

En este número:

- Estudio de los movimientos de compensación isostática en una zona del Levante español.
- Estudio de las mineralizaciones filonianas plomo-antimoníferas de la cobertera en la Sierra de la Demanda. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).
- Aplicación del análisis químico, e interpretación geoquímica a las aguas de la zona de Soria correspondientes a la Hoja 408, Torrijo de la Cañada (Soria).
- Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. I. Composición química de las aguas subterráneas.
- Método para el estudio de inestabilidades creadas por bloques rígidos en excavaciones subterráneas.
- Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central español). Réplica a F. Bea.

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCIV, Primer Fascículo. Enero-Febrero 1983

# boletín geológico y minero

geología • minería • aguas subterráneas • estudios de minerales • mineralurgia



Tomo 94  
Fascículo I  
Enero - Febrero 1983

# Boletín Geológico y Minero

25 MAR 1984

revista bimestral de geología económica, industrias extractivas y de su beneficio - fundada en 1874 - 4.ª serie

## SUMARIO

<b>Geología</b>	A. CARBÓ GOROSABEL: Estudio de los movimientos de compensación isostática en una zona del Levante español ... ..	3
<b>Minería</b>	P. GUMIEL y E. VINDEL: Estudio de las mineralizaciones filonianas plomo-antimoníferas de la cobertera en la Sierra de la Demanda. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos) ... ..	10
<b>Aguas subterráneas</b>	C. ALVAREZ, F. DE PEDRO HERRERA, R. GALLEGRO y E. VILLANUEVA: Aplicación del análisis químico, e interpretación geoquímica a las aguas de la zona de Soria correspondientes a la Hoja 408 - Torrijo de la Cañada (Soria) ... ..	20
<b>Geotecnia</b>	J. SANCHEZ, A. MAQUEIRA y J. A. SERRA: Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. I. Composición química de las aguas subterráneas ... ..	32
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	C. MANERA BASSA: Método para el estudio de inestabilidades creadas por bloques rígidos en excavaciones subterráneas. 49	
<b>Información</b>	J. M. UGIDOS: Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central español).— <i>Réplica a F. Bea</i> ... ..	63
	Campamentos de geología «Torla 1982» ... ..	69
	F. VÁZQUEZ GUZMÁN: Planificación de la Investigación Minera. 71	
	Noticias y Notas Bibliográficas ... ..	77

### DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 441 70 67

### ADMINISTRACION

Doctor Fleming, 7 - Madrid-16

Teléfono 250 02 03

## IGME

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

El Instituto Geológico y Minero de España hace presente que las opiniones y hechos consignados en sus publicaciones son de la exclusiva responsabilidad de los autores de los trabajos.

26 MAR 1984



## Estudio de los movimientos de compensación isostática en una zona del Levante español

Por A. CARBO GOROSABEL (\*)

### RESUMEN

En base a los datos geológicos y gravimétricos existentes en la región de Valencia, se comprueba que los jóvenes y recientes movimientos tectónicos cumplen las leyes de compensación isostática y se avanzan hipótesis de evolución geodinámica.

### ABSTRACT

Based on geological and geophysical it has been founded that the young and recent tectonic movements of a region of Valencia satisfy the laws of isostatic compensation being able to formulate some geodynamic evolution hypothesis.

Los derechos de propiedad de los trabajos publicados en esta obra fueron cedidos por los autores al Instituto Geológico y Minero de España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

### I. INTRODUCCION

La distribución regional de Anomalías Isostáticas revela el estado de equilibrio para la corteza en diferentes áreas y permite, desde su representación, extrapolar una historia reciente y unas tendencias futuras a movimientos compensatorios.

El objetivo del presente trabajo consiste en comprobar, sobre la base de la distribución de Anomalías Isostáticas, si los movimientos «jóvenes» —Neógeno, Cuaternario— y «recientes» —Holoceno—, cumplen leyes compensatorias en la región estudiada. Asimismo y en función de lo anterior, se pretende avanzar hipótesis de evolución para dicha región.

La zona geográfica en que se desarrolla la investigación está localizada (fig. 1) sobre el borde meridional de la Cadena Ibérica, cordillera de tipo intermedio claramente diferenciada de la cadena alpina clásica, JULIVERT *et al* (1974). Asimismo, está relacionada de forma directa con: la Meseta Ibérica, área de plataforma que funcionó como núcleo rígido durante el plegamiento alpino, y con

la Cuenca de Valencia, zona con un proceso de estiramiento cortical desde el Mioceno Inferior que origina un «rift», rápidamente finalizado, con magmatismo asociado. De forma marginal se relaciona con las Cordilleras Béticas a través de su zona Prebética, esta zona se constituye

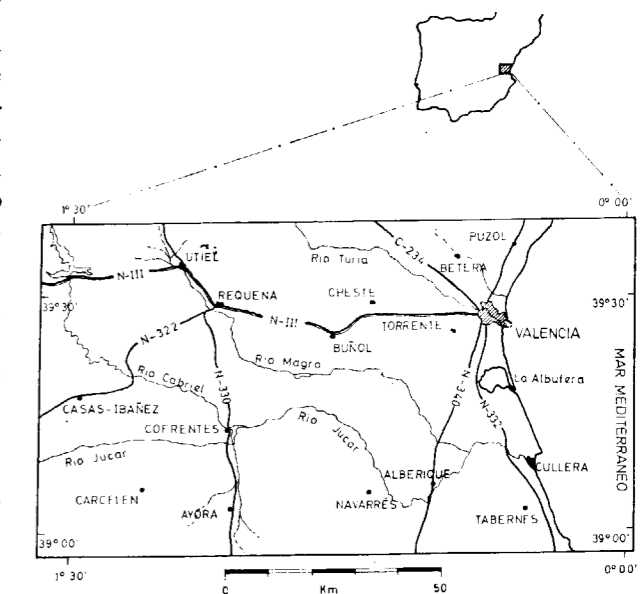


Figura 1.—Esquema de situación.

### EXPLICACION DE LA PORTADA

Calizas micríticas con yesos de la cuenca de Cerezo de Riotirón (Burgos)

ISSN 0366 - 0176

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

Imprenta IDEAL - Chile. 27 - Telef. 259 57 55 - Madrid-16

(\*) Departamento de Geomorfología y Geotecnia. Cátedra de Geodinámica Interna, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid.

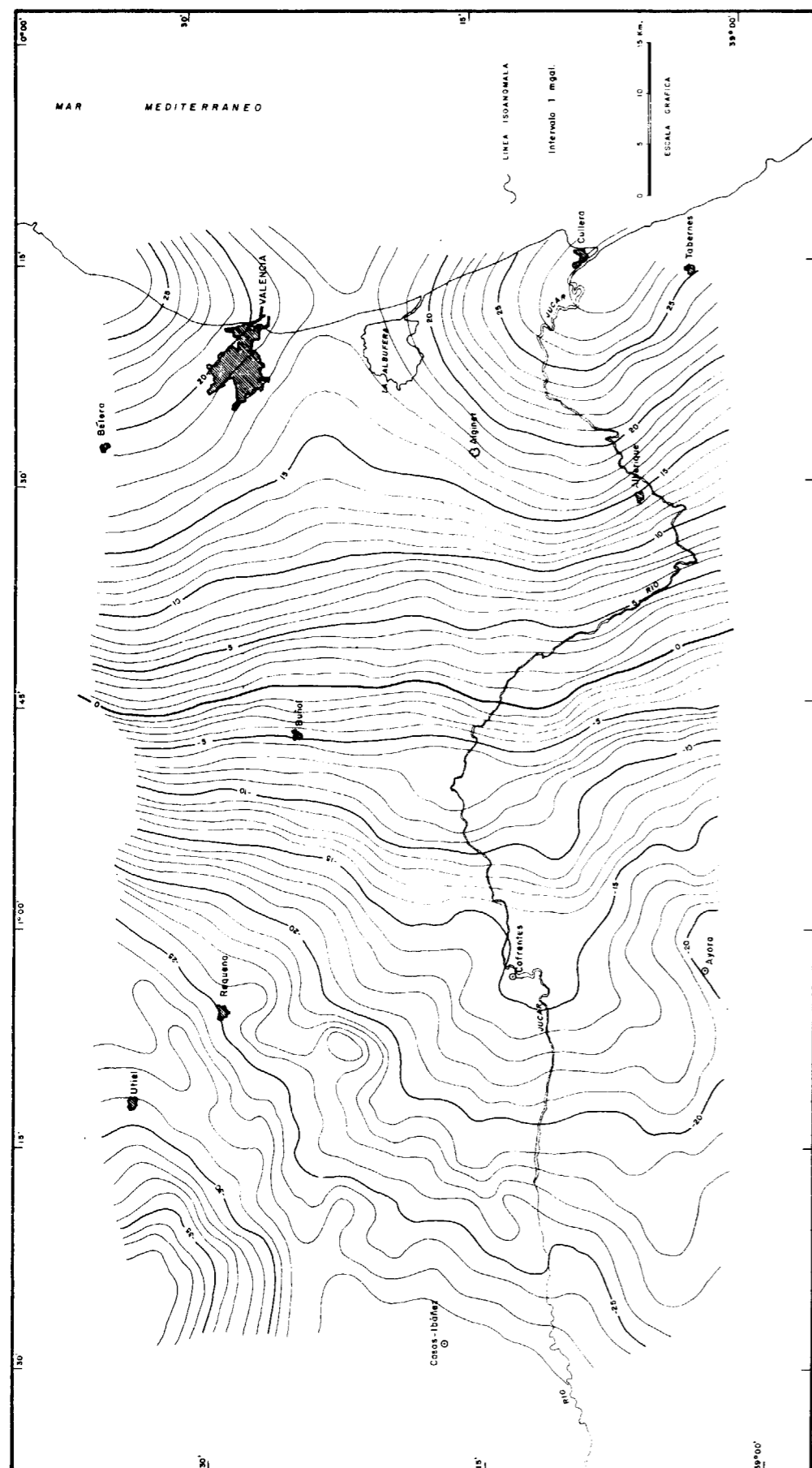


Figura 2

por formaciones mesozoicas y terciarias de plataforma depositadas sobre un zócalo hercínico que es prolongación de la Meseta Ibérica.

Los mapas de Anomalías Isostáticas utilizados, CARBÓ (1980), están calculados según la hipótesis de Airy para una corteza media de  $30 \pm 1$  Km.

En el mapa (fig. 2) de tendencias regionales de Anomalías Isostáticas, se observa cómo la acción de la Cadena Ibérica provoca un efecto negativo en el NO, que se prolonga de forma más o menos clara hasta la línea Carcelén-Requena. La acción ejercida por el Mediterráneo (Cuenca de Valencia) es positiva y se puede identificar hasta el meridiano de Buñol. La zona intermedia, centrada en Cofrentes, puede tener la influencia combinada de las dos unidades citadas anteriormente, pero en cualquier caso tiene características diferenciadas del área circundante y creemos se corresponde con la acción ejercida por la Meseta Ibérica.

El mapa (fig. 4) de Anomalías Residuales Isostáticas detalla fenómenos locales en el interior de las tres grandes unidades que define el mapa anterior. Estas particularidades nos proporcionan importante información sobre la región concreta en que desarrollamos la investigación y serán ampliamente utilizadas a lo largo del estudio.

dillera Ibérica; Unidad Mediterránea, y Unidad Intermedia o de la Meseta Ibérica. Estas unidades constituyen los tres grandes bloques corticales presentes en la zona (fig. 3).

Los bloques mayores pueden, a su vez, ser divididos en bloques corticales menores merced a la individualización de las Anomalías Isostáticas residuales y a la existencia de cinco bandas de discontinuidad (figura 4) coincidentes con la posición de epicentros correspondientes a sismicidad de profundidad estimada en  $\approx 30$  Km. (I. G. N.), ligadas en varios casos a vulcanismos Pliocuaternarios y citadas también en algún caso como fracturas corticales: Falla Hespérica, CAPOTE (1978); Banda Estructural de Toledo, ALIA (1972).

La extensión superficial media de los Bloques Corticales Menores es aproximadamente de 500 kilómetros cuadrados, no alcanzando, por tanto, la superficie mínima requerida ( $100 \times 100$  Km.) para lograr el equilibrio Isostático. La potencia cortical en cada caso se estima en función de las Anomalías de Bouguer, WOOLLARD y STRANGE (1962), si bien el cálculo se corrige por apoyo lateral en datos sísmicos: PAYO y RUIZ DE LA PARTE (1977) hacia el O, y FAHLQUIST (1963) hacia el E. La posición geográfica y las características de estos bloques, se indican en la figura 5 y en el cuadro adjunto:

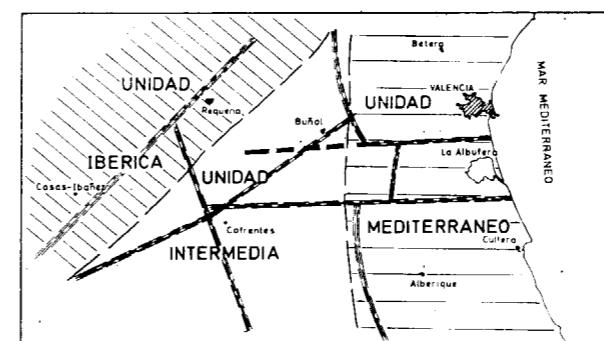


Figura 3

II. POSIBLES BLOQUES CORTICALES A CONSIDERAR

Anteriormente hemos definido tres grandes unidades con distinto tipo de tendencia regional Isostática y que corresponden a zonas de otras tantas unidades geotectónicas: Unidad de la Cor-

BLOQUE CORTICAL	ANOMALIA en mgals.	COTA en m.	POTENCIA CORTICAL en km.
I	-44	837	37,5
II	II.1	700	35,5
	II.2	695	34,5
III	-16	849	32,6
IV	IV.1	719	35,-
	IV.2	695	34,5
	IV.3	570	33,-
V	V.1	400	32,-
	V.2	433	33,-
	V.3	900	33,-
VI	+32	19	28,-
VII	+18	8	29,8
VIII	+32	20	27,2

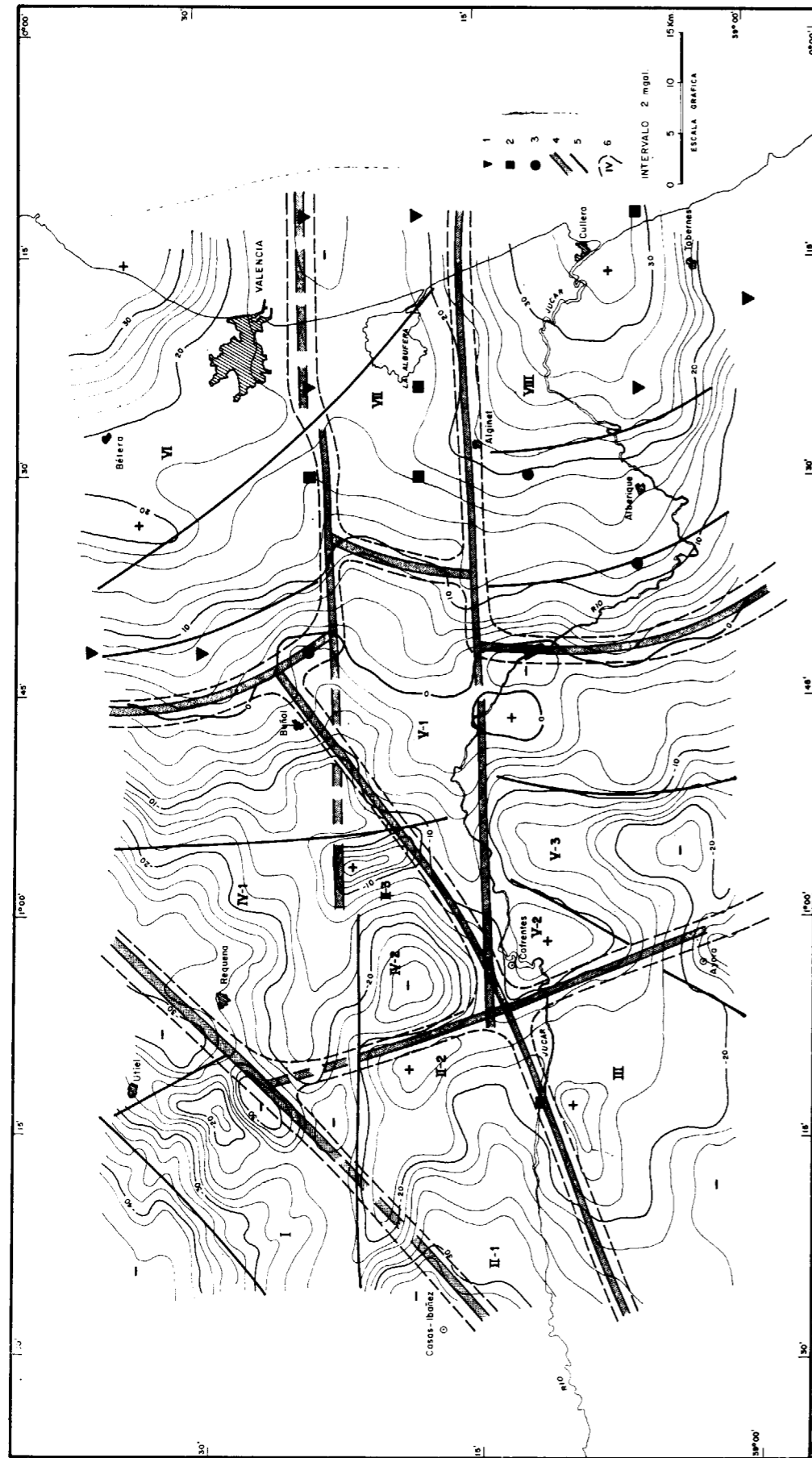


Figura 4

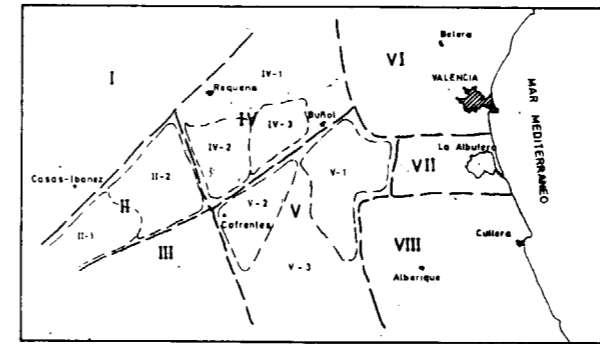


Figura 5

III. EFECTOS DEBIDOS A COMPENSACION ISOSTATICA

Para establecer la posición de equilibrio se ha utilizado la recta definida por Gzovskii (1972),  $h = Km - 6$ , siendo  $h$  la cota media sobre el nivel del mar de cada bloque,  $m$  el espesor cortical y  $K$  una pendiente que varía entre 0,15 y 0,20. En nuestro caso y al considerar que un bloque con 30 Km. de espesor cortical y cero metros de cota debe permanecer en equilibrio isostático, la  $K$  considerada es 0.19935.

El hecho de utilizar una recta de equilibrio válida en términos generales para cualquier punto, no satisface nuestros deseos. Lo idóneo sería establecer una recta de equilibrio para una región mucho más restringida. Sin embargo, la carencia de datos sísmicos profundos, con la abundancia necesaria, obliga a optar por soluciones, si no óptimas, sí, al menos, aceptables.

De la representación de los bloques en función de su cota media y potencia cortical (fig. 6) y la posterior comparación con la recta de equilibrio anteriormente citada, extraemos las siguientes consideraciones:

— Los bloques denominados I, II.1, II.2, IV-1, IV.2 y IV.3, se sitúan en el subespacio negativo de la representación, siendo sus anomalías también negativas. La tendencia de movimiento en conjunto, siempre que algún esfuerzo tectónico externo al sistema no la perturbe, es en el sentido de ascender, si bien salvo la primera unidad —debería ascender a 700 m.— todas las demás están muy próximas a la posición de equilibrio.

El grupo constituye la Unidad Ibérica y las características morfológicas, fuerte encajamiento de la red fluvial, confirman que se está produciendo este movimiento, al menos desde el Pleistoceno.

— La tendencia de los bloques VI, VII y VIII es a subsidir —600, 100 y 800 m. respectivamente— para lograr una posición de equilibrio que por otra parte el bloque VII prácticamente ha alcanzado.

Este grupo constituye la Unidad Mediterránea, y el fenómeno de subsidencia Pliocuaternaria para la zona es comúnmente aceptado: BRINKMANN (1931); ARANEGUI (1954); BOUCART (1962); ALIA (1972). GOY y ZAZO (1975), así como GOY (1977), confirman dicho movimiento, pero lo matizan. Existe, según ellos, un proceso de subsidencia rápida desde el Pleistoceno, con eje máximo en la zona de la Albufera y una atenuación del fenómeno en el Holoceno que fundamentalmente afecta a la misma región de la Albufera, donde incluso llegan a manifestarse pulsaciones positivas.

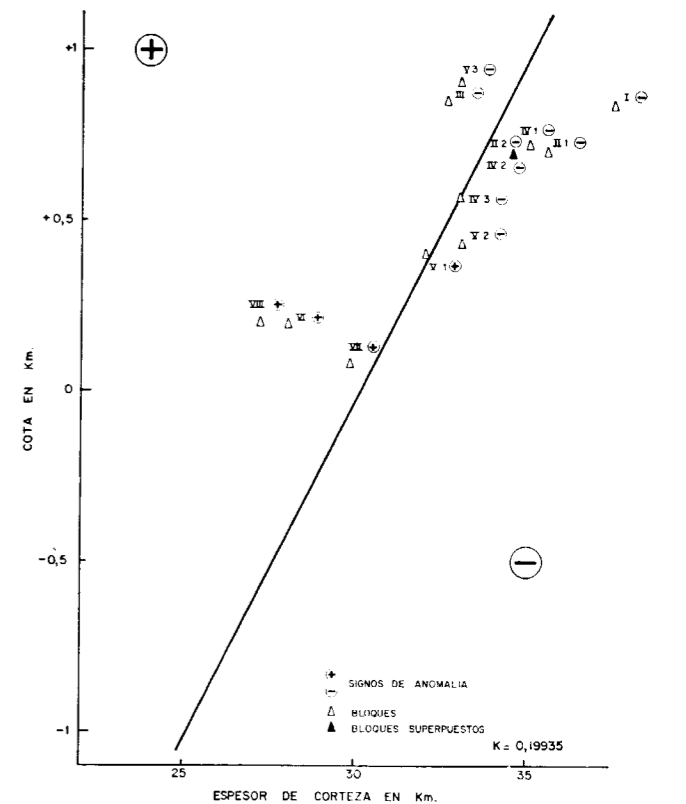


Figura 6.—Representación de bloques y recta de equilibrio isostático.

Es evidente que para alcanzar una situación de conjunto en la que el bloque central (VII o de la albufera) difiere tan claramente del resto, dicho bloque debe estar sometido a un régimen de movimiento más rápido dentro de una tendencia general a subsidir. Posteriormente, el proceso se invierte, dada la mayor proximidad que el bloque central alcanza con respecto a su posición de equilibrio. Según los datos geológicos, la primera fase se produce a lo largo del Pleistoceno y la segunda en el Holoceno.

— El bloque V define un área muy próxima a la posición de equilibrio —Bloque de la Meseta Ibérica—; sin embargo, pueden localizarse dentro de él tres unidades menores de comportamiento diferenciado.

El bloque V.1 se encuentra prácticamente en equilibrio. El V.2 tiende a elevarse para alcanzar su posición de equilibrio, 150 m. El V.3, tiende a moverse en sentido contrario al de acercamiento a la posición de equilibrio isostático; probablemente este fenómeno se debe a la propia dinámica de los movimientos isostáticos si consideramos la pequeña extensión de los bloques menores.

— El bloque III tiende a moverse en sentido de alejarse de la posición de equilibrio. Sin embargo, su posición de borde no nos permite asegurarlo.

No es irreal, por tanto, suponer que la totalidad de la región se encuentra dentro de un área sometida a tectónica de tipo distensivo, al menos desde el Pleistoceno. El hecho de que las tendencias de movimiento definidas para recuperar el equilibrio isostático se confirmen como movimientos reales detectados por los estudios geológicos, incluso siendo diametralmente opuestas, creemos que constituye un firme aval para dicha suposición.

#### IV. CONCLUSIONES

— La Unidad Ibérica, está afectada por el efecto negativo que produce la Cordillera Ibérica; su tendencia de movimiento, si otras fuerzas no la perturban, es a ascender. La geología confirma que se está produciendo dicho movimiento al menos desde el Pleistoceno.

— La Unidad Mediterránea está afectada por el efecto positivo que provoca el Mediterráneo. Su tendencia de movimiento es a subsidir. Igualmente la geología confirma la existencia real de dicho movimiento al menos desde el Pleistoceno.

— La Unidad Intermedia está muy próxima a su posición de equilibrio. Es la Unidad más estable con respecto a los movimientos Isostáticos. Geológicamente es la más estable desde tiempos alpinos

— Las Unidades mayores se subdividen en bloques corticales menores como consecuencia de las bandas de discontinuidad que las atraviesan y de la individualización de Anomalías Isostáticas Residuales.

— Las tendencias de movimiento en los bloques menores son diferentes, si bien siguen la pauta general marcada por la unidad mayor en que se inscriben.

— El hecho de que las tendencias de movimiento definidas coincidan con movimientos reales determinados por la geología, incluso casos de tendencias diametralmente opuestas, nos hace suponer para la región una tectónica de tipo distensivo, al menos desde el Pleistoceno.

#### AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a los profesores ALIA y CADAVID por su constante ayuda y consejo. Asimismo deseamos agradecer sus inestimables orientaciones al profesor CAPOTE.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALIA, M.: *Evolution post-hercynienne dans les régions centrales de la Meseta espagnole*. 24th. IGC, Sect. 3, pp. 265-272. Canadá (1972).
- ARANEGUI, P.: *Las costas arqueadas españolas*. Bol. Real Soc. Esp. Hist. Nat., t. homen. E. Hernández-Pacheco. Madrid (1954).
- BOUCART, J.: *La Méditerranée et la révolution du Pliocène*. Liv. Men. F. Fallot, t. I. Soc. Geol. Fr., pp. 103-117. París (1960-62).
- BRINKMANN, R.: *Betikum und Keltibericum in Sudostspanien*. Beitr. Geol. Westl. Mediterr., Berlín, n.º 6 (Trad. española, 1948, publ. extr. sobre Geol. Esp., t. IV, pp. 305-434) (1931).

CAPOTE, R.: *Tectónica Española*. Sem. sobre criterios sísmicos para instalaciones nucleares y obras públicas. Asoc. Esp. de Ing. Sísmica. Madrid (1978).

CARBO, A.: *Investigación geotectónica en el borde suroriental de la Cordillera Ibérica (prov. de Valencia y Albacete), basada en determinaciones gravimétricas*. Tesis Doctoral Univ. Compl. Madrid (1980).

FAHLQUIST, D. A.: *Seismic. Refraction Measurements in the Western Mediterranean Sea*. Thesis. MIT. Cambridge, Mass (1963).

GÓY, J. L.: *Estudio geomorfológico del cuaternario litoral valenciano*. Tesis doctoral (inédita). Fac. de Geología Univ. Complutense de Madrid (1978).

GÓY, J. L. y ZAZO, C.: *Estudio morfológico del Cuaternario en el óvalo de Valencia*. Trab. de Neógeno-Cuaternario, núm. 1 de Madrid (1975).

GZOVSKII: *The Geophysical Interpretation of data on young and recent deepseated tectonic movements*. Recent Crustal Movements, coll. n.º 1, ed. Gerasimov, Moscow, 1963, trad. Garfunkel, ed. Oppenheim, Jerusalén (1967).

I. G. N.: *Sismicidad correspondiente a la zona de Valencia* (1974).

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L.: *Memoria del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. IGME. Madrid (1972-74).

PAYO, G., y RUIZ DE LA PARTE, E.: *El primer perfil sísmico de la Meseta*. I. G. C. Madrid (1977).

WOOLLARD, G. P., y STRANGE, W. E.: *Gravity anomalies and crust of the earth in the Pacific basin. The crust of the Pacific Basin*. Geophys Monograph. 6, ed. MacDonald and Hisashi Kuno, pp. 60-80, Amer. Geophys. Union, Washington, D. C. (1962).

Recibido: 20 de julio de 1982



MINERIA

# Estudio de las mineralizaciones filonianas plomo-antimoníferas de la cobertera en la Sierra de la Demanda. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos)

Por P. GUMIEL (\*) y E. VINDEL (\*\*)

RESUMEN

En este trabajo se estudian los caracteres geológicos y metalogénicos del yacimiento plomo-antimonífero de Santa Rufina, Urrez (Burgos). Esta mineralización, situada en el Carbonífero discordante (Westfaliense C-D) de la Sierra de la Demanda, completa la evolución temporal de los yacimientos de antimonio del área hercínica de la Península Ibérica.

A diferencia de los yacimientos filonianos de estibina, mesotermales, con paragénesis simples y gangas de cuarzo, pertenecientes a un Primer Ciclo de mineralización tardihercínica, de edad postwestfaliense-ante-estefaniense, el yacimiento de Santa Rufina pertenece a un grupo especial de yacimientos BPG(Sb) con sulfoantimoniuros de plomo tardíos, y gangas más complejas con baritina, cuarzo y carbonatos. Esta mineralización plomo-antimonífera es epitermal, y pertenece a un Segundo Ciclo de mineralización tardihercínica que se emplaza muy lentamente en épocas permo-liásicas (anteriores al Ciclo Alpino), a favor de grandes fracturas que corresponden a una tectónica de reajustes sobre un zócalo ya rígido.

Estos dos Períodos Metalogénicos son generales en toda la Cadena Variscica europea.

ABSTRACT

The geological and metallogenetic aspects of Santa Rufina mine (Burgos) are studied in this paper. This lead-antimoniferous mineralization, located in discordant Carboniferous (Westphalien C-D) of Demanda Mountain Range, completes the temporal evolution of the antimony deposits in the Hercynian Iberian Peninsula area.

The mesothermal antimony veins, with typical simples paragenesis and quartz gangues, belonging to later-Hercynian 1st Mineralization Stage, are later-Westphalien-carlier-Stephanien age. The Santa Rufina ore belongs to special BPG(Sb) ores type, with later lead-antimonides and complex gangues (barytes, quartz and carbonates). This epithermal mineralizations (Pb-Sb), belonging to later-Hercynian 2nd Mineralization Stage, gets in slowly for Permian-Liassic epochs, before Alpine Cycle, across persistent fractures owing to distended tectonic over stiff basement.

Both Metallogenetic epochs are known in the European Variscan Belt.

INTRODUCCION

El objeto de este trabajo es completar los conocimientos existentes sobre la metalogenia de los yacimientos de antimonio situados en la cobertera. En la Península Ibérica existen dos indicios de antimonio en la cobertera. El primero de ellos, en el que el antimonio aparece en forma de sulfoantimoniuros, está situado en el Carbonífero discordante (Westfaliense C-D) de la Sierra de la Demanda, y el segundo, en el que la estibina está

asociada al vulcanismo mioceno de la Zona Interna de las Cordilleras Béticas.

En este trabajo se estudian los caracteres geológicos y metalogénicos del primero de los yacimientos, la mina Santa Rufina (Urrez), situada en el Carbonífero discordante postorogénico de la Sierra de la Demanda, en la provincia de Burgos. Se analizan las relaciones con las mineralizaciones de estibina propiamente dichas, estableciéndose la tipología del yacimiento, y finalmente se esbozan las hipótesis genéticas que pueden justificar la existencia de estas mineralizaciones plomo-antimoníferas posthercínicas.

(\*) Div. Investigaciones Mineras. IGME.  
 (\*\*) Dpto. Cristalografía y Mineralogía. Univ. Complutense de Madrid.

1. SITUACION GEOGRAFICA

La mina Santa Rufina se encuentra situada al Este de la provincia de Burgos. El acceso se realiza desde Burgos por la carretera de Logroño, desviándose después hacia Pineda de la Sierra. La mina se localiza después de atravesar la presa del Arlanzón y seguir la orilla oeste aguas arriba, por el trazado del antiguo ferrocarril durante 0,5 kilómetros (figura 1).

2. EL MARCO GEOLOGICO

La mina Santa Rufina se encuentra situada en la Sierra de la Demanda, importante núcleo hercínico de la parte septentrional de la Cordillera Ibérica, en su rama oriental o aragonesa. Encaja en materiales del Carbonífero (Westfaliense C-D).

Los materiales más antiguos que constituyen la serie estratigráfica de la zona pertenecen al Cámbrico Superior (figura 1). Se trata de una serie alternante de areniscas silíceas y pizarras arcillosas de unos 800 metros de potencia. Por encima, y concordante, se encuentra una serie alternante cuarcítico-pizarrosa perteneciente al Ordovícico Inferior (Tremadoc). Esta formación es predominantemente areniscosa a muro, mientras que a techo predominan los tramos más pizarrosos. El Ordovícico en esta zona adquiere considerable potencia, entre 800 y 1.000 metros (figura 1). En discordancia sobre las formaciones anteriores se encuentra una formación conglomerática, con niveles de conglomerados, pizarras y areniscas, de edad Westfaliense C-D y facies deltaica, que corresponde a una sedimentación de tipo parálico. Esta formación carbonífera, con capas de hulla que dieron lugar a importantes explotaciones, alcanza en la zona una potencia de unos 250 metros (figura 1), buza suavemente al SO (10°-15°) y reposa en discordancia sobre las series pizarroso-cuarcíticas infrayacentes del Cámbrico Superior-Tremadoc. Su importancia desde el punto de vista metalogénico es que constituye el ámbito encajante de la mineralización de Santa Rufina.

Encima del Carbonífero se dispone subconcordantemente el Trías Inferior (Buntsandstein).

Los materiales paleozoicos anteriores al Westfaliense han sufrido los efectos de la orogenia hercínica, que se manifiesta mediante tres fases de deformación y un débil metamorfismo regional de edad hercínica (COLCHEN, 1974).

La primera fase de deformación, que es la más importante, da lugar a grandes estructuras orientadas NE-SO, como la del sinclinal de Palazuelos-Arlanzón (figura 1), y lleva asociada una esquistosidad de fractura.

La segunda fase se caracteriza por el desarrollo de cabalgamientos de amplitud métrica a kilométrica, cuyas superficies son subparalelas a los

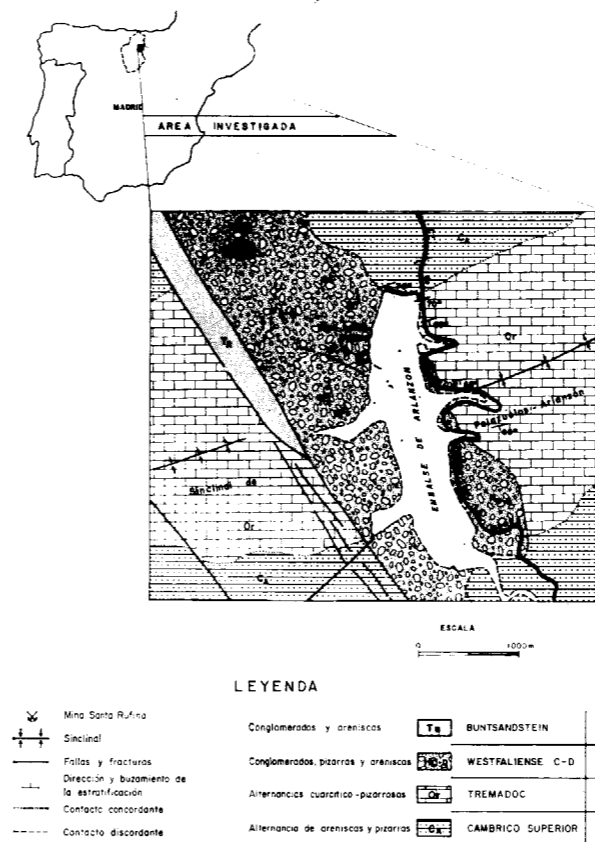


Figura 1.—Esquema geológico-minero de los alrededores de la mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

Las labores consisten en un antiguo pozo junto a la vía, y un pequeño socavón practicable entre el antiguo ferrocarril y el embalse. Estas labores corresponden a un intento de explotación que tuvo lugar hace más de 20 años. La mina se ubica en la Hoja 239/20-11 (Pradoluengo) del M. T. N. a escala 1:50.000.

ejes de los pliegues de la primera fase. Es observable fuera de la zona de estudio, y lleva asociada una segunda esquistosidad de fractura peor definida que la primera.

La tercera fase, cuyo desarrollo es muy local, se manifiesta por pliegues de eje subvertical, de dirección entre N 110° E y N 140° E, acompañados de una esquistosidad de crenulación.

Las dos primeras fases deben corresponder a un período comprendido entre el Namuriense y el Westfaliense (BOQUERA et al., 1978).

Los efectos de la orogenia alpina son igualmente de una tectónica polifásica, pero de estilo diferente, pues se observa la superposición de dos niveles estructurales distintos: el zócalo pre-westfaliense y la cobertera constituida por las formaciones carboníferas postorogénicas y las mesozoicas.

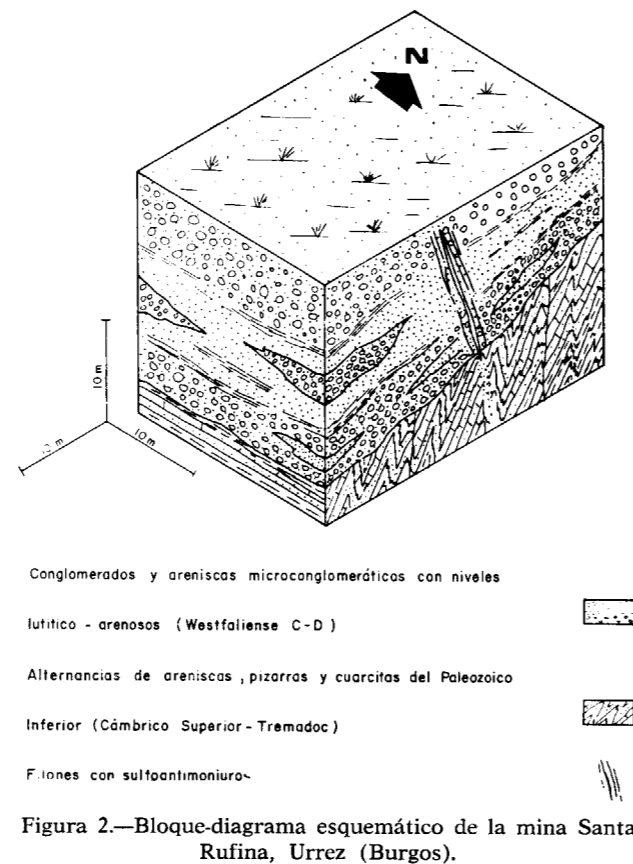
Finalmente, se observa una tectónica de bloques en el zócalo condicionada principalmente por dos direcciones de fracturas, NO-SE, NE-SO, lo que produce una compartimentación y escalonamiento del macizo paleozoico, con hundimientos hacia el SO. Los movimientos del zócalo son esencialmente verticales, apreciándose en la cobertera mediante series con disposición monoclinas. No obstante, el estilo de plegamiento de la cobertera varía según las zonas, ya que aparecen unas veces pliegues de revestimiento en estrecha relación con el zócalo, y otras, pliegues de cobertera disarmónicos con el sustrato.

### 3. DESCRIPCIÓN DEL YACIMIENTO

#### a) El medio encajante

La mineralización plomo-antimonífera de Santa Rufina encaja en conglomerados y areniscas de edad Westfaliense C-D, en clara discordancia angular sobre las formaciones del Paleozoico Inferior infrayacente (figura 2). Los conglomerados en el entorno de la mina son monogénicos y de color gris, con cantos bien rodados de cuarcitas del Paleozoico infrayacente, de tamaño decimétrico a centimétrico y matriz areniscosa (foto 1). Las areniscas de carácter microconglomerático (foto 2) y se disponen en bancos métricos separados por finos niveles lutítico-arenosos, a veces con algo de hulla. Sus clastos son poligé-

nicos y generalmente de cuarcitas, cherts y pizarras, que provienen también de los materiales paleozoicos infrayacentes.



#### b) Disposición de la mineralización

La mineralización es de tipo filoniano, de relleno de fracturas según una dirección principal ONO-ESE, que oscila entre N 110° E y N 120° E, con buzamientos entre 75°-85° NE y verticales (foto 3). Se observa un filón principal con sulfoantimoniuros de plomo y ganga de baritina (figura 3a), cuya potencia oscila entre 4 y 14 cm. También se encuentra mineral en venillas secundarias que rellenan fisuras de potencia centimétrica (foto 4 y figura 3b) en las areniscas microconglomeráticas.

Los sulfoantimoniuros de plomo, de carácter espático y a veces microgranudo, se disponen en el filón de baritina (el de mayor potencia) en finas bandas hacia los bordes y en la zona axial (figura 3a y foto 3) dando lugar a un bandeado

simétrico característico. La baritina presenta hábito típico tabular y color blanco a grisáceo.

Otras veces, los sulfoantimoniuros de plomo, cuando aparecen relleno de fisuras secundarias, presentan escasa ganga (figura 3b y foto 4) y ésta es de cuarzo y carbonatos principalmente. Se trata de un cuarzo generalmente calcedónico, gris, y a veces contiene cristales milimétricos de grafito. Los carbonatos (siderita) son de color rojizo, de aspecto cristalino y traslúcidos.

Por último, las dimensiones del yacimiento son bastante reducidas, con una extensión longitudinal de los filones que no supera los 70 metros y una profundidad explotada inferior a los 30 metros.

#### c) Alteraciones hidrotermales de las rocas encajantes

Los contactos de estos cuerpos filonianos con las rocas encajantes son siempre muy netos. No obstante, suele aparecer una zona arcillosa de alteración en las salbandas del filón principal, de 2 a 3 cm. de espesor. Junto con estos materiales arcillosos se encuentran ocre de Sb.

Se ha realizado un estudio químico de los contenidos de los elementos mayores (\*) en estos productos de alteración de la roca encajante, producidos como consecuencia del emplazamiento filoniano. Este estudio ha podido realizarse dado que la potencia de la zona alterada, aunque centimétrica, no varía considerablemente, y además porque se han obtenido muestras representativas en el socavón existente en una de las labores de la mina. El muestreo se ha realizado en función de la distancia al cuerpo filoniano, tomando muestras en las salbandas del filón principal, y a mayores distancias progresivamente (20 y 80 cm. del mismo), con objeto de observar la variación química de los elementos mayores según la influencia filoniana (tabla 1 y figura 4).

Como se puede observar en la figura 4, los contenidos de sílice, alúmina y potasio disminuyen bruscamente hacia el filón. La sílice disminuye entre el 7 y el 17 por 100. De esta forma, se pone

(\*) Se han escogido, tan sólo, aquellos elementos mayores que pueden tener especial interés para el estudio de las alteraciones hidrotermales, de ahí que los análisis de la Tabla 1 no sumen el 100 por 100.

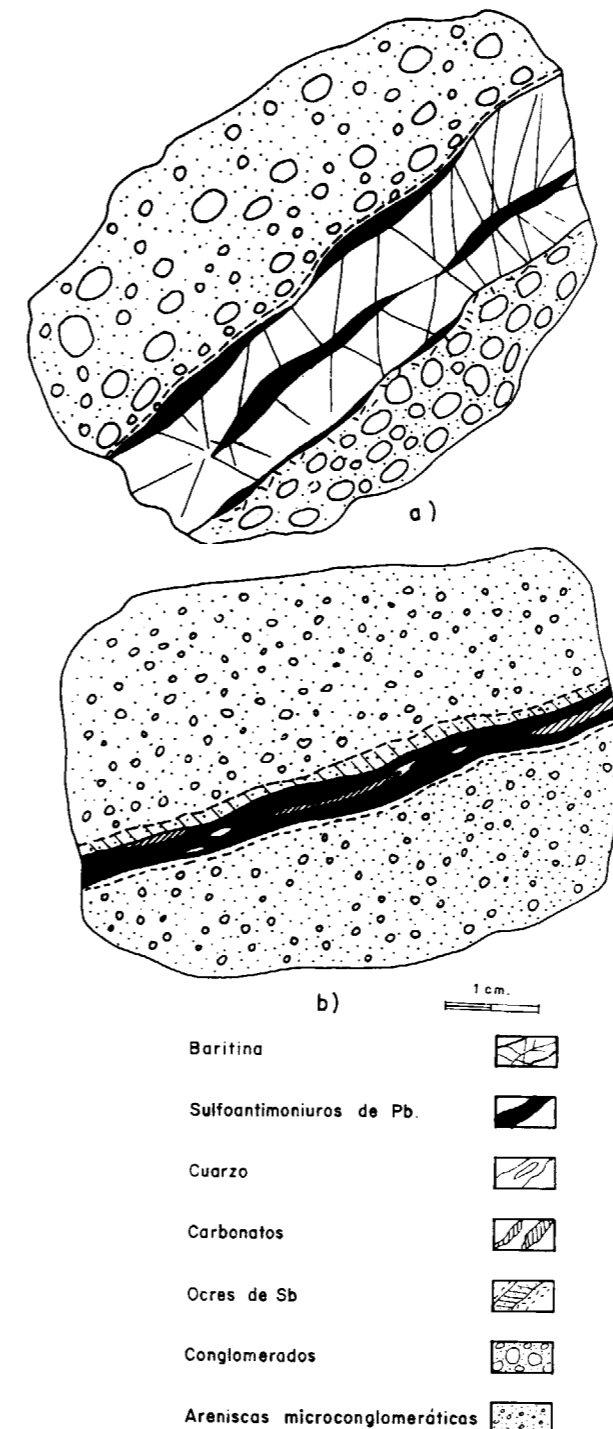


Figura 3.—Disposición de la mineralización de sulfoantimoniuros de plomo en la mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).



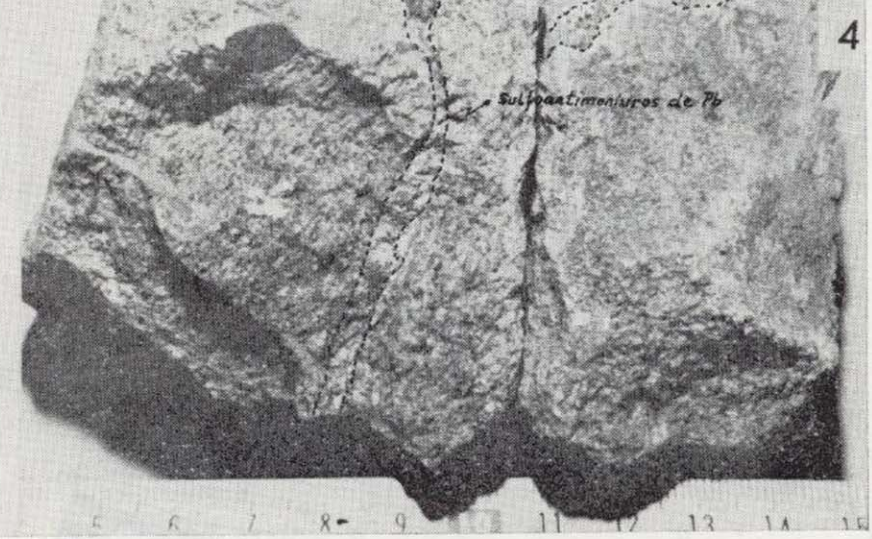
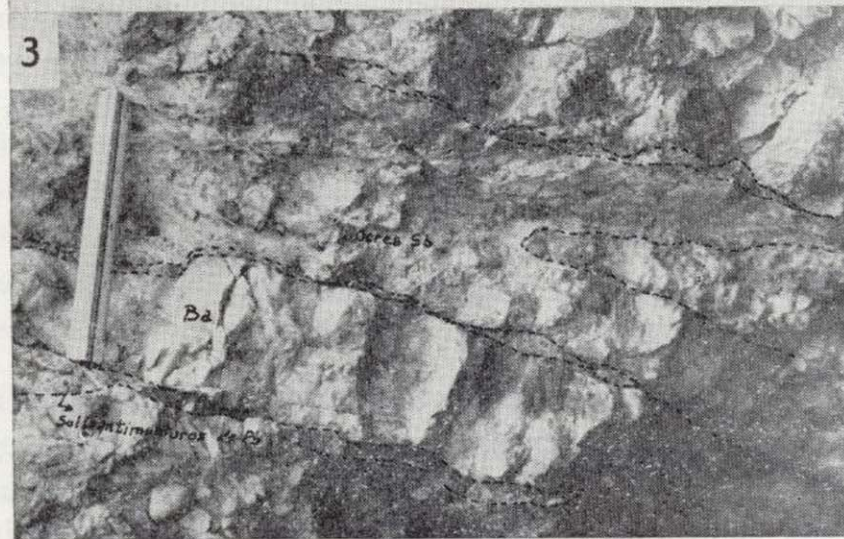
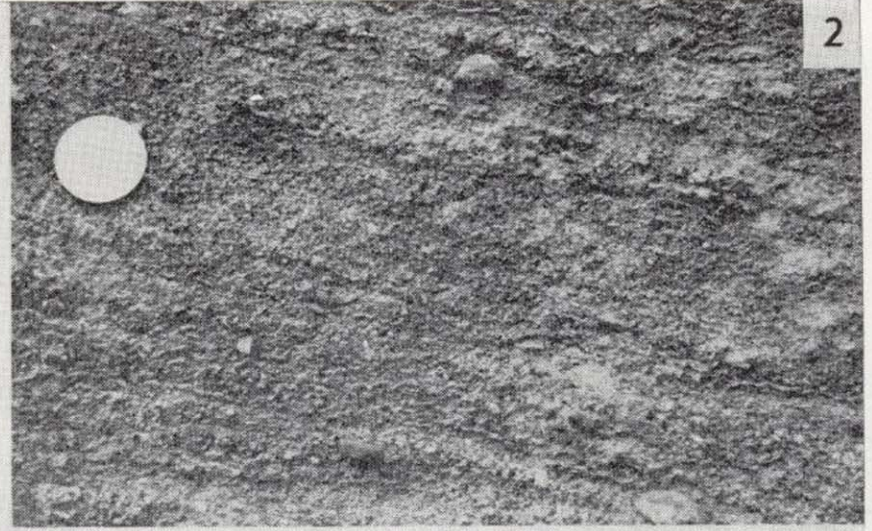
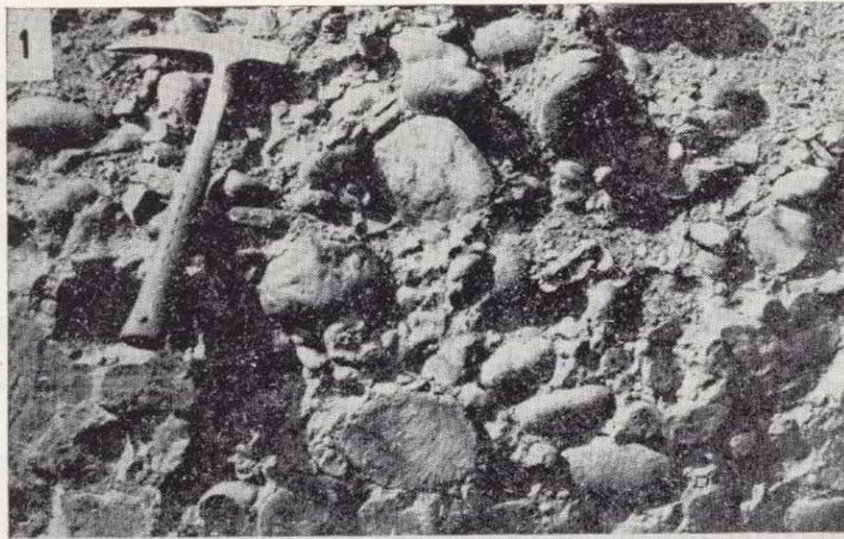


Foto 1.—Conglomerado con cantos bien redondeados de cuarcitas, de edad Westfaliense C-D, encajantes de la mineralización de Pb-Sb de Santa Rufina, Urrez (Burgos).  
Orientación de la foto S-N.

Foto 2.—Areniscas microconglomeráticas con clastos generalmente de cuarcita, cherts y pizarras, de edad Westfaliense C-D, encajantes de la mineralización de Pb-Sb de Santa Rufina, Urrez (Burgos). Orientación de la foto S-N.

Foto 3.—Filón de baritina con sulfoantimoniuros de Pb y ocras de Sb en los bordes y en la zona axial. La dirección oscila entre N 110° E y N 120° E con buzamientos entre 75° y 85° NE. Foto orientada ESE-ONO, mirando al techo (filón en realidad subvertical). Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

Foto 4.—Sulfoantimoniuros de Pb rellenando fisuras centimétricas, con escasa ganga, en areniscas microconglomeráticas. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

TABLA 1

Muestras	SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	SR-5
SiO <sub>2</sub> ... ..	74,8	65,5	83,5	83,5	81,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	6,7	3,7	9,0	8,5	9,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	0,73	1,2	1,0	1,8	2,2
FeO <sub>2</sub> ... ..	0,04	0,25	0,22	0,22	0,18
MgO ... ..	1,3	1,6	0,60	0,60	0,40
CaO ... ..	0,28	0,14	0,28	0,28	0,42
K <sub>2</sub> O ... ..	1,4	0,46	2,3	2,1	2,2
Na <sub>2</sub> O ... ..	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06

Contenidos en % de los elementos mayores en las rocas encajantes próximas al filón. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

(Análisis efectuados en NOVAMIN, S. A.).

claramente de manifiesto que no existe una silicificación como proceso de alteración en esta mineralización.

La alúmina disminuye entre el 2 y el 5 por 100, y el potasio entre el 1 y el 2 por 100.

De igual modo, aunque menos brusco, se observa también un descenso en los contenidos de hierro, sodio y calcio hacia el filón. Por el contrario, se puede apreciar un aumento del contenido en magnesio (1,2 por 100).

Estas variaciones químicas relacionadas con la alteración, reflejan bien las transformaciones mineralógicas. Probablemente, los feldespatos fueron hidrolizados, liberando sílice, calcio y sodio,

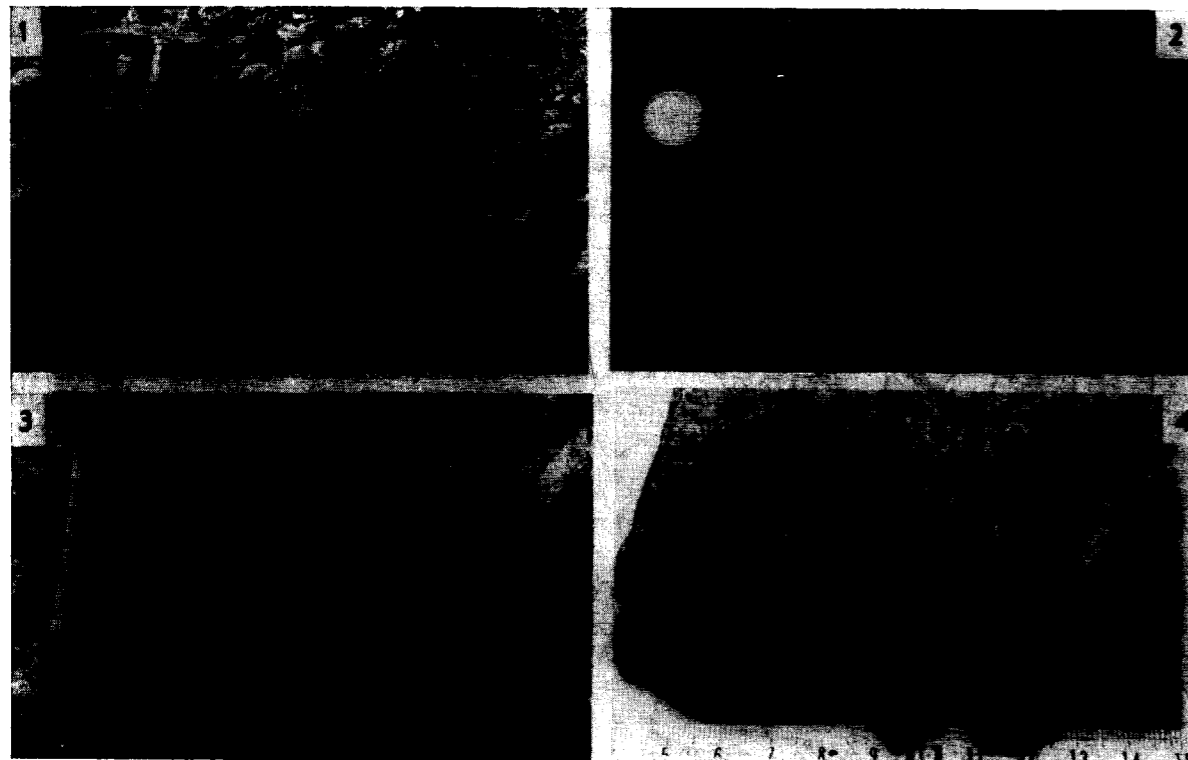


Foto 1.—Conglomerado con cantos bien redondeados de cuarcitas, de edad Westfaliense C-D, encajantes de la mineralización de Pb-Sb de Santa Rufina, Urrez (Burgos). Orientación de la foto S-N.

Foto 2.—Areniscas microconglomeráticas con clastos generalmente de cuarcita, cherts y pizarras, de edad Westfaliense C-D, encajantes de la mineralización de Pb-Sb de Santa Rufina, Urrez (Burgos). Orientación de la foto S-N.

Foto 3.—Filón de baritina con sulfoantimoniuros de Pb y ocras de Sb en los bordes y en la zona axial. La dirección oscila entre N 110° E y N 120° E con buzamientos entre 75° y 85° NE. Foto orientada ESE-ONO, mirando al techo (filón en realidad subvertical). Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

Foto 4.—Sulfoantimoniuros de Pb rellenando fisuras centimétricas, con escasa ganga, en areniscas microconglomeráticas. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

TABLA 1

Muestras	SR-1	SR-2	SR-3	SR-4	SR-5
SiO <sub>2</sub>	74,8	65,5	83,5	83,5	81,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,7	3,7	9,0	8,5	9,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,73	1,2	1,0	1,8	2,2
FeO	0,04	0,25	0,22	0,22	0,18
MgO	1,3	1,6	0,60	0,60	0,40
CaO	0,28	0,14	0,28	0,28	0,42
K <sub>2</sub> O	1,4	0,46	2,3	2,1	2,2
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,04	0,06	0,05	0,06

Contenidos en % de los elementos mayores en las rocas encajantes próximas al filón. Mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

(Análisis efectuados en NOVAMIN, S. A.).

claramente de manifiesto que no existe una silicificación como proceso de alteración en esta mineralización.

La alúmina disminuye entre el 2 y el 5 por 100, y el potasio entre el 1 y el 2 por 100.

De igual modo, aunque menos brusco, se observa también un descenso en los contenidos de hierro, sodio y calcio hacia el filón. Por el contrario, se puede apreciar un aumento del contenido en magnesio (1,2 por 100).

Estas variaciones químicas relacionadas con la alteración, reflejan bien las transformaciones mineralógicas. Probablemente, los feldespatos fueron hidrolizados, liberando sílice, calcio y sodio,

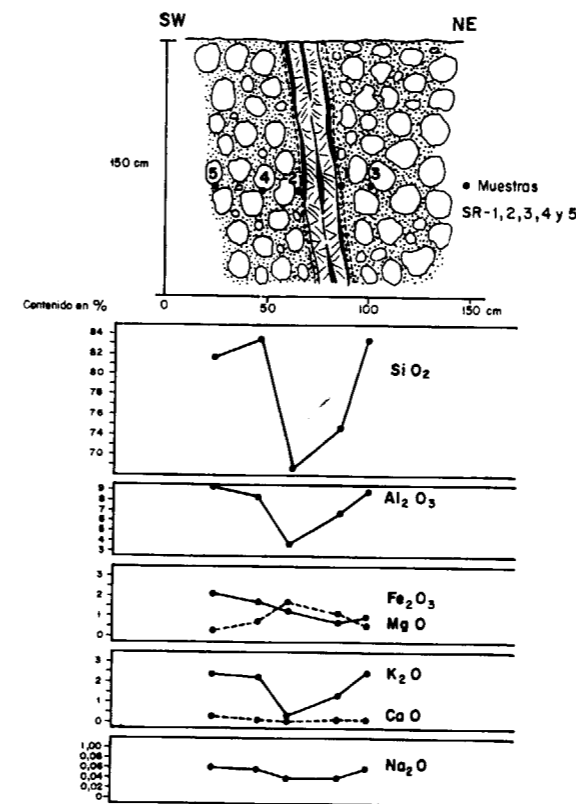


Figura 4.—Variación de los contenidos de los elementos mayores en función de la intensidad de la alteración, según la distancia al cuerpo filoniano.

Los minerales principales del yacimiento son sulfoantimoniuros de plomo. El principal es *boulangerita*, como han puesto de manifiesto sus caracteres ópticos y los valores analíticos obtenidos por microsonda electrónica (S: 21,0 por 100; Pb: 54,1 por 100; Sb: 20,5 por 100). La *boulangerita* reemplaza a la galena y presenta estructura fibrosa (foto 5). Son muy frecuentes los cristales fibrosos y aciculares en agregados subparalelos.

También se encuentra *bournonita* (S: 20,9 por 100; Cu: 14,0 por 100; Pb: 43,3 por 100; Sb: 21,4 por 100) asociada a la calcopirita. La *bournonita* presenta las características maclas polisintéticas ortogonales, denominadas «maclas en parquet» (foto 6).

La *galena* tiene carácter accesorio y aparece en forma de inclusiones e intercrecida con los sulfoantimoniuros (foto 7). Incluidos en la galena aparecen granos redondeados de *esfalerita*.

La *calcopirita* se encuentra incluida en galena, *bournonita* (foto 8) y *boulangerita*, o en la ganga, en forma de granos alotriomorfos. La *pirita* puede ser precoz, con tendencia al idiomorfismo, incluida en los restantes minerales y anterior a ellos. Otro tipo de *pirita* da lugar a formas framboidales, que aparecen diseminadas en la roca encajante.

Los minerales supergénicos son escasos, se reconocen ocras de antimonio, así como *covellina* que reemplazan a *calcopirita* y *bournonita*.

La *baritina* es la ganga principal y característica del yacimiento. Junto con ella, aparece *siderita*, que se dispone hacia los bordes de las fisuras o incluida en la baritina, y *cuarzo* subidiomorfo de carácter temprano. También se reconoce otro tipo de *cuarzo* y *calcedonia*, que rodean a la mineralización.

La sucesión mineral del yacimiento (figura 5) comienza con la deposición de *cuarzo* temprano, *siderita* y *baritina* mayoritaria. A favor de una fase de brechificación, comienza la deposición de sulfuros de Fe-Cu (*pirita*, *calcopirita*) y a continuación los de Pb-Zn (*galena*, *esfalerita*). Finalmente, y reemplazando a la *galena*, se depositan sulfoantimoniuros de plomo tardíos (*bournonita* y *boulangerita*), junto con *calcedonia*.

Por último, como consecuencia de los procesos supergénicos y de oxidación, se ha producido un

y los minerales ferromagnesianos fueron alterados a *clorita*.

Por consiguiente, las alteraciones hidrotermales producidas por este tipo de mineralizaciones (epitermales) son bastante restringidas, siendo la principal una cloritización de la roca encajante, siempre en la inmediata vecindad de los filones. Igualmente, puede observarse una argillización.

#### 4. CARACTERES METALOGENICOS. PARAGENESIS Y SUCESION MINERAL

La paragénesis del yacimiento pertenece al tipo (c.q.Ba.Pb-Sb).

*Minerales hipogénicos:* *boulangerita*, *bournonita*, *galena*, *esfalerita*, *calcopirita* y *pirita*.

*Minerales supergénicos:* *covellina* y ocras de antimonio.

*Minerales de la ganga:* *baritina*, *siderita*, *cuarzo* y *calcedonia*.

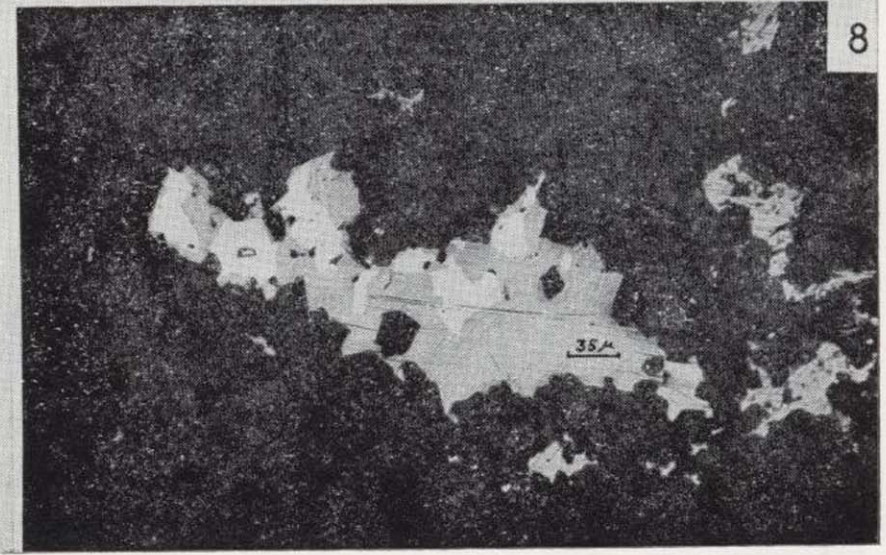
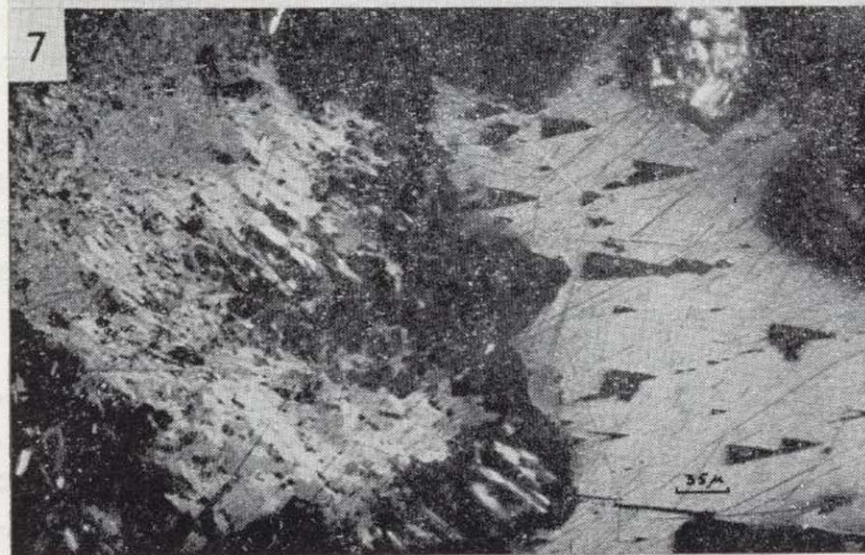
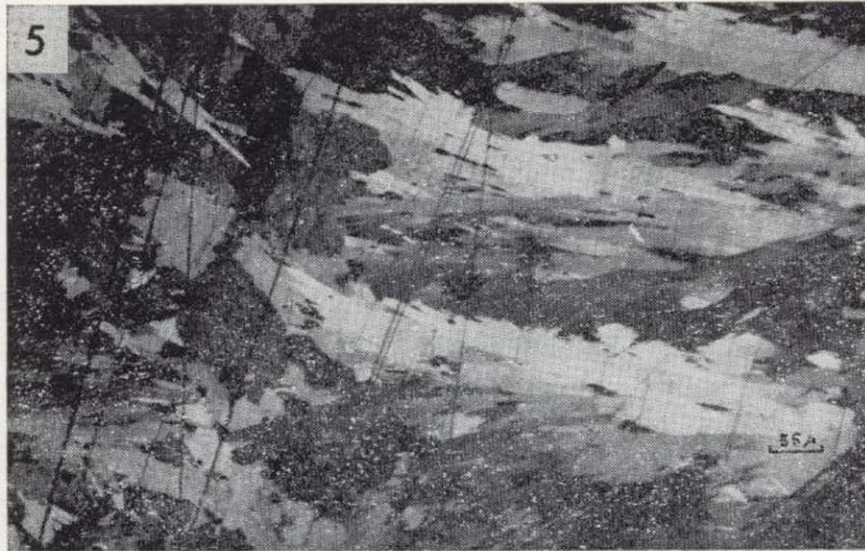


Foto 5.—Boulangerita con textura fibrosa. L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 6.—Bournonita con típicas maclas «en parquet». L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 7.—Galena (con triángulos «pits») intercrecida con boulangerita fibrosa. L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 8.—Calcopirita (blanco) incluida en bournonita (gris). L. Reflejada. L. N. Inmersión.

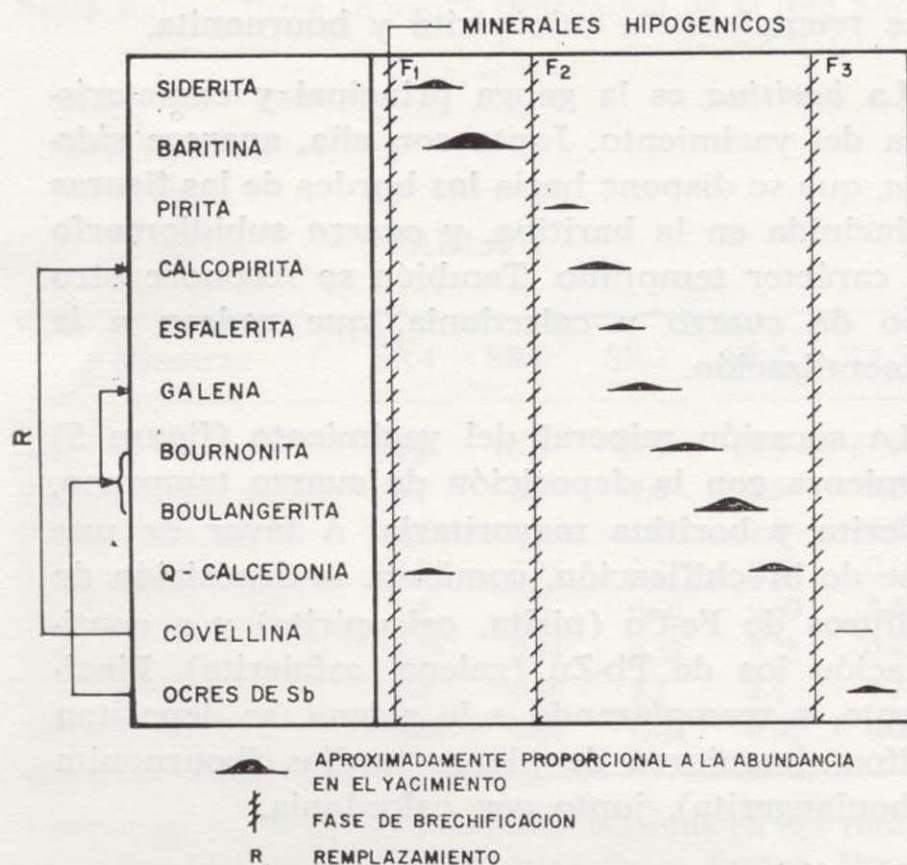


Figura 5.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

reemplazamiento parcial de calcopirita y bournonita por covellina, y de los sulfoantimoniuros por ocras de antimonio.

### 5. TIPOLOGIA DEL YACIMIENTO. RELACIONES CON LAS MINERALIZACIONES DE ESTIBINA DEL AREA HERCINICA DE LA PENINSULA IBERICA

Los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica pertenecen a los siguientes tipos (GUMIEL, 1982):

1. Yacimientos estratoides del Paleozoico Inferior.
2. Yacimientos filonianos de estibina encajados en el Precámbrico y Paleozoico.
3. Yacimientos en diques de rocas volcánicas ácidas.

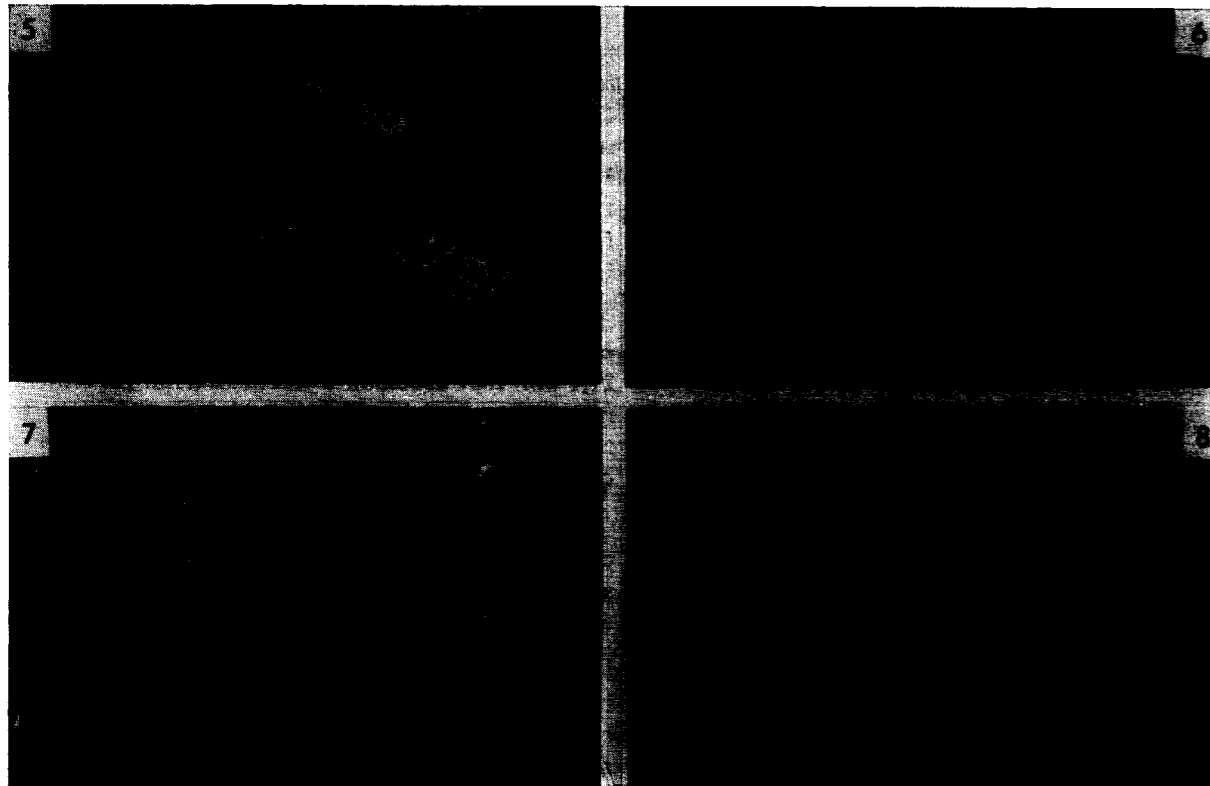


Foto 5.—Boulangerita con textura fibrosa. L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 6.—Bournonita con típicas maclas «en parquet». L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 7.—Galena (con triángulos «pits») intercrecida con boulangerita fibrosa. L. Reflejada. N. C. Inmersión.

Foto 8.—Calcopirita (blanco) incluida en bournonita (gris). L. Reflejada. L. N. Inmersión.

reemplazamiento parcial de calcopirita y bournonita por covellina, y de los sulfoantimoniuros por ocre de antimonio.

##### 5. TIPOLOGIA DEL YACIMIENTO. RELACIONES CON LAS MINERALIZACIONES DE ESTIBINA DEL AREA HERCINICA DE LA PENINSULA IBERICA

Los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica pertenecen a los siguientes tipos (GUMIEL, 1982):

1. Yacimientos estratoides del Paleozoico Inferior.
2. Yacimientos filonianos de estibina encajados en el Precámbrico y Paleozoico.
3. Yacimientos en diques de rocas volcánicas ácidas.

Los yacimientos filonianos de estibina son mesotermiales, presentan paragénesis simples con gangas de cuarzo cristalino, jamás calcedónico y tienen estructuras de reemplazamiento muy particulares, no apareciendo casi nunca bandeados.

A diferencia con estos yacimientos, el de Santa Rufina pertenece a un grupo especial de yacimientos BPG(Sb) que contienen sulfoantimoniuros de plomo tardíos (boulangerita el más frecuente). Estos sulfoantimoniuros están asociados a la baritina y son más tardíos que la galena. Estas formaciones son muy diferentes de los yacimientos mesotermiales de estibina (Primer Ciclo), que GEFROY (1955) denominaba tan acertadamente «verdaderos filones con estibina». Su ganga barítica, abundante, asociada a cuarzo calcedónico, les confiere un tipo claramente epitermal, siendo por consiguiente más recientes que los filones con estibina.

La evolución temporal de los yacimientos de antimonio del área hercínica de la Península pone de manifiesto una sucesión normal, en la que primeramente se deposita galena, después sulfoantimoniuros y finalmente estibina. Un ejemplo en la Península es la mina Diógenes (Ciudad Real) perteneciente a la asociación (c.q.Pb-Ag-Sb, GUMIEL, 1982). Esta asociación y las restantes paragénesis simples de estibina (q.Sb, q.Sb-Au y q.Sb-Zn) pertenecen a las soluciones mineralizadoras del Primer Ciclo. Pero la sucesión temporal del yacimiento de Santa Rufina pone de manifiesto que esta mineralización plomo-antimonífera define un segundo ciclo de mineralización posthercínica, representado por filones generalmente polimetálicos y gangas más complejas con cuarzo, baritina y carbonatos, que no ha sido encontrado en el área hercínica de la Península. Por consiguiente, esta mineralización completa la evolución temporal de los yacimientos de estibina de la Península Ibérica, pues es posterior a los mismos.

Este tipo de mineralizaciones plomo-antimoníferas tardías pueden ser el resultado de removilizaciones a escala regional de las mineralizaciones primarias (Primer Ciclo), por soluciones mineralizadoras pertenecientes al Segundo Ciclo. De esta forma, se observan formaciones plomo-antimoníferas posteriores a los filones con estibina. Puede existir incluso en este Segundo Ciclo, la formación de una segunda generación de estibina muy minoritaria que no ha sido encontrada en Santa Rufina.

En definitiva, esta mineralización Pb-Sb de Santa Rufina es correlacionable con las mineralizaciones Pb-Zn-Sb del Segundo Ciclo de PERICHAUD (1971, 1980) en el distrito de Brioude-Massiac (Francia). Otros distritos en los que aparecen sulfosales de Pb posteriores a la estibina son: Pontgibaud (BOULADON et al., 1964); las formaciones baríticas del Macizo Central francés (GEFFROY, 1955); Cap Sizum y Quimper en el Macizo Armoricano (FOUQUET, 1980) y Marruecos Central (MORIN, 1958 a y b, 1960 y 1966; KOSAKEVITCH, 1967 y KOSAKEVITCH y MÖELO, 1978).

##### 6. HIPOTESIS GENETICAS

El origen de estas soluciones del Segundo Ciclo mineralizador, que además son de muy baja temperatura (por ejemplo, en Brioude-Massiac. BRIL, 1982, encuentra que la temperatura de homogeneización de las soluciones varía entre 100° y 120° C), según RÖSLER et al. (1968) es muy profundo. Precisamente estas mineralizaciones de Segundo Ciclo serían de más baja temperatura porque están más alejadas de sus ámbitos generadores que las mineralizaciones del Primer Ciclo. Las soluciones del Segundo Ciclo efectúan un largo recorrido a través de la corteza terrestre, capturando y enriqueciéndose en elementos de las rocas encajantes. De aquí la existencia de ciertos elementos (Ge, Ba y F) en estas sulfosales o como gangas de las mismas.

Por otra parte, el origen de estas soluciones del Segundo Ciclo mineralizador, según BURNOL (1974), corresponde a aguas vadasas que se cargan en sales minerales en las partes superficiales de la corteza terrestre, por lixiviación en zonas fracturadas, a través de las cuales existen circulaciones ascendentes en fases distensivas, en una tectónica de reajustes. Este autor los denomina «yacimientos de modificación tardía».

Independientemente de que el origen de estas soluciones del Segundo Ciclo sea profundo, o por el contrario debido a aguas vadasas próximas a las partes superficiales de la corteza terrestre, dada la tectónica distensiva de la zona de Santa Rufina (figura 1), son perfectamente válidos ambos esquemas. Esta tectónica de reajustes ha favorecido, sin duda en Santa Rufina, la existencia de circulaciones ascendentes que son las responsables de la mineralización.

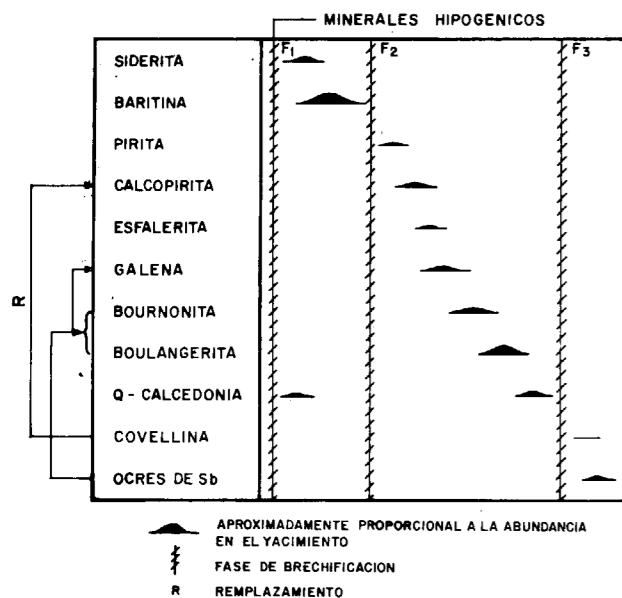


Figura 5.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral mina Santa Rufina, Urrez (Burgos).

Este conjunto de datos subraya la originalidad de las condiciones de depósito de las soluciones mineralizadoras del Segundo Ciclo con relación al Primero (paragénesis, temperatura, geoquímica y alteraciones).

Finalmente, se sugiere un último origen debido, en parte, a una «herencia» de las mineralizaciones del Primer Ciclo. Las sulfosales complejas en su formación han debido atravesar áreas de repartición de mineralizaciones del Primer Ciclo, y el plomo, en este Segundo Ciclo, sobrepasa sus áreas iniciales y alcanza mayor dispersión a escala regional.

## 7. EDAD DE LAS MINERALIZACIONES

### a) Filones con estibina

No existen muchos datos sobre la cronología de las mineralizaciones de antimonio. Los filones con estibina encajan en rocas que van desde el Precámbrico Superior hasta el Estefaniense, pero su emplazamiento es posterior a los plegamientos mayores de la orogenia hercínica, ya que éstos no los afectan. Los últimos plegamientos son westfalienses y por consiguiente, la edad de las mineralizaciones puede considerarse como postwestfaliense y ante-estefaniense, ya que los filones con estibina no cortan nunca al hullero productivo (tal es el caso del Macizo Central francés). Por tanto, el emplazamiento de los filones con antimonita se sitúa entre  $\pm 290$  y 300 M.A. (PERICHAUD, 1980), lo que está de acuerdo con la relación de los filones con estibina simples y los granitos namuro-westfalienses.

En la Península Ibérica, las mineralizaciones de Sb-Hg de Asturias se localizan en fracturas que afectan a formaciones del Estefaniense Medio a Superior. En el distrito del Bajo Duero (Portugal), las mineralizaciones de Sb-Au encajan en series que llegan hasta el Estefaniense Medio (PORTUGAL FERREIRA et al., 1971). Estas formaciones están atravesadas por granitos datados como de 280 M.A., que depositan las mineralizaciones en aureolas.

### b) Filones BPG (Sb)

Los filones plomo-antimoníferos con gangas complejas del Segundo Ciclo mineralizador enca-

jan en series estefanienses, pérmicas (Buzains) y triásicas (Charmes-sur-Rhône). También existen filones con gangas de barita y fluorita que afectan desde el Lías Inferior hasta el Sinemuriense (GEFFROY, 1951).

Una datación isotópica realizada por DUTHOU (1969), en PERICHAUD (1980), sobre una galena de un filón de Segundo Ciclo, se emplaza en épocas cimméricas que preluden al ciclo alpino.

De esta forma, se definen dos Períodos Metalogénicos generales en toda la Cadena Variscica europea. BAUMANN y RÖSLER (1967) muestran que los dos Ciclos Metalogénicos de Europa central están cronológicamente individualizados y separados en el tiempo. El Primero de edad hercínica, comprende desde el Carbonífero Superior al Pérmico (mineralizaciones de estibina de Bohemia de edad pérmica, según BERNARD y BAUMANN, 1979). El Segundo Ciclo mineralizador es de edad Saxonense y comprende desde el Trías terminal hasta el Cretácico.

En definitiva, se puede concluir que la edad de las mineralizaciones de antimonio confirman la neta diferencia que existe entre los filones con estibina y los filones plomo-antimoníferos, tanto desde el punto de vista paragenético, como en sus aspectos morfológicos y económicos. Los yacimientos mesotermales de estibina y cuarzo (Primer Ciclo) que GEFFROY (1955) denominaba «verdaderos filones con estibina», se emplazan de forma bastante rápida en épocas tardihercínicas (finales del Westfaliense), aunque no sean exactamente sincrónicos a lo largo de toda la Cadena Variscica europea. El emplazamiento se verifica en fracturas irregulares, que son secuelas de una tectónica suave, después del levantamiento de la Cadena Hercínica.

Los yacimientos plomo-antimoníferos (Segundo Ciclo), a los que pertenece la mineralización de Santa Rufina, se emplazan muy lentamente en épocas incluso permo-liásicas, a favor de grandes y permanentes fracturas que corresponden a una tectónica de reajustes sobre un zócalo ya rígido. Los efectos de estos movimientos se traducen en una tectónica de bloques con reaperturas de fracturas, que van a permitir el lento emplazamiento de soluciones mineralizadoras a baja temperatura.

## AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a Alfredo Vidal, de IBERGESA, su inestimable ayuda en la realización de este trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- BAUMANN, L., y RÖSLER, M. J.: *Zur genetischen einstuftung varistischer und postvaristischer mineralizationen in Mitteleuropa*. Bergakademie, 11, Leipzig, pp. 660-664 (1967).
- BERNARD, J. H., y BAUMANN, L.: *Variscan paragenetic units of the mineralisations in the Bohemian massif*. Tocipl Report of Iagod (1979).
- BOQUERA, J.; GIL, G., y ZUBIETA, J. M.: *Mapa Geológico de España*. Escala 1/5.000. 2.ª serie, MAGNA. Hoja 239/20-11 (Pradoluengo). IGME (1978).
- BOULADON, J.; PERICHAUD, J. J., y PICOT, P.: *Les faisceaux filonien de Pontgibaud (Puy de Dôme)*. Bull. Bur. Rech. Geol. Min. n.º 1, pp. 241 (1964).
- BRIL, H.: *Etude metallogénique des filons plombo-zincíferes du second cycle dans le district de Brioude-Massiac (Massif Central Français)*. Symposium Gites filoniens Pb Zn F Ba de basse temperature du domaine varisque d'Europe et d'Afrique du Nord. B. R. G. M. Orleans (1982).
- BURNOL, L.: *Géochimie du béryllium et types de concentrations dans les leucogranites du Massif Central Français. Relations entre les caractéristiques géochimiques des granitoides et les gisements endogènes de type départ acide (Be, Sn, Li) on de remanient tardif (U, F, Pb et Zn)*. Mem. B. R. G. M., n.º 85, 168 pp. (1974).
- COLCHEN, M.: *Geologie de la Sierra de La Demanda, Burgos-Logroño (Espagne)*. Mem. IGME, t. 85, 2 vols., 436 pp. (1974).
- FOUQUET, Y.: *Les districts antimoníferes de Quimper et du Cap Sizum (Finistère). Leur place dans la metallogenie de l'antimoine dans le massif armoricain (France)*. Thèse de doctorat de troisième cycle. Clermont-Ferrand, 191 pp. (1980).
- GEFFROY, J.: *Metallogénie hydrothermale et remaniements ascendants dans la Lozère. Extension possible du processus*. Bol. Soc. Geol. France (6), I, pp. 389-411 (1951).

GEFFROY, J.: *Metallogénie de l'antimoine dans les aires hercyniennes françaises*. Bull. Assoc. des anciens élèves de Geol. appliquée. Paris, n.º 5, pp. 28-35 (1955).

GUMIEL, P.: *Metalogenia de los yacimientos de antimonio de la Península Ibérica*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca, 324 pp. (1982).

KOSAKEVITCH, A.: *Quelques considérations minéralogiques sur la présence de plomb et d'arsenic dans les minerais d'antimoine marocains*. Min. Geol. Maroc, núm. 25, pp. 21-33 (1967).

KOSAKEVITCH, A., y MÖELO, Y.: *Les minéralisations a antimoine du massif hercynien du Maroc Central. Leurs paragenèses et leur place dans le cadre métallogénique regional*, en Résumé des principaux résultats scientifiques et techniques du Service Géologique National pour 1978. B. R. G. M. Orléans (1978).

MORIN, Ph.: *Plomb et antimoine du district de Sidi Mbark (Maroc Central)*. Mines et Geol. Rabat, núm. 1, pp. 47-48 (1958a).

MORIN, Ph.: *Sur l'age relative des minéralisations antimonifères et plombozincifères dans le Maroc Central*. C. R. Somm. Séances Soc. Geol. Fr., núm. 7, pp. 159-160 (1958b).

MORIN, Ph.: *Le Maroc Central: Un aperçu de ses ressources minérales*. Mines et Geologie (Rabat), núm. 9, pp. 43-50 (1960).

MORIN, Ph.: *Sulfoantimoniures de plomb dans les minerais d'antimoine marocains*. Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc, t. 27, núm. 198, p. 123 (1966).

PERICHAUD, J. J.: *Les gisements métalliques du district à antimoine de Brioude-Massiac (Massif Central Français)*. Bull. B. R. G. M., Sec. II, núm. 2, pp. 1-55 (1971).

PERICHAUD, J. J.: *L'antimoine, ses minerais et ses gisements. Synthèse géologique sur les gisements du Massif Central Français*. Chr. Rech. Min., núm. 456, pp. 5-64 (1980).

PORTUGAL FERREIRA, M.; SANTOS OLIVEIRA, J. M. y SANTAREM ANDRADE, R.: *Ocorrencias de antimonio no norte de Portugal*. C. H. L. A. G. E. Sec. IV, t. I, pp. 597-617 (1971).

RÖSLER, M. J.; BAUMANN, L., y JUNG, W.: *Postmagmatic mineral deposits of the Northern Edge of the Bohemian Massif (Erzgebirge-Harz)*. Guia Excursión 22 Ac (c), Intern. Geol. Congr. XXIII, Praga (1968). Ed. Central. Geol. Inst. German. Democratic Republic. Berlín (1968).

Recibido: Abril 1982.

## AGUAS SUBTERRANEAS

# Aplicación del análisis químico, e interpretación geoquímica a las aguas de la zona de Soria correspondientes a la Hoja 408 Torrijo de la Cañada (Soria)

Por C. ALVAREZ HERRERO (\*), F. DE PEDRO HERRERA (\*\*)  
R. GALLEGU ANDREU (\*) y E. VILLANUEVA CALDERON (\*)

## RESUMEN

Se estudia la geoquímica de las aguas recogidas en la zona de Soria, correspondiente a la Hoja 408 (Torrijo), aplicando técnicas modernas de análisis químicos y físico-químicos al muestreo representativo de dicha Hoja.

La toma de muestras se realizó en dos épocas diferentes del año: primavera y otoño, para ver las variaciones encontradas en su composición en relación con varios parámetros.

Con los datos obtenidos, se representan las frecuencias acumuladas de los diferentes iones, se estudian las relaciones  $Ca^{2+}/CO_3H^-$ ,  $Ca^{2+}/SO_4$ ,  $Mg^{2+}/CO_3H^-$ ,  $Mg^{2+}/SO_4$  y  $Na^+/Cl^-$ , así como las correspondientes correlaciones, en el diagrama salino.

De todo ello se deduce que existe una concordancia entre el contenido iónico, las características físico-químicas y los materiales geológicos, por donde discurren las aguas hasta su salida a la superficie. La proporcionalidad 1:1 entre las cantidades de calcio y bicarbonato indica que se trata de un área donde dominan las calizas, las cuales son lixiviadas por las aguas objeto de este estudio.

## SUMMARY

The geochemistry of the water collected in Sheet 408 of Torrijo (Soria), is being studied applying modern chemical and physico-chemical analytical techniques to the sampling representing said sheet.

The sampling was made in two different times of the year: spring and autumn, so as to see the variations found in the composition of the water as related with several parameters, with the data obtained, the accumulated frequencies of the various ions are grafically represented.

The  $Ca^{2+}/CO_3H^-$ ,  $Ca^{2+}/SO_4$ ,  $Mg^{2+}/CO_3H^-$ ,  $Mg^{2+}/SO_4$  and  $Na^+/Cl^-$  relations, are studied, as well as the relevant correlations in the saline diagram. From all the above, the following conclusions follow: There is a conformity between the ionic contents, the physico-chemical characteristics and the geological materials through which the waters flows up to where such water gets to the surface. The proportion of 1:1 existing between the quantity of calcium and bicarbonate shows that it is an area where limestone is predominant, which limestone is lixiviated by the water being studied.

## INTRODUCCION

En el presente trabajo se estudia la geoquímica de las aguas recogidas, en la zona perteneciente a Soria, en la Hoja 408 (Torrijo), del Mapa Topográfico Nacional E. 1:50.000 (1).

Con objeto de conocer la influencia de los terrenos en la composición de las aguas, se han recogido dos grupos de muestras: 40, en el período de otoño y, repitiendo el muestreo en los mismos

lugares, 28 en el período de verano, por ser el período seco y bajar el nivel freático, secándose, pues, parte de los manantiales y fuentes de la zona, lo que no perjudicó el estudio de frecuencias acumuladas, correlaciones ni diagrama salino.

Para poder conocer las propiedades y composición de estas aguas se han realizado una serie de determinaciones físico-químicas y análisis químicos, que tratados estadísticamente y en íntima conexión con las observaciones de campo, nos informan de la influencia de los terrenos geológicos en su composición, debido al equilibrio que se produce entre los materiales geológicos y las

aguas que percolan a través de ellos. El motivo de realizar dos muestreos, es debido a que las muestras recogidas en el período otoñal nos dan información de las capas de terreno más próximas a la superficie, por estar el nivel freático más elevado debido a la gran cantidad de lluvias; mientras que las aguas recogidas en verano nos informan de capas más profundas de terreno, por haber bajado el nivel freático, consecuencia del período de sequía. Otra diferencia en la composición de las aguas de los dos períodos, es la mayor concentración de las sales en las aguas recogidas en verano, debido a la mejor solubilidad de éstas al aumentar la temperatura, mientras que las aguas recogidas en invierno han de tener un mayor contenido en bicarbonatos, dada la mejor disolución del  $CO_2$  del aire en el agua de lluvia en función inversa de la temperatura.

Podemos observar la correlación entre las características físico-químicas y la composición química, así como la relación existente entre los cationes y aniones encontrados en las aguas, que nos permiten deducir las sales que han disuelto dichas aguas. La comparación de dos muestras de agua recogidas en el mismo punto y en diferente época climatológica nos dará información del cambio en las cantidades de los cationes y aniones disueltos en ellas, y del paso a otras capas, compuestas por distintos materiales.

## 1. PARTE EXPERIMENTAL

## 1.1. Descripción de la zona

## 1.1.1. Geografía

El área objeto de nuestro estudio está situada en la Meseta Norte, concretamente en el ángulo sureste de la provincia de Soria, y comprende aproximadamente unos 260 km<sup>2</sup> de superficie.

La altitud media es de unos 900 metros, destacando unos picos de la Sierra de Miñana con altitudes de 1.200 metros, en las proximidades de Deza, que es la ciudad más alta de nuestra zona, con 1.008 m. de altitud.

Los accidentes hidrográficos más importantes son: El arroyo del Arenal y río Najima, que desembocan en el Pradejón, para hacerlo éste en el Jalón. Por la derecha de nuestra zona pasa el

río Henar, que nace en la Sierra de Corija, bordea la Sierra de Miñana, atravesando las poblaciones de Deza y Cihuela, para pasar después a Embid de Ariza, ya en la provincia de Zaragoza.

En cuanto a la vegetación, la zona Norte está constituida por monte bajo y algunas zonas de erial; el resto de la zona está formado, sobre todo, por tierras de labor, con algunas huertas y viñas en las proximidades de las poblaciones.

## 1.1.2. Geología

Tomando los datos de la Síntesis Geológica 1:200.000 (2), a cuyo ángulo sureste corresponde nuestra Hoja, se observa que la zona en estudio está situada entre la rama norte de la Cordillera Ibérica, con materiales primarios y secundarios, y las grandes manchas terciarias, base principal de las mesetas.

No están muy desarrollados los terrenos Cretácicos, pero tienen la gran importancia de proporcionar unas aguas muy bicarbonatadas como disolución de los tramos en apariencia más duros, en un proceso muy influenciado por el contenido de  $CO_2$  en las aguas de lluvia, afectado por la gran solubilidad que presenta a las bajas temperaturas, habituales en la región. Aún menor desarrollo presentan los tramos areniscosos, en los que es posible encontrar piritas dispersas o en forma de nódulos, que al ser alteradas proporcionan un relativamente alto contenido en sulfatos como producto de la oxidación de los sulfuros. (Véase el esquema geológico de esta Hoja 408, Zona de Soria, en la fig. 1.)

## 1.2. Datos climatológicos

Se han recopilado los datos pluviométricos y los termométricos, editados por el Servicio Meteorológico Nacional, correspondientes a los años en que se realizó el muestreo (3).

Los datos pluviométricos son los correspondientes a la ciudad de Monteagudo de las Vicarías, figura 2. Los datos termométricos corresponden a la ciudad de Almazán. En la figura 2 se han representado los valores medios de las temperaturas máximas y mínimas de cada uno de los meses. Como es de esperar, en este régimen cli-

(\*) Departamento de Química Analítica del C.S.I.C. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense de Madrid.

(\*\*) Junta de Energía Nuclear de Madrid.

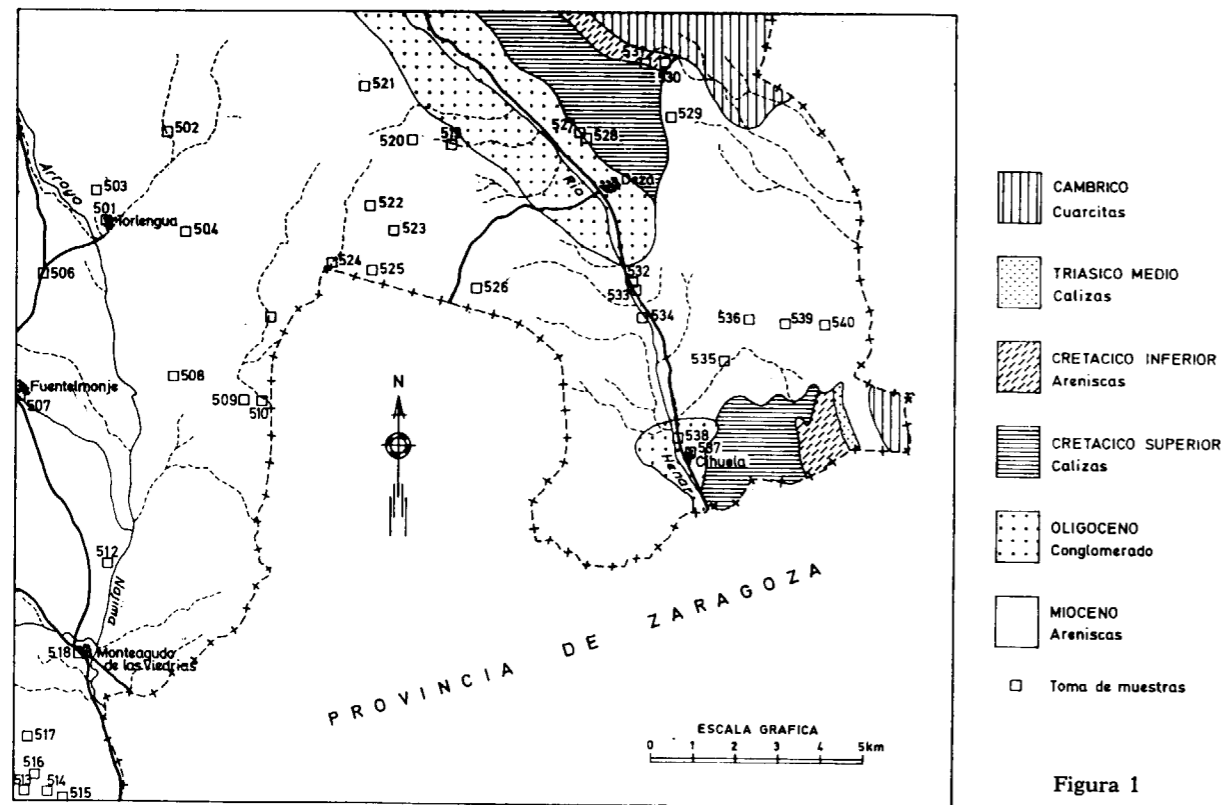
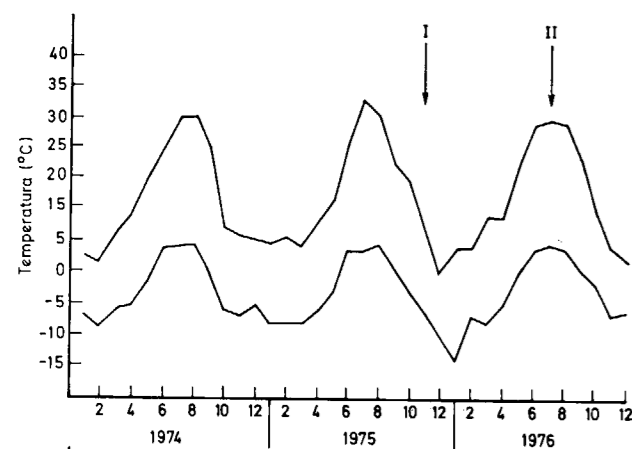


Figura 1

TABLA I

Situación de las muestras de agua tomadas en la Hoja número 408 (Torrijo).

Núm. de muestra	Situación	Núm. de muestra	Situación
01	Fuente de Torlengua.	22	Fuente 50 m. al N del camino de los Pocillos y 300 m. al O del camino Los Arriezos.
02	Fuente 2,3 Km. al NE de Torlengua y 150 m. al E del camino de los Cedrerros.	23	Fuente 50 m. al S del camino de los Pocillos y 300 m. al O del camino de la Cuesta del Rayo.
03	Manantial 600 m al N de Torlengua camino de Carra la Villa.	24	Fuente de Peña Rajada 50 m. al E del camino de los Arriejos y a 100 m. de los términos de Torlengua y Bordalba.
04	Manantial 1.700 m. al E de Torlengua y 300 al S del camino del Coso.	25	Laguna 1.000 m. al E de la Fuente de Peña Rajada y 300 m. al N del término de Bordalba.
05	Manantial 700 m. al S del Cerro de los Granujas, junto al término de Fuentelmonje.	26	Balsa 3,5 Km. al SO de Deza en el camino Valdeorilla, 400 m. al E de la carretera a la Estación.
06	Balsa al SO de Torlengua, Km. 9,7 de la carretera de Monteagudo.	27	Manantial 600 m. al E del Km. 23,8 de la carretera de Duañez a Deza.
07	Fuente de Fuentelmonje.	28	Manantial 700 m. al E del Km. 23,9 de la carretera de Duañez a Deza.
08	Laguna 3,5 Km. al E de Fuentelmonje en el camino del Carrascalejo.	29	Manantial del Pozuelo 2 Km. al NE de Deza en el camino de la Alameda a Cihuela.
09	Manantial 5 Km. al E de Fuentelmonje, bajo línea eléctrica.	30	Manantial 1.000 m. al N del manantial del Pozuelo en el mismo camino, 600 m. al S del término de Alameda.
10	Fuente Blanco 400 m. al E de la anterior.	31	Fuente de Las Cortes 2,7 Km. al N de Deza.
11	Manantial 600 m. al NE de la anterior en el A.º Carrascalejo.	32	Manantial parte E del Km. 3,3 de la carretera Deza-Cihuela.
12	Manantial 2 Km. al N de Monte Agudo de los Vicarios en el camino de los Chorritos.	33	Manantial 50 m. al E del Km. 3,5 de la carretera Deza-Cihuela.
13	Manantial 3 Km. al S de Monteagudo en el camino de Almaluer, junto al del Romeral.	34	Manantial 25 m. al O del Km. 4,2 de la carretera Deza-Cihuela.
14	Manantial 400 m. al E de la anterior.	35	Manantial 2.300 m. al N de Cihuela en el camino que sale del Km. 7,1 de la carretera.
15	Manantial 400 m. al E de la anterior en el A.º Castillo.	36	Fuente de Mazalacete 3,3 Km. al NE de Cihuela.
16	Manantial 2,5 Km. al S de Monteagudo, 400 m. al N del camino de Almaluer.	37	Fuente de Cihuela.
17	Manantial 2 Km. al SO de Monteagudo en El Romeral.	38	Fuente al N de Cihuela en el Km. 7,3 de la carretera.
18	Fuente de Monteagudo.	39	Manantial 2,8 Km. al E del Km. 4,7 de la carretera, junto al límite de Deza.
19	Manantial 2,5 Km. al O del Km. 24,4 de la carretera de Duañez (camino Barranco Serón).	40	Pozo a 3,7 Km. al E del Km. 4,7 de la carretera, junto al límite de Deza.
20	Manantial 3,5 Km. al O del Km. 24,4 de la carretera de Duañez (camino Barranco Serón).		
21	Manantial al final del camino de Valdelsmanegas, junto al término de Miñana.		



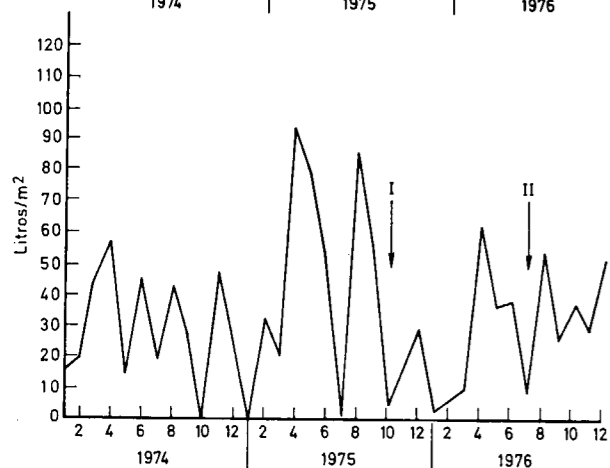
mático continental, las mínimas aparecen en un crudo invierno, en que bastantes de las precipitaciones son en forma de nieve, empapando los materiales de los páramos y permitiendo la lenta disolución de sus carbonatos.

### 1.3. Recogida de muestras

Se han tomado muestras de las aguas de manantiales, pozos y fuentes, en dos épocas del año. A las recogidas en otoño, las denominamos con la notación (I), y a las recogidas en primavera, con la (II).

En cada una de las épocas se han tomado dos porciones de 250 cc. de cada muestra, en frascos nuevos de polietileno, con objeto de evitar contaminaciones y adsorciones. En la tabla I se hace referencia de los parajes y nombres de las fuentes, pozos y manantiales en donde se realiza el muestreo. En la tabla II se dan las coordenadas métricas Lambert, para cada una de las muestras en estudio, localizando con ello, la situación exacta de cada punto de muestreo.

Figura 2



### 1.4. Determinaciones físico-químicas

Se han medido los valores del pH y de la conductividad para cada muestra. Los valores del pH son muy homogéneos; todas las muestras son ligeramente básicas, del orden de 8, y en algunas este valor aumenta ligeramente.

La conductividad es un dato de mayor importancia, ya que es función del contenido salino

de las aguas; para su medida se ha utilizado un conductímetro modelo CDM2 de Radiometer. La conductividad específica, o sea, la conductancia se expresa en microsiemens (micro ohmios por centímetro elevados ambos a menos uno). Es interesante considerar la alta conductancia que presentan, en general las muestras, con valor medio de 800  $\mu$  S, debido a la alta concentración salina. Destacan las muestras: 3, 5, 12, 13, 14, 15,





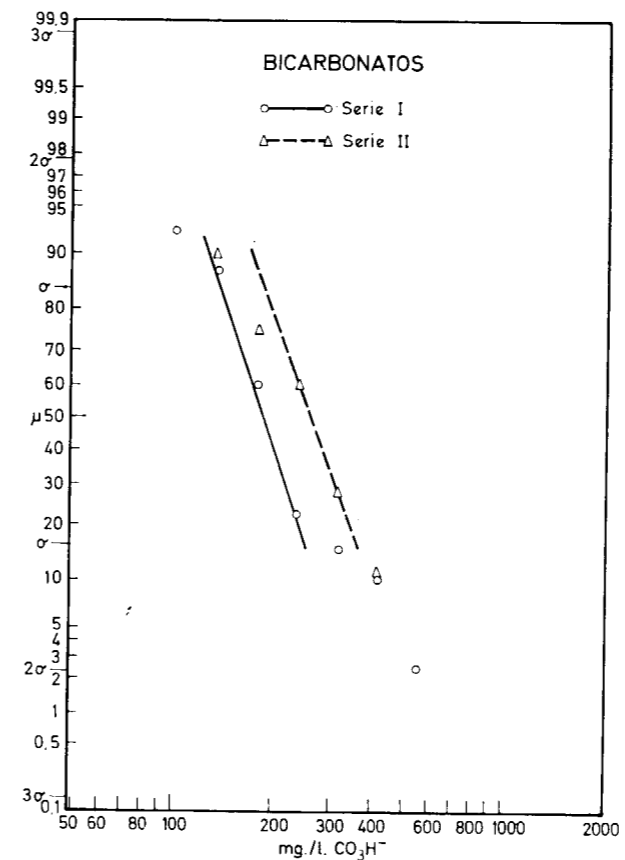
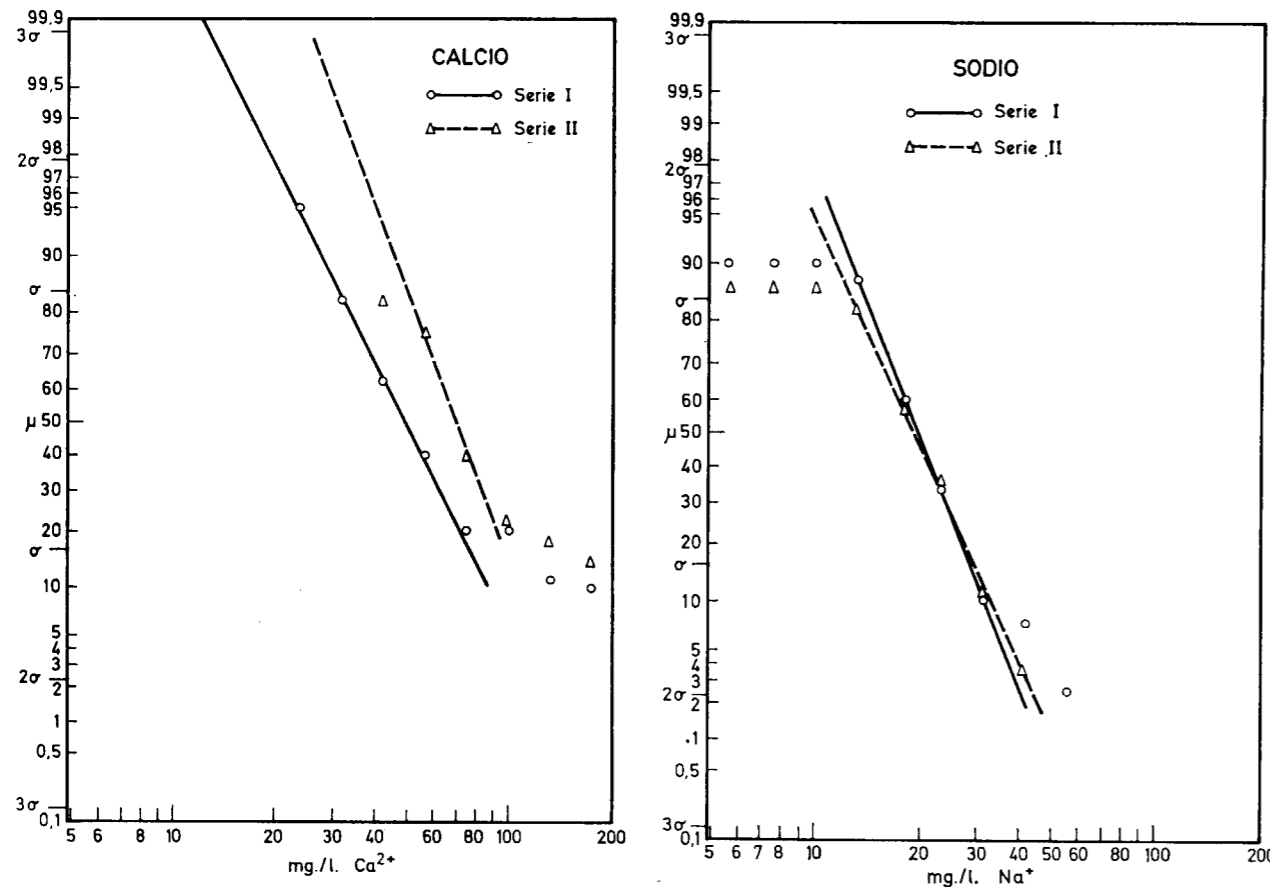
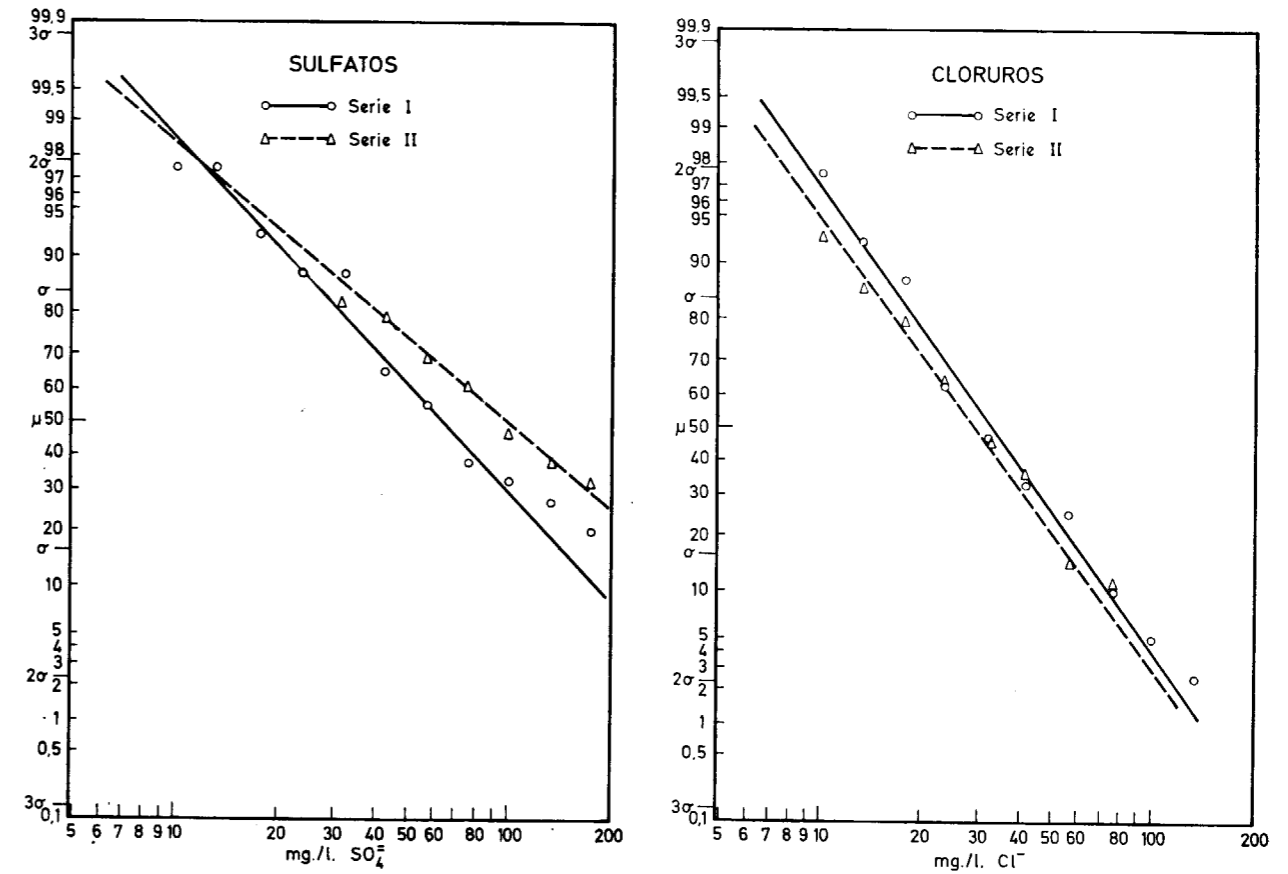
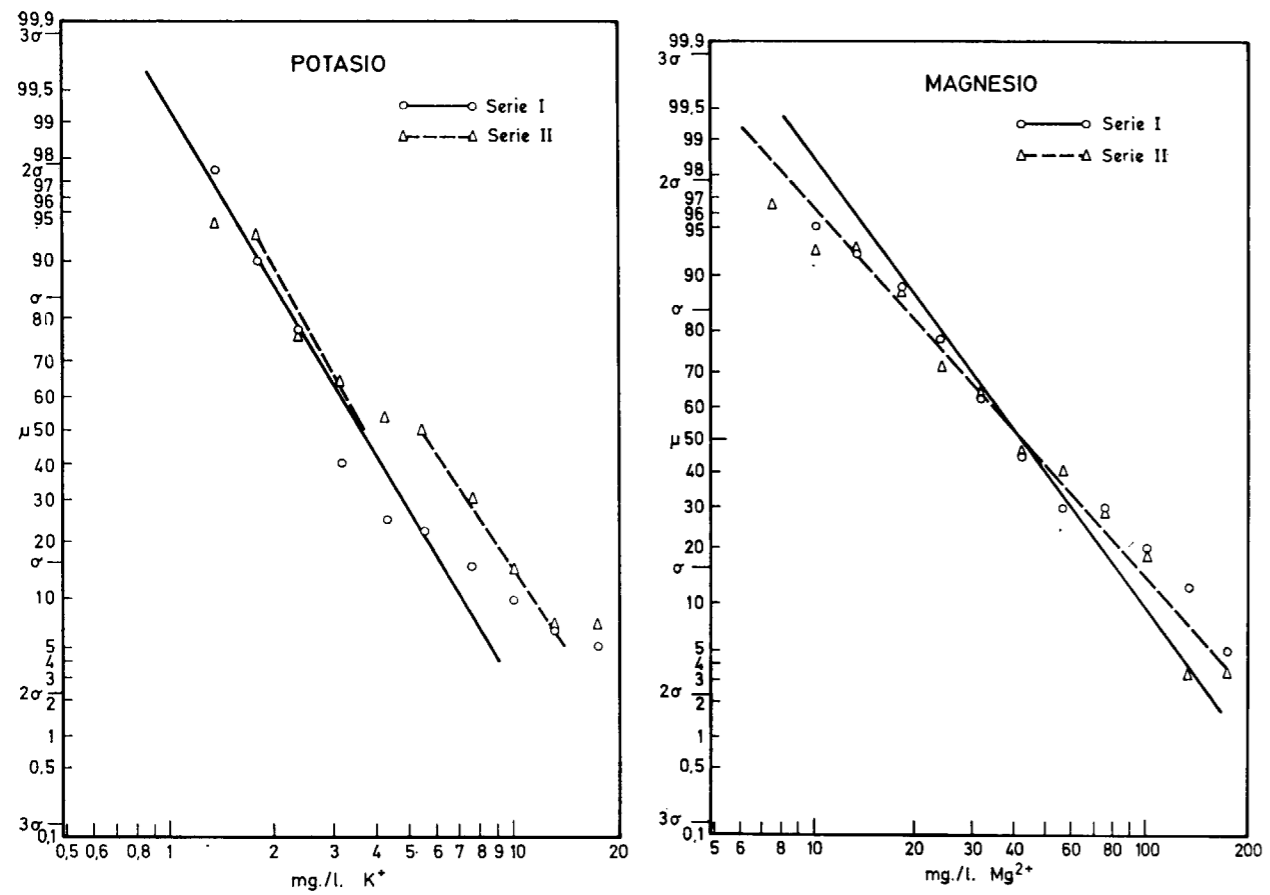


Figura 3

que apenas varía la media entre la época I y II, siendo el valor más probable de 20 mg/l. de Na<sup>+</sup> para el 75 por 100 de la población.

Para el potasio las poblaciones tienen una gran dispersión, como se observa por la fuerte pendiente de la gráfica, encontrando dos poblaciones claramente diferenciadas para la época II, una con una media de 8,5 mg/l., que agrupa un 42 por 100 de los valores, y la otra con una media de 3 mg/l. y un 36 por 100 de la población.

Para el calcio aparece una distribución con bastante dispersión y variación entre las medias de la primera y segunda recogida, con valores que oscilan entre 25 y 75 mg/l. en la remesa I y entre 40 y 90 mg/l. para la II, con valores medios de 48 y 70 mg/l., respectivamente.

En cuanto al magnesio, se encuentra una gran dispersión, como demuestra la gran pendiente gráfica, pues los valores están comprendidos entre 5 y 215 mg/l., sin ninguna agrupación de gran importancia.

Figura 4

## 2.2. Geoquímica de los aniones

En la gráfica correspondiente a los sulfatos se puede observar una gran dispersión de sus valores, encontrándose éstos además entre límites muy altos. El valor medio para la remesa I es de 65 mg/l., mientras que es de 100 mg/l. para la II, esta última con una desviación  $\pm 0,45$  dms., siendo el módulo del logaritmo, el dm.

Los cloruros presentan poca variación, siendo sus poblaciones bastante próximas para las dos épocas, con unos valores medios de unos 34 mg/l., destacando la muestra número 18 con 112 mg/l.

La población de los bicarbonatos no presenta gran dispersión, y son bastante paralelas las poblaciones de las dos épocas, encontrándose el 75 por 100 de la población con un valor medio de 180 mg/l. para la época I, mientras que para la II es de 270 mg/l. La desviación es  $\pm 0,13$  dms.

## 2.3. Comparaciones

Para poder realizar una comparación más intuitiva entre los iones, se calculan los miliequivalentes por litro de éstos.

Por ser la región abundante en materiales calcáreos, es conveniente establecer la proporción entre los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , por lo que en la figura 5 se marcan las áreas en que se proyectan las muestras recogidas en cada época. La mayor parte están en la línea de proporción 1:1, excepto los números 13, 14, 15, 16 y 17, que tienen más bicarbonato que calcio y tienden a la relación 1:1 en el verano, excepto la 15. Para las de mayor contenido en calcio que bicarbonato destacan los números 3, 4, 5, 12 y 24, que tienden en verano a alcanzar la relación 1:1, de lo cual se deduce que en esta época bajan a un nivel freático más calizo. Como ya se vio, estas aguas son fuertemente carbonatadas.

Al tratarse de terrenos miocénicos, entre cuyas arcillas es frecuente la aparición de depósitos salinos, se establece la comparación entre  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . Se ve que las muestras números 2, 3, 4, 5, 12 y 18 llevan en sus dos épocas una relación próxima a 1:1. La 17 en verano se separa de la relación aumentando su calcio debido a su paso por zona de carbonatos. El resto de las muestras tiene mayor contenido en calcio que en sulfatos,

aunque algunas tienden a la relación 1:1, sobre todo la número 33.

También se estudia la relación entre  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$ , encontrando que la mayor parte de las muestras llevan la relación 1:1, debido a la presencia de depósitos salinos en los terrenos miocénicos.

Se hace la comparación entre  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , observando que llevan mayoritariamente la proporción 1:1, excepto los números 3, 4, 5, 12, 18 y 24, que vimos que llevaban esta proporción en la relación de sulfato cálcico.

Por la presencia de alto contenido en magnesio, se establece la comparación entre  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . De su observación se deduce que prácticamente ninguna muestra guarda la proporción 1:1, excepto las números 20 y 32. Vemos, pues, que el magnesio no es determinante de la zona, debido a que hay numerosas direcciones aberrantes respecto a la estequiometría esperada.

## 2.4. Correlaciones en el diagrama salino

Para estudiar la variación relativa de los diversos cationes o aniones entre sí e incluso correlacionarlos, se han calculado independientemente los tantos por ciento de los aniones y de los cationes de cada época.

Con objeto de visualizar rápidamente las distintas relaciones, se hace uso de una proyección en el diagrama salino (fig. 6). Se especifican las áreas que corresponden a la población más abundante para las dos épocas de muestreo, así como la evolución más aparente de las muestras más significativas.

Cabe destacar que todas las muestras tienen por encima de un 18 por 100 de magnesio y hasta un 90 por 100, estando comprendida la mayor parte de la población entre el 40 y el 50 por 100.

Los alcalinos están comprendidos entre el 4 y el 30 por 100, mientras que el calcio está entre el 8 y el 80 por 100, siendo la mayor parte de las muestras de muy alto contenido en este elemento.

Nos encontramos con muchas muestras que están o van a líneas que salen de uno de los vértices, conservando por tanto la proporcionalidad existente entre los iones que se encuentran en

los vértices opuestos, esto nos indica que hay un estrato para cada una de esas líneas que conserva una proporcionalidad en sus componentes.

En cuanto a los aniones, se observa que todos los cloruros tienen más de un 1 por 100 y menos del 30 por 100 del total de los aniones. Los bicarbonatos están comprendidos entre el 3 y el 88 por 100, y los sulfatos tienen todos más del 4 por 100 y hasta un 95 por 100, lo que denota, como ya indicamos, el alto contenido en yesos de estas aguas.

Se han representado en el diagrama salino, mediante nubes de puntos, las zonas en que se encuentran la mayor parte de las muestras, así como las más representativas, incluyendo la dirección a que se desplazan del otoño a la primavera.

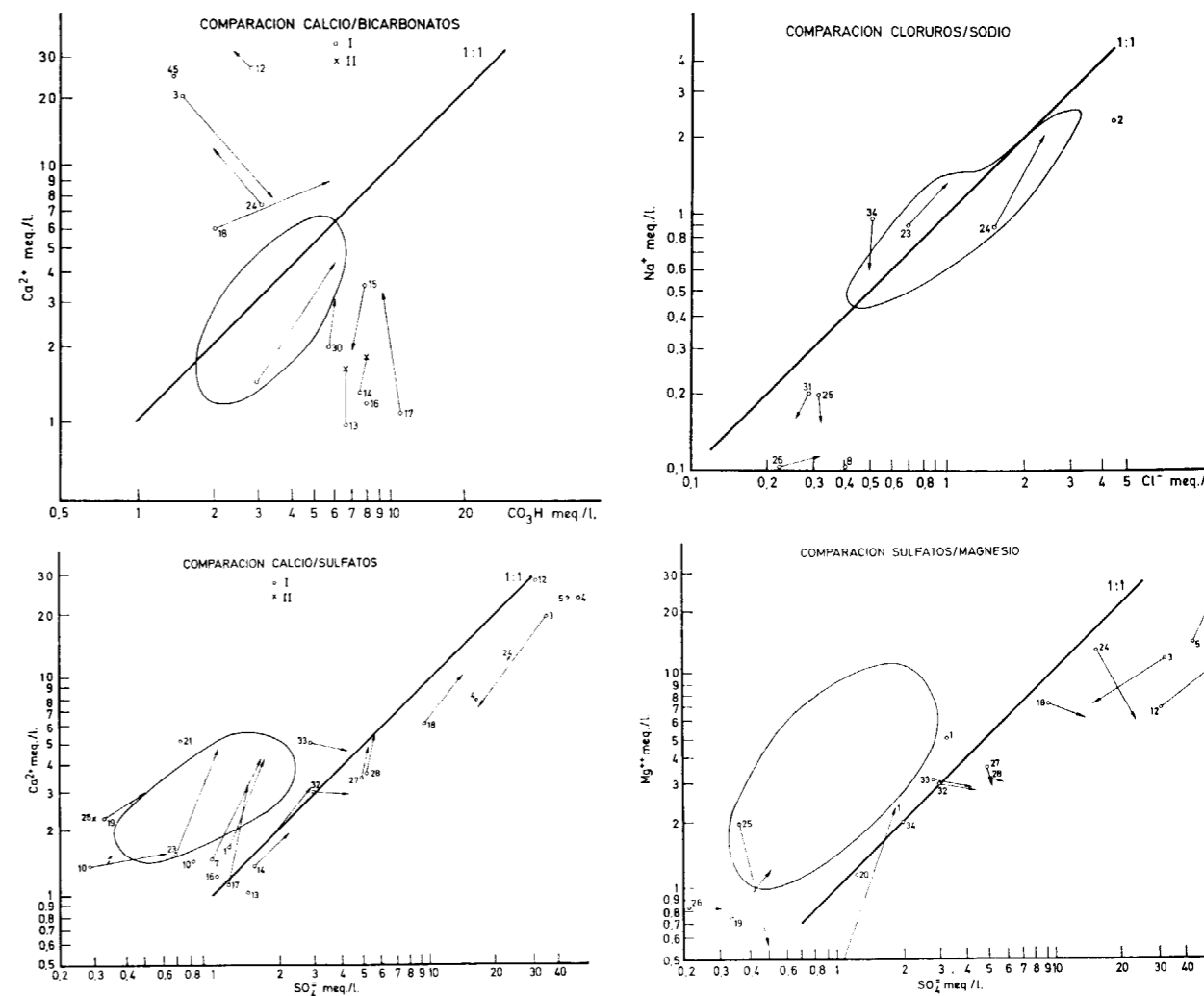


Figura 5

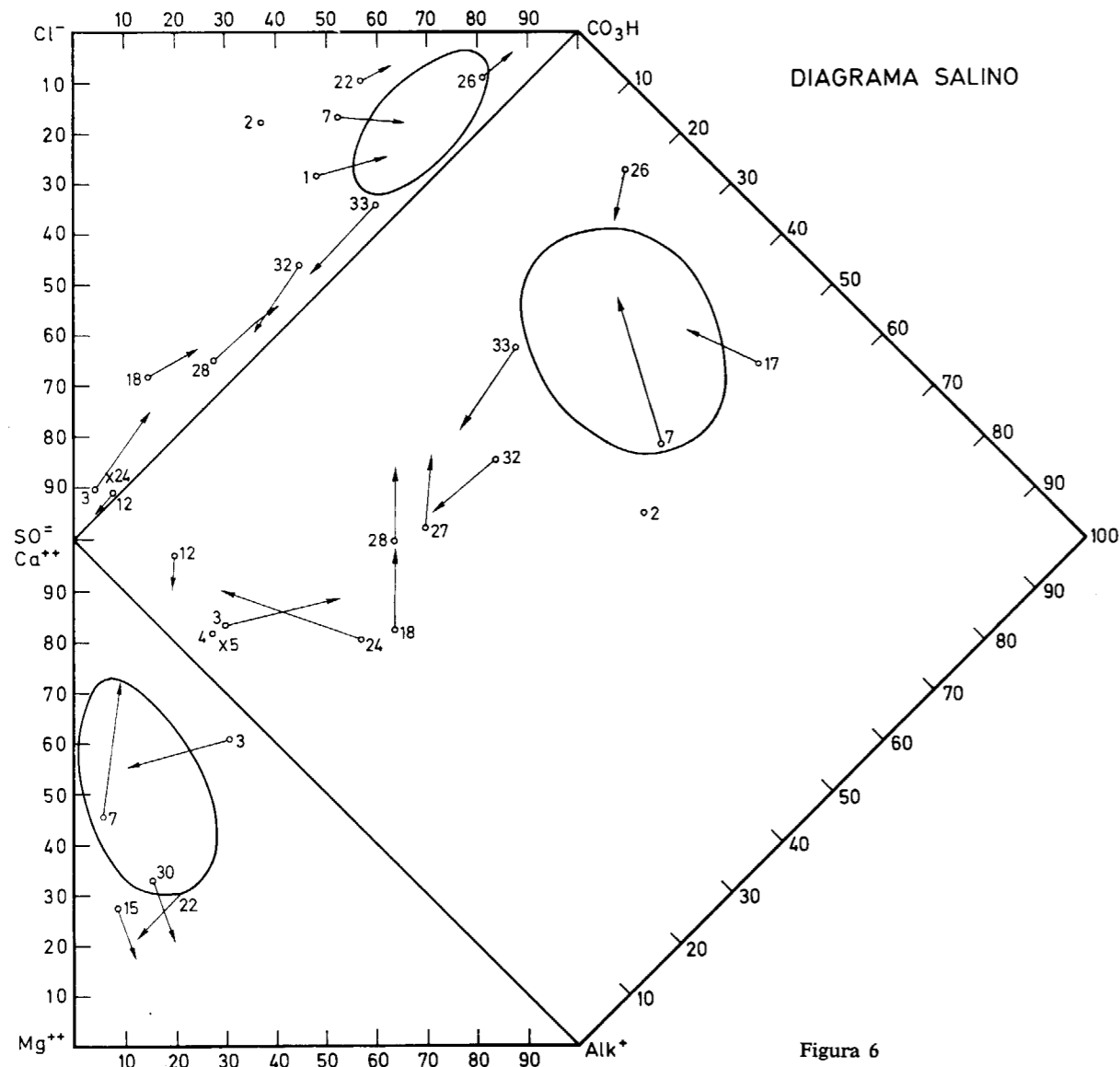


Figura 6

La proyección sobre el cuadrado salino, de los cationes y de los aniones, presenta una nube de puntos sobre la zona de los bicarbonatos cálcicos, así como las muestras números 3, 4, 5, 12, 18 y 24, sobre la zona de los sulfatos cálcicos.

### 3. DISCUSION DE RESULTADOS

Según los parámetros precedentes:

Existe una concordancia entre el contenido iónico y los materiales geológicos atravesados por las aguas hasta su salida a la superficie.

Llama la atención el elevado contenido salino, mayor para la época de otoño que en la de primavera, encontrándose un valor medio de contenido total en sales, de 850 y 690 mg/l. respectivamente.

Se manifiesta el carácter francamente alcalino de las aguas de la zona, lo que indica la presencia de gran cantidad de bicarbonatos.

Existe proporcionalidad 1:1 de  $\text{Ca}^{2+}/\text{CO}_3\text{H}^-$ ; se trata, pues, de un área donde dominan las calizas, que lixivian. También es frecuente la presencia de algunas dolomitas, debido a la proporcionalidad,

en bastantes muestras, de  $\text{Mg}^{2+}/\text{CO}_3\text{H}^-$ , en relación 1:1.

Hay aguas selenitosas a causa de la existencia de abundantes yesos miocénicos, con alto contenido en magnesio.

Se encuentra gran proporcionalidad en la comparación  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$ , debido a la presencia de depósitos salinos en los terrenos miocénicos.

Existen estratos por los que discurren las aguas, con proporcionalidad entre varios de sus cationes y aniones, originando tipos definidos.

### BIBLIOGRAFIA

Instituto Geográfico y Catastral: *Mapa Topográfico Nacional* 1:50.000, núm. 408 (Torrijos).

Instituto Geológico y Minero de España: *Mapa Geológico de España, escala 1:200.000. Síntesis de la cartografía existente*, Hoja núm. 31. Madrid, 1971.

Boletín mensual climatológico del Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 1974, 1975 y 1976.

Recibido: Diciembre 1981.

## AGUAS SUBTERRANEAS

## Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia.

## I - Composición química de las aguas subterráneas.

Por J. SANCHO CIVERA (\*), A. MAQUIEIRA (\*\*) y J. A. SERRA (\*\*)

## RESUMEN

Se hace un estudio completo de la composición química de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia. A tal fin se llevan a cabo las determinaciones siguientes: características organolépticas (color, olor y sabor), análisis cualitativo de nitritos, amonio y fosfatos; determinaciones cuantitativas de la dureza total, permanente y temporal, materia orgánica, residuo fijo a 110° C; cationes  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ ; aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{NO}_3^-$ ; conductividad eléctrica; microelementos: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Ni y B. Asimismo se han puesto de relieve las relaciones geoquímicas de gran interés:  $\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{Na}^+ + \text{K}^+}$ ,  $\frac{\text{Ca}^{2+}}{\text{Mg}^{2+}}$ ,  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ . Finalmente, se estudian las características de potabilidad y la calidad para riego de las aguas analizadas.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo ponen de manifiesto que las aguas de la provincia de Valencia presentan una potabilidad aceptable y una buena calidad para el riego. Confirman que la presencia de  $\text{NO}_3^-$  y materia orgánica, se da en zonas agrícolas, que la dureza de las aguas procedentes de pozos dan valores más elevados que los procedentes de fuentes o manantiales.

La confección de los mapas de isopiezas de los microelementos analizados, permiten ver claramente que la distribución de estos elementos no se realiza al azar, sino más bien siguiendo unos núcleos o líneas marcadas de mayor concentración.

## ABSTRACT

The chemical composition of the province of Valencia (Spain) underground waters has been established. The following characteristics were determined: Organoleptic characteristics (colour, odour and taste); Qualitative analysis of nitrites, ammonia and phosphates; Quantitative determinations of total, permanent and temporary hardness; Organic matter, Residue at 110° C; Cations:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ; Anions:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  and  $\text{NO}_3^-$ ; Electrical conductivity; microelements: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Ni and B.

The highly interesting geochemical ratios:  $\frac{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}{\text{Na}^+ + \text{K}^+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  has been calculated. Finally the drinking quality and irrigation quality of the waters has been studied.

The results obtained show that the province of Valencia waters are of an acceptable quality as drinking waters and of a good quality for irrigation purposes. Results also confirm the presence of nitrates and organic matter in the agricultural areas water. Water hardness was higher for well water than for spring water.

Isopiece maps of the microelements that have been analyzed, clearly show the non-random distribution of these elements, rather they follow well defined lines of increasing concentration.

(\*) Cátedra de Análisis Agrícola, Agrología y Climatología. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Valencia.

(\*\*) Cátedra de Química Analítica. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Valencia.

## 1. INTRODUCCION

El aprovechamiento exhaustivo que se hace en la provincia de Valencia de sus aguas superficiales y subterráneas contrasta con la falta de un conocimiento completo de las mismas, especialmente de las últimas.

La bibliografía hace hincapié en distintos aspectos de las aguas superficiales; así, destaca el estudio de LLANDARÓ (1878), sobre hidrología de la cuenca del Turia; la tesis de J. ALONSO (1) sobre «Geomorfología de la red fluvial de Valencia»; los estudios sobre interacción agua-litofacies de las cuencas de los ríos Turia (15), Cabriel (10) y Júcar (11), y los trabajos sobre la composición química de las aguas de abastecimiento de la provincia de Valencia (6) y sobre la hidrología de las aguas de abastecimiento de Valencia (7).

Los trabajos sobre aguas subterráneas son prácticamente inexistentes, siendo la información escasa y fragmentaria. Destaca el proyecto de estudio presentado por NOVO y BENITO (9) sobre las cuencas subterráneas de Valencia.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivos el obtener una visión de conjunto sobre la composición química de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia; asimismo se pretende conocer las propiedades de estas aguas y su potabilidad y calidad para riego, dado el uso exhaustivo que de ellas se hace.

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

## 2.1. Toma de muestra

Se hizo un primer muestreo tentativo recogiendo y analizando aguas de 267 puntos uniformemente repartidos por toda la provincia de Valencia. De ellos se seleccionaron los 53 más característicos, que después de analizarlos se clasificaron por su potabilidad (4), mineralización (4, 8), composición salina (14) y calidad para riego, esta última según SCOTT (13), y según las normas del U.S. Salinity Laboratory Staff (17), WILCOX (18) e Instituto de Hidrología del CSIC (5).

En cada punto de muestreo se recogieron cinco litros de agua en recipientes de polietileno, siguiendo las directrices recomendadas por los métodos estándar (12).

La tabla I recoge la notación, coordenadas geo-

## LOCALIZACIONES

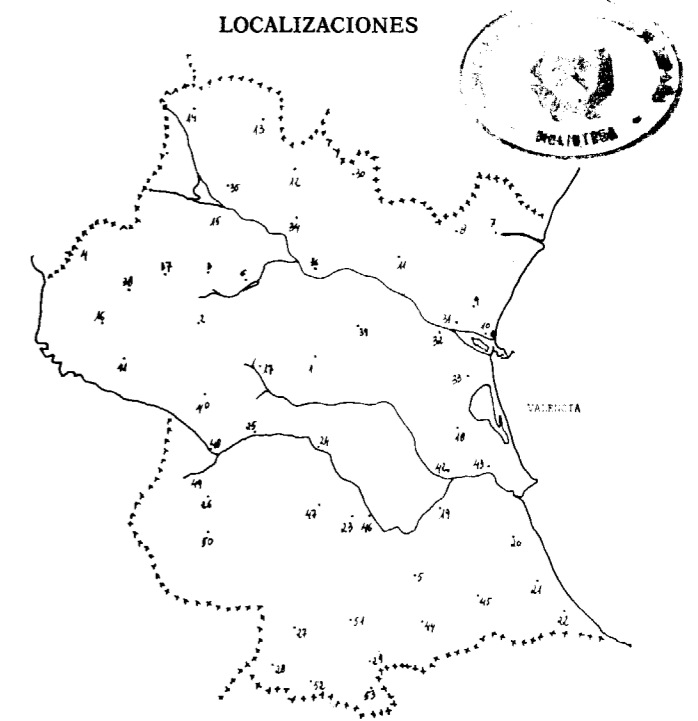


Figura 1

gráficas, altura y distancia al mar de cada punto de toma de muestra. La figura 1 corresponde al mapa general de situación de aquellos puntos.

## 2.2. Caracteres organolépticos

- Color, se midió en un espectrofotómetro visible comparando las muestras con una disolución patrón del Pt-Co. Los resultados se expresaron en unidades de uno a quinientos. La unidad de color corresponde a 1 mg/litro de reactivo.
- Olor, determinado según el método de las diluciones.
- Sabor, se determinó haciendo pasar un poco de agua de un lado a otro de la boca.

## 2.3. Análisis químicos

## 2.3.1. Análisis cualitativos

Se investigó la presencia de amonio, mediante el reactivo de Nessler (3); nitritos, con el reactivo de Peter-Griess (3), y fosfatos, por reacción con el ácido vanado-molibdico, en medio nítrico (3).

## 2.3.2. Análisis cuantitativos

- Residuo fijo, determinado gravimétricamente por evaporación a sequedad en cápsula

TABLA I

Notación	Situación	Coordenadas geográficas	Altura (m.)	Distancia (km.)
1	Buñol ... ..	39° 25' N/0° 46' W	350	39
2	Requena ... ..	39° 25' N/1° 5' W	692	66
3	Villar del Olmo ... ..	39° 35' N/1° 3' W	900	64
4	Camporrobles ... ..	39° 38' N/1° 23' W	882	94
5	Játiva ... ..	38° 59' N/0° 29' W	120	28
6	Chera ... ..	39° 35' N/0° 50' W	450	56,4
7	Gilet ... ..	39° 40' N/0° 19' W	114	8,6
8	Serra ... ..	39° 41' N/0° 26' W	249	16,4
9	Moncada ... ..	39° 32' N/0° 23' W	59	7
10	Valencia (Grao) ... ..	39° 28' N/0° 23' W	5	1,5
11	Liria ... ..	39° 37' N/0° 35' W	50	26,8
12	Higueruelas ... ..	39° 46' N/0° 51' W	770	55
13	La Yesa ... ..	39° 53' N/0° 57' W	1.039	67,4
14	Aras de Alpuente ... ..	39° 54' N/1° 7' W	975	82
15	Benagever ... ..	39° 43' N/1° 6' W	600	72
16	Venta del Moro ... ..	39° 28' N/1° 20' W	724	88
17	Mijares ... ..	39° 23' N/0° 57' W	522	54
18	Almusafes ... ..	39° 17' N/0° 25' W	76	10,4
19	Carcagente ... ..	39° 7' N/0° 26' W	84	17,6
20	Tabernes de Valldigna ... ..	39° 4' N/0° 16' W	96	5
21	Villalonga ... ..	39° 2' N/0° 12' W	106	13
22	Oliva ... ..	39° 6' N/0° 8' W	71	3
23	Navarrés ... ..	39° 24' N/0° 42' W	280	41
24	Millares ... ..	39° 16' N/0° 57' W	344	45
25	Cortes de Pallás ... ..	39° 16' N/0° 47' W	422	60
26	Jarafuel ... ..	39° 23' N/1° 5' W	586	73
27	Navalón ... ..	38° 54' N/0° 7' W	741	77
28	Fuente la Higuera ... ..	38° 48' N/0° 53' W	588	66
29	Onteniente ... ..	38° 49' N/0° 36' W	350	44
30	Alcublas ... ..	39° 47' N/0° 42' W	774	43,6
31	Paterna ... ..	39° 30' N/0° 26' W	74	12
32	Manises ... ..	39° 29' N/0° 20' W	72	12
33	Catarroja ... ..	39° 23' N/0° 25' W	46	7
34	Losa del Obispo ... ..	39° 41' N/0° 49' W	392	51
35	Tuejar ... ..	39° 45' N/1° 2' W	605	67
36	Gestalgar ... ..	39° 36' N/0° 50' W	205	45
37	Ermida del Remedio ... ..	39° 37' N/1° 9' W	1.100	70
38	Caudete de Las Fuentes ... ..	39° 39' N/1° 17' W	794	83
39	Cheste ... ..	39° 29' N/0° 40' W	203	31
40	Los Pedrones ... ..	39° 19' N/1° 5' W	714	65
41	Los Isidros ... ..	39° 24' N/1° 16' W	620	83
42	Algemesí ... ..	39° 12' N/0° 25' W	68	17
43	Sueca ... ..	39° 12' N/0° 18' W	37	6
44	Montaberner ... ..	38° 54' N/0° 29' W	186	32
45	Cuatrecoronas ... ..	38° 56' N/0° 22' W	248	18
46	Sumacárcel ... ..	39° 6' N/0° 37' W	65	35
47	Bicorp ... ..	39° 7' N/0° 47' W	299	47
48	Cofrentes ... ..	39° 13' N/1° 3' W	394	67
49	Jalance ... ..	39° 10' N/1° 4' W	446	70
50	Ayora ... ..	39° 5' N/1° 3' W	641	48
51	Enguera ... ..	38° 58' N/0° 40' W	318	43
52	Fontaneres ... ..	38° 47' N/0° 47' W	628	59
53	Bocairente ... ..	38° 46' N/0° 36' W	641	48

de platino con lámpara de infrarrojo, seguida de desecación en estufa a 110° C hasta peso constante. La higroscopicidad del residuo se evita adicionando a cada muestra líquida 0,1-0,2 g de NaF.

- Materia orgánica, por permanganimetría, efectuando los análisis sobre las muestras una vez filtradas.
- Dureza total, complexométricamente con E.D.T.A. (III).
- pH, potenciométricamente mediante un pHmetro Metrohm, modelo E-353-B.
- Conductividad, a 20° C con un conductímetro Metrohm, modelo E-365-B. El cálculo del grado de mineralización se hizo a partir de la conductividad por la ecuación: Mineralización (mg/l.) = Conductividad (µmhos/cm) × K. Los valores de K aplicados, fueron los dados por RICHARD, C., y NGUGEN van Cu.
- Bicarbonatos, por valoración con HCl, 0,1 N.

#### DETERMINACIÓN DE ANIONES Y CATIONES

##### Aniones

- Cloruros, se determinaron según el método de Mohr (1).
- Sulfatos, determinados gravimétricamente, precipitando con BaCl<sub>2</sub>.
- Bicarbonatos, por valoración con HCl 0,1 N.
- Nitratos, según el método colorimétrico del ácido fenol 2-4disulfónico en medio amoniacal fuerte (2).

##### Cationes

- Calcio y Magnesio, se investigan directamente en un espectrofotómetro de A.A., Perkin-Elmer, modelo 306.
- Sodio y Potasio, se analizan con el mismo aparato por espectrofotometría de emisión.

#### DETERMINACIÓN DE OLIGOELEMENTOS

Se tomó una fracción de la muestra (4 l.) y se evaporó a sequedad con lámpara infrarroja. El residuo obtenido se trató con HCl evaporando a sequedad reiteradamente al objeto de insolubilizar la sílice. Se trata el residuo con agua bides-

tilada y HCl 2 N, se calienta y filtra sobre matraz aforado de 50 c. c. El precipitado se calcina en crisol de platino, hasta peso constante, obteniéndose así el contenido en sílice, expresando los resultados en mg. de SiO<sub>2</sub> por litro de agua. En el filtrado, recogido y aforado a 50 c. c., se determinan de manera directa por espectrofotometría de A.A.: Mn, Cu, Pb, Ni, Fe y Zn, mediante un aparato Perkin-Elmer, modelo 306. Los resultados se expresan en microgramos de elemento por litro de agua.

Determinación de boro, según el método colorimétrico de la curcumina-ácido oxálico (16) a 540 mm., con un espectrofotómetro marca Beckman, modelo DU-2.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

#### 3.1. Características organolépticas

La mayoría de las aguas analizadas se han caracterizado por ser incoloras, valores inferiores a 5 mg. de Pt, inodoras y de sabor normal. Aquellas que presentaban una mineralización pequeña y que tienen un sabor ligeramente soso, las hemos denominado «insípidas», mientras que en otras su sabor era tan débil y poco definido que le hemos calificado de indeterminado. Los resultados se recogen en la tabla III.

#### 3.2. Análisis cualitativos

##### 3.2.1. Nitritos

Dieron resultado positivo o indicios las aguas situadas predominantemente en la zona ES de la provincia, es decir, en zonas fundamentalmente agrícolas. Casos excepcionales son: Higueruelas, Requena y Mijares. Esto parece confirmar que la presencia de nitritos ha sido motivada por la reducción de los nitratos, aportados como fertilizantes.

La figura 2 muestra su distribución geográfica y la tabla II recoge los resultados analíticos.

Se observa una ausencia casi total de amonio en las aguas de la provincia, pues solamente las aguas de Bicorp, Navarrés y Manises han dado reacciones positivas.





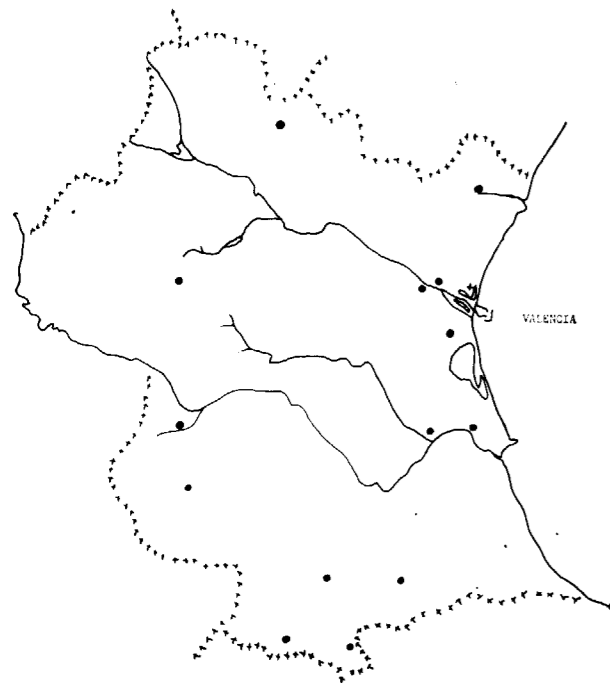


Figura 2

Mapa de las aguas que han dado positivo el análisis de la presencia de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ).

### 3.2.3. Fosfatos

Ninguna de las aguas analizadas han dado reacción positiva, ni siquiera a nivel de indicios, como recoge la tabla II.

## 3.3. Calidad de las aguas

### 3.3.1. Dureza total y permanente

En los resultados recogidos en la tabla II se observa que las aguas subterráneas presentan una dureza superior a las aguas superficiales de la zona. Además, las estaciones próximas al litoral tienen una dureza más elevada que las aguas subterráneas del interior. En efecto, las aguas con una dureza superior a  $50^\circ \text{F}$  pueden considerarse distribuidas en la franja costera que va desde Valencia hasta Carcagente, destacando las muestras de Catarroja con  $91,50^\circ \text{F}$  y Algemés con  $90,50^\circ \text{F}$ . En el interior presentan valores máximos las aguas de Onteniente con  $72,50^\circ \text{F}$  y sobre todo la de Ayora con  $293,72^\circ \text{C}$ .

La dureza permanente media es de  $29,70^\circ \text{F}$ . Por encima de  $40^\circ \text{F}$  hay una serie de muestras loca-

lizadas preferentemente en la franja costera situada al sur de Valencia, destacando los de Catarroja ( $62,04^\circ \text{F}$ ) y Algemés ( $64,23^\circ \text{F}$ ). En el interior de la provincia el valor máximo corresponde a Ayora ( $264,44^\circ \text{F}$ ).

Las aguas con menor dureza permanente se enclavan en el interior, dándose mínimos en Venta del Moro ( $9,33^\circ \text{F}$ ) y Cortes de Pallás con  $10,25^\circ \text{F}$ . Excepción es el agua de Villalonga, con  $5,67^\circ \text{F}$ .

### 3.3.2. Materia orgánica

La materia orgánica es quizá la determinación analítica donde los valores encontrados se hallan en su mayoría más próximos al límite establecido por el Código Alimentario Español, con un valor medio de  $3,2 \text{ mg/l}$ . Geográficamente se da una distribución bastante lógica, que se extiende desde Paterna a Carcagente con valores superiores a los  $4 \text{ mg/l}$ .

Máximos superiores a  $10 \text{ mg/l}$ . se dan en las aguas de Almusafes, Catarroja y Algemés. En el interior y aisladamente aparecen las muestras de Ayora, con  $7,1 \text{ mg/l}$ . y Onteniente con  $11,1 \text{ mg/l}$ .

Los mínimos se localizan casi totalmente en el interior observándose una zona, de contenido prácticamente nulo, entre: Aras de Alpuente, La Yesa, Benageber y Gestalgar.

### 3.3.3. Residuo fijo

Los manantiales más próximos al mar son los de mayor mineralización. Su distribución geográfica es idéntica a la de la dureza total. Los resultados analíticos se recogen en la Tabla II. El valor medio es de  $588,3 \text{ mg/l}$ . El máximo de  $4962,0 \text{ mg/l}$ . se da en la muestra de Ayora, fuertemente mineralizada.

### 3.3.4. Nitratos

El origen del ión nitrato en las aguas subterráneas es debido al empleo como fertilizantes de sales conteniendo nitrógeno, nitratos y amonio principalmente, y a la actividad industrial y humana de la zona. Es decir, su presencia en aguas es por contaminación de los acuíferos al atravesar las capas permeables y no tiene su origen natural en los litofacios del subsuelo.

El contenido medio de nitratos en las aguas subterráneas de la provincia de Valencia es de  $0,42 \text{ meq/l}$ . Cabe señalar que los contenidos superiores se dan en las zonas de mayor actividad agrícola, especialmente de regadío, e industrial, y se sitúan en la franja litoral al sur de Valencia, destacando Catarroja con  $3,08 \text{ meq/l}$ . Además, existen puntos donde el contenido en nitratos parece anormalmente alto posiblemente debido a una contaminación directa de las aguas subterráneas por aguas de desecho. Este podría ser el origen de los altos resultados de: La Yesa, con  $0,54 \text{ meq/l}$ .; Millares,  $0,60 \text{ meq/l}$ .; Alcublas,  $0,62 \text{ meq/l}$ .; Cheste,  $0,52 \text{ meq/l}$ .; Los Pedrones,  $0,56 \text{ meq/l}$ .; Cofrentes,  $0,68 \text{ meq/l}$ .; Jalance,  $0,61 \text{ meq/l}$ ., y Fontanares,  $1,43 \text{ meq/l}$ .

### 3.3.5. Aniones y cationes

La distribución de los valores encontrados para los aniones:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y las pautas de cationes:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  de las aguas analizadas, dada su relación con la configuración geológica del terreno, es motivo de un estudio aparte, lo que constituye un segundo trabajo (12).

## 3.4. Relaciones geoquímicas

En la tabla II se recogen las relaciones iónicas más importante.

a) La relación  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , para valores superiores a 10, divide la provincia en dos zonas perfectamente delimitadas. La primera situada al NO, formando una línea cerrada, que comprende: Higuieruelas, La Yesa, Aras de Alpuente, Benageber, Camporrobles, Ermita del Remedio, Villar de Olmos, Gestalgar e Higuieruelas.

La segunda zona se extiende linealmente por Tabernes de Valldigna, Sumacárcel, Navarrés y Jarafuel.

b) La relación  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  es aproximadamente igual a 3, da igualmente una línea cerrada bastante amplia y situada en la parte NO de la provincia: Higuieruelas, La Yesa, Benageber, Venta del Moro, Los Pedrones, Mijares, Cheste, Higuieruelas.

c) El cociente  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  presenta para valores superiores a 50, tres zonas cerradas una sobre otra, en efecto, la primera zona comprende:

Montaberner, Bocairente, Fuente la Higuera, Enguera, Montaberner. La segunda se extiende entre: Montaberner, Enguera, Jalance, Cofrentes, Millares, Almusafes, Cuatretonda y Montaberner. Por último, se delimita una tercera zona entre Millares, Mijares, Catarroja, Sueca, Carcagente y Millares.

## 3.5. Oligoelementos

### Hierro

La tabla V recoge los resultados analíticos para este elemento. Los valores oscilan entre 60 y  $140 \mu\text{g/l}$ . correspondiendo el máximo a Ayora con  $278 \mu\text{g/l}$ .

Las aguas con mayor concentración de hierro (más de  $100 \mu\text{g/l}$ .) se distribuyen según tres zonas lineales. Una próxima al litoral, que va desde Moncada hasta Oliva; otra que, partiendo también de Moncada, llega en línea recta hasta Tuéjar, y finalmente hay una tercera zona situada entre Cofrentes y Fontanares.

En la figura 3 se señalan los contenidos en hierro en los distintos puntos de muestreo.

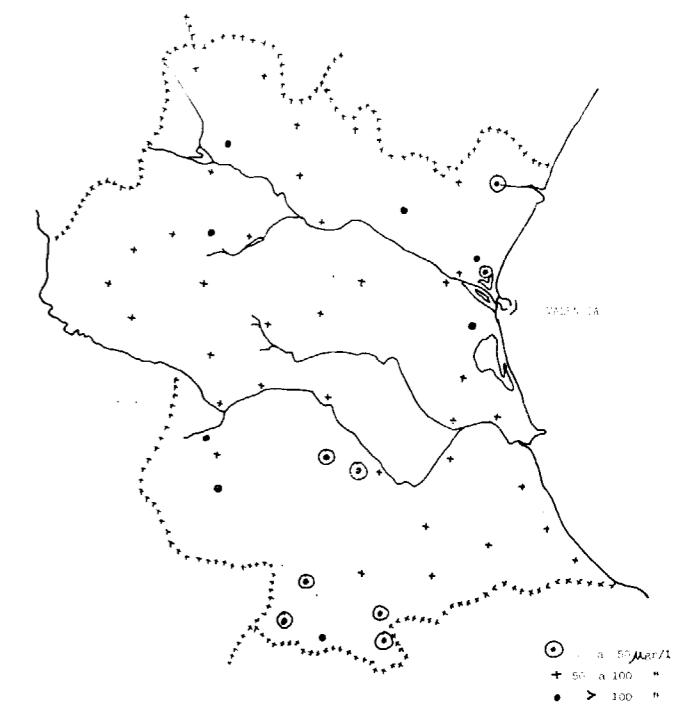


Figura 3

Mapa de distribución de concentraciones de Fe.



TABLA IV

Situación	ANIONES					CATIONES						% de Sodio		
	Cloruros meq/l.	Sulfatos meq/l.	Carbonatos meq/l.	Bicarbonatos meq/l.	Nitratos meq/l.	Suma de aniones mg/l.	Calcio meq/l.	Magnesio meq/l.	Sodio meq/l.	Potasio meq/l.	Suma de cationes mg/l.		meq/l.	
Buñol ... ..	0,64	2,82	0,00	5,27	0,15	488,9	8,88	5,15	2,83	0,90	0,03	158,8	8,91	10,10
Requena ... ..	0,84	1,17	0,00	4,64	0,23	382,8	6,88	4,04	1,74	0,85	0,03	124,6	6,69	12,71
Villar del Olmo ... ..	0,38	1,02	0,00	5,46	0,08	400,7	6,94	5,10	1,29	0,35	0,03	126,7	6,77	5,17
Camporrobles ... ..	0,32	0,39	0,00	4,18	0,71	329,0	5,60	2,83	2,54	0,40	0,02	96,9	5,79	6,90
Játiva ... ..	1,18	0,81	0,41	2,44	0,15	250,8	4,99	3,59	1,71	0,78	0,02	81,7	5,04	15,47
Chera ... ..	0,44	0,38	0,00	2,88	0,23	223,8	3,93	2,45	1,27	0,37	0,02	73,5	4,11	9,00
Gilet ... ..	0,84	1,14	0,00	2,64	0,14	254,2	4,76	2,02	1,92	0,70	0,05	81,4	4,69	14,92
Serra ... ..	0,81	2,05	0,21	3,25	0,06	335,5	6,38	3,73	2,21	0,45	0,02	112,3	6,41	7,02
Moncada ... ..	3,23	4,50	0,00	4,33	0,16	604,7	12,22	5,82	3,02	3,41	0,08	234,1	12,33	27,65
Valencia (Grao) ... ..	3,19	6,33	0,00	4,86	0,26	729,9	14,64	7,60	3,42	3,47	0,09	276,1	14,58	23,79
Liria ... ..	2,47	4,16	0,00	4,02	0,13	540,5	10,78	5,93	7,27	2,56	0,05	206,5	10,81	23,68
Higueruelas ... ..	0,49	0,60	0,10	3,39	0,45	283,7	5,03	3,59	1,08	0,40	0,03	95,0	5,10	7,84
La Yesa ... ..	0,76	0,97	0,00	3,38	0,54	313,4	5,65	4,05	1,11	0,30	0,17	107,8	5,63	5,33
Aras de Alpuente ... ..	0,50	0,62	0,00	3,76	0,20	289,2	5,08	3,43	1,57	0,14	0,01	91,1	5,15	2,91
Benageber ... ..	0,36	0,26	0,00	7,11	0,07	463,0	7,80	6,64	0,72	0,40	0,02	151,2	7,78	5,14
Venta del Moro ... ..	1,00	0,51	0,00	5,14	0,40	458,8	8,05	5,50	1,61	0,95	0,03	152,2	8,09	11,74
Mijares ... ..	1,39	0,82	0,10	4,90	0,42	416,9	7,63	5,25	1,62	0,75	0,01	142,2	7,63	9,82
Almusafes ... ..	2,99	5,74	0,00	3,18	0,91	632,3	12,82	6,40	3,61	2,65	0,13	236,5	12,75	20,47
Carcagente ... ..	4,14	5,74	0,02	3,89	1,05	725,8	14,84	7,08	4,98	2,59	0,05	262,8	14,70	17,62
Tabernes de Valldigna ... ..	0,48	0,60	0,00	3,40	0,18	264,0	4,66	3,07	1,37	0,30	0,01	78,8	4,75	6,31
Villalonga ... ..	0,43	0,28	0,72	2,51	0,04	206,2	3,99	2,30	0,96	0,70	0,01	73,9	3,97	17,63
Oliva ... ..	1,20	2,27	0,10	5,69	1,43	590,0	10,69	7,94	1,72	1,06	0,05	205,6	10,77	9,48
Navarrés ... ..	0,54	0,55	0,62	4,21	0,07	325,4	5,99	3,42	2,23	0,20	0,02	100,3	5,97	3,35
Millares ... ..	0,48	0,43	0,21	3,63	0,60	269,0	5,35	3,02	1,57	0,64	0,01	94,1	5,24	12,21
Cortes de Pallás ... ..	0,48	0,63	0,31	3,75	0,16	294,6	5,33	2,85	1,96	0,47	0,02	92,1	5,30	9,04
Jarafuel ... ..	0,68	3,63	0,21	2,67	0,13	375,4	7,12	3,48	3,00	0,60	0,03	120,5	7,11	8,44
Navalón ... ..	1,63	1,49	0,00	4,98	0,47	465,4	8,67	4,60	3,29	0,61	0,19	154,1	8,69	7,01
Fuente la Higuera ... ..	3,58	0,91	0,62	4,10	0,53	472,7	9,74	2,22	4,21	3,27	0,03	171,7	9,73	33,61
Onteniente ... ..	2,11	6,98	0,41	4,46	0,22	708,7	14,18	6,68	5,81	1,61	0,12	244,8	14,22	11,31
Alcublas ... ..	0,82	1,42	0,21	2,96	0,62	322,5	6,03	3,53	1,83	0,75	0,02	110,6	6,13	12,23
Paterna ... ..	3,39	6,68	0,41	3,80	0,08	689,9	14,36	7,05	3,75	3,41	0,07	267,3	14,28	23,87
Manises ... ..	1,67	1,46	0,41	3,59	0,45	388,6	7,58	4,43	2,62	0,38	0,05	130,7	7,48	5,08
Catarroja ... ..	5,78	8,03	0,00	5,23	3,08	1.101,5	22,12	11,28	6,16	4,57	0,06	406,8	22,07	20,70
Losa del Obispo ... ..	0,72	0,80	0,00	5,05	0,11	378,7	6,68	4,12	1,94	0,60	0,03	123,7	6,69	8,96
Tuejar ... ..	1,03	3,05	0,00	3,81	0,10	422,1	7,99	5,00	1,83	1,20	0,03	150,8	8,06	14,88
Gestalgar ... ..	0,40	1,09	0,31	4,36	0,11	348,4	6,27	3,88	1,83	0,42	0,02	109,7	6,15	6,83
Ermida del Remedio ... ..	0,40	0,62	0,10	3,56	0,05	267,0	4,73	2,64	1,98	0,27	0,01	83,3	4,90	5,51
Caudete de las Fuentes ... ..	0,64	1,93	0,00	4,83	0,34	432,9	7,74	4,52	2,50	0,80	0,03	140,1	7,84	10,19
Cheste ... ..	0,96	1,85	0,00	4,90	0,52	453,6	8,23	5,52	1,94	0,80	0,10	156,0	8,36	9,56
Los Pedrones ... ..	0,68	0,70	0,10	3,61	0,56	316,0	5,65	3,84	1,04	0,70	0,01	105,9	5,59	12,52
Los Isidros ... ..	2,75	1,23	0,00	6,42	0,28	565,5	10,68	4,44	4,66	1,64	0,04	184,8	10,78	15,21
Algemesí ... ..	6,13	4,82	0,62	3,90	1,98	828,0	17,45	9,64	5,06	2,76	0,06	319,2	17,52	15,75
Sueca ... ..	5,62	4,80	0,00	4,74	0,22	732,7	15,38	6,03	4,35	4,92	0,09	288,8	15,37	32,05
Montaberner ... ..	1,63	0,97	0,72	5,90	0,16	474,3	8,78	4,55	3,33	0,95	0,01	153,2	8,84	10,74
Sumacárcel ... ..	0,60	0,69	0,10	4,21	0,12	321,8	5,71	2,94	2,57	0,35	0,01	98,0	5,87	5,95
Bicorp ... ..	0,81	0,84	0,21	4,23	0,23	347,0	6,32	3,39	2,33	0,70	0,03	113,2	6,45	10,85
Cofrentes ... ..	0,74	0,60	0,21	3,75	0,68	331,9	5,98	3,58	1,67	0,76	0,01	109,5	6,02	12,62
Jalance ... ..	1,24	1,59	0,31	3,56	0,61	384,3	7,31	3,49	2,54	1,34	0,01	131,5	7,38	18,15
Ayora ... ..	8,39	36,09	0,72	3,59	0,09	2.278,4	48,88	24,15	16,78	7,66	0,32	873,2	48,91	15,66
Enguera ... ..	0,76	0,77	0,51	4,32	0,12	353,6	6,48	3,15	1,95	0,86	0,01	120,6	6,67	12,89
Fontanares ... ..	3,71	1,76	0,41	4,72	1,43	605,0	12,03	5,34	2,15	4,62	0,10	242,9	12,21	38,83
Bocairente ... ..	1,08	1,45	0,00	5,02	0,38	438,0	7,93	4,80	2,12	1,17	0,02	149,3	8,11	14,41

**Manganeso**

Este constituyente presenta concentraciones muy variables, oscilando entre 5 y 11 µg/l. Si consideramos como valores altos en manganeso los correspondientes a más de 8 µg/l., nos encontramos que las aguas con un contenido superior al indicado se distribuyen en dos zonas; una situada en Valencia y su entorno, que siguiendo la dirección de Cheste llega hasta Benageber, y otra zona que forma una línea cerrada que tomando como origen Ayora sigue por Navarrés, Cuatretonda, Enguera, Bocairente, Fontanares y Ayora.

**Cobre**

Presenta, al igual que el manganeso, valores muy variables, oscilando entre 3 y 12 µg/l., como se ve en la tabla V, destacando los 25,3 µg/l. de Valencia y los 39 µg/l. de Oliva. Las aguas ricas en cobre, es decir, con más de 8 µg/l., se sitúan en una zona lineal que partiendo de Valencia sigue por Manises, Cheste, Tuéjar, Benageber y llega hasta Camporrobles. Otras estacio-

nes, aisladas, con valores altos en cobre son las de Montaberner y Fontanares.

La distribución geográfica se observa en la figura 5.

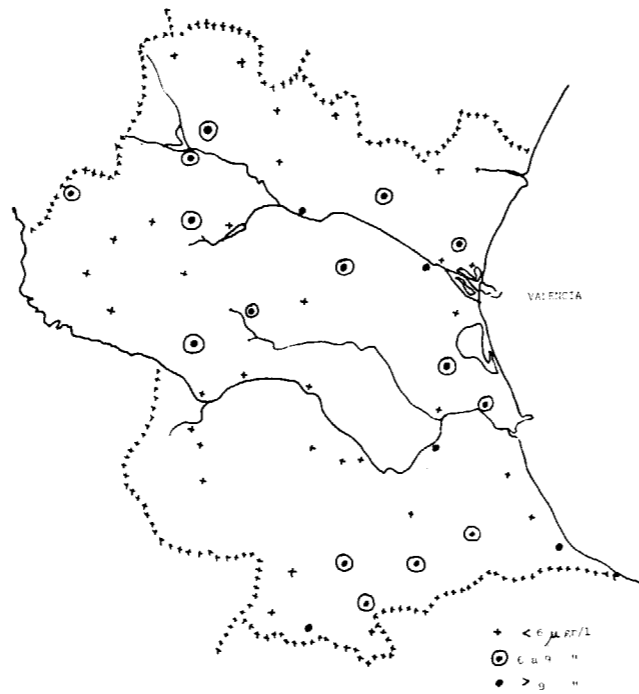


Figura 5  
Mapa de la distribución de concentraciones de Cu.

**Cinc**

Los valores encontrados para este metal van de 30 a 190 µg/l., como recoge la tabla V, siendo Montaberner con 320 µg/l. la estación más rica en este elemento. Aunque no hay una distribución perfecta, como se ve en la figura 6, entre las aguas cuyo contenido en cinc es alto (más de 100 µg/l.), podemos distinguir, sin embargo, dos líneas bien marcadas, una situada en la mitad norte de la provincia, que va desde Moncada a Benageber, y otra situada al sur, que se extiende desde Oliva hasta Fontanares.

**Plomo**

El contenido en plomo oscila entre 9 y 25 µg/l., destacando Mijares con 48 µg/l. Las aguas ricas en

TABLA V

Situación	Hierro (µg/l.)	Manganeso (µg/l.)	Cobre (µg/l.)	Cinc (µg/l.)	Plomo (µg/l.)	Niquel (µg/l.)
Buñol	78,1	5,9	4,4	43,8	15,4	32,8
Requena	68,8	6,0	5,1	45,6	19,1	31,3
Villar del Olmo	130,6	8,5	8,0	71,3	19,1	20,0
Camporrobles	70,0	5,6	9,1	25,6	9,5	22,5
Játiva	97,5	7,3	4,0	40,6	9,8	25,0
Chera	56,3	5,0	5,5	31,3	10,5	19,4
Gilet	45,6	3,5	3,6	40,6	7,1	20,3
Serra	75,0	6,3	3,4	38,1	11,1	27,5
Moncada	223,8	7,0	6,0	191,3	14,5	30,0
Valencia (Grao)	50,0	9,5	25,3	54,4	14,5	19,4
Liria	210,0	6,3	7,0	100,0	18,6	34,4
Higueruelas	98,1	6,3	5,5	56,9	8,6	37,5
La Yesa	70,6	6,0	5,0	41,3	12,5	38,9
Aras de Alpuente	69,4	5,6	4,3	50,6	8,3	31,9
Benageber	111,3	9,8	8,3	115,1	24,9	36,0
Venta del Moro	61,9	7,0	5,4	45,6	13,5	37,5
Mijares	66,9	6,9	6,6	76,9	11,9	37,5
Almusafes	76,3	6,1	6,0	54,4	10,4	31,9
Carcagente	65,2	6,8	11,9	78,8	37,5	41,7
Tabernes de Valldigna	89,4	5,9	5,0	43,8	50,0	28,8
Villalonga	52,5	3,9	2,3	30,0	14,3	15,0
Oliva	105,6	8,0	39,6	113,1	16,0	45,0
Navarrés	40,6	8,1	5,3	36,9	12,5	25,0
Millares	61,9	7,1	4,1	45,6	14,3	32,5
Cortes de Pallás	57,5	6,5	4,9	40,0	12,5	31,3
Jarafuel	53,1	5,0	4,0	41,3	16,9	30,0
Navalón	38,1	7,4	3,6	35,6	9,4	31,9
Fuente la Higuera	41,9	6,5	3,0	58,1	9,8	38,1
Onteniente	40,6	6,3	6,3	38,1	10,6	38,8
Alcublas	88,1	5,1	3,9	51,3	12,5	31,3
Paterna	76,9	9,9	4,0	161,3	15,9	33,8
Manises	96,6	8,8	9,5	63,1	15,0	43,8
Catarroja	140,0	17,5	5,6	68,1	21,5	46,3
Losa del Obispo	61,9	5,8	4,3	48,8	16,6	36,0
Tuejar	161,9	6,9	8,9	160,6	18,6	36,0
Gestalgar	68,8	6,0	9,6	58,1	14,4	33,8
Ermida del Remedio	66,3	4,8	4,1	50,6	9,5	37,5
Caudete de las Fuentes	71,9	6,1	5,3	71,3	16,6	37,5
Cheste	90,6	8,4	8,6	32,5	21,0	20,0
Los Pedrones	64,4	7,6	7,8	50,6	28,1	35,0
Los Isidros	63,1	6,5	5,5	43,1	16,0	43,8
Algemesí	84,4	7,6	5,5	48,8	17,8	46,3
Sueca	100,0	6,0	6,9	140,0	12,5	23,1
Montaberner	110,6	8,0	8,8	320,6	19,4	33,8
Cuatretonda	69,4	11,6	6,6	59,4	15,6	31,3
Sumacárcel	69,4	7,8	4,4	36,3	12,5	17,5
Bicorp	45,0	7,6	5,1	38,8	12,5	25,0
Cofrentes	106,3	7,4	4,4	45,6	10,8	33,8
Jalance	127,0	7,6	5,4	61,9	14,5	37,5
Ayora	278,8	8,9	3,5	27,5	25,0	25,0
Enguera	56,3	8,6	6,9	133,1	14,0	30,0
Fontanares	141,3	12,6	16,8	174,4	19,1	45,6
Bocairente	43,8	8,3	5,5	42,5	16,5	38,1

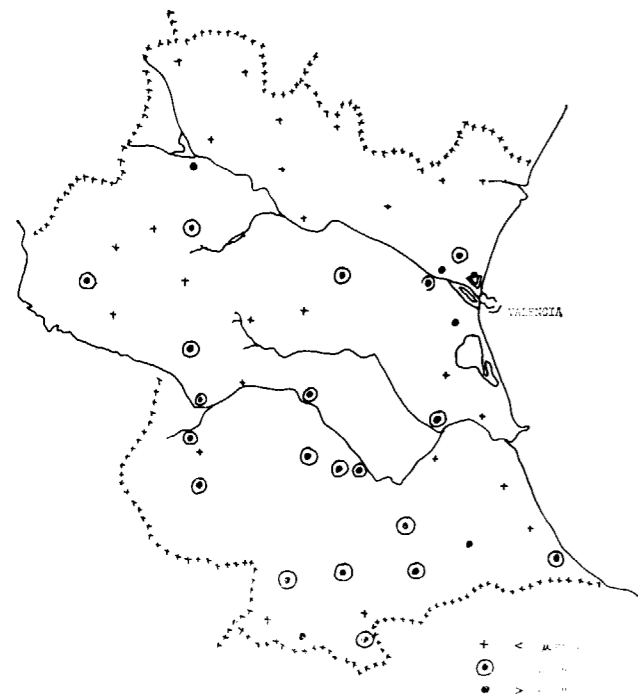


Figura 4  
Mapa de distribución de concentraciones de Mn.

en plomo, conteniendo más de 18  $\mu\text{g/l.}$ , se distribuyen en dos líneas diferentes, como se observa en la figura 7, una bastante definida que va de Tuéjar hasta Los Pedrones y otra menos definida que va desde Tabernes de Valldigna hasta Fontaneres.

#### Níquel

Este elemento, cuyos resultados se presentan en la tabla V, da valores más constantes que los otros oligoelementos estudiados, con contenidos que van de 19 a 37  $\mu\text{g/l.}$  y siendo Fontaneres con 45  $\mu\text{g/l.}$  y Algemesí con 46  $\mu\text{g/l.}$  las muestras más ricas en níquel. Si estimamos como valores altos a partir de 40  $\mu\text{g/l.}$  las aguas analizadas presentan valores superiores en una línea que une Manises y Carcagente. La distribución geográfica de níquel se representa en la figura 8.

#### Boro

Este elemento da un contenido medio de 0,23 mg/l.

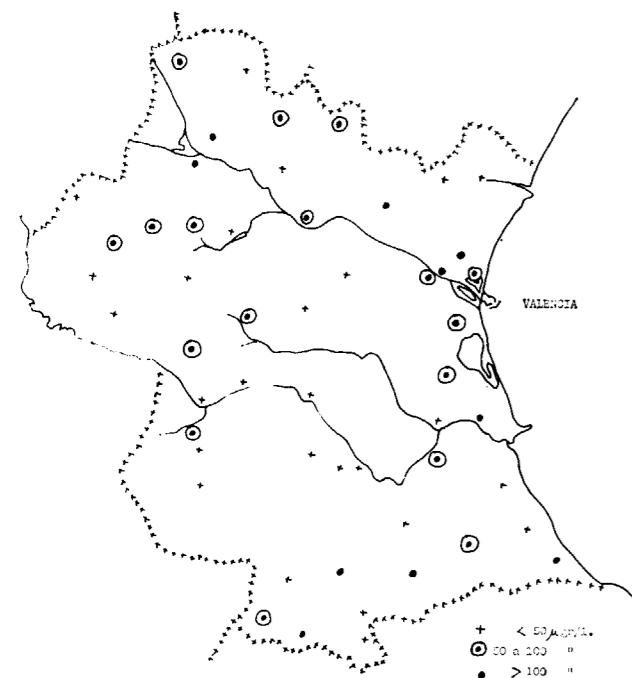


Figura 6  
Mapa de distribución de concentraciones de Zn.

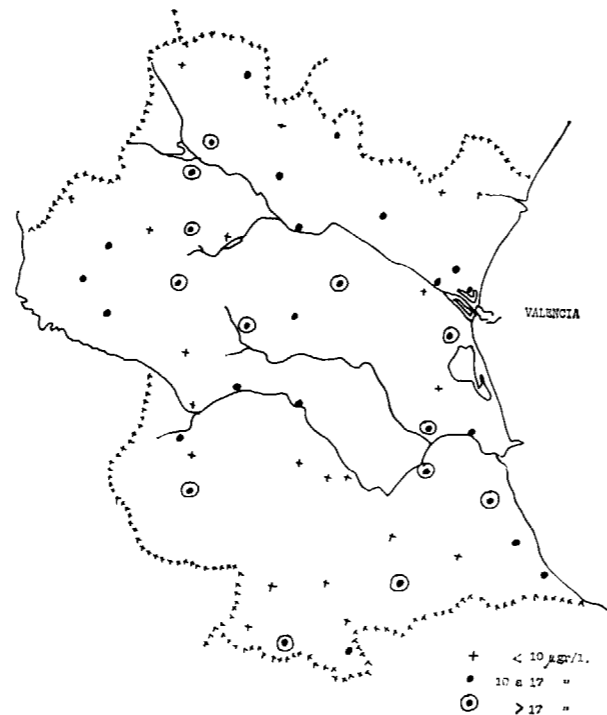


Figura 7  
Mapa de distribución de concentraciones de Pb.

El máximo contenido en boro se alcanza en la muestra de Ayora con 0,94 mg/l. Valores superiores a 0,30 mg/l. se reparten en dos zonas principalmente: la primera, situada al NO, comprende: Cheste, Buñol, Requena, Camporrobles, Villar del Olmo, Benageber, Tuéjar y Losa del Obispo. La segunda zona es más dispersa y se reparte entre Sueca, Bicip, Ayora, Enguera y Cuatrecasas. Los mínimos corresponden a Villalonga con 0,04 mg/l. y Oliva, Alcublas y Cofrentes con 0,09 mg/l.

#### 3.6. Potabilidad

En general, las aguas subterráneas de la provincia de Valencia cumplen bien los caracteres físicos y químicos convenientes a tolerables dados por el Código Alimentario Español, como se recoge en la tabla II. Sin embargo, se observa en muchas de ellas la presencia de nitratos y materia orgánica; por estas razones no podemos considerarlas como aguas de uso doméstico ni de bebida. Se observa que hay una zona perfecta-

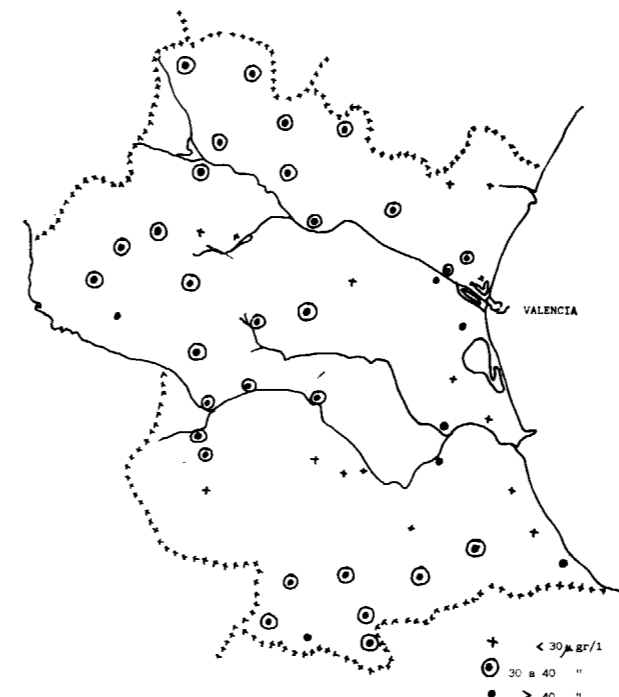


Figura 8  
Mapa de distribución de concentraciones de Ni.

mente definida, donde las aguas acusan estas propiedades; esta zona, eminentemente agrícola, se extiende desde Moncada hasta Carcagente, bordeando el litoral. Otras aguas dudosas en su potabilidad se presentan al SO, donde las de Jalance, Ayora y Fontaneres concretamente se han calificado de no potables.

#### 3.7. Calidad para riego

Desde el punto de vista de su aprovechamiento para riego las aguas de la provincia de Valencia son buenas. Aquellas que se clasifican como dudosas o tolerables se extienden por una zona prácticamente análoga a la que hemos considerado para la potabilidad, como se observa en la tabla III. De entre todas las muestras, sólo la de Ayora se clasifica como no utilizable para riego.

#### 4. CONCLUSIONES

Como conclusiones importantes destacamos:

— Se han encontrado valores apreciables de

nitratos y nitritos en las aguas situadas en las zonas E y S de la provincia de Valencia, muy posiblemente debido a la actividad agrícola e industrial.

- Las aguas procedentes de pozo, presentan mayor dureza que las de fuentes o manantiales. Siendo más duras las situadas en la franja litoral.
- El contenido en materia orgánica está próximo, en general, a los límites establecidos por el Código Alimentario Español, a excepción de las zonas agrícolas, donde se alcanzan valores superiores.
- La distribución de los diferentes resultados analíticos no se realiza al azar, sino que se agrupan generalmente en núcleos de máxima concentración, rodeados por zonas de menor contenido.
- Las aguas subterráneas de la provincia de Valencia, en cuanto a potabilidad, cumplen generalmente las características físicas y químicas tolerables dadas por el Código Alimentario Español, si bien en algunas de ellas es notable la presencia de nitritos, nitratos y/o materia orgánica.
- Con muy pocas excepciones, todas las aguas subterráneas estudiadas son «buenas», desde el punto de vista de su aprovechamiento para el riego.
- El contenido en microelementos de las aguas subterráneas es muy variable, destacando por su mayor abundancia dos zonas perfectamente definidas: La primera, situada al NO, comprende Venta del Moro, Benageber y Tuéjar, y la segunda, situada al S, e integrada por Oliva-Montaberner y Fontaneres.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) ALONSO, J.: *Características geomorfológicas de la red fluvial de Valencia y petrografía sedimentaria de sus aportes terrígenos*. CSIC. Madrid (1958).
- (2) APMA, AWWA y WPCF: *Métodos estándar para el examen de aguas y aguas de desecho*. Ed. Americana, S. A., 11 edición, México (1963).
- (3) BURRIEL, F.; LUCENA, F., y ARRIBAS, S.: *Química Analítica cualitativa*. Edit. Paraninfo, Madrid (1970).
- (4) CÓDIGO ALIMENTARIO ESPAÑOL: «Boletín Oficial del Estado». Madrid (1967).
- (5) INSTITUTO DE HIDROLOGÍA DEL CSIC (1967).

## Método para el estudio de inestabilidades creadas por bloques rígidos en excavaciones subterráneas

Por C. MANERA BASSA

### RESUMEN

En este artículo se presenta un método gráfico para el estudio de desprendimientos en túneles o excavaciones subterráneas, realizadas en macizos rocosos discontinuos. Este sistema permite el cálculo de los volúmenes de roca que pueden crear inestabilidades, y la carga que generan sobre la cara libre de la excavación.

### ABSTRACT

This paper introduces a graphic method for the study of the collapsing of tunnels and underground excavations made in discontinuous rock mass. This method allows the possibility of calculating rock volumes which may create instability, as well as the load generated on the surface of the excavation.

Entre los factores a tener en cuenta en los cálculos de estabilidad de excavaciones subterráneas, hay dos que tienen importancia relevante. Las deformaciones del macizo rocoso en torno a la excavación, y las caídas o desprendimientos de bloques de rocas *aislados* por discontinuidades mecánicas.

En aquellas excavaciones subterráneas en las que el rango de las deformaciones del macizo rocoso es muy reducido, el desprendimiento de bloques es el factor que tiene más incidencia en la estabilidad de la cavidad. Cuando el macizo rocoso sufre deformaciones, tanto el estudio de estas como el del movimiento de bloques rígidos hacia la excavación, es de fundamental importancia.

En este artículo se presenta un tipo de análisis, aplicable a macizos rocosos discontinuos de características geológicas conocidas, que permite determinar cuales son los bloques o masas de rocas aisladas por discontinuidades mecánicas, que tienen posibilidad de movimiento hacia la excavación. Se hace referencia, asimismo, a otros factores en el estudio y diseño de cavidades subterráneas.

Para el estudio del deslizamiento o desprendimiento de un bloque de roca en un túnel, es

necesario emplear un modelo tridimensional en algún momento del análisis. Esto puede realizarse, empleando un modelo estereográfico de forma parecida a como se utiliza en cálculos de estabilidad de taludes en roca. K. J. JOHN, 1968. En todos los dibujos y esquemas que se presentan en este artículo se ha empleado siempre la falsilla de Schmidt y el hemisferio inferior para las construcciones gráficas.

En un macizo rocoso discontinuo, las discontinuidades mecánicas son de dos tipos: discontinuidades singulares, una falla, una junta aislada importante, y familias de discontinuidades, planos de estratificación, esquistosidades, conjuntos de juntas más o menos paralelos, etc.

Las discontinuidades mecánicas, quedan definidas si se conocen sus características geométricas, rumbo «A», buzamiento «a», tamaño, es decir, dimensión según rumbo «d<sub>A</sub>» y según buzamiento «d<sub>a</sub>», espaciado «E» que se define como la separación entre discontinuidades de una misma familia, y sus parámetros resistentes, cohesión y fricción, que dependen de la naturaleza de la roca, rugosidad y ondulación de la discontinuidad, presencia o ausencia de relleno y naturaleza del mismo, etc.

- (6) LLOPIS MARI, A.: *Composición química de las aguas de abastecimiento de la provincia de Valencia*. Comunicación personal (1973).
- (7) LLOPIS MARI, A.: *Hidrogeología de las aguas de abastecimiento de Valencia*. Comunicación personal (1975).
- (8) NOISSETTE, G.: *Agresivité des eaux et protection intérieure. Classification des eaux*. Inv. Wat. Supply Ass., vol. 11, Proc. Cong.
- (9) NOVO, B.: *Programa para el estudio de las cuencas hidráulicas subterráneas de Valencia*. Notas y Comuns. IGME, núm. 12, 149-160 (1946).
- (10) PÉREZ SARMENTERO, J.: *Influencia de los litofacios en las aguas de la cuenca del río Cabriel*. Tesis. Facultad de Ciencias. Valencia (1974).
- (11) SANCHIS SINISTERRA, L.; MAQUIEIRA, A., y SERRA, J. A.: *Estudio de la composición química de las aguas del río Júcar en relación con las litofacies de su cuenca*. Bol. Geol. y Minero, 217-231 (1981).
- (12) SANCHEO CIVERA, J.; MAQUIEIRA, A., y SERRA, J. A.: *Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. II. Relación entre la composición química de las aguas subterráneas y las características litoestructurales de la zona*. Bol. Geol. y Minero (en prensa).
- (13) SCOTT, N.: *Standard Methods of Chemical Analysis* (1929).
- (14) SCHUKAREV, S.: *Intento de una revisión general de las aguas de Georgia desde el punto de vista geológico*. Tr. Gos. Tsend. Trata Kurortologie, vol. 5 (1934).
- (15) SERRA, J. A., et al.: *Relación entre los litofacios y la composición química de las aguas de la cuenca del río Turia*. Bol. R. Soc. Española Hist. Nat. (Geol.), 74, pp. 137-158 (1976).
- (16) SNELL, F. D.; SNELL, C. T., y SNELL, CH. A.: *Colorimetric methods of analysis*. Vol. II A. 594. D. Van Nostrand Co., N. Y. (1959).
- (17) S. Salinity Laboratory Staff (1954).
- (18) WILCOX, L. V.: *Determining the quality of irrigation water*. Agr. Inf. Bull., núm. 167. US. Dep. of Agriculture (1958).

En un macizo rocoso cualquiera, es prácticamente imposible, en la actualidad, conocer con total precisión las características anteriormente citadas de cada discontinuidad y su posición en el espacio. Pero si es posible mediante un estudio geológico adecuado, dividir la zona que se esté estudiando en un conjunto de «dominios», dentro de cada uno de los cuales puedan considerarse uniformes las características litológicas y las pautas que presenten las discontinuidades, realizándose el análisis que más adelante se indica para cada uno de estos dominios.

Desde un punto de vista meramente geométrico, el número mínimo de discontinuidades mecánicas que es necesario para aislar un bloque de roca en el interior de un macizo rocoso, es de tres, que paralelas dos a dos definen un bloque o paralelepípedo unitario de roca, que caracteriza ese dominio litológico. *METHODS*, 1976.

La representación de lo anteriormente indicado se presenta de forma gráfica en la figura 1.

Tres planos dividen el espacio en ocho sectores diferentes, simétricos dos a dos, 1-8, 2-5, 3-6, 7-4, cada uno de estos sectores corresponde a uno de los vértices del bloque unitario antes indicado, y queda representado en proyección estereográfica por un triángulo esférico, de los cuales, en la semiesfera de la proyección, únicamente el central aparece completo, «1», faltando su simétrico «8».

Al cortar con una excavación subterránea, túnel en general, un paralelepípedo unitario, de roca, quedan individualizados entre bóveda y hastiales del túnel y los vértices caras o aristas del paralelepípedo unitario, pirámides o prismas de roca con posibilidad de movimiento hacia la excavación, figura 2.

Las diferentes posibilidades de intersección de un paralelepípedo unitario, formado por tres familias de planos, y una cavidad subterránea, se ilustran en la figura 3. Las pirámides son los bloques más sencillos que pueden formarse, dado que sólo precisan de tres caras, discontinuidades, más la superficie de la excavación para su formación, son pues los más probables y frecuentes. Los prismas triangulares, precisan de cuatro caras más

la superficie de excavación. Los paralelepípedos precisan de cinco caras más la excavación.

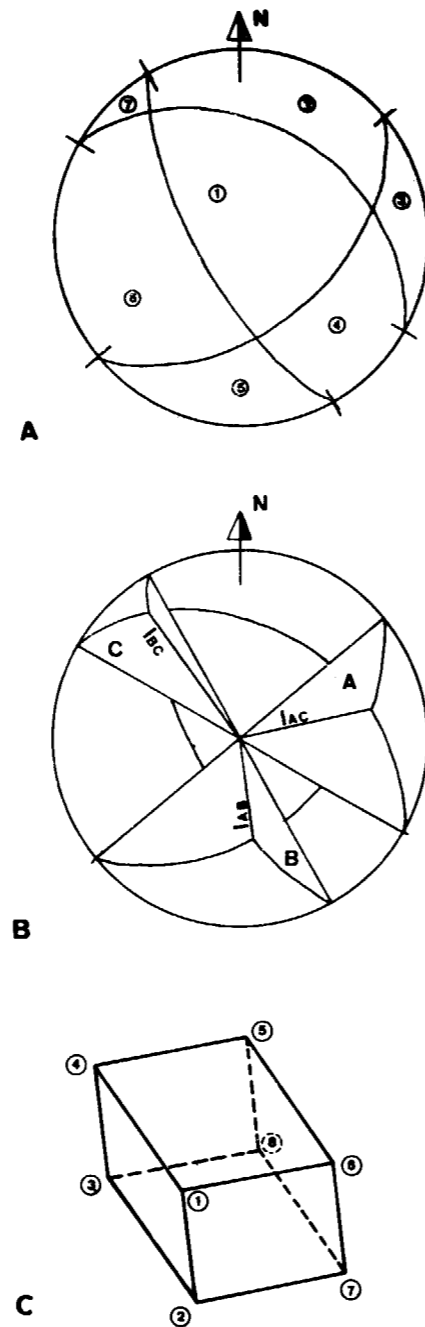


Figura 1.—Representación de un bloque unitario. A) Tres planos en proyección estereográfica dividen el espacio en 8 sectores. B) Representación de los planos y sus intersecciones. C) Planta del bloque unitario formado por los tres planos anteriores, los sectores de la figura A, forman sus vértices, y las intersecciones de los planos, figura B, sus aristas.

Con tres planos de discontinuidad, según su disposición espacial, figura 4, pueden presentarse los siguientes casos:

- A) El triángulo esférico central contiene al centro de la proyección.
- B) El triángulo esférico central no contiene al centro de la proyección.
- C) Una de las intersecciones de los planos, es horizontal.
- D) Dos de las intersecciones de los planos son horizontales, luego un plano es horizontal.

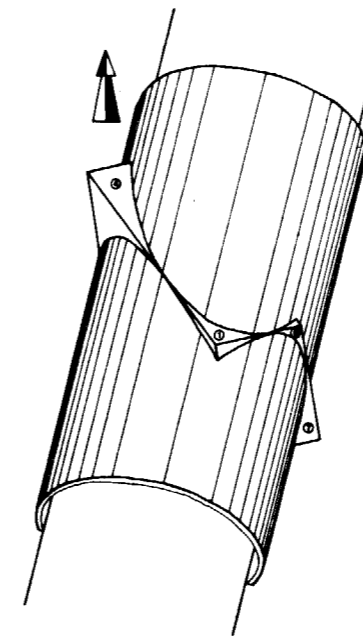


Figura 2.—Planta representando la intersección de un bloque unitario y un túnel.

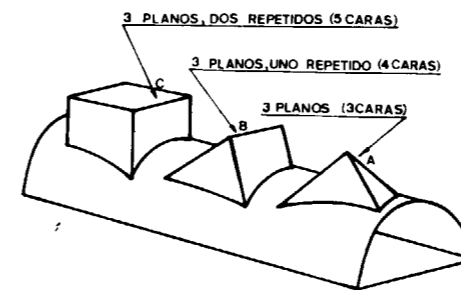


Figura 3.—Diferentes posibilidades de intersección de un bloque unitario y un túnel.

En el primer caso, se pueden producir desprendimientos de pirámides de roca en la clave del túnel, figura 2, bloque 1, y deslizamientos de pirá-

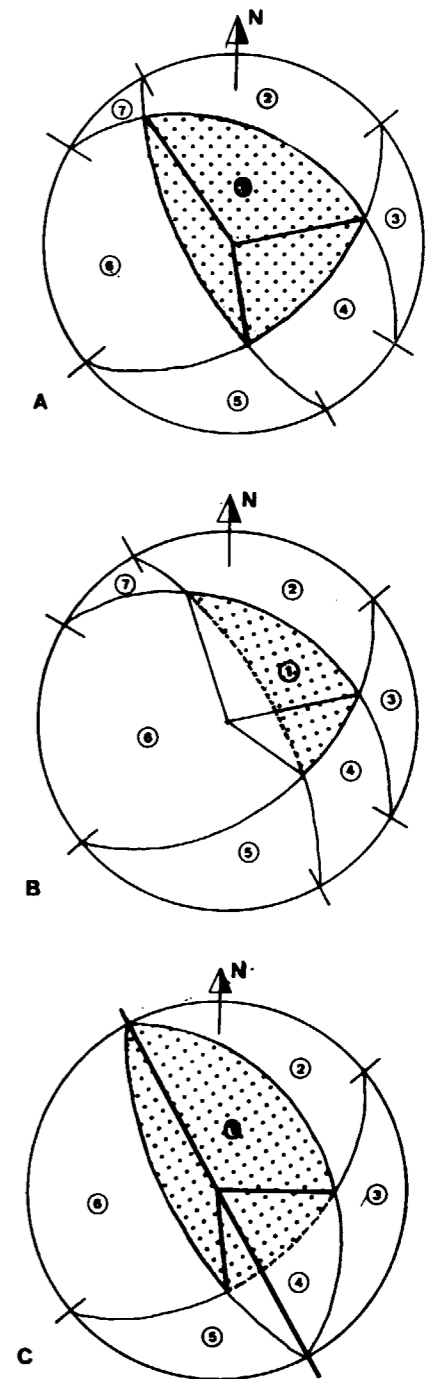


Figura 4.—Casos que pueden presentarse. Representación estereográfica de los diferentes tipos de bloques unitarios que pueden formarse con tres planos, según su posición relativa en el espacio.

mides sobre una cara y sobre una arista en los hastiales, figura 2, bloques 4, 6 y 7, y los 2 y 5 figura 5, en los frentes de excavación.

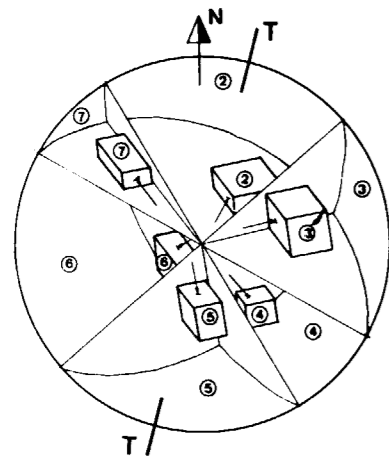


Figura 5.—Posibilidad de movimiento de los diferentes vértices del bloque unitario; 2, 4, 6, deslizamiento sobre un plano; 3, 5, 7, deslizamiento según una arista; 1 (figura 1), desprendimiento; 8, estable.

En el caso «B», no son posibles desprendimientos de pirámides en la clave, pero si deslizamientos de pirámides sobre una cara o sobre una arista, que afecten a la clave y hastiales o frentes de excavación.

En el caso «C», pueden producirse en la clave desprendimientos de prismas triangulares de roca, figura 3, bloque B, y deslizamientos sobre una cara o una arista en hastiales y frentes de excavación.

En el caso «D», con una discontinuidad horizontal, figura 3, bloque C, son posibles desprendimientos de paralelepípedos en la clave del túnel y deslizamientos de pirámides sobre una cara o arista en hastiales y frentes de excavación.

**EL TRIANGULO ESFERICO CENTRAL CONTIENE EL CENTRO DE LA PROYECCION**

Empezaremos analizando el primer caso, con el ejemplo definido en las figuras 1 y 5, donde los tres planos tienen las direcciones y buzamientos siguientes:

- Plano A dirección A=50° buzamiento a=50°
- Plano B dirección B=150° buzamiento b=70°
- Plano C dirección C=300° buzamiento c=40°

Las intersecciones de los planos entre sí tienen las siguientes direcciones y plunges:

- Intersección I<sub>AC</sub> dirección 78° plunge 29°
- Intersección I<sub>BA</sub> dirección 171° plunge 40°
- Intersección I<sub>CB</sub> dirección 323° plunge 18°

Se estudiarán los efectos que producen estas discontinuidades en un túnel de dirección 15° con una sección rectangular, bóveda plana y hastiales verticales, de 9 metros de anchura y 6 metros de altura.

Con la disposición anterior, existe un triángulo esférico, bloque 1, figuras 1 y 2, que por contener el centro de la proyección, puede caer en el interior del túnel desprendiéndose de la clave.

Los sectores simétricos 4 y 7, figuras 1, 2 y 5, que no contienen el centro de la proyección pueden moverse ambos hacia el interior del túnel, el 4 en el hastial izquierdo, deslizando por el plano A y despegándose de los B y C, y el sector 7 en el hastial derecho, deslizando según la intersección I<sub>CB</sub> sobre los planos C y B, caída tipo cuña, y despegando del plano A.

Los sectores simétricos 3 y 6, figura 5, tendrían movimiento según la intersección I<sub>AC</sub> el 3, y deslizando sobre el plano B el 6, pero en nuestro caso, túnel de sección rectangular de dirección 15°, no tienen posibilidad física de movimiento hacia el interior del túnel, dado que las aristas I<sub>BA</sub> en ambos casos son divergentes respecto a la dirección del túnel y no quedan liberados por la excavación.

Los sectores 2 y 5, pueden crear inestabilidad en los frentes de excavación, al poder caer el 5 deslizando según la intersección I<sub>BA</sub>, en el frente de avance al excavar el túnel en dirección Sur-Norte, y el 2 deslizando sobre el plano C, si la excavación se realiza avanzando en sentido Norte-Sur.

Esta primera fase cualitativa de visualización de las pirámides de roca con posibilidad de movimiento, y de que tipo, deslizamiento sobre un plano o sobre una arista, y pirámides sin posibilidad de movimiento, es decir estables, se realiza directamente a partir de los datos geológicos con

gran rapidez, y es de gran importancia pues permite con un modelo sencillo la visualización del problema.

Partiendo de la representación estereográfica de los tres planos A, B y C, es sencilla la determinación gráfica del volumen de las pirámides, SUN YU-KO, KU HSUM, 1978, que pueden originarse tanto en la clave como en los hastiales y frentes de excavación en un túnel de dirección y sección conocida.

**VOLUMEN DE DESPRENDIMIENTO EN LA BOVEDA**

En esta construcción se supone que la bóveda es plana. Se parte del dibujo de los tres planos en proyección estereográfica, figura 1.A. Como primer paso se construyen las tres aristas de la pirámide, intersecciones I<sub>AB</sub>, I<sub>BC</sub> y I<sub>CA</sub>, figura 6, prolongándose más allá de los puntos de intersección de los planos. Desde un punto cualquiera de una de estas intersecciones, punto «M» de la intersección I<sub>BC</sub>, se trazan paralelas a las direcciones de los planos que definen esa intersección, hasta que corten a las otras dos intersecciones I<sub>AC</sub> y I<sub>AB</sub> en los puntos N y N', respectivamente; uniendo estos dos puntos tendremos el tercer lado de la base de la pirámide, que necesariamente ha de ser paralelo a la dirección del tercer plano A.

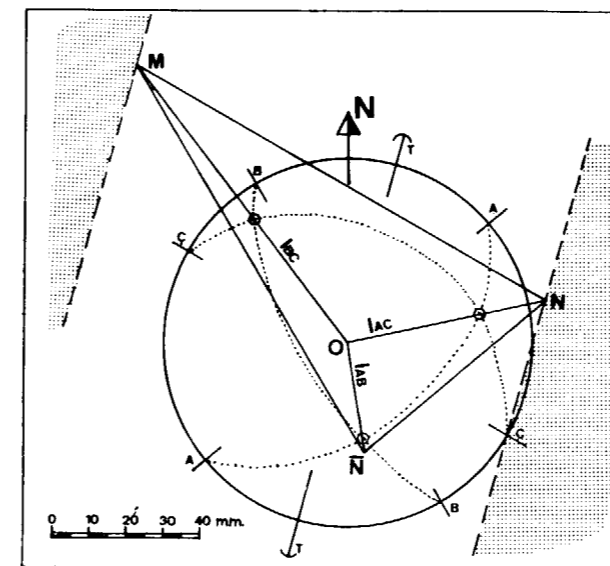


Figura 6.—Construcción gráfica para el cálculo del volumen de desprendimientos en la clave.

La pirámide así construida puede inscribirse en el túnel trazando paralelas a la dirección de éste por los vértices M y N.

El volumen de la pirámide será:

$$V = 1/3 \cdot K^3 \cdot S \cdot H \quad (1)$$

Siendo:

$$K = \frac{\text{anchura del túnel en metros}}{\text{anchura del túnel en el dibujo}} \quad (2)$$

$$S = 1/2 \cdot \overline{MN} \cdot \overline{NN'} \cdot \text{sen}(\widehat{MNN'}) \quad (3)$$

$$H = \overline{ON} \cdot \text{tang}(\text{plunge } I_{AB}) \quad (4)$$

En nuestro ejemplo, para un túnel de 9 metros de anchura, midiendo en la figura 6, en milímetros:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{9}{124}\right)^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 123 \cdot 65 \cdot \text{sen } 80^\circ \cdot 30 \cdot \text{tang } 45^\circ = 15,052 \text{ m}^3$$

**PIRAMIDES EN HASTIALES Y FRENTES DE EXCAVACION**

En estos casos se considera para la construcción gráfica que los hastiales o frentes de excavación son planos verticales.

Para calcular el volumen del bloque 4, figura 1A y 5, se trazan en primer lugar las direcciones de los hastiales o frentes de excavación, dibujando paralelas a la dirección del túnel. Desde un punto cualquiera del interior del hastial, «O», figura 7A, se trazan hacia el hastial paralelas a las tres intersecciones I<sub>AB</sub>, I<sub>BC</sub> y I<sub>CA</sub>. En estos casos, la base de la pirámide se encuentra en el plano del hastial, para dibujarla será necesario abatir dicho plano. En el dibujo, la línea MN' es la intersección del plano A con el plano vertical que contiene la dirección del túnel, es decir, el plano del hastial, podemos obtener su pendiente del diagrama estereográfico y dibujarla,  $\widehat{NMN'} = 62^\circ$ . De la misma forma se traza MN' correspondiente al plano B, uniendo N' y N se obtiene la intersección del plano C y se completa la base de la pirámide en el hastial.

El volumen, como en el caso anterior de desprendimientos en la clave, será:

$$V = \frac{1}{3} \cdot K^3 \cdot S \cdot H \quad (5)$$

Siendo:

$$K = \frac{\text{altura del hastial en metros}}{\text{altura del hastial en el dibujo}} \quad (6)$$

$$S = \frac{1}{2} \cdot \overline{MN'} \cdot \overline{MN'} \cdot \text{sen}(\widehat{N'MN'}) \quad (7)$$

$$H = \overline{OO'} \quad (8)$$

En nuestro ejemplo, para un túnel de 6 metros de altura, midiendo en la figura 7 en milímetros:

$$V = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{6}{31}\right)^3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 36 \cdot 35 \cdot \text{sen } 28^\circ \cdot 11 = 7,86 \text{ m}^3$$

En la práctica, por comodidad el punto «O» inicial de la construcción, puede tomarse en el centro del diagrama estereográfico dibujando la línea que representa el hastial a una distancia «H» de «O», figura 7B, que sea un número entero en la escala en que se esté haciendo la construcción.

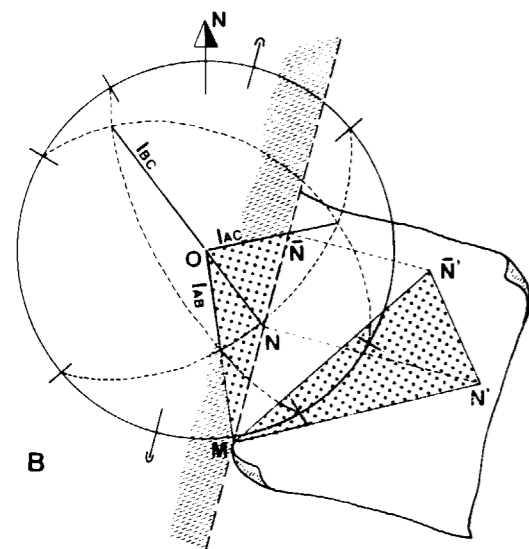
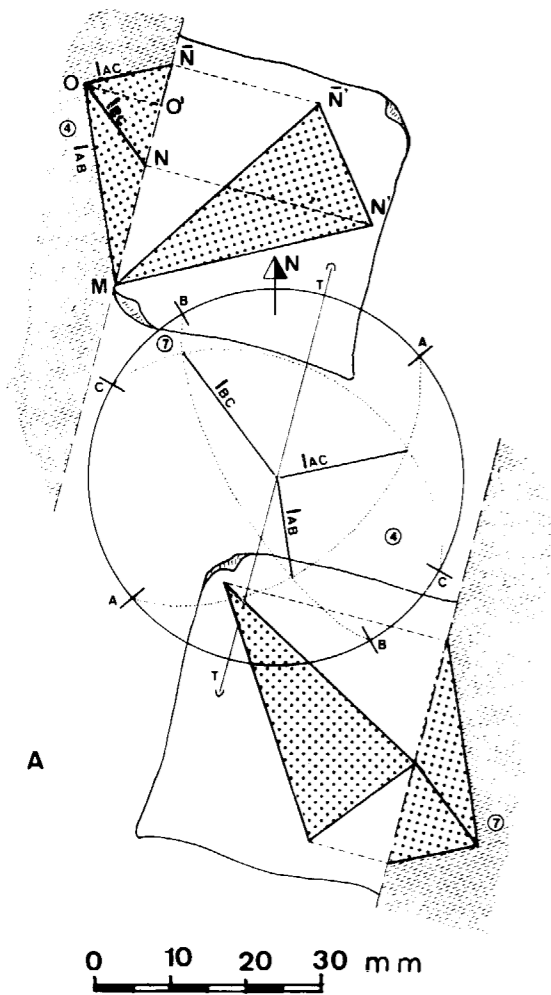


Figura 7.—Construcción gráfica para el cálculo del volumen de pirámides en hastiales o frentes de excavación.

CARGAS INDUCIDAS POR LAS PIRAMIDES

En el caso de desprendimientos en la clave, las cargas inducidas por las pirámides son las debidas a su peso, a las que se oponen como fuerzas resistentes, la cohesión en los planos de las discontinuidades que las limitan. Si se considera que la cohesión en las discontinuidades es nula, para una densidad de la roca  $\gamma$  el peso de la pirámide será  $\gamma \cdot V$ , habrá que dividir este peso por el área de la base de la pirámide para obtener la carga en la clave por unidad de superficie, de (1), (2) y (3), tendremos:

$$P_v = \frac{\gamma \cdot \frac{1}{3} \cdot K^3 \cdot S \cdot H}{K^2 \cdot S} = \frac{1}{3} \cdot \gamma \cdot K \cdot H$$

En nuestro ejemplo, para  $\gamma=2,6$  y  $V=15,05 \text{ m}^3$ , y área de la base de  $20,73 \text{ m}^2$ ,  $P_v=1,88 \text{ Tn/m}^2$ .

La carga anteriormente calculada es la creada en la clave por la pirámide de roca teórica más grande que puede formarse con la geometría estudiada. Como esta pirámide puede formarse en cualquier punto de la clave a lo largo del túnel, ésta será la carga que habrá que suponer para todo el «dominio» que estamos estudiando.

En los hastiales los empujes horizontales creados por las pirámides, se determinan de forma parecida conocido el volumen y por tanto el peso. Hay dos aspectos, no obstante, que diferencian bastante estos casos de los desprendimientos en la clave. En primer lugar, la dirección del movimiento de las pirámides no tiene porque ser normal al hastial, tendrán la dirección de la intersección o dirección de buzamiento del plano sobre el que deslicen. En segundo lugar, al movimiento de las pirámides se oponen las fuerzas debidas a la fricción y cohesión en los planos. Es, pues, necesario realizar un cálculo de estabilidad para definir si son o no estables y poder adoptar el factor de seguridad que se considere oportuno. Esto se realiza de forma similar a los cálculos de estabilidad realizados en taludes en roca, gráficamente, JOHN, 1968; HOEK, 1977; o por otros procedimientos, MANERA, 1982.

En nuestro ejemplo, la pirámide 7, que tiene el mismo volumen que la 4 ya calculada, si suponemos que la fricción en los planos C y B, es de  $17^\circ$  y  $13^\circ$  respectivamente, el factor de seguridad de esta cuña al deslizamiento según la intersección  $I_{BC}$ , es  $FS=1,27$ , figura 8. Si queremos incrementar el factor de seguridad de esta pirámide, por ejemplo, a  $FS=1,5$ , se deberá dimensionar el hastial derecho para un empuje horizontal de  $P=2 \text{ Tn.}$ , figura 8B, que corresponde a un empuje por metro cuadrado de  $P_h=0,18 \text{ Tn/m}^2$ .

CARGAS MAXIMAS Y MINIMAS EN FUNCION DEL TAMAÑO Y ESPACIADO DE LAS DISCONTINUIDADES

En función de los datos de superficie, las cargas pueden ser mayores o menores que las anteriormente calculadas. Los planos A, B y C no son planos únicos y aislados, representan normalmente familias de discontinuidades, cada una de ellas caracterizada por tener unas dimensiones finitas y un espaciado determinado, las dimensiones de las discontinuidades, como ya se ha indicado an-

teriormente, dimensión según rumbo  $d_A$ , y según buzamiento  $d_a$ , en la discontinuidad A, limitan el tamaño de las pirámides, puesto que no podrán formarse pirámides cuya cara A tenga dimensiones superiores a  $d_A$  y  $d_a$ . Si de la investigación de campo, por ejemplo, se deduce que la familia de discontinuidades C tiene unas dimensiones según rumbo comprendidas siempre entre 3 y 6 metros, el lado MN de la base de la pirámide en la clave del túnel, figura 6, no podrá tener dimensiones superiores a 6 metros, siendo entonces el volumen máximo posible de  $4,0 \text{ m}^3$ , que tendrá un peso de  $10,4 \text{ Tn.}$  y originará una carga de  $1,2 \text{ Tn/m}^2$ .

El espaciado entre las discontinuidades de las diferentes familias tiene gran importancia, pues

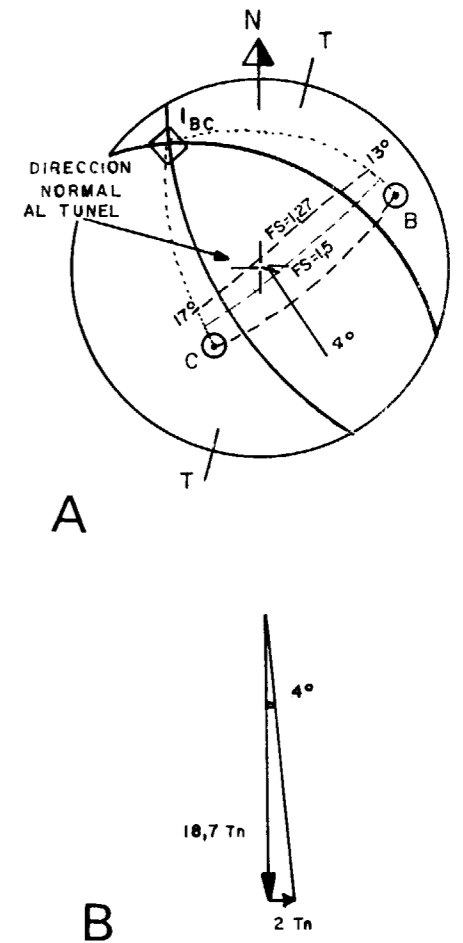


Figura 8.—A, cálculo de estabilidad, K. W. J., de pirámides en hastiales, y B, empuje horizontal de dicha pirámide para factor de seguridad  $FS=1,5$ .

además de definir el tamaño del paralelepípedo unitario, nos define el número de pirámides que pueden formarse para una longitud de túnel dada y si éstas se encuentran o no interpenetradas.

En función del espaciado, las pirámides pueden presentarse separadas, adyacentes y parcial o totalmente interpenetradas. Esto queda ilustrado en la figura 9. Cuanto mayor es la interpenetración de los bloques mayor es la carga, con un valor máximo cuando el espaciado tiende a cero.

En nuestro ejemplo, si consideramos un espaciado en la familia de discontinuidades C de 2,8 m. las pirámides son tangentes entre sí, por lo que los volúmenes, pesos y cargas máximas teóricas, serán las ya calculadas anteriormente.

Si el espaciado es 1,6 m., el volumen que debe considerarse es el que se indica en la figura 10, es decir, el volumen de la pirámide teórica máxima 15,05 m<sup>3</sup>, menos la zona compartida con la pirámide anterior 1,19 m<sup>3</sup>, es decir 13,86 m<sup>3</sup>, que crea una carga de P<sub>v</sub>=2,13 Tn/m<sup>2</sup>.

Cuando el espaciado tiende a cero se desprenderá un bloque limitado por los planos envolventes de las generatrices I<sub>BC</sub> y I<sub>AC</sub>, que tienen la misma dirección que el túnel. En nuestro ejemplo, el volumen por metro lineal de túnel será V<sub>ml</sub>=9,79 m<sup>3</sup>, que corresponde a un peso de  $W=25,47 \text{ Tn. y crea una carga } P_v = \frac{25,47}{9} = 2,83 \text{ toneladas/m}^2$ , que será la carga máxima para la geometría estudiada.

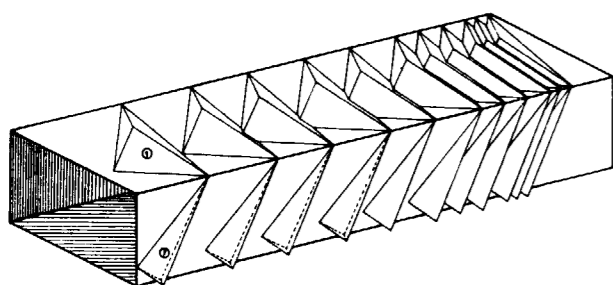


Figura 9.—Intersección de un túnel de sección rectangular con bloques unitarios interpenetrados. Cuanto menor es el espaciado de las discontinuidades, mayor es la interpenetración de los bloques y mayores las cargas que generan.

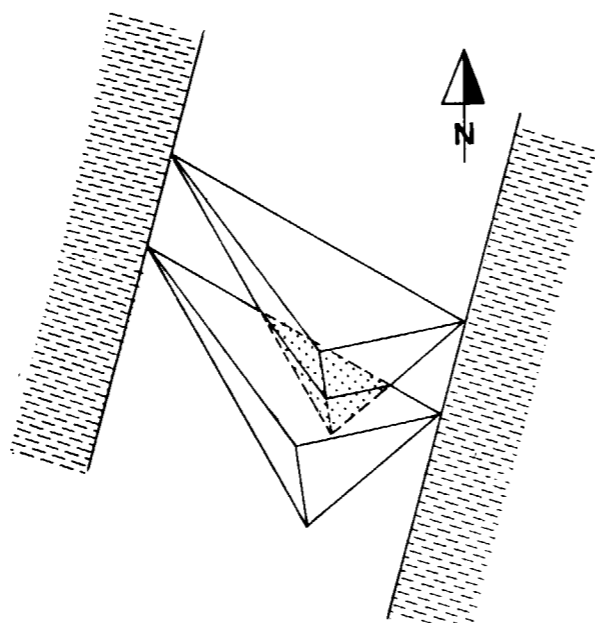


Figura 10.—Pirámides interpenetradas en la clave, las tres pirámides representadas son semejantes, por lo que el cálculo de sus volúmenes no ofrece dificultad.

**INFLUENCIA DE LA SECCION DEL TUNEL EN LAS CARGAS**

Para dibujar la sección transversal del túnel con los límites de las masas rocosas que pueden caer en su interior, basta, partiendo de la figura 1, con trazar los planos que contienen las tres intersecciones de las discontinuidades y tienen la misma dirección que el túnel, figura 11A. Sobre un plano vertical y normal a la dirección del túnel, plano que contiene la sección transversal del túnel, se miden los ángulos que forman con la vertical los planos auxiliares trazados por las intersecciones, ángulos que en nuestro ejemplo tienen los valores de 24°, 65° y 58°, respectivamente.

Con los ángulos anteriores puede trazarse sin dificultad el bloque unitario circunscrito a la sección del túnel, figura 11B.

En la figura 12, puede visualizarse la importancia de la forma de la sección del túnel, en el tamaño de los bloques que aparecen en los hastiales o en la clave. En la figura 12C, puede apreciarse que por no ser la bóveda plana, disminuye notablemente la anchura en la base de la pirámide, circunstancia que es necesario tener en

cuenta en los cálculos para no calcular el volumen por exceso. Aparece en esta sección una nueva pirámide con posibilidad de movimiento hacia la excavación, corresponde al sector «6» figura 1, que caería deslizando sobre el plano A y despegando de los B y C. Puede apreciarse también en la figura 12C que las pirámides de los hastiales no tienen el mismo volumen, como ocurre en el caso de hastiales verticales.

En aquellos casos en los que el diseño del revestimiento del túnel incluya el empleo de bulones o anclajes para el sostenimiento de los bloques, puede determinarse su longitud, en función de su posición en la sección, mediante la construcción gráfica anterior, figuras 11 y 12.

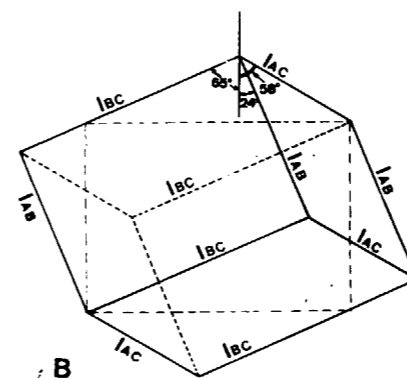
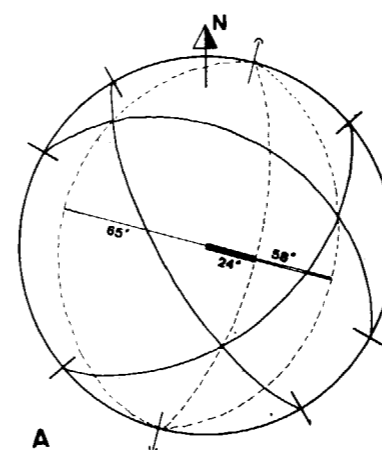
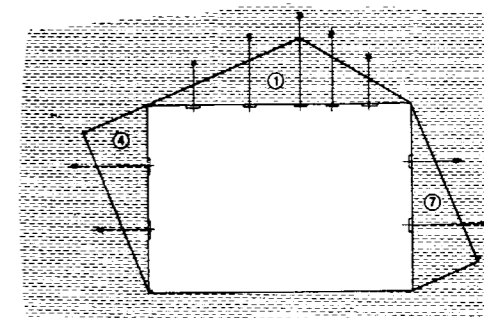
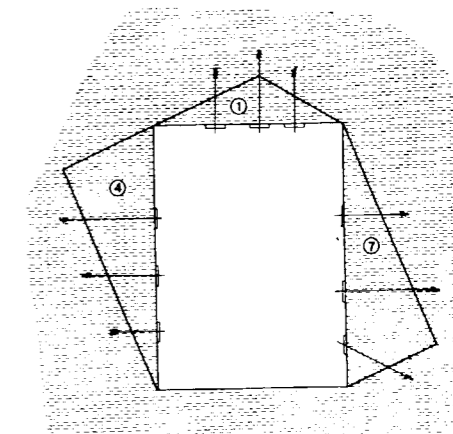


Figura 11.—Construcción gráfica de un bloque unitario en sección transversal al túnel. A, planos auxiliares con la misma dirección del túnel, por las intersecciones. B, sección transversal de un bloque unitario circunscrito a un túnel rectangular.

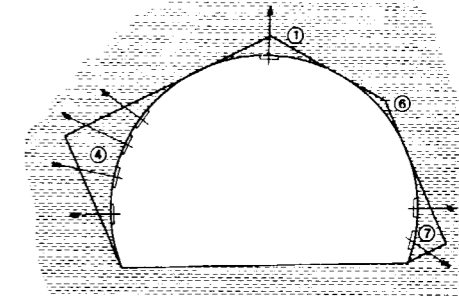
Como ya se ha visto, la forma más sencilla de calcular el volumen de las pirámides se da en el caso de los bloques en la clave del túnel. Los bloques en los hastiales o aquellos que quedan en los riñones de la sección, son de cálculo más incómodo. Un procedimiento gráfico sencillo



A



B



C

Figura 12.—Un mismo bloque unitario crea pirámides de diferente tamaño y distribución, en función de la forma que tenga la sección del túnel.



de obtener estos volúmenes, consiste en girar el paralelepípedo unitario alrededor del eje del túnel hasta que quede el bloque cuyo volumen queremos calcular en la clave, calculando entonces su volumen como ya se ha indicado anteriormente, figura 6. Este procedimiento se ilustra en la figura 13.

En primer lugar será necesario dibujar el bloque unitario circunscrito a la sección del túnel, figura 13A, y obtener el ángulo de giro, en nuestro ejemplo 66°, y la anchura en la base de la pirámide que se estudie. En nuestro ejemplo podemos tomar la distancia Y-Y', no la X-X' que daría un volumen muy por exceso. Definido el ángulo de giro y realizado éste, figura 13B, el cálculo del volumen se realiza de la forma ya conocida, figura 13C.

**EL TRIANGULO ESFERICO CENTRAL NO CONTIENE EL CENTRO DE LA PROYECCION**

Cuando el triángulo esférico central que forman los tres planos de discontinuidad, no contiene al centro de la proyección, figura 4B y 14, la pirámide que dicho triángulo esférico representa, no puede caer al interior del túnel como un desprendimiento, es necesario que deslice a favor de un plano o de una arista. En nuestro ejemplo, figura 14, caería deslizando sobre el plano C. Su volumen se determina gráficamente de la forma que se ha explicado para bloques en la clave o hastiales mediante giro alrededor del eje del túnel.

Cuando la dirección del túnel es sensiblemente paralela a la de los dos planos que buzan en el mismo sentido, es necesario dibujar una sección transversal tanto para calcular el ángulo de giro necesario para el cálculo del volumen como para definir la anchura en la base de la pirámide y no calcular el volumen por defecto o por exceso, tal como se puede apreciar en la figura 15, el volumen correcto no es el caso A sino el B o el C.

Si se parte de la hipótesis de que las pirámides son bloques monolíticos que no se rompen durante las primeras fases del movimiento, no serán físicamente posibles caídas por giro alrededor del punto o línea Z, figura 15. Si se puede

eliminar la posibilidad de caídas por vuelco, GOODMAN, 1976, se puede considerar la colaboración

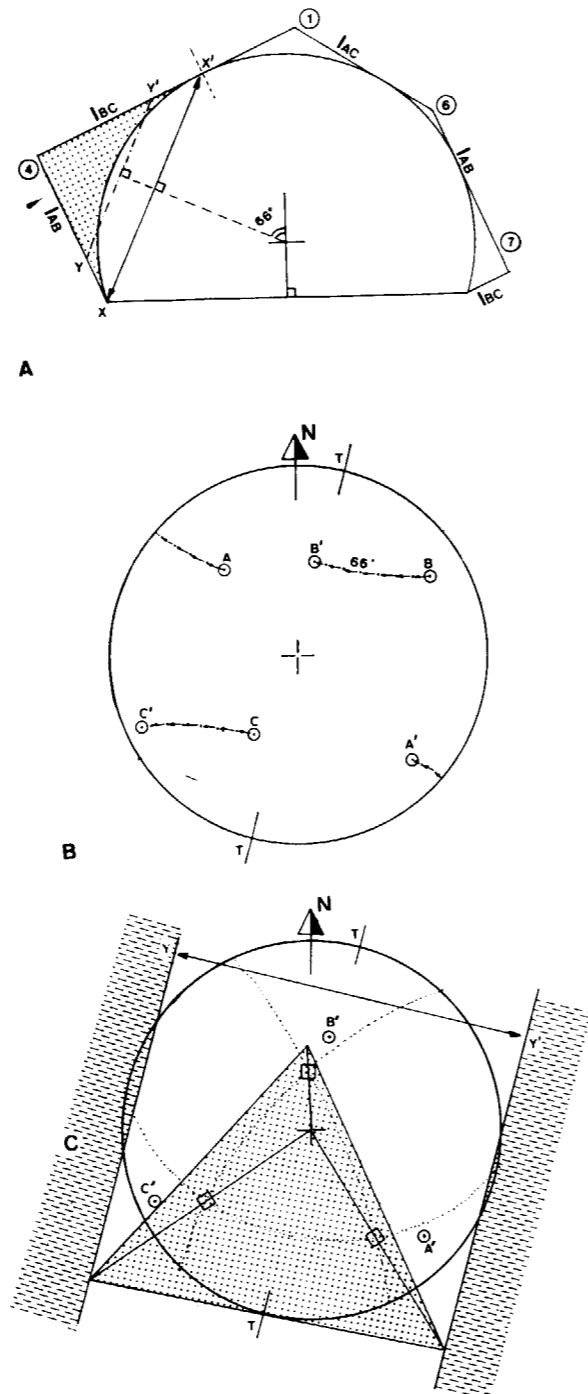


Figura 13.—Cálculo gráfico del volumen de pirámide en hastiales por giro del bloque unitario alrededor del eje del túnel. A, sección transversal del bloque unitario circunscrito al túnel. B, giro de la pirámide «4» en proyección estereográfica. C, cálculo gráfico del volumen.

de la fricción y cohesión en los planos o plano de deslizamiento de la pirámide, lo cual disminuye notablemente las cargas que generan estas pirámides, figura 8.

El sector «6» figura 4B, no puede caer al interior del túnel, desprendiéndose de la clave con sólo tres planos de discontinuidad A, B y C, para que pueda originarse un desprendimiento, es necesario otro plano C paralelo al anterior que definiría un prisma triangular, con la colaboración de este cuarto plano, si es posible que se produzca un desprendimiento de un prisma. La definición del volumen de prismas se trata en el apartado siguiente.

Todas las consideraciones sobre bloques en la clave, hastiales y frentes de excavación hechas anteriormente para el caso del triángulo esférico que contiene el centro de la proyección, son válidas asimismo en este caso.

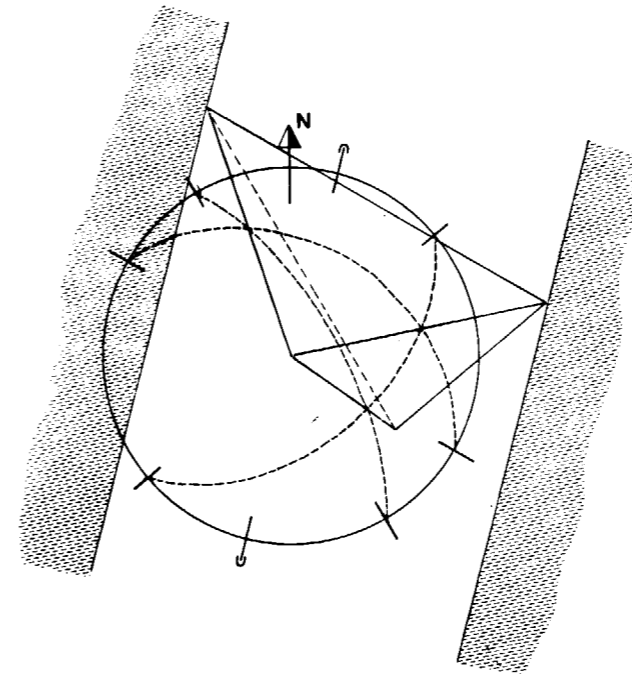


Figura 14.—Pirámide inclinada en la clave cuando dos planos buzan en el mismo sentido.

**CASO DE UNA INTERSECCION HORIZONTAL**

Cuando una de las intersecciones es horizontal, no pueden producirse desprendimientos con sólo tres planos de discontinuidad, para que se forme un bloque se precisa de un cuarto plano de la misma familia del que define las dos intersecciones no horizontales. Con estos cuatro planos puede definirse un prisma triangular tumbado, figura 16. La forma y por tanto el volumen de este prisma, no queda fijado únicamente con las condiciones geométricas de los planos y la anchura del túnel, puesto que pueden construirse diferentes prismas con diferentes longitudes de generatrices y áreas de bases. Será, pues, necesario calcular el volumen teórico máximo, que será el caso más desfavorable.

Si D es la anchura del túnel y B/b y C/c los planos que crean la intersección horizontal, el volumen calculado en función de la superficie de la cara del prisma que se apoya sobre la clave y la altura H medida desde esa cara a la generatriz opuesta a ella será, figura 17:

$$V = \frac{1}{2} \cdot H \cdot S \tag{9}$$

Donde S es el área de la cara del prisma sobre la bóveda.

$$S = \overline{bb} \cdot h \tag{10}$$

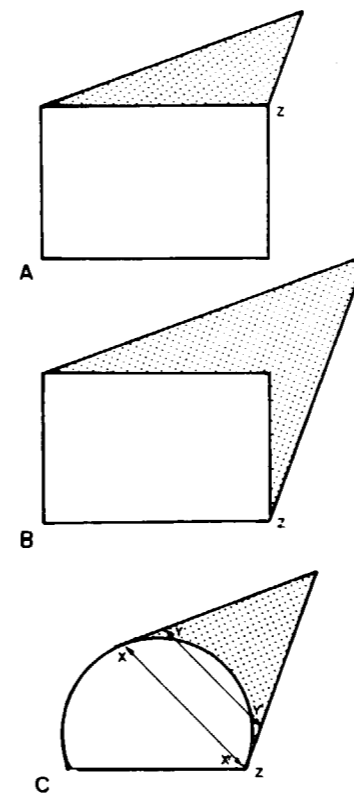


Figura 15.—Secciones transversales de túneles con pirámides inclinadas. Las pirámides de volumen máximo posibles son las de las figuras B y C.

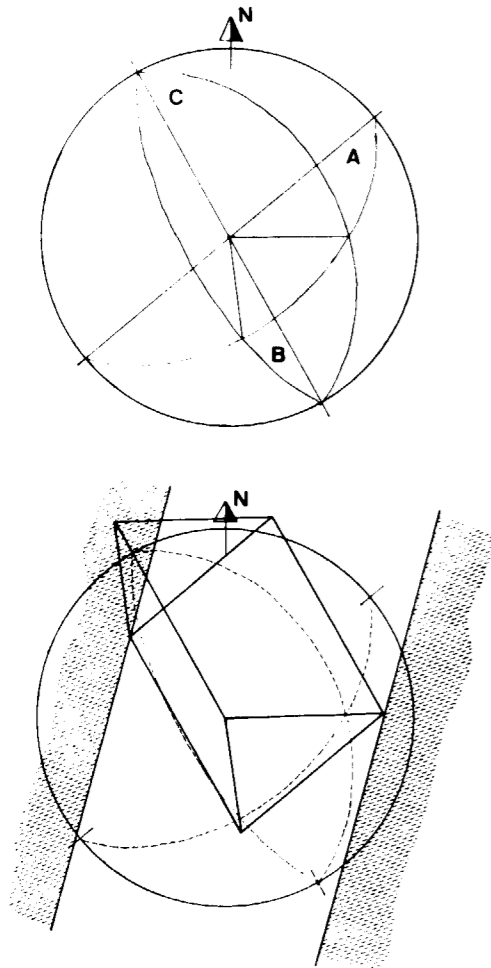


Figura 16.—Caso de una intersección horizontal con bóveda plana, aparecen prismas triangulares en la clave, que precisan de un plano repetido para su formación.

Siendo H la distancia desde la clave a la generatriz horizontal del prisma; de la figura 17 se deduce que su valor es:

$$H = h \cdot \frac{\text{tang } b \cdot \text{tang } c}{\text{tang } b + \text{tang } c} \quad (11)$$

Siendo entonces el volumen

$$V = \bar{bb} \cdot h^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{\text{tang } b \cdot \text{tang } c}{\text{tang } b + \text{tang } c} \quad (12)$$

Las dos variables de la expresión anterior están comprendidas entre los valores:

$$0 > h > \frac{D \cdot \text{sen } (B - A)}{\text{sen } (A - T)} \quad 0 > \bar{bb} > \frac{D}{\text{sen } (B - T)} \quad (13)$$

Siendo la relación entre  $\bar{bb}$  y h entonces:

$$\bar{bb} = - \frac{\text{sen } (A - T)}{\text{sen } (B - T) \cdot \text{sen } (B - A)} \cdot h + \frac{D}{\text{sen } (B - T)} \quad (14)$$

Ecuación de una recta, pendiente ordenada en el origen

$$\bar{bb} = mh + n \quad (15)$$

De la misma forma, la expresión (12) puede ponerse:

$$V = \bar{n} \cdot \bar{bb} \cdot h^2$$

Siendo:

$$m = \frac{-\text{sen } (A - T)}{\text{sen } (B - A) \cdot \text{sen } (B - T)} \quad (16)$$

$$n = \frac{D}{\text{sen } (B - T)} \quad (17)$$

$$\bar{n} = \frac{\text{tang } b \cdot \text{tang } c}{2(\text{tang } b + \text{tang } c)} \quad (18)$$

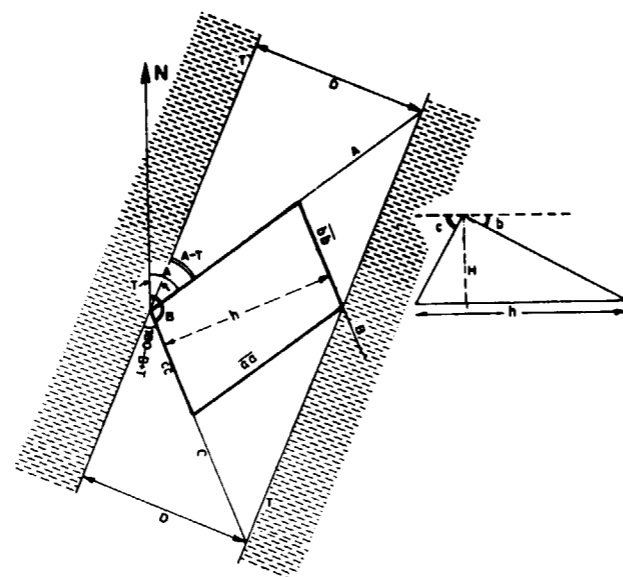


Figura 17.—Planta en la clave (con bóveda plana) y sección transversal a la intersección horizontal de un prisma triangular.

De (15) y (16) se deduce que

$$V = m \cdot \bar{n} \cdot h^3 + n \cdot \bar{n} \cdot h^2 \quad (20)$$

En esta ecuación, los valores de h que hacen máximo el volumen son:

$$\frac{d(V)}{d(h)} = 3 \cdot m \cdot \bar{n} \cdot h^2 + 2n \cdot \bar{n} \cdot h = 0$$

De donde

$$h = 0 \text{ y } \boxed{h = -\frac{2n}{3m}} \quad (21)$$

Luego de (15) se deduce que:

$$\bar{bb} = \frac{1}{3} n \quad (22)$$

Sustituyendo en (20) el volumen máximo será:

$$V_{\text{max}} = \frac{4 \cdot \bar{n} \cdot n^3}{27 \cdot m^2} \quad (23)$$

Por ejemplo, supongamos un túnel de sección rectangular, con una anchura de 9 metros, de dirección  $T=15^\circ$ , con tres familias de discontinuidades de direcciones y buzamientos A  $30^\circ/45^\circ$ , B  $130^\circ/70^\circ$  y C  $310^\circ/30^\circ$ .

De las expresiones (17), (18) y (19), tendremos:

$$m = \frac{\text{sen } 15}{\text{sen } 100 \cdot \text{sen } 115} = 0,29$$

$$n = \frac{9}{\text{sen } 115} = 9,93$$

$$\bar{n} = \frac{\text{tang } 70 \cdot \text{tang } 30}{2(\text{tang } 70 + \text{tang } 30)} = 0,238$$

Siendo entonces el volumen máximo:

$$V_{\text{max}} = \frac{4 \cdot 0,238 \cdot 9,93^3}{27 \cdot 0,29^2} = 410,5 \text{ m}^3$$

En la clave del túnel el prisma se apoya sobre una cara de área según (10), (21) y (22):

$$\bar{bb} = \frac{1}{3} 9,93 = 3,31 \text{ m.}$$

$$h = \frac{2 \cdot 9,93}{3 \cdot 0,29} = 22,82 \text{ m.}$$

$$S = 22,82 \cdot 3,31 = 75,5 \text{ m}^2$$

En este caso, como en el caso de pirámides inclinadas y pirámides en hastiales, las cargas que originan los bloques no tienen por qué ser verticales, su dirección depende de la geometría de las discontinuidades. En nuestro ejemplo, el bloque desliza sobre el plano «A» que buza  $45^\circ$ , si hacemos la hipótesis simplificadora de no considerar fricción en el plano «A» y consideramos que todo el peso del bloque es carga vertical, para una densidad de la roca de 2,6 tendremos:

$$P_v = \frac{410,5 \cdot 2,6}{75,5} = 14,13 \text{ Tn/m}^2$$

Esto no es correcto si el sostenimiento se realiza por procedimientos convencionales, hormigón, cuadros de acero, entibaciones de madera, etc. En estos casos sería necesario un cálculo de estabilidad del bloque o cuña de que se trate, y considerar la dirección del empuje, siempre y cuando las discontinuidades que lo limitan no sean lo suficientemente verticales como para poder estimar que la fricción en esos planos puede considerarse nula por ser la componente normal del peso en ellos muy reducida.

Si se confía el soporte de las cargas a bulones o anclajes es necesario considerar el peso total del bloque, a no ser que los anclajes se instalen de forma que desvíen la resultante del peso y la introduzcan en el cono de fricción del plano por el que desliza el bloque, MANERA, 1982.

En aquellos casos en que se conozca con suficiente aproximación el espaciado E de las diferentes familias de discontinuidades, el tamaño del bloque unitario queda definido, por lo que no es necesario realizar el cálculo anterior para el cálculo del volumen teórico máximo.

### CASO DE DOS INTERSECCIONES HORIZONTALES

Cuando dos de las intersecciones son horizontales, necesariamente una discontinuidad es horizontal.

En estos casos se pueden formar, en la clave, paralelepípedos cuya altura será igual a «E» espaciado de la familia de discontinuidades horizontales, este caso, figura 3C, precisa que se repitan dos a dos las discontinuidades no horizontales.

Para el tipo de rotura que estamos considerando, desprendimientos de bloques limitados por planos de discontinuidad por la acción de la fuerza de la gravedad, la carga que ejerce un paralelepípedo sobre la clave será igual a la densidad de la roca por la altura de ese paralelepípedo, es decir, por el espaciado de las discontinuidades horizontales:

$$P_v = \gamma \cdot E$$

#### BIBLIOGRAFIA

GOODMAN, R. F., and BRAY, J. W.: *Toppling of rock slopes*. Rock Engineering, pp. 201-234 (1976).

HOEK, E., and BRAY, J.: *Rocks slope engineering*. IMM, Lon. Second edition (1977).

JOHN, K. W.: *Graphical stability analysis of slopes in jointed rock*. J. SMFD, ASCE, V94, nSM2 (1968).

MANERA BASSA, C.: *Roturas tipo cuña. Análisis de estabilidad y cálculo de elementos de retención mediante una calculadora programable*. Geomimet. México (en prensa) (1982).

*Methodes modernes de geologie de terrain, 2b. Manuel d'analyse structurale*. 70 pp. Editions Technip. Paris (1976).

PITEAUD, D. R.: *Geological factors significant to the stability of slopes cut in rock*. Symposium Planning Open Pit Mines, pp. 33-53, Johannesburg (1970).

RAMÍREZ OYANGUREN, P.; LAÍN HUERTA, R., y FERNÁNDEZ DEL POZO, A.: *Dimensionado del sostenimiento en galerías y túneles*, 294 pp., Fundación Gómez Pardo, Madrid (1980).

SUN YU-KO, KU HSUN: *Principle of real-object scaling, projection and spatial stress solution of a block in a rock mass*. Bull. In. Ass. Eng. Geol., núm. 18, pp. 40-44 (1978).

WARD, W. H.: *Ground supports for tunnels in weak rocks*. Géotechnique, 28, núm. 2, pp. 133-171 (1978).

Recibido: Diciembre 1981.

## Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central español) Réplica a F. Bea

Por J. M. UGIDOS (\*)

#### RESUMEN

La presente publicación constituye una respuesta a la crítica hecha por BEA (1982) a mis (y sus) planteamientos sobre el significado de la cordierita en las rocas graníticas y se muestra cómo los puntos en los que se apoya dicho autor son en parte incorrectos, en parte poco rigurosos, proceden de una lectura equivocada de trabajos anteriores y en cualquier caso proceden también de una interpretación equivocada de los diagramas experimentales. Se concluye, por tanto, que, con independencia de cuál pueda ser el origen de la cordierita, la interpretación de BEA carece de fundamento si se basa en sus argumentos.

#### ABSTRACT

This paper is a reply to F. BEA who has criticised my (and his) ideas (BEA, 1982) about the meaning of cordierite in granitic rocks. It is showed here that his critical review is based on misunderstandings, misquotations, non rigorous and incorrect data and in any case on a wrong interpretation of experimental diagrams. Therefore it is concluded, independently of the possible origin of cordierite, that his interpretation about an ortomagmatic origin is not founded by making use of his arguments.

#### INTRODUCCION

Recientemente, BEA (1982), en su trabajo «Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central español)», crítica la interpretación de UGIDOS (1973, 1974, 1976) y de UGIDOS y BEA (1976, 1979), según la cual la cordierita en las rocas graníticas constituye un xenocristal.

Dadas las características de tal publicación, considero (y ruego al lector que disculpe la utilización gramatical en primer persona, muy en contra de mi costumbre), necesaria la réplica al citado artículo, siquiera sea por un respeto mínimo a la actividad investigadora.

Vaya por delante que es para mí una convicción profunda el que la crítica es un medio para lograr que el avance de la investigación conduzca a cada vez mejores resultados, en la medida en

que la confrontación de las ideas permite comprobar la solidez de las hipótesis. Esta ha sido mi actitud a lo largo de los últimos ocho o nueve años y en ningún caso he sentido la necesidad de replicar o plantear una discusión por medio de las revistas de Geología, a pesar de que no siempre los diferentes autores están de acuerdo con mis ideas. Es claro que el no acuerdo en las diferentes interpretaciones es algo consustancial con la Ciencia.

Pero en el presente caso, como podrá deducir el lector que tenga la amabilidad y paciencia de analizar el trabajo de BEA y esta réplica, la situación es, cuando menos, atípica.

Por razones inherentes a la metodología de la crítica científica, el estudio del trabajo de BEA (op. cit.) se hará básicamente a partir de los aspectos que figuran en el mismo, sin utilizar bibliografía o datos posteriores a 1980 (fecha de entrega de su trabajo a esta revista), ni datos no publicados y en la medida de lo posible utilizando sólo sus mismas referencias bibliográficas. Se ha-

(\*) Departamento de Petrología. Facultad de Ciencias. Salamanca.

cen estas precisiones por la razón antes citada y por advertir al posible lector acerca de la ausencia de muchas referencias que en otra situación serían pertinentes.

#### REPLICA

El primer punto que llama la atención es que mi trabajo petrológico fundamental se ha realizado al oeste de la línea Barco de Avila-Plasencia y al sur de la línea Guijuelo-La Alberca, y sin embargo el trabajo de BEA hace referencia al «bato-lito de Avila» unidad (?) cuya definición se desconoce, así como sus características y límites.

Dejando a un lado este aspecto, señala BEA en la página 60 las «conclusiones aberrantes» a las que lleva aceptar la cordierita como xenógena en los granitos, dado «el hecho indudable de que la gran blastesis regional de la cordierita está ligada al metamorfismo post fase II (UGIDOS, ops. cit.; BABIN VICH, 1974)».

Varias puntualizaciones:

a) En ningún caso señalo el carácter «postec-tónico», según afirma BEA, de los granitos cordieríticos, sino su carácter *tardío* respecto a una determinada fase de deformación, lo cual es muy diferente.

b) La consideración de tardíos, para los granitos cordieríticos, se hizo en una determinada zona en la que la migmatización borra la crenulación que afecta la esquistosidad de flujo. Si en otras áreas la cordierita es anterior a dicha crenulación (fase II) es de esperar, según subyace en mis planteamientos, que los granitos que presentan cordierita también estén afectados por dicha fase. Pero en cualquier caso, desplazar en el tiempo (por relativización a una fase de deformación determinada) un proceso petrogenético no tiene por qué afectar a la validez de su interpretación.

c) Si la fase de crenulación, o fase II, admitida como tal en el momento en que se realizan los trabajos sobre cordierita y los granitos, resulta (a partir de datos posteriores) no ser isócrona en las áreas próximas o no ser la última de las importantes sino que se establecen (y se admiten de modo general) otra u otras más tardías, que afectan tanto a migmatitas cordieríticas como a granitos, es un dato no relevante en rela-

ción con la génesis de la cordierita en los granitos, y en todo caso, si ambos tipos de rocas están afectados por dicha fase o fases, se comprueba la ampliación en el tiempo de la misma secuencia petrogenética.

Sí sería relevante, al menos aparentemente, el caso de que todas las migmatitas cordieríticas fuesen absolutamente posteriores a las fases de deformación y los granitos cordieríticos, por el contrario, fuesen todos anteriores. Se indica, «al menos aparentemente», porque lo que no se ha precisado, al menos en todos los casos, es el nivel estructural en que tiene lugar, realmente, la asimilación de la cordierita.

Página 61 y figura página 60. El histograma construido para comparar las formas de la cordierita «que no se considera altamente significativo» se hace con base en el estudio de dos poblaciones dudosamente comparables: por un lado una población microscópica y por otro una población observada «en muestra de mano». La validez de los resultados, simplemente por esta razón, ofrece muchas dudas. Por otra parte, ambos grupos de rocas parecen haber sido recogidos en el actual nivel de erosión, el cual puede corresponder al de asimilación o no, o serlo sólo parcialmente, lo que hace aún más dudosos los resultados de la comparación.

Página 61. «Si la hipótesis xenógena fuese cierta... se podrían encontrar los tipos de cordierita «a» y «b» propios de las corneanas, lo que según UGIDOS (1976) no ocurre».

Ibid. «Si se acepta la hipótesis xenógena... sería lógico esperar todos los términos intermedios entre enclaves de nebulitas sin digerir hasta xenocristales de cordierita (¡al fin!) aislada.»

El planteamiento que subyace en estas frases y otras similares indica que el autor de la crítica no ha comprendido bien el modelo criticado, a pesar de ser en algún caso coautor de los trabajos en los que se mantiene el mismo y a pesar de admitir y apoyar dicho modelo en una publicación en la que, basándose en datos químicos, afirma que las facies de borde de los granitos cordieríticos se caracterizan porque en ellos «coexisten biotites from both origins, magmatic and metamorphic» (BEA, 1980, p. 121), admitiendo que hay una zona de asimilación del encajante metamórfico en las rocas graníticas citadas.

En efecto, en las propuestas de dicho modelo no se habla jamás de «digestión» sino de un proceso de asimilación, el que el magma granodiorítico *se mezcla* con los productos anatéticos (fundidos, por tanto) inducidos por el aporte térmico de su intrusión.

Página 62. «Se trata de una pegmatita "en bolsillos" irregulares localizada dentro de una adamellita *no cordierítica*». El afloramiento en el que BEA basa su afirmación y en el que están hechas las fotografías 1 y 2 se encuentra en el kilómetro 47,400 de la carretera de Naval Moral a El Barraco (provincia de Avila) y la adamellita a la que hace referencia *presenta cordierita como mineral frecuente*, tanto en el afloramiento citado como en otros situados en el entorno próximo.

Página 63. «Otro hecho que puede ser de utilidad es la ausencia sistemática de cordierita en los granitos de dos micas, en los que, sin embargo, suele ser frecuente la aparición de pequeñas cantidades de andalucita y/o sillimanita. Este es el caso de los granitos de Plasencia-Montehermoso (UGIDOS, 1973a; 1974a) y de la Aliseda de Tormes, los cuales, paradójicamente, se encuentran en contacto íntimo con nebulitas cordieríticas.»

De nuevo varias puntualizaciones:

d) No es exacto que los granitos de dos micas presenten «ausencia sistemática de cordierita». Unos ejemplos son: el granito de Bohoyo y el granito de Navalanguilla (ESE de Barco de Avila).

e) El granito de Plasencia-Montehermoso presenta, a pesar de lo indicado por BEA en 1982 (op. cit.), cordierita (UGIDOS, 1973 y 1974; BEA, 1975), si bien no es muy abundante.

Página 63. «En caso de resultar cierta la hipótesis xenógena, la cordierita debería aparecer como xenocristal en todos aquellos granitos capaces de asimilar al metamórfico cordierítico, así como en los desarrollados a partir de él por anatexia, salvo que se aduzca algún tipo de transformación posterior. Pero este argumento cae por su base al considerar que la cordierita de los granitoides calcoalcalinos sí ha experimentado tal transformación postmagmática, y sus pseudomorfos se conservan perfectamente y sin el menor síntoma de corrosión.»

No queda muy claro, al menos para mí, qué argumento cae por su base, pero la transforma-

ción de la cordierita se da en los granitos biotíticos, como dice BEA, así como en migmatitas de todos los tipos, granitos de anatexia, granitos de dos micas, etc., obviamente en un proceso posterior al de su formación.

Página 63. «Se ha pretendido explicar la ausencia de cordierita en los granitos de dos micas aduciendo que pertenecen a una serie petrogenética diferente de la de los biotíticos con cordierita: alcalina o de tendencia alcalina en el primer caso y calcoalcalina en el segundo (ibid., UGIDOS y BEA, 1976). Sin embargo, tal distinción carece totalmente de fundamento desde un punto de vista geoquímico (BEA, in litt.), ya que los granitos de Plasencia-Montehermoso son tan *calcoalcalinos* como gran parte de los granitoides biotíticos, distinguiéndose de ellos por un grado de hiperluminismo levemente superior.»

Ya se ha dicho más arriba que no es exacto que los granitos de dos micas carezcan de cordierita (al menos yo no lo he dicho nunca). Por otra parte, tal distinción podrá estar fundada o no, pero lo que no es admisible es que se diga que no lo está basándose en datos geoquímicos muy posteriores (BEA, in litt., según señala), de los que no se hace ninguna referencia. No obstante, la distinción «que carece totalmente de fundamento» está basada en criterios similares a los aceptados en la III Reunión Internacional de Geología del NO Peninsular (1969), según puede apreciarse en UGIDOS (1974). Además, se ha señalado que los fenómenos de convergencia en el quimismo de diferentes series (aceptando la asimilación) haría difícil su distinción química (UGIDOS, 1974 y 1976; UGIDOS y BEA, 1976). En consecuencia y con los datos disponibles (y a la espera de los datos de BEA, in litt.) la distinción estaba totalmente fundada, tanto más si se tiene en cuenta que, petrográficamente, ambos grupos graníticos presentan más diferencias que similitudes.

En la página 63, muestra BEA, en el histograma, una fuerte correlación entre el tamaño de los cristales de cordierita medidos en la dirección del eje C y el tamaño medio de los granos de cuarzo adyacentes, de lo que deduce «una interdependencia lineal entre ambas variables, imposible de explicar a partir de la hipótesis xenógena...».

La comparación del tamaño de unos cristales medidos según el eje C con los tamaños medios de cristales de otra especie medidos en no se

sabe qué dirección, no parece un método riguroso a efectos de establecer consecuencias petrogenéticas. Las medidas podrían hacerse también al revés, es decir, tamaño medio de los cristales de cordierita medidos aleatoriamente, comparados con el tamaño de los cristales de cuarzo medidos según el eje C del mismo. Obviamente hay muchas otras posibilidades.

Tal método podría comenzar a ser discutible en el caso de que se hiciera para todos los minerales y se comparasen los resultados con los obtenidos en las migmatitas nebulíticas, siquiera fuese para comparar si ocurre lo mismo o no en ellas.

Señala también en la misma página 63, que UGIDOS (1976) indica el origen magmático tardío de la cordierita. Esto no es cierto, como se puede comprobar (UGIDOS, 1976, p. 35).

Utiliza BEA, páginas 63 y 64, las normas CIPW y de Rittmann para poner de manifiesto que la gran mayoría de las rocas graníticas presentan corindón normativo y que la composición de las mismas «permitiría la endoformación de cordierita sin acudir a ningún tipo de introducción, sea cristalina o iónica, proveniente del encajante».

Es patente que cualquiera que sea el origen de la cordierita (xenocristal o fase ortomagmática) su presencia vendrá reflejada en las normas como corindón o como cordierita. En consecuencia, no puede utilizarse como argumento petrogenético, como parece insinuar BEA, tal resultado de la norma, ya que al hacerlo se decide, a priori, que la cordierita es una fase ortomagmática. La presencia de corindón normativo puede ser debida tanto a un proceso de asimilación como a un proceso interno a la evolución del magma o de su origen. No constituye, por tanto, por sí sola, prueba alguna sobre el carácter ortomagmático de la cordierita.

Páginas 64-65. «El caso de los granitos diatexiticos representa la posibilidad extrema de cristalización a partir de un magma hiperalumínico formado *in situ*.»

Páginas 62-63. «Por el contrario, resulta fácil imaginar una fusión parcial que involucre a la cordierita metamórfica, formación de un líquido de composición granítica hiperalumínico y posterior cristalización de la cordierita.» «...las condiciones térmicas... son del orden de 700° C.»

La fusión parcial, *in situ*, de los granitos diatexiticos, si los que BEA considera como tales realmente lo son, estará originada por un proceso anatético relativamente poco intenso, es decir, sin gran sobrecalentamiento respecto al solidus. En estas circunstancias, el porcentaje de fusiones, necesariamente, no excesivo. De acuerdo con los datos experimentales que utilizan composiciones naturales, la cordierita constituye, para las condiciones citadas, un mineral residual (v. p. ej., WINKLER, 1978) o lo que es lo mismo no ortomagmático, a pesar de lo cual BEA señala que tal mineral funde y después cristaliza en las condiciones que indica.

Otro aspecto que queda por analizar es la utilización que hace BEA (pp. 65 y 66) de los diagramas experimentales. El sistema Cord Mg + Feld K + Cuarzo investigado por SCHAIRER (1954, in SCHREYER, 1976) demuestra la posibilidad de la fusión-cristalización eutéctica de cordierita-feldespatos potásico-cuarzo *para los casos en que no hay otras fases minerales*. El problema surge cuando se analiza la situación en un sistema natural en el que hay otros minerales además de los citados. En una situación real, la fusión no comienza en torno a los 700° C (caso del eutéctico citado) sino a temperaturas más bajas con el autético cuarzo-albita-feldespatos potásico, según las gráficas que presenta BEA en la figura 5.

Los datos experimentales (p. ej., WINKLER, op. cit.) muestran los minerales que permanecen como residuales en el proceso de fusión. Entre ellos está, como se ha dicho, la cordierita *pero no feldespatos potásico*, para un amplio intervalo de composiciones, condiciones de presión y temperatura y diferentes porcentajes de fundido. En consecuencia, para condiciones de  $P_{H_2O} = P_1$  y composiciones naturales con mayor o menor cantidad de componente pelítico, difícilmente podrá llegarse a la situación en la que coexisten cuarzo, feldespatos potásico y cordierita como únicas fases mayores, de forma que sea posible su fusión eutéctica, puesto que antes de llegar a la temperatura necesaria *todo* el feldespatos potásico ya se ha incorporado al fundido como parte del eutéctico de más baja temperatura cuarzo-albita-feldespatos potásico (para presiones de 4Kb el intervalo de temperatura es de unos 100° C, como puede apreciarse en la figura 5 de BEA). En tal situación no es posible hablar del equilibrio eutéctico cuarzo + feldespatos potásico + cordierita = líquido, pues

to que falta al menos una de las fases sólidas que posibilitarían el mismo. En SCHREYER (op. cit.) se señala inequívocamente que «granite melting will take place at still lower temperatures» (p. 313).

Siguiendo con la lógica argumental de BEA y la forma en que interpreta los diagramas, era de esperar que la cristalización del magma granítico hiperalumínico produjera la cristalización eutéctica de las tres fases minerales señaladas y esto debería reflejarse en las texturas correspondientes. Ignoro si tales posibles texturas se han encontrado en alguna ocasión, pero parece difícil aceptar que los prismas idiomórficos de cordierita tengan su origen en una cristalización eutéctica.

Por otra parte, la curva correspondiente a la reacción  $Mos + Flog + Q = Cord\ Mg + Feld\ K + vapor$  no puede, para  $P_{H_2O} = P_1$ , intersectar (en el caso de composiciones reales) la curva correspondiente al eutéctico cuarzo-cordierita-feldespatos potásico, ya que antes de tal intersección la moscovita se ha incorporado al fundido, junto con otras fases, desapareciendo a partir del momento en que corta la curva de fusión mínima. En SCHREYER (op. cit., p. 265) y referido a los pares minerales cordierita-moscovita y cordierita-feldespatos potásico: «...these two assemblages define a continuous range of pressure temperature conditions extending from near-surface conditions up to 5-6 Kb and bordering at high temperatures and all pressures against the realm of partial melting» (subrayado mío).

Además, y descartado por lo indicado el eutéctico cordierita-feldespatos potásico-cuarzo, la cordierita magnésica persiste desde aproximadamente 500° C «to its incongruent melting point» (SCHREYER, op. cit., p. 280), es decir, que en caso de fundirse este mineral durante el proceso anatético, debería aparecer una nueva fase mineral antes de que la temperatura fuese suficiente como para permitir la fusión total. No se ha señalado ningún caso de aparición de tal fase mineral en los sectores occidentales de Gredos, ni siquiera en rocas migmatíticas de bajos porcentajes de fusión.

Otro aspecto es de que según BEA «la mayor objeción que se puede poner a la aplicabilidad de estos datos a sistemas naturales es la ausencia de FeO; sin embargo, la inclusión de dicho componente debe hacer variar muy poco las relacio-

nes de fase, siempre y cuando  $fO_2$  se mantenga dentro de unos límites normales (SCHREYER, op. cit.)» (BEA, p. 65). Respecto a esta frase debo indicar que no he conseguido encontrar o deducir en SCHREYER (op. cit.) ninguna referencia a lo indicado por BEA y sí, en cambio, que «Simply on the basis of the lower pressure stability limit of Fe-bearing cordierites (cf. section 3(b) (18)) it can be predicted that this reactions, in addition of become divariant, will take place at successively lower pressures the higher the  $Fe^{+2}$  content in the rock» (SCHREYER, op. cit., p. 313, subrayado mío).

De lo dicho acerca de la interpretación que hace BEA de los diagramas experimentales se deduce que el establecimiento de los campos A, B y C, así como las conclusiones que obtiene de los mismos carecen de sentido petrológico real.

Finalmente, sólo me queda añadir que mis planteamientos acerca de la génesis de las rocas graníticas no son, evidentemente, una respuesta a todos los interrogantes que se suscitan en relación con las mismas (serían, entonces, un mito, no una hipótesis) y que el tiempo, los nuevos datos y el avance de la investigación cambiarán muchos aspectos que ahora mantengo y serán superados por nuevos planteamientos. Pero es dudoso que trabajos como el que aquí se replica contribuyan a ello.

#### AGRADECIMIENTO:

Expreso mi agradecimiento al Profesor García de Figuerola, por sus consejos en relación con esta publicación.

#### BIBLIOGRAFIA

- BEA, F.: *Caracterización geoquímica y esquema petrogenético de los granitoides hercínicos del área de Salamanca-Cáceres*. Tesis doctoral, Univ. Salamanca, 247 pp. (1975).
- BEA, F.: *Geochemistry of biotites in an assimilation process. An approach to recognition of metamorphic biotites from magmatic occurrence*. Krystalinikum, 15, 103-124 (1980).
- BEA, F.: *Sobre el significado de la cordierita en los granitoides del batolito de Avila (Sistema Central español)*. Bol. Geol. Min. Esp., 93, 1, 59-67 (1982).

- Contribuciones a la III Reunión sobre Geología del NW de la Península Ibérica* (1969). Bol. Geol. Min. Esp., 81, 2-3.
- SCHREYER, W.: *Experimental metamorphic petrology at low pressures and high temperatures*. In: *The evolution of crystalline rocks*. D. K. Bailey & R. MacDonald, ed. Academic Press, London, 261-331 (1976).
- UGIDOS, J. M.: *Estudio petrológico del área Béjar-Plasencia*. Tesis doctoral. Univ. Salamanca, 218 pp. (1973).
- UGIDOS, J. M.: *Granitos de dos micas y moscovíticos en la región de Barco de Avila-Plasencia y áreas adyacentes (Avila-Cáceres)*. Stvd. Geol., 7, 63-86 (1974).
- UGIDOS, J. M.: *Significado petrológico de cordierita, sillimanita y andalucita en migmatitas y granitos de Plasencia, Béjar y áreas adyacentes (Salamanca-Cáceres)*. Stvd. Geol., 10, 31-43 (1976).
- UGIDOS, J. M., y BEA, F.: *Análisis comparativo de los granitos del área Béjar-Plasencia con otros granitos «younger» centro-peninsulares: precisiones sobre la serie mixta*. Stvd. Geol., 10, 45-59 (1976).
- UGIDOS, J. M., y BEA, F.: *Ensayo sobre la génesis de las rocas graníticas del Macizo Hespérico*. Stvd. Geol., 14, 35-77 (1979).
- WINKLER, G. F. H.: *Petrogénesis de rocas metamórficas*. Trad. española de la ed. en inglés: *Petrogenesis of metamorphic rocks* (1976). Ed. H. Blume, Madrid, 346 pp. (1978).

Recibido: Julio 1982.

## INFORMACION

### Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXVIII Campamento para Prácticas de Geología «Torla 1982»

#### 1. INTRODUCCION

Una vez más, el «Campamento para Prácticas de Geología», este año en su XXVIII versión, tuvo lugar durante los días 5 al 23 de Julio de 1982, teniendo como base el pueblo de Torla (Huesca) y, como tema, el estudio de la cabecera del río Ara hasta la frontera francesa.

Como el año anterior, hubo un alto porcentaje de participantes alumnos de la Escuela, lo cual infunde ánimos al equipo organizador para continuar con este tipo de actividad.

Este año, el número total de plazas estuvo reducido a 12, lo que ha permitido equilibrar el déficit del año pasado.

Como codirector intervino Fernando Bodega Barahona y como instructores Luis M.<sup>a</sup> Ríos Aragiés y Jesús Sánchez García, todos ellos colaboradores de la Cátedra.

Tuvimos el placer de tener unos días entre nosotros a Lawrence A. Doyle, profesor de los alumnos ingleses.

Actuó como secretario Julián Vega Esteban y como conductor Antonio Lara, del Instituto Geológico y Minero de España, organismo al que agradecemos, además, la cesión de un Land-Rover.

#### 2. DESARROLLO DEL CAMPAMENTO

Principalmente se ha cubierto el área del Paleozoico de la parte alta del valle del Ara. Además, se efectuaron algunos recorridos, más al Sur, en el Secundario y Ter-

ciario, con el fin de mostrar las interesantes estructuras alpinas de la región, así como las particularidades del flysch eoceno.

Los dos primeros días fueron de entrenamiento físico, estableciéndose los primeros contactos con los rasgos de la serie estratigráfica y con la problemática a tratar en días sucesivos.

El tiempo fue regular y hubo que soportar algunas lluvias. Sin embargo, el conjunto de las salidas totalizaron 12 días de campo, habiéndose pernoctado cuatro noches en tienda de campaña. En la salida a la zona más lejana, la cabecera del río Ara, se acampó durante dos noches seguidas, con el fin de economizar tiempos de acceso al lugar de trabajo.

En uno de los últimos recorridos, algunos equipos soportaron, bajo las capas de plástico, sucesivas descargas de lluvia y granizo que les obligaban a detener su marcha hacia una zona que finalmente consiguieron estudiar.

En los días de descanso se realizaron reuniones para comentar las observaciones de campo de los diferentes equipos y preparar los itinerarios siguientes, así como para dar charlas sobre la geología del Pirineo.

#### 3. RESULTADOS

En el XXVI Campamento de Torla - 1980 (Bol. Geol. y Minero, 91, VI, 64-66, 1980) surgió un problema de índole estratigráfica que fue resuelto mediante la cartografía de otra área cercana durante el Campamento de Bielsa - 1981

(Bol. Geol. y Minero, 93, I, 79-83, 1982). Se trataba de confirmar la edad devónica de la serie detrítica llamada «serie de Sia».

Una vez aclarada esta cuestión, se ha regresado a la base de Torla para continuar y terminar en este campamento la cartografía del valle del Ara hasta su cabecera fronteriza con Francia. Dicha cartografía se encuentra ya elaborada sobre foto aérea 1/20.000.

La serie estratigráfica que se presenta se puede adaptar bien a la descrita en la zona de Bielsa o de Panticosa (libro jubilar J. M. Ríos, IGME, 1983). De abajo a arriba se han distinguido:

- Caliza masiva marmórea blanca, D<sub>2</sub>.
- Conjunto (D<sub>3,4</sub>) en el que alternan tramos, de varios metros a decenas de metros, de pizarras y de calizas. Las calizas de pátina amarillenta presentan intercalaciones pelíticas duras (corneanas) de aspecto silíceo. Otras veces, tienen un aspecto hojoso (calcoesquisto). Intercalado en este conjunto o hacia su parte superior, se puede diferenciar una unidad predominantemente calcárea, a la que se refieren en algunas citas de fauna del Devónico Medio, y que se puede correlacionar con la caliza D<sub>4</sub> de las zonas mencionadas. Otras veces, se puede distinguir un tramo inferior de pizarras, que se hace corresponder, por litología, a la Unidad D<sub>3</sub> de las zonas de referencia. El conjunto D<sub>3,4</sub> adquiere un mayor desarrollo hacia el N, en los flancos del macizo de Vignemale.
- Encima, se desarrolla una potente serie detrítica. Comienza por una o varias centenas de metros de pizarras frecuentemente con hiladitas (mm.-cm.), nódulos y a veces lentículos, todo ello de arenisca clara (o cuarcita). Esta facies es la que en la zona de Panticosa designábamos con el símbolo D<sup>a</sup> y llamábamos familiarmente Devónico arenoso. De la cartografía de este campamento se deduce que esta facies pasa lateralmente y hacia arriba a otra mucho más detrítica: alternancia de pizarras y cuarcitas en bancos que pueden ser hasta métricos y que, en algunos casos, contiene barras de cuarcitas de decenas de metros. Se trata de la serie de Sia (D<sup>a</sup>). En el valle del Ara aparece más notablemente en la zona de los picos del Cardal. Contiene una intercalación de unos 10 metros de caliza de pátina amarillenta (D<sup>a</sup>), suprayacente a un tramo (D<sup>a</sup>c) de algunas decenas de metros muy característico, de pátina marrón oscuro, constituido por una alternancia de caliza gris (cm.) y cuarcitas o pelitas (cm.) que, de cuando en cuando, admite un banco (0,5-1 m.) de cuarcita gris. En los picos del Cardal, sobre la caliza amarilla, la serie de Sia contiene tramos de pizarra y cuarcita verdes. Estas coloraciones marrones y verdes hacen pensar en una correlación de los niveles descritos con la «green formation» de VAN LITH (1965) en el área de Bielsa (XXVII Campamento). La caliza D<sup>a</sup> adquiere mayor desarrollo desde el puerto de Plana del Alba hasta la margen sur del barranco Salto de Pich. En esta caliza no hemos encontrado fósiles, por lo que no podemos decir si se corresponde *pro parte* con la caliza D<sup>s</sup> del pico de La Canau del área de Bielsa.

La serie de Sia, hacia el Sur de los picos del Cardal, es obligado que cambie a la facies menos detrítica D<sup>a</sup><sub>4,5</sub> (XXVI Campamento), sin bancos de cuarcita, y que estratigráficamente viene debajo de la serie caliza de tránsito al Carbonífero. Sin embargo, un cambio tan rápido es difícil de explicar sin un contacto tectónico de acortamiento tangencial, que situamos al sur del Pico de Crapera.

De todas maneras, el cambio hacia el Oeste es también relativamente rápido: el Devónico pelítico-arenoso D<sup>a</sup> del valle del arroyo Espelunz y del flanco oeste del Vignemale presenta algunas intercalaciones de cuarcita de facies Sia. En este caso, entre la zona de los picos Cardal y las áreas que acabamos de citar no se ve ningún accidente importante, ni se deduce por la cartografía.

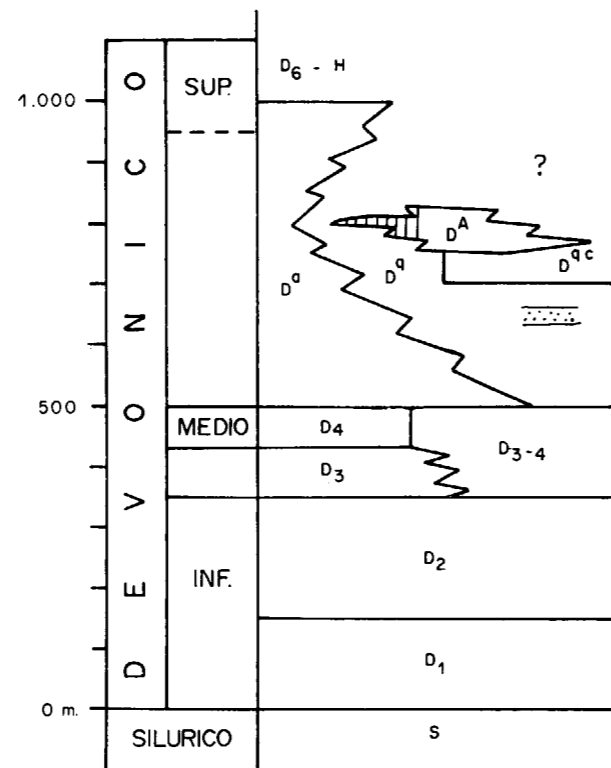


Figura 1.—Esquema litoestratigráfico en el alto valle del Ara (XXVIII Campamento). La escala sólo pretende dar un orden de magnitud de las potencias.

- D<sub>6</sub>-H. Serie caliza de tránsito Devónico-Carbonífero.
- D<sup>a</sup>. Pizarras con pasaditas y nodulillos arenosas.
- D<sup>a</sup>. Serie de Sia con cuarcitas.
- D<sup>a</sup>c. Tramo diferenciado de pizarras, calizas y cuarcitas. Pátina marrón.
- D<sub>4</sub>. Calcoesquisto o caliza con niveles pelíticos.
- D<sub>3</sub>. Pizarras.
- D<sub>3,4</sub>. No diferenciable.
- D<sub>2</sub>. Caliza de aspecto masivo blanco. Zonas dolomíticas.
- D<sub>1</sub>. Alternancia (dm-m) de caliza y pizarra.

Recibido: Enero de 1983

## Planificación de la Investigación Minera (\*)

Por F. VAZQUEZ GUZMAN

Cuando hace algunos meses los organizadores de esta I Semana de la Minería Iberoamericana me propusieron el intervenir en la misma con una exposición sobre la «Planificación de la Investigación Minera», algunas dudas asaltaron mi ánimo.

¿Cómo hablar de investigación minera a un público especialista en ella?; por otra parte, ¿cómo tratar tal tema en una época de recesión y crisis casi total de la economía mundial, cuando las demandas de casi todas las materias primas minerales de los países industrializados y de los en vías de desarrollo, crecientes hasta hace escasos años, han caído hasta límites insospechados, y raro es el día que no leemos, en la prensa, la noticia del cierre o paro en sus actividades extractivas de tal o cual mina, no importa en qué país del Mundo?

La consideración de que en muchos países, al igual que en España, los depósitos o yacimientos minerales son bienes de dominio público y corresponde, en consecuencia, a las administraciones públicas investigar e inventariar el patrimonio minero nacional y velar por su adecuado aprovechamiento, independientemente de avatares circunstanciales, y el hecho cada vez más frecuente, tanto en países con economías planificadas como en régimen de libre mercado, de la nacionalización de los derechos mineros y del control estatal de las operaciones mineras, junto con mi condición de miembro del Instituto Geológico y Minero de España, propiciaron el camino a seguir en esta exposición.

Por otra parte, es precisamente en las épocas de recesión y crisis cuando es fundamental, a mi juicio, que los organismos estatales no abandonen la investigación de los recursos minerales nacionales, de manera que el adecuado conocimiento de éstos posibilite una rápida y eficaz res-

puesta en la más o menos cercana o lejana recuperación de la demanda.

Espero haber acertado al decidir exponer, a tan selecta concurrencia, la planificación de la investigación minera establecida y seguida en el organismo al que me honro en pertenecer.

Antes de entrar en materia, permítanme una muy breve referencia a la historia del IGME, a modo de tarjeta de presentación del Organismo que tiene la responsabilidad de la programación y ordenamiento de la investigación de una buena parte de los recursos minerales del Estado español.

A mediados del siglo pasado, las naciones europeas con mayor desarrollo científico y tecnológico iniciaron la realización oficial de la cartografía geológica y el inventario de sus riquezas minerales nacionales, sistematizando los estudios y trabajos que, desde años atrás e incluso siglos, venían realizando investigadores como G. Bauer (Agrícola), Charpentier, Hutton, Werner, Humboldt, Elie de Beaumont y tantos otros que dedicaron sus esfuerzos a elaborar teorías sobre el origen de los minerales y sus concentraciones económicas, así como a conseguir un mayor conocimiento geológico-minero de las mismas. Pues bien, dos políticos españoles, Cavanillas y Bravo Murillo, conscientes de la importancia que para el desarrollo de España habría de tener la realización de trabajos análogos en nuestra nación, patrocinaron en 1849, bajo el reinado de Isabel II, la creación de la «Comisión para la Carta Geológica de Madrid y General del Reino», denominada un año más tarde «Comisión del Mapa Geológico de España». Así nacía la organización geológica más antigua de la nación española, en la misma década en que eran creados los primeros Servicios Geológicos del mundo.

El desarrollo tecnológico y los requerimientos mineros del país hicieron que, en 1910, tomara la denominación de «Instituto Geológico de España» y, en 1927, su actual de Instituto Geológico y Minero de España.

(\*) Conferencia pronunciada en la I Semana de la Minería Iberoamericana, celebrada, en Quito (Ecuador), del 25 al 27 de enero de 1983.

Numerosos trabajos de cartografía geológica, tanto a escala nacional como regional o provincial, y de investigación minera, así como la participación en la confección del Mapa Geológico de Europa y la organización de acontecimientos tales como el XIV Congreso Geológico Internacional, celebrado en Madrid en 1926, demuestran la fecundidad del organismo, en esta primera mitad del siglo xx, y el alto nivel científico de sus miembros, entre los que quisiera destacar a Esquerro del Bayo, Prado, Schulz, Escosura, Fernández de Castro, Gonzalo y Tarín, Mallada, Cortaza, Adaro, Orueta y tantos otros.

En el año 1977, el Instituto Geológico y Minero de España es constituido como Organismo Autónomo, dependiente del Ministerio de Industria y Energía, adscrito funcionalmente a la actual Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales. La estructura orgánica básica de sus Servicios Centrales consta de cinco grandes unidades: la Dirección de Planificación y Gestión, la Dirección de Geología y Técnicas Básicas, la Dirección de Recursos Minerales, la Dirección de Aguas Subterráneas y Geotecnia y la Secretaría General. Esta estructura se completa con 13 Servicios o Divisiones, 27 Secciones y 52 Departamentos.

En la actualidad, el IGME desarrolla sus funciones y en concreto la investigación minera, en el marco del Plan Nacional de Abastecimientos de Materias Primas Minerales y del Plan Energético Nacional, planes en los que intervienen y actúan también otros organismos y servicios de la Administración. Estas misiones se complementan con otras que realiza dentro de programas específicos, a ejecutar exclusivamente por el IGME, como son el Programa de Abastecimientos de Aguas Subterráneas a Núcleos Urbanos o el Programa de Investigación de los Fondos Marinos.

De una manera esquemática, en lo referente a los recursos minerales, las funciones del IGME son:

- Asesoramiento a la Administración en la formulación y establecimiento de políticas y programas mineros.
- Emisión de informes preceptivos contemplados en la actual legislación minera.
- Actualización y difusión de la infraestructura geológico-minera.
- Investigación, en el sentido más amplio e integral de la palabra, de las posibilidades mineras del país. Inventario y Catalogación de sus recursos minerales.
- Investigación de técnicas y métodos relacionados tanto con la prospección minera como con el desarrollo minero y mineralúrgico.
- Normalización de procesos y productos mineros.

Estas funciones se realizan mediante actividades totalmente integradas, en las que la alimentación e intercambio de información es una necesidad impuesta por el objetivo final.

Y hecha esta breve presentación del IGME, entremos de lleno en el tema de la conferencia: Planificación de la investigación minera. Planificación que voy a exponer tal como la concebimos en el Instituto Geológico y Minero de

España, la Dirección del Organismo y sus más directos colaboradores, y también, en ocasiones, tal como nos viene impuesta por la política del Gobierno, de la que participamos como miembros de la Administración.

Aunque la economía española funciona, por lo general, en régimen de libre mercado, la política de investigación minera del IGME contempla, en ocasiones, conceptos diferentes a los de la mera rentabilidad o economicidad de los yacimientos minerales, como son las disponibilidades de materias primas a largo plazo, las reservas estratégicas, las posibilidades de ocupación de mano de obra, los desarrollos regionales, etc. Por ello, una buena parte de los trabajos que realizamos, que consideramos de infraestructura minera, no suelen planificarse por las compañías privadas en sus programas de investigación minera, ya que corresponde al Estado proporcionar esa información básica.

Es evidente la necesidad que tienen los Estados de disponer de un conocimiento permanentemente actualizado del patrimonio minero nacional, para poder definir sus políticas de abastecimiento de materias primas.

Por ello, el IGME realiza los Inventarios Nacionales de los recursos minerales conocidos, para cada una de las sustancias en explotación o ya explotadas, en los que se analizan las distintas categorías de recursos existentes: medidos, indicados, inferidos, hipotéticos y especulativos. Además, se analiza la investigación realizada, el nivel de ésta, los problemas mineralúrgicos propios de la mineralización de cada mina en particular, la calidad de sus concentrados, su aceptación en el mercado, etc.

De esta manera se establecen unas bases sólidas para conocer el verdadero potencial minero del país y ordenar, en cada caso, las oportunas acciones de investigación, desarrollando, cuando fuera necesario, los planteamientos económicos, sociales y legales correspondientes.

De manera resumida estos inventarios permiten:

- Analizar los sectores mineros (metalogénico, extractivo, mineralúrgico, etc.) de la sustancia considerada, a nivel nacional y mundial.
- Examinar el potencial y perspectivas de desarrollo de las explotaciones activas existentes en el país.
- Obtener una valoración global y regional, dentro del país, de las reservas y recursos de la sustancia en cuestión.
- Disponer de un fichero, fácilmente actualizable, de los indicios y explotaciones.

Hasta el momento, el IGME ha realizado o actualiza los inventarios del carbón, estaño, volframio, hierro, cobre, plomo, cinc, fluorita, barita, feldespatos, pirita, manganeso y titanio. Igualmente, los inventarios de rocas industriales de prácticamente la casi totalidad de las provincias españolas.

Las conclusiones que se obtienen del análisis de estos inventarios, que, en ocasiones, son incorporadas a las directrices de los Planes de Abastecimiento, obligan al IGME a la ampliación de sus actividades o a la realización de nuevos programas. Así, la búsqueda de sustancias

o productos sustitutivos de otras en los que los recursos del país son escasos o nulos, la investigación de sustancias o mezcla de ellas que producen ahorro energético en el proceso industrial en el que intervienen, etc.

También el IGME, para hacer frente a los requerimientos de los Planes de Abastecimiento, se ha visto obligado a modificar sus formas tradicionales de trabajo que realizaba con personal propio, recurriendo al concurso de universidades y centros de investigación, y al de empresas consultoras especializadas.

Estos inventarios abarcan también los indicios minerales, cuya distribución, contexto geológico, ámbito metalogénico, etc., se estudian, ya que pueden constituir futuras fuentes de recursos minerales. El documento básico integrador es el Mapa Miñero-Metalogénico, que presenta las siguientes características:

- Metalogénico, ya que muestra la distribución de los depósitos minerales y sus posibles génesis, dentro de un fondo geológico según dominios orogénicos, estratigráficos, litológicos, etc.
- Previsor, incluyendo los indicios minerales en su contexto geológico, a fin de controlar las mineralizaciones y prever nuevas zonas mineralizadas o extensión de las conocidas a través de los correspondientes metalotectos.
- Minero, ya que proporciona la situación de las minas, naturaleza o características de las menas y subproductos, reservas, importancia de las producciones, centros de consumo, vías de transporte, de embarque, etc.

La actividad minera es recogida en la ejecución de estos mapas mediante el análisis del dominio minero, de la investigación realizada tanto por el sector privado como el estatal, de las labores mineras, de los recursos estimados, de las producciones, de las instalaciones de preparación y concentración, de la posible modificación del entorno ecológico, etc.

La localización de las explotaciones mineras, las características de las producciones (minerales básicos, productos energéticos, rocas industriales y ornamentales, etc.), análisis de la oferta/demanda, el estudio de las principales industrias consumidoras de minerales existentes en el área, etc., constituyen aspectos importantes, que se examinan para obtener las previsiones de las posibilidades de desarrollo regional, en función de su potencial minero, de la situación de la minería de la zona, de las tendencias de mercado, etc.

En la actualidad, el IGME, que cuenta con toda la cartografía metalogénica del país, a escala 1:200.000, así como la de rocas industriales, a la misma escala, procede a la confección actualizada de dicha cartografía, a diferentes escalas, pero exclusivamente de unidades geológico-estructurales de gran potencial metalogénico, de distritos mineros de singular importancia, o de regiones de gran tradición minera; esta cartografía se integra, como ya se ha señalado, con la minera. De reciente o inminente publicación son: el Mapa Minero de España, a escala 1:1.000.000, y el Minero-Metalogénico de Galicia, a escala 1:400.000. Y de próxima publicación serán los Mapas Minero-Meta-

logénicos del distrito minero de Huelva-Sevilla (provincia volcanogénica de piritas), a escala 1:100.000, y del Pirineo, a diversas escalas.

Estos mapas constituyen, a mi juicio, un documento de carácter infraestructural o básico por cuanto puede ser utilizado para la programación de acciones encaminadas al desarrollo minero, para la ordenación del territorio, para fines educativos, etc.

El carácter científico e investigador de estos trabajos, al conjuntar y exponer la potencialidad minera de las provincias metalogénicas, subprovincias, distritos mineros y depósitos minerales, con los conceptos de ámbitos geotectónicos, dominios estructurales, unidades geológicas, etcétera, se complementa con el carácter aplicado y práctico que pretenden las acciones del IGME, al permitir la planificación de programas de investigación y una mejor interpretación y evaluación de sus resultados.

También quisiera resaltar un aspecto complementario de estos documentos, aparte del que presentan para los profesionales y estudiosos, y que considero importante: es el formativo y educacional. Familiarizan y hacen asequibles conceptos de gran interés científico y dan a conocer los yacimientos más importantes del país. Por ello, sin duda, deberían ser dados a conocer ya desde las primeras etapas educativas, donde fomentar futuras vocaciones de geólogos y mineros.

A partir de esta información básica es, pues, posible ordenar con razonable fundamento los programas de actuación en la investigación de áreas con potencial minero o de yacimientos de sustancias específicas, tanto para su localización y conocimiento como para el estudio de problemas específicos que plantea su aprovechamiento.

Como se sabe, las operaciones conducentes al hallazgo o reconocimiento de un depósito mineral pueden agruparse por sus objetivos y medios empleados, por su escala y tiempo de aplicación, así como por su coste relativo. Esta agrupación conduce al establecimiento de diversas etapas, en las que el riesgo geológico y de inversión va disminuyendo paulatinamente, a la vez que se incrementa la cuantía del gasto.

Algunas de estas etapas, las de carácter más infraestructural, tienen en el IGME la consideración de servicio público. Tal puede ser la encaminada a la selección y delimitación de áreas con posibilidades de albergar yacimientos, e incluso la localización de los mismos, pues los mineros saben muy bien que una anomalía geoquímica o geofísica, por ejemplo, es única y exclusivamente eso, una anomalía. Participan del mismo escepticismo del Apóstol Tomás: hay que ver para creer; pues, incluso cuando ha sido reconocida tal anomalía y el mineral ha sido cortado, queda mucho camino por recorrer, aunque evidentemente con mucho menor riesgo.

Por ello, el Instituto Geológico y Minero de España tiene en marcha un Programa de Exploración Sistemática, PES, cuya finalidad es poner de manifiesto depósitos minerales ocultos, bien que hayan pasado desapercibidos a las generaciones precedentes, bien que por razones de tipo técnico o económico no hayan podido ser beneficiados anteriormente.



Tres son las fases que se realizan en este programa, a partir del conocimiento minero-metalogénico obtenido por el análisis de la documentación existente, del reconocimiento de indicios y explotaciones minerales, de la cartografía geológica, de la realización de coberturas aéreas o de teledetección, etc.

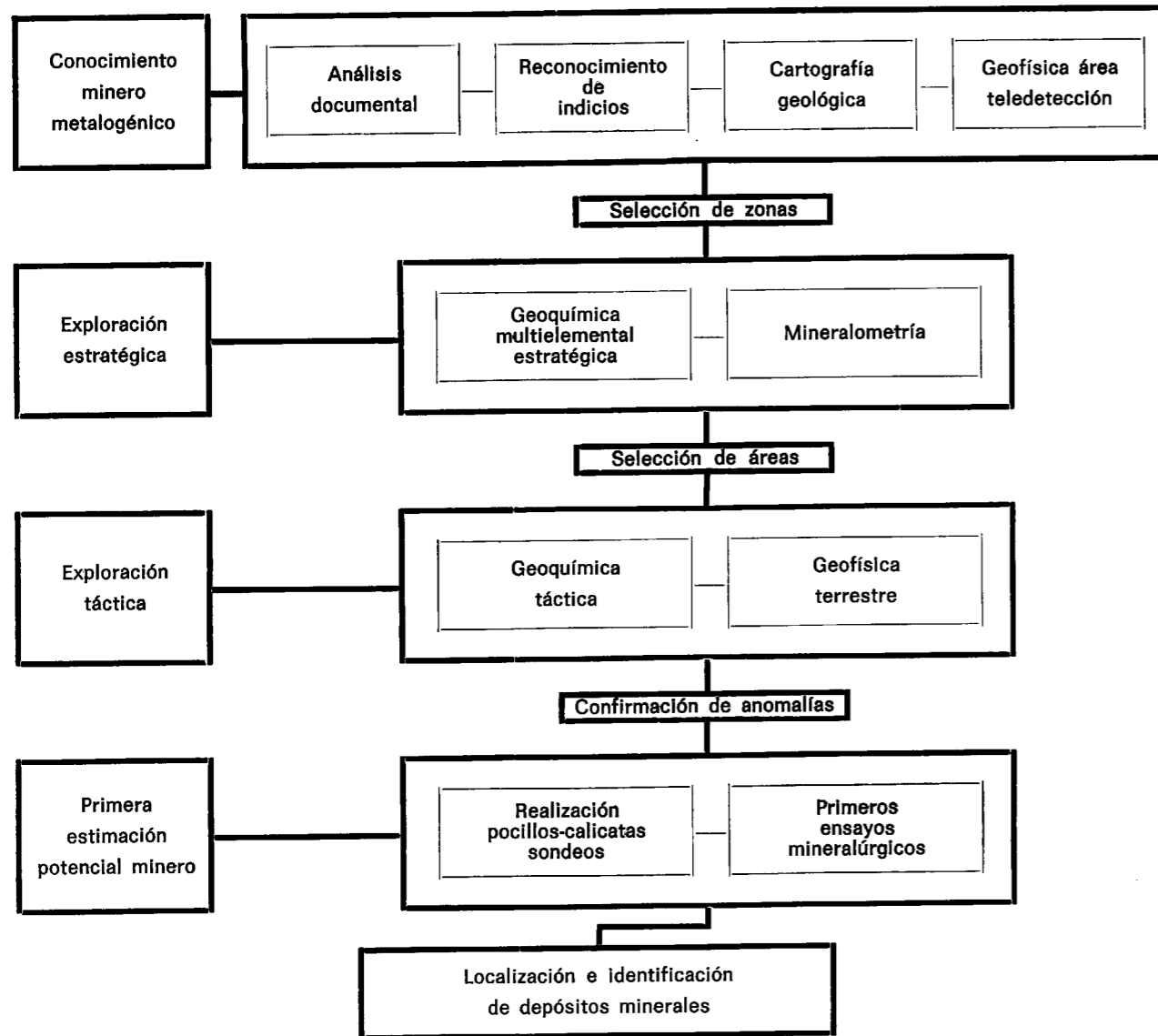
- 1) *Selección de zonas* aptas para albergar yacimientos, a partir del conocimiento minero-metalogénico obtenido por el análisis de la documentación existente, del reconocimiento de indicios y explotaciones minerales, de la cartografía geológica, de la realización de coberturas aéreas o de teledetección, etc.
- 2) *Selección de áreas* con indicios minerales, o deducidas de una exploración mineralométrica y una geoquímica multielemental estratégica, generalmente en sedimentos de ríos.

El número y elementos químicos que se analizan es, generalmente, función del carácter preferente de

algunos de ellos, definidos en el PNAMPM (Cu, Pb, Zn, Ag, W, Sn, Ba, Ni, Mn, Fe, Cr, Sb, F y P), y de la información complementaria que otros proporcionan en la interpretación de resultados (As, Mo, B, Be, Cd, Co, Nb, Y y V).

- 3) *Localización de yacimientos*, mediante la ejecución de campañas de geoquímica táctica para elementos minerales específicos, de geofísica terrestre, y de calicatas, pocillos y sondeos. Unos sencillos y primeros ensayos mineralúrgicos proporcionan información sobre la posibilidad de beneficiar la mineralización encontrada.

Es evidente que, en países con gran tradición minera, los trabajos de investigación pueden, a veces, iniciarse o abordarse directamente en la fase 2.<sup>a</sup> o en la última, tal



como ocurre y hacemos en España, tanto los Organismos Oficiales como las empresas mineras.

El objetivo del IGME es realizar el Programa en su integridad con el fin de realizar la total investigación del País, aunque sin perder la operatividad y agilidad que el tema minero requiere.

La experiencia acumulada a lo largo de los últimos años aconseja que, si bien el Programa de Exploración Sistemática se considera como servicio público, es decir, con inversiones a fondo perdido, con anterioridad al momento de iniciar labores mineras (calicatas, pocillos o sondeos), es necesario reservar el dominio o propiedad minera. Y ello a causa de las expectativas que tales trabajos crean en el sector privado, el cual evidentemente toma posiciones inmediatamente ante las mismas.

Este Programa de Exploración Sistemática se complementa con aquellos otros encaminados a la investigación de sustancias o materiales, no abordadas por aquél, tales como carbones, arcillas, feldspatos, sales, rocas ornamentales, etc.

En ocasiones, cuando el sector minero correspondiente a algunos de los elementos contemplados en la geoquímica multielemental presenta unas particulares características o entidad, se elabora un programa específico, no sujeto a determinados condicionantes del PES, que permite una más pronta y mayor eficacia en su ejecución. Tal es el caso del sector de los fertilizantes fosfatados en España, en el que coinciden la carencia total de fosfatos en el territorio nacional con unas muy fuertes importaciones, del orden de los 130 millones de dólares anuales. Entonces, se realiza, como digo, una actuación concreta y específica.

En este caso particular, por ejemplo, el programa se inició con una parte esencialmente teórica-experimental, analizando las modernas teorías de génesis de los fosfatos sedimentarios, la influencia de los factores paleoclimáticos, paleogeográficos y de la tectónica global en las fosforitas marinas, los problemas sedimentarios y periodicidad de la fosfato-génesis, y los modelos genéticos conceptuales.

En una segunda etapa se consideraron y analizaron todos los indicios de fosfatos y las posibilidades de existencia de fosfatos sedimentarios, a la luz de las hipótesis fosfatogénicas.

Los estudios y trabajos de campo que se realizaron de manera inmediata, y que continúan en la actualidad, han puesto de manifiesto la existencia de fosfatos sedimentarios en las series terminales del Precámbrico Superior, desconocidas hasta el momento en España.

Como ustedes saben los yacimientos de fosfatos precámbricos están adquiriendo cada vez mayor importancia, a nivel mundial, y se están intensificando las investigaciones, especialmente en la India, China, Rusia, Estados Unidos de América y Brasil, por lo que es muy probable que se descubran otros de la misma edad.

En la actualidad, estamos reconociendo una corrida de 1.600 m., que queda oculta, en ocasiones, por el descubrimiento de rañas, con potencias de 20 m. en un extremo

de la mineralización, mientras que en el otro se desdobra en varios niveles, con potencias de carbón del orden de 1 a 2 m. e incluso menores, en la localidad de Fontanarejo (Ciudad Real).

Los estudios y análisis realizados en los Laboratorios del Instituto Geológico y Minero de España, sobre muestras de 30 kg. de todo-uno recogidas en calicatas de reconocimiento, muestran que el componente principal es el colófano y la frankolita, y que la composición media del mineral que puede considerarse explotables es la siguiente: 14-27 por 100 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 23-32 por 100 SiO<sub>2</sub>; 6-15 por 100 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3-15 por 100 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 27-36 por 100 CaO; 0,25-0,4 por 100 TiO<sub>2</sub>; 0,1-2,3 por 100 MnO; 0,6-2 por 100 K<sub>2</sub>O.

El mineral contiene poco fluor, inferior al 2,5 por 100, y carece de elementos radioactivos en contenidos importantes.

En la actualidad se ensaya el proceso mineralúrgico adecuado, para la obtención de productos comerciales.

Independientemente de la importancia económica que pueda tener el descubrimiento de Fontanarejo, es obvia su importancia geológico-minera, ya que abre amplias perspectivas a la investigación de fosfatos sedimentarios en la Península Ibérica, toda vez que la formación geológica en que se enmarcan tiene una gran extensión.

Esta planificación de la investigación minera junto con una decidida ayuda estatal, que no ha escatimado recursos financieros, ha proporcionado éxitos relevantes aparte del ya mencionado descubrimiento de fosfatos. Sólo añadiremos los más recientemente habidos en los últimos años:

— En 1979, descubrimiento de 24×10<sup>6</sup> t. de mineral de hierro, en la provincia de Badajoz, con el 26 por 100 Fe; fácilmente explotable a cielo abierto y concentrable por métodos magnéticos hasta leyes del 59-60 por 100 Fe.

Este descubrimiento no muy llamativo por sí mismo, completa las reservas de una zona tradicionalmente minera de minerales de hierro.

— En 1980, descubrimiento de una nueva provincia volcánica de sulfuros, inédita hasta aquel entonces, en la provincia de Córdoba, y cubicación de más de 600.000 t., con ley del 1,08 por 100 Cu; 2,98 por 100 Pb; 6,53 por 100 Zn; 79,85 por 100 g. Ag/t. y 0,61 por 100 g. Au/t., explotables a cielo abierto.

— En 1981-1982, descubrimiento de la cuenca lignífera de Ginzo de Limia de 35 km<sup>2</sup>, en Galicia, y cubicación de 280×10<sup>6</sup> t. de lignitos, con un poder calorífico inferior bruto igual o superior a 1.000 Kcal/kg., y bajo contenido en azufre (0,75 por 100) y en cenizas (inferior al 50 por 100). Con un ratio de 14:1 en su posible explotación a cielo abierto.

Estos descubrimientos, realizados en un País como España, de gran tradición minera y largamente investigado, ponen de manifiesto la eficacia de cualquier investigación sistemáticamente realizada y continuada en el tiempo. Y ello constituye tanto un acicate para continuar en el

camino emprendido como una rentabilización de las inversiones efectuadas.

Existen en el IGME otros sectores, con personalidad propia y una planificación de su investigación muy específica, que consideramos también como verdaderos recursos mineros, y que no he tratado: Recursos Energéticos, Recursos Geotérmicos y Recursos Hídricos Subterráneos.

Las especiales características de estos sectores, capaces por sí solos de copar el tiempo de esta exposición, así como el saber que, al menos, en el País anfitrión de esta Semana son objeto de tratamiento específico y separado,

me liberan del compromiso adquirido en relación al tema de la conferencia.

Y termino. Terminó con mi agradecimiento a la paciente benevolencia de este auditorio, en su mayor parte interesado por el difícil arte de la investigación minera. Arte, porque por mucho que su planificación tienda a eliminar los riesgos y subjetivismos que ella comporta, al final siempre estará el hombre ante la Naturaleza, intentando escudriñar y desentrañar sus secretos, al interpretar los hechos de campo y los datos que le proporcionan los modernos métodos y técnicas de investigación.

## Noticias

### I JORNADAS DE LA MINERÍA IBEROAMERICANA

Durante los pasados días 25, 26 y 27 de enero, ciento cincuenta especialistas en minería de Latinoamérica, España y organismos internacionales se dieron cita en Quito (Ecuador) para desarrollar las I Jornadas de la Minería Iberoamericana.

El marco de estas jornadas se concreta en el futuro inmediato de Iberoamérica en lo que a materias primas minerales se refiere. En este sentido hay que señalar que para los próximos cinco años se estima que las inversiones en este sector superarán los 20.000 millones de dólares, lo que representa en conjunto el 37 por 100 de la inversión mundial en minería para el próximo quinquenio, con al menos cuarenta y ocho grandes proyectos programados o próximos a iniciarse.

Las jornadas, organizadas por la Dirección General de Geología y Minas de Ecuador y TECNIBERIA (Asociación Española de Empresas y Oficinas de Estudios, Proyectos e Investigación), con el patrocinio de los Ministerios de Recursos Naturales y Energéticos de Ecuador, y de Industria y Energía de España, nacen como consecuencia de la situación por la que atraviesa la minería en Iberoamérica, con las perspectivas de futuro arriba señaladas, y el notable avance que durante los últimos veinte años ha experimentado la tecnología española en este sector, de la que carecen los países iberoamericanos, con las evidentes posibilidades de ayudas e intercambios mutuos; además de la necesidad española de incrementar los contratos y relaciones con los países de América Latina, hasta ahora muy descuidados.

En la apertura de las jornadas se puso ya de manifiesto esta necesidad. Así, el Director de Geología y Minas del Ecuador, Pedro Freile, manifestó: «Es necesario abrirse al diálogo franco que pueda ayudarnos a conseguir que en adelante las barreras que hasta hoy existen en el sector minero caigan y podamos iniciar una cooperación que nos lleve al éxito exigido por el futuro de nuestra sociedad.»

Por su parte, el ministro encargado de los Recursos Naturales de Ecuador, ingeniero Jorge Trujillo Paulson, manifestó en nombre del Gobierno de su país: «Tengo la seguridad de que estas jornadas aportarán significativamente en el proceso de concertación de políticas mineras en que creo que estamos sinceramente empeñados los pueblos y Gobiernos iberoamericanos.»

El director general de Minas de España, Juan Manuel Kindelán, dijo, en la ceremonia de apertura, que España está decidida a acentuar su colaboración con los países de América Latina, resaltando la potencialidad minera de

la región, ya que en los próximos diez años más de un 40 por 100 de todas las inversiones mineras que se hagan en el mundo entero estarán en Iberoamérica.

«Yo represento, dijo Juan Manuel Kindelán, a un país de tamaño mediano, poco poderoso y sin afán ni capacidad para ejercer dominio imperialista alguno. Sin embargo, España es un país cuya tradición minera se remonta a hace dos mil años, con unas existencias actuales ya escasas.» Para a continuación manifestó que los conocimientos mineros españoles están a disposición de los países latinoamericanos; así como el interés español por iniciar prospecciones en ellos y adquirir los minerales necesarios para nuestras industrias. Por último ofreció a los representantes de los países asistentes becas en las Universidades españolas para hacer frente a la utilización de las nuevas tecnologías en la investigación y explotación minera.

Así, pues, los objetivos de las jornadas quedaban concretados en tres puntos:

- En primer lugar, mostrar el nivel técnico del sector minero en los países iberoamericanos, mediante la presentación de sus avances en los campos de planificación infraestructural, minería, exploración, explotación, mercados, financiación, producción, equipamientos y formación.
- En segundo lugar, captar, a través de la comunicación entre los asistentes, el nivel de recursos o conocimientos y necesidades de los diferentes países de Iberoamérica.
- Y, por último, colaborar al movimiento de integración y cooperación minera en Iberoamérica.

Los encuentros, celebrados en el Palacio de Exposiciones y Congresos de la CIESPAL, contaron con la presencia de numerosos especialistas españoles, así como de Argentina, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Chile, Ecuador, Guatemala, México y Perú; además de representantes del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), el Instituto Latinoamericano del Hierro y Acero (ILAFSA), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Banco Mundial y Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), y con el importante apoyo de S. M. el Rey de España, que quiso sumarse a las jornadas con un mensaje que fue leído en la inauguración de las mismas. Dice así:

«Constituye para mí un honor y una satisfacción la ocasión que se me brinda de enviar, como Rey de España, un mensaje de salutación a todos los participantes de las I Jornadas Iberoamericanas de la Minería, que se

celebran en Quito, así como a todos los pueblos allí representados.

Es importante que los objetivos que inspiran esta convocatoria se cumplan satisfactoriamente en bien de nuestros pueblos.

Dentro de la crisis mundial que nos asola, se debe esperar fundamentalmente un claro progreso en la explotación de los recursos minerales existentes, propiciando una dinámica de asociación de esfuerzos conjuntos en el ámbito de los pueblos iberoamericanos.

En este camino radica la esperanza de un futuro mejor para todos, y de un grado mayor de riqueza y bienestar social.

Os reitero mi profundo deseo de paz y prosperidad a todos los pueblos de la comunidad iberoamericana y que obtengáis los máximos frutos de estas jornadas.»

En cuanto a su contenido, las jornadas se dividieron en cuatro bloques de trabajos especializados. Un primer bloque, denominado de *Planificación e Investigación*, giró en torno al Plan Nacional de la Minería; Programas de Investigación Minera, y Planificación de Abastecimientos de Materias Primas y Explotación Minera. Campos en los que España puede ofrecer una amplia experiencia de las tecnologías más avanzadas.

Un segundo bloque, de *Financiación, Hombres de Negocios e Instituciones*, versó sobre el fomento de la minería desde el punto de vista de la inversión y financiación, con el encuentro de hombres de negocios de los distintos países participantes.

El tercer bloque giró en torno a la *Educación*. Con el encuentro de directores de centros académicos de la minería, con la presentación del Master de Ingeniería Minera a realizar en España para titulados iberoamericanos, así como el desarrollo de cursos de capacitación a cargo de las Escuelas de Ingenieros Técnicos.

#### PRESENCIA DE LA MINERÍA ESPAÑOLA EN IBEROAMÉRICA

La proyección de la actividad minera española en el exterior tiene, sin duda, su mayor grado de presencia en Iberoamérica, como lo confirman el número de empresas españolas que operan en aquella zona, así como los acuerdos bilaterales firmados entre España y los países iberoamericanos.

El objetivo principal perseguido por los organizadores de estas Jornadas ha sido la promoción de la integración de la industria minera española en Iberoamérica, «tanto en el concierto de las políticas nacionales mineras de los países americanos, como en la aportación tecnológica y de equipamientos mineros españoles para la puesta en producción del gran potencial de este sector extractivo», al que nos referiremos más adelante.

Precisamente con Ecuador, país anfitrión de estas I Jornadas de la Minería Iberoamericana, España tiene firmado un Memorandum de Cooperación, que data del 27 de mayo del pasado año 1982. Dicho Memorandum fue suscrito entre el Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos del Ecuador y el Instituto Geológico y Minero de España, con una vigencia de dos años, prorrogable por

iguales períodos. El objetivo principal de este acuerdo es el intercambio de experiencias técnicas en materia de investigación y desarrollo para el conocimiento de los recursos geológico-mineros, aspectos de conservación ambiental, utilización racional de los recursos naturales y prestación de servicios de consultoría y desarrollo tecnológico.

El Memorandum posibilita la realización de trabajos conjuntos a través de los correspondientes proyectos y, caso de que estos trabajos den resultados positivos y lleguen a identificarse áreas mineras susceptibles de explotación, el Ministerio ecuatoriano podrá adjudicar la misma al Instituto Geológico y Minero de España o a sus entidades afiliadas o asociadas, de acuerdo con las disposiciones legales vigentes en ambos países y con los acuerdos complementarios correspondientes.

Posteriormente a la firma del Memorandum referido, se han celebrado conversaciones con las Autoridades mineras ecuatorianas por parte de la Dirección General de Minas y del Instituto Geológico y Minero de España, conversaciones que han puesto de manifiesto la posibilidad de reemprender acciones por parte de ADARO o de otros organismos españoles de investigación y, en su caso, explotación de yacimientos minerales ecuatorianos de interés para ambos países.

Con anterioridad al Memorandum de 1982, entre 1977 y 1979 estuvo vigente el Convenio Básico Hispano-Ecuatoriano sobre Cooperación Técnica en Materia de Recursos Geológico-Mineros, firmado en Quito el 4 de febrero de 1977. En dicho acuerdo se contemplaba, por un lado, una asistencia técnica de formación de titulados ecuatorianos y, por otro, la realización de proyectos de exploración minera que al obtener resultados positivos desembocara en la constitución de una empresa binacional encargada de la explotación de los recursos minerales puestos de manifiesto.

Las inversiones efectuadas durante la vigencia del contrato ascendieron a 128,3 millones de pesetas, de las que 25,2 millones de pesetas correspondieron a la asistencia técnica prestada y 103,1 millones de pesetas al desarrollo de proyectos de investigación minera de cobre y, como sustancias adicionales, plomo, cinc, cromo y molibdeno.

#### ACUERDO DE COOPERACION MINERA CON PERU

Otra muestra de la presencia de la minería española en Iberoamérica es el Acuerdo de Cooperación Minera entre Gobiernos, firmados en Lima en noviembre de 1978, acuerdo complementario al Convenio Básico de Cooperación Científica y Técnica, firmado entre España y Perú, y que está vigente y en actividad desde entonces.

Las inversiones efectuadas por España desde el inicio de los trabajos hasta julio del pasado año ascienden a 225 millones de pesetas, de las cuales 170 millones se han dedicado a la asistencia técnica y 55 millones a la investigación minera.

La asistencia técnica ha consistido principalmente en: montaje y puesta en funcionamiento de un Centro de Información y Documentación Geológica, Minera y Metalúrgica; asesoría para la realización del Plano Geotécnico del Área Metropolitana de Gran Lima, y la confección y

edición del Inventario Nacional de Minerales no Metálicos del Perú.

En el ámbito de la investigación minera han sido consideradas aptas, a propuesta del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico peruano, ocho reservas del Estado, de las que se han investigado dos (Marcahui, en Chala, y San Juan, en Chíncha, ambas de cobre) con resultados negativos. Actualmente se está cooperando con una empresa del Estado de mayores posibilidades, en cuanto al patrimonio minero que posee —CENTROMIN-PERU—, con quien se han iniciado trabajos en una amplia zona de 40.000 Km<sup>2</sup> denominada «Sur Medio», de cobre y cobalto, y en «Ataspaca», en busca del plomo, cinc, cobre, plata y molibdeno.

La empresa española ADARO, que opera este Acuerdo para la Dirección General de Minas, desarrolla, a su vez, el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales.

Al mismo tiempo, dentro de lo previsto en el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales, ADARO está negociando, fundamentalmente con privados, la obtención de participaciones mineras en Perú. A mediados del pasado año se firmó con una empresa privada peruana una opción del 35 por 100 de una mina de plata-plomo con contenido de oro, níquel y molibdeno, a cambio de realizar una investigación con una inversión de 90 millones de pesetas. También se está negociando otra opción del 25 por 100 con tres grupos financieros peruanos importantes, para la investigación y explotación de placeres auríferos.

#### ACUERDO DE COOPERACION MINERA CON COLOMBIA

En cuanto a Colombia, y como consecuencia de los distintos contactos mantenidos desde 1974 entre las autoridades españolas y colombianas, el 7 de febrero de 1977 se suscribió el Acuerdo entre los Gobiernos de ambos países para la exploración y explotación de yacimientos de carbón coquizable en Colombia.

Seleccionada el área Norte del yacimiento de Checua-Lenguazaque, en la zona central del país, en el que se habrían de desarrollar trabajos de exploración e investigación minera y, en su caso, la posterior explotación, con una participación colombiana en esta última fase de al menos el 51 por 100. Desde la fecha del acuerdo hasta 1980 se ha efectuado la investigación completa del área adjudicada, con una inversión de 103 millones de pesetas. El desarrollo de esta investigación fue realizado por la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras, S. A., con la colaboración del organismo colombiano INGEOMINAS.

Los resultados de estos trabajos pusieron de manifiesto unas reservas de 44,8 millones de toneladas, que permiten una explotación de 37,5 millones de toneladas brutas, y capaces de suministrar una producción anual de un millón de toneladas de hulla coquizable vendible durante veinticinco años.

Las calidades de los carbones se muestran en su mayor parte como autocoquizables con bajo contenido de azufre y cenizas, y materias volátiles comprendidas entre el 20-30 por 100.

En 1979 se realizó un estudio de pre actividad, que

preveía para la puesta en marcha de la mina unas inversiones de 166 millones de dólares, con un plazo de inversión de seis años y una producción prevista de 1,0 millones de toneladas de hulla coquizable. Su posible financiación se establecía con unos recursos propios de 36 millones de dólares (51 por 100 colombiano y 49 por 100 español) y unos acuerdos ajenos a 130 millones de dólares, de los que 31 millones de dólares serían de aportación local y 95 millones de dólares de créditos españoles de exportación.

Para el transporte se consideró el ferrocarril como medio más idóneo, lo que requería unas inversiones del orden de 360 millones de dólares, de los cuales 200 millones de dólares corresponderían a prestación y suministros exteriores a Colombia, y 160 millones de dólares a obras y suministros a realizar en el propio país.

En lo que respecta a minerales radiactivos, a partir de 1977 la Empresa Nacional de Uranio, S. A., de España, inició, en asociación con el Instituto de Asuntos Nucleares de Colombia, el desarrollo de dos contratos para la exploración y, en su caso, explotación de dos áreas situadas en la zona montañosa y en la amazónica. A tal fin, ENUSA constituyó en 1977 una sucursal en Colombia.

Las inversiones efectuadas desde 1977 hasta mediados del pasado año en la exploración de dichas áreas han ascendido a un total de 880 millones de pesetas, correspondiendo a la parte colombiana solamente los referentes a algunos trabajos y análisis de laboratorio.

Los trabajos desarrollados, sobre una superficie total de 120.000 Km<sup>2</sup>, han llevado a localizar determinadas áreas con indicios radiactivos, pero no presentan suficiente magnitud y recursos para que puedan considerarse, por el momento, como depósitos explotables.

Los resultados obtenidos, así como el creciente exceso de la oferta del mercado internacional, que ha originado una notable caída de los precios, no justifica proseguir con la exploración de detalle en ninguna de las áreas concertadas.

#### EL CARBÓN DEL CERREJON: ACUERDO CARBOEX-CARBOCOL

En otro contexto, el 14 de julio de 1982 se suscribió entre la Entidad Sociedad de Carbones de Colombia, S. A. —CARBOCOL—, y Carboex International Ltd., contratos de compra de carbón procedente de la zona del Cerrejón para su suministro a España en usos térmicos.

Las compras concertadas se inician en 1982, siendo las cantidades convenidas las siguientes:

Año	Cantidad anual	Opción adicional
1982 ... ..	30.000	—
1983 ... ..	60.000	Reducción 30.000
1984 ... ..	60.000	Reducción 30.000
1985 ... ..	100.000	—
1986 ... ..	300.000	200.000
1987 ... ..	400.000	400.000
1988 ... ..	500.000	500.000
1989/1995 ... ..	600.000	600.000
1996 ... ..	300.000	300.000

La duración del contrato, que alcanza hasta 1996, puede ser prorrogado por diez años al término del período.

#### LA EMPRESA NACIONAL ADARO EN ARGENTINA

Recientemente, la Empresa Nacional ADARO ha conseguido la adjudicación —en pugna con otras once empresas de rango internacional— de un proyecto de investigación, con un presupuesto aproximado de unos 20 millones de dólares, en las minas de carbón de Río Turbio, en la Patagonia argentina.

Este proyecto de ADARO, que cuenta con la financiación del Banco Mundial, resulta muy ambicioso, ya que trata de convertir a Río Turbio en una explotación rentable y competitiva a nivel mundial. El objetivo consiste en elevar la producción a unos tres millones de toneladas anuales, sextuplicando su ritmo actual. La consecución de este objetivo implicaría la construcción de un tramo de ferrocarril y la ampliación del puerto de Río Gallegos, en la provincia de Santa Cruz, para que admita barcos de más de 60.000 toneladas.

Durante la realización de este proyecto, que durará unos cuatro años, también se investigará la existencia de otros posibles yacimientos en territorio al norte de Río Turbio.

#### SE POTENCIARAN LAS EXPLOTACIONES DE URANIO Y ESTAÑO EN SALAMANCA

La Dirección General de Minas, según declaraciones de su titular, José Manuel Kindelán, está dispuesta a fortalecer y desarrollar las prospecciones de uranio y estaño, de los que la provincia de Salamanca dispone de buenos filones. En relación con el estaño está previsto que la empresa nacional ADARO realice una serie de estudios con el fin de evaluar el potencial de ese mineral con que cuenta la provincia de Salamanca, fundamentalmente en la franja Oeste. En este sentido el director general de Minas tiene previsto desplazarse en fechas próximas a Salamanca, con el fin de reunirse con las diferentes empresas del sector, a fin de llegar a un acuerdo de trabajo conjunto para resolver problemas comunes y reducir costes.

En cuanto a las explotaciones de uranio se intentará que entre en funcionamiento el plan «Quercus», que quedó en suspenso con motivo de las orientaciones del PEN. La puesta en marcha de este plan estará en función de las posibilidades que ofrezca el mercado exterior de uranio, ya que el filón es muy rico y ofrece grandes perspectivas de cara al futuro de la explotación. También se prevé la potenciación de la mina de Saelices el Chico, en Ciudad Rodrigo.

#### PLAN PARA CLARIFICAR LA SITUACION DE POTASAS DE NAVARRA

Potasas de Navarra, empresa del INI abocada al cese de actividades por agotamiento de los yacimientos que explota, ha conseguido que el Ministerio de Industria y Energía elabore, para antes del mes de febrero del próximo año, un plan de prospecciones que clarifique las reservas explo-

tables con que cuenta la empresa; despejando de esta manera la incógnita que gravita sobre el futuro de la empresa.

#### PARA PLANIFICAR LA INVESTIGACION DE LA FAJA PIRITICA: REUNION DE LOS REPRESENTANTES DE LAS EMPRESAS MINERAS DE HUELVA

Con el objeto de planificar la investigación de la Faja Píritica de la «Zona de Huelva», integrada por los 27 bloques de que consta el área reservada a favor del Estado en dicha provincia, se han reunido en la localidad de Valverde del Camino (Huelva) los representantes de las distintas empresas que actualmente están trabajando en la investigación minera de la mencionada zona. Las jornadas han sido organizadas por la Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A., a requerimiento de la Dirección General de Minas.

#### IMPORTANTES RESERVAS DE CARBON EN LA CUENCA DE EBRO-SEGRE-CINCA

La Empresa Nacional Adaro ha iniciado una campaña de sondeos en la cuenca de Ebro-Segre-Cinca, con el fin de estudiar las reservas carboníferas de la zona. Las prospecciones, que se han iniciado ya en el término municipal de Serós, apuntan la posibilidad de que existan importantes reservas de carbón a una profundidad de 500 metros.

#### CREADO EL DISTRITO MINERO DE EUSKADI

El distrito minero de Euskadi ha quedado recientemente constituido, con la publicación en el «Boletín Oficial del País Vasco» del Decreto por el que se reorganiza la Dirección de Industria y Minería, dependiente del Departamento de Industria del Gobierno Vasco.

Entre las funciones atribuidas al nuevo distrito, figuran las de ejecutar los planes del Departamento en orden a la investigación y aprovechamiento de los yacimientos mineros y demás recursos geológicos, así como el desarrollo de la geología aplicada y de la minería de la comunidad autónoma. También será el encargado de otorgar los permisos, concesiones y autorizaciones, tanto de investigación y exploración, como de explotación y aprovechamiento.

Bajo su dependencia tendrá las secciones de minas de Alava, Guipúzcoa y Vizcaya, y a su frente ha sido designado Joaquín Sagastiberri Arcelus.

Por el mismo Decreto, la antigua dirección de Industria y Minería pasa a denominarse dirección de Administración Industrial, y entre sus funciones hay que destacar la de ejecución de la normativa industrial, así como la coordinación y organización de las delegaciones territoriales del Departamento, en busca de un mejor funcionamiento de las mismas.

#### SE CREA LA SUBDIRECCION GENERAL DE MINAS DE GALICIA

El «Diario Oficial de Galicia» publicó el pasado día 8 de febrero un Decreto de la Consellería de Industria, Energía y Comercio por el que se crea la Subdirección General de Minas.

Según se señala en el Decreto 166/1982, de 4 de noviembre, en el ámbito de las competencias atribuidas a la Dirección General de Industria, la Subdirección General de Minas desempeñará las siguientes atribuciones:

- a) Elaboración de informes y propuestas relativas a competencias mineras atribuidas a la Consellería de Industria, Energía y Comercio.
- b) Impulso de investigaciones y desarrollo minero.
- c) Asesoramiento a la Dirección General en la vigilancia de la ejecución de los planes de investigación de recursos que se realicen en el ámbito de la Comunidad Autónoma.

- d) Preparación de bases de criterios en orden a la ordenación y mejor aprovechamiento de los recursos naturales.
- e) Asesoramiento a la Dirección General en la coordinación y programación de las actividades técnicas y administrativas de los Servicios Territoriales, en las materias antes citadas.

#### PREMIO A DON JUAN MANUEL LOPEZ DE AZCONA

Por el Colegio de Doctores y Licenciados en Ciencias y Letras, le ha sido concedido el *Premio de colegiado distinguido nacional* al Miembro de Honor de dicho Colegio don Juan Manuel López de Azcona, en recompensa de más de 50 años de activo trabajo profesional. El Dr. López de Azcona es Académico de las Reales de Farmacia y Doctores y ha sido Decano del Cuerpo de Ingenieros de Minas.

## Notas bibliográficas

### GEOLOGIA GENERAL

20145. **El concepto de modelo en Geología.** ARCHE, A. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 45-51, ref. 24, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Modelo, Geología, Teoría, Síntesis bibliográfica.

### GEOLOGIA REGIONAL

20293. **El Complejo esquisto-grauváquico y los materiales ordovícicos al SE de Ciudad Rodrigo (Salamanca-España).** RODRIGUEZ ALONSO, M. D. *Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 7-34, ref. 25, esp., res. ing. bibl. IGME.  
\* Micaesquisto, Grauvaca, Ordovícico, Conglomerado, Cuarzita, Ripple mark, Slumping, Textura, Composición mineralógica, Metamorfismo regional, Orogenia hercínica, Flujo esquistoso, Provincia Salamanca.

### ESTRATIGRAFIA

20109. **A «formaçao Carbonatada» Cenomano Turoniana na regio do Baixo Mondego.** FERREIRA, A. *Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 99-109, ref. 40, port., res. franc., bibl. IGME.  
\* Cenomanense, Turonense, Corte geológico, Roca carbonatada, Correlación, Síntesis bibliográfica, Portugal.
20175. **Nuevos datos bioestratigráficos sobre el paleozoico inferior de la Sierra de la Demanda (La Rioja).** PALACIOS, T. *Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 413-419, ref. 18, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Fauna trilobites, Bioestratigrafía, Cámbrico medio,

Cámbrico sup., Tremadoc, Corte geológico, Provincia Logroño, La Rioja.

20207. **Estratigrafía del Pérmico y Triásico del Noroeste de la Provincia de Guadalajara.** SOPEÑA, A. *Semin. estratigr. Ser. monogr.* (1979), núm. 5, 1-329, esp., bibl. IGME.  
\* Tesis, Autuniense, Discordancia, Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper, Litofacies, Corte geológico, Fauna, Flora, Cronoestratigrafía, Palinología, Paleogeografía, Ciclo sedimentario, Cono aluvión, Hercínico Centro, Macizo Ibérico, Provincia Guadalajara.

20215. **Sobre la presencia de materiales de edad Messiniense en la región de Ronda (Provincia de Málaga).** GONZALEZ DONOSO, J. M., y SERRANO, F. *Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 163-183, ref. 47, esp., res. ing. bibl. IGME.

\* Mioceno superior, Messiniense, Fauna específica, Fauna foraminífera, Inventario, Bioestratigrafía, Biometría, Globorotalia, Ronda, Provincia Málaga.

20242. **The basement rocks of peninsula staines, Region XII, province of Ultima Esperanza, Chile.** FORSYTHE, R., y ALLEN, R. *Rev. Geol. Chile* (1980), núm. 10, 3-15, ref. 27, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Basamento, Vulcano sedimentario, Discordancia angular, Jurásico, Cretácico, Roca metasedimentaria, Tectónica de fondo, Tectónica de cobertera, Chile, Magallanes.

20307. **Formaciones ordovícicas y anteordovícicas del anticlinal de Tirteafuera, Sur de la provincia de Ciudad Real.** ROIZ, J. M., y VEGAS, R. *Studia Geologica Salmantica* (1980), vol. 16, 27-36, ref. 12, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Infracámbrico, Pizarra, Grauvaca, Flysch, Caliza, Discordancia angular, Tremadoc, Arenisca, Conglomerado, Arenig, Cuarzita, Anticlinal, Corte geológico, Provincia Ciudad Real.

20308. **Evolución de facies en el Jurásico calcáreo del sector Sur-Oriental de la Provincia de Burgos.** VALLADARES, I. *Studia Geologica Salmantica* (1980), vol. 16, 37-57, ref. 27, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Sinemuriense, Caliza, Dolomitización, Lías medio, Lías superior, Aaleniense, Bajociense, Marga, Bathoniense, Calloviense, Estructura sedimentaria, Transgresión, Regresión, Fauna, Provincia Burgos.

### GEMORFOLOGIA

20143. **Posición del geomorfólogo frente a la problemática del Karst.** ALONSO OTERO, F.; ARENILLAS PARRA, M., y MARTINEZ DEL PISON, E. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 21-30, ref. 17, esp., bibl. IGME.  
\* Karst, Morfología disolución, Geomorfología, Geotectónica.

20172. **Precisiones sobre la génesis y cronología de los relieves Apalachianos del Macizo Hespérico (Meseta Central Española).** GARCIA ABAD, F. J., y MARTIN SERRANO, A. *Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 391-401, ref. 28, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Paleorrelieve, Morfología erosión, Cratón, Alteración, Alteración diferencial, Primario, Neógeno, Paleógeno, Provincia Zamora.

20247. **Evolución geomorfológica del desierto de Atacama entre los 26° y 33° latitud sur: Revisión cronológica.** NARANJO, J. A., y PASKOFF, R. *Rev. Geol. Chile* (1980), núm. 10, 85-89, ref. 15, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Desierto, Terciario, Cuaternario, Datación, K-Ar, Proceso exógeno, Superficie erosión, Chile, Atacama.

20306. **Alteración relicta y morfogénesis del macizo cristalino de Toledo.** MOLINA, E. *Studia Geologica Salmantica* (1980), vol. 16, 15-25, ref. 21, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Geomorfología, Macizo montañoso, Ladera, Terraza, Glacis, Aluvión, Alteración, Basamento, Edad, 3,2±0,2 m. de a., Provincia de Toledo.

### GEOCROLOGIA

20305. **Determinación de Rubidio y Estroncio con fines geocronológicos en rocas silicatadas mediante espectrofotometría de absorción atómica.** BEA BARREDO, F.; POLO DIEZ, L., y GIL GALINDO, C. *Studia Geologica Salmantica* (1980), vol. 16, 7-14, ref. 10, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Geocronología, Metodología análisis, Roca silicatada, Análisis menores, Rb-Sr, Espectrometría absorción.

### GEOLOGIA MARINA

20119. **Potencialidades em Cascalhos e areias da plataforma continental Portuguesa.** ALVEIRINHO, J. M.; MONTEIRO, J. M., y GASPAR, M. C. *Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 227-240, ref. 22, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Arena sustancia, Grava sustancia, Plataforma continental, Off Shore, Fracción fina, Fracción gruesa, Metodología, Diagrama equilibrio, Portugal, Océano Atlántico Norte.

### PALEONTOLOGIA. GENERALIDADES

20144. **Sobre la paleobiología de la cuenca de Cerdanya, depresiones pirenaicas.** ALVAREZ RAMIS, C., y GOLPE POSSE, J. M. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 31-44, ref. 41, esp., res., ing., bibl. IGME.

\* Flora específica, Fauna mamífero, Biocenosis, Ecología, Medio lacustre, Mioceno sup., Cataluña.

20222. **Datos paleontológicos y tafonómicos de la Formación Turre en Cortijada de Arejos, Almería.** DE PORTA, J.; MARTINELL, J., y CIVIS, J. *Studia Geologica* (1979), vol. 15, 63-83, ref. 28, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Mioceno sup., Messiniense, Fauna, Flora, Microfósil, Taphonomia, Paleocología, Provincia Almería.

### PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

20142. **Estudio preliminar de los restos de Peces, Anfibios y Reptiles del yacimiento mioceno de Córcoles, Guadalajara.** ALFEREZ DELGADO, F., y BREA LOPEZ, P. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 5-20, ref. 18, esp., res. ing., franc., bibl. IGME.

\* Teleosteos, Anuromorpha, Squamata, Lacertilia, Chelonia, Crocodilia, Mioceno, Provincia Guadalajara.

20148. **Hallazgo de una nueva especie del género *Semigenetta* (*S. grandis*) del Vindoboniense terminal de Castell de Barbera, Depresión prelitoral catalana, España.** CRUSAFONT PAIRO, M., y GOLPE POSSE, J. M. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 67-76, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fissipedia, Taxón nuevo, Mandíbula, Mioceno medio, Vindoboniense, Provincia Barcelona.

20176. **Algunas precisiones morfofuncionales, en *Nothosauria* y *Pachypleurosauria* (*Sauropterigia*, *reptilia*).** SANZ, J. L. *Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 421-426, ref. 27, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Nothosauria, Pachypleurosauria, Sauropterigia, Biometría, Diente, Osamenta, Anatomía locomoción.

20177. **Revisión de Neocnus Major Arredondo, 1961 (Mammalia: Edentata del Pleistoceno de Cuba) con descripción de un cráneo y algunos huesos postcraneales.** MAYO, N. A.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 427-440, ref. 12, esp., res. ing., alem., bibl. IGME.

\* Neocnus major, Xenartra, Cráneo, Mandíbula, Diente, Osamenta, Biometría, Pleistoceno inf., Cuba.

20217. **Redescripción de Asturichelys Multicostatus Bergouxioux emend., Quelonia del Ludense de Oviedo.** JIMENEZ FUENTES, E.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 193-210, ref. 20, esp., res. ing., franc., bibl. IGME.

\* Chelonia, Metachelidia, Asturichelys multicostatus, Osamenta, Biometría, Eoceno sup., Ludense, Museo Natural de Ciencias Naturales, Madrid, Asturias.

20218. **Primates, Filogenia e historia biogeográfica.** HOFSTETTER, R.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 211-253, ref. 55, esp., res. franc., ing., bibl. IGME.

\* Primates, Histórico, Phylogenia, Distribución especial, Distribución temporal, Clasificación, Paleogeografía, Mundo.

## PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

20108 **Stratigraphie et faune du Lias et de la base du Dogger au Nord du Mondego (Quilainos et Brenha) (partes 2 a 4).** MOUTERDE, R.; ROCHA, R. B., y RUGET, CH.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 79-97, ref. 38, franc., res. port., bibl. IGME.

\* Jurásico inf., Jurásico medio, Dogger, Bajociense, Corte geológico, Fauna, Inventario, Portugal.

20147. **Moluscos Würmlenses en Can Sogues, Sant Martí Sarroca, Barcelona.** CALZADA, S.; VIA, L., y BECH, J.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 63-65, ref. 2, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna molusco, Pleistoceno sup., Wurm, Corte geológico, Provincia Barcelona.

20149. **Actualización de la sistemática de Almera y Botill para los moluscos Pliocénicos del Bajo Llobregat y Llano de Barcelona. 4.ª Parte: Ordenes Endesmodontida, Asthenodontida, Pachyodontida y Unolda.** CUENCA ANAYA, A. M.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 77-87, ref. 29, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Taxinomia, Venerida, Actinodontida, Pholadomyida, Pleodeno, Provincia Barcelona.

20151. **Nuevos datos acerca de la edad de los materiales miocénicos transgresión sobre las zonas internas de las Cordilleras Béticas en la provincia de Málaga.** GONZALES DONOSO, J. M.; LINARES, D., y MOLINA, E.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 103-113, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Aquitaniense, Burdigaliense, Fauna foraminifera, Fauna

específica, Síntesis bibliográfica, Provincia de Málaga, Zona Bética.

20152. **Presencia de materiales de edad Burdigaliense y Langhiense en la depresión de Alcalá la Real, sector central de las Cordilleras Béticas.** GONZALEZ DONOSO, J. M.; LINARES, D.; MOLINA, E., y RODRIGUEZ FERNANDEZ, J.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 115-124, ref. 11, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Burdigaliense, Mioceno medio, Langhiense, Laguna estratigráfica, Fauna foraminifera, Zona Bética, Provincia Granada, Provincia Jaén.

20153. **El Cámbrico inferior de la Unidad de Alconera, Badajoz, España.** LINAN, E., y PEREJON, A.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 125-148, ref. 46, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Cámbrico inf., Estratotipo, Fauna trilobites, Fauna bryozarios, Provincia Badajoz, Hercínico Sur.

20208. **Los foraminíferos pliocenos de Papiol (Barcelona). Significación Paleocológica y Paleogeográfica.** CIVIS, J.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 7-30, ref. 49, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna foraminifera, Rotalina, Textulariina, Miliolina, Inventario, Plioceno, Corte geológico, Marga, Papiol, Provincia Barcelona.

20209. **Datos preliminares sobre un afloramiento de materiales pliocénicos en Estepona (Provincia de Málaga).** GONZALEZ DONOSO, J. M., y PORTA, J.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 31-57, ref. 46, esp., bibl. IGME.

\* Plioceno sup., Fauna, Inventario, Globigerinacea, Bryozoa, Gastropoda, Bivalvia, Scaphopoda, Arthropoda, Echinoidea, Peces, Alga, Estepona, Provincia Málaga.

20212. **Bioestadística y análisis multivariable a la comparación de una población actual y otra fósil, atribuidas a Sphaeronassa Mutabills (Linne). I Sphaeronassa Locard, 1886.** MARTINELL, J., y CUADRAS, C.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 89-103, ref. 15, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Sphaeronassa, Gastropodo, Biometría, Análisis-varianza, Análisis multivariable, Análisis componente principal.

20213. **Estudio de los foraminíferos del afloramiento pliocénico de Can Albareda (Barcelona). Análisis paleocológico y bioestratigráfico.** CIVIS, J.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 105-126, ref. 41, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Plioceno sup., Corte geológico, Roca clástica, Marga, Arcilla, Fauna foraminifera, Inventario, Rotaliina, Miliolina, Textulariina, Provincia Barcelona.

20214. **Datos estratigráficos y paleontológicos de la sección de Bará (Tarragona).** PORTA, J.; CIVIS, J., y SOLE, N.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 127-161, ref. 47, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna foraminifera, Fauna ostrácoda, Inventario, Palinología, Polen, Briozoo, Gasterópodo, Bivalva, Echinodermata, Arthropodo, Molusco, Tortoniense, Corte geológico, Marga, Caliza, Arcilla, Provincia Tarragona.

20219. **Algunos aspectos de la problemática de la especie paleontológica. Aplicación al caso de la diferenciación biométrica de Nassarius Semistriatus (BROCCHI, 1814) y N. elatus (GOULD, 1845).** DE RENZI, M., y MARTINELL, J.

*Studia Geologica* (1979), vol. 15, 7-36, ref. 23, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Taphonomia, Allometría, Biometría, Ecología, Método estadístico, Neogastropodo, Nassarius semistratus, Nassarius elatus.

20220. **Microfauna del Mioceno terminal de la Rambla de Arejos, Almería.** CIVIS, J.; DE PORTA, J., y MARTINELL, J.

*Studia Geologica* (1979), vol. 15, 37-55, ref. 13, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna foraminifera, Fauna ostrácoda, Enrollamiento-concha, Bioestratigrafía, Mioceno sup., Formación Turre, Rambla de Arejo, Provincia Almería.

20221. **Presencia de Cyprideis panonica pseudoargentina decima en el miembro Zorreras, Sorbas, Almería.** CIVIS, J.; MARTINELL, J., y DE PORTA, J.

*Studia Geologica* (1979), vol. 15, 57-62, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Cypridocopina, Valva, Anatomía esqueleto, Mioceno superior, Messiniense, Medio litoral, Provincia Almería.

20223. **Mesogastropoda del Plioceno del Emporda, Girona.** MARTINELL, J.

*Studia Geologica* (1979), vol. 15, 85-165, ref. 70, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Mesogastropoda, Taxinomia, Ornamentación-exterior, Método estadístico, Yacimiento fosilífero, Plioceno, Ampurdán, Provincia Gerona.

20246. **Presencia de fósiles marinos en las calizas de Polpaico. Implicaciones paleocológicas y paleogeográficas.** CORVALAN, J., y VERGARA, M.

*Rev. geol. Chile* (1980), núm. 10, 75-83, ref. 13, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Scaphopoda, Dentalium, Caliza, Cretácico sup., Medio lagunar, Medio marino, Paleocología, Chile, Santiago.

## PALEOBOTANICA

20161. **La composición y la evolución de la sedimentación geosinclinal Bético-Balear.** COLOM, G.

*Estud. Balearicos*, vol. 1, núm. 1, 21-27, esp., bibl. IGME.

\* Conolithophorales, Lagenidae, Nannococcus, Jurásico superior, Cretácico, Sedimentación geosinclinal, Baleares.

20210. **Análisis palinológico preliminar en el Plioceno de Papiol (Barcelona).** VALLE, M. F., y CIVIS, J.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 59-66, ref. 20, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Palinología, Polen, Plioceno, Marga, Gymnosperma, Angiosperma, Hamamelidae, Magnoliidae, Palinodiagrama, Análisis polínico, Papiol, Provincia Barcelona.

20211. **Primeros datos palinológicos del Messiniense (=Turolense) de Arenas del Rey (Provincia de Granada).** SOLF, N., y PORTA, J.

*Stud. Geologica* (1977), vol. 13, 67-88, ref. 26, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Mioceno sup., Plioceno inf., Pontense, Messiniense, Bioestratigrafía, Corte geológico, Lignito, Marga, Arcilla, Palinología, Polen, Pteridophita, Gymnosperma, Angiosperma, Provincia Granada.

20216. **Primera cita de Tythodiscus Norem en España.** SOLE, N., y VALLE, M. F.

*Stud. Geologica* (1973), vol. 13, 185-191, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Dinoflagellata, Tythodiscus, Taxón nuevo, Tortoniense, Tortoniense sup., Plioceno medio, Biometría, Provincia Tarragona.

20244. **Microfósiles silíceos de las diatomitas de Tangoy, provincia de Coquimbo, Chile: Su significado biocronoestratigráfico, biocronogeológico, paleocológico y paleogeográfico.** MARTINEZ PARDO, R., y CARO, R.

*Rev. geol. Chile* (1980), núm. 10, 33-53, ref. 127, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Diatomita, Diatomea, Dinoflagellata, Silicoflagellata, Ebrida, Bioestratigrafía, Paleocología, Paleogeografía, Coquimbo, Chile.

## TECTONICA

20101. **Análisis da deformação da zona de cisalhamento Porto-Tomar na transversal de Oliveira de Azemeis.** RIBERO, A.; PEREIRA, E., y SEVERO, L.

*Comun. Serv. Geol. Portugal* (1980), vol. 66, 3-9, ref. 14, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Falla, Fractura, Fractura extensión, Orogenia Hercínica, Tectónica encajante, Cizallamiento, Infracámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Granito, Edad, Portugal.

20173. **Acerca del problema de una discordancia Assintica en las cadenas Ibéricas (NE. España).** TEYSSEN, T.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 403-407, ref. 5, esp., res. ing., alem., bibl. IGME.

\* Antecámbrico, Cámbrico, Pizarra, Cuarzita, Discordancia, Corte geológico, Orogenia antecámbrica, Orogenia Assintica, Macizo Ibérico.

20174. **Cabalgamiento del zócalo granítico sobre la cobertera neógena al este de Villacastín (Cuenca del Duero, Cordillera Central).** MARTIN ESCORZA, C.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 409-412, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Falla cabalgamiento, Primario, Granito, Mioceno, Microtectónica, Neotectónica, Provincia Segovia.

20224. **Evolución sedimentológica y tectónica del ciclo alpino en el tercio noroccidental de la rama castellana de la cordillera Ibérica.** GABALDON, V.

*Temas geológico-mineros* (1982), núm. 5, 1-390, ref. 168, esp., bibl. IGME.

\* Monografía, Estratigrafía, Sedimentología, Atlas, Síntesis bibliográfica, Tectónica, Columna estratigráfica, Macizo Ibérico, Cuenca Tajo, Provincia Guadalajara.

20243. **Estructuras gravitacionales en los Andes del Norte Chico de Chile.** MPODOZIS, C., y DAVIDSON, J.

*Rev. geol. Chile* (1980), núm. 10, 17-31, ref. 30, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Basamento, Epirogenesis, Falla de cabalgamiento, Tectónica de fondo, Corrimiento gravedad, Pliegue, Domo cristalino, Jurásico, Cretácico, Neógeno, Chile, Atacama.

## HIDROGEOLOGIA

20120. **Hidrogeologia geral das Ilhas Adjacentes.** LOPES PARADELA, P.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 241-256, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Recurso, Inventario, Interfase, Agua dulce, Agua salada, Captación agua, Calidad agua, Azores, Madeira.

20136. **Las aguas subterráneas de la Isla de Gran Canaria. Origen, características y clasificación agrícola, química y geoquímica.** PEREZ GARCIA, J., y PALOMINO, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 237-249, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Aguas subterránea, Hidroquímica, Análisis químico, Clasificación, Canarias, Gran Canaria.

## MINERALOGIA: SILICATOS

20104. **Relações estruturais entre os polimorfos Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>: Aspectos cristaloquímicos e implicações geofísicas.** FIGUEIREDO, M. O.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 49-58, ref. 16, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Ortosilicato, Grupo olivino, Síntesis, Estructura cristalina, Polimorfismo, Alta presión, Alta temperatura, Corteza terrestre, Onda sísmica, Velocidad.

20105. **Origem da escapolite em agregados poligonais com plagioclase: discussao baseada na definição de anomalias químicas e de vectores de substituição iónica.** SODRE, F.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 59-66, port., res. ingr., bibl. IGME.

\* Escapolita, Grupo escapolita, Estequiometría, Pseudomorfosis, Metasomatosis, Génesis, Composición mineralógica, Análisis mayores.

20162. **Mineralogía de los materiales Plioceno-Pleistocenos de la depresión Guadix-Baza. III. Formaciones de Baza y Seron-Carriles. Consideraciones generales y conclusiones.** SEBASTIAN PARDO, E.; RODRIGUEZ GALLEGU, M., y LOPEZ AGUAYO, F.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 289-299, ref. 7, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Caliza, Yeso, Calcilita, Composición mineralógica, Illita, Clorita, Caolín, Grupo arcilla mineral, Plioceno, Pleistoceno, Corte geológico, Provincia Almería, Provincia Granada, Provincia Jaén.

20163. **Hornblenda basáltica de las rocas volcánicas de Tallante (Murcia). II Relación entre las constantes reticulares y la composición química.** ALIAS, L. J., y PEREZ SIRVENT, C.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 301-305, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Hornblenda, Grupo anfíbol, Difracción RX, Dato RX, Constante reticular.

## ROCAS CRISTALINAS

20295. **Programa Fortran para la obtención de parámetros geoquímicos a partir de análisis químicos de rocas.** CORRETGE, L. G.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 79-87, ref. 11, esp., bibl. IGME.

\* Programa ordenador, FORTRAN, Análisis químico, Análisis mayores, Roca ígnea, Roca metamórfica.

## PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

20112. **Un caso de aplicação da análise de tendências a prospeção mineira.** SANTOS OLIVEIRA, J. M., y GONDINHO, M. H.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 143-149, ref. 6, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Prospección aluvionar, Mineral pesado, Scheelita, Plo-mo, Anomalía, Análisis-tendencia, Portugal.

20117. **Argilas especiais da região de Barração-Pombal: aplicação da análise matemática multivariada ao seu estudio e caracterização.** SANTOS OLIVEIRA, J. M.; CASAL, A., y GRADE, J.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 195-208, ref. 20, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Arcilla, Arcilla industrial, Análisis componente principal, Génesis, Clasificación, Portugal.

20150. **Los parámetros texturales en las playas y dunas arenosas del borde occidental del Cabo Peñas, Xagó y Verdicio, Asturias.** FLOR, G.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 89-102, ref. 32, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Transporte, Granulometría, Arena, Duna costera, Playa, Método estadístico, Representación gráfica, Medio litoral, Sedimentación litoral, Asturias.

20154. **Cantos de arcilla armados actuales y fósiles en la Depresión de Guadix-Baza.** RODRIGUEZ FERNANDEZ, J., y VERA, J. A.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 149-159, ref. 22, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Canto rodado, Arcilla endurecida, Sedimentación fluvial, Medio fluvial, Hidrodinámica, Cono tluvién, Mio-ceno, Sedimento actual, Provincia Granada.

20155. **Procedencia y significado de los feldespatos de las series triásicas de Santander y N de Palencia.** SAIZ DE OMEÑACA, J.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 161-168, ref. 22, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Arenisca, Composición mineralógica, Feldespato, Feldespato K, Sedimentología, Alteración, Triás, Región Cantábrica, Provincia Santander, Provincia Palencia

20169. **Contribución al conocimiento sedimentológico del Sector Centro-Oriental de la Cuenca del Duero (Sector Roa-Baltanar).** ORDÓÑEZ, S.; LOPEZ AGUAYO, F.; GARCIA DEL CURA, M. A.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 361-369, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca carbonatada, Evaporita, Litofacies, Isótopo, Corte geológico, Medio agua poco profunda, Medio salobre, Cuenca Duero.

20170. **Secuencias originadas por migración de ríos arenosos de baja sinuosidad.** DABRIO, C. J., y FERNANDEZ, J.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 371-381, ref. 11, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Sedimentación fluvial, Roca sedimentaria, Triás, Estructura sedimentaria, Corte geológico, Paleocorriente, Estiaje, Crecida, Modelo, Provincia Jaén, Provincia Ciudad Real, Provincia Albacete.

20171. **Circulación y distribución de sedimentos en la playa de Bañugues (Asturias).** FLOR, G.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 383-390, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Playa, Oleaje, Medio estuario, Fauna, Granulometría, Parámetro, Salinidad, Estructura sedimentaria, Asturias.

## PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

20106. **Aspectos de alteração em rochas dioríticas de Benavilla.** GALOPIM DE CARVALHO, A. M.; ALEGRIA, M. F., y MIRA DE AZEVEDO, T.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 67-70, ref. 3, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Diorita alcalina, Diorita cuarcítica, Alteración, Arcilla mineral, Control tectónico, Portugal.

20110. **O complexo basáltico de Lisboa.** MATOS, C. A.; RODRIGUEZ, B.; SERRALHEIRO, A., y FARIA, A. P.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 111-134, ref. 31, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Magma básico, Diferenciación magmática, Basalto alcalino, Diagrama equilibrio, Análisis mayores, Análisis multivariable, Cretácico sup., Eoceno inf., Portugal.

20167. **Plutonism of Central Western Spain. A preliminary note.** UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. DEP. DE PETROLOGIA.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 339-348, ref. 35, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Roca ígnea, Clasificación, Composición calcoalcalina, Composición alcalina, Petrografía, Diagrama equilibrio, Diagrama estadístico, Provincia Salamanca, Provincia Zamora, Provincia Cáceres, Provincia Avila.

20168. **Texturas primarias y diagenéticas en los ópalos miocenos de la Cuenca del Tajo.** BUSTILLO, M. A., y SORIANO, J.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 349-360, ref. 19, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Opalo, Textura, Diagenesis, Silicificación, Mioceno, Cuenca Tajo.

20245. **Andean Andesites and cristal growth.** THORPE, R. S.; FRANCIS, P. W., y HARMON, R. S.

*Rev. geol. Chile* (Chile), núm. 10, 55-73, ref. 80, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Magmatismo, Composición calcoalcalina, Basalto, Corteza terrestre, Cristalización fraccionada, Asimilación magmática, Fusión parcial, Secundario, Terciario, Andes.

## YACIMENTOLOGIA DE METALES

20113. **Algumas notas sobre a prospeção de mineralizações schelíticas no Norte de Portugal.** FARINHA, J. M., y VIEGAS, L. F. S.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 151-165, ref. 11, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Roca silicatada, Roca carbonatada, Granito, Metamorfismo contacto, Alteración hidrotermal, Skarn, Scheelita, Tungsteno sustancia, Yacimiento estratiforme, Yacimiento hidrotermal, Control sedimentario yacimientos, Control litológico, Silúrico, Portugal.

20114. **Aspectos geológico-mineros dos jacigos uraníferos em exploração pela Empresa Nacional de Urânio.** MATOS, J. M., y MACHADO, J. M.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 167-175, ref. 6, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Uranio sustancia, Prospección minera, Yacimiento disseminación, Filón, Control ígneo yacimiento, Reserva, Inventario, Portugal.

20116. **Fracturação e cortejo filoneano nas Minas da Argamela (Fundão).** INVERNO, C., y RIBEIRO, M. L. *Comun. Ser. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 185-193, ref. 19, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Estaño sustancia, Filón, Esquisto pelítico, Control tectónico, Fractura, Microtectónica, Orogenia Hercínica, Ordovícico, Cámbrico, Portugal.

20296. **Classification criteria of tin, tungsten and molybdenum deposits (Convenor's report).** STENPROK, M.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 119-143, ref. 60, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Clasificación, Génesis yacimiento, Tungsteno sustancia, Estaño sustancia, Molibdeno sustancia, Temperatura, Profundidad, Fluido mineralizador, Paragénesis, Composición mineralógica, Alteración roca encajante.

20297. **Criteria for distinguishing normal granites from metallogical specialized ores.** TISCHENDORF, G.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 145-148, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Yacimiento ígneo, Metal sustancia, Granito, Composición alcalina, Composición mineralógica, Análisis menores, Análisis elemento traza.

20298. **Classifications of mineralizations related to acid intrusive magmatism.** RUNDKVIST, D. V.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 149-160, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Clasificación, Estaño sustancia, Magma ácido, Roca ígnea, Roca intrusiva, Granito, Alteración hidrotermal, Casiterita, URSS.

20299. **A suggestion for the classification of tin, tungsten and molybdenum deposits associated with plutonic rocks.** STEMPROK, M.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 161-169, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Clasificación, Génesis yacimiento, Estaño sustancia, Tungsteno sustancia, Molibdeno sustancia, Roca ígnea, Metasomatismo, Alteración roca encajante, Representación gráfica.

20300. **A Classification of tin provinces.** TAYLOR, R. G.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 171-181, ref. 6, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Clasificación, Génesis yacimiento, Provincia metalogénica, Estaño sustancia.

20302. **Mineralization associated with the Nigerian Mesozoic tin complex.** KINNAIRD, J. A.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 189-220, ref. 30, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Metal sustancia, Granito, Secundario, Evolución, Roca, Asociación mineral, Abundancia geoquímica, Análisis menores, Análisis elemento traza, Composición mineralógica, Clasificación, Mineral, Nigeria del Norte.

20303. **Tin-bearing rock types in Korea.** JIN KIM, S.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 221-222, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Clasificación, Génesis yacimiento, Estaño sustancia, Antecámbrico, Anticlinario, Metamorfismo fuerte, Corea del Sur.

20304. **Mineral paragenesis in the Variscan metallogeny of Spain.** ARRIBAS, A.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 223-260, ref. 22, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Metal sustancia, Clasificación, Paragénesis, Metalogenia, Orogenia hercínica, Roca, Asociación mineral, Roca encajante, España.

20309. **Sobre la metalogénia del subdistrito de la Carolina (Sierra Morena Oriental, España). Una nueva interpretación posible. Reflexiones sobre su investigación.** JACQUIN, J. P., y PINEDA VELASCO, A.

*Studia Geologica Salmanticensis* (1980), vol. 16, 59-70, ref. 16, esp., res. franc., bibl. IGME.

\* Plomo sustancia, Galena, Filón, Yacimiento impregnación, Pizarra, Caliza, Llandeiloiense, Caradoc.

## YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

20118. **Calcarios e dolomitos da Serra de Cadeeiros. 2.ª parte (Sondagens e calculo de reservas).** MANUPPELLA, G., y BALACO, J. C.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 209-225, ref. 3, port., res. franc. ing., bibl. IGME.

\* Caliza sustancia, Dolomía sustancia, Sondeo, Corte sondeo, Análisis mayores, Reserva, Calloviense, Bathonienense, Bajociense, Portugal.

20264. **Composición química y mineralógica de los materiales de un yacimiento de arcilla de Hinojosa del Duque (Córdoba).** TIRADO COELLO, J. L., y PANEQUE GUERRERO, G.

*Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr.* (1981), vol. 20, núm. 5, 297-301, ref. 6, esp., res. ing., franc., alem., bibl. IGME.

\* Arcilla, Sustancia no metálica, Pizarra, Análisis mayores, Difracción RX, Microscopio electrónico, Provincia Córdoba.

20294. **Ensayo sobre la génesis de las rocas graníticas del Macizo Hespérico.** UGIDOS, J. M., y BEA, F.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 35-77, ref. 120, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Teoría, Génesis, Granito, Cinturón metamórfico, Metamorfismo regional, Metamorfismo de contacto, Gradiente geotérmico, Flujo geotérmico, Flujo calor, Península Ibérica.

20301. **Geochemical aspects of the evolution and mineralization of Nigerian Mesozoic anarogenic granites.** BOWDEN, P.

*Stud. Geologica* (1978), vol. 14, 183-188, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Granito, Sienita, Secundario, Génesis, Fluido mineralizador, Evolución, Ciclo geoquímico, Isótopo, Sr 87-Sr 86, Nigeria del Norte.

## FORMACIONES SUPERFICIALES: SUELOS

20107. **Ocorrencia de vermiculite - A 1 e gíbsite em solos de granito do noroeste de Portugal. Genese destes minerais.**

*Comun. Serv. Geol.* (1980), vol. 66, 71-77, ref., res. ing., bibl. IGME.

\* Granito, Alteración, Vermiculita, Génesis, Composición mineralógica, Perfil suelo, Materia orgánica, Análisis mayores, Diagrama de polvo, Portugal.

20121. **Suelos de la zona húmeda española. X - Suelos sobre serpentinas. 2. Oligoelementos y relación Ca/Mg en suelos y vegetación.** LOPEZ LOPEZ, M. I., y GUITIAN, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núm. 1-2, 1-10, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Serpentina, Vegetación, Análisis menores, Cromo, Níquel, Cobre, Calcio, Magnesio, Galicia.

20122. **La fracción arcilla de suelos de alta montaña sobre rocas carbonatadas. II. Inceptisoles.** ALIAS, J. L., y HERNANDEZ, J.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 11-20, ref. 5, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Inceptisol, Arcilla mineral, Grupo arcilla mineral, Illita, Caolinita, Diagrama polvo, Suelo.

20123. **Retención de P - Nitrofenol sobre una vermiculita y su producto de activación ácida.** JIMENEZ LOPEZ, A., y LLEDO, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 21-35, ref. 15, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* P-Nitrofenol, Vermiculita, Grupo mica, Lixiviación, Acido mineral, Entalpía, Entropía, Superficie específica, Porosidad, Adsorción.

20124. **Alteración de minerales en suelos con diferente desarrollo. Suelos A - B - C. III. Estudio mineralógico de la fracción arcilla.** HOYOS, A.; FERNANDEZ BERMEJO, M. C., y GONZALEZ PARRA, J.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 47-58, ref. 5, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Podzol, Arcilla mineral, Grupo arcilla mineral, Illita, Caolinita, Vermiculita, Montmorillonita, Diagrama polvo, Análisis térmico diferencial, Análisis termogravimétrico.

20125. **Estudio de dos perfiles de la Sagra (Toledo).** RECIO, P.; GARCIA GONZALEZ, M. T., y GARCIA VICENTE, J.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 59-77, ref. 32, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Perfil suelo, Carbono, Materia orgánica, Granulometría, pH, Capacidad carga catión, Arcilla mineral, Composición mineralógica, Grupo arcilla mineral, Diagrama polvo, Espectrometría IR, Análisis térmico diferencial, Análisis mayores, Lasagra, Provincia Toledo.

20127. **Estructura de pastizales del área basal de Guadarrama (Sistema Central) y su relación con factores abióticos.** RUIZ, M.; PECO, B.; LEVASSOR, C.; PARRA, F., y POU, A.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 191-204, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo pardo, Pedogénesis, Terciario, Arcosa, Perfil suelo, Estructura suelo, Granulometría, Composición mineralógica, Diagrama polvo, Capacidad carga catión, pH, Provincia Toledo.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 91-110, ref. 10, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Teledetección, Fotografía aérea, Muestreo, Suelo, Clasificación, Agricultura, Granulometría, pH, Materia orgánica, Capacidad carga catión, Análisis componente principal, Análisis correspondencia, Erosión suelo, Provincia Madrid.

20128. **Estudio del carácter podsólico en unos suelos ácidos de la alta montaña Andorrana.** BECH, J.; VALLEJO, V. R.; JOSA, R.; FRANSI, A., y FLECK, I.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 119-132, ref. 24, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Podsol, Pedogénesis, Perfil suelo, Materia orgánica, pH, Capacidad carga catión, Andorra.

20129. **I. Proceso de alteración en suelos hidromorfos.** *An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 133-150, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo hidromorfo, Perfil suelo, Suelo pardo, Suelo rojo, Gley, Pseudogley, Alteración, pH, Carbono, Materia orgánica, Capacidad carga catión, Granulometría, Composición mineralógica, Método estadístico, Histograma, Provincia Madrid.

20130. **II. Procesos de alteración en suelos rubificados.** PINILLA, A.; ALEIXANDRE, T., y GARCIA-GONZALEZ, M. T.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 151-161, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Rubifacción, Alteración, pH, Carbono, Materia orgánica, Capacidad carga catión, Granulometría, Análisis mayores, Método estadístico, Histograma, Provincia Madrid.

20131. **Contribución al estudio analítico de la turbera de Padul (Granada).** ALMENDROS, G.; DORADO, E., y POLO, A.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 163-178, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Turbera, Neógeno, Subsistencia, Génesis, Turba, Abono, Porosidad, pH, Materia orgánica, Acido fulmínico, Acido húmico, Análisis químico, Espectrometría IR, Capacidad carga catión, Análisis térmico diferencial, Padul, Provincia Granada.

20132. **Distribución de la materia orgánica libre y ligada y de las fracciones de humina en suelos climáticos y en suelos degradados.** VELASCO, F., y MINGO, P.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 179-189, ref. 16, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo pardo, Perfil suelo, Materia orgánica, Humus, Acido fúlvico, Acido húmico, España.

20133. **Caracteres generales y evolución de unos suelos situados en el Terciario al norte de Toledo.** JIMENEZ BALLESTA, R.; CASAS, J.; MARTIN DE VIDALES, J. L., y HOYOS, M. A.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 191-204, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo pardo, Pedogénesis, Terciario, Arcosa, Perfil suelo, Estructura suelo, Granulometría, Composición mineralógica, Diagrama polvo, Capacidad carga catión, pH, Provincia Toledo.



20134. **Mineralogía de la fracción arcilla en suelos de las Sierras de Gredos y Gata. II Grupo Inceptisol Umbrept.** RIESGO, M. P.; GARCIA GONZALEZ, M. T., y GARCIA VICENTE, J.

*And. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 205-221, ref. 4, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo pardo, Arcilla mineral, Grupo arcilla mineral, Composición mineralógica, Perfil suelo, Diagrama polvo, Espectrometría IR, Análisis térmico diferencial, Análisis mayores, Provincia Toledo, Provincia Avila, Provincia Salamanca.

20135. **Características de la materia orgánica de las formaciones turbosas litorales de Torreblanca (Castellón).** ALMENDROS, G.; POLO, A., y DORADO, E.

*An. edafol. agrobiol.* (1981), vol. 40, núms. 1-2, 223-235, ref. 12, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Turba, Génesis, Propiedad fisicoquímica, Carbono, pH, Porosidad, Adsorción, Análisis químico, Acido húmico, Análisis térmico diferencial, Análisis termogravimétrico, Provincia Castellón.

20137. **Suelos forestales de la vertiente sur de la Sierra de Gata.** GALLARDO LANCHO, J. F.; CUADRADO SANCHEZ, S.; GONZALEZ HERNANDEZ, M. I.; HERNANDEZ, J.; MACARRO, M. C.; PEREZ, C., y RIVAS, M. D.

*Anu. Cent. Edafol. Biol. Apl. Salamanca* (1981), vol. 7, 141-253, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo mediterráneo, Suelo pardo, Perfil suelo, Estructura suelo, Clasificación, Análisis químico, Propiedad física, Propiedad fisicoquímica, Propiedad química, Provincia Cáceres, Provincia Salamanca, Sierra de Gata.

20249. **Os minerais argilosos de solos da ilha de Santa Maria (Açores). Alguns aspectos relacionados com sua genese.** SANCHES FURTADO, A. F. A.

*An. Inst. Super. Agron. Univ. Tec. Lisboa* (1978-79), vol. 38, 39-61, ref. 4, port., res. ing., franc., bibl. IGME.

\* Mineralogía arcilla, Arcilla mineral, Montmorillonita, Caolinita, Análisis mayores, Dato RX, Materia amorfa, Estructura suelo, Perfil suelo, Suelo, Roca volcánica, Grupo arcilla mineral, Isla Santa María, Azores.

20250. **Enquadramento taxonomico dos principais tipos de solos que ne admite ocorrerem no Arquipelago dos Açores.** PINTO RICARDO, R.; VALERIANO MADEIRA, M. A.; BETTENCOURT MEDINA, J. M.

*An. Inst. Super. Agron. Univ. Tec. Lisboa* (1978-79), vol. 38, 167-180, ref. 11, port., res. ing., franc., bibl. IGME.

\* Clasificación, Suelo, Suelo esquelético, Suelo poco desarrollado, Suelo aluviones, Suelo coluvial, Andosol, Vertisol, Mollisol, Regosol, Suelo pardo, Histosol, Azores.

## FORMACIONES SUPERFICIALES: CUATERNARIO

20111. **Contribuição para o melhor conhecimento da estratigrafia de Quaternario do litoral minhoto e das indústrias associadas.** SOARES DE CARVALHO, G.; SANDE, F., y MEIRELES, J.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 135-142, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Cuaternario, Paleolítico, Corte geológico, Arqueología, Portugal.

20146. **La morfología glacial del Mampodre, León.** ALONSO OTERO, F., y ARENILLAS PARRA, M.

*Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Secc. Geol.* (1981), vol. 79, núms. 1-2, 53-62, ref. 4, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Glaciar, Morfología glacial, Glaciación, Pleistoceno sup., Würm, Provincia de León.

## GEOQUIMICA

20102. **Geoquímica dos granitoides da regio de Peñafiel-Oliveira de Azeméis. I Elementos alcalinos e alcalino-terrosos.** SANTOS, J. M., y PEREIRA, E.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 11-31, ref. 23, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca ígnea, Roca granuda, Composición alcalina, Composición calco-alcalina, Clasificación, Muestreo, Análisis mayores, Análisis menores, Edad, Rb-Sr, K-Rb, Sr-Ba, Orogenia hercínica, Portugal.

20103. **Algumas observações sobre a petrologia e o quimismo dos granitoides da regio de Tourem-Montalegre (N de Portugal).** RIBEIRO, M. L.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 33-48, ref. 30, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca ígnea, Granitización, Intrusión, Análisis mayores, Diagrama equilibrio, Portugal.

20164. **Evolución química de las biotitas y moscovitas de las rocas graníticas de las Sierras de Guadarrama y Gredos (Sistema Central) durante los procesos de diferenciación magmática.** APARICIO, A.; BELLIDO, F.; GARCIA CACHO, L., y LOPEZ RUIZ, J.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 307-317, ref. 16, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Biotita, Moscovita, Composición mineralógica, Análisis mayores, Diagrama equilibrio, Diferenciación magmática, Granito, Análisis modal, Provincia Madrid, Provincia Segovia, Provincia Avila.

20165. **Geoquímica de gabros del complejo volcánico jurásico en la Zona Esperanza (Norte de Chile).** PALACIOS, C.; GUERRA, N., y CAMPANO, P.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 319-325, ref. 40, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Gabro, Roca volcánica, Composición tolerítica, Análisis mayores, Análisis menores, Diagrama equilibrio, Jurásico, Chile, Antofagasta.

20166. **Caracterización geoquímica del vulcanismo del área de Atienza (Provincia de Guadalajara, España).** ANCOHEA, E.; PERNI, A., y HERNAN, F.

*Estud. geol.* (1980), vol. 36, núms. 5-6, 327-337, ref. 36, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca volcánica, Análisis mayores, Análisis menores, Composición calcoalcalina, Diagrama equilibrio, Provincia Guadalajara.

## ENERGIA

20115. **Potencialidades uraníferas de Portugal.** MATOS DIAS, J. M., y CORREIA MARQUES, J. A.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1980), vol. 66, 177-184, ref. 3, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Uranio sustancia, Reserva, Precio, Prospección minera, Metodología, Portugal.

## MAPAS

20240. **Hoja Santiago, región metropolitana.** THIELE, R. *Carta geol. Chile* (1980), 1-51, ref. 58, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa geológico, Carbonífero, Pérmico, Trías, Jurásico, Cretácico, Oligoceno, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno, Holoceno, Inventario, Mina, Chile, Provincia Santiago.

20241. **Cuadrángulos Cerro de la Mica, Quillagua, Cerro Posada y Oficina Prosperidad, Región de Antofagasta.** MAKSAEV, V., y MARINOVIC, N.

*Carta geol. Chile* (1980), 1-63, ref. 43, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa geológico, Pérmico inf., Jurásico, Calloviense, Plioceno, Pleistoceno, Holoceno, Roca ígnea, Fauna, Flora, Lycopsida, Inventario, Mina, Chile, Antofagasta.

## ECONOMIA

20239. **Geología económica del distrito Río Blanco - Disputada, Chile.** CEPEDA, A.

*Bol. Inst. Invest. Geol. Chile* (1981), núm. 36, 1-43, ref. 4, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Calcopirita, Cobre sustancia, Cobre porfídico, Alteración hidrotermal, Proceso exógeno, Control tectónico, Microtectónica, Mapa geológico, Mapa metalogénico, Mapa previsor, Reserva, Calidad mineral, Mina Río Blanco, Mina Los Bronces, Chile, Provincia Santiago.

20251. **Estimações preliminares na indústria mineira.** TORRES LOPES, A.

*Bol. Minas* (1981), vol. 18, núm. 1, 3-9, ref. 13, port., bibl. IGME.

\* Estudio factibilidad, Coste, Mercado, Sociedad.

20252. **Elementos estatísticos das águas minerais e de mesa referentes a 1980.** VICENTE, A.

*Bol. minas* (1981), vol. 18, núm. 1, 11-17, port., bibl. IGME.

\* Inventario, Manantial, Agua mineral, Agua termomineral, Producción, Valor producción, Exportación, Valor exportación, 1980, Portugal.

20253. **Minas.**

*Bol. minas* (1981), vol. 18, núm. 1, 19-34, port., bibl. IGME.

\* Panorama minero, Concesión minera, Sociedad, Exportación, Importación, Producción, Portugal.

20254. **Aguas minerais e de mesa.**

*Bol. minas* (1981), vol. 18, núm. 1, 35-37, port., bibl. IGME.

\* Concesión minera, Manantial, Agua mineral, Agua termomineral, Sociedad, Producción, Valor producción, Portugal.

20255. **Pedreiras.**

*Bol. minas* (1981), vol. 18, núm. 1, 39-48, port., bibl. IGME.

\* Concesión minera, Cantera, Sociedad, Material ornamentación, Material construcción, Exportación, Valor exportación, Portugal.

# NORMAS PARA LOS AUTORES

Los trabajos que se reciban para su publicación en el BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO serán revisados para decidir si procede su publicación.

Los autores deberán atenerse a las siguientes normas:

## *Texto.*

Se entregará mecanografiado a doble espacio por una sola cara y con amplios márgenes. Este texto se considerará definitivo, deberá venir leído por el autor y perfectamente puntuado y con las correcciones de las erratas de mecanografía que fuesen precisas. En él será marcada la fecha de recepción y prioridad.

Cuando en el trabajo se acompañen figuras, cuadros y fotografías, el autor deberá dejar un pequeño espacio con indicación del lugar donde han de intercalarse si es posible.

Todos los trabajos en lengua española irán precedidos de un breve resumen en español e inglés o francés. Los de idiomas extranjeros lo llevarán en su idioma y también en español.

En todo momento los autores conservarán una copia del texto original.

## *Idiomas.*

Excepcionalmente podrán publicarse trabajos en otros idiomas (preferiblemente inglés o francés), siempre que abarquen temas sobre España y sean de autores extranjeros.

## *Bibliografía.*

Se incluirá al final de cada trabajo la relación de las obras consultadas por orden alfabético de autores, empleándose las normas y abreviaturas usuales.

En casos excepcionales se podrá citar alguna obra no consultada.

## *Parte gráfica.*

Los originales de figuras, cuadros y fotografías se entregarán aislados, indicándose en ellos el título del trabajo, nombre del autor y número de la ilustración. La parte gráfica vendrá preparada para ser reproducida a las anchuras máximas de 80 mm. (una columna) y 170 mm. (doble columna). Se evitará en lo posible la inclusión de encartes, así como se reducirá a lo indispensable el número de figuras y fotografías. En las ilustraciones a escala, ésta se expresará solamente en forma gráfica, con objeto de evitar errores en caso de reducir el original. Todas las figuras irán numeradas correlativamente según su orden de inserción.

## *Pruebas.*

Serán enviadas a los autores para que realicen las correcciones de erratas de imprenta producidas en la composición, no admitiéndose modificación alguna, adición o supresión al texto original.

Las pruebas serán devueltas por el autor en el plazo máximo de quince días, pasados los cuales la Redacción decidirá entre retrasar el trabajo o realizar ella misma la corrección, declinando la responsabilidad por los errores que pudieran persistir.

Los originales de texto y figuras quedarán en poder de la Redacción.

## *Tiradas aparte.*

Se asignan 30 tiradas aparte con carácter gratuito por trabajo publicado. Cuando el autor desee un número mayor del indicado deberá hacerlo constar por escrito en las pruebas y abonar el precio de este excedente.

La Redacción del BOLETÍN introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

---

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio. Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23. Madrid-3

26 MAR. 1934

