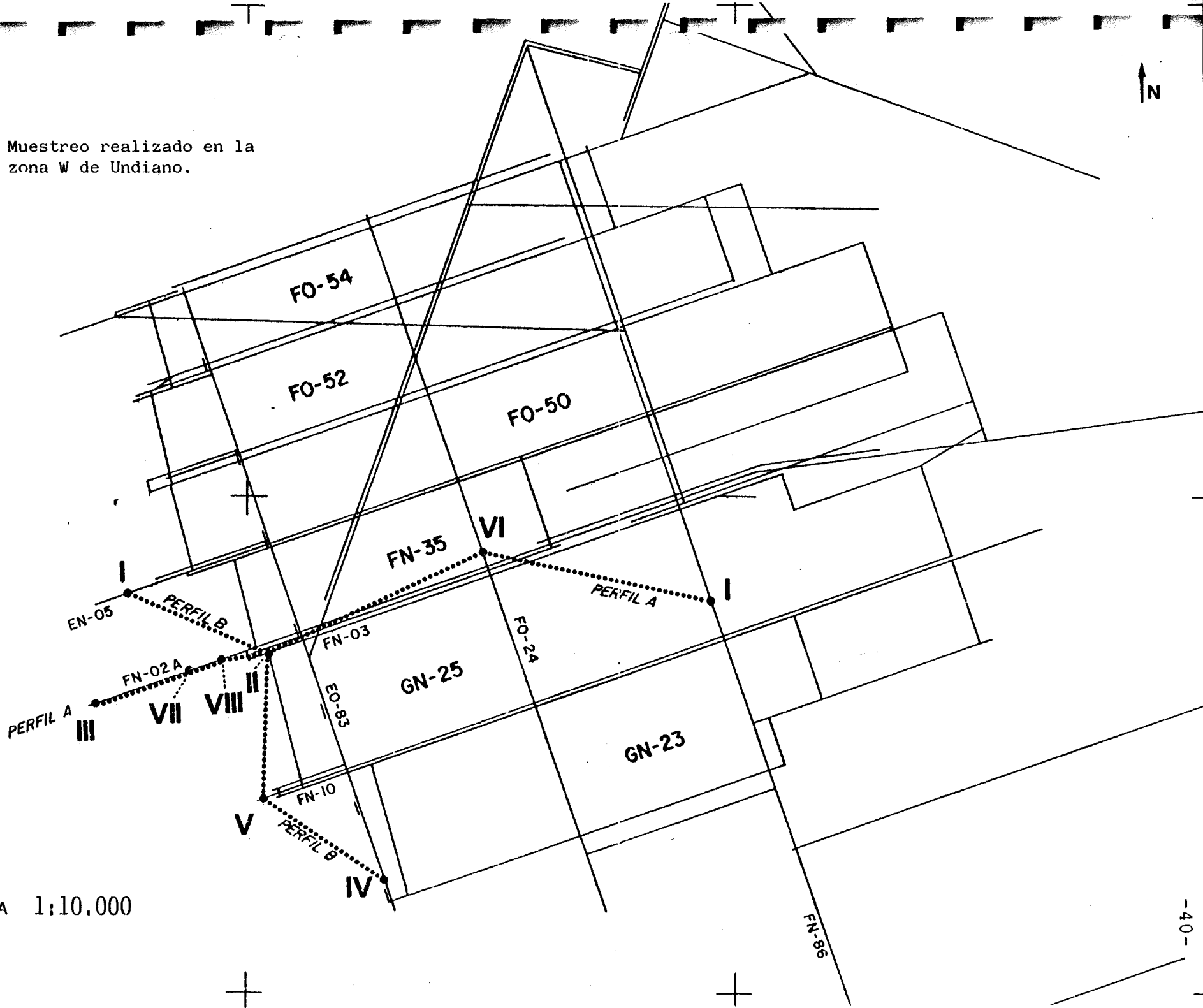
## 2.2.- EL BORDE W DE LA ZONA DE UNDIANO

### 2.2.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS

El objetivo de estos trabajos ha sido el caracterizar la esterilidad que aparece en todo el borde W de la zona de Undiano. La experiencia de las labores mineras indicaba su probable relación con la existencia de una doble capa, es decir de un pliegue tumbado, que repite el paquete potásico. Se emitió igualmente la hipótesis de que dicha esterilidad pudiere estar conectada con la que se manifiesta, hacia el SW, en la galería FN 86.

Se ha levantado ocho columnas, con 58 muestras y recogido algunas muestras aisladas, con un total de 62 muestras litológicas. De ellas las enmarcadas en las columnas representan una potencia global de formación salina de 10,11 m. Los

Fig. 15 Muestreo realizado en la zona W de Undiano.



ESCALA 1:10.000

FECHA MUESTREO	GALERIA	POSICION EN LA GALERIA	COLUMNAS (nº)	POTENCIAS (metros)	MUESTRAS LITOLOGIAS	ANALISIS GEOQUIMICOS	PREPARACIONES PETROGRAFICAS	DIFRACCION RAYOS X
4-8-83	EN-05	en P.T. 20	I	2,29	11	16	4	2
4-8-83	FN-03	NS, GN 25	II	1,36	10	18	3	2
4-8-83	FN 02A	en el frente	III	0,96	6	6	2	-
5-8-83	EO 83	en UE-40	IV	2,73	11	18	4	2
5-8-83	FN-10	a 33 m del frente	V	1,46	8	16	3	1
5-8-83	FO-24	en P.T. 17	VI	0,83	8	7	2	2
4-8-83	FN 02A	en P.T. 68	VII	0,52	2	2	1	1
4-8-83	FN 02A	a + 30 m FN 03	VIII	0,31	2	1	1	-
TOTALES:			8	10,46 m	58	84	20	10

TABLA 5.- Trabajos y análisis realizados en la zona W de Undiano.

detalles de las columnas levantadas se muestran en la tabla 5.

Para el estudio de esta esterilidad se ha levantado una columna (col. VI) en la zona de explotación normal (tajo FN 35), como referencia, y toda una serie de columnas en el extremo W de la zona. De estas últimas algunas son aisladas, como las cols. I, V y IV, y otras están alineadas según una galería, como las cols. II, VII, VIII y III (en las galerías FN 02A y FN 03) que pasan progresivamente del límite del tajo explotado (GN 25) hasta el final más adentrado en zona estéril de la galería de esta zona.

La columna I está levantada (en zona tapada) a unos 100 m del final W de la galería EN 05, y a unos 50 m, por el E, del final de la explotación. La columna corta la doble capa, que viene señalada por la presencia de unos 10 cm de carnalita brechoide en el centro de la galería. Inferiormente a ella hay sal de muro y superiormente de nuevo sal de muro, una capa de silvinita muy adelgazada y al techo de la galería carnalita. En el cruce de esta galería con la EN 05A la capa de silvinita tiene hasta 40 cm de potencia.

La columna II, en la galería FN 03, está levantada en la última roza, al final de la explotación, del tajo GN 25. La silvinita tiene en ella 70 cm y superiormente hay una capa de carnalita. Las columnas VII y VIII, de pequeña potencia, están situadas más hacia el W y comprenden 4 muestras de sal de "caja" del paquete de silvinita, en un punto de la galería FN 02A en donde sólo quedan unos 15 cm de silvinita. En posición extrema hacia el W, la columna III está levantada en el frente mismo de la galería FN 02A, en sal de muro exclusivamente, y donde presumiblemente la esterilidad es total.

La columna V está levantada a 33 m del final, por el W, de la galería FN 10 (aprovechando un desprendimiento en la pared). Esta columna contiene una zona potásica que consiste en una capa delgada de silvinita (18 cm) y otra de transformada superiormente, de 30 cm. El techo de la columna lo forma la carnalita y la base la parte superior de la sal de muro.



La columna IV está levantada en la galería EO 83, en el culatón del transformador, y se sitúa a unos 50 m del final del tajo GN 23, el cual queda al E de la columna. En esta última, sobre la sal de muro se presentan unos 60 cm de "caja". Siguen unos 45 cm de silvinita y al techo carnalita. Existen nódulos de sulfato tanto en la caja como en la capa de silvinita que resta.

Las descripciones petrográficas de las columnas son las siguientes:

Columna I: Por debajo del nivel de carnalita que separa las dos "capas" de sal de muro, ésta presenta (fig. 16) un tono rosado general en todas las muestras y un bandeamiento entre 3 y 7 cm, con bandas más grises, arcillosas y ricas en cristales hopper de halita de hasta 1 cm o más y bandas más transparentes y gruesas (4-5 cm), rosadas y poco arcillosas, que localmente presentan cristales hopper de halita de pocos mms.

La distribución de sulfato es general, en masas nodulosas pequeñas y alargadas, de aspecto deshilachado y con tono rosado. Son más abundantes en la zona de contacto entre los dos tipos de bandas y también en las bandas grises. En el primer caso presentan ya tonos rosados y en el segundo tonos grises.

Las muestras presentan pliegues y tanto las masas de sulfatos como los cristales de sal muestran una cierta esquistosidad, aunque no son patentes efectos importantes de recristalización en la sal.

Por encima del nivel de carnalita, la sal de muro de la "capa" superior presenta capas totalmente grises y otras en las que alternan bandas grises y rosadas. La presencia de arcillas es mínima y ambos tipos de bandas tienden a transparentes. El tamaño cristalino es medio y existe una cierta esquistosidad en los cristales de sal.

Los sulfatos son nódulos aplastados de hasta 1 cm, des-

conectados entre sí pero dando una sensación de fluidez. Tienen el color correspondiente a la banda en que se alojan. Las dos muestras (nos. 213 y 219) analizadas por difracción de Rayos X revelan la naturaleza polihalítica del sulfato acompañante de la sal.

Columna II: La sal presenta (fig. 17) un tono algo rosado y bandas de entre 2 y 6 cm de potencia. Existe una alternancia de bandas oscuras, más ricas en insolubles (arcillas) y con cristales hopper de halita de hasta 1 cm, y otras bandas más transparentes con abundantes hoppers de tamaño menor y en las que se presentan tonos tanto grises como rosados. En el conjunto de la sal existe una ligera esquistosidad.

Las muestras de silvinita, al techo de la columna, presentan las características normales de este paquete potásico. Las dos muestras analizadas por difracción de Rayos X (nos. 254 y 262) indican el carácter polihalítico del sulfato que acompaña a la sal.

Columna III: La sal es de tono gris y localmente, o por bandas, algo rosado. El bandeamiento es de 4 a 5 cm de grosor. Alternan bandas más grises y sólo con muy poca arcilla dispersa, con bandas de sal transparente y más potentes, en ocasiones muy transparente. Las zonas rosadas se asocian más a las bandas grises. El tamaño cristalino de la sal es grueso, hasta casi 1 cm. Hay algunos cristales hopper de hasta casi 1 cm, principalmente en las bandas grises. El tono rosado puede ser debido a sulfatos, aunque apenas forman masas distinguibles (fig. 18).

Columna IV: En las muestras (fig. 19) de sal de muro (de la 6 a la 11, ambas inclusive) la sal está bien bandeada, con potencias de 2 a 7 cm, con bandas más gruesas hacia la base y más finas hacia el techo. Alternan bandas bastante transparentes, cuajadas de cristales hopper de pocos milímetros hasta 0,8 cm, de color blanco y ocasionalmente rosado, con bandas más grises. Estas últimas pueden ser ténues o bien de

hasta 2-3 cm, más arcillosas y grises y con cristales hopper de hasta 1-2 cm o más.

Hay horizontes finos de sulfatos discontinuos, en general rosados, que se sitúan entre los dos tipos de bandas citados, aunque localmente se ensanchan hasta 1 cm.

En las muestras de "caja" las bandas están bien marcadas, de 1-2 cm de espesor, y tienen un color general más rojizo. Se mantienen los cristales hopper tanto en las bandas grises como en las rosadas. El contenido en sulfato de la "caja" va aumentando hacia arriba, llegando a dar masas alentejonadas prácticamente en todas las bandas, y de tonos rosados más marcados.

La silvinita es de apariencia normal, aunque los ciclos que se conservan son delgados, de 0,5 a 1,5 cm. Las dos muestras analizadas por difracción de Rayos X (n<sup>os</sup> 269 y 280) indican el carácter principalmente polihalítico del sulfato acompañante de la sal.

Columna V: La sal de muro presenta (fig. 20) un tono rosado, en general, y bandas de espesor entre 1 y 6 cm. Las bandas más transparentes son las más potentes y rosadas y presentan pequeños cristales hopper de halita. Las bandas más opacas son grises y más delgadas, con arcillas y grandes cristales hopper de halita de 1 cm o más. Abundan los sulfatos, cuyo tono es también rosado. Estos sulfatos se encuentran dispersos en toda la masa de sal, pero suelen concentrarse en los contactos entre los dos tipos de bandas. Llegan incluso a dar horizontes laminados de pocos mms. hacia el techo de la sal de muro, en la zona que corresponde a "caja" del paquete silvinitico. El aspecto general es de sal tectonizada.

La silvinita se presenta en capas de 1 cm únicamente, sugiriendo el aspecto la existencia de esterilidades. El sulfato es también abundante. La única muestra analizada por difracción de Rayos X (n<sup>o</sup> 235) indica el carácter polihalítico del sulfato acompañante a la sal.

Columna VI: La sal presenta (fig. 21) el aspecto típico de la sal de muro situada inmediatamente por debajo del paquete de silvinita cuando éste es normal. El bandeamiento y la laminación son perfectos, el tono rosado es de intensidad variable, según las bandas, y el espesor de estas está entre menos de 1 cm y 8 cm. El grano es muy fino en general y no se observan cristales hopper de sal, aunque es posible la existencia de granoclasificación. Los horizontes (diastemas) arcillosos están muy acentuados. Una muestra (nº 188) de un nivel salino rojizo analizado por difracción de Rayos X muestra la naturaleza ya silvítica del mismo. Otra muestra (nº 186) indica la naturaleza polihalítica del sulfato acompañante a la sal.

Columna VII: La sal es de tono rosado, bien bandeada, con potencias entre 1 y 4 cm. Alternan bandas grises arcillosas y con cristales hopper de halita de hasta 1 cm, con bandas más transparentes y rosadas de sal con cristales hopper de pocos milímetros (fig. 22).

Los sulfatos son también rosados y se disponen preferentemente en los contactos de ambos tipos de bandas, dando horizontes bien marcados. Dan masas delgadas y alargadas, de hasta 1 cm. Una muestra analizada por difracción de Rayos X (nº 244) indica que el sulfato dominante es la polihalita, siendo muy accesoria la anhidrita.

Columna VIII: La sal es de tono rosado, con bandeamientos entre 1 y 3 cm de grosor. Alternan bandas grises con arcilla y algún cristal hopper de sal, con bandas transparentes. En ambas se presentan sulfatos, aunque frecuentemente más en las grises. Son masas alargadas de hasta 0,5 cm, muy delgadas. En la parte superior (B) el bandeamiento es más fino, entre 0,5 y 1 cm y los horizontes de sulfato son también más finos y las diastemas arcillosas están mejor marcadas (fig. 22).

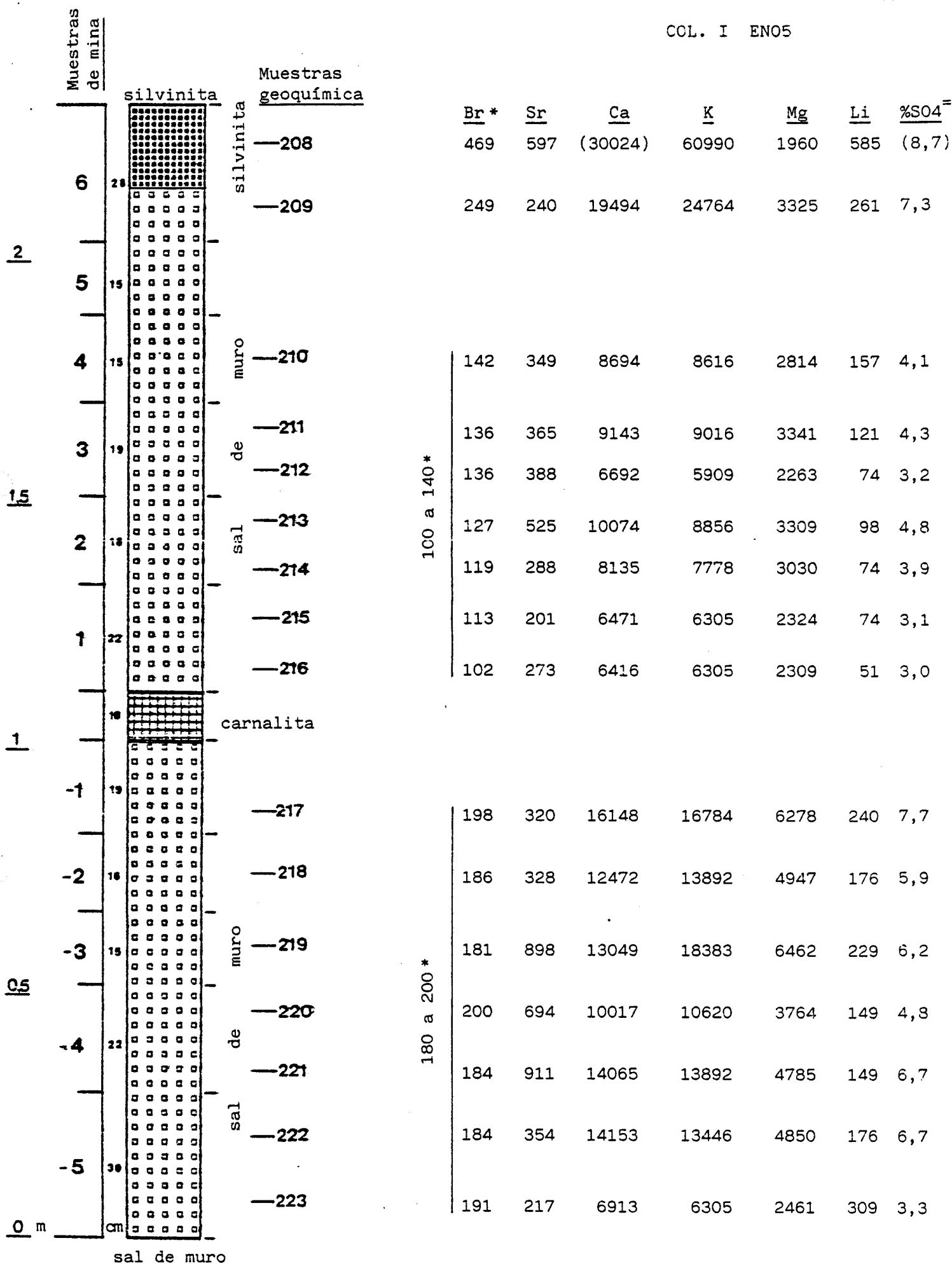


Fig. 16  
(datos en ppm, Li en ppb)

COL. II FN03

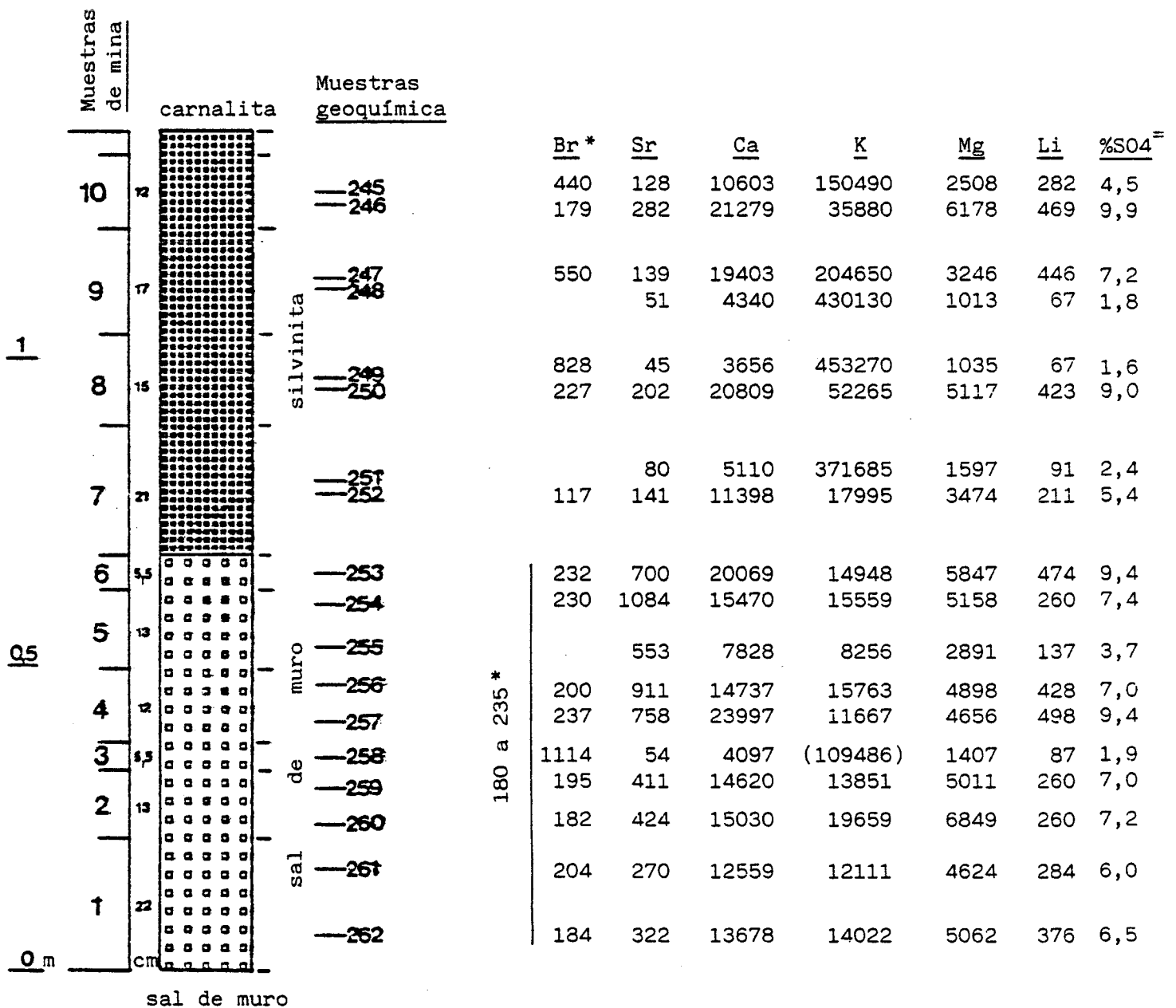


Fig. 17

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. III FN02A

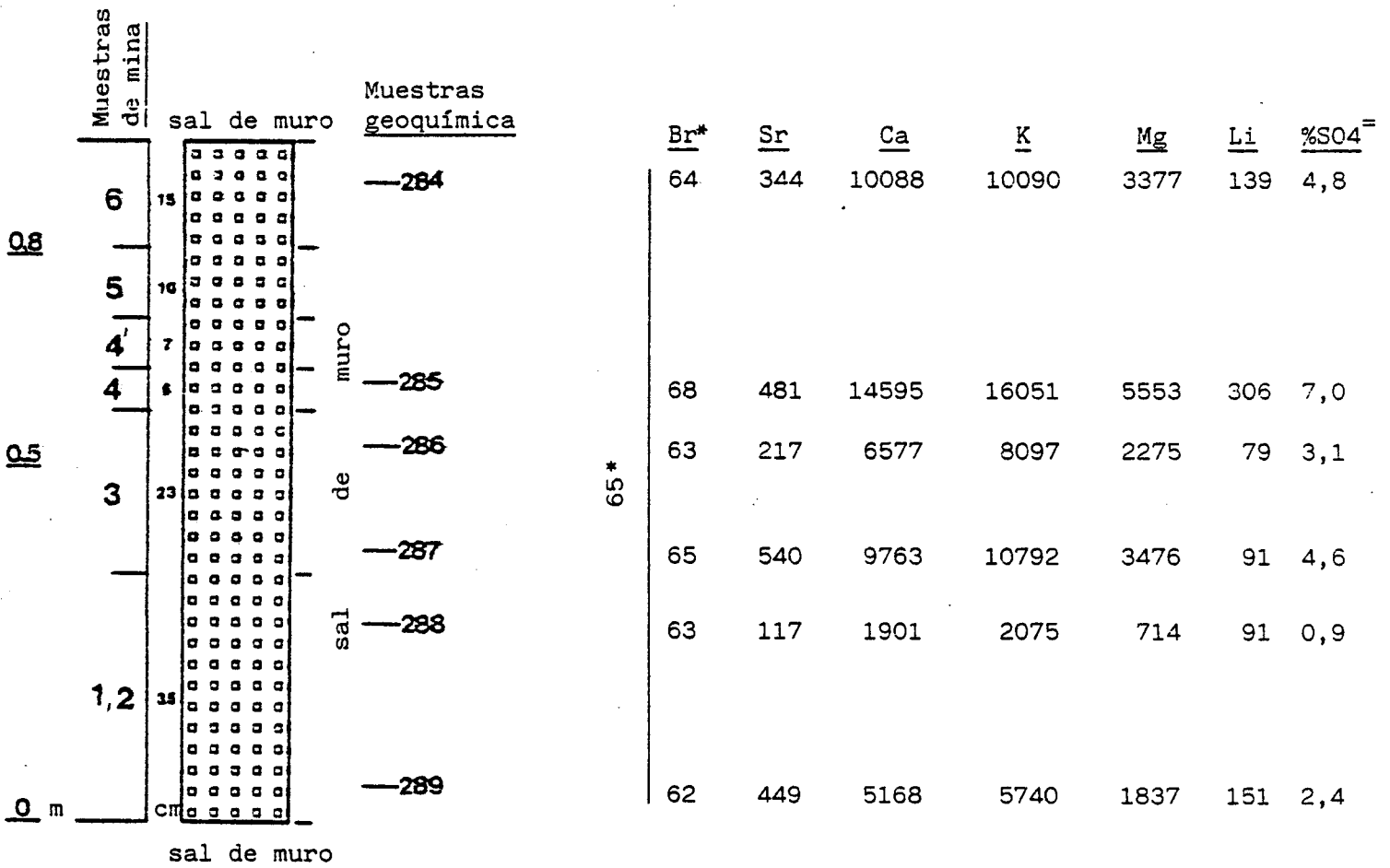


Fig. 18  
(datos en ppm, Li en ppb)

Muestras geoquímica

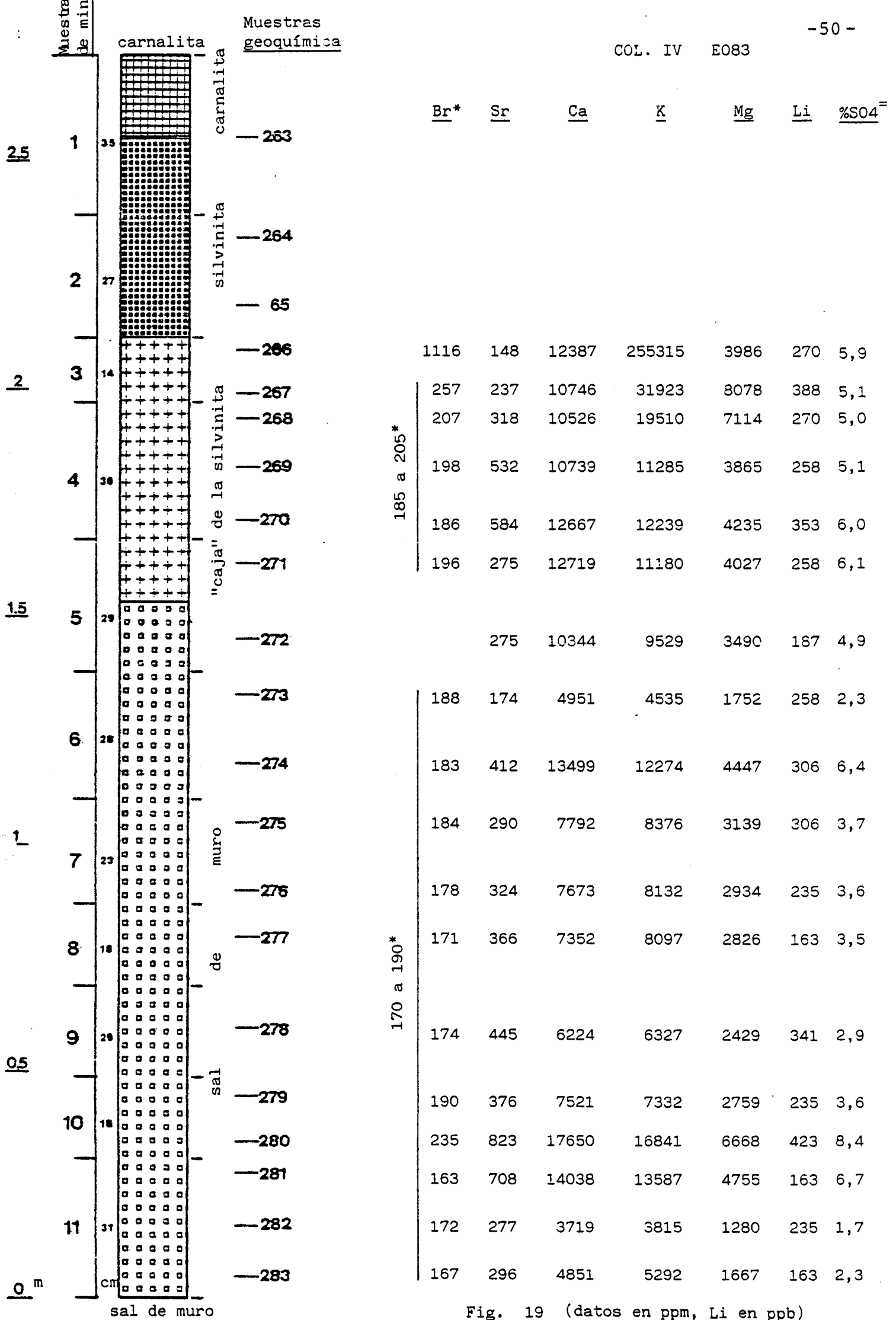


Fig. 19 (datos en ppm, Li en ppb)



COL. V FN10

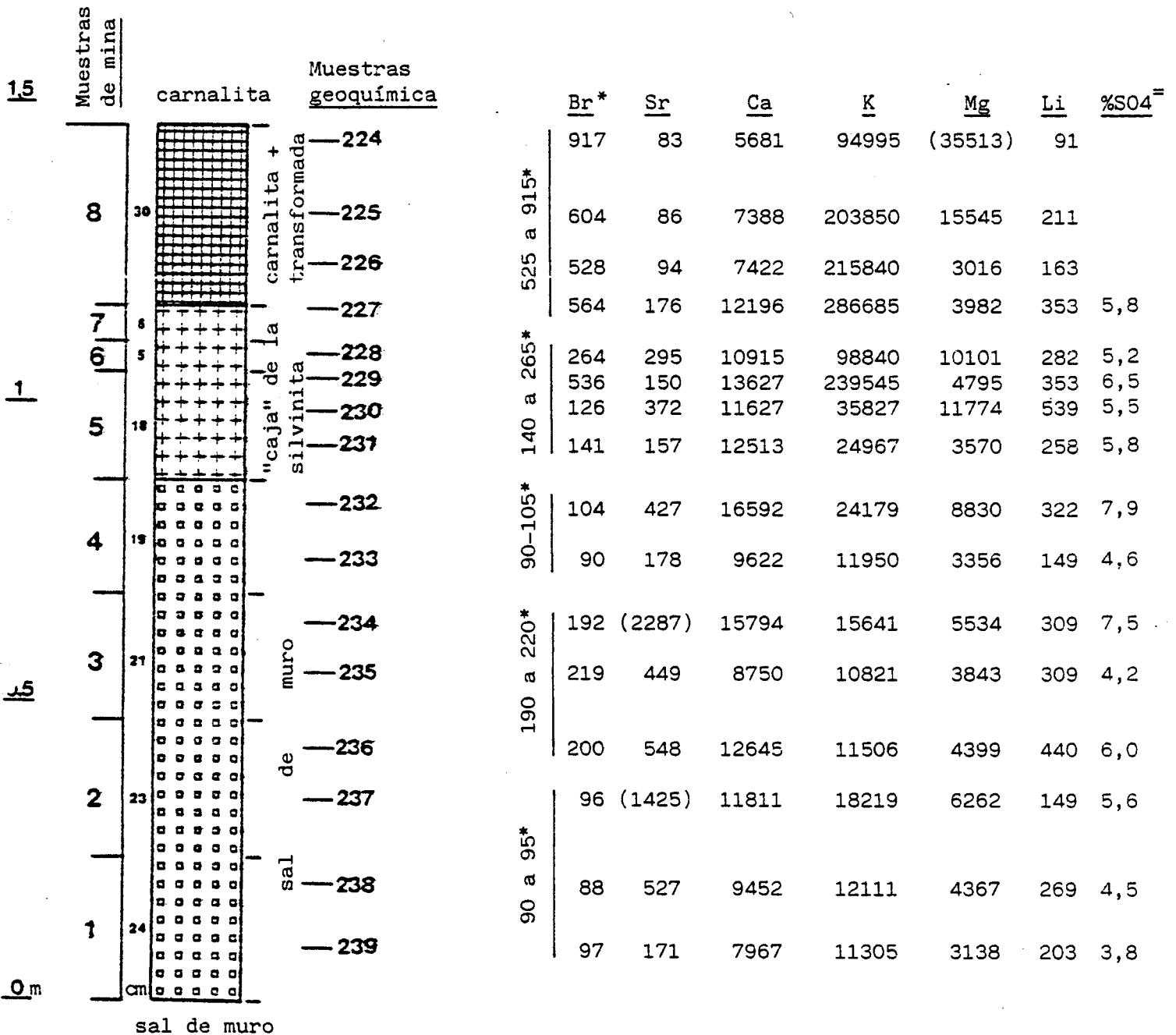


Fig. 20

(datos en ppm, Li en ppb)

COL. VI F024

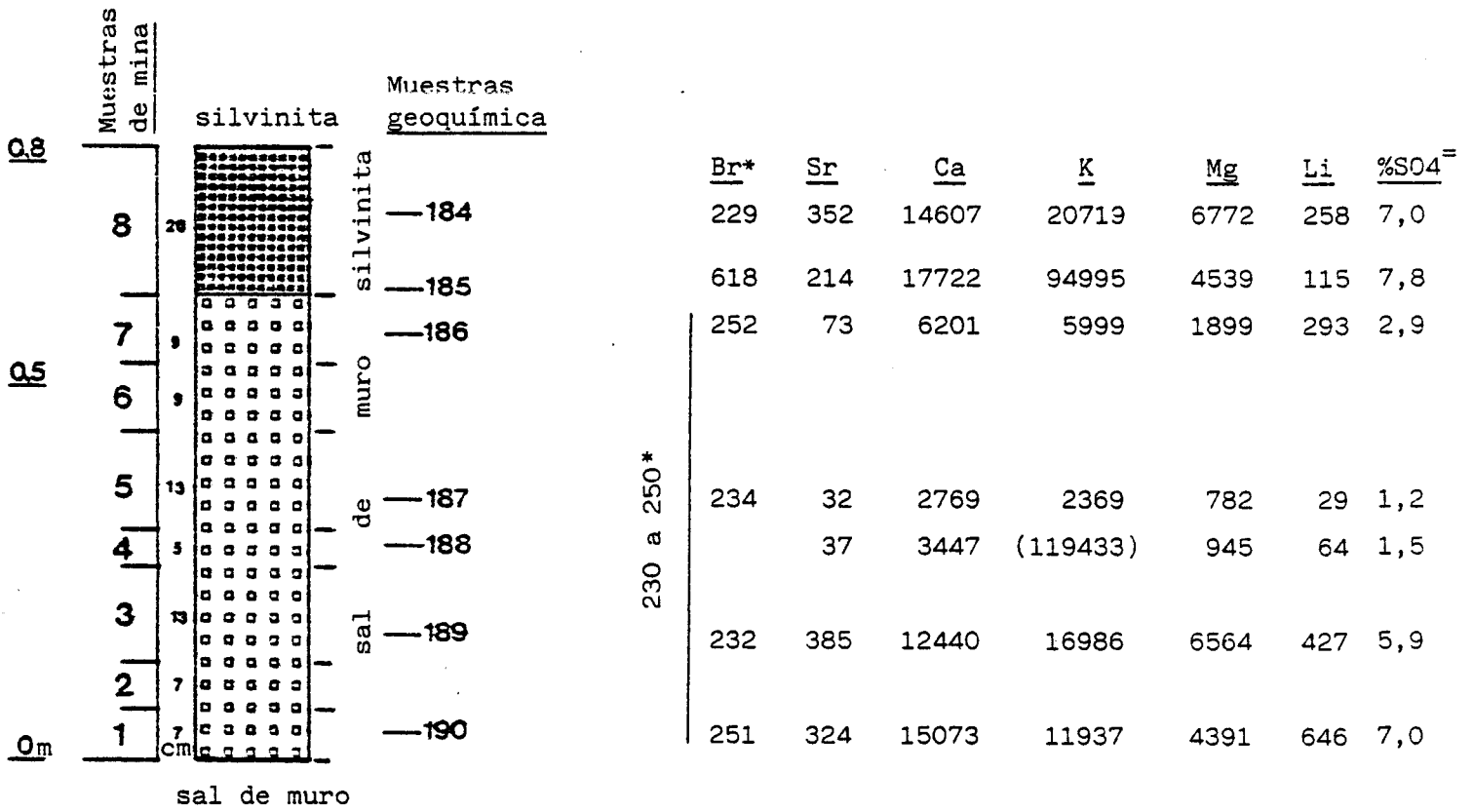
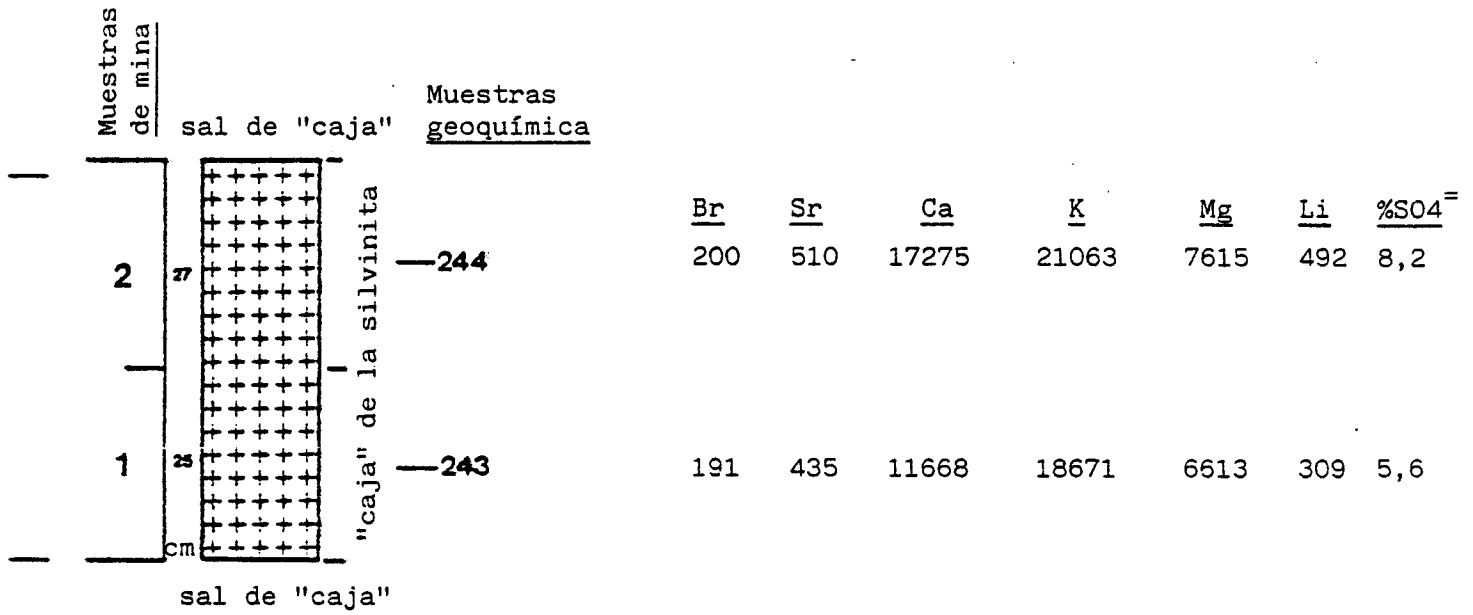


Fig. 21  
(datos en ppm, Li en ppb)

COL. VII FNO2A



COL. VIII FNO2A

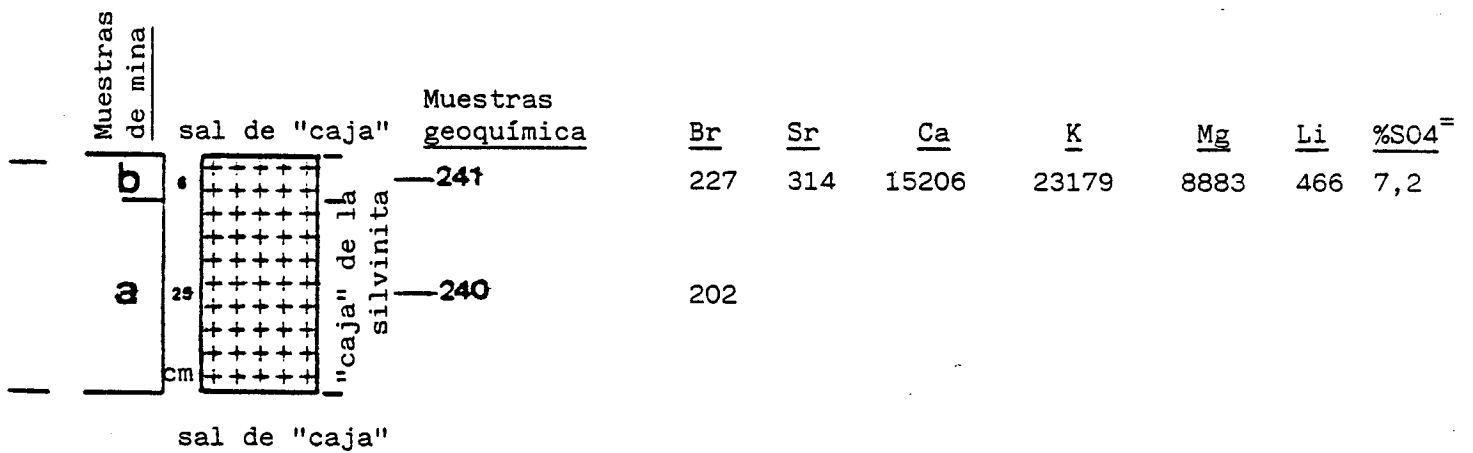


Fig. 22

(datos en ppm, Li en ppb)

## 2.2.2.- OBSERVACIONES

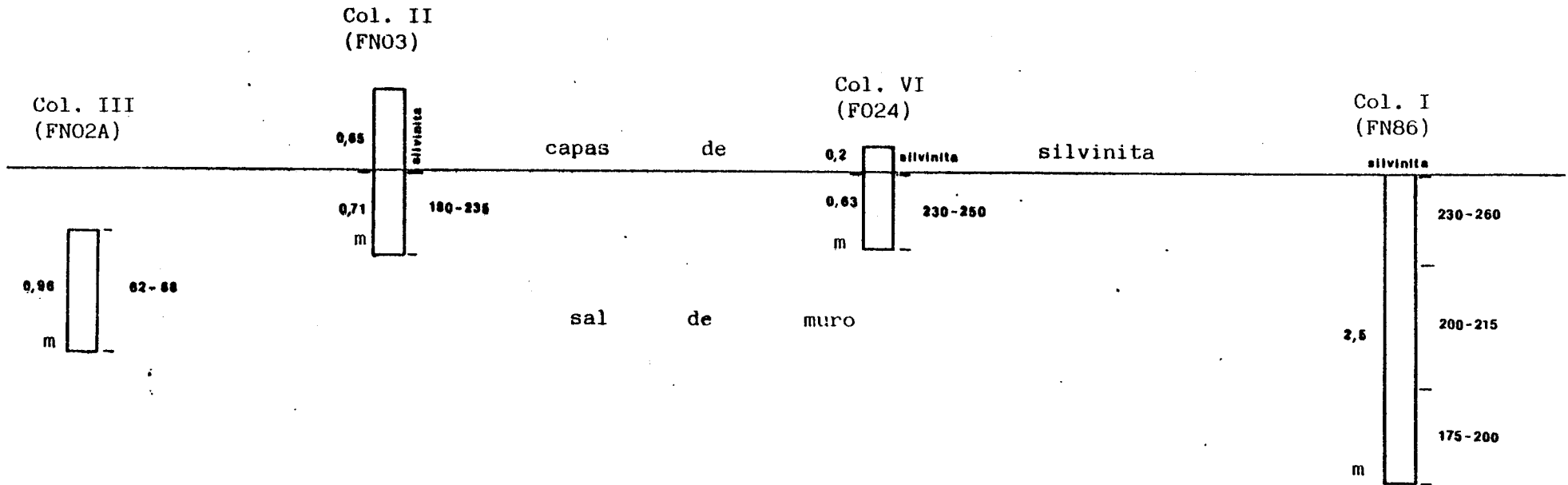
### 2.2.2.1.- Contenidos en bromo

Se han obtenido un total de 83 análisis de bromo de la Zona W de Undiano. Ver fig. 23, perfiles A y B.

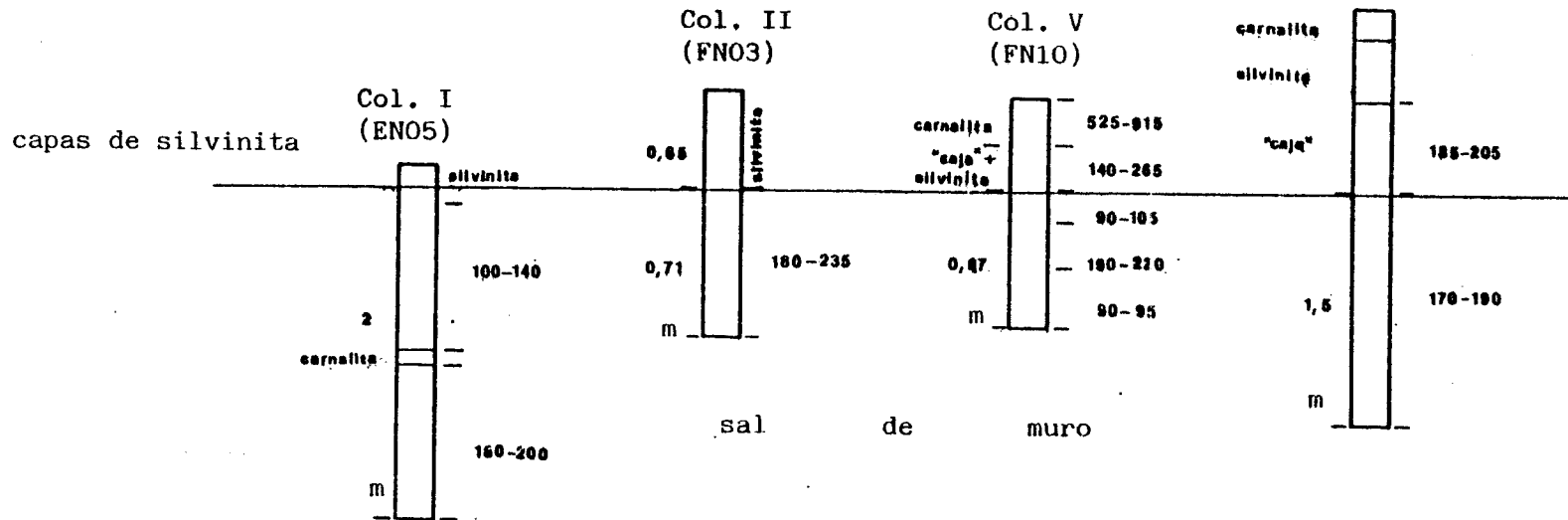
La columna VI, situada en plena explotación y en zona normal, presenta (fig. 21) valores similares a los que muestran las capas más altas de la sal de muro en las zonas normales de la galería FN 86 (columnas I y X de dicha galería), es decir un intervalo entre 230 y 250 ppm aproximadamente. Siguiendo una línea recta hacia el extremo W de la explotación, la columna II situada en la última roca al final del tajo GN 25, muestra un intervalo de valores de Br para el techo mismo de la sal de muro ligeramente inferior, entre 180 y 235, aproximadamente. En dicha columna los valores registrados para el paquete propiamente de silvinita, ya algo disminuido, son también sensiblemente inferiores que los que corresponden al paquete de silvinita en zona normal (tabla 1), próximos a 2000 ppm. Las columnas VIII y VII son muy reducidas y únicamente ofrecen algunos datos de la "caja de la silvinita", en zonas donde el paquete de silvinita ya está afectado. Finalmente, la columna III, situada en el extremo W de la galería FN 02A presenta una espectacular reducción de su contenido en bromo, a un estrecho intervalo comprendido entre los valores 62 y 68. Estos valores son los más bajos de todos los registrados en la presente investigación y están casi por debajo de los correspondientes a la sal de origen marino cuando precipita en los estadios aún de mínima concentración (próximo a 70 ppm). Ello indica claramente que existe en este borde W un efecto de disolución. La reducción brusca de los valores entre la columna II y la III se produce sólo en una distancia lateral de 350 m. Comparando este hecho con lo observado en la galería FN 86, en donde la reducción de valores de contenido en bromo es paulatina y nunca por debajo de los 120 ppm, parece dudoso para la progresiva pobreza en bromo de la galería FN 02A que ahora nos ocupa un origen pri-

PERFIL A

Fig. 23



PERFIL B



mario. En cualquier caso la hipótesis de un borde de disolución por aguas de bajo contenido en Br, probablemente meteoricas, es razonable.

La columna IV presenta también un empobrecimiento en bromo respecto a la de referencia (columna VI). La "caja" de la silvinita se sitúa en el intervalo entre 185 y 205 ppm, mientras que los 1,5 m superiores de sal de muro estudiada ofrecen un intervalo entre 170 y 190 ppm únicamente.

La columna V muestra también claramente efecto de disolución. El paquete de silvinita, muy reducido y con sal de "caja", presenta un intervalo de 140 a 265 ppm aproximadamente, mientras que para los escasos 90 cm de sal de muro muestreados los contenidos alternan en intervalos que oscilan desde el normal, de 190 a 220, hasta otro de valores entre 90-95 y 90-105. Esto sólo es explicable por influencia de disoluciones posteriores a la sedimentación salina.

Finalmente, el caso de la columna I es también ilustrativo. Presenta la "doble capa" en un punto donde aún se conserva silvinita. Un horizonte de 10 cm separa la doble capa de sal de muro. Ambas capas muestran intervalos diferentes, de 100-140 y 180-200 ppm de Br. Este último indica que la serie presenta un ligero empobrecimiento en bromo, similarmente a la columna IV y al intervalo "normal" de la V. El bajo valor del intervalo de la capa superior (100-140) indica que probablemente corresponda a la zona más basal del paquete de sal de muro, con valores similares a la zona desprovista de potasas de la galería FN 86.

En resumen, en este borde W de la zona de Undiano se pasa bruscamente de valores normales o ligeramente empobrecidos en bromo a otros extremadamente empobrecidos, siendo ello indicio de la actuación de disoluciones postsedimentarias.

#### 2.2.2.2.- Contenidos y mineralogía de los sulfatos

Los resultados de las 10 difracciones realizadas con muestras de columnas del borde W de la zona de Undiano indican claramente que la polihalita es el sulfato predominante en la sal de muro de esta zona (tabla 6), encontrándose la anhidrita sólo como indicios.

También existe una dominancia de tonos rosados en estas columnas, en posible relación con la dominancia de polihalita, tal como se ha indicado en la descripción petrográfica.

Se confirman respecto a la galería FN 86 la presencia de Kieserita en pequeñas cantidades o indicios, como acompañante sistemático de la polihalita.

La muestra 242 corresponde a una muestra suelta de la galería FN 02A(10), que es un tipo de hartsalz anhidrítico (brecha de sal rojiza, nodulosa, con cantos arcillosos de hasta 1 cm).

Se presentan también pequeñas cantidades de magnesita en algunas muestras, así como cuarzo.

Los contenidos en sulfato (tabla 7) son ligeramente superiores a los que corresponden a "caja" (próximos a 5,5%) o a sal de muro propiamente. Esta última da promedio de 5% de sulfato, lo cual es superior al de la sal de muro de la zona más potásica de la galería FN-86. Este enriquecimiento relativo en contenido en sulfato podría ser quizá un indicio de zona de disolución, de acuerdo con lo indicado también por los contenidos en bromo. Al mismo tiempo, la dominancia de polihalita, incluso de indicios de Kieserita, sugiere que se está en una zona del yacimiento que inicialmente era "normal", pero que posteriormente ha podido ser afectado por disoluciones.

La relación  $Sr/SO_4$  a lo largo del perfil A (Fig.15) indica un ligero aumento de valores. En el caso de la C.P. catalana se produce un claro aumento de esta relación en las zonas de esterilidad, y quizá aquí pueda aducirse, junto con los da-

Minerales

<u>Columna</u>	<u>nº muestra</u>	<u>Polihalita</u>	<u>Anhidrita</u>	<u>Kieserita</u>	<u>Cuarzo</u>	<u>Magnesita</u>	<u>Dolomita</u>	<u>Silvita</u>
Col. I	213	X	(x)	(x)				
" "	219	X		x	(x)			
Col. II	254	X		(x)				
" "	262	X		(x)	(x)			
Col. IV	269	X		(x)	(x)			
" "	280	X	(x)	x	(x)	x		
Col. V	235	X		(x)	(x)			
Col. VI	188							X
" "	186	X	(x)	(x)				
Col. VII	244	X	x	(x)	x	x		
	242		X		x	X		X

TABLA 6.- Resultados de la difracción de Rayos X de muestras de las columnas de la zona W de Undiano. Indicaciones:

X: abundante

x: poco abundante

(x): indicios



<u>Columna</u>	<u>Br</u>	<u>Sr</u>	<u>Ca</u>	<u>K</u>	<u>Mg</u>	<u>Li</u>	<u>%SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>	<u>Sr/SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>
VI (sal de muro)	242	203	9121	9323	3409	349	3,7	54,8
II (sal de muro)	208	548,7	14208,5	13981,7	4640,3	306,4	6,5	84,4
VIII ("caja" de silvinita)	214,5	(314)	(15206)	(23179)	(8883)	(466)	(7,2)	43,6
VII ("caja" de silvinita)	195,5	605	14471,5	19867	6731	483	6,9	87,6
III (sal de muro)	64,1	358	8015,3	8807,5	2872	142,8	3,8	94,2
I (sal de muro)	163,2	423,4	10795,7	11391,4	3750,8	155,8	5	84,7
V (sal de muro)	135,7	383,3	11579,1	14466,5	4966,1	268,7	5,5	69,7
" ("caja" de silvinita)	266,7	243,5	12170,5	99794,7	7560	358	5,7	42,7
IV (sal de muro)	182,2	397,1	8801,1	8678,0	3178,8	251,2	4,1	96,8
" ("caja" de silvinita)	208,5	389,2	11479,4	17227,4	5463,8	305,4	5,4	72

TABLA 7,- Contenidos promedio de las muestras en las columnas de la zona W de Undiano, en ppm (para el Li = ppb).

tos de bromo y el aumento del % de sulfato en esta zona W de Undiano, un origen de disolución.

### 2.2.2.3.- Contenido en Sr, Ca, K, Mg y Li

Igualmente que en la galería FN 86, los valores promedio del Sr elemento son altos, correspondiendo el mayor a la columna II para la sal de muro. Ya se ha comentado en el apartado anterior la relación  $Sr/SO_4$  (tabla 7).

El Ca presenta valores comparables a los de la sal de muro de la zona Sur (tesis de L. Rosell). Sin embargo el K y el Mg presentan valores bastante superiores, especialmente el K. Estos hechos están relacionados con una mayor abundancia de sulfatos en esta zona, pero con claro predominio de la polihalita, lo que justifica el aumento de K y de Mg y el mantenimiento de los contenidos en Ca.

Aumentos muy elevados de K podrían relacionarse con la inclusión de pequeñas proporciones de silvita, especialmente en tramos de la sal de muro próximos a la silvinita o a la "caja".

Los contenidos en Li son también bajos en relación con los de la tesis de L. Rosell.

### 2.3.- ZONAS DE ESTERILIDAD CON PRESENCIA DE SAL TRANSFORMADA EN LA PLATAFORMA DE ESPARZA

#### 2.3.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS

Esta zona ha sido visitada ampliamente, pero por diversas razones los muestreos se han limitado a la Galería General de Esparza e inmediaciones. A través de diversas galerías se intentó cortar algunas zonas que, según los mapas existentes, presentaban aureolas bien determinadas de esterilidad progresiva, pero estos intentos no siempre dieron los resultados apetecidos.

El objetivo del estudio en esta zona fue el caracterizar este tipo de esterilidades, muy relacionado con el desarrollo de silvinita transformada, aparentemente muy irregular en su geometría y no causadas por accidentes estructurales ni procesos deposicionales ni diagenéticos bien definidos. En toda esta área, situada relativamente a poca profundidad, la extensión de la transformada es muy considerable y parece envolver a los núcleos principales de esterilidad total (fig. 24).

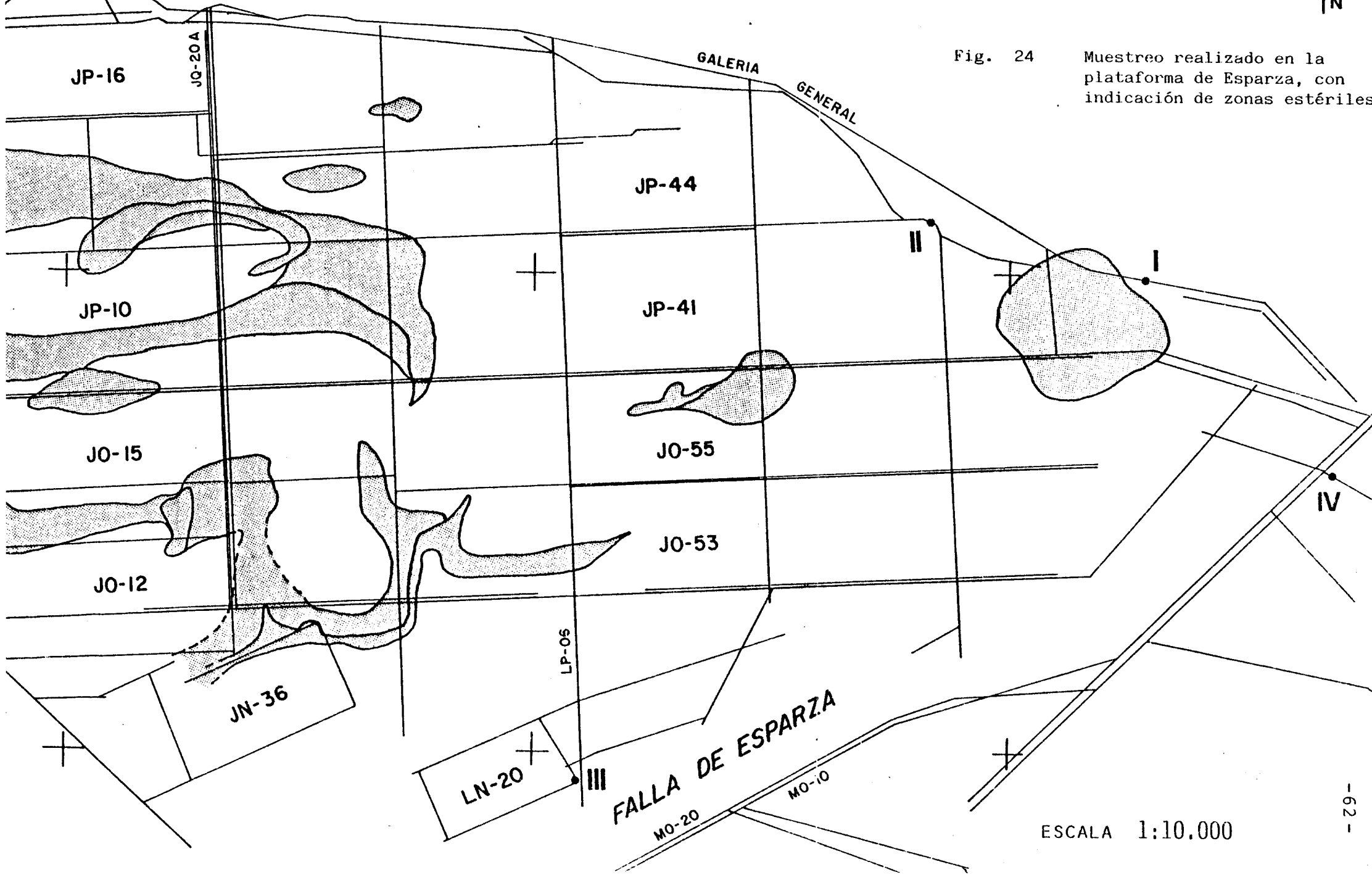
La observación en detalle del mapa de esterilidades de esta zona sugiere una traza general de las mismas según direcciones E-W principalmente y quizá según N-S, en menor grado. Las primeras pueden ser claramente debidas a fracturas o pliegues. Ya se ha indicado en el apartado dedicado a la galería FN 86 de Úndiano que en este sector existe una disposición general de pliegues tumbados de ejes E-W aproximadamente y vergentes hacia el S. En cualquier caso, una hipotética relación entre la geometría, a gran escala, de las esterilidades en la plataforma de Esparza y las direcciones estructurales citadas, está aún por definir. También se desconoce en qué grado los estériles de esta zona pueden ser anteriores a los accidentes estructurales hoy observables.

Se ha levantado dos columnas en la Galería General de Esparza (fig. 25). La columna I, muy próxima a una esterilidad total, se sitúa a unos 800 m al NW del embarque de Esparza, y muestra sal en zona de carnalita. La estructura de la capa está muy estirada ("boudinada") y la sal contiene gran cantidad de sulfatos. A un metro por debajo del intervalo muestreado existe una capa de carnalita.

La columna II se sitúa en la Galería General, en la proximidad al tajo piloto y a -30 m de la galería LP 02, en la curva. Está levantada sobre sal de muro, con aspecto muy brechoide y conteniendo gran cantidad de sulfatos. Un metro por encima del intervalo muestreado queda la "caja" del paquete silvinitico.



Fig. 24 Muestreo realizado en la plataforma de Esparza, con indicación de zonas estériles.



ESCALA 1:10.000

FECHA MUESTREO	GALERIA	POSICION EN LA GALERIA	COLUMNAS (nº)	POTENCIAS (metros)	MUESTRAS LITOLOGIAS	ANALISIS GEOQUIMICOS	PREPARACIONES PETROGRAFICAS	DIFRACCION RAYOS X
31-8-83	GENERAL	a 80 m embarque	I	0,51	3	5	2	1
31-8-83	GENERAL	a -30 m de LPO2, en curva	II	0,90	4	8	3	2
1-9-83	MO 64		IV	0,65	3	4	2	1
TOTALES :				2,06	10	17	7	4

TABLA 8.- Trabajos realizados con las muestras de la plataforma de Esparza

En muchos puntos de esta amplia zona (boide N de la plataforma de Esparza) la cantidad de sulfato en la sal es muy considerable, sin que, a priori, pueda asegurarse si es primario (hecho deposicional original) o bien secundario (debido a algún proceso posterior que lo haya concentrado). Estos sulfatos se disponen en forma tanto nodular, de hasta varios cm, como alentejonada o incluso de aspecto "deshilachado", pero no, en general, como horizontes plano-paralelos bien definidos ni de estructura interna laminada. Por otro lado, estas masas y nódulos de sulfatos pueden presentarse sobre todos los términos salinos: sal de muro, capas de silvinita, silvinita transformada e incluso localmente la carnalita.

Como complemento se ha levantado una tercera columna, la columna IV, de sólo 0,65 m de potencia, en la galería MO-64, en el acceso a la galería NP-12. Se trata de un muestreo de sal de muro con bastante sulfato y con estructuras de cristales de sal en vertical. En las capas superiores, que corresponden a "caja" del paquete silvinítico, hay también gran cantidad de nódulos de sulfatos. La silvinita transformada queda a tres metros por encima del techo del intervalo muestreado. En esta zona es muy abundante la silvinita transformada y además las capas potásicas se pierden repetidas veces.

Los detalles de las columnas muestreadas se presentan en la tabla 8.

Las descripciones petrográficas de las columnas son las siguientes:

Columna I: La sal presenta (fig. 25) tono general gris y bandas o ciclos de grosor entre 8 y 10 cm. Alternan bandas de insolubles (arcillas y sulfatos) ricas en grandes cristales hopper de halita, con bandas más o menos transparentes de grano más fino y que incluso muestran una alternancia interna más delicada de tonalidades grises. Los niveles (diastemas) arcillosos alcanzan 1-2 cm y los de sulfato llegan a ser perfectamente laminados, aunque lo más normal es que se disponga en forma de matriz abundante entre los grandes cristales hopper

de halita de las bandas grises. Una muestra (nº 194) analizada por difracción de Rayos X indica el carácter anhidrítico del sulfato acompañante a la sal.

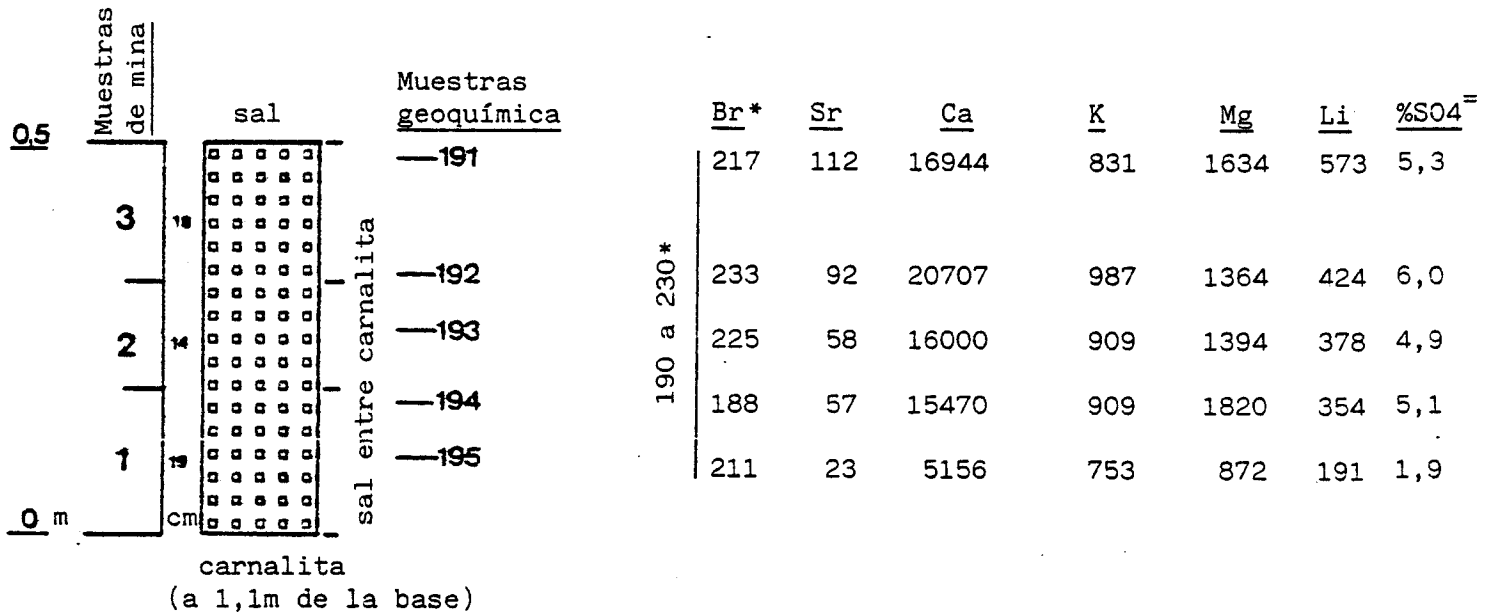
Columna II: La sal presenta (fig. 25) tono general gris, y un aspecto muy distorsionado y recristalizado. Por efectos tectónicos se ha perdido el bandeamiento original, aunque se reconocen fragmentos de bandas oscuras ricas en arcillas y sulfatos que albergan grandes cristales (1-2 cm) hopper de sal, incluso con fábricas chevron de varios cm. El resto es sal algo más transparente, aunque también presenta cristales hopper de sal y abundantes masas de sulfato, además de grandes cristales muy transparentes de recristalización. Existe una esquistosidad acentuada de la sal alrededor de los bloques de sal de cristales hopper/chevron ricos en insolubles. Las muestras analizadas por difracción de Rayos X (n<sup>os</sup> 201 y 206) indican la dominancia anhidrítica sobre la polihalítica, para los sulfatos que acompañan a la sal.

Columna IV: La sal presenta (fig. 26) un tono gris general y un bandeado entre sal más transparente y sal más turbia, aunque los ciclos o bandas están, en realidad, mal marcados. Las bandas más turbias u oscuras son más arcillosas, ricas en sulfatos y presentan grandes cristales hopper de halita que destacan entre una matriz de insolubles. En las bandas más transparentes hay también sulfatos dispersos, aunque sin dar masas que resalten, y localmente se presentan grandes tamaños por recristalización de la sal.

Puntualmente se marcan tintes rosados en la sal, en estrecha asociación a masas de sulfatos de tono rosado.

Una muestra (nº 197) analizada por difracción de Rayos X indica el carácter anhidrítico dominante de los sulfatos que acompañan la sal.

COL. I Galería General



COL. II Galería General

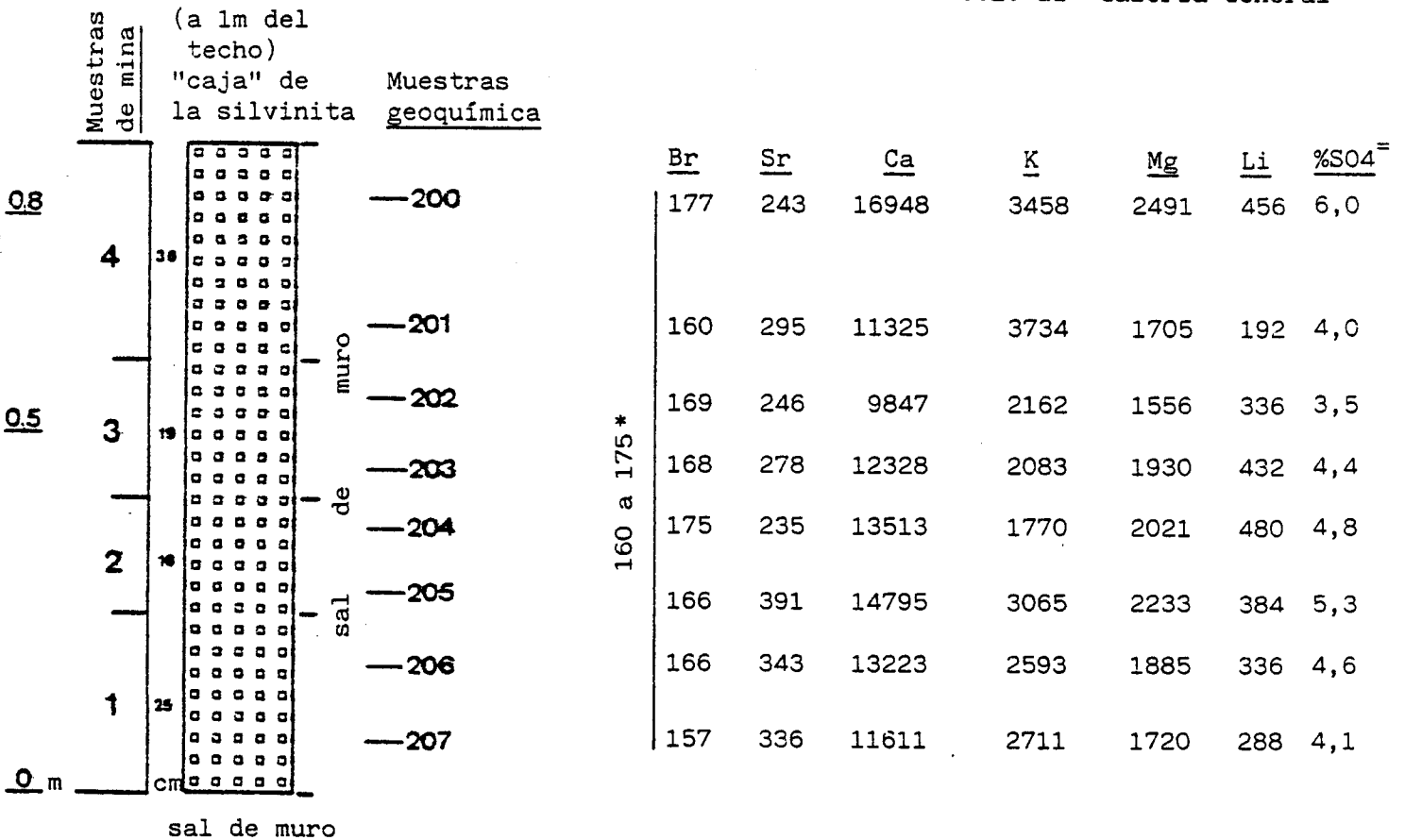


Fig. 25

(datos en ppm, Li en ppb)



COL. III LP06

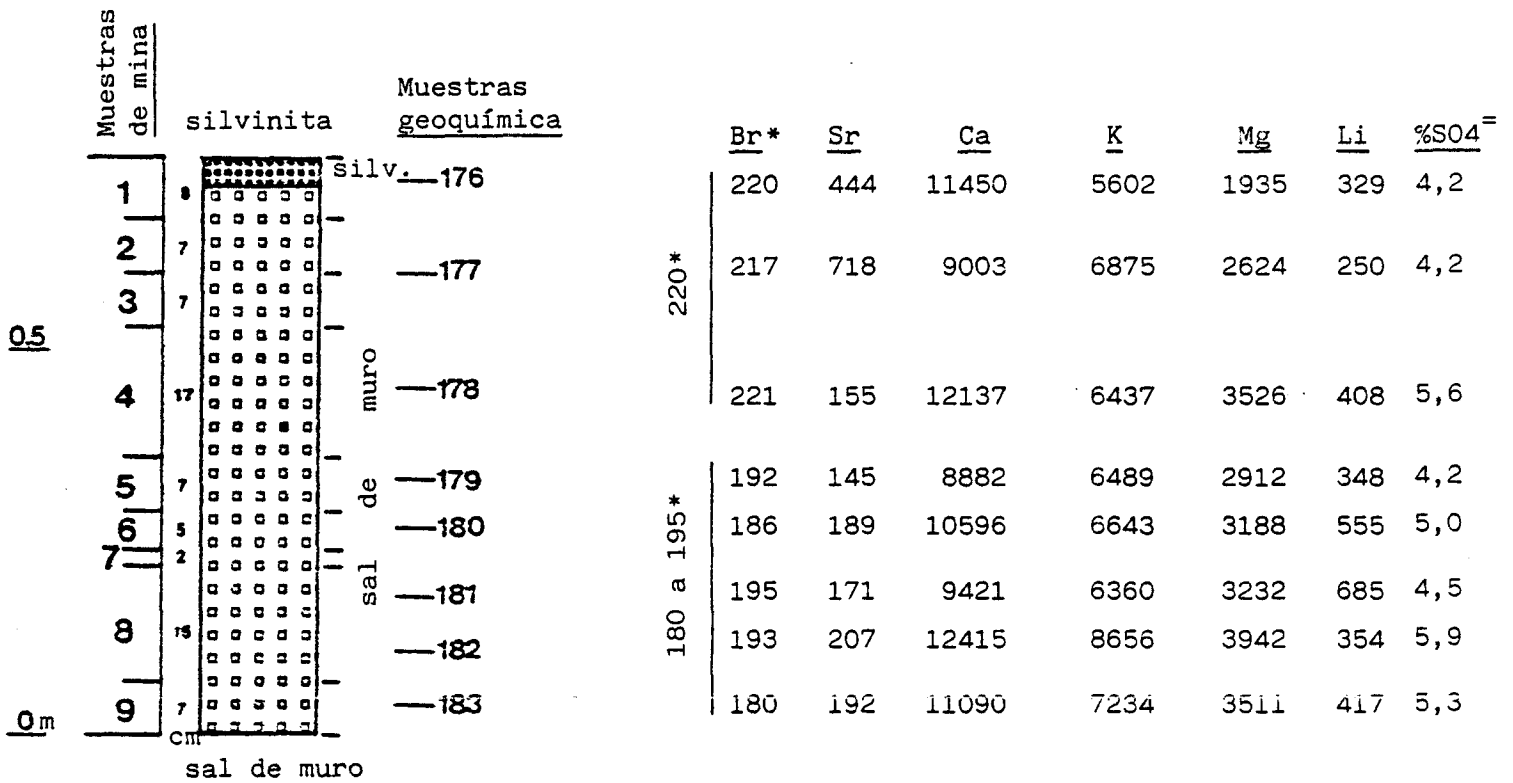


Fig. 27

COL. IV MO64

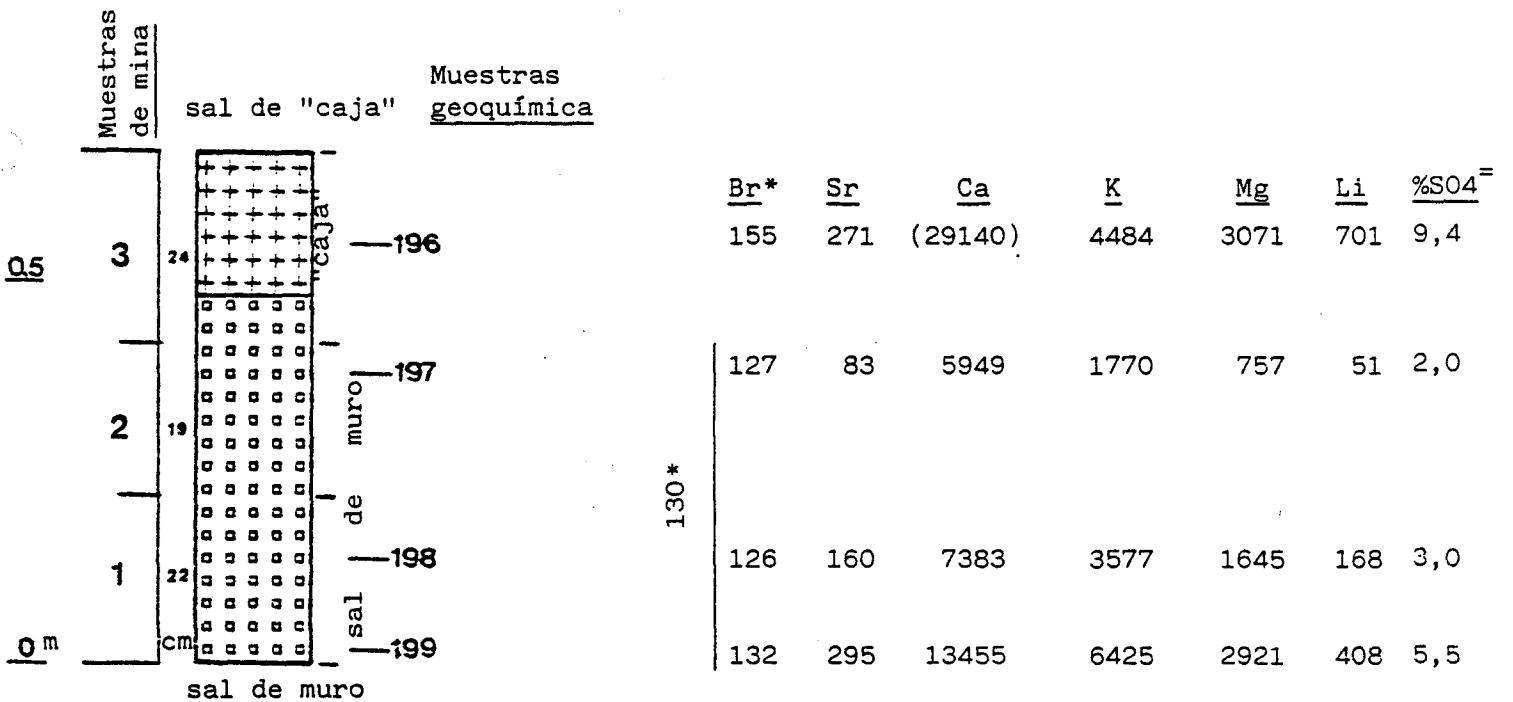


Fig. 26

(datos en ppm, Li en ppb)

### 2.3.2.- OBSERVACIONES

#### 2.3.2.1.- Contenidos en bromo

Se ha realizado un total de 17 análisis de bromo sobre muestras de las tres columnas levantadas en esta zona de la plataforma de Esparza afectada por amplias esterilidades.

La columna I (fig. 25), situada en zona de transformada, corresponde a sales entre capas de carnalita y presenta un intervalo entre 190 y 230 ppm. Estos valores para halitas entre carnalitas son francamente inferiores al promedio, próximo a 280 ppm indicado en la tabla 1 y que corresponde a las zonas normales del yacimiento. Esta columna es la única sobre esta litología estudiada para la presente investigación.

La columna II (fig. 25) presenta un intervalo aproximado entre 160 y 175 ppm, de valores crecientes hacia el techo. Dado que hasta la "caja" del paquete de silvinita queda todavía un metro de sal de muro que no ha podido ser muestreada, es posible que los contenidos en bromo sigan creciendo y el empobrecimiento de la sal de muro en dicho elemento no sea muy importante, aunque sin duda es significativo (compárese con los valores de la columna I de la galería FN 86, por ejemplo).

La columna IV presenta un acusado empobrecimiento en bromo, con valores próximos a sólo 130 ppm justo por debajo del paquete "caja" de la silvinita. De todas las columnas estudiadas que presentan "caja", ésta (junto con la columna V de la FN 10, fig. 23), es la que presenta, inmediatamente por debajo de la misma, sal de muro más empobrecida en bromo.

En conjunto pues, los contenidos en bromo parecen indicar procesos de disolución que han afectado al yacimiento.

#### 2.3.2.2.- Contenidos y mineralogía de los sulfatos

La tabla 9 muestra los resultados de las 4 difracción de Rayos X con muestras de estas tres columnas. Son de desta-

<u>Columna</u>	<u>nº muestra</u>	<u>Polihalita</u>	<u>Anhidrita</u>	<u>Kieserita</u>	<u>Cuarzo</u>	<u>Magnesita</u>	<u>Dolomita</u>
I	194		X		X		X
II	201	X	X		(x)	(x)	
II	206	x	X		x	(x)	
IV	197	(x)	X				

TABLA 9.- Resultados de las difracciones de Rayos X de muestras correspondientes a las columnas de la plataforma de Esparza. Simbología: X = abundante; x = poco abundante; (x) = indicios.

car los contenidos altos en anhidrita, especialmente en las columnas I y II de la Galería General. En concordancia con ello los tonos de la sal son gris y no rojos. Otro tanto ocurre con la columna IV.

Esta abundancia de anhidrita y ausencia de kieserita era de esperar en la columna I, muestreada en sales entre carnalita, en donde el sulfato presente es sólo anhidrita (véase apartado 1.3.1.1.) y se presenta también dolomita normalmente. Para las columnas II y IV la polihalita está presente, aunque subordinada a la anhidrita.

El contenido en  $\text{SO}_4^{=}$  de las muestras se corresponde con el de una zona potásica originalmente normal, como por ejemplo la parte N de la galería FN 86, cuya media era de 4.56 %.

Estos hechos parecen indicar un origen de disolución para esta zona lo cual es ya conocido por la amplia distribución de sal transformada y de estériles.

Respecto a la relación  $\text{Sr}/\text{SO}_4^{=}$ , los valores (tabla 10) son relativamente bajos, aunque el número de muestras de sal de muro estudiadas es muy limitado. Destaca el mínimo valor correspondiente a las sales de techo.

#### 2.3.2.3.- Contenidos en Sr, Ca, Mg, K y Li

El Sr es comparable al valor obtenido en la tesis de L. Rosell. Los valores de Ca, K, Mg están en relación con la presencia tanto de anhidrita como de polihalita. El Li presenta valores muy próximos a los máximos de los encontrados en otras zonas. Véase los contenidos promedio en la tabla 10.

<u>Galeria</u>	<u>Columna</u>	<u>Br</u>	<u>Sr</u>	<u>Ca</u>	<u>K</u>	<u>Mg</u>	<u>Li</u>	<u>%SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>	<u>Sr/SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>
General	I (sal entre carnalita)	214,8	68,4	14855,4	877,8	1416,8	384	4,6	14,8
General	II (sal de muro)	167,2	295,8	12948,7	2697	1942,6	363	4,5	65,7
MO-64	IV (sal de muro)	128,3	179,3	8929	3924	1774,3	209	3,5	51,2

TABLA 10.- Contenidos promedio, por columnas, de los elementos analizados en la plataforma de Esparza.

## 2.4.- ZONA PROXIMA A LA FALLA DE ESPARZA

### 2.4.1.- EXPOSICION DE TRABAJOS Y RESULTADOS

El objetivo de estos trabajos ha sido únicamente el de disponer de informaciones obtenidas en un punto con seguridad próximo a una de las grandes fallas que atraviesan el yacimiento. Se supone que las características de estas muestras están influenciadas por dicha falla, ya sea en su acción mecánica (estiramiento, fracturación, etc.) o por disolución (circulación de aguas a través de ella).

Se ha muestreado una única columna, la columna III, de sólo 0,75 m de potencia, en la galería LP-06 en la tolva al pie del tajo LN 20 (fig. 24). Este punto se sitúa a corta distancia de la falla de Esparza, a unos 30 m. La sal de muro inmediatamente por debajo de la capa potásica está allí muy brechificada. La muestra superior de la columna incluso puede tener algo de silvinita.

La descripción petrográfica de la columna es la siguiente:

Columna III: La sal presenta (fig. 27) tonos grises y rosados y bandas entre 2 y 6 cm de grosor. Existen abundantes sulfatos en masas deshilachadas, de hasta 1 cm. de tono rosado, que parecen imponer este mismo tono a las bandas de sal. El conjunto muestra una cierta esquistosidad.

### 2.4.2.- OBSERVACIONES

Se han realizado 8 análisis de bromo de muestras de esta columna (fig. 27). La sal de muro estudiada, inmediatamente por debajo del paquete de silvinita, tiene contenidos en bromo altos, que pueden considerarse normales: un intervalo al techo, próximo a 220 ppm y otro inferior entre 180 y 195. Ello indica que en esta zona la acción mecánica inducida por la proximidad de la falla no se ha acompañado significativamente por acción de disolución por aguas de percolación a través de la zona fallada.

Las dos muestras (n<sup>os</sup> 177 y 182) estudiadas por difracción de Rayos X indican la presencia de polihalita y en menor proporción anhidrita, además de indicios de kieserita y cuarzo:

<u>Columna</u>	<u>nº Muestra</u>	<u>Polihalita</u>	<u>Anhidrita</u>	<u>Kieserita</u>	<u>Cuarzo</u>	<u>Silvita</u>	<u>Magnesita</u>
III	177	x	x	(x)	(x)		
III	182	x	(x)	(x)	(x)		

x = abundante

(x) = indicios

Ello indica una mineralogía corriente para la sal de muro de la zona potásica. El contenido en sulfatos es alto, de unos 5,5%, aunque este valor está presente en otras zonas. Los contenidos promedios en otros elementos son (columna III, de la galería LP 06):

<u>Br</u>	<u>Sr</u>	<u>Ca</u>	<u>K</u>	<u>Mg</u>	<u>Li</u>	<u>%SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>	<u>Sr/SO<sub>4</sub><sup>=</sup></u>
197,7	253,8	10506,2	6956,2	3276,4	431	5,5	46,1

El valor de la relación Sr/SO<sub>4</sub><sup>=</sup> es bajo, indicando ello posición de centro de cubeta potásica. Los valores de Ca, K y Mg están de acuerdo con la presencia tanto de anhidrita como de polihalita. El valor de Li (en ppb) es el mayor de todas las medias calculadas.

En resumen, ningún proceso especial parece afectar a esta columna relativamente cercana a la falla de Esparza. Ello, no obstante, los mínimos datos disponibles son insuficientes para valorar el efecto real de las grandes fallas (tipo Esparza, Beriain, etc) sobre el yacimiento, desde el punto de vista de modificación petrológica y geoquímica.

## 2.5.- SONDEO DE UTERGA

### 2.5.1.- DESCRIPCION DE LOS TESTIGOS DE SAL

Este sondeo fue visitado por los autores de la presente Memoria el 17 de diciembre de 1983, realizando una descripción de los testigos salinos recuperados y un muestreo representativo, tal como se indica en la fig. 28. De estas muestras únicamente se ha hecho análisis de bromo de la sal, por motivos de premura de tiempo, y algunas difracciones de Rayos X.

Los testigos recuperados cortan primero la sal de techo, entre las profundidades 1412 y 1421,5, aunque según las diagramas del sondeo la formación salina se inicia ya a los 1395 m. Falta luego testigo continuo entre esta profundidad y los 1434 m, conservándose sólo cuttings. Entre 1434 y 1443 corta sal de muro y a continuación la anhidrita basal.

La descripción petrográfica de estos testigos es la que sigue, de techo a muro.

#### Sales de techo (entre 1421 y 1421,5 m. Testigos 1, 2 y 3).

Los testigos muestran una alternancia de estos tres términos: a) lutitas versicolores (margas fajeadas) grises y rojo oscuras laminadas y con ripples; b) bandas de anhidrita laminada, relativamente escasas, y c) términos salinos.

La sal es de color gris o anaranjado, con cristales hopper y alguna zona transparente. Intercala horizontes simétricos de anhidrita y lutita roja, muy ondulados. La potencia máxima del conjunto halita-anhidrita limitado por lutitas es de unos 15 cms. Las bandas de sal suelen tener anhidrita intersticial e igualmente en las margas se presentan cristales cúbicos de sal.

#### Testigo 1

Caja 1412-1413: 7 cms sal; 17 cms. lutita; 11 cm sal; 8 cm lutita; 11 cm sal; 9 cm. lutita; 19 cm sal; 15 cm lutita (base).



Testigo 2

Caja 1413-1414: 4 cms lutita; 4 cm sal; 5 cm. lutita; 10 cm. sal; 29 cm lutita con bandas de anhídrita; 18 cm sal; 10 cm. lutita; 9 cm sal; 4 cm. lutita (base)

Caja 1414-1415: 31 cms lutita con ripples y algo de anhídrita laminada; 31 cm sal; 6 cm lutita; 11 cm. sal; 10 cm lutita (base)

Caja 1415-1416: 5 cm lutita; 4 cm sal; 7 cm lutita; 8 cm sal; 13 cm lutita; 3 cm sal; 3 cm lutita; 2 cm sal; 17 cm lutita; 25 cm sal; 9 cm lutita (base)

Caja 1416-1416,7 (80 cm de testigo): 5 cm lutita; 3 cm sal; 20 cm lutita con alternancias de anhídrita; 4 cm sal; 6 cm lutita; 8 cm sal; 10 cm lutita; 26 cm sal dominante (base)

Testigo 3

Caja 1416,7-1416,7: 5 cm sal; 10 cm lutita; 4 cm lutita con anhídrita; 8 cm lutita; 3 cm sal anaranjada; 22 cm lutita; 5 cm sal; 3 cm lutita; 10 cm sal; 14 cm lutita; 10 cm sal (base)

Caja 1417,7-1418,7: 9 cm sal; 7 cm lutita; 5 cm sal; 15 cm lutita con anhídrita al techo; 8 cm sal; 21 cm lutita, con tres intercalaciones centimétricas de anhídrita; 13 cm sal; 12 cm lutita; 6 cm sal (base)

Caja 1418,7-1419,7 (unos 92 cm de testigo): 8 cm sal; 29 cm lutita, con anhídrita laminada de 1 cm al centro; 12 cm sal; 6 cm lutita; 10 cm sal; 6 cm lutita; 10 cm sal; 6 cm lutita; 5 cm sal (base).

Caja 1419,7-1420,70: 36 cm lutita; 31 cm sal; 10 cm lutita; 3 cm sal; 7 cm lutita; 20 cm sal (base)

Caja 1420,7-1421 (unos 70 cm de testigo): 15 cm lutita; 35 cm sal; 20 cm lutita (base)

Caja 1421-1421,5: 14 cm lutita; 26 cm sal dominante; 10 cm lutita (base)

Sal de muro (entre 1434 y 1444; testigos 4 y 5)

Testigo 4

Caja 1434-1434,9: sal en bandas muy blancas, en grosores de 8 a 10 cm.

- Caja 1434,9-1436: sal bien bandeada y muy blanca, rica en hoppers. Las bandas tienen entre 10 y 12 cms, con diastemas difusos entre 2 y 3 cm de grosor.
- Caja 1436-1437: sal con bandas con tramo difuso gris muy potente, de hasta 15 cm
- Caja 1437-1438: sal bandeada con hoppers, habiendo bandas muy blancas. En las zonas difusas los cristales hoppers son mayores
- Caja 1438-1439: bandas bien marcadas con cristales ocasionalmente superiores a 1 cm. Algunas bandas son casi transparentes, pero existen zonas con acumulación de sulfato (anhidrita)
- Caja 1439-1440 (unos 73 cms de testigo): sal bandeada y tectonizada, con fragmentos de anhidrita. A 17 cm del techo hay un nivel rico en anhidrita y con grandes cristales transparentes de sal
- Caja 1440-1441: la mitad superior poco bandeada y la inferior con bandeamiento relativamente bueno de unos 12 cms de potencia
- Caja 1441-1442: sal tectonizada. A 36 cm de techo hay bloques sueltos de anhidrita centimétrica
- Caja 1442-1443,05: sal de muro tectonizada, con pérdida de bandeamiento, con visible esquistosidad y grano fino

#### Testigo 5

- Caja 1443,05-1444: sal con bandas de 10-11 cm, buzando entre 10 y 35°. Hay bandas oscuras, de 2-3 cms. Ambas tienen muchos hoppers, e incluso en las grises oscuras chevrons de 1-2 cm. En los 35 cm superiores el bandeamiento es menos potente y las zonas difusas gris más gruesas.
- Caja 1444-1445: En los 31 cm superiores es sal bandeada, con 10 cm de ciclo, alternando bandas claras y oscuras difusas. Los 58 cm basales tienen anhidrita, con una pasada margosa de 0,5 cm a unos 12 cm de la base. El aspecto de la anhidrita es noduloso-laminado y estromatolítico hacia el techo
- Caja 1445-1446: Los 35 cm superiores son de anhidrita, que es más masiva hacia su base y más nodulosa hacia su techo. El resto es marga gris, que intercala un nivel centimé-

trico laminar anhidrítico a 25 cm de la base.

Caja 1446-1447: marga gris, con algún horizonte nodular centimétrico al centro

Caja 1447-1447,5 (unos 100 cms de testigo): marga gris con laminación estromatolítica. En el centro nódulos de anhidrita (mosaico) de unos 10 cm, en un tramo noduloso de hasta 20 cm de potencia

Caja 1447,5-1448 (unos 95 cm de testigo): margas grises con nódulos de anhidrita. A 35 cm de la base hay nódulos de hasta 5 cm.

Caja 1448-1449,10: Margas grises laminadas, sin anhidrita.

#### 2.5.2.- OBSERVACIONES

La figura 28 muestra los resultados de los 13 análisis de bromo realizados con las muestras del sondeo de Uterga, y que pertenecen a dos tipos de formación salina: las sales de techo y la sal de muro.

Los valores de las sales de techo oscilan entre 170 y 206, con una media de 192,5 ppm Br. Esta media es francamente más baja que la del yacimiento normal, de 250,0 (Tabla 1). Se observa además que los valores decrecen hacia arriba, indicando así la dilución progresiva hacia el techo de esta unidad salina.

Los valores de la sal de muro oscilan entre 93 y 113, con una media de 90,8 ppm Br, y presentan valores relativamente crecientes hacia arriba. Este valor promedio es francamente bajo, muy inferior incluso al de la columna VI, la situada más al S en la galería FN-86 (130,8 ppm). Es significativo el valor de la sal directamente en contacto con la anhidrita basal 63 ppm, que corresponde justamente al mínimo de la sal marina en el inicio de su precipitación. Todo indica pues que la sal de muro del sondeo de Uterga es la más alejada de la zona potásica de las registradas en el presente estudio.

Los resultados de difracción de Rayos X de las 4 muestras de sal de muro seleccionadas del sondeo Uterga (fig.28) revelan únicamente la presencia de anhidrita como sulfato asociado a la halita, y en muy baja proporción siempre.

Sondeo UTERGA

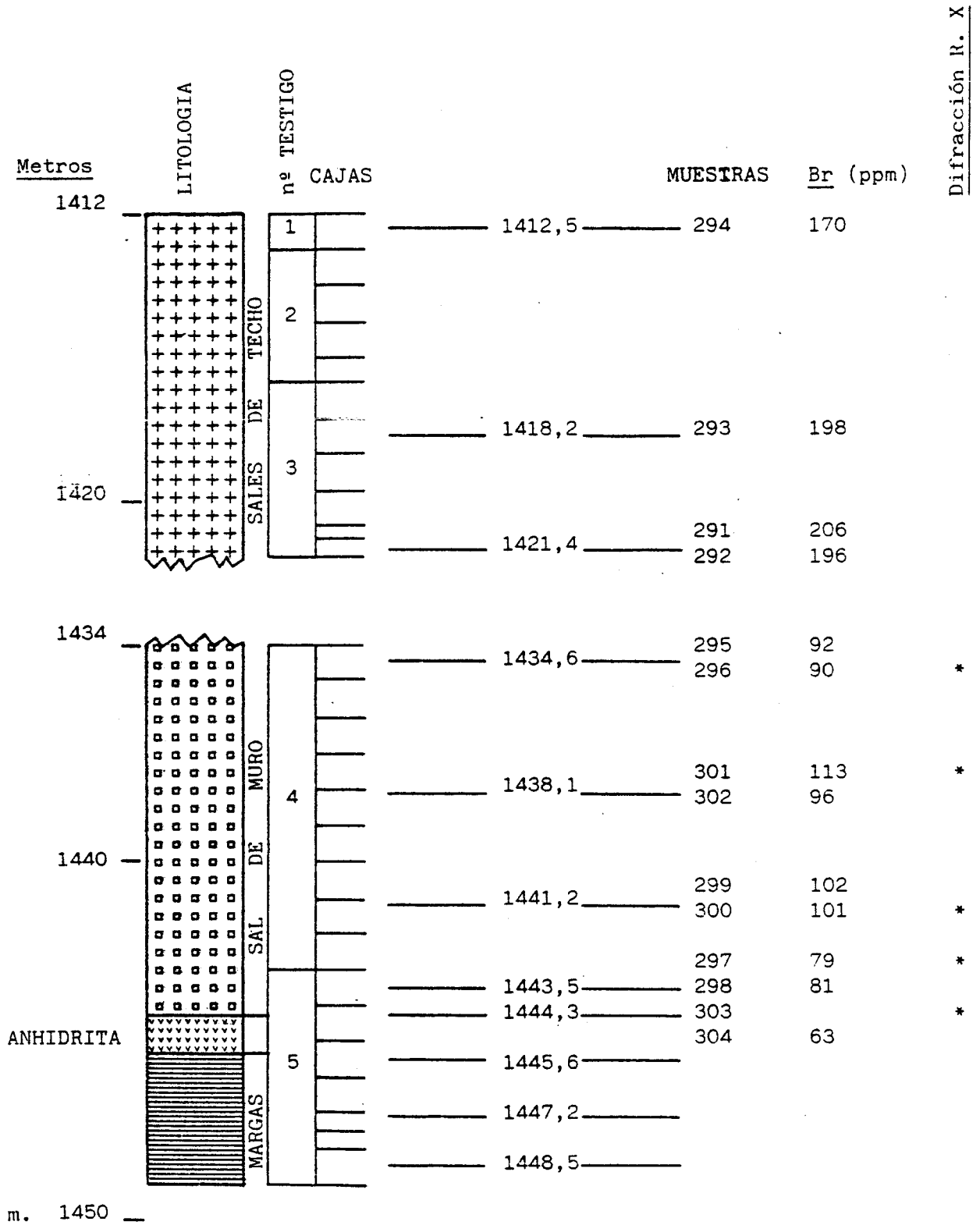


Fig. 28 Muestreo del sondeo de UTERGA

III. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### 3.1.- LA EXPERIENCIA DE LA CUENCA POTASICA CATALANA

#### 3.1.1.- SINTESIS DE LOS RESULTADOS PETROLOGICOS Y GEOQUIMICOS DE LA TESIS DOCTORAL DE J.J. PUEYO MUR (Mayo, 1975).

La formación salina de Cardona que incluye los materiales evaporíticos marinos de la cuenca potásica catalana, está constituida por un macrociclo evaporítico caracterizado por representar un único evento de concentración en sales con una larga fase de aumento de la misma, seguida de una fase relativamente corta de dilución de las salmueras. En detalle permite distinguir submacrociclos irregulares, ciclos rítmicos centimétricos y microciclos o estructuras rítmicas alternantes internas a los ciclos.

Los submacrociclos se pueden apreciar especialmente donde hay cambios de litología, como alternancias halita/silvita o halita/carnalita. Son de naturaleza irregular y corresponde a oscilaciones o pulsaciones internas a la envolvente general del macrociclo.

Los ciclos evaporíticos rítmicos presentan una gran constancia en su aspecto, especialmente en la halita bandeada de la parte superior del yacimiento, y están constituidos por láminas centimétricas de sal separadas por láminas milimétricas arcillosas que pueden estar mejor o peor definidas. Estos ciclos han sido interpretados frecuentemente como de naturaleza estacional.

Los microciclos internos a los ciclos, son milimétricos a centimétricos y están constituidos por láminas de sal afectada por granoclasificación causada por pequeñas pulsaciones de sobresaturación.

#### A) Composición litológica del macrociclo

Su potencia varía según la posición dentro de la cubeta: casi 300 m en las zonas más centrales no afectadas por acci-

dentes tectónicos, y 200 m (o incluso menos) hacia las zonas más marginales. El grueso de la formación, contrariamente a lo que sucede en la C.P. Navarra, está constituido por la sal de muro, con 130 a 200 m. En su parte inferior hay un nivel anhidrítico laminado de unos pocos metros, y por encima de la misma se pasa a la zona potásica. Esta está constituida al igual que en la C.P. Navarra, por una zona inferior con silvita (5 a 8 m) y otra superior con carnalita (15 a 20 m). Por encima de la misma se sitúan las denominadas sales de techo con espesores normalmente inferiores a los de la C.P. Navarra.

En la C.P. Catalana se pueden distinguir las siguientes litofacies principales:

1) Halita bandeada ("banded halite" DELLWIG, 1955): Es la variedad petrológica más abundante en el yacimiento. Se caracteriza por estar formada por ciclos que constan de dos unidades: una inferior, arcilloso-anhidrítica, de espesor milimétrico, y otra superior halítica con granoclasificación directa o inversa y que consta de dos elementos alternantes: niveles de halita con inclusiones bifásicas ("hopper crystals"; "cloudy halite", DELLWIG) y niveles de halita hialina ("clear halite", DELLWIG).

En los yacimientos catalanes (al igual que en los navarros) las láminas arcilloso-anhidríticas son difusas en la sal de muro y nítidas en la sal bandeada de la zona superior del yacimiento. Tienen de 1 a 2 mm de espesor, mientras que las láminas de sal presentan en promedio unos 4 cm.

En general, esta litofacies presenta cierto grado de recristalización, muy escaso en la halita de la zona potásica y pudiendo ser importante en zonas afectadas por procesos diapíricos (Cardona, principalmente). Es también muy frecuente la existencia de esquistosidades bien marcadas.

Salvo por su potencia, muy superior en la C.P. Catalana, las características petrológicas, geoquímicas y mineralógicas

de la sal de muro son prácticamente idénticas en ambas cuencas.

2) Silvinita bandeada: Formada por ciclos similares a los descritos para la halita bandeada, pero con una lámina adicional de silvinita que, en general, se sitúa en posición superior o intercalada dentro de la lámina halítica. La potencia de cada ciclo varía entre 8 y 30 cm, aproximadamente, siendo mucho más irregulares en potencia que para la halitita bandeada. Las intercalaciones halíticas son de color anaranjado y tienen las mismas características ya descritas para la halitita bandeada. Las láminas de silvinita son de color rojo oscuro, salvo en la parte inferior del yacimiento de silvinita, en donde presentan tonos rosados.

La zona potásica está constituida por los siguientes niveles desde la parte inferior (techo de la sal de muro) hacia arriba: a) capa rica de silvinita, b) sal de 60, c) capa A de silvinita, d) sal intermedia (o entre capas) y e) capa B de silvinita. Por encima, y en contacto con la capa B se encuentra la primera capa de carnalita. Las potencias respectivas, medidas en la cámara B de las antiguas explotaciones de Sallent y en el tajo nº 4 de Balsareny son: a) capa rica, 0.60 m y 7 ciclos de silvinita rosada en ambos lugares, b) intercalación de halita bandeada (sal de 60), 0.40 m y 0.50 m respectivamente, con 11 ciclos de halita, c) capa A de silvinita de color rojo oscuro, 1.60 m y 2 m, respectivamente, con 23 ciclos de silvinita (en Balsareny existe, además, un nivel de 0,30 m de hartsalz anhidrítico), d) intercalación de halita bandeada (sal intermedia) con 1.90 m y 2.30 m, respectivamente, con 77 ó 78 ciclos de halita -arcilla, y e) capa B de silvinita (con características semejantes a la A) con 0.80 m y 12 ciclos de silvinita en ambos casos.

La composición mineralógica, petrológica, textural y geoquímica es, en general, muy similar en ambas cuencas, siendo las únicas diferencias las relativas al número y distribución de las capas de la zona potásica.



3) Carnalilita bandeada: Tiene un aspecto semejante en ambas cuencas, variando solamente en lo referente al número de capas y a la potencia total. Está constituida por alternancias de carnalita y halita bandeadas (al menos 4 capas de carnalita en Suria). Los ciclos de carnalita-halita, observados puntualmente en mina pueden ser de hasta 0.30 m de potencia aunque, en general, esta litofacies presenta una estructura interna muy perturbada estructuralmente. También es frecuente encontrar vestigios de transformación carnalita - silvita, especialmente en Suria, en donde se encuentran ejemplos de silvinita transformada semejantes a los de la C.P. Navarra.

4) Hartsalz anhidríticos: Forman niveles dentro de la silvinita bandeada cuantitativamente poco importantes que se diferencian de la misma por su color oscuro y por su mayor dureza y compacidad. A veces se presenta apelotonado formando masas elípticas a lenticulares (de 1 a 2 m de tamaño) según observaciones efectuadas en Sallent. Está compuesto por halita, cantidades variables de silvita (pudiendo llegar a desaparecer), e insolubles (anhidrita, polihalita, trazas de kieserita, arcillas). Su textura es variable desde una facies relativamente rica en silvita con bordes de grano denticulados y sin laminación interna, hasta otra facies carente de silvita y constituida por halita y cantidades relativamente altas de sulfatos (hasta un 20 %) con estructura interna homogénea.

5) Litofacies de las zonas esterilizadas: Se encuentra en las zonas de los horizontes potásicos que han sufrido procesos de fisuración y percolación de salmueras. En la C.P. Catalana las estructuras esterilizadas se presentan asociadas a zonas replegadas del yacimiento potásico. Presentan forma circular a elíptica en planta, con bordes muy irregulares, y un diámetro medio de unos 50 m. Están compuestas en su núcleo por halita con sulfatos intersticiales, de color blanco, débilmente anaranjado a grisáceo (debido a arcilla dispersa) que presenta una textura macrogranuda con grandes cristales de halita fácilmente exfoliables. En su masa hay pequeños lentejones orientados, de color blanco, constituidos por halita porfiro-

blástica muy transparente rodeada por sulfatos. Estos han sido determinados difractométricamente como anhidrita y polihalita con trazas de kieserita, pudiendo llegar a un 30 % del conjunto.

#### B) Datos geoquímicos

Se ha determinado los mismos elementos que en la C.P. navarra, salvo el litio. Las muestras analizadas corresponden principalmente a la zona potásica y, más concretamente, a la zona de silvinita. En lo que respecta a la sal de muro, en general es poco accesible desde las explotaciones y sólo ha podido ser muestreada, aunque sin conocer su posición dentro del yacimiento, en el diapiro de Cardona, aprovechando los planos que unen el cerro de Sant Onofre con los niveles de explotación.

1) Elementos mayoritarios (Na, K, Ca y Mg): Sus concentraciones son semejantes, en términos generales en ambos yacimientos. La principal diferencia la encontramos en el contenido en calcio en muestras de zonas esterilizadas, que presentan valores situados frecuentemente entre el 1 y el 5% (más de un 15% de anhidrita + polihalita) y que han sido originados por procesos de disolución del yacimiento, posteriores a la sedimentación y relacionados con las fases de plegamiento del mismo. Debe de tenerse en cuenta que estos estériles se encuentran afectando la caja del yacimiento en la C.P. catalana, por lo que el enriquecimiento relativo es significativo respecto al contenido normal de calcio (sulfato) en la sal intermedia y en la silvinita.

En general, los contenidos en potasio, magnesio y, principalmente, calcio son menores en la halita de muro de la C.P. catalana debido a que la zona preferentemente muestreada está afectada por procesos diapíricos. Ello también afecta, como veremos, al comportamiento de algunos elementos minoritarios.

Litología	% Ca		% Mg		% K	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Halita de muro	0.6925	0.4067	0.1476	0.2333	0.3585	0.5111
Halita interm.	1.012	0.4676	0.3402	0.1577	0.6764	0.6177
Silvinita	0.59	0.7492	0.32	0.2499	20.96	10.12
Carnalitita	0.37	0.3768	4.42	1.9297	13.1	5.7555
Estériles	1.83	0.3210	1.17	0.8075	3.80	3.6522

## 2) Elementos minoritarios:

- El bromo: En promedio, la sal de muro de la C.P. catalana tiene un contenido inferior (127 ppm Br) a la C.P. navarra (195 ppm). Ello se explica por el distinto desarrollo de esta litofacies en ambas cuencas, ya que si en la C.P. navarra su espesor es escaso (unos 8 m sobre la anhidrita basal), en la C. P. catalana tiene unos 150 m y constituye el grueso del yacimiento en sí. Parece como si a lo largo de la deposición de la litofacies de la sal de muro en la C.P. catalana el aumento en la concentración de las salmueras hubiera sido progresivo, siendo la parte superior y próxima a la zona de silvinita, la más rica en bromo y comparable con la sal de muro de la C.P. navarra. La práctica totalidad del muestreo en sal de muro en la C.P. catalana se ha efectuado en el diapiro de Cardona por lo que, posiblemente, corresponde a niveles relativamente bajos estratigráficamente en el yacimiento. En el caso del contenido en bromo de las sales potásicas, los valores para la C.P. navarra son del mismo orden para la silvinita y ligeramente superiores para la carnalita.

- El rubidio: Los valores son semejantes en ambas cuencas aunque ligeramente superiores en la C.P. catalana (8 ppm para las silvinitas con 20 ppm para la silvita pura, y 140 ppm para la carnalitita, con unos 300 para la carnalita pura). Estas diferencias pueden depender, sobre todo en el caso de la carnalita, de la representatividad de los respectivos muestreos (ver cuadro de concentraciones).

- El hierro: Las principales diferencias entre ambas cuencas se encuentran para la sal de muro y para la carnalita. En el caso de la sal de muro la explicación puede ser la ya apuntada para el caso del calcio. El muestreo en la C.P. catalana se ha realizado principalmente en el diapiro de Cardona lo que implica un empobrecimiento en minerales de hierro (arcilla, hematites) producido por el diapirismo. Dicho empobrecimiento es considerable (39 ppm para la C.P. catalana y 152 para la C.P. navarra). En el caso de la carnalita, la diferencia es mucho menor si bien pueden intervenir, como ya se apuntaba en el rubidio, problemas de representatividad.

- El estroncio: El menor contenido en estroncio (así como calcio y hierro) en la sal de muro de la C.P. catalana (58 ppm Sr, contra 238 ppm en la C.P. navarra) se debe también al empobrecimiento en insolubles debido al diapirismo. Es de notar en la C.P. catalana la existencia de esterilizaciones afectando a la zona de silvinita, relacionadas con zonas de percolación asociadas a fisuraciones existentes en zonas replegadas. En estos accidentes, encontrados solamente en la C.P. catalana (hasta el momento), se observa un fuerte enriquecimiento en estroncio e incluso también en la relación Sr/Ca (476 ppm Sr de promedio y  $Sr \times 1000/Ca = 24.4$ , relación máxima encontrada para todas las litofacies de la C.P. catalana).

Litología	ppm Rb		ppm Sr		ppm Fe		ppm Br	
	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$	$\bar{x}$	$\sigma$
Halita de muro	-	-	58.8	58.34	39.1	46.02	127.7	50.36
Halita interm.	-	-	107.1	54.64	696.6	606.0	275.7	58.70
Silvinita	8.5	7.08	88.6	54.78	305.9	240.9	1067.2	431.42
	(20-40) *						(2100-2600) *	
Carnalinita	143.6	60.96	71.0		312.0	218.3	1608.5	631.36
	(300) *						(2000-3000) *	
Estériles	-	-	476.7	555.7	190.5	241.9	328.6	

(\*) Valores calculados para los minerales puros (silvinita, carnalita).

3.1.2.- SINTESIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESTUDIO DE ALGUNOS SONDEOS DEL MARGEN DE LA CUENCA (Diciembre 1983)

Entre marzo y diciembre de 1983 el equipo firmante de la presente Memoria ha estudiado la petrología, mineralogía y geoquímica de una colección de muestras representativas de los testigos conservados por POTASAS DEL LLOBREGAT, S.A. de algunos sondeos practicados en la cuenca potásica catalana.

Dicha investigación ha sido subvencionada por la Universidad de Barcelona (Ayudas a la Investigación, convocatoria de 1982) por lo que su contenido es público y será objeto de un artículo en un futuro próximo. Esta consideración nos permite utilizar ya aquí libremente un avance resumido de los datos obtenidos, aunque únicamente con fines comparativos.

Los sondeos estudiados son los de Puigreig-3, La Sentiu-1, y Avinyó-3. De ellos el que más nos interesa es el primero, que corta la formación salina en una zona ya de borde deposicional, de tal modo que el espesor de potasa presente es mínimo. Ello no obstante, el carácter de la sal continúa siendo marino, como se verá, a diferencia de lo que ocurre en el de La Sentiu-1, que claramente representa sal de ambiente continental por sus contenidos en bromo del orden de diez ppm. La tabla 11 contiene los resultados numéricos de estos estudios.

Los análisis de bromo realizados en el sondeo de Puigreig, 17 en total, representan la casi totalidad de los 13 testigos del mismo, cada uno de ellos de unos 9 m, en general, y que cubren algo más de 100 m de formación salina, entre las profundidades de 810,50 m y 913,50 m. En este sondeo no se presenta ningún otro tramo salino que no sea propiamente el de la sal de muro. Su petrografía, además, no difiere apenas de la descrita en esta Memoria para la sal de la galería FN-86 de Undiano. Es decir, se trata típicamente de sal de muro, que como se sabe es muy potente (más de 150 m) en la cuenca catalana. Véase el aumento progresivo (tabla 11) de muro (68 ppm) hacia el techo (120 - 130 ppm) en el contenido en bromo, así como la media (98,3ppm), sensiblemente inferior a la de 127 ppm correspondiente a la zo-

de explotación normal, como ha sido indicado en el apartado anterior. Los niveles basales se sitúan prácticamente en el límite de la sal de origen marino (unas 65-70 ppm Br).

Para el estudio geoquímico de las muestras de los sondeos de Avinyó-3 y La Sentiu-1 se ha considerado separadamente niveles de sal transparentes, respecto de los de sal más grisácea y que es rica en inclusiones arcillosas y de sulfatos (es éste un refinamiento que no ha podido ser aplicado para las muestras de sal de la mina de Beriain). Puede observarse que los contenidos en bromo de la parte central, más transparente, de cada capa halítica son superiores a los encontrados en los horizontes basal y de techo de cada capa, en los que domina el tono grisáceo y las impurezas.

Las muestras estudiadas del sondeo de Avinyó-3 indican también el origen marino de la sal, con un intervalo comprendido entre 103 y 141 ppm, y una media de 122,2.

Por el contrario el sondeo de La Sentiu-1 presenta un intervalo (7-16 ppm Br) propio de sal de origen continental, y mantiene también un enriquecimiento relativo en los niveles centrales de sal transparente, respecto de las más grisáceas basal y de techo.

Finalmente es interesante destacar que los contenidos en sulfato de las muestras del sondeo de Puigreig-3 son bastante bajos. Este hecho, junto con la perfecta ciclicidad y el bandeamiento observado indican que no necesariamente un borde deposicional de sal tiene que estar enriquecido en sulfatos, como ya se apuntó para el caso de la galería FN-86, de Beriain.

PUIGREIG-3

816 m -- 120 ppm Br (P-1)
823 m -- 120 ppm Br (P-38)
824 m -- 132 ppm Br (P-3)
828,6m - 113 ppm Br (P-5)
831,5m - 115 ppm Br (P-6)
830 m -- 121 ppm Br (P-34)
840 m -- 90 ppm Br (P-8)
848 m -- 90 ppm Br (P-11)
855 m -- 109 ppm Br (P-40)
850 m -- 105 ppm Br (P-14)
869 m -- 98 ppm Br (P-15)
881 m -- 82 ppm Br (P-18)
890 m -- 83 ppm Br (P-21)
896 m -- 75 ppm Br (P-22)
899 m -- 80 ppm Br (P-23)
901 m -- 75 ppm Br (P-39)
907 m -- 68 ppm Br (P-25)

Media 98,3 ppm Br

AVINYO-3

	<u>Banda</u>	
	<u>Transp.</u>	<u>Gris oscura</u>
192 m(?) --	141 ppm Br	125 ppm Br (Av-1)
	138 ppm Br	123 ppm Br
196 m ---	---	108 ppm Br (Av-2)
200 m ---	153 ppm Br	89 ppm Br (Av-3)
204 m ---	149 ppm Br	109 ppm Br (Av-6)
208 m ---	125 ppm Br	117 ppm Br (Av-7)
220 m ---	---	115 ppm Br (Av-5)
222 m ---	116 ppm Br	103 ppm Br (Av-4)

Media: 122,2 ppm Br.

LA SENTIU-1

	<u>Banda</u>	
	<u>Transp.</u>	<u>Gris oscura</u>
	16 ppm Br	12 ppm Br (A-10)
	--	8 ppm Br (A-4)
	10 ppm Br	-- (A-9)
	9 ppm Br	-- (A-12)
	7 ppm Br	-- (A-2)

Media: 10,3 ppm Br

TABLA 11: Contenidos en bromo de muestras de los sondeos de la cuenca potásica catalana.

IV. CONCLUSIONES



#### 4.1.- COMPARACION ENTRE LOS RESULTADOS DE LAS CUENCAS POTASICAS CATALANA Y NAVARRA

En líneas generales es posible establecer algunas comparaciones entre las formaciones salinas de ambas cuencas, desde los puntos de vista petrológico, mineralógico y geoquímico. En detalle, la comparación de la unidad litológica más estudiada para el presente informe, la sal de muro, está limitada debido a los pocos datos que de la misma se obtuvieron en su día en la C.P. Catalana y que estuvieron prácticamente centrados en el diapiro de Cardona. Ello no obstante, el reciente estudio de las muestras de los sondeos de Puigreig-3, Avinyó-3 y La Sentiu-1 ha ampliado sustancialmente la visión de esta formación salina basal, como se ha visto en el apartado anterior.

En resumen, la sal de muro en la C.P. catalana es muy potente (130-200 m) y tiene en su conjunto un contenido en bromo moderado: una media de 127 ppm en su núcleo y medias de 122,2 ppm en el sondeo de Avinyó-3 y de 98,3 ppm en el de Puigreig-3, es decir valores progresivamente menores así como nos alejamos hacia los bordes de cuenca. La media de 10,3 ppm del sondeo de La Sentiu-1 refleja el paso a condiciones continentales de la formación salina así como se desplaza el centro deposicional hacia el W, progresivamente en el tiempo.

La mineralogía de los sulfatos acompañantes de esta sal de muro es predominantemente anhidrítica, y el contenido promedio en sulfatos es muy bajo.

Las zonas de esterilidades en la C.P. catalana constituyen cuerpos bien definidos de forma circular a elíptica, vistos en planta, de un diámetro promedio de más de 50 m y de distribución ligada a pliegues. En ellos la textura es homogénea, integrada por halita macrogranuda muy enriquecida en sulfatos que ocupan posición intersticial. Los sulfatos se componen de anhidrita y polihalita, con trazas de kieserita, y llegan a constituir hasta un 30% de la esterilidad. En estas zonas se experimenta un fuerte enriquecimiento en Sr e incluso también en la relación Sr/Ca.

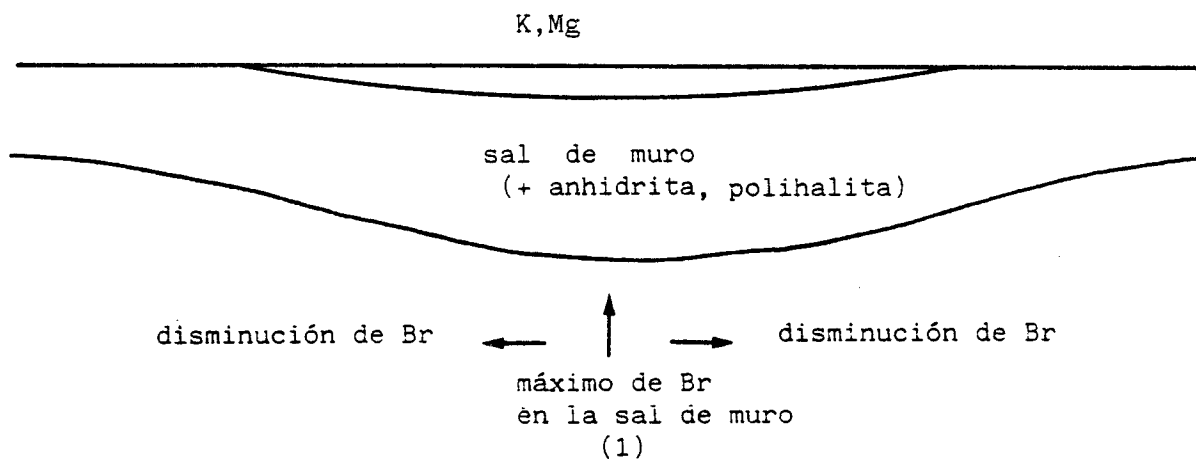
En el caso de la C.P. navarra, la sal de muro es, como se sabe, muy poco potente (unos 8-15 m) y está significativamente enriquecida en bromo (con media de 195 ppm) respecto a la catalana. A su vez la mineralogía de sulfatos, en la que predomina la polihalita (con indicios de kieserita) sobre la anhidrita, sugiere un estadio de concentración mayor de esta formación que en el caso catalán. Se observa igualmente, hacia las zonas en que se pierden las capas potásicas (a lo largo de la galería FN-86): 1) una disminución del contenido en bromo; 2) una tendencia a enriquecerse la anhidrita sobre la polihalita; 3) a disminuir ligeramente el contenido total en sulfatos (punto este último sobre el que no se tienen datos en la C.P. catalana); y 4) a aumentar ligeramente la relación  $Sr/SO_4$ .

Considerados globalmente todos estos aspectos, puede pensarse que la zona potásica de la Cuenca catalana ocupa una situación más centrada o simétrica, respecto al conjunto de su formación evaporítica, con una alta relación volumétrica  $ClNa/ClK$ ,  $Cl_2Mg$  en cualquier vertical, e indicios de concentraciones moderadas para cada estadio de evaporación (fig. 29 a).

Por el contrario, la formación potásica de la cuenca navarra parece ocupar una posición asimétrica, o desplazada lateralmente, respecto al conjunto del área deposicional original, de tal modo que la relación volumétrica  $ClNa/ClK$ ,  $Cl_2Mg$  es baja en cualquier vertical considerada, existiendo indicios de concentración muy elevada para el estadio del NaCl (sal de muro) que yace por debajo de la potasa (fig. 29 b). Incluso para las sales de techo los indicios de concentración residual son altos (media de 250 ppm Br; ver apartado 1.3.1.1.). Alejándonos de la zona potásica, en dirección por ejemplo hacia el sondeo Uterga, pasaríamos a cuerpos cada vez menos concentrados originalmente en NaCl.

Una posible consecuencia directa de este diferente esquema de distribución de facies evaporíticas, en planta, sería la terminación más brusca de los cuerpos potásicos en el caso de la disposición asimétrica, es decir, la navarra, y más suavi-

a) Cubeta simétrica



b) Cubeta asimétrica

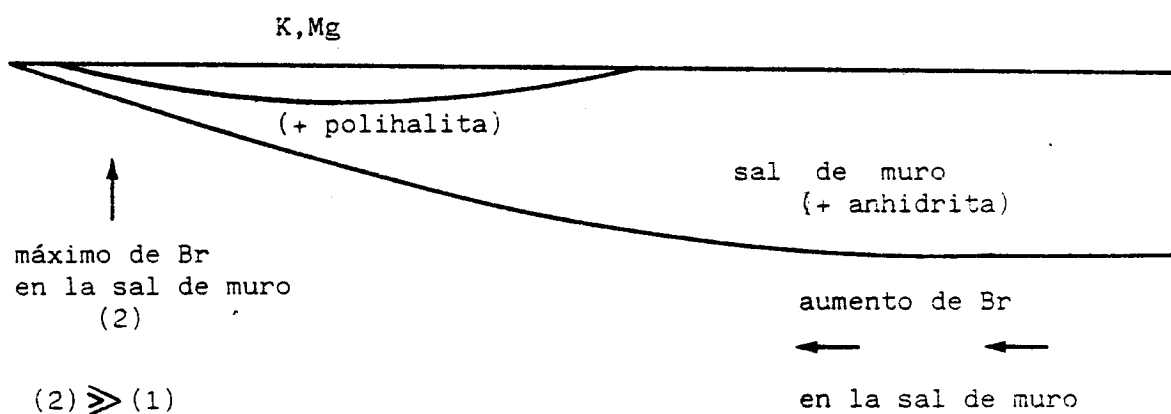


Fig. 29

zada para el caso de disposición simétrica, es decir la catalana. Con ello en muy poco espacio, en sentido lateral, del orden quizá de unos pocos cientos de metros, dadas las pequeñas dimensiones de la cubeta navarra, podría pasarse de una zona altamente potásica a otra "de borde" muy empobrecida en niveles potásicos o incluso prácticamente desprovista de ellos.

En este tipo de contacto brusco entre facies potásicas - facies de sal de muro es evidente que los efectos de disolución, debidos a la proximidad del borde de la formación salina, pueden provocar grandes anomalías en la petrología y geoquímica tanto de la sal de muro como de los niveles potásicos, de un modo casi repentino.

#### 4.2.- CONCLUSIONES DEL ESTUDIO REALIZADO EN LAS DIFERENTES ZONAS DE LA MINA DE POTASAS DE NAVARRA

Los resultados del estudio realizado en la formación salina de Pamplona para el presente informe vienen a completar sustancialmente el conocimiento que teníamos de la misma en sus aspectos petrológicos, geoquímicos y mineralógicos, tras la lectura de la Tesis doctoral de L. Rosell Ortiz.

Las conclusiones a extraer de toda esta información han de ser valoradas con prudencia, debido fundamentalmente a las limitaciones inherentes a nuestro estudio y que ya fueron comentadas al principio: el trazado de las galerías de la mina nos ha obligado a trabajar únicamente con muestras de sal de muro. Ha quedado totalmente fuera de nuestras posibilidades el plantear un estudio similar con las sales de techo para ver en cada zona considerada la evolución de la mitad superior del único ciclo salino deposicional presente en la C.P. navarra, al igual que en la catalana. Aún así, sospechamos que la relación genética entre los paquetes potásicos y la sal de muro debe ser más íntima que entre aquellos y las sales de techo.

Debemos insistir, no obstante, en el diferente grado de intensidad con que hemos abordado el estudio de las esterilidades de la mina y que obviamente condicionan la firmeza de las conclusiones. El máximo esfuerzo se ha dedicado a la galería FN-86, en la que los resultados parecen inequívocos. La zona W de Undiano ha sido bastante estudiada, aunque por problemas de acceso no ha podido completarse un muestreo más intenso a lo largo de todo el borde estéril, como hubiera sido de desear. La zona menos trabajada, en la que se ha realizado un muestreo muy limitado, es la de la plataforma de Esparza, es decir la de esterilidades dispersas con presencia de sal transformada. En esta amplia zona nos falta documentación para pronunciarnos satisfactoriamente sobre un tipo concreto de origen por disolución y sería necesario dedicarle más atención.

Resumiendo la exposición de resultados y observaciones realizadas a lo largo de la parte II de la presente Memoria, podemos ofrecer las siguientes conclusiones generales:

#### Galería FN-86

La fig. 30 resume los aspectos concretos de nuestro estudio que más pueden servirnos como criterio genético, e incluso de predicción, para valorar lo que ocurre a lo largo de esta galería.

No hay duda de que en su trayectoria hacia el S la galería FN-86 se adentra en una sal de muro con progresivas características de alejamiento de zona potásica y de acercamiento a zonas en que existió originalmente menor concentración en las salmueras. Ello es indicado por su perfil decreciente de bromo, su mineralogía de sulfatos (hacia anhídrita dominante; ver fig. 30 a), su contenido (%) menor en sulfatos y su relación creciente  $Sr/SO_4^{=}$  (fig. 30 b). Los resultados obtenidos para el sondeo de Uterga, aunque desviado de la trayectoria de la galería FN-86, corroboran estas tendencias y muestran la presencia de una amplia zona halítica, ya sin potasas.

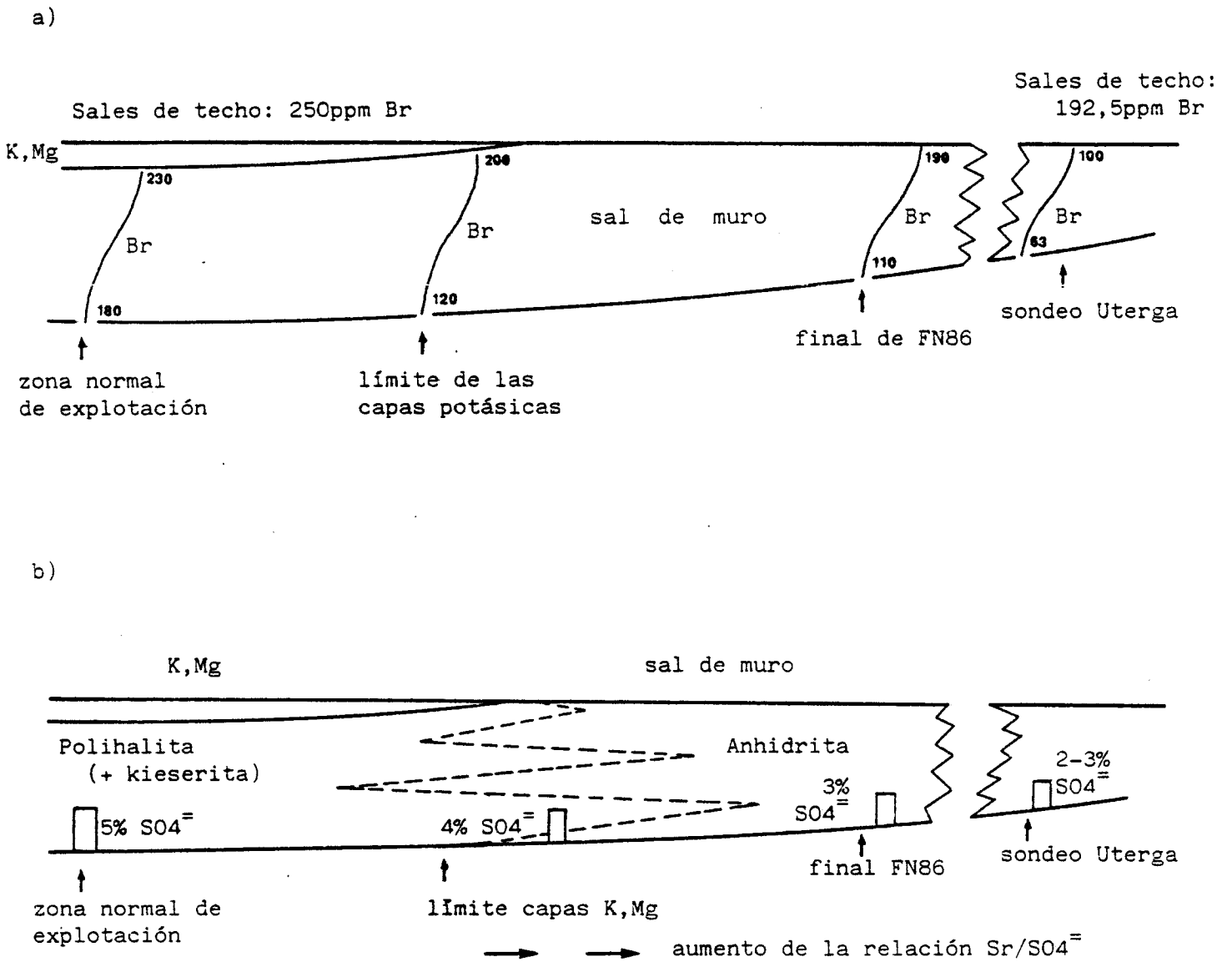


Fig. 30

No podemos establecer por nuestros propios datos, qué relación existe entre la dirección de la FN-86 y la dirección de más rápido alejamiento de la zona potásica. A partir de la columna IV (Km 1.619 respecto a la FN-23A) la caída de valores en bromo es lenta, y es posible que ambas direcciones referidas formen entre sí ángulos significativos (entre 20 y 40° ?).

#### Zona W de Undiano

La fig. 31 resume los aspectos concretos de nuestro estudio que ilustran el comportamiento petrológico, geoquímico y mineralógico de esta franja de esterilidad. La figura sintetiza el perfil A (ver figs. 15 y 23), aunque incluye alguna irregularidad de las del tipo observado en la columna V del perfil B (fig. 23).

No hay duda de que existe una brusca esterilidad, manifiesta claramente en la columna III de la galería FN-02A (fig. 23), basándonos en su caída repentina de contenido en bromo. Por el contrario, los demás criterios indican que se trata de una zona potásica "normal": dominancia total de polihalita acompañada de indicios de kieserita sobre la anhidrita; contenidos altos en sulfato; relación alta  $Sr/SO_4$ .

No podemos establecer ninguna relación entre esta brusca esterilidad y la presencia de un pliegue ("doble capa"), ampliamente desarrollado y bien conocido en la zona. Existe la posibilidad de que no se trate de un extenso accidente de disolución que haya eliminado una enorme cantidad de formación potásica hacia el W, sino que por el contrario estemos ante un borde deposicional en el que la formación potásica acaba bruscamente y del tipo anunciado en el apartado anterior 4.1. Desde esta óptica, esta esterilidad estaría relacionada con la misma que se observa en la galería FN-86, en la que no obstante la terminación de capas potásicas no es tan brusca, como indica la consulta de las hojas a escala 1:400 de la empresa que resume la geología de la galería. La mayor o menor brus-

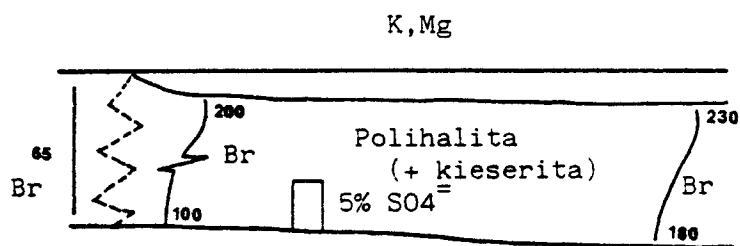


Fig. 31

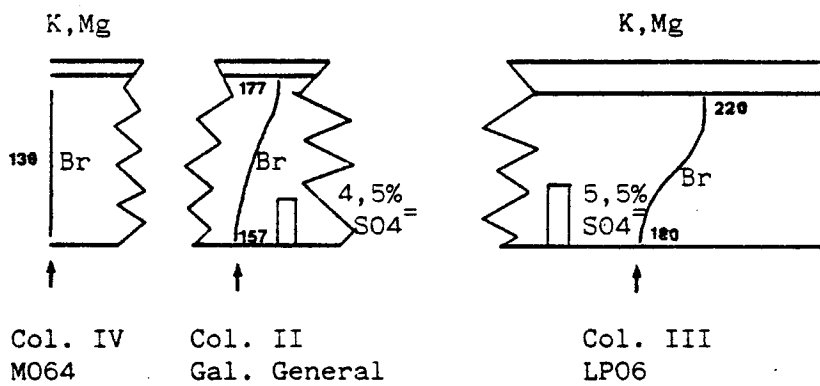


Fig. 32



quedad de la terminación de las capas potásicas puede estar simplemente en relación con la dirección que siguen las labores mineras respecto a la traza original del límite de capas potásicas, como se ha indicado.

De hecho la esterilidad observada en esta zona W de Undiano difiere bastante de la desarrollada en la zona de "sal transformada", dado que la presencia de este tipo de silvinita es mínima en la zona W de Undiano. Sin embargo, los efectos de una disolución significativa han sido puestos de manifiesto y no hay duda de que, aún tratándose inicialmente de un borde deposicional potásico existe sobreimpuesta una disolución importante. Al otro lado de este borde deposicional para la potasa se situaría la amplia zona halítica cortada por los sondeos nº 15 (ADARO) y el reciente de Uterga (POTASAS DE NAVARRA). Como se ha visto, este último sondeo marca valores mínimos de concentración en sal indicando ello su posición próxima a un borde de cuenca o al menos a un "alto" paleogeográfico o estructural, cuya importancia no podemos nosotros valorar. Desgraciadamente no hemos podido encontrar muestras del sondeo 15 de ADARO que completen la visión de esta área halítica desprovista de potasa situada al S de una línea o franja que iría de la zona W de Undiano hacia la galería FN-86, a la que cortaría a la altura, aproximadamente, del km. 1.700-1.800 (respecto a la galería FN-23A).

#### Plataforma de Esparza y zona de falla de Esparza

La fig. 32 sintetiza la escasa documentación conseguida en estas dos zonas. La columna III (galería LP 06) presenta las características propias de una zona potásica normal, tanto por su contenido en bromo como por la aparición de anhidrita y polihalita simultáneamente, y su alto % en sulfato. No pueden detectarse aquí efectos de posibles soluciones debidas a la falla de Esparza. Quizá el punto muestreado esté demasiado alejado, relativamente, de la zona de fracturación influenciada por esta falla, o bien ocurra simplemente que por ésta no ha habido apenas circulación de aguas de percolación, al menos en el punto de estudio.

Por el contrario, en las columnas levantadas en zonas de esterilidad con presencia de transformada la caída del bromo es fulminante, como muestra la parte izquierda de la fig. 31. Los contenidos en sulfato, su mineralogía o bien la relación  $Sr/SO_4$  no ofrecen argumentos adicionales de discusión. Obviamente en esta zona el muestreo realizado ha sido incompleto.

Considerando, no obstante, la amplia distribución de estériles en esta zona (fig. 24) y la falta aparente de relación entre las principales fracturas actualmente observables, puede sugerirse que las esterilidades registradas en esta zona de la mina, relativamente poco profunda, están controladas por pliegues al igual que en la C.P. catalana y que su génesis es algo anterior a la fracturación final del yacimiento. Quizá ocurrió en relación con la erosión de la serie eocena y su fosilización mediante discordancia por los materiales del Oligoceno, representados por los conglomerados del Perdón. En cualquier caso, con la investigación realizada no podemos diferenciar más estas esterilidades respecto a las del borde W de Undiano o de la galería FN-86, aunque aceptamos la hipótesis de que unas sean deposicionales (FN-86), otras influenciadas tectónicamente (plataforma de Esparza) y otras mixtas de borde deposicional acentuado por disolución tardía (zona W de Undiano).

#### 4.3.- SUGERENCIAS SOBRE UN CONTROL PETROGRAFICO Y GEOQUIMICO DEL YACIMIENTO POTASICO EN LAS LABORES MINERAS

Como se ha visto, los estudios petrológicos, mineralógicos y geoquímicos suministran una información importante para el conocimiento genético del yacimiento potásico de Navarra, a pesar de las grandes limitaciones que han existido para nuestro muestreo, que ha tenido que ceñirse estrictamente a los paquetes salinos cruzados por las galerías en cada zona.

En general esta información puede considerarse complementaria, y así caracteriza y corrobora aspectos ya conocidos por los trabajos de mina. Bajo este punto de vista es igualmente

valiosa como un control más en la explotación e investigación (estratigráfica, estructural, geofísica, etc.) del yacimiento.

En otros casos, no obstante, la información obtenida puede adquirir un valor predictivo, especialmente cuando se detectan gradientes de contenidos elementales, en particular de bromo, o de razones elementales, como la  $Sr/SO_4^-$ , en las litofacies salinas y sin que macroscópicamente puedan detectarse variaciones en las mismas durante las labores mineras.

Otras veces, incluso, es preciso valorar adecuadamente algunos parámetros como es el caso del contenido en sulfatos, que aún siendo más apreciable macroscópicamente, puede inducir a errores si se desconoce el significado auténtico de su enriquecimiento o empobrecimiento en la formación salina. En este sentido, nos ha sorprendido la disminución de sulfatos encontrados hacia los bordes de cuenca.

Debido al bajo costo de este tipo de análisis y estudios petrográficos, mineralógicos y geoquímicos, su aplicación sistemática, o al menos periódica, a las labores mineras (sondeos desde las galerías, sondeos desde la superficie, apertura misma de las galerías, etc.) puede ser de gran utilidad.

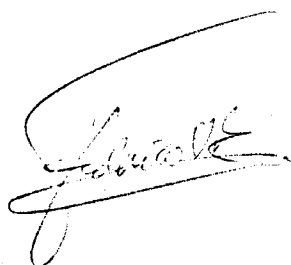
Contrariamente a lo que sucede con la sal de muro, conocemos muy poco sobre la evolución petrográfica y geoquímica de las sales de techo de la formación salina de Navarra. En principio podría pensarse, y así hemos tendido a considerarlo, que dicha evolución es totalmente independiente de la propia de los niveles potásicos ya que es posterior a los mismos. Sin embargo, este extremo está por demostrar aún, y tampoco queda reforzado por los datos del sondeo de Uterga. La gran potencia de esta unidad salina sugiere que su conocimiento y estudio podría aportar también alguna luz sobre la génesis global del yacimiento y distribución espacial de la potasa.

Finalmente, la recopilación conjunta y la comparación de este tipo de datos, así como de las esterilidades propiamente, tanto en la C.P. navarra como en la catalana ha aportado una

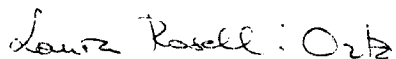
gran ayuda para comprender mejor no sólo la génesis global del yacimiento, sino también aspectos más concretos del mismo y de interés para un punto o zona determinada de una explotación. Consideramos que es fundamental la conservación de los testigos de sondeo, pues si bien las diagrafas nos informan ampliamente sobre alguno de los aspectos considerados en el presente trabajo, como la mineralogía de las capas, no nos dicen nada sobre la petrografía y el contenido en bromo u otros elementos de interés (aparte del K). Recordemos, como ejemplo, la documentación valiosa que nos han ofrecido las muestras de los sondeos de Puigreig-3, Avinyó-3 y La Sentiu-1, después de varios decenios de su extracción.

V. BIBLIOGRAFIA CITADA

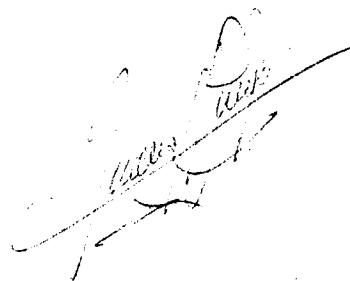
- BRAITSCH, O. (1971): Salt Deposits. Their Origin and Composition. Springer -Verlag, 297 p.
- DELLWIG, L.F. (1955): Origin of the Salina Salt of Michigan. Jour. Sed. Petrol., 25:83-110.
- HOLSER, W.T.; WARDLAW, N.C. y WATSON, D.W. (1968): Bromide in salt rocks: extraordinarily low content in the Lower Elk Point Salt, Canada. In: Geology of Saline Deposits, Proc. Hannover Symposium (1968), Unesco, pp. 69-75.
- PUEYO MUR, J.J. (1975): Estudio petrológico y geoquímico de los yacimientos potásicos de Cardona, Suria, Sallent y Balsareny (Barcelona, España). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 351 p.
- PUEYO MUR, J.J. (1975b): Distribución del estroncio en los yacimientos potásicos catalanes. Rev. Inst. Inv. Geol. Dip. Prov. Barcelona, 30:5-10.
- RONOV, A.B.; MIGDISOV, A.A.; VOSKRESENSKAYA, N.T. y KORZINA, G.A. (1970): Geochemistry of lithium in the sedimentary cycle. Geochem. Int., 7:75-102.
- ROSELL ORTIZ, L. (1983): Estudi petrològic, sedimentològic i geoquímic de la formació de sals potàssiques de Navarra (Eocè superior). Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona, 321 p.
- STEWART, F.H. (1963): Marine Evaporites (Data of Geochemistry). U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 440-Y, 58 p.
- VALYASHKO, M.G. (1956): Geochemistry of bromine in the processes of salt deposition and the use of bromine as genetic and prospecting criterion. Geochemistry, 6:570-589.



Dr. F. Ortí Cabo



Dra. L. Rosell Ortiz



Dr. J.J. Pueyo Mur

por el Departamento de  
Petrología y Geoquímica



en Barcelona, a 20 de Enero de 1984