

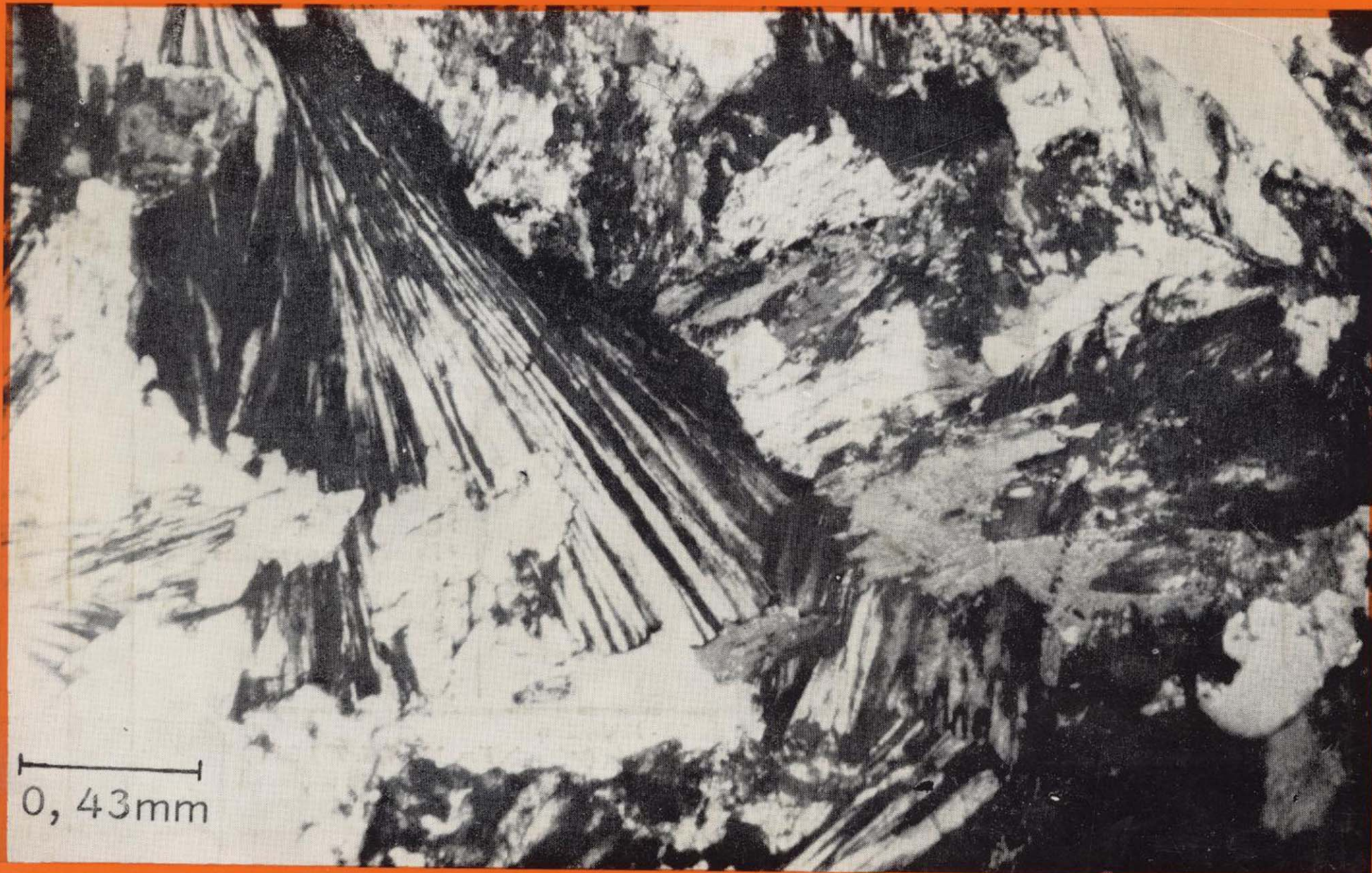
En este número:

- Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al sur del Montsec (provincia de Lérida).
- Peculiaridades y disposición de la Unidad de Benamocarra en la transversal de Sierra Tejeda (zona Bética). Su atribución al Complejo Alpujárride.
- Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional.
- Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida.
- Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español.
- Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarrana (provincia de Córdoba).

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874 T. XCIII, Quinto Fascículo. Septiembre-Octubre 1982

# boletín geológico y minero

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







**Empresa Nacional Adaro de Investigaciones Mineras, S. A.**

**EXPLORACION,  
INVESTIGACION E  
INGENIERIA DE  
DESARROLLO DE  
RECURSOS DEL  
SUBSUELO**

- Geológicos.
- Minerales.
- Hidrogeológicos.
- Geotérmicos.
- Geotécnicos.

**PROTECCION  
DEL MEDIO**

- Tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales.
- Ordenación geológica de la infraestructura para el desarrollo regional.

**FINANCIACION  
DE INVERSIONES**

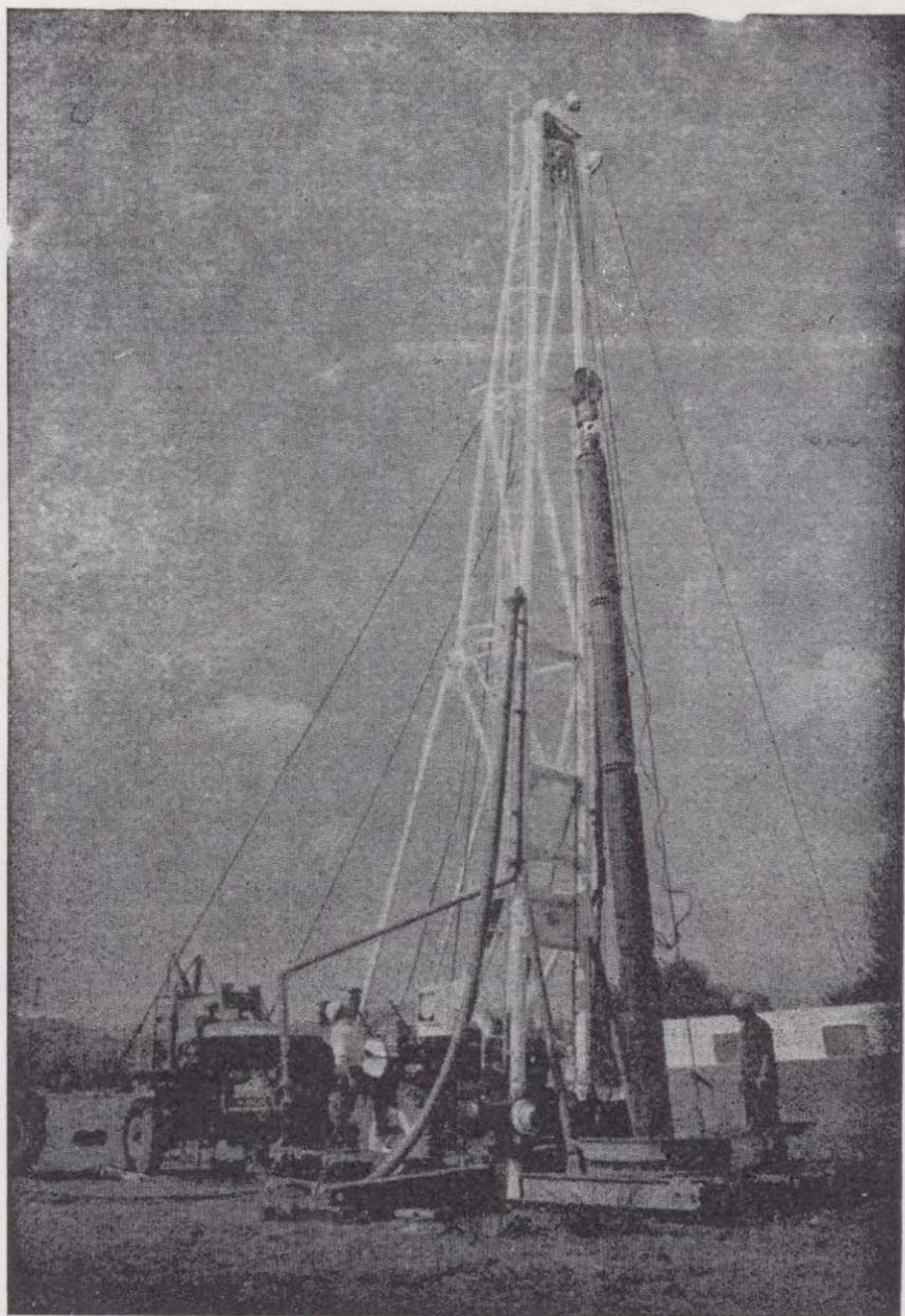
- Planificación.
- Investigación. (interior y exterior).
- Revalorización de los recursos naturales.

**SERVICIOS  
ESPECIALIZADOS EN:**

- Geología.
- Geofísica.
- Geoquímica.
- Geotécnica y Geomecánica.
- Mineralogía y Metalquímica.
- Mineralurgia.
- Hidrogeología.
- Geomatématica.
- Planta piloto de residuos sólidos urbanos.
- Planta piloto de concentración de minerales.
- Documentación.
- Economía mineral.
- Sondeos.

DOMICILIO SOCIAL : Serrano, 116 - Telf. 262 41 10 - MADRID-6  
CENTRO DE INVESTIGACION "JUAN GAVALA": Ctra. de Andalucía, Km. 12 - Telf. 797 34 00  
Télex 42083 - geo-e - GETAFE (MADRID).





## **ALUMBRAMIENTO DE AGUAS SUBTERRANEAS**

Sondeos hasta 1.500 mm. de diámetro y profundidades de 500 m.

Sondas de circulación directa e inversa.

Filtros especiales que garantizan el agua limpia de arena.

Instalación de piezómetros.

Instalaciones completas de pozos y bombas sumergibles.

Equipos propios de aforo y limpieza.

Reacondicionamiento de pozos arenados.

Testificación eléctrica (PS y Resistividad) y radiactiva (Rayos gamma).

Acidificaciones.

# **AGUA Y SUELO, S. A.**

**Dr. Fleming, 3 - 5.º piso**

**Teléfonos: 457 42 58-62-66, 457 02 30 y 250 27 72**

**M A D R I D - 1 6**

## **SONDEOS DE RECONOCIMIENTO**

Sondas LONGYEAR y CRAELIUS con equipos de perforación «Wire-Line System».

Testiguo continuo en diámetros de 36 mm. a 143 mm. Sacamuestras especiales a percusión.

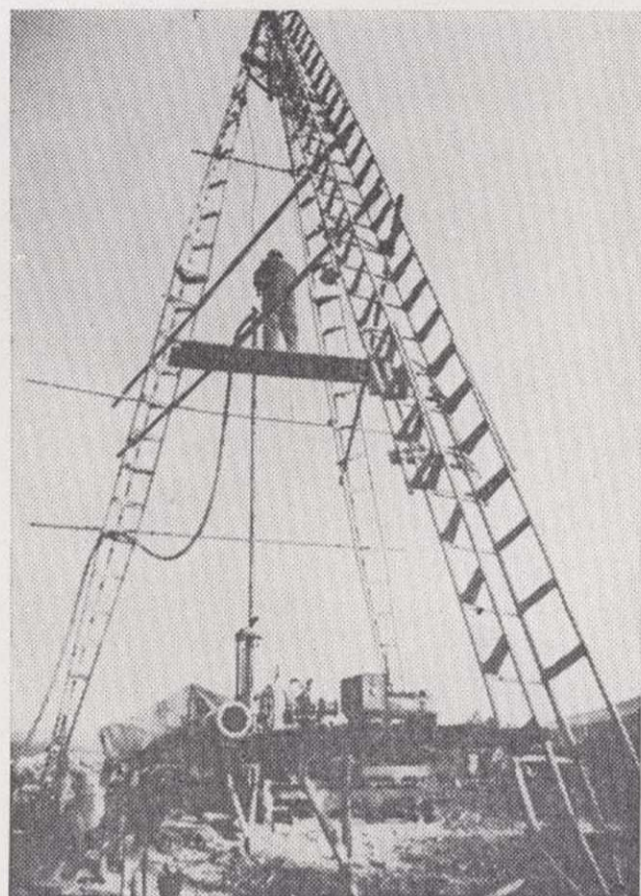
Medidores de inclinación y acimut, tipos Single Shot y Multi Shot.



# IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

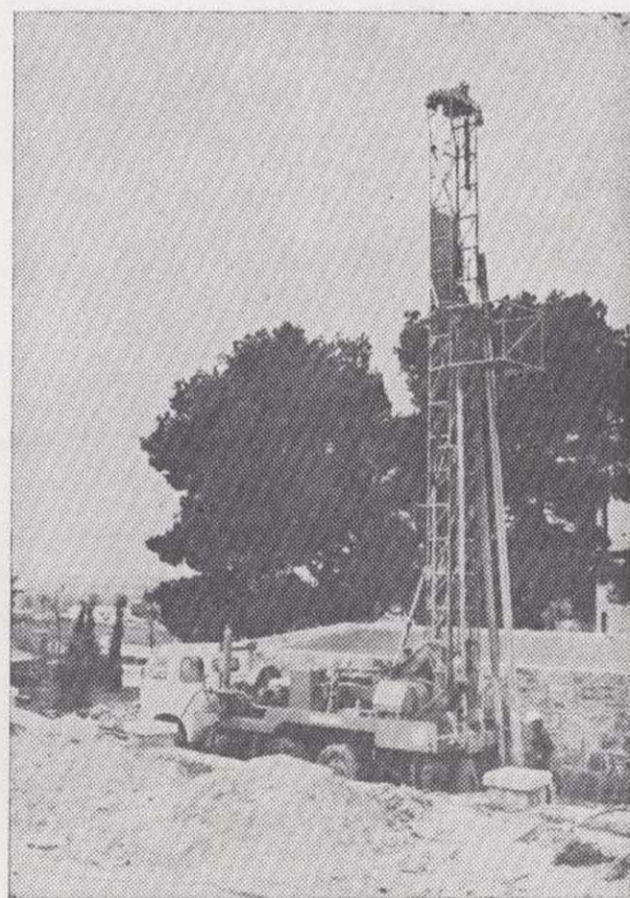
Al servicio de la Perforación desde 1954

Le resuelve cualquier  
problema de perforación.



**MINERIA.**  
**ALUMBRAMIENTO DE AGUA.**  
**ESTRATIGRAFICOS.**  
**EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.**  
**ESPECIALES, ETC.**

- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- Rotopercusión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.



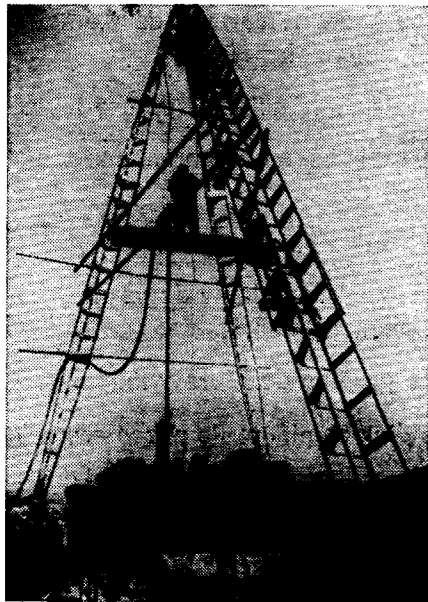
**LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.º**  
**TELF. 261 08 07-MADRID-6**



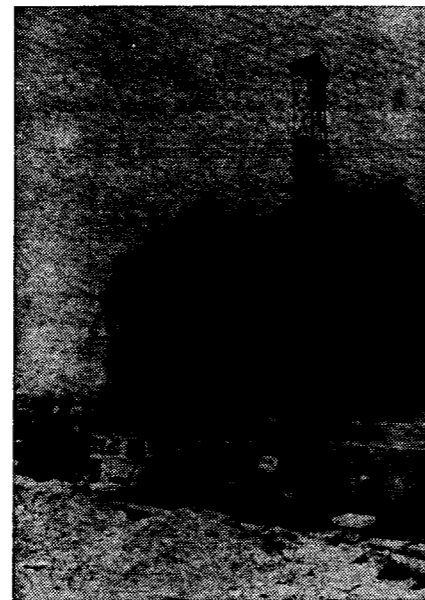
# IBÉRICA DE SONDEOS, S. A.

Al servicio de la Perforación desde 1954

Le resuelve cualquier  
problema de perforación



MINERIA.  
ALUMBRAMIENTO DE AGUA.  
ESTRATIGRAFICOS.  
EVACUACION DE AGUAS RESIDUALES.  
ESPECIALES, ETC.



- Personal altamente experimentado.
- Profundidades hasta 2.500 m.
- Sondeos de gran diámetro.
- Wireline y sistemas especiales para recuperación de testigo.
- Medición de inclinación orientada.
- RotoperCUSión a alta presión.
- Lodos especiales.
- Acidificaciones.
- Cementaciones.
- Desarrollo de acuíferos.
- Filtros adecuados a cada sondeo.
- Sondeos de investigación de 0° a 360°.
- Perforación con aire comprimido.
- Técnicas especiales, etc., etc.

LOPEZ DE HOYOS, 13, 1.º  
TELF. 261 08 07 - MADRID-6

# GEOTEHIC, S. A.

INGENIEROS CONSULTORES

ESTUDIOS DE:

- GEOLOGIA.
- GEOFISICA.
- GEOTECNIA.
- HIDROLOGIA.
- INGENIERIA CIVIL.
- CALCULO ELECTRONICO.
- PETROGRAFIA-METALOGENIA.
- PROYECTOS MINEROS.
- CONTROL DE COSTOS.

General Mola, 210, 1.º D — Teléfonos 250 18 03 - 45 — MADRID-2



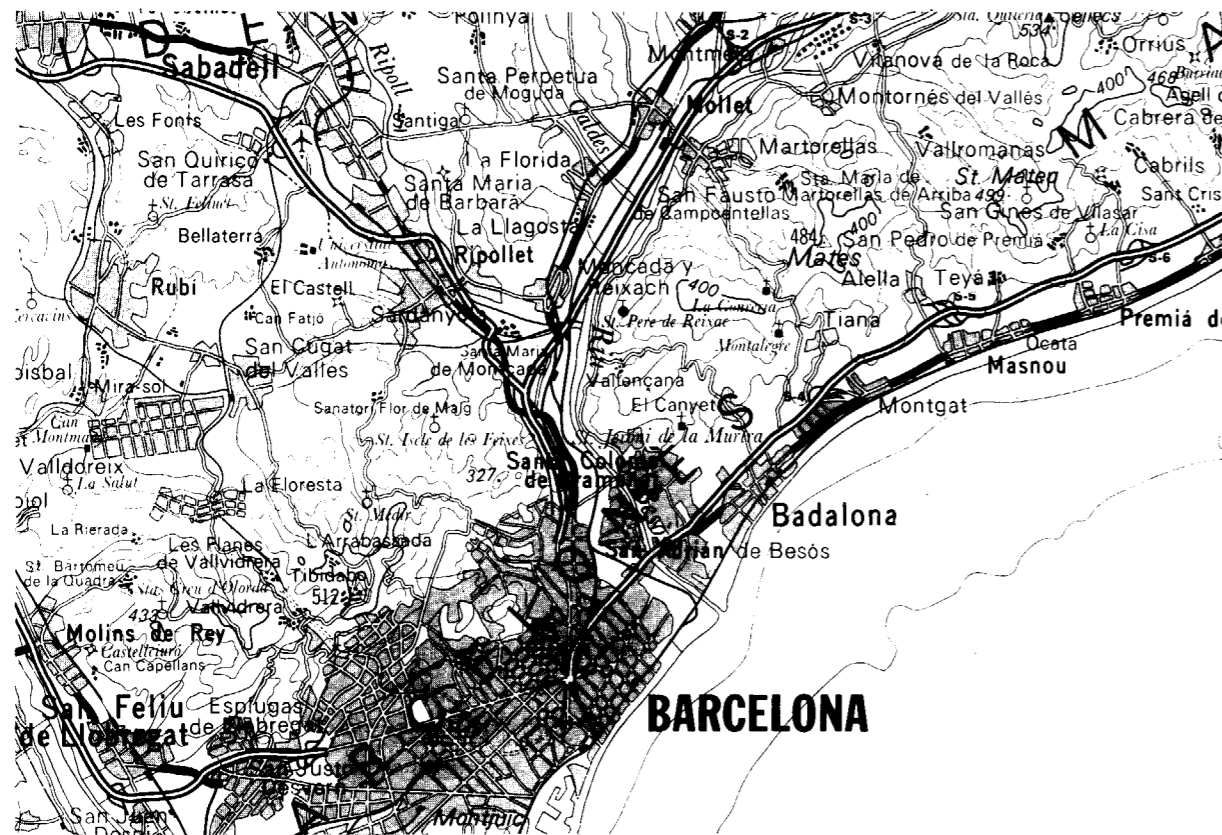
8 FEB. 1983



# *Cibesa*

CARTOGRAFICA IBERICA, S.A.

- ESGRAFIADO
- FOTOCOMPOSICION
- FOTOMECANICA
- IMPRESION OFFSET
- ENCUADERNACION





Fragmento del Mapa de CATALUÑA. Escala 1:200.000

## ESPECIALIDAD

- MAPAS CONVENCIONALES
- MAPAS TEMATICOS

Conde de la Cibera, 4 - L. 6 MADRID - 3  
TELF. 234 81 86 - 234 79 72



**RONS SONDOS S.A.**  
ESPECIALISTAS EN AGUAS SUBTERRANEAS

VILLENA  
(Alicante)

Avda. de la Constitución 21 entlo. Tel. 800983





# Vegarada profundiza en su problema de agua y lo soluciona.

Dondequiera que esté en la geografía española, cualquiera que sea su problema de agua, recurra al asesoramiento de Vegarada. Poseemos la técnica y experiencia necesarias para proporcionarle toda el agua que necesite. Desde los trabajos de proyección y alumbramiento, hasta la realización de obras de conducción, puesta en riego o depósito, abastecimiento y distribución de caudales. Solicite información sin compromiso.



**Vegarada**

Guzmán el Bueno, 133  
Tels. 233 71 00-253 42 00 MADRID-3



Pb-10

Tomo 93

Fascículo V

Septiembre - Octubre 1982

# Boletín Geológico y Minero

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

## SUMARIO

|                                     |   |    |
|-------------------------------------|---|----|
| <b>Geología</b>                     | C. LLOMPART y S. KRAUSS: Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S del Montsec (provincia de Lérida) ... ..                              | 1  |
|                                     | J. J. ELORZA: Peculiaridades y disposición de la Unidad de Benamocarra en la transversal de Sierra Tejeda (zona Bética). Su atribución al Complejo Alpujarride ... ..             | 9  |
| <b>Minería</b>                      | J. AIZPURÚA, P. GUMIEL y A. PINEDA: Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional.   | 20 |
| <b>Geofísica</b>                    | A. GRANDA SANZ y J. L. SASTRE PASCUAL: Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida ... .. | 45 |
| <b>Estudio de minerales y rocas</b> | A. APARICIO YAGÜE y L. GARCÍA CACHO: Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español ... ..   | 56 |
|                                     | M. ORTEGA, A. GARROTE, J. RODRÍGUEZ y P. FENOLL: Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarrana (provincia de Córdoba) ... ..   | 66 |
| <b>Información</b>                  | Noticias.—Notas bibliográficas ... ..   | 76 |

### 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.**

---

**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.**

---

**EXPLICACION DE LA PORTADA**

**Cristales fibrosos radiados de cloritoide.**

**Por Purificación Fenoll Hach-Alí**

ISSN 0366 - 0176

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

Imprenta IDEAL - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - Madrid-16



## Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S del Montsec (Prov. de Lérida)

Por C. LLOMPART (\*) & S. KRAUSS (\*\*)

### RESUMEN

En esta nota se describen estromatolitos asociados a restos de dinosaurios y de moluscos en el «Garumniense», al S del Montsec. Se da a conocer el hallazgo de placas de huevos de dinosaurios; se describe una pieza dentaria de estos reptiles atribuible a un Ornitópedo, y se propone una interpretación ambiental de estos materiales. Finalmente, se sitúa el tránsito Secundario-Terciario en un nivel, de una decena de metros, localizado aproximadamente en la parte media de la serie.

### ABSTRACT

The «Garumnian» beds (red beds of Late Cretaceous/Early Tertiary Age) of the southern part of the Montsec (S Pyrenees, N Spain) contain stromatolites which have been deposited in a fluvial-lacustrine environment with tidal influence. Associated with beds are remains of molluscs and dinosaurs. A single tooth is attributed to a representative of the Ornithopoda. The exact position of the Cretaceous-Tertiary boundary within the succession of red beds of the Garumnian in the Central part of the southern Pyrenees remains uncertain. Lacking more decisive arguments, it is placed tentatively and regionally in coincidence with the earliest occurrence of *Microcodium*.

### INTRODUCCION

La vall d'Ager es una depresión alineada de E a O situada al S de la Sierra del Montsec (fig. 1). Está modelada sobre materiales del Mesozoico y Cenozoico, que forman un apretado sinclinal disimétrico. El flanco N se halla implicado en el cabalgamiento del Montsec. El S, por el contrario, poco tectonizado, forma la Sierra de Montclús-Monts de Millà.

El «Garumniense» es un nivel de capas rojas en el que se localiza, en el Prepirineo, el tránsito entre las Eras Secundaria y Terciaria (ROSELL, 1968). Su base la constituyen las calizas campanomaastrichtienses y su techo las calizas del Eoceno Inferior (Ilerdiense). Abarca, pues, parte del Maastrichtiense y el Paleoceno.

En La vall d'Ager los afloramientos del «Garumniense» (Fm. Tresp de MEY *et al.*, 1969) se ex-

tienden de E a O. Son muy discontinuos y fracturados en el flanco N y continuos, sólo cubiertos esporádicamente por depósitos cuaternarios y por vegetación, en el flanco S.

En el flanco S del sinclinal de Ager, la serie garumniense está formada (LLOMPART, 1979) por dos tramos predominantemente lutíticos separados por uno de calizas con nódulos arriñonados de sílex (fig. 2). Al tramo lutítico inferior se le intercalan niveles de areniscas. Entre éstos es particularmente importante, por su extensión y relativa potencia, el que se sitúa a unos diez metros por debajo del tramo de calizas con nódulos de sílex. En el superior son frecuentes las intercalaciones de calizas negruzcas, a veces dolomíticas, y de yesos. Tanto el tramo lutítico superior como el inferior presentan, además, intercalaciones de niveles, que raras veces sobrepasan 1 m. de espesor, de estromatolitos y paleosuelos. En el tramo inferior, desde la base hasta el nivel principal de areniscas, se han encontrado restos fragmentados de dinosaurios. A partir de estas areniscas hacia la

(\*) Departamento de Paleontología de la Universidad Autónoma de Barcelona.

(\*\*) Instituto de Geología y Paleontología de la Universidad de Tübingen.



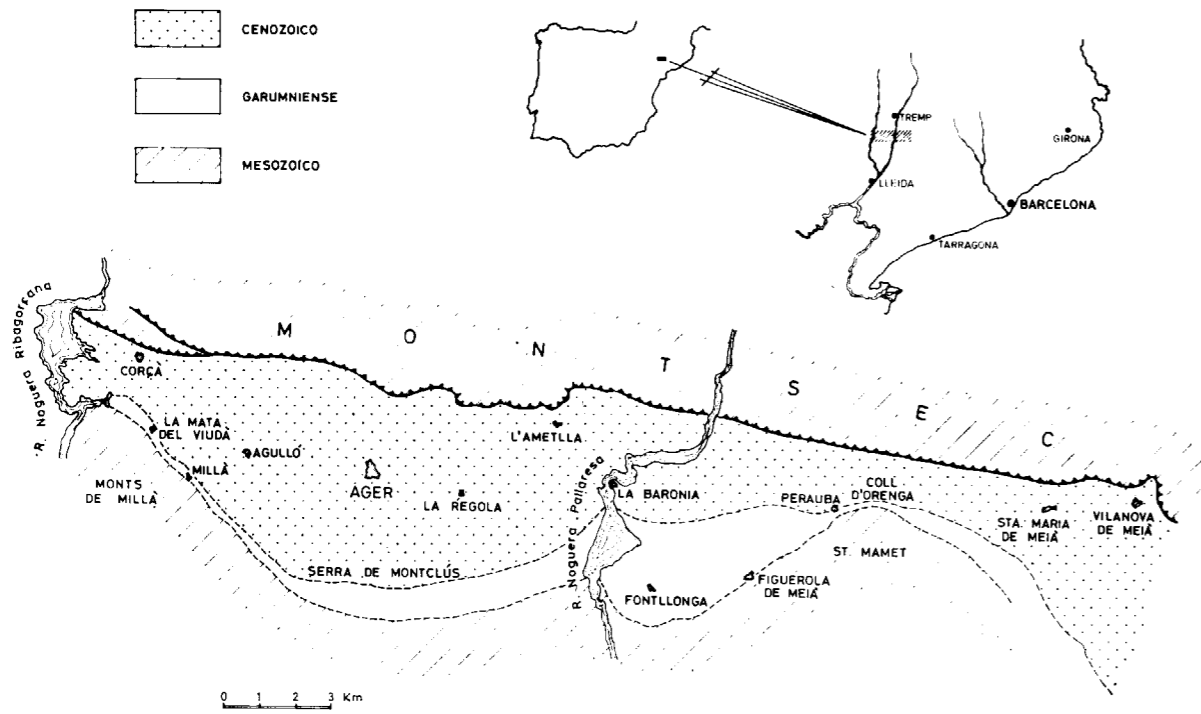


Figura 1.—Localización del «Garumniense» del flanco S del sinclinal d'Ager.

parte superior, tanto en formaciones calizas como en margosas, es particularmente abundante el *Microcodium*.

En este trabajo, se citan, en primer lugar, diferentes tipos de estromatolitos situados en distintos niveles de la serie, y se describen formas desarrolladas sobre valvas de lamelibranquios. En segundo lugar, se da a conocer, asociados a estas formaciones estromatolíticas, el hallazgo de fragmentos de placas de huevos, restos óseos indeterminables y un diente de dinosaurio. Y, en tercer lugar, se propone una interpretación del medio sedimentario en el que se depositaron los materiales.

LOS RESTOS ESTROMATOLITICOS

FREEMAN (1978), en un corto resumen, dio ya las características morfológicas y ambientales más importantes de estas formaciones estromatolíticas (\*).

(\*) El trabajo de FREEMAN et al. (en prensa) se refiere, asimismo, a las características sedimentológicas de algunas de estas formaciones estromatolíticas.

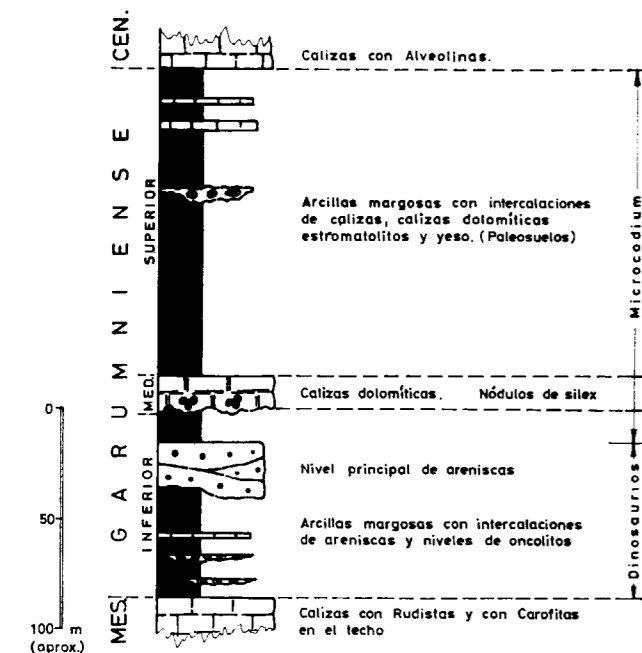


Figura 2.—Columna estratigráfica sintética del «Garumniense» al S del Montsec.

Tanto los niveles intercalados en el tramo lutítico superior como los del inferior han sido originados en unas condiciones de sedimentación muy similares y, posiblemente, por el mismo grupo de algas Cianofíceas. No obstante, existen marcadas diferencias morfológicas entre ambos.

Niveles estromatolíticos del tramo inferior

En el tramo lutítico inferior (fig. 2) dominan los estromatolitos de tipo oncolítico. Se intercalan en las inmediaciones de la base de dicho tramo y se distribuyen a lo largo de todo el flanco S del sinclinal de Ager. Dichos niveles tienen forma lenticular; su potencia no sobrepasa 1 m. y su extensión lateral alcanza como máximo unas pocas decenas de metros. Algunos de ellos son claramente canaliformes, en los que los oncolitos unas veces se hallan seleccionados por tamaños y otras forman el depósito residual (*lag*), en cuyo caso el resto se halla ocupado por fragmentos de los mismos, de tamaño arena. Entre estos fragmentos son frecuentes los restos de tallos y oogonios de Carofitas. Esta arena presenta una estratificación cruzada a gran y mediana escala, con un marcado buzamiento bimodal.

En el tramo inferior los oncolitos son del tipo SS-C (esferoides colocados concéntricamente; según la nomenclatura de LOGAN et al., 1964). Su diámetro máximo es por lo general inferior a 10 centímetros. En el valle del Noguera Ribagorzana, junto a la Mata del Viudà, existe un pequeño nivel estromatolítico del tipo LLH (hemiesferoides unidos lateralmente; LOGAN et al. op. cit.) que pasa lateralmente a formaciones oncolíticas.

La morfología externa que presentan es variada, Son más o menos globosos, frecuentemente algo aplanados y, a veces, presentan una forma que denominamos «de oreja». Los tipos de núcleos de crecimiento son diversos, desde fragmentos de roca, restos óseos de dinosaurio, trozos de madera, a conchas de moluscos, especialmente lamelibranquios. Son escasos los gasterópodos, como lo demuestra el hecho de haber encontrado solamente tres ejemplares, pertenecientes a *Melanopsis*, uno de los cuales actúa como núcleo de crecimiento algal.

Las valvas de los lamelibranquios están desarticuladas y su incrustación por algas da lugar a una forma de oncolito muy peculiar («forma de

oreja») (lámina I, fotos 1, 2 y 3). La incrustación algal unas veces afecta a toda la superficie de la valva y otras sólo a la cara externa. En el primer caso la concha se encuentra generalmente recristalizada, conservándose su forma dentro de la concreción algal. En el segundo caso, la concha se ha disuelto o erosionado, conservándose tan sólo el molde externo, en el cual puede observarse la ornamentación concéntrica formada por las líneas de crecimiento.

Por su forma y ornamentación, la mayoría de las valvas pueden atribuirse a *Unio*. La presencia de ejemplares univalvos es debida al tipo, sencillo, de charnela que poseen, lo cual facilita su desarticulación después de la muerte del animal. La mayoría de las valvas, una vez desarticuladas, debieron adoptar una posición de equilibrio hidrodinámico, en zonas sumergidas tranquilas donde se originaron los crecimientos estromatolíticos.

*Melanopsis* y *Unio* viven actualmente en fondos blandos. El primero es epifaunal libre y el segundo vive parcialmente enterrado en el sedimento. Estos moluscos proliferan tanto en aguas dulces (ríos y lagos) como en aguas salobres, pudiendo asimismo encontrarse en medios de transición con predominio del continental sobre el marino.

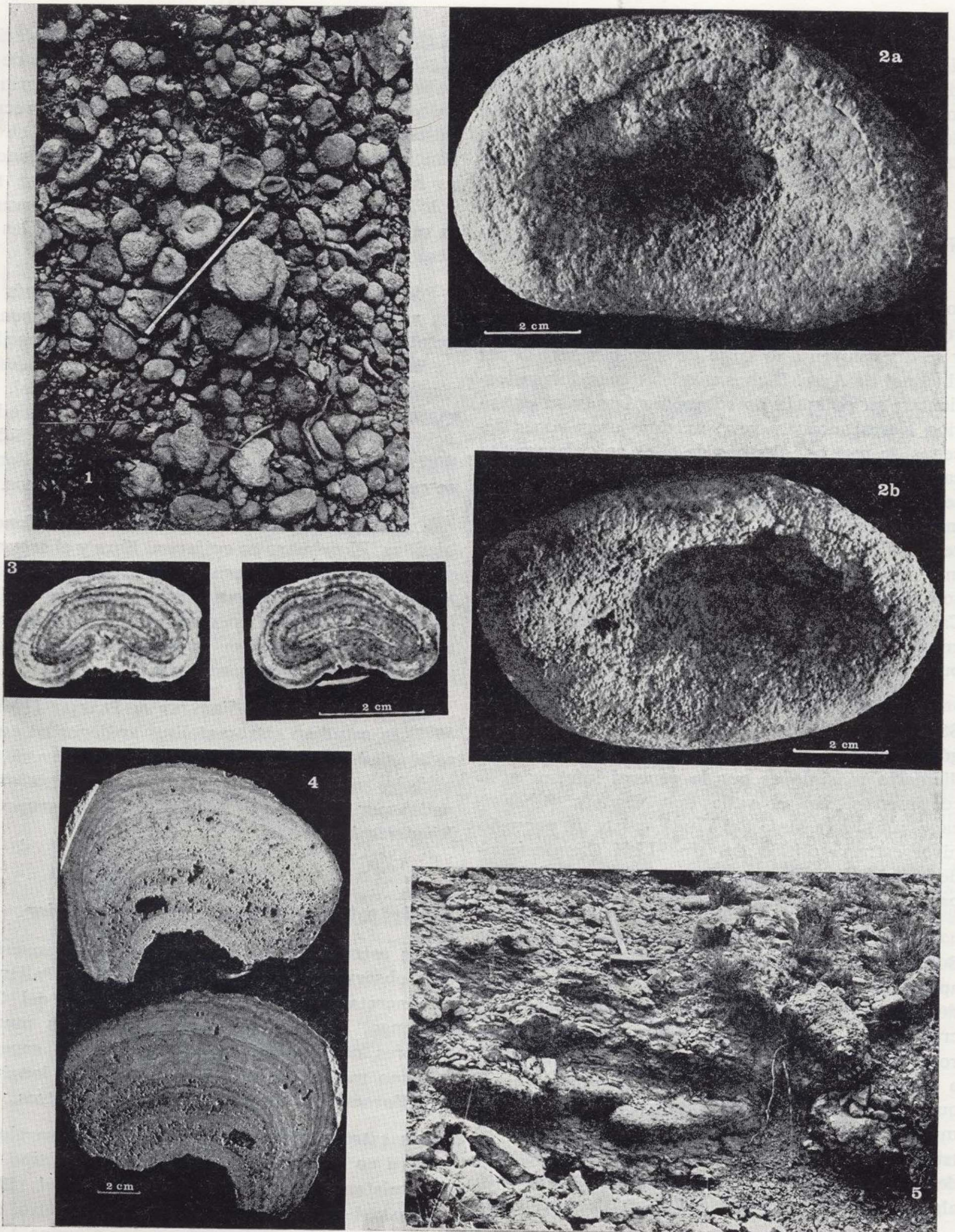
En los trabajos de FREYTET & PLAZIAT (1965 y 1972) se estudian estromatolitos análogos en cuanto a edad y medio sedimentario. La mayoría de edificios algales, según estos autores, son originados por Cianofíceas Rivulariáceas del grupo de *Rivularia hematites*.

Niveles estromatolíticos del tramo superior

Los estromatolitos del tramo lutítico superior, sólo observados en el valle del Noguera Pallaresa y concretamente en las inmediaciones del Coll d'Orenga, llegan a alcanzar dimensiones mucho mayores que los del tramo inferior. El espesor máximo medido es de 1,5 m. y con una longitud de afloramiento de un centenar de metros.

Los estromatolitos son de gran talla, ya globosos, ya en forma de «barra de pan» (del tipo SH o hemisferoides apilados, de LOGAN et al., 1964) de hasta 1 m. de largo y 30 cm. de diámetro, con la base hendida por una depresión (lámina I, fotos 4 y 5). Esta depresión estuvo ocupada por fragmentos de troncos de árbol sobre los cuales





- Foto 1.—Oncolitos del nivel arcilloso inferior. Entre Perauba y Figuerola de Meià. Obsérvese la abundancia de formas de «oreja».
- Foto 2.—Oncolitos en forma de «oreja». Nivel arcilloso inferior. Entre Peruaba y Figuerola de Meià.
- Foto 3.—Sección de un oncolito en forma de «oreja». Nivel arcilloso inferior. Entre Perauba y Figuerola de Meià.
- Foto 4.—Sección de un estromatolito en forma de «barra de pan». Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.
- Foto 5.—Conjunto de estromatolitos en forma de «barra de pan». Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.



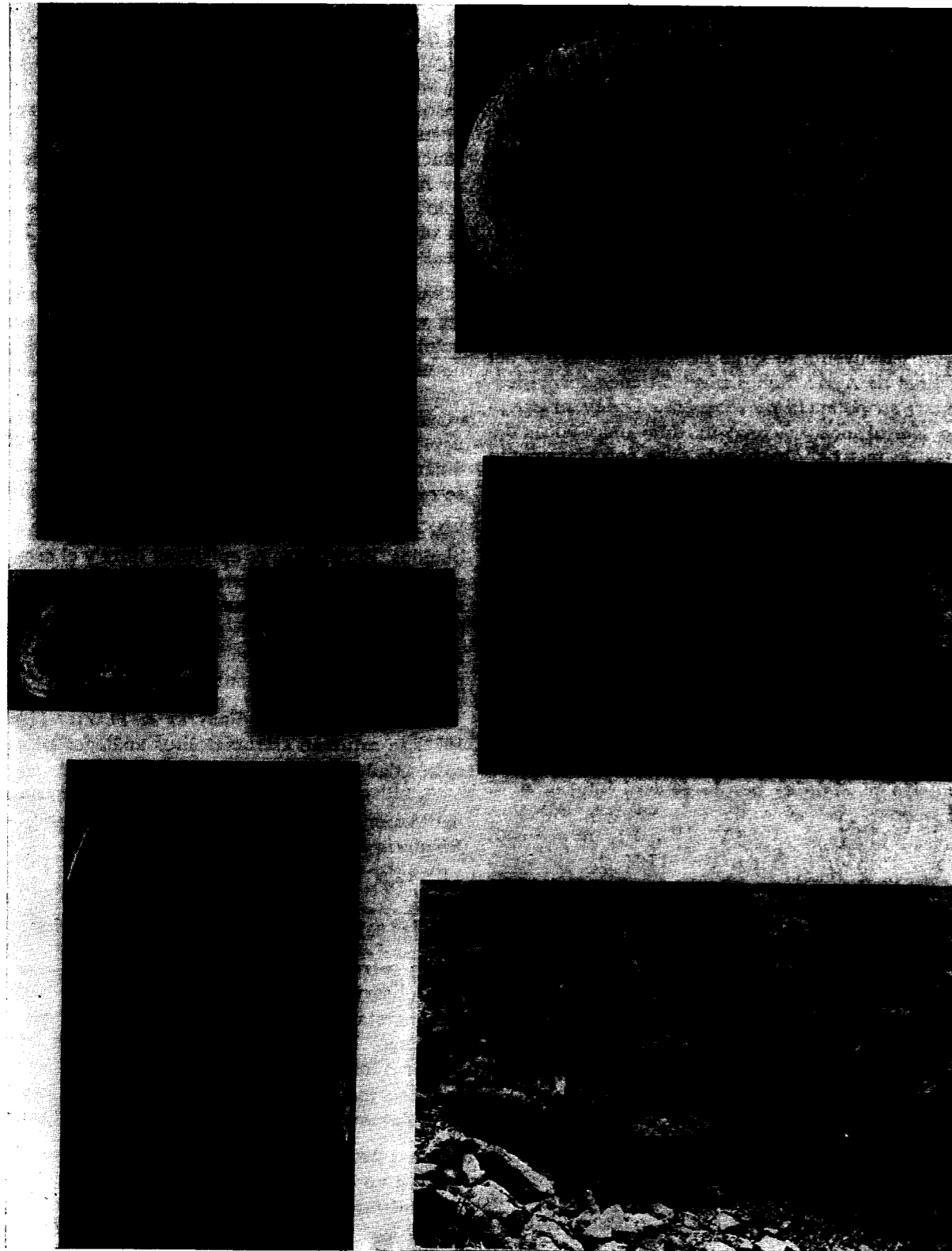


Foto 1.—Oncolitos del nivel arcilloso inferior. Entre Perauba y Figuerola de Meià. Obsérvese la abundancia de formas de «oreja».

Foto 2.—Oncolitos en forma de «oreja». Nivel arcilloso inferior. Entre Peruaba y Figuerola de Meià.

Foto 3.—Sección de un oncolito en forma de «oreja». Nivel arcilloso inferior. Entre Perauba y Figuerola de Meià.

Foto 4.—Sección de un estromatolito en forma de «barra de pan». Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.

Foto 5.—Conjunto de estromatolitos en forma de «barra de pan». Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.

creció el alga, pues frecuentemente se conservan las impresiones de la corteza del tronco.

Hay, además, estromatolitos de forma cilíndrica, de unos 4 cm. de diámetro (lámina II, foto 1), huecos en el centro, que pueden interpretarse como crecimientos algales alrededor de ramas o raíces.

Asociados a los anteriores, localmente se presentan estromatolitos del tipo LLH, que dan lugar a domos de hasta 0,5 m. de altura y 2 m. de longitud (lámina II, foto 2).

#### Restos de dinosaurios

Asociados a los estromatolitos del tramo arcilloso inferior, en las inmediaciones del Coll d'Orenga (entre Perauba y Figuerola de Meià), hemos hallado restos de dinosaurios (fragmentos de huesos y de placas de huevo y un diente). En la misma posición estratigráfica, pero en intercalaciones areniscosas, se sitúa el yacimiento de La Mata del Viudà, donde se han encontrado huesos asociados a pisadas (LLOMPART, 1979), y el del cementerio del desaparecido, bajo las aguas del embalse de Canelles, pueblo de Blancafort.

Restos de huevos fueron citados por LAPPARENT (1958), por vez primera en el Prepirineo leridano, en la Conca de Tremp. Estos restos proceden del techo de la arenisca de Areny y niveles inmediatamente suprayacentes, en el barranco de Bastús y en el barranco de la Costa Gran. Más tarde, LIEBAU (1973) los menciona del barranco de La Posa.

El diente de dinosaurio (lámina II, fotos 3, 4, 5 y 6) es atribuible por sus caracteres morfológicos a un Ornitópodo. Dada la monotonía en la forma de estas piezas dentarias y por tratarse de un solo ejemplar, lo atribuimos, con ciertas reservas, a un Iguanodóntido (LAPPARENT & LAVOCAT, 1955; STEEL, 1969; TAQUET, 1976; GALTON & POWELL, 1980; SANTAFÉ *et al.*, en prensa). De este grupo, en la Conca de Tremp, se han citado únicamente restos óseos de *Rhabdodon priscum* (en LAPPARENT & AGUIRRE, 1956 a y b). La dentición de *Rhabdodon* fue descrita y figurada, por vez primera, por MATHERON (1869), del Cretácico Superior de Fuveau (Provenza); luego, por NOPCSA (1904), de Transilvania, y por LAPPARENT (1947), del sur de Francia. El ejemplar de Figuerola de Meià, aun-

que similar a los figurados por los autores citados, presenta apreciables diferencias morfológicas respecto a aquéllos. Su comparación con otros Iguanodóntidos del Cretácico Superior, de dentición conocida (DOLLO, 1883; STEEL, 1969), tampoco ha permitido su exacta localización. Todo ello nos induce a guardar cierta prudencia en el momento de su atribución genérica.

#### Descripción de la pieza dentaria

El diente está roto a nivel de la raíz, conservándose sólo la corona. Su forma espatulada y su ornamentación son típicamente ornitisquias.

El acentuado desarrollo de la cresta primaria, su posición retrasada en relación al eje de alargamiento del diente, así como la escasa curvatura de éste (criterios válidos para orientar una pieza; según TAQUET, 1976), nos permiten afirmar que se trata de un diente maxilar izquierdo.

El diámetro máximo mesio-distal de la pieza es de 17,9 mm.

Sobre la superficie vestibular (lámina II, foto 3), en la cual el esmalte es poco visible debido a su deficiente estado de conservación, se destaca una fuerte cresta primaria que, partiendo del margen oclusal y ensanchándose progresivamente, la recorre en toda su altura. Al llegar a la base, las dos aristas que limitan la cresta se separan bruscamente, yendo a alcanzar el borde distal (por su parte inferior) y el borde mesial (por su parte superior), respectivamente. Dicha cresta, ligeramente desplazada hacia el borde distal (TAQUET, 1976), divide la cara externa del diente en dos zonas, una anterior (la de mayor superficie) y otra posterior, las cuales están ornamentadas con finas crestas secundarias. Estas crestas, de longitud variable, alcanzan el borde oclusal, que es denticulado, corren prácticamente paralelas entre sí y ligeramente oblicuas respecto a la cresta primaria y a dicho borde.

El borde distal de la corona presenta finísimas crenulaciones que no llegan a alcanzar la base (lámina II, foto 5).

Sobre la cara lingual se observa una amplia superficie de desgaste que ocupa alrededor de un tercio de la superficie interna del diente, a la cual corta en bisel (lámina II, foto 4).



LAMINA II

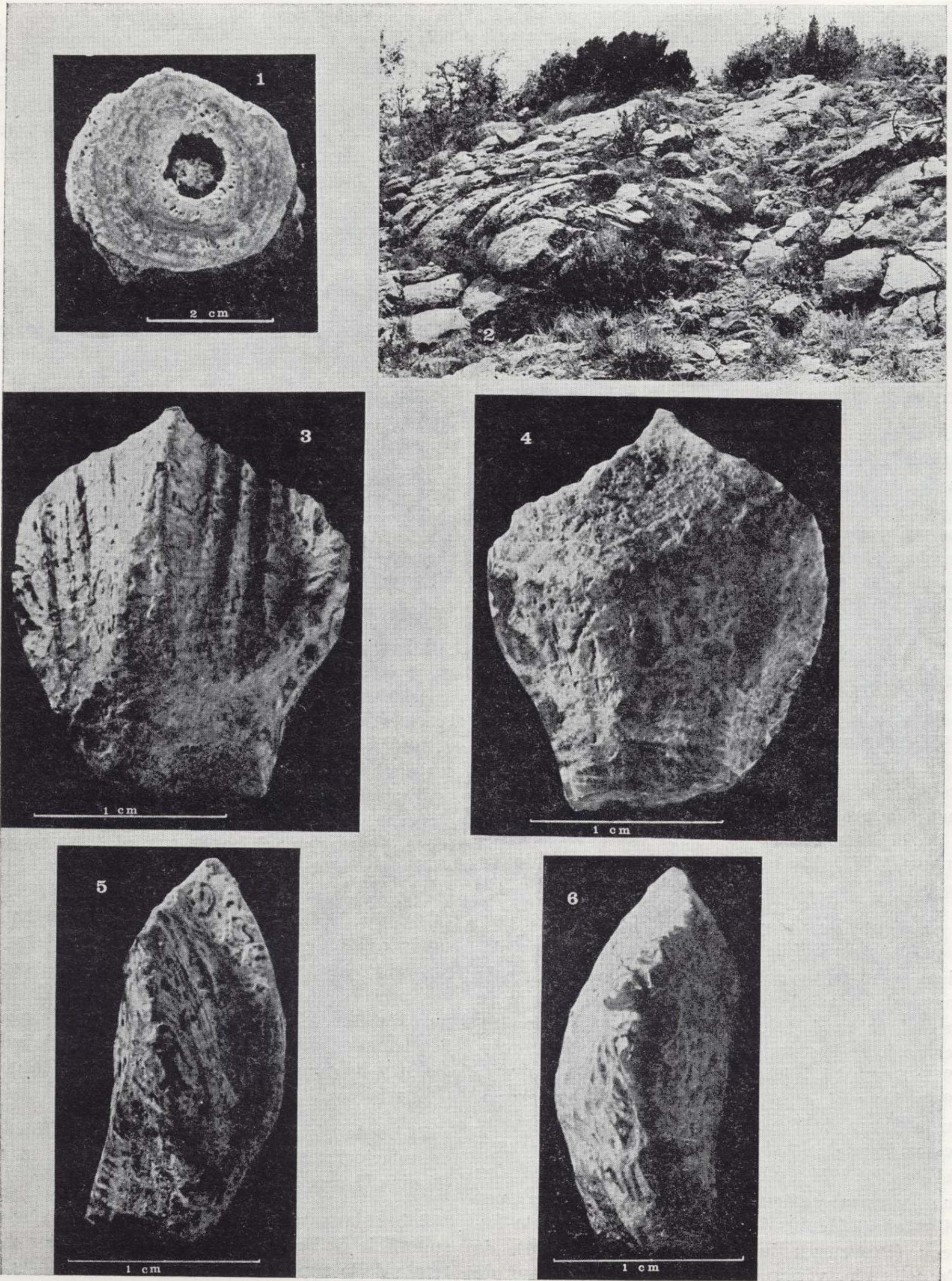


Foto 1.—Estromatolito cilíndrico con hueco central. Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.  
 Foto 2.—Domas estromatolíticas de tipo LLH. Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga. Obsérvese la escala (martillo) en el centro superior derecho del margen de la fotografía.  
 Fotos 3, 4, 5 y 6.—Diente de Ornitópodo. Vista vestibular, lingual, distal y mesial, respectivamente. Entre Perauba y Figuerola de Meià.



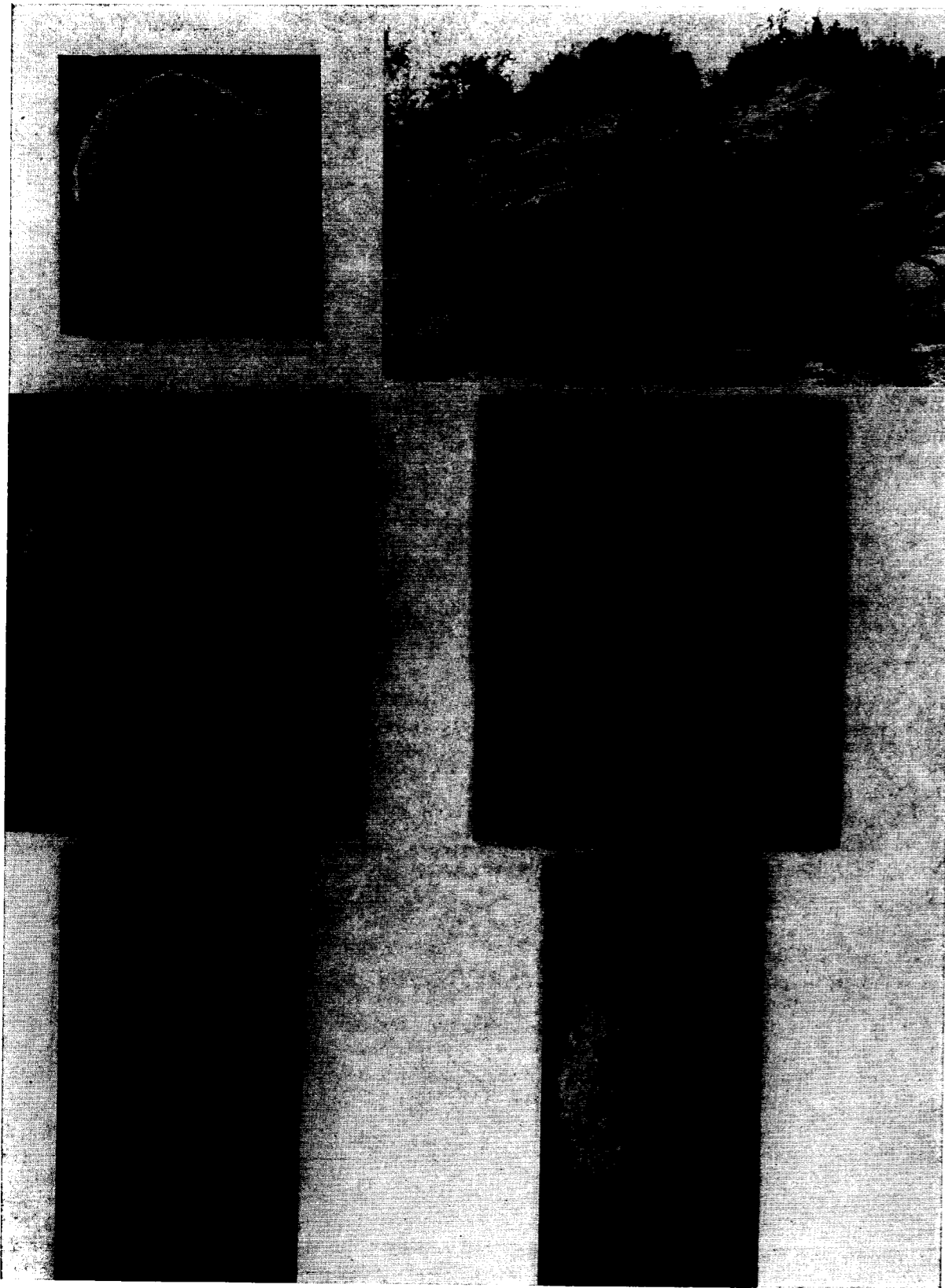


Foto 1.—Estromatolito cilíndrico con hueco central. Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga.  
 Foto 2.—Domos estromatolíticas de tipo LLH. Nivel arcilloso superior. Coll d'Orenga. Obsérvese la escala (martillo) en el centro superior derecho del margen de la fotografía.  
 Fotos 3, 4, 5 y 6.—Diente de Ornitópodo. Vista vestibular, lingual, distal y mesial, respectivamente. Entre Perauba y Figuerola de Meià.

### Interpretación ambiental

FREEMAN (1978) interpreta las series garumnien- ses del S del Montsec de Rubies como deposita- das en un ambiente fluvial, con un sistema de ca- nales y una llanura de inundación en la que se in- dividuaban cuencas lacustres (*lacustrine*) de aguas salobres. LLOMPART (1979) propone un es- quema paleogeográfico análogo para el Garumnien- se del S de Corcà. Esta interpretación, no obsta- te, por los tipos de estructuras sedimentarias que presentan las areniscas y, hasta cierto punto, por los tipos de estromatolitos, debe ser modificada.

El nivel principal arenoso, continuo en todo el flanco S del sinclinal de Ager, está compuesto en su mayoría por cuerpos canalizados imbricados. Estos canales están formados por areniscas cuar- zosas con estratificaciones cruzadas del tipo *he- rringbone bedding* y sigmoides con un retoque en el techo dando lugar a láminas opuestas a la la- minación principal.

Los estromatolitos de tipo SS, es decir, onco- líticos, pueden hallarse indistintamente en zonas marinas afectadas por corrientes y en medios lacustres y/o fluviales. Los del tipo LLH, por el con- trario, son característicos de áreas marinas (zonas supramareales), siendo muy raros o con pequeño desarrollo en medios lacustres o fluviales.

Los niveles arenosos con un dominio de la acción mareal sobre la fluvial, intercalados en una serie lutítica, junto a paleosuelos, niveles estroma- tolíticos (especialmente los de tipo LLH) y lacus- tres representados por calizas micríticas con Ca- rofitas, se depositaron en un ambiente suprama- real en el que la acción de las mareas se dejaba sentir preferentemente en las zonas canalizadas (canales fluviales que van a parar al mar) y en el resto (llanura de inundación) la influencia marina se manifestaba tan sólo en épocas de mareas vivas y en grandes temporales.

Por otra parte, el nivel arenoso principal podía abarcar áreas más extensas que el flanco S del sinclinal de Ager. En el flanco N del sinclinal de Tremp el nivel arenoso más importante, in- tercalado en el techo de la serie cretácica, son las «Areniscas de Areny». En el flanco S de dicho sinclinal (Montsec) es el tramo de areniscas «equi- valente» a la Fm. Areny. En ambos casos las are- niscas descansan sobre sedimentos marinos, repre- sentados por las «arcillas de Salàs» en el flanco N

y por las «calizas del Montsec» en el flanco S, ambas de edad campaniense.

Cabe la posibilidad de que la Fm. Areny del sin- clinal de Tremp sea correlacionable con el nivel principal de areniscas intragarumnienses del flan- co S del sinclinal de Ager. Estas constituirían el mecanismo de canalización a lo largo del cual se ha producido parcial o totalmente el transporte de la arena que las formaron. Ello viene en parte corroborado por el hecho de que los primeros ma- teriales por debajo del «Garumniense» al S del Montsec son de facies calizas y de edad campa- niense, no existiendo en los sedimentos maastri- chtienses otro nivel de areniscas que pueda ser correlacionado con las «Areniscas de Areny».

El tránsito entre el Secundario y el Terciario, en este sector del Prepirineo meridional, lo hemos acotado en la serie entre el nivel principal de areniscas y el nivel de calizas de la parte media (fig. 2). A falta de pruebas más precisas hemos basado la localización del tránsito entre ambas eras en lo siguiente:

a) La aparición de *Microcodium* en los prime- ros niveles calizos por encima del tramo principal de areniscas; criterio aplicado con carácter local, aun a sabiendas que la distribución vertical de dicha estructura es muchísimo más amplia.

b) El no haber hallado restos de dinosaurios en niveles superiores al tramo de areniscas antes mencionado.

Agradecemos a J. FERRER, H. P. LUTERBACHER, J. ROSELL y E. ELÍZAGA la lectura crítica del texto; y a L. CASANOVAS y J. V. SANTAFÉ la ayuda prestada en el estudio de los restos de dinosaurios.

### BIBLIOGRAFIA

- DOLLO, M. L.: *Note sur les restes de Dinosauriens ren- contrés dans le Crétacé supérieur de la Belgique*. Bull. Musee Royal d'Hist. Nat. de Belgique, t. II, pp. 205-221 (1883).
- FREEMAN, T.: *Oncolites from lacustrine sediments in Cre- taceous of Northeastern Spain*. AAPG bulletin, vol. 62/3, p. 514, Tulsa (Oklahoma) (1978).
- FREEMAN, T.; ROSELL, J., & OBRADOR, A. (en prensa): *Oncolites from lacustrine sediments in the Cretaceous of northeastern Spain*. Sedimentology.



- FREYET, P., & PLAZIAT, J. C.: *Importance des constructions algaires dues à des Cyanophycées dans les formations continentales de Crétacé supérieur et de l'Eocène du Languedoc*. Bol. Soc. Geol. Fr. (7), VII, pp. 679-694, 3 figs., 1 tb., 3 text. pl., pl. XV-XVII, Paris (1965).
- FREYET, P., & PLAZIAT, J. C.: *Les constructions algaires continentales stromatolitiques. Exemples pris dans le Crétacé supérieur et le Tertiaire de France et d'Espagne du Nord*. XXIV Intern. Geol. Congr. (1972), Sect. 7, pp. 524-534, 7 figs., Montreal (1972).
- GALTON, P. M., & POWELL, H. P.: *The ornithischian dinosaur «Camptosaurus prestwichii» from the Upper Jurassic of England*. Palaeontology, vol. 23, p. 2, pp. 411-443, láms. 51-52, London (1980).
- LAPPARENT, A. F. DE: *Les Dinosauriens du Crétacé supérieur du Midi de la France*. Mem. Soc. Geol. France, núm. 56, Paris (1947).
- LAPPARENT, A. F. DE: *Découverte d'un gisement d'oeufs de Dinosauriens dans le Crétacé supérieur du bassin de Tremp (Province de Lérida, Espagne)*. C. R. Ac. Sc., t. 247, pp. 1879-1880, Paris (1958).
- LAPPARENT, A. F. DE, & AGUIRRE, E.: *Présence de Dinosauriens dans le Crétacé supérieur du bassin de Tremp (Province de Lérida, Espagne)*. C. R. Somm. Soc. Geol. Fr., 14, pp. 261-262, Paris (1956 a).
- LAPPARENT, A. F. DE, & AGUIRRE, E.: *Algunos yacimientos de Dinosaurios en el Cretácico superior de la Conca de Tremp*. Estudios Geológicos, t. 12, núm. 31-32, pp. 377-382, Madrid (1956 b).
- LAPPARENT, A. F. DE, & LAVOCAT, R.: *Dinosauriens*. In J. PIEVETAU: *Traité de Paléontologie*, T. S., pp. 785-962, Ed. Masson, Paris (1955).
- LIEBAU, A.: *El Maastrichtiense lagunar («Garumniense») de Isona*. In: XIII Coloquio europeo de Micropaleontología, pp. 87-100. ENADIMSA, Madrid (1973).
- LOGAN, B. W.; REZAK, R., & GINSBURG, R. N.: *Classification and environmental significance of stromatolites*. J. Geol., 72, núm. 1, pp. 68-83, Chicago (Illinois) (1964).
- LLOMPART, C.: *Yacimiento de huellas de pisadas de Reptil en el Cretácico superior prepirenaico*. Preprint: Tomo Homenaje Dr. Sole Sabaris, 12 pp., 4 figs., Univ. Autònoma, Barcelona (1979).
- MATHERON, PH.: *Notice sur les Reptiles fossiles des dépôts fluvio-lacustres crétacés du bassin à lignites du Fuveau*. Mem. Acad. Imper. Sci. Belles-Lettres et Arts de Marseille, pp. 5-39, 5 pl., Paris (1869).
- MEY, P. W. H.; NAGTEGAAL, P. J. C.; ROBERTI, K. J., & HARTEVELT, J. J. A.: *Lithostratigraphic sub-division of post-hercinian deposits in the south central Pyrénées, Spain*. Leidse Geol. Mededel., vol. 41, pp. 221-228, 1 fig., 1 cuadro, Leiden (1968).
- NOPCSA, F. VON: *Dinosaurierreste aus Siebenbürgen, III: Weitere Schädelreste von «Mochlodon»*. Denkschr. K. K. Akad. Wiss. Wien., t. 74, pp. 230-263, 2 taf., 21 text., fig., Wien (1904).
- ROSELL, J.: *Estudio geológico del sector del Prepireneo comprendido entre los ríos Segre y Noguera Ribagorzana (Prov. de Lérida)*. Pirineos, núms. 75-78, año XXI (1965), 226 pp., 54 cortes, 21 fotos, 1 mapa geol., Zaragoza (1968).
- SANTAFE, J. VTE.; CASANOVAS, M. L.; SANZ, J. L., & CALZADA, S.: *Geología y paleontología de las capas rojas de Morrell (Castellón, España)*. Publicaciones Diputación Castellón-Barcelona (en prensa).
- STEEL, R.: *Ornithischia*. In O. KUHN (editor): *Handbuch der Paläoherpetologie*. Part. 15, pp. 1-84, 24 figs. Stuttgart (1969).
- TAQUET, PH.: *Géologie et paléontologie du gisement de Gadoufaoua (Aptien du Niger)*. Cahiers de Paleontologie, Ed. C.N.R.S., 191 pp. XXIV pl., Paris (1976).

Recibido: Septiembre de 1981

## Peculiaridades y disposición de la Unidad de Benamocarra en la transversal de Sierra Tejeda (zona Bética). - Su atribución al Complejo Alpujarride

Por J. J. ELORZA (\*)

### R E S U M E N

En este trabajo se intenta precisar y describir algunas de las características propias de los materiales encuadrados en la «Unidad de Benamocarra», denominación acuñada por diferentes investigadores para una formación fundamentalmente esquistosa que se extiende desde la costa oriental de Málaga hacia el NW.

La Unidad de Benamocarra se encuentra en su disposición geométrica por debajo de los materiales pertenecientes al Complejo Maláguide y por encima de los materiales del Complejo Alpujarride, presentando dificultades en cuanto a su adscripción a uno u otro complejo.

Los resultados del estudio comparativo que hemos realizado de las características litológicas, metamórficas, estructurales y coincidencias geoquímicas de esta unidad con materiales de igual grado metamórfico (zona estauro-lita) netamente alpujarrides y con otros materiales, apoya su atribución al Complejo Alpujarride.

Sin embargo, no existen datos suficientemente definitorios para poder afirmar que actuara esta unidad como substrato de la columna maláguide que actualmente soporta.

### A B S T R A C T

This paper describes some of the specific characters of the «Benamocarra Unit» (B.U.), name given to a mainly meta-pelites formation which goes from the Malaga East coast towards the N. W. That Unit is geometrically placed under materials of the «Malaguide Complex» and just over the materials of the «Alpujarride Complex». There are difficulties to establish to which one of the two Complexes it belongs.

A study of the litological, metamorphical, structural and chemical features, of the «B.U.», and its comparison with those features of Alpujarride materials presenting the same metamorphic grade (staurolite zone), and with other type of materials, leads to conclude that the «B.U.» belongs to the Alpujarride Complex.

However there are not enough data to confirm if the «B.U.» could have acted as substratum of the Malaguide column which actually it supports.

### INTRODUCCION

La denominación «Unidad de Benamocarra» (U.B.) fue acuñada hacia 1975, por acuerdo de los diferentes investigadores que trabajaron los sectores costeros de la provincia de Málaga durante la realización del plan MAGNA. Se trata de una formación predominantemente esquistosa con caracteres propios más o menos desarrollados, que se extiende irregularmente, a juicio de aquellos investigadores, por las Hojas de Vélez-Málaga, Málaga-Torremolinos, Colmenar, Coin, Alora, Estepona y Zafarraya.

La aparición geográfica más oriental reconocida

(\*) Departamento de Geología. Universidad del País Vasco. Apartado 644. Bilbao.

de la U.B. se localiza en las cercanías de la desembocadura del río Lagos (SE de Vélez-Málaga) y adquiere un importante desarrollo hacia el NO, alcanzando las localidades de Algarrobo, Vélez-Málaga, Benamocarra, etc., todas ellas situadas en los límites orientales de la provincia de Málaga (Hoja de Vélez-Málaga). Este es el fragmento de la Unidad objeto de nuestro estudio.

En las primeras investigaciones realizadas, los materiales que constituyen la U.B., junto con otros situados más al E, hoy claramente alpujarrides, fueron considerados asimilables a la base del entonces llamado Bético de Málaga s. l. (BLUMENTHAL, 1935; COPPONEX, 1959). En el transcurso de los años, a medida que se dispone de un mayor número de datos, surge la opinión, luego genera-



lizada, que incorpora parte de los términos basales del Bético de Málaga s. l. referido por BLUMENTHAL (1927-35), FALLOT (1948), KOCKEL (1959), a unidades alpujárrides subyacentes, tal como queda reflejado en la síntesis que MAUTHE (1971) hace de los trabajos efectuados por diferentes autores alemanes en la Serranía de Ronda (DURR, 1967; MOLLAT, 1968; BUNTFUS, 1970).

También en la transversal de Sierra Tejeda, BOULIN (1970) pone en duda la pertenencia al por él considerado dominio maláguide de una parte importante de los materiales basales (conjunto inferior), puesto que estos materiales ofrecen aspectos no identificables con la admitida columna estratigráfica maláguide, reflejada por DURAND-DELGA (1968), MON (1969), etc. Posteriormente, para otros sectores de la Cordillera es aceptada la tesis de que la columna maláguide se inicia con materiales detríticos de cuarcitas, conglomerados, filitas propuestos como presilúrico/silúricos (DIDON et al., 1973; NAVARRO-VILÁ, 1976; FELDER, 1980, etc.).

Por otra parte, los materiales considerados pertenecientes a la U.B., tampoco poseen todas las formaciones y componentes litológicos que habitualmente muestran las unidades asignadas al Complejo Alpujárride, pues además ofrecen unas relaciones estructurales no comunes con respecto a las unidades vecinas. Por todo esto nos encontramos en principio ante un interesante problema de atribución de esta Unidad.

El presente estudio intenta precisar y describir algunas características propias de los materiales encuadrados en la U.B., que nos permitan definir éstos con más exactitud, y apoyar la adscripción de dicha Unidad a uno u otro Complejo.

#### BREVE RESUMEN HISTORICO Y CONSIDERACIONES GENERALES DEL AREA ESTUDIADA

Después de los trabajos de BLUMENTHAL (1927-1935) y COPPONEX (1959), ya citados, BOULIN (1970) estudia una gran área que se extiende desde Motril a Málaga. Establece una secuencia de unidades pertenecientes a los Complejos Nevado-Filábride, Alpujárride y Maláguide, en la cual figura, entre otras muchas innovaciones, el considerable retraso hacia el O del contacto mecánico entre el

Complejo Maláguide y Complejo Alpujárride. Presenta, además, BOULIN algunas consideraciones sobre la pertenencia de sus «schistes cristallins à phenoblastes» asignados con la sigla (Mm) y considerados ante-silúricos al complejo maláguide o complejo alpujárride; finalmente se inclina por la hipótesis de estimar estos materiales como parte del posible zócalo maláguide afectado de metamorfismo regional, y como constituyentes del «conjunto inferior» de la serie al este de los Montes de Málaga.

En la transversal de Sierra Tejeda, recientemente ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS (1978) y ELORZA (1979) han definido y encuadrado en diferentes mantos alpujárrides un conjunto de unidades en base a criterios litológicos, petrológicos y estructurales no coincidentes con los utilizados por los anteriores autores, lo que ha conducido a un cambio sustancial y notable en la interpretación general del área.

La secuencia de los materiales en orden descendente es la siguiente:

- Unidad de Benamocarra (U.B.) (9).
- Manto de Los Guájares (M.G.).
  - Unidad de El Charcón (8).
  - Unidad de Sayalonga (7).
- Manto de Salobreña (M.S.).
  - Unidad de Venta de Palma (6).
  - Unidad de Canillas de Albaida (5).
- Manto de La Herradura (M.H.).
  - Unidad de Las Alberquillas (4).
  - Unidad de La Tejeda (3).
  - Escama de Calixto (2).
  - Unidad de Jate (1).

Además están presentes en pequeños retazos materiales pertenecientes al Complejo Maláguide (10) y en una menor extensión los postorogénicos discordantes Neógeno y Cuaternario (11) (fig. 1).

Dichas unidades se corresponden por sus características con lo que SIMON et al. (1976) han llamado «conjunto alpujárride superior» ampliamente desarrollado en las áreas central y occidental de las «zonas internas» de la Cordillera Bética definidas por FALLOT (1948).

En el área de Vélez-Málaga, ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS (1978) coinciden a grandes rasgos con el trazado cartográfico que BOULIN (1970) realizó en-

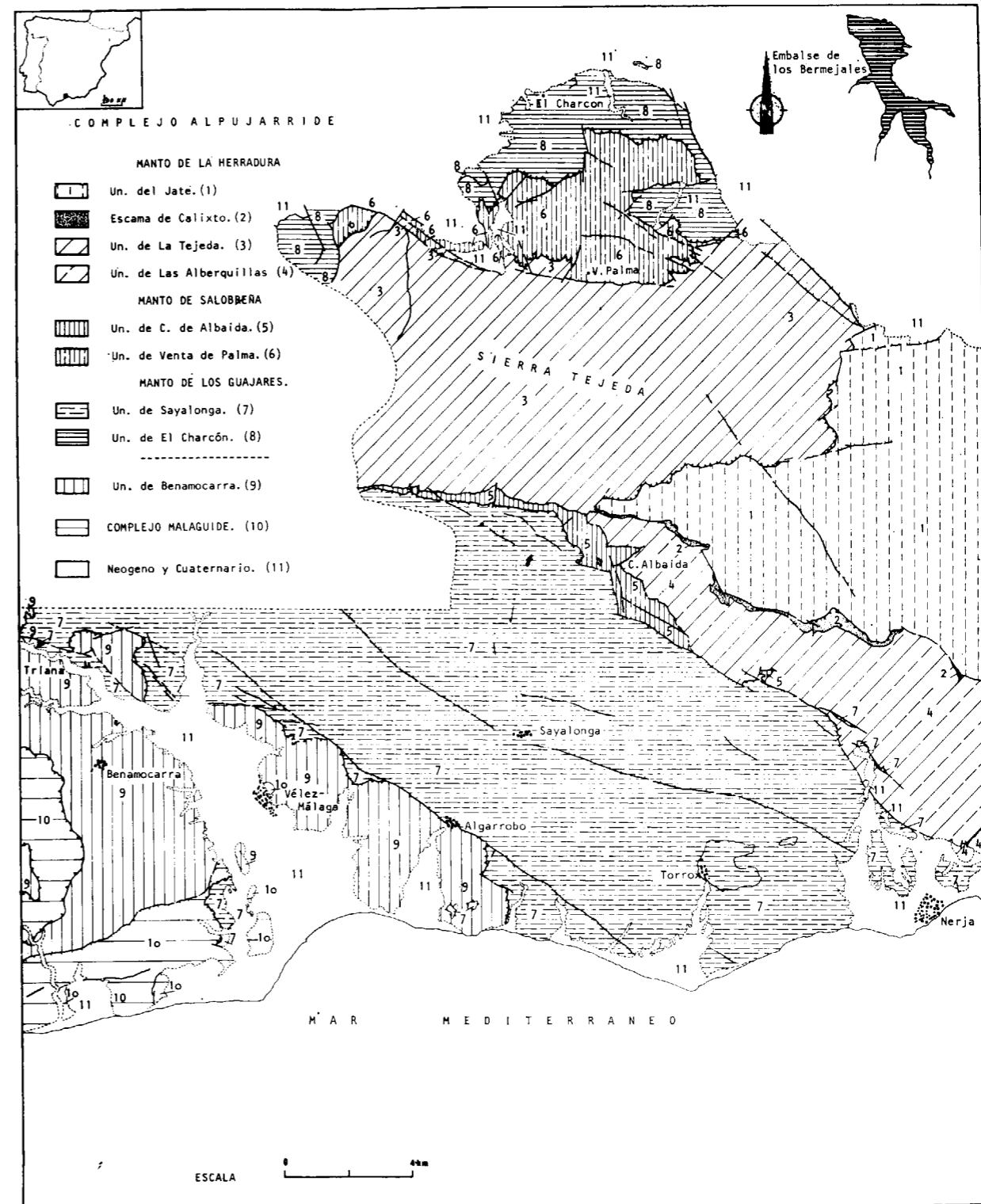


Figura 1.—Esquema de las unidades alpujárrides en la transversal de Sierra Tejeda (ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS, 1978; ELORZA, 1979).



tre sus «schistes cristallins à phenoblastes» (Mm) (equivalentes a la U.B.) y los claramente alpujárrides. Sin embargo, al estudiar aquellos materiales de la U.B. aprecian unos rasgos litológicos, estructurales, petrológicos, etc., que dan a ésta una marcada «afinidad» alpujárride, por lo cual resulta difícil desvincularla del Complejo Alpujárride, inmediatamente subyacente.

ESTÉVEZ y CHAMON (1978), en su estudio del área de Málaga-Torremolinos consideran, al igual que BOULIN (1970), que la llamada U.B. allí presente debe incluirse en el Complejo Maláguide, puesto que si bien el contacto superior con los esquistos propiamente maláguides es en gran parte mecánico, aprecian en varios puntos la continuidad progresiva de litologías (arroyo Granadillas, Moclinejo). Por ello se muestran partidarios de tomar la citada Unidad como un término basal del maláguide, si bien admiten que constituye un elemento tectónico en discusión.

Las consideraciones generales más destacables de los materiales alpujárrides presentes en la transversal de Sierra Tejeda se pueden resumir en las siguientes: aparecen afectados, independientemente de la existencia o no de una orogenia hercínica, por varias etapas de metamorfismo y deformación alpinas (D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>, D<sub>4</sub>-D<sub>5</sub>), previas al desarrollo de las importantes cizallas (D<sub>6</sub>) a partir de las cuales, por medio de un empuje continuo o de sucesivos empujes intermitentes posteriores, se produce la traslación y empilamiento de unas unidades sobre otras. Estas cizallas han quedado en gran parte enmascaradas por la tectónica distensiva tardía, lo que explica que la mayoría de los contactos entre unidades sean a través de fallas normales (N 130 ± 10° E), generalmente con una componente horizontal dextrósum y un fuerte ángulo de buzamiento (70° ± 10°) (ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS, 1978; ELORZA, 1979).

El metamorfismo polifásico de presiones intermedias y bajas presiones que afecta a estos materiales consigue, en su grado más intenso, las condiciones de presión y temperatura idóneas para alcanzar, en dos ocasiones, la isograda de sillimanita-Feld. K (D<sub>1</sub> y D<sub>2</sub>). Ello produce la fusión parcial de los materiales gneísicos presentes en la base de algunas Unidades (Un. Sayalonga, Un. Venta de Palma, Un. de Canillas).

Para la U.S. de importante extensión, podemos seguir lo establecido por ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS

(1978) para la división de la sucesión metapelítica en diferentes zonas metamórficas, que de arriba a abajo son:

- Zona de clorita-biotita (Esquistos de Lagos). Correspondientes a la Formación Otivar.
- Zona de estaurolita (Esquistos de Calaceite). Correspondientes a la Formación Jate.
- Zona de sillimanita-moscovita (Esquistos de Guanos). Correspondientes a la Formación Benthomiz.
- Zona de sillimanita-Feld. K (Gneis de Torrox). Correspondientes a la Formación Benthomiz.

La U.B. muestra también los efectos producidos por las mismas etapas de metamorfismo y deformación indicadas para los alpujárrides; se presenta como una sucesión monótona, caracterizada por micasquistos, cuarzoquistos y cuarcitas alternantes, con una potencia máxima aproximada de 700 m. (fig. 2), con tonos en general muy oscuros y rojizos que comúnmente alcanzan la zona metamórfica del granate, y llega en sus niveles visibles más profundos a la zona de estaurolita. En algunos lechos puede apreciarse la presencia de cloritoide coexistiendo con estaurolita. BOULIN (1970, p. 52) indica haber encontrado excepcionalmente sillimanita fibrosa, sin especificar el nivel o lugar exacto. ESTÉVEZ y CHAMON (1978) mencionan para esta misma unidad la presencia de sillimanita y cianita en el área de Málaga-Torremolinos.

Estas características permiten suponer, en buena lógica, la pertenencia de esta sucesión a la formación más profunda de las cuatro que habitualmente se distinguen en los Alpujárrides (VRIES y ZWANN, 1967; EGELER y SIMON, 1969; ALDAYA, 1969) y que en la transversal de Sierra Tejeda es denominada «Formación Benthomiz» por ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS (1978). Faltan, por consiguiente, para completar la serie «alpujárride tipo» la Formación Carbonatada (Trías Medio-Superior), la Formación Otivar constituida por esquistos y cuarcitas de grano fino y tonos claros (Permo-werfeniense) y la Formación Jate de micasquistos, cuarcitas e intercalaciones calcosilicatadas (Paleozoico Superior).

Otro rasgo peculiar de la U.B. es la gran cantidad de rocas máficas en ella presentes, con un alto contenido en alúmina (tabla 1), muy alteradas y dispuestas en diques subverticales de pequeña potencia (2-3 m.), de direcciones variables, afec-

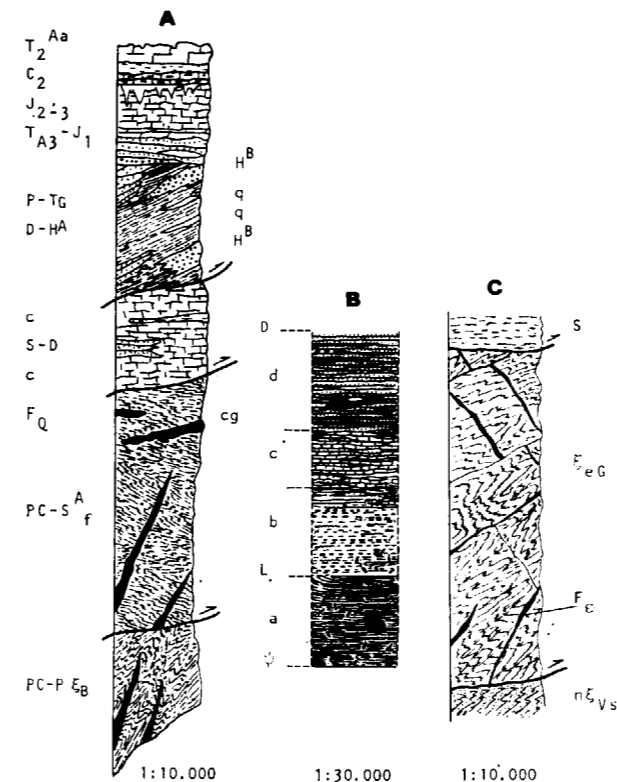


Figura 2.—Columnas estratigráficas de los diferentes materiales que se encuentran en el área oriental de la provincia de Málaga, según diferentes autores:

A. ESTÉVEZ y CHAMÓN (1978). En el área Málaga-Torremolinos:

- PC-P<sub>E<sub>n</sub></sub> Micasquistos con granate, andalucita y estaurolita. Unidad de Benamocarra. Paleozoico-Precámbrico.
- PC-S<sub>f</sub><sup>A</sup> Filitas y metaareniscas maláguides. Ordovicio-Precámbrico.
- cg Conglomerados silíceos.
- FQ Diques de cuarzo.
- S-D Calizas, filitas y grauwacas. Devónico-Silúrico.
- c Calizas.
- D-H<sup>A</sup> Grauwacas y filitas. Carbonífero-Devónico.
- P-T<sub>g</sub> Areniscas, conglomerados, yesos, arcillas. Permo-Triásico.
- T<sub>A3</sub>-J<sub>1</sub> Dolomías. Lías.
- J<sub>2-3</sub> Calizas blancas. Dogger y Malm.
- C<sub>2</sub> Calizas rojas. Cretácico Superior.
- T<sub>2</sub><sup>Aa</sup> Calizas y margas. Eoceno Inferior.

B. BOULIN (1970). Vertiente sur del E de los Montes de Málaga:

- ψ Contacto anormal, serie de Montes de Málaga cabalga sobre la serie del Macizo de Vélez-Málaga.
- D Límite inferior de los conglomerados pérmicos.
- L Separación del conjunto inferior-superior.
- a Conjunto inferior.
- b Silúrico maláguide probable.
- c Devónico maláguide probable.
- d Carbonífero maláguide datado.

C. ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS (1978). Área de Vélez-Málaga:

- nξ<sub>vs</sub> Micasquistos negros grafitosos con sillimanita (U. Sayalonga).
- F<sub>e</sub> Diques de rocas básicas.
- ξ<sub>eG</sub> Micasquistos oscuros con estaurolita, granates y andalucita (U. Benamocarra).
- S Esquistos/filitas satinadas grises. Maláguide.

tadas por un cizallamiento posterior claramente visible. Este mismo tipo de rocas máficas aparecen en los materiales superpuestos mecánicamente a la U.B., considerados como esquistos/filitas maláguides si bien estos diques máficos no se presentan como continuidad de los diques anteriores. Por otro lado, en los materiales subyacentes a la U.B. que constituyen la Unidad de Sayalonga (U.S.), claramente alpujárride, sólo excepcionalmente han sido reconocidos los diques máficos concretamente en dos afloramientos apartados del contacto entre U.B. y U.S. Esta casi inexistencia de tales diques induce a pensar, a falta de una datación absoluta, que las rocas máficas fueron emplazadas tardíamente en un área limitada, durante un momento de relajación, pero con anterioridad a la etapa de traslación y superposición generalizada de las grandes unidades internas.

La existencia de diques de rocas máficas, no constituye ciertamente una característica extraña a los alpujárrides, puesto que en otros sectores han sido igualmente registrados; así, WESTRA (1969, p. 152) menciona la existencia de numerosos diques, de edad terciaria, en Sierra Cabrera (provincia de Almería) que atraviesan las metapelitas, consideradas, a su juicio, materiales indiscutiblemente alpujárrides.

#### CARACTERISTICAS DE LOS FILITAS/ESQUISTOS MALAGUIDES

En nuestra área, BOULIN (1970) atribuye a estos materiales una edad silúrica apoyándose en la datación que efectuó BLUMENTHAL (1930) en base a «*Michelinoceras sp.*» y «*Orthis umbria*» encontrados en las «calizas alabeadas» de ORUETA (1922) situadas más al O por encima de los materiales filitosos/esquistosos, fuera de nuestros límites. Posteriormente, KOCKEL (1959), a partir de conodontos, precisa la edad de la potente formación de calizas y grauwacas como Wenlok-Ludlow. Teniendo en cuenta estos datos consideramos que



las filitas/esquistos infrayacentes pertenecen al menos al Silúrico Inferior, sin descartar la posibilidad de que parte de ellos sean más antiguos, ya que no podemos determinar su límite inferior cronológico.

La existencia de estos materiales en el área estudiada es mínima. No obstante, allí donde se presentan están constituidos por lechos filitosos, de tonos grises azulados y satinados, que hacia niveles más profundos se hacen esquistos de grano fino, siendo afectados por un metamorfismo polifásico que llega a tener como minerales indicativos andalucita, biotita y cloritoide, no encontrándose granate; debido a la pequeña extensión no han sido vistos los conglomerados descritos en otros lugares. Y como hemos indicado anteriormente son atravesados por los diques de rocas máficas de aspecto semejante a los que surcan la U.B., aunque menos profusamente.

Por otra parte, se aprecia una compleja historia de deformación, tal como demuestran GÁLVEZ y OROZCO (1980) en materiales equiparables situados más al O (Montes de Málaga). En nuestra área destaca una esquistosidad principal ( $S_2$ ) afectada por un microplegado ( $D_3$ ) en ocasiones muy patente y de dirección N-S, rasgos semejantes a los mostrados por las sucesiones metapelíticas alpujarrides de grano fino (Formación Otivar) de atribuible edad Permo-werfeniense.

Todo ello les hace parcialmente confundibles, en principio, con materiales esquistosos de grano fino alpujarrides (Esquistos de Lagos); sin embargo, el estudio petrográfico muestra diferencias litológicas claras que nos permiten separar con una cierta garantía estos dos tipos. Además, la comparación de los datos obtenidos con los análisis químicos efectuados muestran diferencias significativas.

#### DISPOSICION DE LA UNIDAD DE BENAMOCARRA RESPECTO AL EDIFICIO DE MANTOS

Actualmente la U.B. se encuentra, en cuanto a su disposición geométrica, como nexo de unión entre el Complejo Maláguide y el Alpujarride. Limita en su muro, por medio de contactos de corrimiento y de fallas normales importantes, con materiales metapelíticos de la U.S. (Manto de Los

Guájares). Cuando el contacto entre los materiales proviene de un posible contacto de corrimiento, los materiales de la U.S. tienen un grano metamórfico más débil o aproximadamente igual que los de la U.B.; cuando el contacto es producto de una falla normal, el grado metamórfico de estos últimos es inferior. En ningún caso hemos observado que la U.B. se disponga sobre materiales de la Formación Carbonatada (Trías Medio-Superior) de la U.S., si bien esta formación carbonatada aparece mínimamente representada en el área.

En contacto mecánico, la U.B. queda recubierta por esquistos/filitas, atribuibles al maláguide, situación notablemente repetida al O, tal como señala BOULIN (1970) y se confirma en las últimas investigaciones realizadas por GÁLVEZ (comp. pers.), quien encuentra un contacto mecánico con un buzamiento apreciable y con el consiguiente salto de metamorfismo. Aunque por otro lado ESTÉVEZ y CHAMON (1978) en algunos puntos aprecian una continuidad progresiva entre los materiales de la U.B. y los propiamente maláguides.

La U.B. presente más al O (Montes de Málaga) ofrece, al igual que en área objeto de nuestro estudio, una notable uniformidad litológica y mantiene la existencia de diques de rocas máficas. Tampoco presenta sucesión carbonatada alguna que, junto con materiales esquistosos de grano fino, pudiera completar la Unidad y confirmar su pertenencia al Complejo Alpujarride.

En proximidad a la costa (Torre del Mar, Vélez-Málaga) los materiales de la U.B. quedan cubiertos discordantemente por materiales neógeno-cuaternarios. Minoritariamente se encuentran materiales devónicos, carboníferos, permotriásicos, jurásicos, eocénicos, de atribución netamente maláguide muy tectonizados y dispersos, estos últimos dispuestos sobre la U.B.

Se puede considerar, por tanto, que la U.B. se muestra dentro de nuestro sector como un afloramiento más o menos continuo oculto en parte por materiales post-tectónicos, que se extiende fuera de nuestra área en contados retazos hacia el N y NE (ELORZA *et al.*, 1978) y mucho más extensamente hacia el O y NO (Hojas de Málaga-Torremolinos, Colmenar, Coin, Alora, Estepona). Está limitada en su techo por materiales filitosos/esquistosos de grano fino maláguide y en su muro por materiales netamente alpujarrides.

#### CONSIDERACIONES PETROGRAFICAS Y GEOQUIMICAS

En el estudio microscópico comparativo realizado de la U.B. con respecto a la U.S. subyacente, se evidencia su clara pertenencia a la Formación Benthomiz, es decir, a la formación más profunda establecida en el «alpujarride tipo». Las relaciones texturales establecidas en lámina delgada permiten obtener un cuadro con las edades relativas de cristalización de los minerales de metamorfismo en las diferentes fases diferenciadas, que coinciden en gran manera con las obtenidas para los materiales afectados del mismo grado metamórfico, considerados de la formación Benthomiz y pertenecientes a la Unidad de Sayalonga (cuadro 1).

CUADRO 1

|                | $F_1$        |              | $F_2$        |              | $F_3$        |              |
|----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                | Sinc - $S_1$ | Post - $S_1$ | Sinc - $S_2$ | Post - $S_2$ | Sinc - $S_3$ | Post - $S_3$ |
| U. BENAMOCARRA |              |              |              |              |              |              |
| Cuarzo         | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Mica blanca    | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Clorita        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Biotita        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Cloritoide     | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Plagioclasa    | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Andalucita     | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Granate        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Estaurrolita   | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| U. SAYALONGA   |              |              |              |              |              |              |
| Cuarzo         | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Mica blanca    | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Clorita        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Biotita        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Plagioclasa    | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Andalucita     | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Granate        | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |
| Estaurrolita   | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          | ---          |

Edades relativas de cristalización de los minerales de metamorfismo de la Unidad de Benamocarra (zona estaurrolita) y de la Unidad de Sayalonga (zona de estaurrolita). Obsérvese la fuerte coincidencia.

Para el análisis químico según el método de BEA y POLO (1976) por A.A.S., han sido tomadas muestras en los siguientes materiales: esquistos/filitas de grano fino, netamente maláguides (ocho muestras); esquistos y cuarzo-esquistos de la U.B. (10 muestras); esquistos y cuarzo-esquistos de la U.S. (esquistos de Calaceite) de igual grado metamórfico que los tomados en la U.B. (15 muestras); esquistos/filitas (esquistos de Lagos) de grano fino pertenecientes a la U.S. (15 muestras) (tabla 1).

A pesar del corto número de muestras analizadas, en una primera aproximación, los datos químicos nos constatan, por medio del estudio

comparativo de los valores medios a través del test de homogeneidad (tabla 2), que los esquistos de U.B. no muestran diferencias con los de la U.S. (esquistos de Calaceite), puesto que sólo se produce un valor significativo en el CaO. Sin embargo, si se efectúa esta misma comparación entre los esquistos de U.B. y los esquistos/filitas maláguides aparecen valores significativos en seis componentes ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , CaO,  $K_2O$ ,  $P_2O_5$  y M.V.).

Igualmente sucede entre los esquistos/filitas maláguides y los esquistos de Calaceite de la U.S., donde se dan como valores significativos ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , CaO,  $K_2O$  y M.V.). También hay claras diferencias entre estos esquistos de Calaceite con los esquistos/filitas alpujarrides (esquistos de Lagos) suprayacentes de la U.S. con valores significativos en  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ , MgO, CaO,  $K_2O$  y M.V.

Por otra parte, siguiendo las ideas de FONTEILLES (1976) en el cálculo de la ecuación de la recta de regresión realizado para cada uno de los óxidos mayores frente a  $SiO_2$  en los cuatro grupos de materiales estudiados apreciamos una fuerte similitud entre las ecuaciones de la U.B. y U.S. (esquistos de Calaceite) con pendientes muy parecidas. Mientras que aparecen diferencias y pendientes de diferente signo en la comparación con los otros grupos, es decir esquistos/filitas maláguides frente a U.B. y U.S. (esquistos de Calaceite) frente a esquistos/filitas alpujarrides (esquistos de Lagos) (tabla 3).

#### DISCUSION

La U.B. posee las características litológicas, metamórficas, estructurales y coincidencias geoquímicas propias de lo que ha sido llamado Formación Benthomiz por ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS (1978) en la transversal de Sierra Tejeda; lo cual induce a afirmar como bastante probable su pertenencia a la formación más profunda y antigua de lo que viene considerándose el «alpujarride» tipo, con una atribuible edad del paleozoico antiguo.

Sin embargo, no han sido encontradas las formaciones suprayacentes que en principio debieron existir para completar la unidad, destacándose también la circunstancia de que solamente los materiales metapelíticos más profundos alcanzan la zona de estaurrolita, mientras que en el manto de Los Guájares se llega a la zona simillanita-



TABLA 1

Análisis químicos de las rocas metapelíticas s. l. y dique de roca básica.

|                                | EZ-854 | EZ-855 | EZ-856 | EZ-864 | EZ-865 | EZ-866 | EZ-24  | EZ-25  | EZ-887 | EZ-888 | EZ-889 | EZ-890 | EZ-851 | EZ-852 | EZ-853 | EZ-26 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
|                                | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16    |
| SiO <sub>2</sub>               | 54,63  | 52,30  | 55,35  | 58,11  | 57,88  | 58,46  | 56,07  | 61,21  | 76,56  | 60,92  | 58,01  | 78,65  | 74,00  | 55,80  | 65,57  | 57,63 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,72   | 0,63   | 0,45   | 0,65   | 0,43   | 0,61   | 0,99   | 0,88   | 0,38   | 0,52   | 0,47   | 0,29   | 0,22   | 0,67   | 0,40   | 0,84  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 23,80  | 24,62  | 22,59  | 21,40  | 19,80  | 19,71  | 22,62  | 19,19  | 10,28  | 20,12  | 20,09  | 8,61   | 10,56  | 21,13  | 14,97  | 21,87 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 5,80   | 5,43   | 7,42   | 3,55   | 4,05   | 4,31   | 3,34   | 2,15   | 3,80   | 5,47   | 6,12   | 2,70   | 4,30   | 5,94   | 4,94   | 4,78  |
| FeO                            | 1,16   | 0,33   | 0,90   | 2,52   | 2,52   | 2,47   | 4,53   | 3,24   | 0,77   | 1,03   | 1,16   | 1,07   | 0,59   | 0,68   | 0,85   | 3,17  |
| MgO                            | 1,17   | 1,08   | 1,87   | 1,38   | 1,59   | 1,75   | 1,64   | 1,67   | 0,78   | 1,91   | 1,84   | 1,28   | 0,93   | 1,34   | 1,30   | 1,81  |
| MnO                            | 0,07   | 0,02   | 0,11   | 0,03   | 0,05   | 0,05   | 0,07   | 0,06   | 0,02   | 0,04   | 0,06   | 0,02   | 0,07   | 0,04   | 0,05   | 0,13  |
| CaO                            | 0,13   | 0,18   | 0,48   | 0,18   | 0,18   | 0,32   | 0,25   | 0,17   | 0,16   | 0,95   | 1,31   | 0,61   | 1,81   | 0,58   | 0,80   | 0,77  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,94   | 1,00   | 0,42   | 0,40   | 0,80   | 0,92   | 0,86   | 0,95   | 0,66   | 1,12   | 0,64   | 0,66   | 1,02   | 0,64   | 0,94   | 0,11  |
| K <sub>2</sub> O               | 4,21   | 5,22   | 3,89   | 5,07   | 4,28   | 4,21   | 4,09   | 3,54   | 1,72   | 3,69   | 3,72   | 1,26   | 1,44   | 4,90   | 3,03   | 3,41  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,07   | 0,06   | 0,10   | 0,07   | 0,09   | 0,07   | 0,11   | 0,09   | 0,09   | 0,14   | 0,11   | 0,08   | 0,06   | 0,12   | 0,11   | 0,20  |
| M.V.                           | 6,77   | 9,04   | 6,25   | 6,45   | 8,14   | 6,78   | 5,20   | 5,72   | 4,74   | 3,83   | 6,07   | 4,48   | 4,69   | 8,02   | 6,82   | 4,79  |
| TOTAL                          | 99,47  | 99,87  | 99,83  | 99,81  | 99,81  | 99,66  | 99,80  | 99,89  | 99,96  | 99,74  | 99,60  | 99,71  | 99,69  | 99,86  | 99,78  | 99,52 |
|                                | EZ-27  | EZ-29  | EZ-844 | EZ-845 | EZ-846 | EZ-876 | EZ-877 | EZ-878 | EZ-879 | EZ-880 | EZ-881 | EZ-882 | EZ-875 | EZ-33  | EZ-34  | EZ-35 |
|                                | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 27     | 28     | 29     | 30     | 31     | 32    |
| SiO <sub>2</sub>               | 57,30  | 70,35  | 68,38  | 81,14  | 61,26  | 59,82  | 58,31  | 81,33  | 56,16  | 83,50  | 66,14  | 77,63  | 71,55  | 82,40  | 61,62  | 83,77 |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,84   | 0,63   | 0,81   | 0,45   | 0,58   | 0,52   | 0,61   | 0,38   | 0,81   | 0,16   | 0,76   | 0,34   | 0,29   | 0,61   | 0,89   | 0,55  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21,52  | 13,04  | 14,97  | 8,61   | 18,42  | 18,00  | 19,84  | 7,59   | 21,20  | 7,31   | 15,28  | 9,63   | 10,10  | 8,98   | 19,93  | 7,61  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2,57   | 2,63   | 3,32   | 2,39   | 5,65   | 6,55   | 5,98   | 2,52   | 7,18   | 1,38   | 5,71   | 0,73   | 4,82   | 2,22   | 3,62   | 2,69  |
| FeO                            | 5,32   | 4,47   | 2,12   | 0,72   | 0,63   | 0,63   | 1,12   | 0,59   | 0,94   | 1,12   | 0,85   | 2,69   | 2,47   | 0,91   | 3,57   | *     |
| MgO                            | 1,83   | 1,54   | 1,47   | 0,79   | 1,59   | 1,94   | 1,41   | 0,57   | 1,81   | 0,64   | 1,67   | 1,31   | 2,20   | 0,80   | 1,64   | 0,72  |
| MnO                            | 0,11   | 0,09   | 0,04   | 0,02   | 0,04   | 0,06   | 0,05   | 0,02   | 0,06   | 0,02   | 0,04   | 0,02   | 0,03   | 0,04   | 0,07   | 0,04  |
| CaO                            | 0,54   | 1,89   | 0,73   | 0,66   | 0,72   | 0,87   | 0,56   | 0,10   | 0,87   | 0,32   | 0,77   | 0,32   | 0,21   | 0,33   | 0,57   | 0,29  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,80   | 1,18   | 1,18   | 0,86   | 1,30   | 1,14   | 0,92   | 0,36   | 1,36   | 0,76   | 1,24   | 1,28   | 0,72   | 0,51   | 1,19   | 0,85  |
| K <sub>2</sub> O               | 3,41   | 1,59   | 2,67   | 1,26   | 3,79   | 4,13   | 3,82   | 1,44   | 3,79   | 1,40   | 2,45   | 1,42   | 1,35   | 1,27   | 3,07   | 1,04  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,14   | 0,16   | 0,08   | 0,07   | 0,06   | 0,11   | 0,10   | 0,05   | 0,16   | 0,09   | 0,14   | 0,08   | 0,09   | 0,08   | 0,14   | 0,06  |
| M.V.                           | 4,83   | 2,12   | 4,17   | 3,02   | 5,70   | 5,79   | 6,81   | 4,74   | 5,75   | 2,89   | 4,37   | 4,00   | 6,00   | 1,49   | 3,26   | 1,94  |
| TOTAL                          | 99,25  | 99,72  | 99,94  | 99,98  | 99,74  | 99,56  | 99,53  | 99,69  | 100,09 | 99,57  | 99,42  | 99,45  | 99,83  | 99,66  | 99,59  | 99,56 |

\* Hierro total expresado como Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

- 1-8. Esquistos/filitas maláguides. Zona clorita-biotita. (E. M.)
- 9-18. Esquistos, cuarzoquistos. Unidad de Benamocarra. Zona estauroлита. (U. B.)
- 19-33. Esquistos, cuarzoquistos de Calaceite. Unidad de Sayalonga. Manto de Los Guájares. Zona estauroлита. (E. C.)

- 34-48. Esquistos/filitas de Lagos. Unidad de Sayalonga. Manto de Los Guájares. Zona clorita-biotita. (E. L.)
- 49. Roca básica de tendencia calco-alcalina en dique situado en la Unidad de Benamocarra.

TABLA 2

Resultados del «test de homogeneidad» comparando los valores medios de los cuatro grupos de rocas estudiados. (+) valor significativo; (-) valor no significativo.

|                                | E. M.                   | U. B.                    | E. C.                    | E. L.                    | E. M./U. B.             | E. M./E. C.             | U. B./E. C.              | E. C./E. L.              |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                                | n <sub>1</sub> =8 anal. | n <sub>2</sub> =10 anal. | n <sub>3</sub> =15 anal. | n <sub>4</sub> =15 anal. | t <sub>0,95</sub> =2,12 | t <sub>0,95</sub> =2,08 | t <sub>0,95</sub> =2,069 | t <sub>0,95</sub> =2,048 |
|                                | $\bar{X}_1$             | $\bar{X}_2$              | $\bar{X}_3$              | $\bar{X}_4$              | t <sub>x</sub>          | t <sub>x</sub>          | t <sub>x</sub>           | t <sub>x</sub>           |
| SiO <sub>2</sub>               | 56,75                   | 65,48                    | 70,24                    | 59,72                    | 2,557 +                 | 3,436 +                 | 1,142 -                  | 3,020 +                  |
| TiO <sub>2</sub>               | 0,67                    | 0,53                     | 0,58                     | 0,56                     | 1,390 -                 | 0,919 -                 | 0,554 -                  | 0,180 -                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 21,72                   | 16,22                    | 13,87                    | 17,81                    | 2,626 +                 | 3,754 +                 | 0,026 -                  | 2,142 +                  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4,51                    | 4,32                     | 3,87                     | 4,51                     | 0,241 -                 | 0,761 -                 | 0,631 -                  | 0,894 -                  |
| FeO                            | 2,21                    | 1,91                     | 1,62                     | 1,90                     | 0,372 -                 | 1,005 -                 | 0,466 -                  | 0,619 -                  |
| MgO                            | 1,52                    | 1,46                     | 1,32                     | 2,07                     | 0,355 -                 | 0,992 -                 | 0,699 -                  | 2,727 +                  |
| MnO                            | 0,06                    | 0,06                     | 0,04                     | 0,05                     | 0,329 -                 | 1,737 +                 | 1,958 -                  | 1,012 -                  |
| CaO                            | 0,24                    | 0,94                     | 0,50                     | 2,51                     | 3,289 +                 | 2,614 +                 | 2,529 +                  | 3,511 +                  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,79                    | 0,78                     | 0,98                     | 1,17                     | 0,065 -                 | 1,532 -                 | 1,592 -                  | 1,031 -                  |
| K <sub>2</sub> O               | 4,31                    | 2,82                     | 2,45                     | 3,61                     | 2,993 +                 | 4,014 +                 | 0,721 -                  | 2,433 +                  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,08                    | 0,12                     | 0,09                     | 0,12                     | 2,342 +                 | 0,947 -                 | 1,719 -                  | 1,373 -                  |
| M.V.                           | 6,79                    | 5,04                     | 4,24                     | 5,69                     | 2,372 +                 | 3,809 +                 | 1,183 -                  | 2,068 +                  |

E.M.=Esquistos/filitas maláguides.  
 U.B.=Unidad de Benamocarra.  
 E.C.=Esquistos de Calaceite de la Unidad de Sayalonga.  
 E.L.=Esquistos de Lagos de la Unidad de Sayalonga.

TABLA 3

Ecuaciones de las rectas de regresión efectuadas con los elementos mayores frente al SiO<sub>2</sub>, de los cuatro grupos de rocas tratadas. Las siglas son las mismas que las utilizadas en la tabla 2.

| E. M.  | U. B.  | E. C.  | E. L.  |
|--|--|--|--|
| TiO <sub>2</sub> - 0,013 SiO <sub>2</sub> = - 0,08               | TiO <sub>2</sub> + 0,018 SiO <sub>2</sub> = 1,74               | TiO <sub>2</sub> + 0,014 SiO <sub>2</sub> = 1,57               | TiO <sub>2</sub> + 0,009 SiO <sub>2</sub> = 1,09               |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,7 SiO <sub>2</sub> = 61,02    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,59 SiO <sub>2</sub> = 55,21 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,51 SiO <sub>2</sub> = 49,72 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,46 SiO <sub>2</sub> = 45,48 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,43 SiO <sub>2</sub> = 29,08   | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,08 SiO <sub>2</sub> = 9,92  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,15 SiO <sub>2</sub> = 14,65 | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + 0,16 SiO <sub>2</sub> = 13,96 |
| FeO - 0,31 SiO <sub>2</sub> = - 15,74                            | FeO + 0,05 SiO <sub>2</sub> = 5,59                             | FeO + 0,02 SiO <sub>2</sub> = 3,18                             | FeO + 0,04 SiO <sub>2</sub> = 4,22                             |
| MgO - 0,06 SiO <sub>2</sub> = - 1,80                             | MgO + 0,03 SiO <sub>2</sub> = 3,68                             | MgO + 0,04 SiO <sub>2</sub> = 3,92                             | MgO + 0,08 SiO <sub>2</sub> = 6,95                             |
| MnO - 0,0002 SiO <sub>2</sub> = 0,04                             | MnO + 0,02 SiO <sub>2</sub> = 0,20                             | MnO + 0,001 SiO <sub>2</sub> = 0,13                            | MnO + 0,0007 SiO <sub>2</sub> = 0,09                           |
| CaO + 0,003 SiO <sub>2</sub> = 0,41                              | CaO - 0,006 SiO <sub>2</sub> = 1,55                            | CaO + 0,01 SiO <sub>2</sub> = 1,55                             | CaO + 0,02 SiO <sub>2</sub> = 3,65                             |
| Na <sub>2</sub> O + 0,007 SiO <sub>2</sub> = 1,17                | Na <sub>2</sub> O - 0,01 SiO <sub>2</sub> = 0,11               | Na <sub>2</sub> O + 0,02 SiO <sub>2</sub> = 2,38               | Na <sub>2</sub> O + 0,01 SiO <sub>2</sub> = 1,81               |
| K <sub>2</sub> O + 0,11 SiO <sub>2</sub> = 10,46                 | K <sub>2</sub> O + 0,13 SiO <sub>2</sub> = 11,41               | K <sub>2</sub> O + 0,1 SiO <sub>2</sub> = 10,02                | K <sub>2</sub> O + 0,13 SiO <sub>2</sub> = 11,15               |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - 0,0016 SiO <sub>2</sub> = - 0,01 | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 0,003 SiO <sub>2</sub> = 0,30  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 0,002 SiO <sub>2</sub> = 0,24  | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> + 0,003 SiO <sub>2</sub> = 0,31  |
| M.V. + 0,22 SiO <sub>2</sub> = 19,57                             | M.V. + 0,08 SiO <sub>2</sub> = 10,25                           | M.V. + 0,10 SiO <sub>2</sub> = 11,49                           | M.V. + 0,09 SiO <sub>2</sub> = 11,27                           |

Fel. K (con fusión parcial). Estas dos características, ciertamente singulares, pueden ser interpretadas de varias maneras:

- Bien por la existencia de una marcada polaridad ya comentada que ofrecen los mantos geoméricamente superiores en la transversal de Sierra Tejada, con predominio de las formaciones metapelíticas respecto a las carbonatadas suprayacentes, acentuadas además por cizallamiento. Lo que conduce a que solamente queda expuesta parte de la formación metapelítica y no necesariamente la

más profunda. Situación posible en una zona interna donde se producen toda suerte de laminaciones.

- O bien por el hecho de que los materiales predominantemente metapelíticos de los que hoy constituyen la U.B., aún siendo de igual procedencia al de los alpujárrides infrayacentes, fueron depositados en una posición paleogeográfica lo suficientemente alejada que permitiera, a partir de un momento determinado, iniciar una evolución diferente; es decir, que actuara de substrato de los



materiales detríticos que conforman la columna inferior del Complejo Maláguide ya desde el presilúrico/silúrico, lo que posteriormente posibilitó que fueran afectados por las mismas etapas de metamorfismo y deformación comunes a las zonas internas de la Cordillera, aunque de intensidad diferente.

Un pronunciamiento sobre la actuación de esta unidad como substrato del complejo maláguide, resulta en estos momentos bastante aventurado por la falta de pruebas definitivas, si bien, a nuestro juicio, no se aprecian características que lleven a descartar «a priori» esta posibilidad. Por el contrario tenemos como hecho favorable principal la constante presencia y notable extensión de la U.B. en nuestra área y al E de los Montes de Málaga siempre soportando los esquistos/filitas; una situación verdaderamente singular, ya que en este sector las unidades alpujarrides se superponen entre sí en diferentes niveles formacionales, siguiendo contactos mecánicos.

También debe señalarse como hecho importante en el mismo sentido el menor grado metamórfico que caracteriza a la U.B. respecto a los términos comparables de la U.S. infrayacente, cuando lo habitual es que cada unidad superpuesta presente un mayor grado metamórfico (ELORZA y GARCÍA-DUEÑAS, 1978), lo que puede explicarse por su ubicación en un dominio donde el metamorfismo debió ser menos intenso. Es decir, que la U.B. se dispuso en principio considerablemente distante de la vertical del máximo térmico, representado en esta transversal con los materiales migmatíticos y gneísicos de Torrox y consiguientemente en posiciones paleogeográficas alejadas, que explicarían las variaciones y diferente evolución observadas.

## CONCLUSIONES

— La U.B. presente en la transversal de Sierra Tejada, se sitúa geoméricamente, siempre por medio de contactos mecánicos, por encima de la U.S. (Manto de Los Guájares), claramente pertenecientes al Complejo Alpujarride y por debajo de las filitas/esquistos de grano fino, considerados Presilúrico/Silúrico maláguide.

— Está caracterizada por una serie monótona de micasquistos, cuarzoquistos y muy ocasionalmente cuarcitas, que alcanzan como máximo la

zona de estaurólita en los niveles más profundos. La presencia de diques de rocas máficas de composición basáltica calcoalcalina, resulta característica.

— En base al estudio comparativo con materiales netamente alpujarrides (petrográfico-geoquímico-estructural) parece clara su pertenencia a la formación inferior de la serie alpujarride tipo, que en la transversal de Sierra Tejada, fue llamada Formación Benthomiz, con una edad presumiblemente presilúrica.

— No existen rasgos suficientemente definitivos, a pesar de algunos datos favorables, como para poder afirmar que actuara como substrato de la columna maláguide que actualmente soporta y que se inicia con esquistos/filitas de grano fino.

— Se aprecian unas diferencias (mineralógicas-geoquímicas, etc.) no siempre evidentes en un examen de «visu» entre las filitas/esquistos maláguides y las filitas/esquistos de grano fino netamente alpujarrides asimilados a la formación de filitas/esquistos y cuarcitas de la U. S. (esquistos de Lagos).

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al Dr. F. BEA (Departamento Petrología y Geoquímica de Salamanca) que realizó los análisis químicos, así como a la Dra. M. I. ARRIORTUA (Dpto. Cristalografía y Mineralogía de Bilbao) por su ayuda en la programación de los datos químicos obtenidos.

## BIBLIOGRAFIA

- ALDAYA, F.: *Los mantos alpujarrides al Sur de Sierra Nevada*. Tesis Doctoral, Universidad de Granada (1969).
- BEA, F., y POLO, L. M.: *Optimization of the silicate rocks decomposition method and determination of major elements by A. A. S. Talanta*, vol. 23, pp. 859-861 (1976).
- BLUMENTHAL, M.: *Versuch einer tektonischen Gliederung der betischen Cordilleren von Central-und Südwest-Andalusien*. Ecl. Geol. Helv., vol. 20, pp. 487-532 (1927).
- BLUMENTHAL, M.: *Beiträge zur Geologie der betischen Cordilleren beiderseits des Rio Guadalhorce*. Ecl. Geol. Helv., vol. 23, pp. 41-293 (1930).
- BLUMENTHAL, M.: *Géologie des chaînes pénibétiques et subé-*

*tique entre Antequera et Loja et les zones limitrophes (Andalousie)*. B. S. G. F., vol. 5 (1), pp. 23-94 (1931).

- BLUMENTHAL, M.: *Reliefüberschiebungen in den westlichen Bestischen Cordilleren*. Geol. Médit. occid., vol. 4, número 8, part II, pp. 3-28 (1935).
- BUNTFUS, J.: *Geologie der Küstenketten zwischen Rio Verde und Campo de Gibraltar*. Geol. Jb., vol. 88, pp. 373-420 (1970).
- COPPONEX, J. P.: *Observations géologiques sur les Alpujarrides Occidentales (Cordillères Bétiques, Espagne)*. Bol. Inst. Geol. Min. España, vol. 70, pp. 1-130 (1959).
- DIDON, J.; DURAND-DELGA, M., y KORNPORST, J.: *Homologies géologiques entre les deux rives du détroit de Gibraltar*. B.S.G.F., vol. 17, XV, núm. 2, pp. 78-105 (1973).
- DURAND-DELGA, M.: *Coup d'oeil sur les unités malaguides del Cordillères bétiques*. C. R. Acad. Sci. Paris, vol. 266, pp. 190-193 (1968).
- DÜRR, S.: *Geologie der Serrania de Ronda und ihrer südwestlichen Ausläufer*. Geologica rom., vol. 6, pp. 1-73 (1967).
- Egeler, C. G., y SIMON, O. J.: *Sur la tectonique de la zone bétique (Cordillères bétiques, Espagne)*. Verh. Kon. Ned. Ak. Wet. Afd. Nat., vol. 25, pp. 1-90 (1969).
- ELORZA, J. J.: *Las Unidades Alpujarrides en la transversal de Sierra Tejada (SW de Sierra Nevada)*. Tesis Doctoral. Univ. País Vasco, 364 pp. (inédita) (1979).
- ELORZA, J. J.; GARCÍA-DUEÑAS, V.; MARTÍN, L., y MATAS, J.: *Memoria y Hoja de Zafarraya (1040)*. Mapa Geológico de España, 1:50.000 (2.ª serie), I.G.M.E. (1978).
- ELORZA, J. J., y GARCÍA-DUEÑAS, V.: *Hoja y Memoria de Vélez-Málaga (1054)*. Mapa Geológico de España, 1:50.000 (2.ª serie). I.G.M.E. (1978).
- ESTÉVEZ, C., y CHAMON, C.: *Mapa Geológico de España, Málaga-Torremolinos (1053/67)* (2.ª serie), 1.ª ed. I.G.M.E. (1978).
- FALLOT, P.: *Les Cordillères Bétiques*. Est. Geol., vol. 8, pp. 83-172 (1948).
- FELDER, T. E.: *Geologic Evolution of the Westernmost*

*Part of the Internal Betic Zone (Betic Cordilleras, Southern Spain)*. Geolog. Rundschau., vol. 69 (1), pp. 131-148 (1980).

- FONTEILLES, M.: *Essai d'interprétation des compositions chimiques des roches d'origenes métamorphique et magmatique du massif hercynien de l'Agly (Pyrenées Orientales)*. Thèse, Paris, 685 pp. (1976).
- GÁLVEZ, R., y OROZCO, M.: *Estructuras de superposición complejas en la Cordillera Bética (Región de los Montes de Málaga)*. Bol. Geol. y Min., T. XCI-VI, pp. 697-704. (1980).
- KOCKEL, F.: *Conodontos del Paleozoico de Málaga*. Not. y Com. Inst. Geol. España, vol. 53, pp. 149-164 (1959).
- MAUTHE, F.: *La Geología de la Serrania de Ronda (Cordillera occidental)*. Bol. Geol. y Min., T. LXXXII, pp. 1-36 (1971).
- MOLLAT, H.: *Schichtfolge und tektonischer Bau der Sierra Blanca und ihrer Umgebung*. Geol. Jb., vol. 86, pp. 471-532 (1968).
- MON, R.: *Estudio geológico del extremo occidental de los Montes de Málaga y de la Sierra de Cártama (Provincia de Málaga)*. Bol. IGME, Vol. 82, pp. 132-146 (1971).
- NAVARRO-VILA, F.: *Los mantos alpujarrides al N de Sierra Nevada*. Tesis Doctoral. Universidad de Bilbao, p. 288 (1976).
- ORUETA, D.: *Estudio petrográfico de Sierra Almirajara y de la parte occidental de Sierra Nevada y las Alpujarras*. Bol. Inst. Geol. España, t. XLV, pp. 3-155 (1922).
- SIMON, O.; WESTERHOF, A., y RONDEEL, H.: *A propos d'une nouvelle paléogéographie de la zone bétique (Espagne méridionale); implications géodynamiques*. Bull. Soc. Géol. France (7), t. XVIII, núm. 3, pp. 601-605 (1976).
- VRIES, W. C. P., y ZWAAN, K. B.: *Alpujarride in the centre part of the Sierra de las Estancias, province of Almería, SE Spain*. Proc. Kon. Ned. Akad. U. Wetensch. Serie B, vol. 70, pp. 443-453 (1967).
- WESTRA, G.: *Petrogenesis of a composite metamorphic facies series in an intricate fault-zone in the South-Eastern Sierra Cabrera, SE Spain*. Thesis Univ. Amsterdam, 166 pp. (1969).

Recibido: Marzo 1982.



## MINERIA

# Introducción al estudio de los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional (1)

Por J. AIZPURUA (\*), P. GUMIEL (\*\*) y A. PINEDA (\*\*\*)

## RESUMEN

Se estudian en este trabajo las características más importantes de los principales yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional.

Se han establecido dos tipos de yacimientos:

1. Filonianos, asociados a granitos, que pueden ser intra o extratolíticos.
2. No filonianos, en series carbonatadas.

El primer tipo está restringido a la zona Centroeibérica meridional, siendo dominante el intratolítico, en granitos tardíos de tendencia calcoalcalina (principalmente en facies silico-potásicas) que también suelen contener mineralizaciones de Sn-W y U. Las paragénesis son simples, constituidas casi exclusivamente por cuarzo y apatito, en su variedad fibroso-radiada (dahllita).

El segundo tipo aparece en rocas carbonatadas del Carbonífero Inferior y generalmente se presenta en rellenos kársticos. Las paragénesis son también muy sencillas, estando constituidas por fosfato en su variedad colofana, y algo de carbonatos.

Se presentan varias hipótesis genéticas para ambos tipos de mineralizaciones. Para el primero se admite como más probable un origen hidrotermal. El segundo, probablemente, se trata de mineralizaciones de origen sedimentario, que han sufrido remobilizaciones y concentraciones posteriores, principalmente por procesos kársticos.

Por último, se discuten las relaciones entre ambos grupos de mineralizaciones, que representan dos etapas fosfatogénicas bien definidas para el área hercínica de la Península Ibérica.

## ABSTRACT

It has been attempted to summarize the most relevant features pertaining to the main phosphate ore bodies found in the Southern Iberian Hercynian Massif.

First of all, two types of ore deposits have been established:

1. Vein type related with granites. They can be intra or extratolitic.
2. Stratabound ores within carbonate rocks.

The first type is limited to Centroeibérica zone, intratolitic is the most important type, they are related with calc-alkalic younger granites and frequently are located in Si-K facies. Sn-W deposits are associated with this intrusions. Their paragenesis are simple, and consists almost exclusively of quartz and apatite, namely of the radial-fibrous variety dahllite.

The second type is related with Lower Carboniferous carbonate rocks, filling karstic cavities. Their paragenesis are simple, almost exclusively of phosphate (colophane variety) and some carbonates.

Genetics aspects are studied. For the ore vein type, hydrothermal origin is accepted, however the second one is synsedimentary origin, with later mobilizations and concentrations due to karstic phenomena.

Finally, the relations between both mineralizations groups are examined here. They show two phosphatogenic epochs for the Hercynian basement of Iberian Peninsula.

## RESUME

Dans ce travail sont étudiées les plus importants caractéristiques des principaux gisements de phosphates du Massif Ibérique meridional.

(1) No se contemplan los fosfatos que actualmente investiga el IGME en el Precámbrico de los alrededores de Fontanarejo (Ciudad Real).

(\*) Geotech, S. A.

(\*\*) División Investigaciones Mineras IGME.

(\*\*\*) Ibergesa.

On été établis deux types de gisements:

1. Filoniens, associés avec granites, qui peuvent être intra ou extratolitiques.
2. Non filoniens, dans formations carbonatées.

Le premier type est limité a la Zone Centroeibérique meridionale, et le intratolitique est le type dominant. Les granites associés sont de tendance calcoalcaline et les minéralisations on trouvent dans facies silico-potassiques. Cettes les portent aussi de Sn-W et U. La paragénes est simple étant constituée presque exclusivement de quartz et apatite (variété fibreux-radiale: dahllite).

Le deuxième type on trouve dans roches carbonatées du Carbonifère Inferieur, généralement en remplissages karstiques. La paragénes est aussi simple étant constituée par phosphates (variété colophane) et carbonates.

On présentent plusieurs hypothèses génétiques pour les deux groupes de minéralisations établis. Le premier est probablement de origin hydrothermal. Le deuxième, probablement représente anciens minéralisations sédimentaires qu'ont sufi remobilisations et concentrations postérieures, surtout par processus karstiques.

Enfin, les rélations parmi les deux groupes de minéralisations sont discutées. Elles représentent deux époques phosphatogéniques bien marquées pour l'aire hercynien de la Peninsule Ibérique.

## INTRODUCCION

El área que abarca el presente trabajo contiene las manifestaciones minerales de fosfato más importantes de la Península Ibérica.

A lo largo de esta exposición se empleará de un modo general el término «fosfato» en lugar de «fosforita», nombre con el cual se han venido denominando tradicionalmente los minerales de la zona, en particular en la provincia de Cáceres donde estas mineralizaciones han sido más importantes. El cambio de denominación viene justificado por la acepción actual de la palabra «fosforita» como roca sedimentaria estratificada, caso que como se verá no es el de ninguno de los yacimientos del área. Asimismo y de acuerdo con el significado industrial del término, en este trabajo se estudiarán únicamente las mineralizaciones de fosfato cálcico, y se excluyen las de otros fosfatos metálicos cuyo alto valor del metal contenido pueda hacerlas más interesantes como minas específicas que como fosfatos de uso químico. Tal es el caso de las mineralizaciones de amblygonita, que también —aunque más raramente— aparecen en el área, asociadas paragenética y exclusivamente a las de Sn (W).

## ANTECEDENTES

Los primeros trabajos de cierta importancia en lo que a la mineralización de fosfatos se refiere se deben a EGOZCUE y MALLADA, quienes en 1876, en su «Memoria Geológico-minera de la provincia de Cáceres», recogen una información bastante completa de los criaderos de «fosforita» existentes en el S y O de la provincia. En su trabajo aportan mapas geológico-mineros en los que de-

tallan las corridas de los filones descritos en el texto.

Posteriormente destaca el breve artículo de CASCAJOSA (1920) sobre la mineralización de Aliseda (Cáceres).

En las últimas décadas, las contribuciones al conocimiento de las mineralizaciones de fosfatos en el área son más abundantes.

El trabajo de la División de Minería del IGME en el año 1962, recoge una síntesis de los principales trabajos realizados en Extremadura, concierne a la minería de fosfatos, a la vez que facilita una amplia historia de las minas activas que hubo en la provincia de Cáceres.

COTELO NEIVA et al. (1963) describen los principales yacimientos portugueses de fosfato, tanto filonianos como sedimentarios (\*), correlacionando aquéllos con las mineralizaciones filonianas españolas.

En 1969 Ríos presenta una descripción exhaustiva de los principales yacimientos mundiales, citando su posible génesis, y facilitando asimismo criterios para la prospección.

RAMÍREZ, en 1974, realiza una evaluación de las posibilidades de mineralizaciones en la provincia de Cáceres. Opina que el interés económico de las mineralizaciones extremeñas de fosfato es negativo.

ARRIBAS, en 1978, en su síntesis sobre las paragénes variscas españolas, define la asociación (qP) para las mineralizaciones de fosfatos, relacionándolas con rocas ígneas.

Finalmente, el IGME, en 1980 realiza el proyec-

(\*) Estos en las Orlas Mesozoicas; fuera, por tanto, del área de este trabajo.



to «Yacimientos de fosforita del borde occidental de la Meseta», del que se han extraído parte de los datos del presente trabajo.

## DESARROLLO HISTORICO DE LAS ACTIVIDADES MINERAS

A excepción de la provincia de Cáceres, la minería de fosfatos no ha tenido gran importancia en el resto del área considerada. En la primera destacaron por su importancia los filones «Constanza», «Mingote» y «Gingal», de Logrosán, y el filón «Abundancia», de Aldea Moret.

En el año 1857, Rosso de Luna cita la existencia de fosfatos, en yacimientos considerables, en Logrosán. Las primeras explotaciones tuvieron lugar en 1864, y en 1896 se obtuvieron 9.300 t. de tres minas.

Los filones de Zarza la Mayor tuvieron cierta importancia a finales del siglo pasado, pero en 1880 tuvieron que pararse las actividades debido a una infraestructura de transportes progresivamente inadecuada. En su época de prosperidad los fosfatos eran transportados por vía fluvial a Lisboa y, desde allí, a Inglaterra.

Los filones de Logrosán conocieron su máximo esplendor desde los años 1917 a 1921, período en el que el filón «Constanza» producía conjuntamente con el filón «Abundancia» de Aldea Moret. El mineral se trataba en una fábrica establecida en Aldea Moret, que se abastecía de sus propios minerales, de los del filón «Constanza» y de otros procedentes de Ceclavín y de Zarza la Mayor. Posteriormente, la sociedad de Logrosán montó su fábrica en Villanueva de la Serena, pero sus instalaciones se levantaron en 1944 cuando la ley media no llegaba al 16,5 por 100.

El último filón beneficiado en España fue el llamado «Esperanza», de Valdeverdeja (Toledo), cuya producción en el año 1962 fue de 311 t. de mineral.

## 1. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS DEL AREA

La zona que abarca este trabajo es en la que aparecen las más importantes mineralizaciones de fosfato de la Península Ibérica. Ocupa la mitad

meridional de la Zona Centroibérica y la totalidad de la de Ossa-Morena (LOTZE, 1945; JULIVERT et alt., 1974). Las características geotectónicas de dichas zonas han sido puestas de manifiesto por varios autores, entre otros LOTZE (1945), CAPDEVILA et alt. (1973), JULIVERT et alt. (1974) y a continuación se describen brevemente.

La mitad meridional de la Zona Centroibérica se caracteriza por presentar, como más basal conocida, una potente formación pizarroso-grauváquica, con facies flyschoides, denominada «Complejo Esquisto-Grauváquico» o «Pizarras de Alcuía». La edad de esta formación de varios miles de metros de espesor, parece corresponder al Precámbrico Superior. Sobre ella se dispone, por lo general discordante, la Cuarcita Armoricana, faltando por tanto el Cámbrico. El Ordovícico sigue con Llanvirn y Llandeilo pizarrosos, Caradoc cuarcítico y Ashgill pizarroso, a veces con un nivel calizo; en líneas generales, la potencia del Ordovícico decrece de N a S y de E a O, pudiéndose cifrar su promedio en unos 1.300 m. El Silúrico consta de dos formaciones muy constantes, una inferior de cuarcitas (típicamente negras, con espesor máximo de 50 m.) y otra superior de «pizarras ampelíticas con graptolites». El Devónico suele componerse de varias formaciones pizarrosas y cuarcíticas, y su potencia puede superar los 700 metros. El Carbonífero (Inferior) está muy bien representado en el Valle de Los Pedroches, en el límite S de la Zona, donde se presenta en facies Culm (pizarroso-grauváquicas); en el resto aparece como pequeños afloramientos calcáreos, pizarrosos o volcanoclásticos, de gran importancia, sin embargo, como se verá, desde el punto de vista del objetivo de este trabajo.

Desde el punto de vista estructural, se han reconocido dos fases tectónicas principales. El magmatismo viene representado por un volcanismo preorogénico, básico a ácido (más importante en el Devónico Superior-Carbonífero Inferior que en el Silúrico), y un plutonismo postorogénico representado por granitoides de tamaño batolítico, y de tendencia predominantemente calcoalcalina. El metamorfismo regional es, en conjunto, de grado bajo.

La disposición morfoestructural de la Zona Centroibérica meridional es muy típica, aflorando el Precámbrico pizarroso-grauváquico en extensos núcleos anticlinales, en los que preferentemente se emplazan las intrusiones graníticas, con un mo-

delado de penillanura. Estos se encuentran flanqueados por estrechos sinclinales, con materiales paleozoicos, que originan sierras.

En la Zona de Ossa-Morena es muy característica la presencia generalizada de varias series precámbricas, algunas de alto grado metamórfico, y de un Cámbrico potente (hasta 2.500 m.). El resto de los sistemas muestra una gran variabilidad en su desarrollo y en su aparición espacial, resultado final probable de varios ciclos erosivos de importancia desigual en la Zona. De un modo general, el Ordovícico está peor representado que en la Zona precedente y es bastante menos potente. El Silúrico adquiere más importancia hacia el borde meridional, donde puede alcanzar 1.500 m. de espesor. El Devónico Inferior, pizarroso-cuarcítico, epicontinental, está escasamente representado sólo en la Parte N. En la S, el Devónico Medio-Superior, pizarroso-grauváquico, adquiere grandes espesores. Esta característica sedimentaria prosigue en determinadas zonas (borde NE) hasta el Dinantiense (Carbonífero Inferior), conteniendo entonces intercalaciones volcánicas básicas e incluso diferenciados ultrabásicos.

El resto del Carbonífero Inferior (Viseense-Namuriense) y el Superior, con series parálicas y límnicas, productoras de carbón, adquiere en determinadas partes notable desarrollo y son evidentemente más importantes que en la Zona Centroibérica, donde apenas tienen representación.

Estructuralmente la Zona de Ossa-Morena se caracteriza por presentar grandes extensiones de afloramientos de Precámbrico y Cámbrico, y por el desarrollo del magmatismo que se dispone según bandas estrechas y alargadas, bien individualizadas, subparalelas a las direcciones hercínicas. Aunque desde el punto de vista de las deformaciones siguen existiendo problemas, parece que ha habido dos fases de plegamiento principales a las que seguirían, en el Carbonífero Superior, una fase de fracturación importante.

El volcanismo es importante en la Zona: Materiales volcánicos se encuentran en el Cámbrico, en el Silúrico y en el Devónico Superior-Carbonífero Inferior; suelen ser de tipo básico. El plutonismo, de sin a claramente postectónico, muestra una mayor cantidad de cuerpos intrusivos, de un menor tamaño y una mayor basicidad que los de la Zona Centroibérica. El metamorfismo regional

hercínico se caracteriza por notables variaciones en cuanto a gradientes, según zonas.

Los materiales postpaleozoicos (Terciario Superior y Cuaternario, generalmente) sobre ambas zonas suelen ser de extensión y espesores reducidos, y de carácter detrítico. La cuenca más importante es la del Valle medio del Guadiana.

## 2. TIPOS DE YACIMIENTOS DE FOSFATO

Los yacimientos de fosfato objeto de este estudio se pueden clasificar según dos tipos fundamentales, cuyas características y sistemática se estudiarán detalladamente a lo largo de este trabajo.

Los tipos establecidos son los siguientes:

- 1) Yacimientos filonianos asociados a granitos, que pueden ser intra o extrabatolíticos.
- 2) Yacimientos no filonianos en formaciones carbonatadas.

La distribución espacial del primero se verifica exclusivamente en la Zona Centroibérica, siendo dominante el tipo intrabatolítico.

El segundo tipo aparece indistintamente tanto en la citada Zona como en la de Ossa-Morena.

## 3. YACIMIENTOS FILONIANOS ASOCIADOS A GRANITOS

### 3.1. Yacimientos filonianos intrabatolíticos

Los yacimientos de fosfatos situados en granitos aparecen en batolitos y stocks generalmente post-esquistosos (tardíos) de tendencia calcoalcalina. Estos granitos presentan a su vez mineralizaciones de uranio (generalmente intrabatolíticas: Albalá-Alburquerque) y mineralizaciones de estaño (-wolframio), normalmente peribatolíticas.

Hay que hacer constar la existencia de otro tipo de mineralizaciones de fosfato (amblygonita [PO<sub>4</sub>(F, OH)(Al, Li)]) que, como se indicó, no constituye objeto de este trabajo. Esta aparece como constituyente de la paragénesis en determinados tipos de yacimientos de estaño. Es mena importante de sales de litio y aparece en cuerpos de carácter pegmatoide acompañado de otros minerales del mismo metal.

Es muy notable el hecho de que sea la provincia





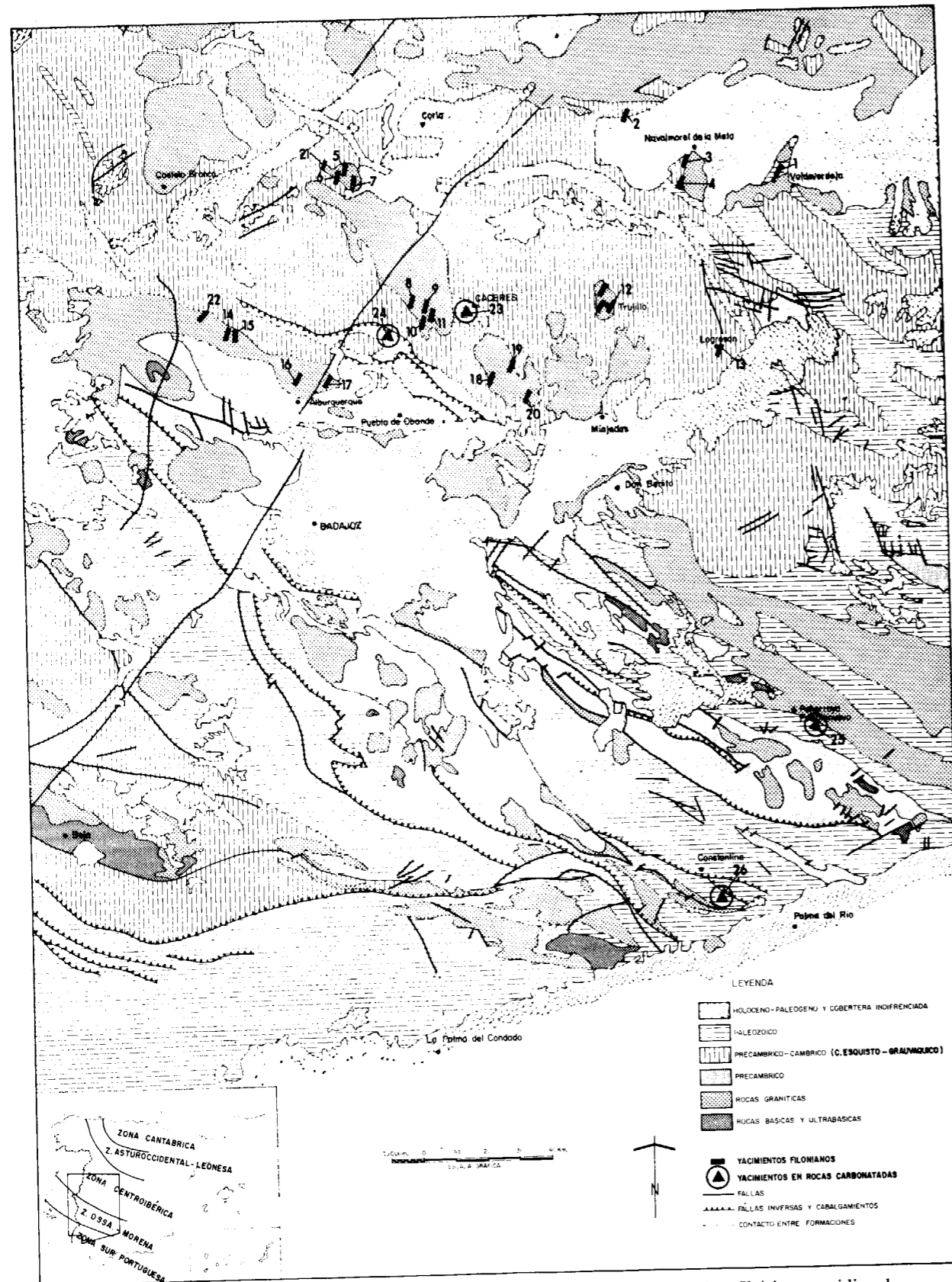


Figura 1.—Situación de los principales indicios de fosfatos del Macizo Ibérico meridional.

| Núm. en el plano | Nombre                | Municipio                   | Provincia     |
|------------------|-----------------------|-----------------------------|---------------|
| 1                | Esperanza             | Valdeverdeja                | Toledo        |
| 2                | Serrejón              | Serrejón                    | Cáceres       |
| 3                | Casarejo              | Millanes                    | Cáceres       |
| 4                | La Jarilla            | Belvis de Monroy            | Cáceres       |
| 5                | Las Palomas           | Zarza la Mayor              | Cáceres       |
| 6                | La Fortuna            | Zarza la Mayor              | Cáceres       |
| 7                | Aceña de la Orden     | Ceclavín                    | Cáceres       |
| 8                | Las Loberas           | Malpartida de Cáceres       | Cáceres       |
| 9                | Cuatro Hermanas       | Malpartida de Cáceres       | Cáceres       |
| 10               | Los Barruecos         | Malpartida de Cáceres       | Cáceres       |
| 11               | Casa Rega             | Cáceres                     | Cáceres       |
| 12               | D. de Huertezuelos.   | Trujillo                    | Cáceres       |
| 13               | Constanza             | Logrosán                    | Cáceres       |
| 14               | El Prado              | Valencia de Alcántara       | Cáceres       |
| 15               | La Lanchuela          | Valencia de Alcántara       | Cáceres       |
| 16               | Cumbre del Guijo      | Alburquerque                | Badajoz       |
| 17               | C.º Pedro Negro       | Alburquerque                | Badajoz       |
| 18               | C.º la Higuera        | Casas de Don Antonio        | Cáceres       |
| 19               | Cerro Blanco          | Valdefuentes                | Cáceres       |
| 20               | San Alfredo           | Arroyomolinos de Montánchez | Cáceres       |
| 21               | —                     | Medelim                     | Beira Baixa   |
| 22               | —                     | Marvao                      | Alto Alentejo |
| 23               | Aldea Moret           | Cáceres                     | Cáceres       |
| 24               | El Caracol            | Aliseda                     | Cáceres       |
| 25               | Cueva Fosforita       | Belmez                      | Córdoba       |
| 26               | Cerro de S. Cristóbal | Puebla de los Infantes      | Sevilla       |

de Cáceres el principal ámbito de aparición de este mineral en toda España.

Los cuerpos graníticos, encajantes de las mineralizaciones de fosfatos, normalmente aparecen ocupando núcleos de estructuras anticlinoriales formados por materiales precámbricos. Son generalmente postesquistosos, discordantes con los materiales encajantes (Albalá, Montánchez, Trujillo) o bien paraconcordantes como el de Cabeza Araya y Alburquerque. El hecho de que batolitos postesquistosos de morfología subcircular sean discordantes con el encajante, hace pensar en un mecanismo de «stopping» para explicar su intrusión (CORRETGE et al., 1977).

Desde el punto de vista composicional, corresponden en su mayor parte a granitos adamellíticos de composición mineralógica uniforme, pero de textura variada. Suelen aparecer como minerales principales: cuarzo, microclina, oligoclasa, biotita y moscovita; y como accesorios: apatito, turmalina y circón.

Los caracteres geoquímicos de los granitos para todo el ámbito del Macizo Ibérico han sido estudiados por diversos autores: OEN (1970); CAPDEVILA et al. (1973); CORRETGE et al. (1977); APARICIO et al. (1977) diferencian dos provincias magmáticas bien definidas petrográfica y geoquímicamente, ambas de tendencia calcoalcalina y separadas

por una «línea básica» que se sitúa al S del batolito de Alburquerque. Al sur de esta línea existen tipos químicamente intermedios a básicos, prácticamente inexistentes en la provincia Norte (ibid).

Esta línea básica coincide aproximadamente con el límite entre las Zonas Centroibérica y Ossa-Morena. Representa el límite metalogénico meridional para las mineralizaciones filonianas de fosfato, puesto que al S de ella no se conoce este tipo de mineralizaciones.

El límite Norte de aparición de granitos «fosfatíferos» coincidiría con el tránsito a la Zona Galico-Castellana (LOTZE, 1945), caracterizada entre otras cosas por un plutonismo similar al inmediatamente meridional, pero volumétricamente más importante.

Como ejemplos característicos de este tipo de yacimientos destacan los de Zarza la Mayor, Malpartida de Cáceres (ambas en la provincia de Cáceres) y Marvão-Castelo de Vide (Alto Alentejo).

### 3.1.1. Minas de Zarza la Mayor

Comprenden las antiguas minas de «Las Palomas», «La Fortuna», «Tabaquero» y «Aceña de la Orden» en los municipios de Ceclavín y Zarza la Mayor. Morfológicamente se trata de un haz de filones de hasta 1.500 m. de corrida, de dirección



entre N 45° E y N 60° E, subverticales, con potencias que oscilan entre centimétricas y 4 m. La potencia útil puede estimarse en 1 m. (fig. 2).

Estos filones encajan en el granito de Zarza la Mayor, en una facies de granito moscovítico de grano medio a grueso con megacristales de cuarzo

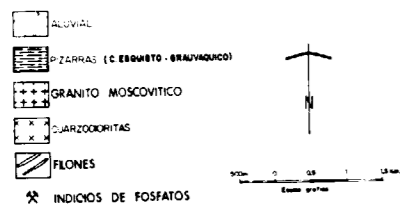
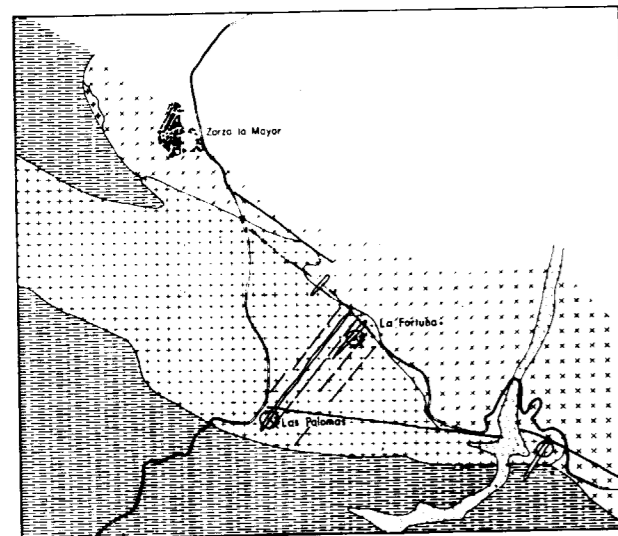


Figura 2.—Grupo de Zarza la Mayor-Ceclavín. Esquema geológico.

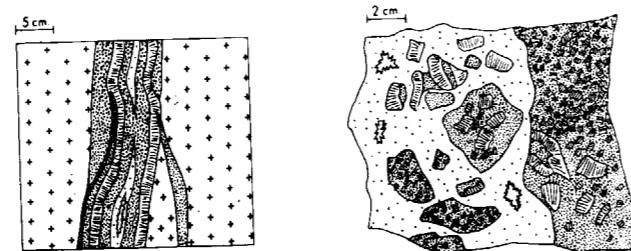
y mica. Este presenta como minerales principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, moscovita y, en menor proporción, biotita; como accesorios, apatito, y óxidos de hierro y, como secundarios de plagioclasas y feldespato potásico, productos sericítico-arcillosos.

La paragénesis es sencilla y está constituida fundamentalmente por cuarzo (y calcedonia) y apatito (principalmente en su variedad dahllita). Como accesorios se hallan fluorita, esfalerita y pirita. Como constituyentes importantes de la ganga también aparecen productos sericítico-arcillosos y feldespato potásico.

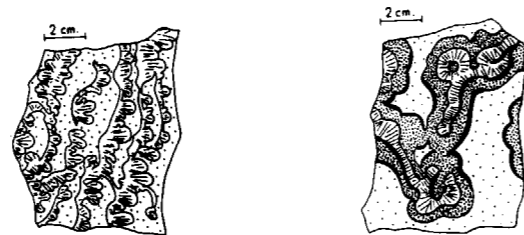
Los filones presentan una estructura «bandeada simétrica» de cuarzo-fosfato y, a veces, «brechoide». Estas disposiciones son características de la

mayoría de los filones intragraníticos (figs. 3-A y B). En detalle la mineralización se dispone en agregados fibroso-radiados de dahllita blanca-crema, dando lugar a formas botroidales o escarapeles característicos (fig. 3-D). El apatito cristalino, cuando existe, presenta idénticas disposiciones y su color puede ser hasta violáceo.

En el granito adyacente a los filones se observan fenómenos de apatitización.



A. Mina de la Charca de la Nieve, Arroyo de la Luz (Cáceres). B. Mina de Las Perdices, Albalá (Cáceres).



C. Mina de la Charca de la Nieve, Arroyo de la Luz (Cáceres). D. Mina Fortuna, Zarza la Mayor (Cáceres).

LEYENDA



Figura 3.—Típicas estructuras y texturas de mineralizaciones filonianas intragraníticas. Esquemas realizados a partir de fotografía A y muestras de mano (B, C y D).

3.1.2. Minas de Malpartida de Cáceres

Agrupar los indicios: «Las Loberas», «Los Barruecos» y «Cuatro Hermanas», entre otros.

Morfológicamente se trata de filones de pequeña corrida (inferior a 100 m.) e irregularmente espaciados en el granito, a diferencia de los de Zarza la Mayor. Sin embargo, se mantienen las direcciones en sentido NE-SO (fig. 4) y las potencias

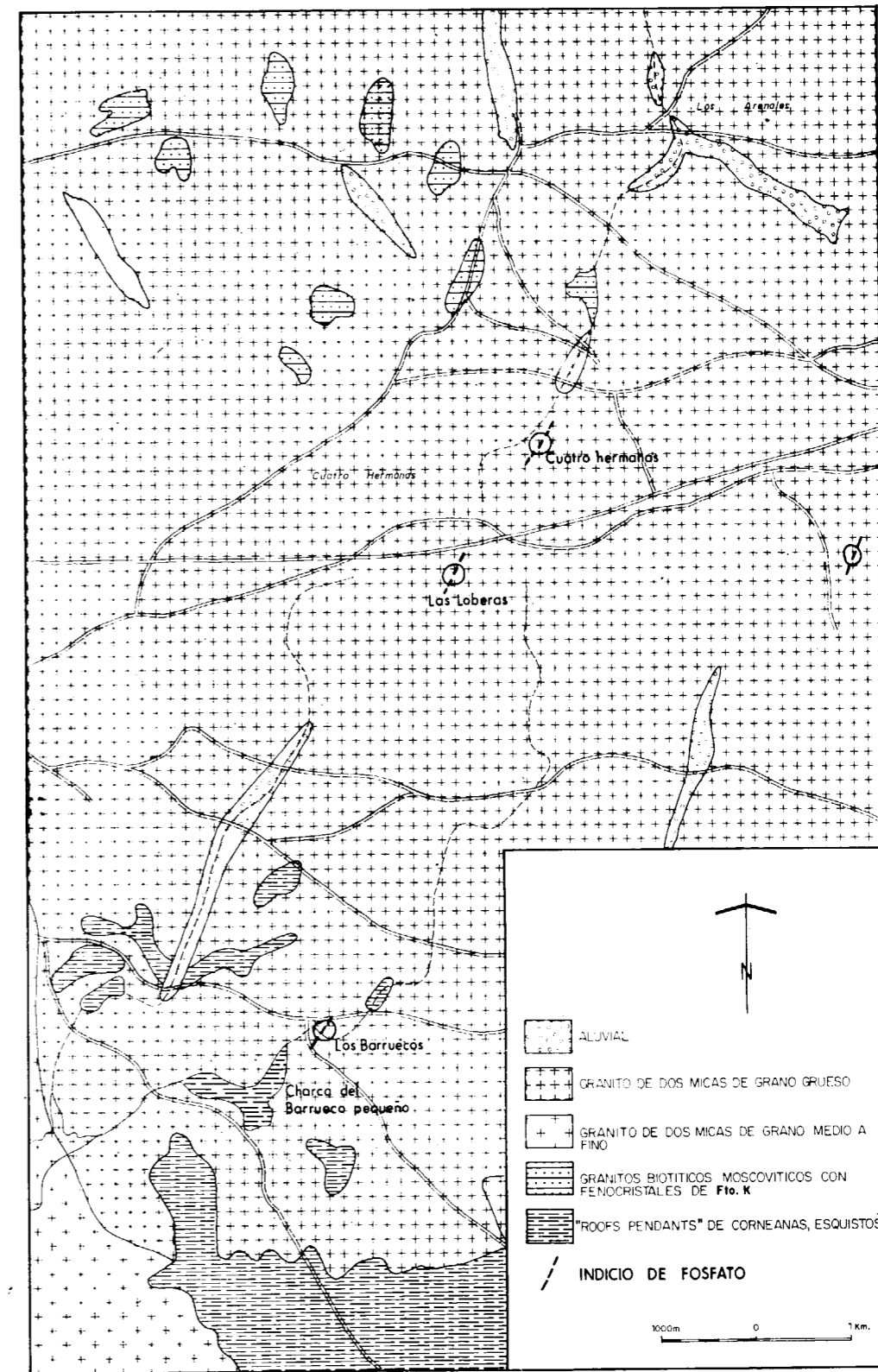
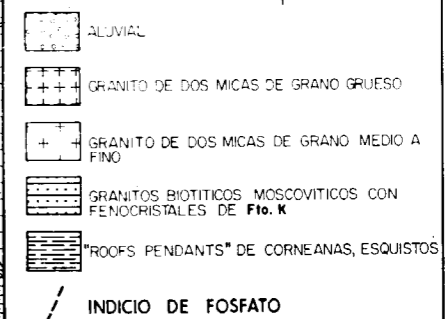


Figura 4.—Grupo de Malpartida (Cáceres).



filonianas son muy inferiores (centi a decimétricas).

Las paragénesis minerales y su disposición son en todo similares a las del grupo de Zarza la Mayor, si bien cabe destacar un cierto mayor enriquecimiento en fosfato. En indicios próximos puede encontrarse la dahllita con hábito dendriforme en el cuarzo (fig. 3-C).

Los granitos que constituyen la roca encajante de los filones mineralizados son de carácter biotítico-moscovítico de grano grueso. Estos presentan como minerales principales: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y moscovita. Como accesorios: apatito, turmalina y productos sericí-

tico-arcillosos de alteración de las plagioclasas, y clorita de alteración de la biotita.

### 3.1.3 Minas de Marvão-Castelo de Vide

Los principales yacimientos filonianos portugueses se sitúan en las regiones de Medelim (Idanha-a-Nova, que son continuación de la zona de Ceclavín-Zarza la Mayor) y en Marvão-Castelo de Vide (muy cercanos a Valencia de Alcántara).

Las mineralizaciones de cuarzo-fosfato (COTELO NEIVA et alt., 1963) de Marvão encajan en granitos de grano grueso de dos micas. Presentan dirección N-S a NE-SO (fig. 5) y buzamientos subver-

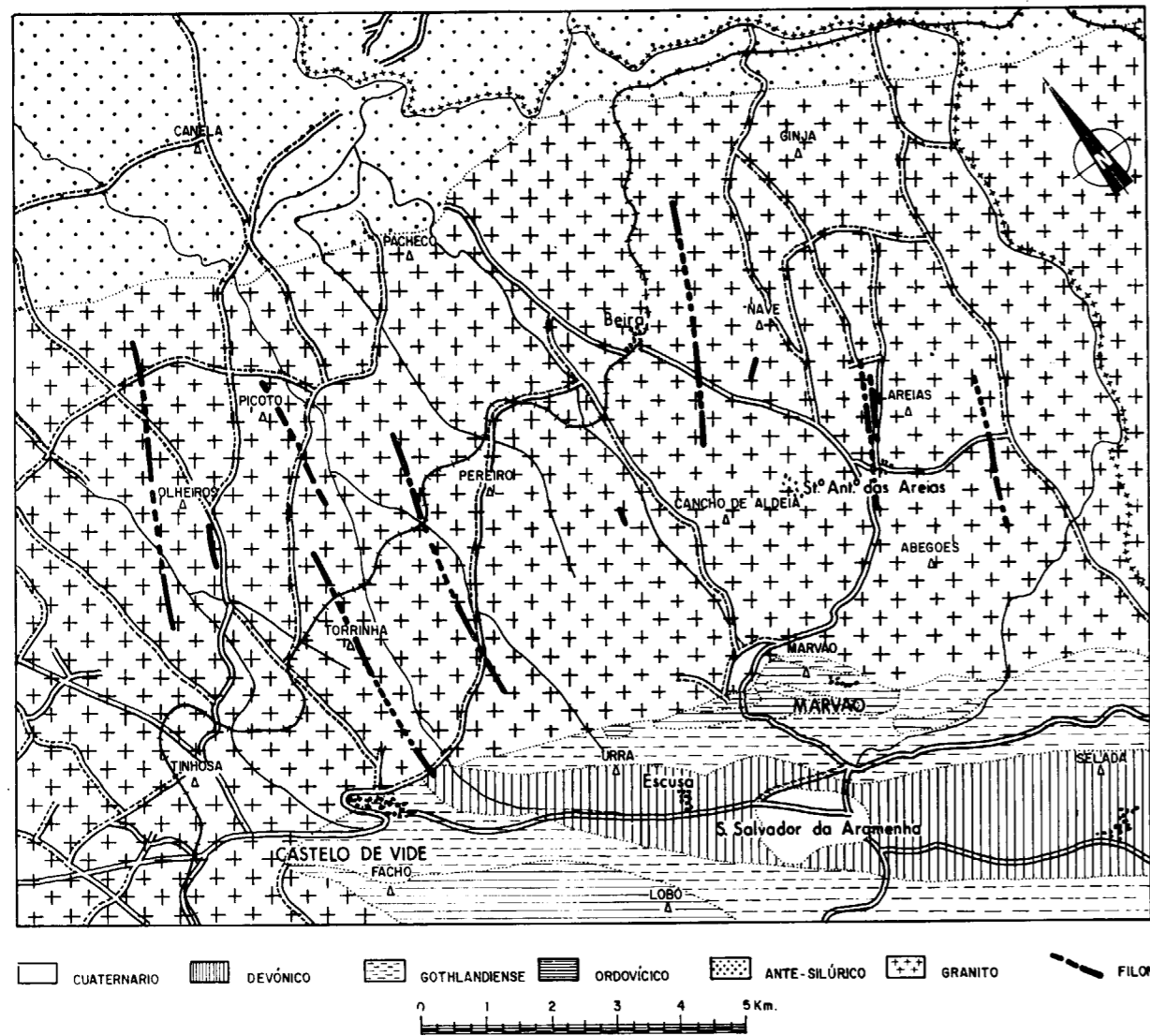


Figura 5.—Esquema geológico del yacimiento de fosfato de Marvão-Castelo de Vide (según COTELO NEIVA y otros, 1963).

ticales. Las potencias filonianas oscilan entre 0,5 y 1 m.

Las paragénesis están constituidas por cuarzo y apatito, apareciendo también feldespato potásico, albita, circón y turmalina. El apatito (dahllita) es idiomorfo de formas prismáticas y fibroso-radiadas. Este es posterior al primero, al que corta. Presenta frecuentes zonaciones y, a veces, sustituye a colofana.

Dichos autores consideran que la génesis de los yacimientos depende íntimamente de granitos alcalinos por cuyas fracturas, de dirección NNE-SSO a NE-SO, asciende el magma pegmatítico en cantidades relativamente pequeñas. Por activaciones sucesivas de estas fracturas, durante el reemplazamiento filoniano, ascenderían abundantes soluciones hidrotermales cada vez más frías.

### 3.2. Yacimientos filonianos extratolíticos

Estos yacimientos son idénticos a los intratolíticos descritos, asociándose a los mismos tipos de granitos, pero su situación es en el exocontacto, es decir, en el encajante local de la roca plutónica.

Destaca, sobre todos los demás, el filón «Constanza» de Logrosán. No obstante, se describe aquí el filón «Esperanza» de Valdeverdeja (Toledo), por su situación marginal respecto al conjunto de mineralizaciones filonianas de la región extremeña. Fue la última mina en explotación en el área hercínica de la Península Ibérica, abandonándose su laboreo en el año 1964.

El ámbito encajante de la mineralización está constituido por pizarras y cuarcitas (fig. 6) con metamorfismo de contacto. La morfología es típicamente filoniana, con cuerpos subhorizontales de dirección N 45° E y buzamientos de 20° SE. Se observan dos filones con potencias entre 45 y 50 cm. La paragénesis es simple, estando exclusivamente constituida por cuarzo y apatito de tendencia fibroso-radiada (variedad dahllita) con zonaciones observadas al microscopio.

La importancia económica del yacimiento se pone de manifiesto teniendo en cuenta que la producción anual (\*) del todo-uno en el año 1962

(\*) Datos obtenidos del PNIM (1970).

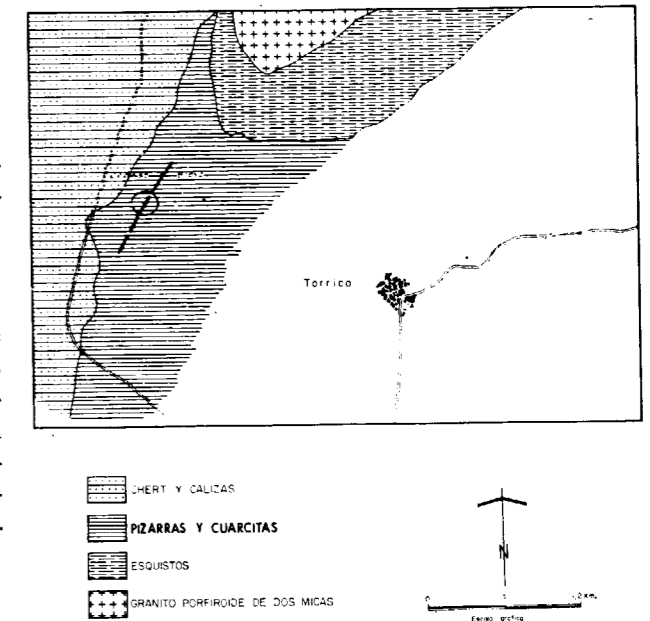


Figura 6.—Valdeverdeja, filón Esperanza. (esquema geológico)

fue de 1.035 t., con una ley media del 30 por 100 de fosfato tricálcico, obteniéndose por tanto 311 t. de concentrados de éste.

## 4. YACIMIENTOS NO FILONIANOS EN FORMACIONES CARBONATADAS

Un tipo especial de yacimientos de fosfato, hasta ahora mal conocidos, puesto que habían sido asimilados en todas sus características a los anteriores, son los que aparecen en relación con series carbonatadas, concretamente del Carbonífero Inferior. Sus peculiares características, su originalidad y el escaso número de indicios justifica la descripción de cada uno de ellos tomando, en parte, como base el de Aliseda.

### 4.1. Las minas del Cerro del Caracol; Aliseda (Cáceres)

#### 4.1.1. Geología local

Las antiguas minas del Caracol se encuentran a unos 2 km. al SO de Aliseda, en la parte suroccidental de la provincia de Cáceres.



Geológicamente se ubican en la Sierra de San Pedro, estructura sinclinal de Paleozoico que destaca morfológicamente sobre extensas áreas de penillanura modeladas en la formación pizarroso-grauváquica precámbrica y, también, en granitos hercínicos.

En las inmediaciones de las minas, este sinclinal es claramente vergente al NE, presentando su flanco suroccidental estructuras de fallas inversas y cabalgamientos. Las mineralizaciones se emplazan en una de las formaciones más modernas, prácticamente en la zona del núcleo sinclinal (fig. 7).

La serie paleozoica comienza con 10-20 m. de «Cuarcita Armoricana», discordantes sobre el Precámbrico pizarroso-grauváquico, que puede contener algún nivel microconglomerático; siguen hasta 300 m. de pizarras, con cuarcitas subordinadas, de edad Llanvirn-Llandeilo, y a continuación, con potencia inferior, un tramo esencialmente cuarcítico correspondiente al Caradoc. Encima, y mediante 350 m. de pizarras, se establece el tránsito a una formación rítmica cuarcítico-pizarrosa (300 m.), que ya presenta fauna del Devónico Inferior: El Silúrico, por tanto, no ha sido claramente datado. Continúa la serie con 225 m. de pizarras, 60 de cuarcitas, 80 nuevamente de pizarras y otros 35 de cuarcitas. Estas últimas corresponden aún al Devónico Inferior.

En los siguientes 100 m. (muy recubiertos), esencialmente pizarrosos, deben estar representados el Devónico Medio y el Superior, que siguiendo el eje de la Sierra hacia el SE alcanzan potencias y facies muy notables (GIL SERRANO et alt., 1981; MONTESERÍN et alt., 1981).

A esta última formación se superponen los tramos volcanosedimentarios, calcáreos y pizarrosos del Carbonífero Inferior, que se describirán más detalladamente en el siguiente apartado por ser los segundos el encajante de las mineralizaciones de fosfato.

4.1.2. *El ámbito encajante. Estratigrafía del Carbonífero Inferior*

La relativa monotonía litológica que ha caracterizado hasta ahora el Paleozoico del sector contrasta con la diversidad que se inicia con el Carbonífero Inferior. Este puede subdividirse en tres formaciones diferentes: la inferior es volcanose-

dimentaria, híbrida, de sedimentación química y piroclástica, con episodios detríticos y volcánicos intercalados; la intermedia es calcárea y la superior pizarrosa (KELCH, 1957; PINEDA et alt., 1979).

La formación inferior muestra frecuentes cambios laterales de facies e incluso de potencias. Esencialmente se compone de tobas volcánicas de composición dacítica a andesítica, liditas en bancos decimétricos y, más subordinados, pequeños tramos pizarrosos, margosos o calcáreos. Es muy notable la presencia, en algunos puntos, de potentes intercalaciones de brechas piroclásticas andesíticas y andesitas vacuolares subordinadas.

La formación intermedia, calcárea, es una de las más típicas de la zona y, desde el punto de vista del objeto de este trabajo, la más interesante por cuanto contiene las mineralizaciones de fosfato. Su grado de karstificación es notable y por ello sus afloramientos aparecen como agrupaciones de montículos redondeados, métricos, emergiendo del suelo.

Son calizas generalmente muy puras, micro a criptocristalinas, gris claras, y más raramente oscuras. Contienen una alta proporción de artejos de crinoides que les confieren aspecto esparítico. Estos restos parecen haber sufrido un pequeño transporte antes de depositarse y por ello su variación cuantitativa sirve para observar la estratificación en estas calizas, por lo demás bastante masivas.

Pueden contener nódulos decimétricos de liditas, que a veces se disponen arrosariadamente según la estratificación. En conjunto se trata de una formación lenticular cuyas potencias varían entre 160 y muy pocos metros.

Microscópicamente se trata de biomicritas recristalizadas, en las que sus componentes principales son calcita y restos fosilíferos. Accesorariamente contienen sales de Fe, sobre todo en las juntas estilolíticas.

El Paleozoico finaliza con una formación pizarrosa —con calcoesquistos basales— que alcanza una potencia mínima de 100 m.

4.1.3. *Morfología del yacimiento y disposición de la mineralización*

Las mineralizaciones de fosfato del Cerro del Caracol se localizan en rellenos arcillosos rojizos

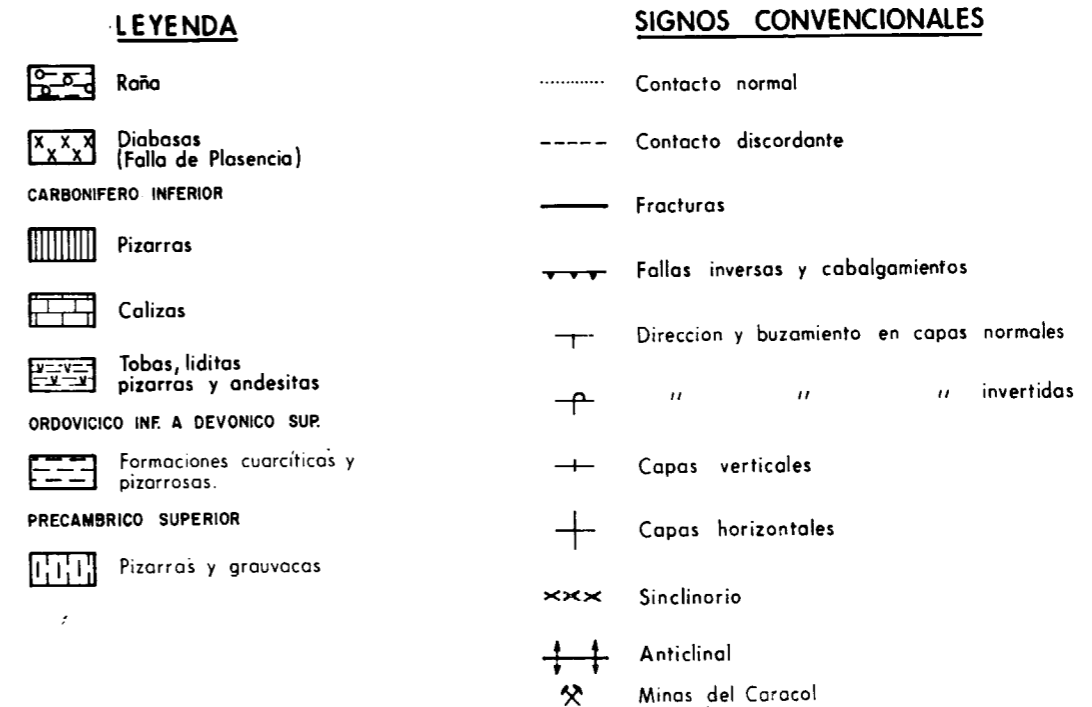
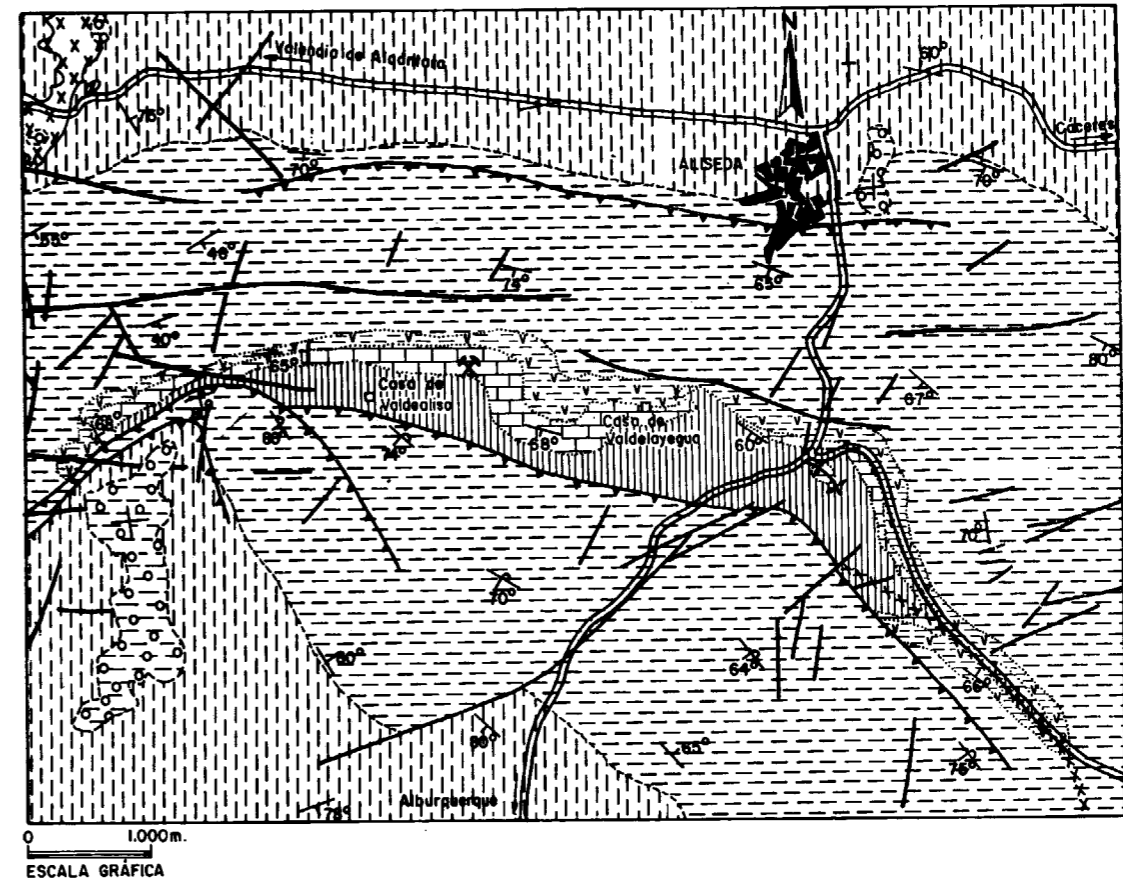


Figura 7.—Esquema geológico minero del yacimiento de fosfato del Cerro del Caracol (Aliseda).

dentro de las calizas del Carbonífero Inferior. El tamaño de éstos varía de decamétrico a métrico. Pueden presentar formas irregulares y englobar bloques de calizas de hasta medio metro cúbico de volumen; otras veces adoptan morfologías claramente tabulares (el espesor es entonces métrico). Suelen cortar la estratificación (N 120°E/70°SSO) del encajante calcáreo.

En el estudio de superficie de las calizas se ha determinado la existencia de dos sistemas principales de diaclasas:

- N 40°- 60° E
- N 130°-150° E

Los rellenos arcillosos subverticales con fosfato ocupan direcciones del primer tipo.

El material constituyente del relleno es una arcilla roja, a veces muy plástica. Generalmente se presenta como muy homogénea y sin estructurar. Ocasionalmente muestra una cierta estratificación marcada por ligeras variaciones en la vertical en el color o en la proporción relativa de detríticos contenidos. En algún caso, existe una delgada costra de calcita travertínica (estalagmítica) entre el relleno y la caliza, preferentemente a la base de aquél. La naturaleza del componente detrítico es generalmente calcárea. Esporádicamente —muestras vistas sólo en escombros, procedentes seguramente de las labores más superficiales— pueden contener fragmentos de pizarras o cuarcitas del Paleozoico en los alrededores.

El conjunto de caracteres que presentan los rellenos permite asignarles un origen kárstico.

En este contexto, la mineralización de fosfato se presenta de diversas formas:

- Como costras muy constantes, de 5 a 10 cm. de espesor, entre el relleno arcilloso y la caliza. El fosfato, de color generalmente algo oscuro, también contornea los bloques calcáreos englobados en la arcilla. Típicamente aparecen «estructuras simétricas» en rellenos según diaclasas verticales (foto 1) o bien formas en «escarapel» (foto 2). El fosfato muestra contactos bastante netos, sobre todo con la arcilla. Es, con diferencia, el tipo de mineralización más abundante en el yacimiento. Siempre suele presentar formas botroidales

con la convexidad de los botroides hacia el relleno arcilloso y un bandeado (debido a ligeros cambios en la coloración) paralelo a ellos.

- Fragmentario, centimétrico, acompañado de clastos calcáreos (foto 3) en el relleno arcilloso, o en el propio relleno de facies brechoide y cemento calcítico. En gran parte, este fosfato «clástico» debe proceder de la mineralización dominante a causa de colapsos gravitacionales, quizá favorecidos por el propio proceso de karstificación.
- Como un fino reticulado de venillas de espesor milimétrico en el relleno arcilloso (foto 4). A veces, un fosfato de este tipo asociado a calcita cementa parcialmente el relleno arcilloso. Este fosfato es siempre de color blanco.

El fosfato es, en todos los casos, de criptocristalino a amorfo, y aspecto coloforme, correspondiendo al tipo colofana.

#### 4.1.4. Geoquímica del ámbito encajante. Perfil de distribución de $P_2O_5$

Dadas las peculiares características del yacimiento en cuanto a su morfología y disposición de la mineralización, así como la ausencia de ligazón visible con materiales ígneos, surgió la idea de una posible conexión genética entre la mineralización y las rocas encajantes.

Con objeto de comprobar el grado de «familiaridad» entre ambas, se realizó un estudio geoquímico en el yacimiento. Se efectuó una geoquímica estratégica de rocas en superficie, a lo largo de la banda calcárea que aflora en el núcleo del sinclinal. Se ha tomado una línea base según el eje del sinclinal y una serie de perfiles de desmuestra cada 100 m. De los resultados analíticos se desprende que existen fundamentalmente dos zonas anómalas, una en el Cerro del Caracol, por encima de las labores existentes, y otra al E de él.

Dadas las características de las labores subterráneas de la mina, se ha podido realizar un levantamiento topográfico de las galerías (diferencia de cotas —20 m.), así como un esquema geológico-minero subterráneo (fig. 8).

En las labores se han realizado dos tipos de desmuestras:

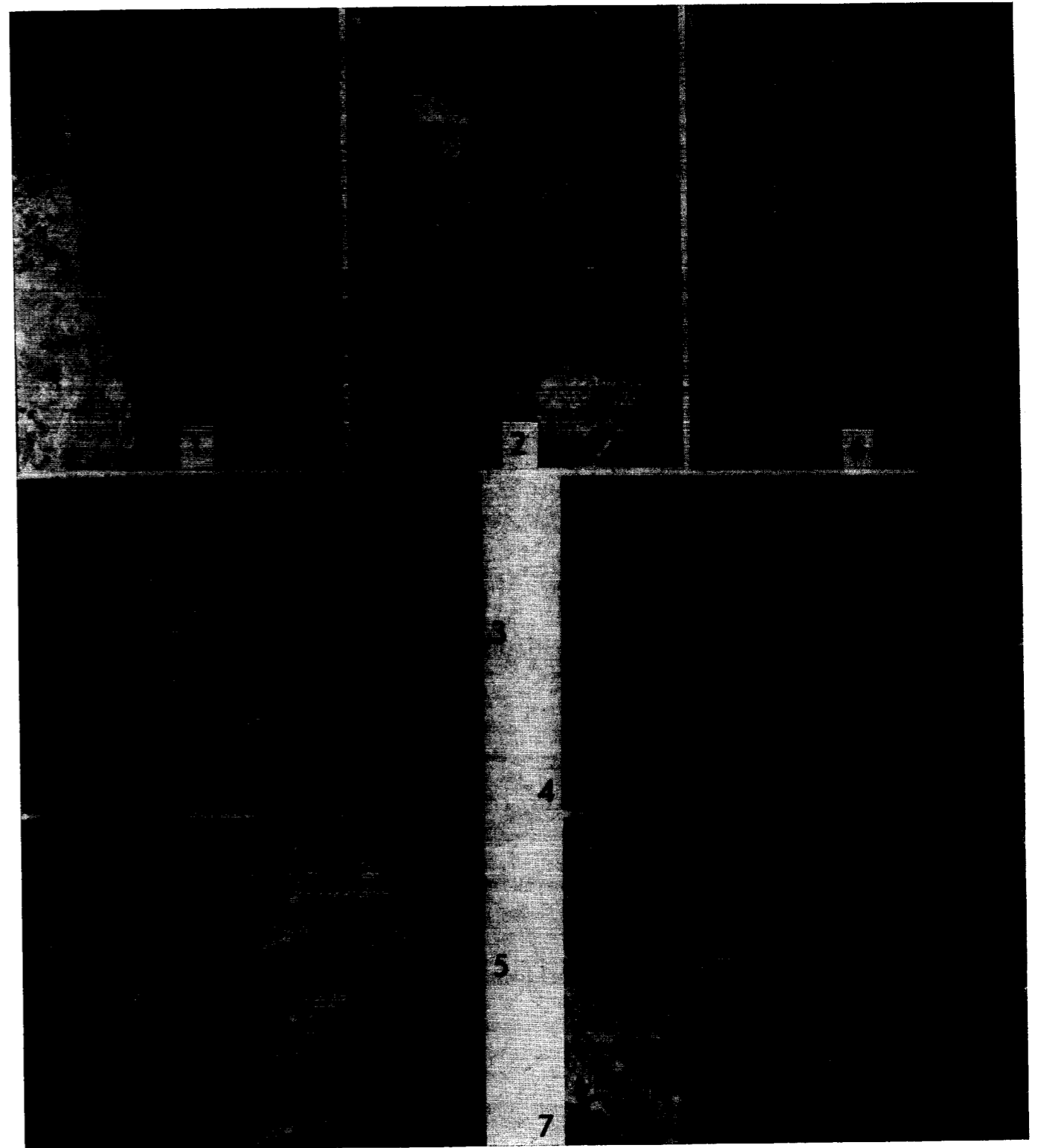


Foto 1.—Costras de fosfato en los bordes de un relleno arcilloso según diaclasas verticales. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 2.—Estructuras en escarapel, de fosfatos, que rodean bloques de caliza inmersos en matriz arcillosa. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 3.—Fosfato fragmentario, acompañado de clastos calcáreos, en el relleno arcilloso. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 4.—Reticulado de venillas de fosfato en el relleno arcilloso. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 5.—Masa subconcordante de fosfato-silice criptocristalina, blanca, en dolomías. Aldea Moret, Cáceres.

Foto 6.—Masas de fosfato-silice criptocristalina, blancas, que se disponen probablemente a favor de sistemas de diaclasas. Aldea Moret, Cáceres.

Foto 7.—Brecha caótica de grandes bloques dolomíticos en las dolomías de Aldea Moret, Cáceres. El contacto con éstas se observa a la altura del martillo. El fosfato clástico se presenta sobre todo en la facies de borde, más cementada, de la brecha.



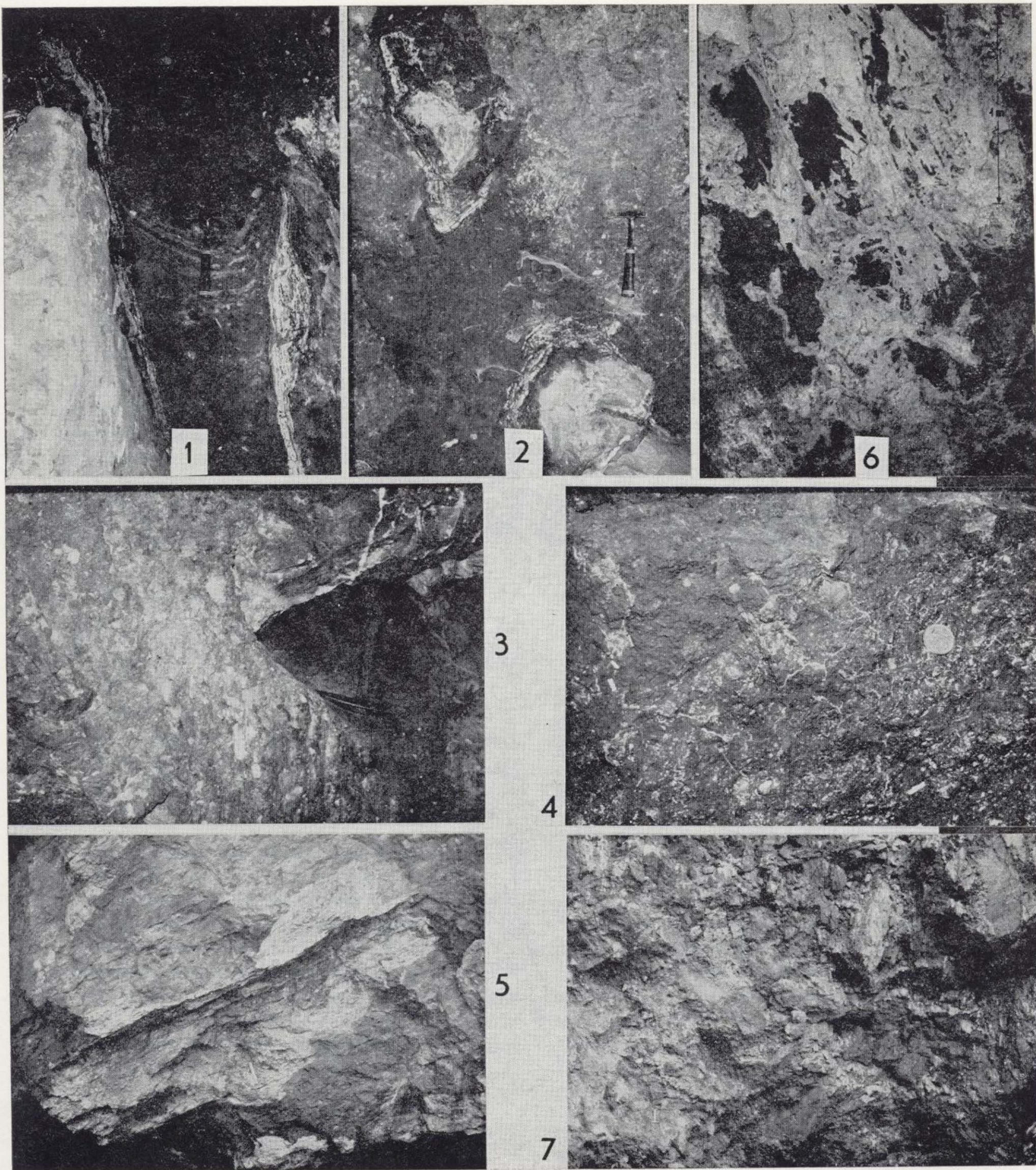


Foto 1.—Costras de fosfato en los bordes de un relleno arcilloso según diaclasas verticales. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 2.—Estructuras en escarapel, de fosfatos, que rodean bloques de caliza inmersos en matriz arcillosa. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 3.—Fosfato fragmentario, acompañado de clastos calcáreos, en el relleno arcilloso. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 4.—Reticulado de venillas de fosfato en el relleno arcilloso. Minas del Caracol, Aliseda (Cáceres).

Foto 5.—Masa subconcordante de fosfato-sílice criptocristalina, blanca, en dolomías. Aldea Moret, Cáceres.

Foto 6.—Masas de fosfato-sílice criptocristalina, blancas, que se disponen probablemente a favor de sistemas de diaclasas. Aldea Moret, Cáceres.

Foto 7.—Brecha caótica de grandes bloques dolomíticos en las dolomías de Aldea Moret, Cáceres. El contacto con éstas se observa a la altura del martillo. El fosfato clástico se presenta sobre todo en la facies de borde, más cementada, de la brecha.



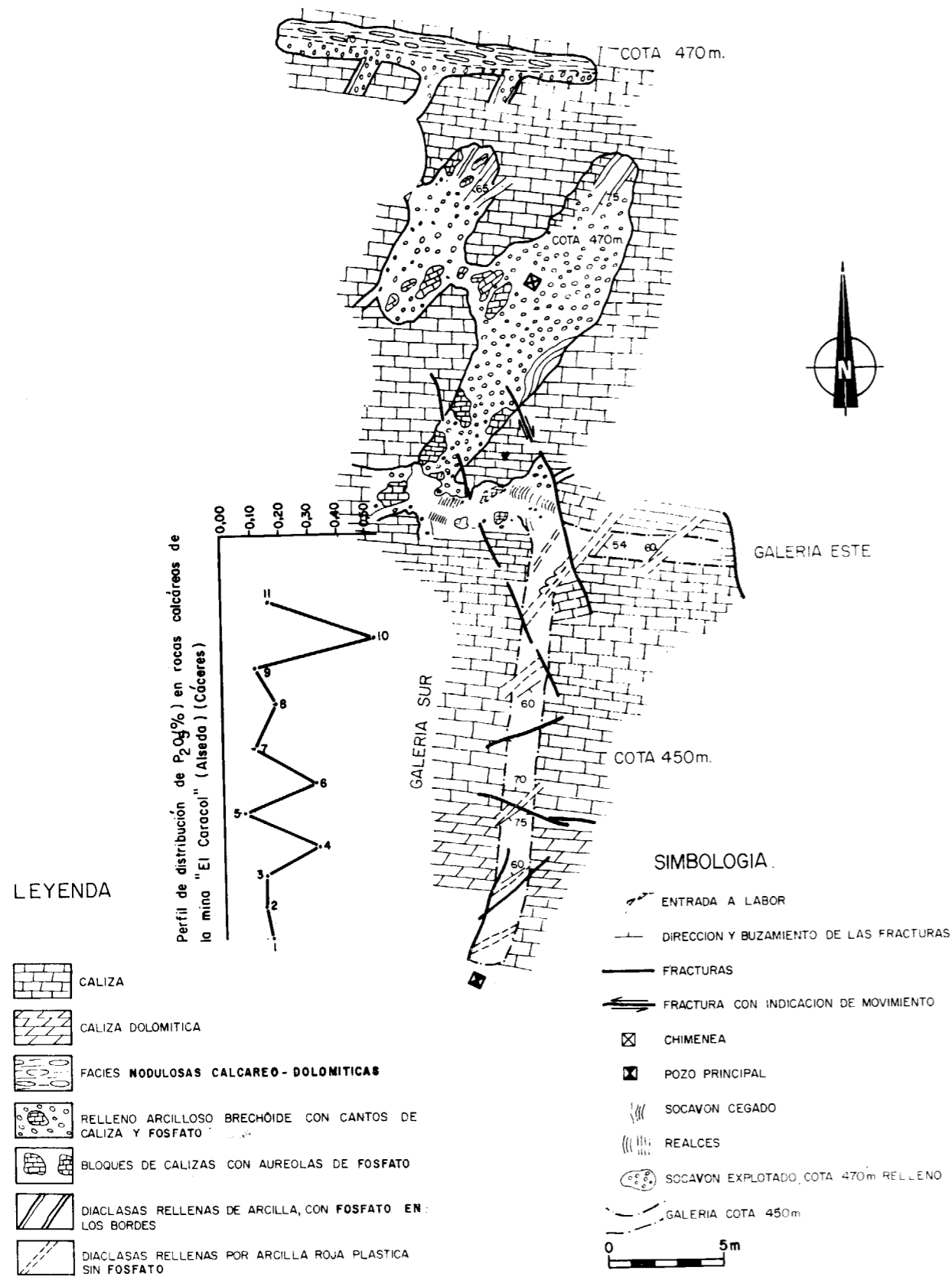


Figura 8.—Esquema geológico-minero de las labores subterráneas del indicio de fosfato del Caracol (Aliseda). Cáceres.

- 1) Muestreo en rozas con relleno arcilloso y con fosfato, transversales a las paredes de las diaclasas.
- 2) Geoquímica de rocas en galería (fig. 8) transversal a la estratificación de la caliza, con objeto de estudiar el perfil de distribución de % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en calizas.

- 1) *Muestreo en rozas con relleno arcilloso y fosfato.*

De la interpretación de resultados analíticos, se aprecia un mayor contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la parte superior explotada (cota 470 m.), con valores comprendidos entre el 15 y el 16 por 100 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Estos valores decrecen considerablemente en profundidad (galería a cota —450 m.), llegando a alcanzar valores entre el 3 y el 0,3 por 100 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

- 2) *Perfil de distribución de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en calizas.*

Del muestreo realizado en caliza fresca siguiendo una galería en dirección transversal a la estratificación (fig. 8), se desprenden importantes consideraciones de índole metalogénica:

- El fondo geoquímico en roca para la galería Sur, extensible a toda la labor, es de 0,18 por 100 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; valor superior al contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de las calizas normales.
- Como puede observarse, en el perfil de distribución del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en la roca, resulta que el contenido en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de la caliza fresca (>0,3%; >0,5%) (\*) disminuye considerablemente hacia las zonas de fractura (<0,10%). Esta disminución del contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en roca hacia las zonas de fractura, parece sugerir la existencia de una «migración» de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hacia las mismas a partir de una concentración original en las rocas.

#### 4.1.5. Posible mecanismo genético.

Comprobadas las relaciones entre la roca encajante y la mineralización, cabe pensar en un mecanismo genético de tipo kárstico en el que el agua de infiltración, embebida en las diaclasas y discontinuidades de la caliza, extraería el CaCO<sub>3</sub> en solución, concentrándose residualmente el fosfato y la arcilla.

Posiblemente la karstificación ha generado, en primer lugar, la mayoría de los rellenos arcillosos, y un fosfato apenas «expresado» mineralógicamente en ellos (quizá el tercer tipo descrito). Este proceso parece haber ocurrido «in situ» a partir de diaclasas y planos de estratificación, y no haber sido precedido de una creación generalizada de oquedades kársticas, como lo pone de manifiesto la presencia de grandes bloques calcáreos (a veces con dimensiones máximas según la vertical), inmersos en el relleno arcilloso homogéneo.

Posteriormente la karstificación podría evolucionar, manifestándose una pérdida progresiva de agua en la caliza y persistiendo una menor infiltración y percolación. De esta manera, los contactos de la caliza con los rellenos arcillosos podrían ser superficies idóneas para la circulación y el desagüe; por fenómenos de capilaridad se pueden producir «crustificaciones» del fosfato en disolución, dando lugar al tipo de mineralización dominante en el yacimiento.

La evolución del sistema kárstico va a favorecer, por último, la formación de oquedades en las que, por colapsos gravitacionales de las costuras, podrían formarse pequeñas concentraciones de fosfato clástico (segundo tipo de mineralización descrito) o bien nuevos rellenos «kársticos» estratificados.

En resumen, el mecanismo propuesto explicaría las características estructurales y morfológicas del yacimiento, invocando un único proceso «concentrador» —kárstico— del fósforo contenido inicialmente en la caliza. La progresiva actividad concentradora del proceso, podría atribuirse únicamente a una variación climática. La situación temporal de estos procesos kársticos queda incierta, si bien debe situarse en el Mesozoico y Terciario, épocas durante las cuales el Macizo Ibérico ha estado emergido y sometido a uno o más ciclos erosivos.

#### 4.2. Yacimiento de la Sierra Palacios, Belmez (Córdoba)

##### 4.2.1. Geología local y ámbito encajante

La mineralización de fosfato se encuentra en la llamada «cueva de la fosforita», en la Sierra Pa-

(\*) Análisis realizados por S. RODRÍGUEZ en la Universidad de Salamanca.



lacios de Belmez, 2 Km. al E del desvío existente en la carretera de Belmez a Doña Rama.

El yacimiento se sitúa en el Carbonífero de la Cuenca de Belmez, cuya estratigrafía de muro a techo, a grandes rasgos, es la siguiente: En la base una alternancia de pizarras gris-verdosas bastante micáceas y grauvacas asimilables a la facies Culm; por encima se sitúa un conglomerado poligénico, que posiblemente corresponda a la discordancia Carbonífero Inferior-Carbonífero Medio, alternando con pizarras de color gris crema, claramente dominantes a techo (estas pizarras adoptan una disposición ciclotemática, alguno de los cuales termina en un nivel de carbón explotable); sigue una serie calcárea, constituyente de la mineralización de fosfato de unos 150 m. de potencia mínima (calizas de la Sierra Palacios, figura 9), de datación confusa, que fueron asimiladas a las «Calizas de Montaña» dinantienses; en la actualidad, la fauna de braquiópodos y tetracoralarios encontrada, induce a pensar que se trata de barras arrecifales del Namuriense. Estas calizas son grisáceas, muy fosilíferas, con vetas blanquecinas y compuestas principalmente por calcita y restos fosilíferos con matriz algo recristalizada.

4.2.2. Morfología del yacimiento y disposición de la mineralización.

El yacimiento de la Sierra Palacios presenta notables analogías con el de Aliseda (Cáceres), sobre todo en cuanto a su morfología, de origen kárstico. Se ha realizado un levantamiento topográfico y un esquema geológico-minero de la labor subterránea (fig. 10), en el que se aprecia la disposición de la mineralización de fosfatos, siguiendo fundamentalmente diaclasas de dirección N 120° E y buzamiento de 80° S. También existe mineralización de fosfatos a favor de diaclasas N 40° E, buzando generalmente entre 80° y 85° O. Hay que hacer constar que el sistema de diaclasas, con la principal mineralización de fosfatos, está afectado por un sistema de fracturas de carácter dextral que desplaza el sistema mineralizado (bloque SO) hacia el NO.

4.2.3. Paragénesis mineral

La paragénesis del yacimiento, al igual que la mayoría de los encajantes en materiales carbona-

tados descritos en este trabajo, es muy simple y está constituida casi exclusivamente por fosfato criptocristalino coloforme, tipo colofana, en ganga de calcita, productos arcillosos y algo de calcedonia.

Macroscópicamente el fosfato se dispone principalmente de tres maneras:

1) Fosfato en finas vetas de 5 a 10 cm. de potencia, alternando con calcita, y materiales arcillosos ferruginosos, paralelas al sentido direccional de las diaclasas. También hay variedades de aspecto botroidal y color blanco, así como masas de aspecto terroso.

2) Fosfato en brechificaciones locales. Es frecuente observarlas según las direcciones principales de fracturas. Se trata de brechas de cemento carbonático con fragmentos de caliza y fosfatos.

3) Rellenando fisuras y huecos en la caliza, a veces adoptando estructuras en «escarapel» en torno a fragmentos fósiles. Ocasionalmente es acompañado por calcita o calcedonia.

4.3. Yacimiento del Cerro de San Cristóbal, Puebla de los Infantes (Sevilla)

Las rocas encajantes de la mineralización de fosfatos del Cerro de San Cristóbal son calizas y dolomías datadas como cámbricas según PÉREZ DOMÍNGUEZ (1973). Macroscópicamente presentan tres facies diferentes:

1. Calizas tableadas a muro.
2. Calizas masivas intermedias.
3. Calizas oquerosas a techo.

Aunque las condiciones de observación del indicio son muy deficientes por encontrarse la mayoría de las labores cubiertas por escombros y por espesa vegetación que dificulta el acceso a las mismas, parece que la mineralización se localiza preferentemente en la facies de calizas de techo. La paragénesis, al igual que las anteriores, es simple, constituida casi exclusivamente por fosfato criptocristalino grisáceo tipo colofana, con texturas rítmico-coloidales y, a veces, aspecto «esquelético» (disolución probable de cristales de calcita), observándose en otras ocasiones una varie-

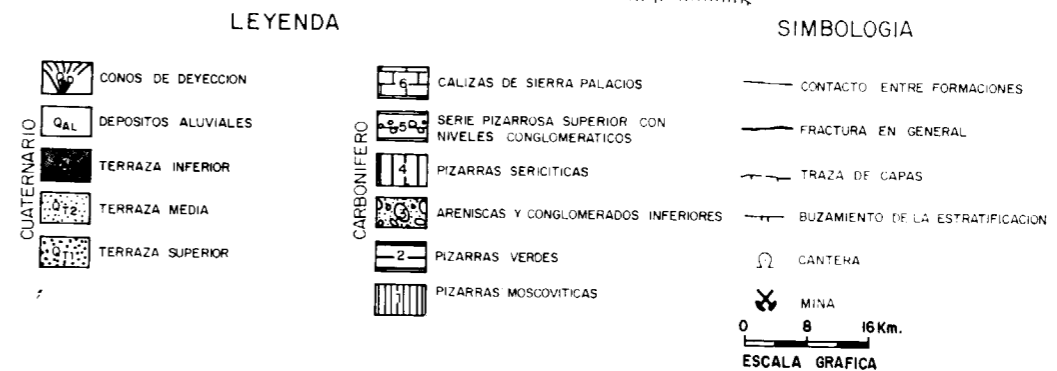
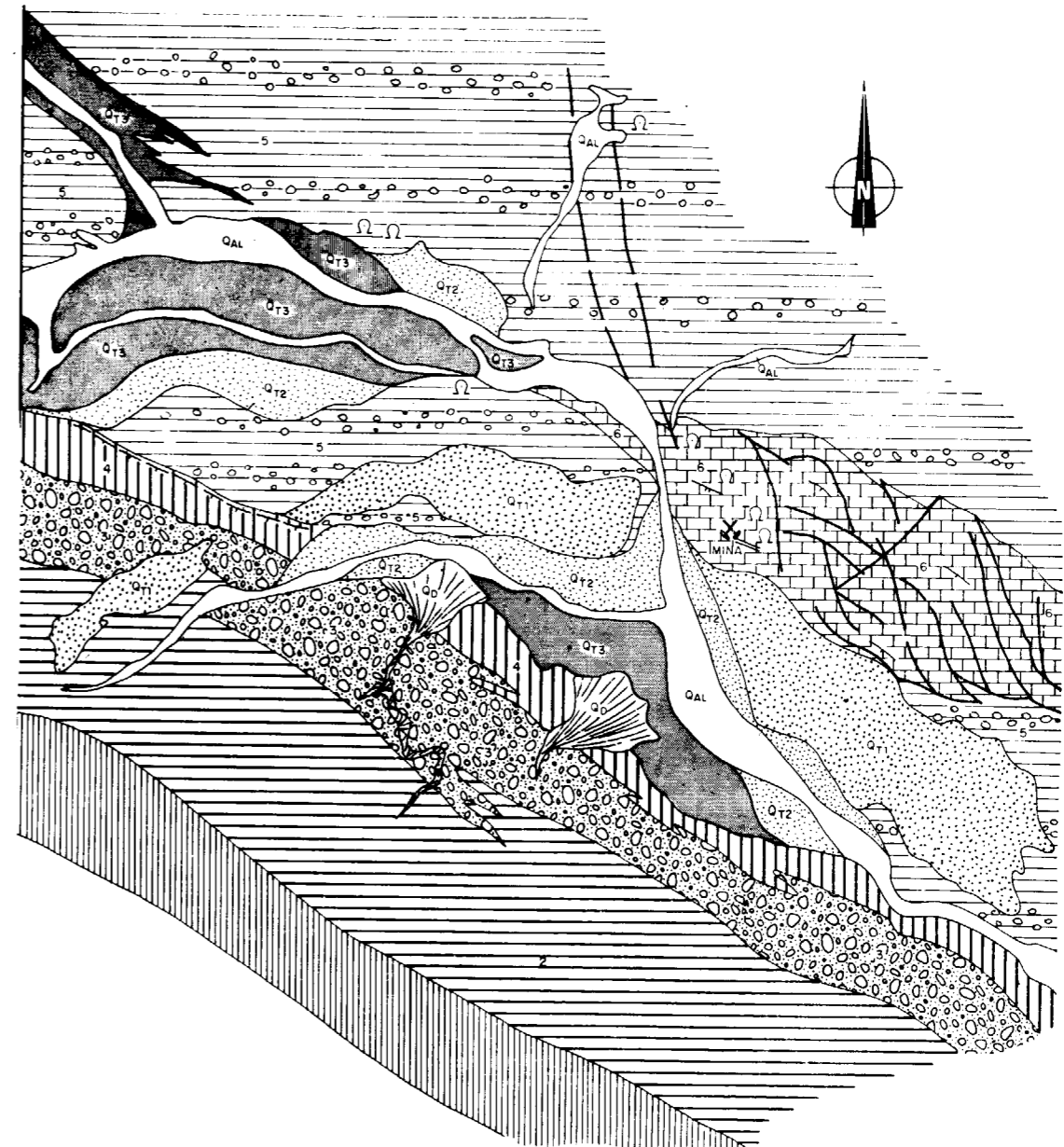


Figura 9.—Esquema litológico de la sierra Palacios (Belmez).

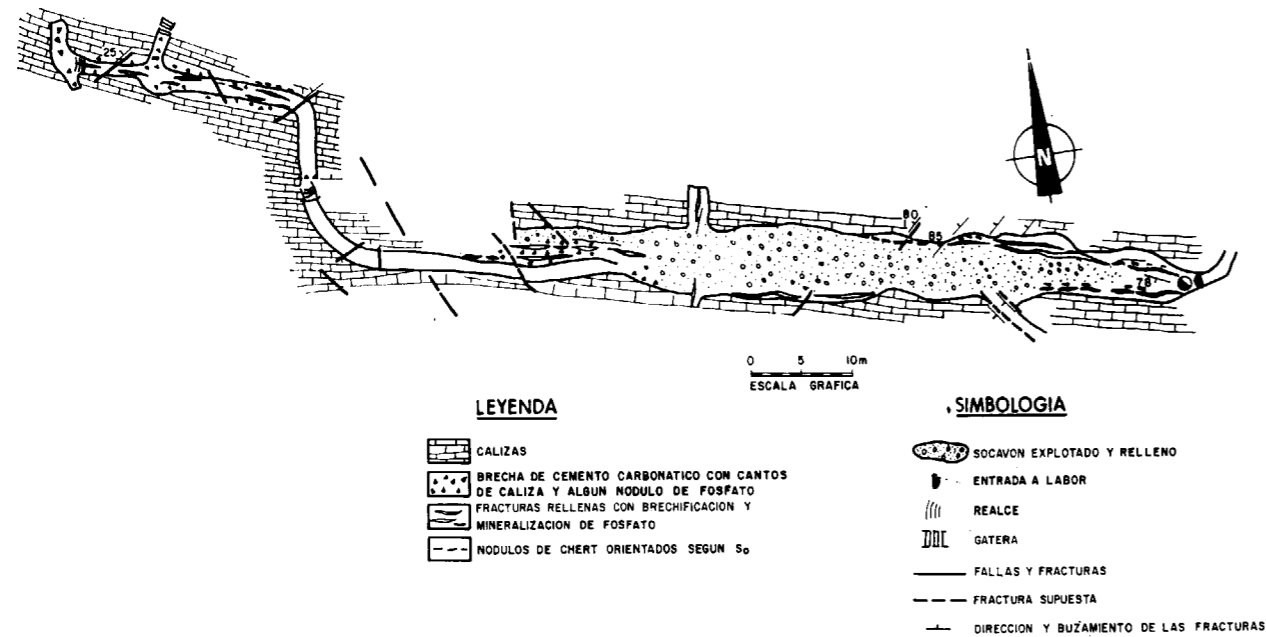


Figura 10.—Esquema geológico minero de las labores subterráneas de «La Cueva de la Fosforita» (Belmez). Córdoba.

dad terrosa. Los componentes principales de la ganga son semejantes a los de la mina de Belmez. Las labores adoptan formas que recuerdan morfologías tipo dolina, lo cual facilita su correlación con los anteriores yacimientos.

#### 4.4. El yacimiento de Aldea Moret (Cáceres)

Desde el punto de vista de localización geográfica, se ubican inmediatamente al sur de la ciudad de Cáceres, junto al, hoy día, barrio de Aldea Moret. Su explotación ha sido lo suficientemente importante en el pasado como para haber justificado la construcción de una fábrica de superfosfatos que trataba tanto minerales de esta zona como de otras próximas (ver antecedentes).

##### 4.4.1. Geología local

Geológicamente se sitúa en la pequeña cubeta sinclinal de Cáceres, estructura aislada de Paleozoico discordante sobre extensos afloramientos, en penillanura, de series pizarroso-grauváquicas de edad Precámbrico Superior.

Según BOCHMANN (1956), la serie paleozoica comienza con una formación de 1.000 m. de espesor

de pizarras, cuarcitas y algunos lechos conglomeráticos, atribuida al Cámbrico y presente sólo en el flanco Norte de la estructura. Siguen 500 m. de materiales ordovícicos que comprenden diversas formaciones pizarrosas y cuarcíticas. Los 50 m. siguientes de Silúrico contienen una cuarcita inferior y las típicas pizarras de graptolites arriba. El Devónico es también pizarroso-cuarcítico y está mal conocido. Por último, y formando el núcleo sinclinal, aparece el Carbonífero Inferior con una formación inferior, de potencia variable, calcodolomítica, con algunas intercalaciones de pizarras calcáreas, a la que suceden pizarras arcillosas grises. Localmente, en la base de la formación calcáreo-dolomítica, puede haber un material conglomerático de cantos cuarcíticos y matriz arenosa.

En la parte NE de la estructura, y circunscritas en ella, aparecen dioritas, mientras que al O el batolito granítico de Cabeza Araya llega a intruir ligeramente en el flanco SO del sinclinal (fig. 11).

##### 4.4.2. Tipos de mineralizaciones

Las mineralizaciones de fosfato se sitúan en dolomías, más bien basales, de la formación cal-

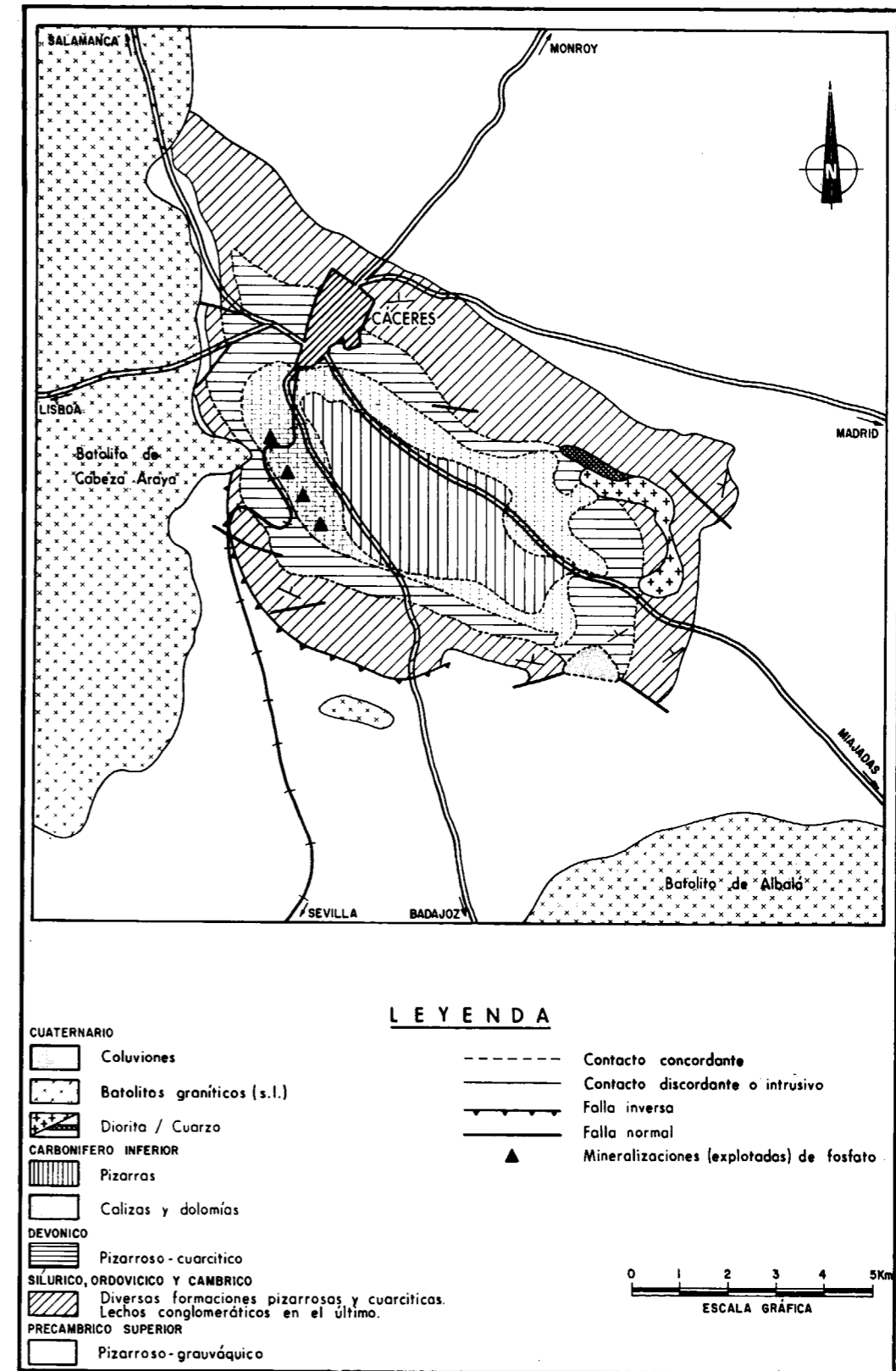


Figura 11.—Posición de las mineralizaciones de fosfato de Aldea Moret en el sinclinal de Cáceres (geología según H. G. BOCHMANN, 1956. Aureola de metamorfismo de contacto omitida).



cáreo-dolomítica del Carbonífero Inferior, y cartográficamente en la zona más próxima de ésta al borde intrusivo del batolito de Cabeza Araya. Sin embargo, las dolomías encajantes de la mineralización no presentan síntomas de metamorfismo de contacto.

Básicamente, en los yacimientos del área hay tres tipos de mineralizaciones no filonianas, que al menos en alguna de las labores (Mina Esmeralda, donde las condiciones de observación son más favorables, y a la cual se refieren la mayoría de los hechos que se reseñarán), coexisten espacialmente entre sí:

- 1) Masas criptocristalinas homogéneas, cuyo color blanco destaca sobre el marrón de la dolomía, en la que directamente se hallan.
- 2) Bandas de fosfato fibroso-radial (tipo dahllita) que generalmente contornean los bordes de masas de siderita o dolomita, en su contacto con la dolomía encajante.
- 3) Fosfato de color claro y fragmentario, en material bastante arcilloso que bordea brechas —con importante desarrollo vertical— de fragmentos de la dolomía encajante.

El primer tipo de mineralización (fosfato criptocristalino blanco), en masas de tamaño métrico a casi decamétrico, muestra —a nivel de observación directa en yacimiento— bordes muy nítidos en contacto directo con su encajante dolomítico. Estas masas frecuentemente cortan la estratificación de la dolomía y adoptan generalmente formas substratoides al presentar su dimensión mayor paralela a la superficie de estratificación del encajante (foto 5). Otras veces, un contorno excesivamente quebrado y geométrico parece indicar un mayor control por fracturación en la disposición de estas masas (foto 6). Al microscopio (\*) estas masas blancas aparecen constituidas por apatito y calcedonia, ésta en proporción dominante. El apatito se presenta en cristallitos idiomorfos, prismático-bipiramidales, de unos 0,4 mm. de longitud por 0,1 de anchura, con mayor o menor grado de agrupación entre sí, pero siempre englobados por la calcedonia. Corroborando observaciones «de visu» en las labores, también al

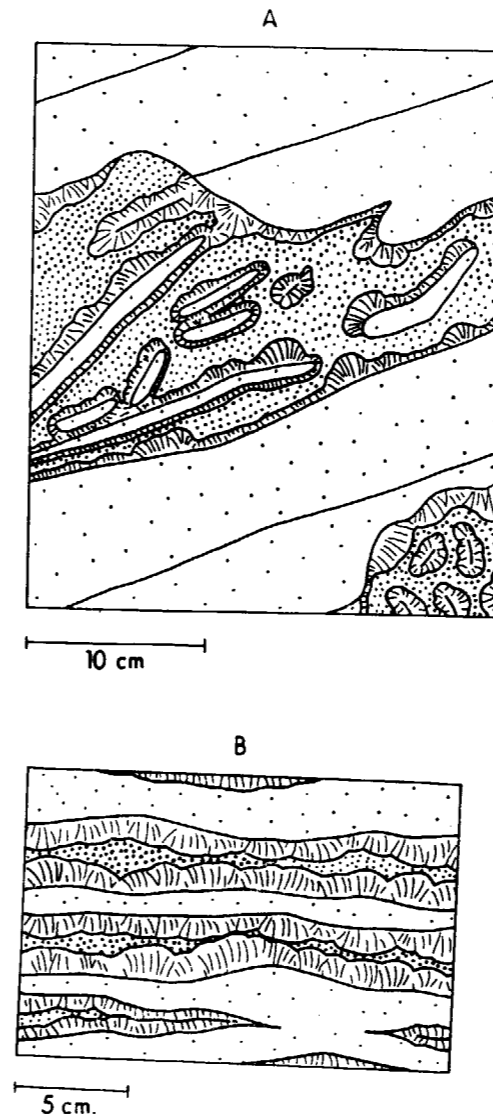
(\*) Datos microscópicos según A. PÉREZ ROJAS. IBERGESA, Madrid.

microscopio aparecen las masas de apatito-calcedonia muy nítidamente delimitadas de la dolomía encajante y a veces es posible ver cómo venillas de aquéllos penetran en ésta.

El segundo tipo de mineralización (dahllita en bandas irregulares) es muy característico, aunque parece haber sido el menos importante desde el punto de vista económico. Como se dijo anteriormente, la dahllita blanca, con espesor centimétrico y desarrollo, aunque irregular, muy constante, contornea masas de siderita marrón o de dolomita rosada de grano medio a fino y no estructurada, en contacto con la dolomía encajante (figura 12-A). Estas masas, de dimensiones decimétricas a métricas suelen adoptar también formas substratoides, aunque otras veces, cuando son más equidimensionales, es posible ver que cortan la estratificación de las dolomías encajantes. Siempre la textura fibroso-radial de las bandas de dahllita es divergente hacia la siderita, dando por tanto la impresión de que su crecimiento se ha producido a partir del borde dolomítico centripetamente hacia el interior de las masas de siderita; los frecuentes «enclaves» dolomíticos en éstas, a veces muy diminutos, muestran también su contorneado de dahllita con las características apuntadas. En algunas ocasiones la siderita engloba directamente fragmentos centimétricos de dahllita.

A veces, una forma extrema de disposición estratoide de este tipo de mineralización ofrece un aspecto «cebrado» al alternar centimétricamente un bandeado dolomítico marrón o rosado con otro dahllítico blanco, destacando en el interior de éste otra banda más oscura de siderita (fig. 12-B).

El tercer tipo de mineralización consiste en fragmentos generalmente centimétricos de fosfato claro, blanco, criptocristalino (colofana), en un material tipo arcilloso de color rojizo. Estas masas arcillosas, con un espesor que alcanza los dos metros, suelen ser los márgenes —en el contacto con las dolomías— de unas brechas caóticas de fragmentos dolomíticos (tamaño métrico a decimétrico) apenas cementadas entre sí (foto 7). El tamaño de estas brechas puede alcanzar los 20 m. y su dimensión mayor es frecuentemente la vertical. Cortan, lógicamente, la estratificación del encajante.



### LEYENDA

- Dolomía
- Fosfato tipo dahllita
- Siderita o dolomita

Figura 12.—Esquema de disposición de uno de los tipos de mineralizaciones de la zona de Aldea Moret, Cáceres.

#### 4.4.3. Problemas genéticos

A la vista de lo anteriormente expuesto, queda bien patente la existencia de tipos de minerali-

zación muy diferentes entre sí, en el área de Aldea Moret. La mayoría de ellos sólo se encuentran en este yacimiento si se le compara con el resto de los enclavados en formaciones carbonatadas del macizo Ibérico meridional. A la hora de abordar los aspectos genéticos de las mineralizaciones de Aldea Moret, la propia diversidad de éstas puede indicar la existencia de más de un proceso genético, que coexisten o se superponen temporalmente.

Hay dos hechos muy importantes, que son punto de partida obligado en todo razonamiento genético para la zona de Aldea Moret:

- 1) Las mineralizaciones consideradas no son filonianas y se hallan en formaciones carbonatadas de edad Carbonífero Inferior.
- 2) Las mineralizaciones se localizan precisamente en la parte en que se ha aproximado más el batolito de Cabeza Araya a su encajante carbonatado (fig. 11).

El primero de los hechos plantea una correlación metalogénico-estratigráfica con otros yacimientos que se describen en este trabajo, que tampoco son filonianos y que encajan en materiales carbonatados de la misma o muy similar edad. La correlación es, pues, obligada y puede corroborar la existencia de un stock geoquímico sedimentario inicial anormalmente alto de P (ver a este respecto la descripción del yacimiento de Aliseda) en las formaciones carbonatadas. Procesos de diversa índole (que en este trabajo suelen invocarse en su mayoría como kársticos o muy similares) actuando posteriormente sobre ellas habrían expresado ese stock en la forma de las mineralizaciones observables hoy en día. A este respecto, el tercer tipo de mineralización descrito en Aldea Moret es también muy similar a los del resto de los yacimientos descritos (Aliseda, Belmez, etc.). Un problema adicional para el caso de Aldea Moret —y probablemente de gran significado metalogénico específico para este yacimiento— es el propio origen de las dolomías encajantes, porque caso de ser resultado de dolomitización de primitivas calizas, el propio proceso de dolomitización puede haber sido causa de la concentración y expresión consiguiente del fosfato en forma de mineralización. La mineralización del segundo tipo descrita podría obedecer a un fenómeno de este tipo que «decantaría» fosfato y siderita, aunque desde otro punto de vista, las

estructuras «cebradas» que a veces pueden presentar este tipo de mineralización, muy semejantes a las descritas en otras provincias metalogénicas (de Pb, F, Ba, etc.) y para las que se ha propuesto un origen diagenético, pueden indicar una sedimentación puramente dolomítica con su correspondiente stock en P y una evolución diagenética similar.

La segunda de las circunstancias en que concurren las mineralizaciones de Aldea Moret obliga a plantear el protagonismo que el batolito de Cabeza Araya —portador él mismo de mineralizaciones filonianas de cuarzo-fosfato— haya podido tener en la génesis de las mineralizaciones en las dolomías cercanas, bien sea como aportador de P a la formación carbonatada, como removilizador del stock inicial de P en ésta, o como ambos. En particular resulta sugerente evocar para el primer tipo de mineralización descrito, en base a su paragénesis (fosfato-sílice) y a la morfología que a veces presenta (control por fracturación), un cierto tipo de relación genética con el batolito.

## 5. TIPOLOGIA DE LOS YACIMIENTOS (FACTORES DE CORRELACION)

Los yacimientos de fosfatos del Macizo Ibérico meridional pertenecen a dos tipos fundamentales, cuyas características están bien definidas.

### 1. Yacimientos filonianos asociados a granitos.

Sus principales caracteres son los siguientes:

1.1. Son de tipo filoniano. Normalmente se trata de haces filonianos bien definidos, de dirección predominante NE-SO (N 20°-N 40° E) y de mediana o pequeña extensión, especialmente cuando son intragraníticos.

1.2. Están en relación con cuerpos graníticos tardíos de tendencia calcoalcalina. A veces se presentan en facies favorables (leucogranitos moscovíticos) de tendencia sílico-potásica.

1.3. En estos granitos «fosfatíferos» de la «Provincia Extremeña» existe apatito diseminado en determinadas facies favorables.

1.4. Los granitos con mineralizaciones filonianas de fosfatos frecuentemente presentan también mineralizaciones de Sn-W y U.

1.5. Estos yacimientos filonianos de fosfatos presentan paragénesis simples (las denominadas «fosforitas»), casi exclusivamente constituidas por cuarzo y apatito en su variedad fibroso-radiada (dahllita). Pertenecen a la asociación variscica (qP) de ARRIBAS (1978).

1.6. Finalmente, estos yacimientos encuadrarían en el tipo «A» mundial establecido (Mapa previsor de mineralizaciones de fosfatos, IGME, 1972), en el que se sitúan yacimientos relacionados con rocas ígneas, pero no encajan en ninguno de los dos subtipos establecidos:

- I. Masas intrusivas asociadas a sienitas nefelínicas (Yacimiento tipo-Península de Kola).
- II. Masas intrusivas asociadas a carbonatitas y otras rocas alcalinas (Yacimiento tipo-Palabora, en Sudáfrica).

Por ello fue necesario crear un subtipo especial para las mismas, que fue denominado subtipo «Cáceres» (Mapa previsor de mineralizaciones de fosfatos, IGME, 1972). En este trabajo, teniendo en cuenta que se han encontrado otros yacimientos de las mismas características en las provincias de Badajoz y Toledo, así como se conoce su existencia en Portugal (fig. 1), se propone el término «Subtipo Ibérico» para estos yacimientos.

### 2. Yacimientos no filonianos situados en rocas carbonatadas.

Un tipo especial de yacimientos de fosfato del Macizo Hespérico, hasta ahora mal conocidos, pues habían sido asimilados en todos sus caracteres a los anteriores, son los que aparecen en relación con rocas carbonatadas, concretamente del Carbonífero Inferior.

Presentan unas características peculiares que los diferencian de forma notable del tipo anteriormente establecido. Estas son:

- 2.1. Se trata de mineralizaciones no filonianas.
- 2.2. El ámbito encajante de estas mineralizaciones está constituido por niveles carbonatados (calizas y dolomías) del Carbonífero Inferior.
- 2.3. Estas mineralizaciones se encuentran en su mayoría relacionadas con procesos kársticos.
- 2.4. Las paragénesis frecuentemente son monominerales, estando casi exclusivamente constituidas por fosfato (tipo colofana), de texturas colo-

formes y botroidales, y gangas constituidas por arcillas y calcita.

2.5. Se trata, según todo lo expuesto, de mineralizaciones singenéticas de fosfato que presentan en la actualidad un carácter epigenético a causa de removilizaciones.

## 6. HIPOTESIS GENETICAS

Para las mineralizaciones filonianas asociadas a granitos es sumamente llamativo el hecho de que se localicen únicamente en una determinada zona geotectónica del Macizo Ibérico, concretamente en la Centroibérico meridional (equivalente a la Lusitano-oriental-Alcúdice), máxime si se tiene en cuenta que el plutonismo tardihercínico en que se enclavan posee también unas características geoquímicas específicas de dicha Zona. Ello lleva a suponer la existencia de una relación genética entre las mineralizaciones y su encajante: Podrían ser resultado de un hidrotermalismo póstumo del plutón huésped; a este respecto, un dato a favor de dicho hidrotermalismo «fosfatífero» sería la presencia de mineralizaciones de amblygonita (fosfato de Litio) en el mismo ámbito, asociadas paragenéticamente a las de Sn y consideradas tradicionalmente por tanto como hidrotermales de alta temperatura. Las mineralizaciones objeto de este trabajo completarían la serie de mineralizaciones hidrotermales que llevarían consigo. Sin embargo, otra posibilidad sería que las mineralizaciones fuesen producto de una concentración en fracturas del P, quizá disperso en el granito y lixiviado por fluidos no necesariamente hidrotermales. Parte de las consideraciones expuestas son totalmente válidas para las mineralizaciones extratolíticas; sin embargo, su propia posición externa respecto del cuerpo granítico asociado, hace más factible la primera de las hipótesis, es decir, una génesis puramente hidrotermal a partir de la intrusión plutónica. Los fenómenos de apatitización observados en los hastiales graníticos de algunas mineralizaciones intratolíticas apoyarían también este mecanismo genético.

Para el caso de las mineralizaciones no filonianas situadas en formaciones carbonatadas, es muy significativo que en su mayoría aparezcan con morfologías típicamente exógenas, y sin relación con un plutonismo. Si a ello se une que la edad de la mayoría de las formaciones encajantes es Carbonífero (Inferior) y que, en un caso al menos

(Aliseda), se ha demostrado la presencia de un contenido, geoquímicamente anómalo de P en la formación carbonatada encajante, cabe pensar la existencia de una época fosfatogénica sedimentaria, más o menos importante, durante el Carbonífero Inferior en el Macizo Ibérico meridional. Esta es perfectamente correlacionable con la presencia de mineralizaciones sedimentario-diagenéticas fuera del área estudiada —en la Zona Cantábrica del Macizo Ibérico (León y Asturias) y en los Pirineos (Francia)— en formaciones de la misma edad, lo cual permitiría generalizar el hecho a toda la Península Ibérica.

Considerando de nuevo únicamente el área objeto de este trabajo, es decir, la parte meridional del Macizo Ibérico, cabe plantear ahora las posibles relaciones existentes entre los dos procesos fosfatogénicos —ígneos (o relacionados) y sedimentario— definidos. Los granitos en que se enclavan las mineralizaciones filonianas intratolíticas —y a los que se asocian las idénticas extratolíticas— son tardihercínicos y su intrusión deforma la esquistosidad principal hercínica que afecta al Carbonífero Inferior: el proceso fosfatogénico sedimentario es, pues, anterior al ígneo. Por otra parte, el particular carácter tectónico de la Zona Lusitano-oriental-Alcúdice, con su plutonismo que se emplaza casi sin excepción (\*) en los núcleos anticlinoriales de Precámbrico pizarroso-grauváquico, hace imposible que aquél, en su ascensión, haya atravesado formaciones del Carbonífero Inferior, «contaminándose» en P: Los dos procesos fosfatogénicos aparecen, por tanto, como independientes en su génesis, y el sedimentario como más antiguo.

Por último, las dos épocas fosfatogénicas definidas para el área hercínica de la Península Ibérica poseen diferentes características desde el punto de vista económico. La más antigua —de carácter sinsedimentario en el Carbonífero Inferior— es económicamente insignificante, pudiendo cobrar importancia debido a procesos concentradores posteriores. La siguiente etapa fosfatogénica —ígnea (o relacionada)— da lugar a manifestaciones filonianas, que fueron de importancia económica en España y que en su mayor parte aún no han sido suficientemente valoradas.

(\*) La excepción más notable, desde el punto de vista de este trabajo, la constituiría la zona de Aldea Moret, pero aún en este caso parece haber más evidencias a favor de que el granito ha podido enriquecer en P al Carbonífero Inferior que a la inversa.



## BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, A.; BARRERA, J.; CASQUET, C.; PEINADO, M., y TINAO, J.: *Caracterización geoquímica del plutonismo post-metamórfico del SO del Macizo Hespérico*. *Studia Geologica*, XII, pp. 9-39 (1977).
- ARRIBAS, A.: *Mineral paragenesis in the variscan metallogeny of Spain*. *Studia Geologica*, XIV, pp. 223-260 (1978).
- BOCHMANN, H.: *Estratigrafía y Tectónica de la Extremadura central en la región de Cáceres y Este de la Sierra de San Pedro (España)*. Tesis Univ. de Münster (1956).
- CAPDEVILA, R.; CORRETGE, G., y FLOOR, P.: *Les granitoides varisques de la Meseta Ibérique*. *Bull. Soc. Geol. France*, 15 pp., 209, 28 (1973).
- CASCAJOSA, F.: *Estudio de los yacimientos de hierro y fosfato de Aliseda*. *Bol. Of. Minas y Metalurgia*, núms. 35 y 36 (1920).
- COTELO NEIVA, J.; QUEIROZ, N., y FARIA, T.: *Geologie et genèse des gisements portugais d'apatite* (1963).
- CORRETGE, L. G.; UGIDOS, J. M., y MARTÍNEZ, F. J.: *Les Séries granitiques varisques du secteur centre-occidental espagnol*. In *Coll. Intern. C.N.R.S., Rennes, 243*, pp. 453-461 (1977).
- EGOZCUE, J., y MALLADA, L.: *Memoria geológico-minera de la provincia de Cáceres*. *Mem. de la Com. del Mapa geol. de España*, vol. 1, pp. 162-168 (1876).
- GIL SERRANO, G.; MONTESERÍN, V., y PINEDA, A.: *Mapa geológico y memoria explicativa de la Hoja núm. 728 (10-29), Puebla de Obando*. Publ. IGME (MAGNA). En prensa (1981).
- IGME: *División de investigaciones Mineras: Estudio de los criaderos de fosfatos de la parte centro-occidental de la provincia de Cáceres*. *Not. y Com. del IGME*, núm. 66, Madrid (1962).
- IGME: *Mapa predictor de mineralizaciones de fosfato* (1972).
- IGME: *Investigación geológico-minera de los principales yacimientos de fosforita del borde occidental de la Meseta* (1980).
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J.; RIBEIRO, A., y CONDE, L.: *Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares*. IGME (1974).
- KELCH, H.: *Stratigraphie und tectonik der zentralen Extremadura im Bereich der westlichen Sierra de San Pedro (Spanien)*. Unveröff. Dis. math. naturwiss. Fak. Univ. Münster, 145S, 54 Abb., 1 Taf. (1957).
- LOTZE, F.: *Zur gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta*. *Geotekt. Forsch.*, núm. 6, pp. 78-92 (1945).
- MONTESERÍN, V.; PINEDA, A., y GIL SERRANO, G.: *Mapa geológico y Memoria explicativa de la Hoja núm. 729 (11-29): Alcuéscar*. Publ. IGME (MAGNA). En prensa (1981).
- OEN ING SOEN: *Granite intrusions, folding and metamorphism in central northern Portugal*. *Bol. Inst. Geol. Min.*, 81-83 pp., 271-89 (1970).
- PÉREZ DOMÍNGUEZ: *Memoria de la Hoja núm. 942 (Palma del Rio)*. IGME (1973).
- PINEDA, A.; GIL SERRANO, G., y MONTESERÍN, V.: *Investigación geológico-minera en la zona de Arroyo de la Luz (Cáceres)*. IGME, inédito (1979).
- RAMÍREZ, E.: *Ensayo de análisis de posibilidades en mineralizaciones de la provincia de Cáceres*. *Bol. Geol. y Min.*, t. 85-II, pp. 171-181 (1974).
- RÍOS, J.: *Yacimientos y criaderos de fosfatos y su génesis*. ENADIMSA. Madrid (1969).
- ROSO DE LUNA, J.: *Note sur un phosphate de chaux dont il existe un gisement considerable a Logrosan*. *Comptes rend de la Acad. Scienc.*, t. XLV, pp. 376-77, Paris (1857).

Recibido: Marzo 1982.

## Prospección geofísica de acuíferos salobres en cuencas terciarias, análisis y crítica del método resistividad-polarización inducida

Por A. GRANDA SANZ (\*) y J. L. SASTRE PASCUAL (\*\*)

### RESUMEN

Partiendo de consideraciones teóricas respecto a las características y condicionantes de los métodos de prospección por resistividades y polarización inducida, se justifica su empleo combinado en la localización de acuíferos salobres.

La zona de aplicación se sitúa en la Cuenca del Duero, provincia de Valladolid, y sus características litológicas son especialmente indicadas al empleo de la metodología propuesta. En base a los resultados obtenidos, puede asegurarse la validez de la aplicación conjunta de ambos métodos y deducir conclusiones de interés respecto a sus posibilidades de empleo en problemas análogos.

### SUMMARY

Assuming theoretical considerations about the characteristics and conditioning of resistivity prospecting and induced polarization methods it is justifiable its compound use in saline aquiferous location.

The application area is located at Duero Basin, Province of Valladolid and its lithological characteristics are especially indicated for the employment of the proposed methodology. Taking as a basis the obtained results we might assure the validity of joint application of both methods and deduce interesting conclusions in respect to its employment possibilities in similar problems.

### INTRODUCCION

La localización de acuíferos salobres, en el ámbito de las cuencas sedimentarias y dentro de los órdenes de profundidad en que se sitúan las captaciones hidrogeológicas convencionales, es un tema del mayor interés por la incidencia negativa de la salinidad en las aplicaciones usuales de las aguas subterráneas.

En otros casos, la recuperación de las sales disueltas puede representar una actividad económica que impulse igualmente la búsqueda de ese tipo de acuíferos.

Por una u otra razón, haciendo incluso abstracción de la profundidad a que se sitúen, se plan-

tea a veces la conveniencia de definir la distribución espacial de tales objetivos. Dependiendo de las características de cada caso, se ha de dar una respuesta metodológica capaz de proporcionar la información adecuada dentro de unos márgenes de la relación coste/resultados proporcionales a los objetivos perseguidos.

En problemas de esta naturaleza cabe el empleo de una amplia gama de técnicas geofísicas, o variantes sobre una misma técnica, cuya utilización puede estar justificada a nivel teórico y que, sin embargo, no se utilizan al ser económicamente indefendibles.

Queremos con esta breve introducción hacer hincapié en este respecto, ya que la metodología y densidad de medidas realizadas en el ejemplo que presentamos se ha establecido como una situación de compromiso entre lo teóricamente conveniente y lo económicamente aconsejable.

(\*) Compañía General de Sondeos, S. A.

(\*\*) Tolsa, S. A.

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

Puede considerarse la zona de trabajo como representativa de las condiciones generales en muchas áreas de la Cuenca del Duero, que es, por su parte, un buen ejemplo del Terciario continental en España.

A nivel esquemático podría resumirse su litología como una sucesión monótona de alternancias arena-arcilla en proporciones variables y con espesores que superan en muchos casos los 1.000 metros.

Localmente existen afloramientos de yesos, asociados a unidades características del relieve, con los que se relaciona una cierta salinización de acuíferos superficiales. La sobreexplotación de estos acuíferos ha hecho crecer los índices de salinidad hasta los límites de utilidad de estas aguas. Baste como botón de muestra la observación de la figura 1, que corresponde a los contenidos en sulfatos de un sector del área estudiada, donde se ha producido una explotación masiva de los acuíferos superficiales.

Existen incluso zonas donde, independientemente de la explotación de aguas subterráneas salinizadas, aparecen en superficie charcas de alta salinidad asociadas a zonas arcillosas con eflorescencias de yeso.

Aparte de estos datos observables, cabe la hipótesis de que en profundidad existen depósitos salinos o acuíferos salobres con potencial interés económico en función de su naturaleza y localización.

El objetivo fundamental del estudio se sitúa en estos últimos, pero de todas formas la metodología empleada cubre, además, el estudio de las zonas salinizadas más superficiales.

Ante un modelo geológico como el comentado, se aplicó un método de trabajo tendente a la búsqueda de indicaciones cualitativas respecto a la presencia de posibles acuíferos salobres y su confirmación a través de una interpretación semicuantitativa de las curvas de SEV y SPI.

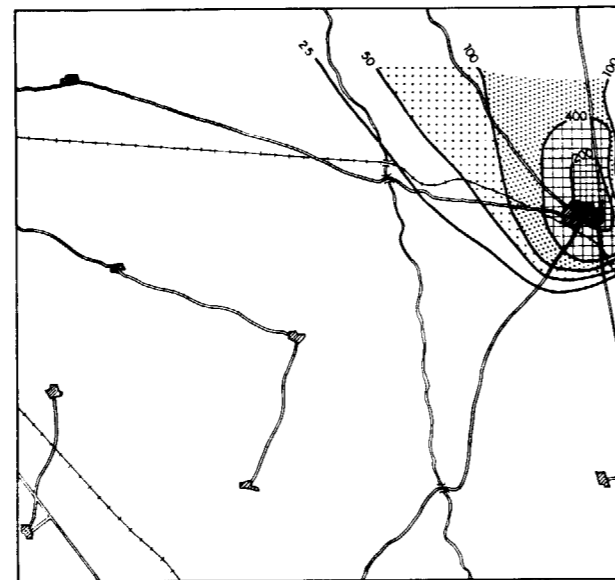
**METODOLOGIA DE TRABAJO**

Al plantearse la aplicación del método geofísico a la resolución de los objetivos enumerados en

el apartado anterior, destaca en primer término una característica de los acuíferos salobres que posibilita su detección: su baja resistividad eléctrica.

Naturalmente, la efectividad del método que apliquemos será función del contraste de propiedades físicas del medio a investigar. En nuestro caso, tal efectividad puede verse reducida por el hecho de que algunos de los materiales presentes son también buenos conductores, como es el caso de las arcillas.

Puede darse entonces cierta indeterminación al precisar la naturaleza de una posible anomalía



**LEYENDA**

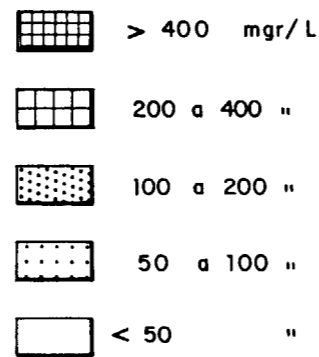


Figura 1.—Contenido de sulfatos.

conductora y consecuentemente será obligado recurrir a otro método geofísico capaz de aportar datos que resuelvan la dualidad interpretativa del método de resistividades.

Para el caso que nos ocupa, lo más adecuado es el empleo del método de polarización inducida (PI), partiendo de la hipótesis simplista de su diferente respuesta frente a las dos posibles situaciones generadoras de anomalías conductoras.

En los apartados siguientes pasaremos un breve repaso a los condicionantes de ambos métodos y a los aspectos teóricos que apoyan o limitan su empleo.

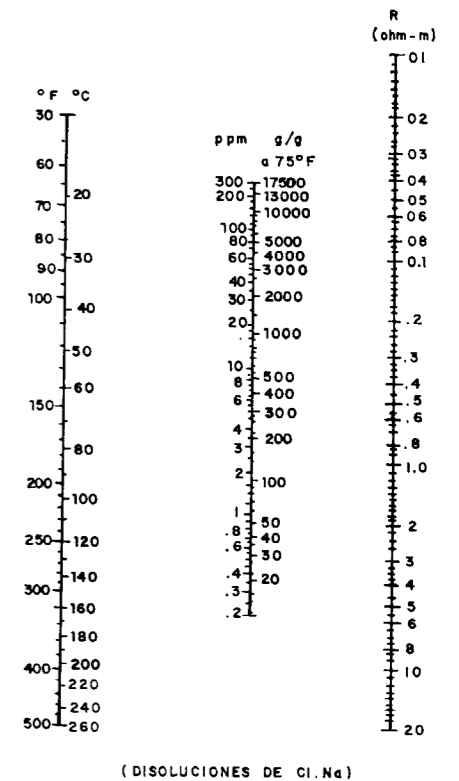
**RESISTIVIDADES**

Las condiciones topográficas y estructurales del área de estudio no ofrecen ninguna dificultad para la ejecución de la variante prospectiva a emplear (Sondeos Eléctricos Verticales), en lo que respecta a la disposición horizontal de las capas y a su extensión lateral. Sin embargo, es un hecho frecuente en este tipo de modelo geológico la obtención de curvas de SEV casi planas, si hacemos abstracción de la capa superficial. Este hecho viene justificado por el débil contraste de resistividad que se da entre capas cuya composición litológica no es muy diferente y por el orden métrico de las alternancias arenas-arcillas que no permite la diferenciación de unas y otras.

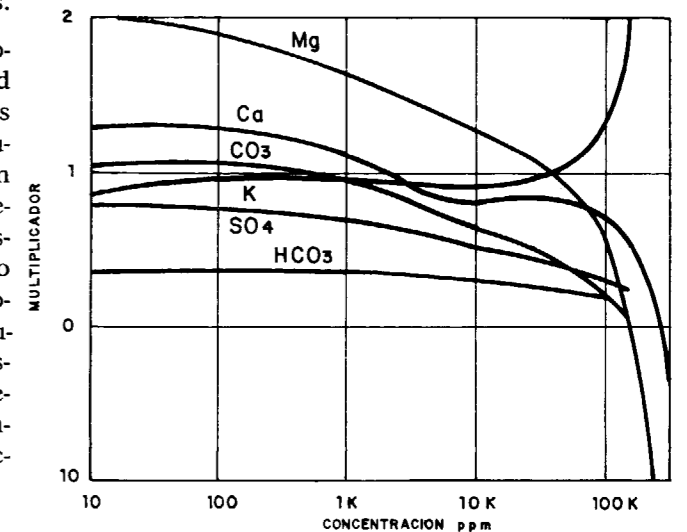
Cabe considerar que, en la hipótesis más razonable de trabajo, la diferencia de resistividad entre un nivel salinizado y un paquete de arcillas sea acusada aun cuando éstas sean de gran pureza. En la figura 2 representamos la relación salinidad-resistividad para diferentes iones, quedando claro en todos los casos el acusado descenso de resistividad eléctrica que lleva asociado cualquier incremento de la salinidad en las disoluciones. En relación con estos valores la figura 3 sería una síntesis de las variaciones de resistividad que cabe esperar para los materiales presentes en el área de estudio. Ambas figuras sintetizan el fundamento del empleo de la prospección por resistividades.

Sin embargo, pueden darse situaciones que provoquen un enmascaramiento en la curva de SEV debido, bien al reducido espesor del posible acuí-

fero salobre en relación con la profundidad a que se sitúe o bien a su situación, intercalado dentro de niveles arcillosos muy conductores. Por otro lado, estas zonas salinizadas posiblemente sigan



(DISOLUCIONES DE Cl Na)



Conversión de cualquier disolución a su equivalente en Cl Na

Figura 2.—Relación salinidad-resistividad.



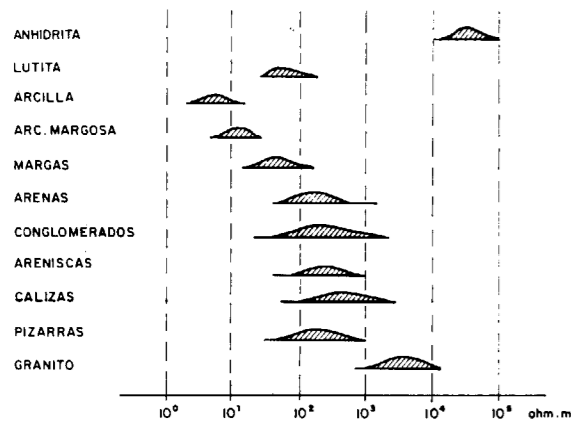


Figura 3.—Resistividad de algunas rocas.

una distribución espacial irregular con lo que su influencia sobre la curva de SEV puede verse minimizada, si éste se sitúa sobre áreas de estrechamiento o adelgazamiento de las mismas.

Es por esta razón por lo que consideramos que la interpretación de tales curvas ha de entenderse como semicuantitativas en lo que respecta a la localización en profundidad de las anomalías conductoras.

Como referencia bibliográfica que podría considerarse prototipo en la aplicación de los SEV al problema que nos ocupa, citamos «Recognition of natural brine by electrical soundings near the Salt Fork of the Brazos River, Kent and Stonewall Counties, Texas» Zohdy A. and Dallas J.

Dentro del programa general de estudio del área a investigar se sitúa la prospección por resistividades, constituyendo la primera fase de reconocimiento según una malla regular. Se pretende así limitar las posteriores etapas de la investigación, que son más caras, a las zonas que resulten de interés en función de los criterios que se apliquen al estudio de las resistividades. Para cubrir los objetivos previstos se efectuaron 120 SEV con AB máximo igual a 6.000 metros.

**POLARIZACION INDUCIDA**

Es clásico, en la literatura convencional respecto a aplicaciones de prospección de materiales no metálicos, el inicio de las mismas, con una simulación sobre modelos de laboratorio reproduciendo condiciones más o menos aproximadas

a la situación geológica esperable en la zona de estudio. Existen a este respecto una serie de trabajos fundamentales de los que cabe deducir consecuencias generales y de detalle en algunos casos. En base a ellas se puede estimar la influencia de los diversos condicionantes que influyen en el fenómeno de la polarización inducida. Fenómeno que en sí mismo presenta una gran complejidad y que no está actualmente explicado en todos sus aspectos. De una forma simplista podría hablarse de la polarización inducida como del fenómeno que mide la inercia electroquímica de un medio físico al cambio originado por el establecimiento de un campo eléctrico producido por una corriente continua según pulsos periódicos.

Puede considerarse el fenómeno de la polarización inducida como el resultado de varios procesos físico-químicos combinados. Siguiendo las ideas de VACQUIER (1959), OGILVY and KUZMINA (1972) y FREDRICKSBERG (1962), y en relación directa con la aplicación de la PI a la hidrología, se podría explicar su fenomenología como sigue. Considerando un medio permeable se le esquematiza según la figura 4: Una matriz rocosa no conductora y una serie de canales que conectan los espacios intergranulares. Las propiedades eléctricas difieren en función de la sección y tortuosidad de los conductos en que se sitúan los fluidos intersticiales. En las zonas «anchas» el comportamiento de los electrolitos es similar al de las disoluciones libres. Sin embargo, en los conductos «estrechos» la movilidad de los iones depende del signo de la doble capa de Helmholtz, aumentando o disminuyendo en función de su polaridad.

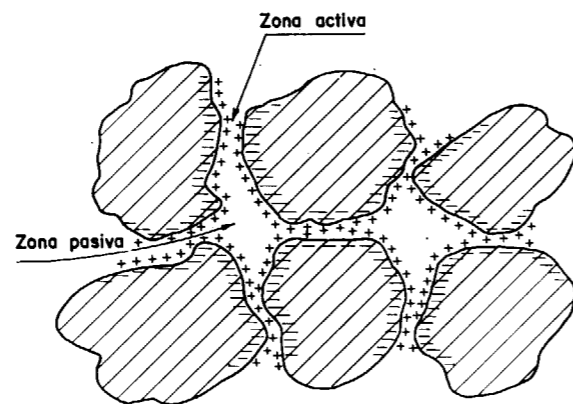


Figura 4.—Modelo esquemático de roca permeable.

Si a este sistema se le somete a una corriente de polaridad definida, se producen en él cambios locales de concentración que se oponen al establecimiento de un régimen en equilibrio. Tal equilibrio, expresado por

$$dm = (dg/F) \cdot n$$

llega a alcanzarse merced a un flujo de difusión (OGILVY, 1972), dado por la fórmula:

$$dm = DS (dc/dx) dt$$

siendo:

- dm=Cambio en la carga eléctrica.
- g=Cantidad de carga eléctrica.
- F=Número de Faraday.
- S=Sección del conducto capilar.
- D=Coefficiente de difusión.

Cuando se suspende el paso de la corriente los potenciales de difusión desarrollados, por la desigualdad entre el flujo de aniones y cationes, representan la fuerza electromotriz de polarización inducida, que desaparece gradualmente al eliminarse las diferencias de concentración.

FREDRICKSBERG (1962) y ROKITYANSKY (1971) han estudiado el fenómeno en función de la naturaleza de los iones en presencia, su influencia en el signo del potencial de la doble capa y su modificación por adición de nuevas sales.

La presencia de partículas de arcilla intensifica el efecto de polarización inducida, ya que al fenómeno de los potenciales de difusión se superpone el potencial de membrana tal como se describe por VACQUIER et al. (1957). Cuando los espacios intergranulares están parcialmente recubiertos por arcilla, las cargas positivas no compensadas de sus partículas crean una distribución de cargas en su entorno que actúa en oposición a cualquier campo inducido de origen externo (ver fig. 5).

En forma gráfica, que representa las posibilidades físicas de medida del fenómeno, la figura 6 indica las variaciones de diferencia de potencial entre dos puntos de un medio polarizable. La curva de descarga integra toda la información que el método puede ofrecer respecto a las condiciones del medio frente al fenómeno de la PI. Por esta razón es muy importante definir qué tipo de parámetros se van a obtener de tal curva, pudiera ser su registro continuo, o un muestreo a intervalos regulares de tiempo, etc. El tema es

complejo y se resuelve generalmente en función de las implicaciones instrumentales; sin embargo, queremos esbozar aquí la problemática de la medida del fenómeno de PI, sin entrar en su análisis por la extensión del tema.

Llegamos así al punto de hacer una reseña sobre la influencia de diversos parámetros que afectan a la PI. Según ROY y ELLIOT (1980) la magnitud de la medida de PI depende del potencial de membrana, de la salinidad del electrolito, de la naturaleza de los iones presentes, de la distribución y tamaño de granos, de la relación entre los contenidos de arcilla y arena, de la capacidad de cambio iónico del medio, de la presión osmótica, del espesor de la doble capa en la superficie

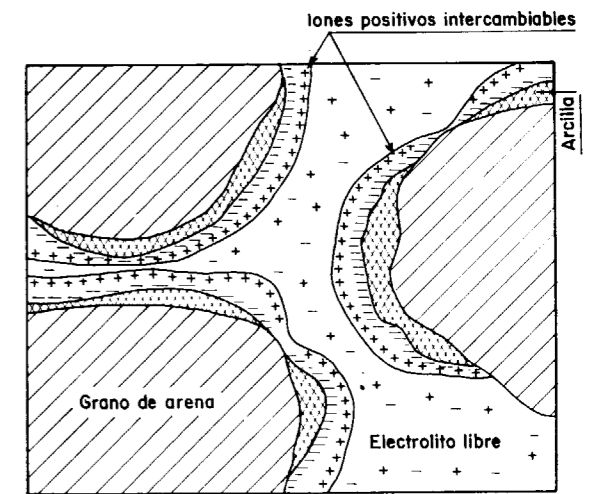


Figura 5.—Modelo de Vacquier.

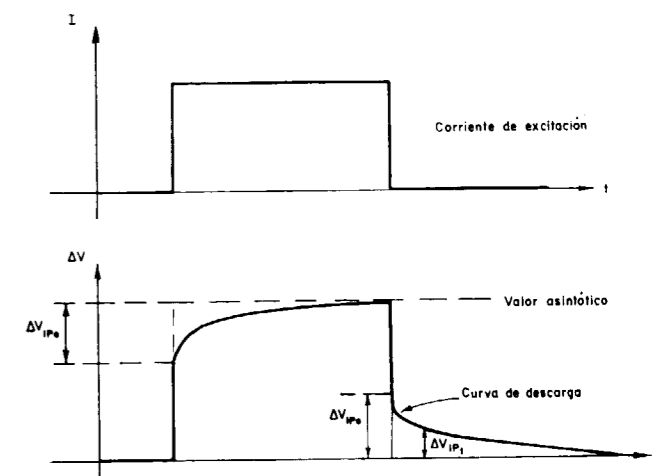


Figura 6.—Medida del fenómeno de PI.

medio-electrolito, de la densidad y frecuencia de la corriente de excitación, así como de la duración de los pulsos de excitación.

No menos prolija es la relación de factores que señala OGILVY (1972), ya que a la mayoría de las anteriores ha de sumarse la temperatura, contenido de humedad, etc.

En relación directa con nuestra aplicación práctica, vamos a centrarnos en aquellos factores de mayor interés y que pueden ser los siguientes:

### Relación polarización-tamaño de grano

En las diversas referencias al tema se reseñan ensayos de laboratorio con arenas de distinta granulometría. La forma de presentación de resultados es diferente según los autores (la figura 7 agrupa las más características), de donde se pueden deducir que, permaneciendo invariables el resto de los parámetros, la cargabilidad es máxima para diámetros de partícula del orden de 150 micras (fig. 7a).

El fenómeno también puede estudiarse en relación con la pendiente de la curva de descarga. Estableciendo el gráfico que relacione el diámetro de los granos de arena con la relación de cargabilidad para diferentes tiempos de excitación, se obtienen curvas del tipo de la figura 7 b, que vuelve a indicarnos cómo el crecimiento del tamaño de grano lleva asociada una reducción en la magnitud del fenómeno de PI.

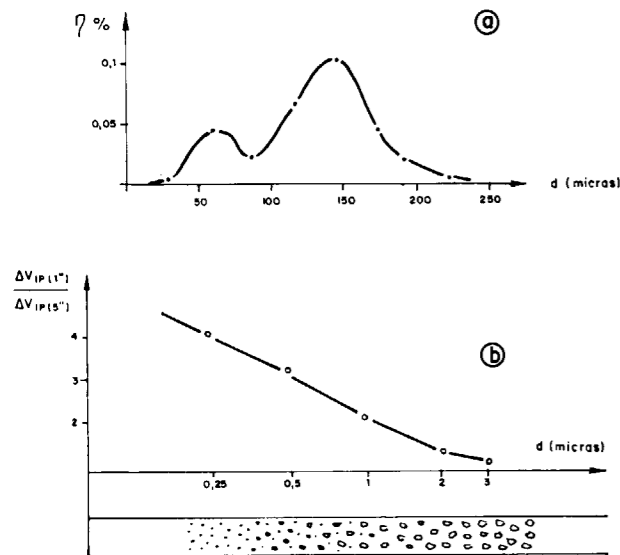


Figura 7.—Relación tamaño de grano-cargabilidad.

### Dependencia entre cargabilidad-relación arcilla/arena

Haciendo abstracción del tipo de arcilla utilizado en los ensayos de laboratorio, se observa que en términos generales el comportamiento es el representado en la figura 8 (según ROY y ELLIOT, 1980).

Los valores más bajos de cargabilidad son característicos tanto de arenas puras como de arcillas igualmente puras, mientras que los máximos valores corresponden a mezclas con un contenido de arenas próximo al 20 por 100.

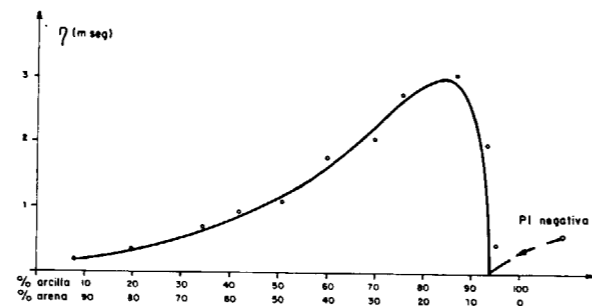


Figura 8.—Relación entre contenido de arcillas-cargabilidad.

### Relación de cargabilidad-humedad

Este aspecto es de trascendental importancia en las aplicaciones hidrogeológicas de la PI, y ha sido estudiado ampliamente por OGILVY y KUZMINA (1972), recogiendo sus resultados la figura 9.

Al margen de otras consideraciones respecto a la posible influencia de otros factores, se observa que la cargabilidad alcanza sus mayores valores para contenidos de humedad comprendidos entre 10 y 20 por 100. Dicho en otros términos, la zona más activa respecto a la PI es la situada inmediatamente sobre el nivel freático.

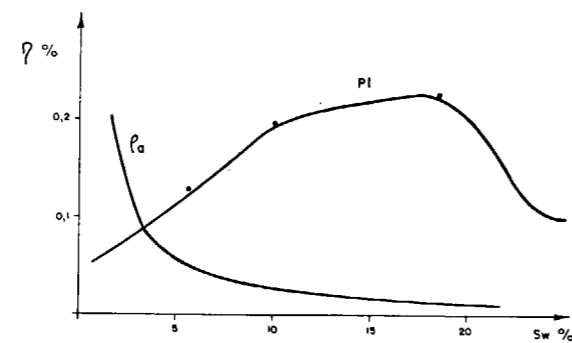


Figura 9.—Relación entre saturación-cargabilidad.

### Relación cargabilidad-salinidad

Diversos investigadores, desde VACQUIER hasta ROY, han estudiado este aspecto, llegando a resultados similares: el fenómeno de PI es tanto menos intenso cuanto mayor es la concentración salina de la disolución que rellena los poros de la matriz rocosa. Se llega a definir la cifra de 10 gr/l como límite a partir del cual no son detectables las lecturas de cargabilidad. La figura 10 representa diversas curvas de descarga correspondientes a las soluciones de diferente concentración, corroborando lo dicho anteriormente.

Respecto a la aplicación específica de nuestro caso, la circunstancia anterior tiene una especial validez que apoya la aplicación de la PI al estudio de cuencas continentales, en la prospección de acuíferos salobres. Existe una metodología específica para el estudio y análisis de las curvas de descarga que, como indica la figura 10, recogen en sí mismas una información de gran valor respecto a la salinidad de los posibles acuíferos.

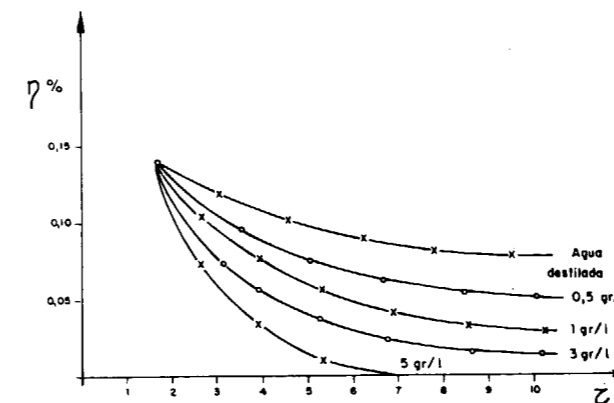


Figura 10.—Relación salinidad-cargabilidad.

Existen otras muchas variables, como pueden ser la valencia de los cationes en presencia, la temperatura, etc., que no consideramos dignas de mayores comentarios por estimar que su influencia, respecto a la situación y objetivos de nuestro estudio, no es trascendente.

Teniendo en cuenta todas estas circunstancias y dentro de la idea de emplear la PI como una fase complementaria, se realizaron 45 SPI con aperturas máximas AB=1.500 metros, distribuidos regularmente por toda la zona de estudio.

Previamente a la ejecución sistemática del trabajo de campo se realizaron ensayos para determinar los parámetros de la misma, especialmente en lo relativo a tiempos de excitación, naturaleza de los electrodos de medida, tiempo de integración, tiempo de espera, etc.

Combinando el necesario rendimiento con la calidad y fiabilidad de las lecturas se establecieron ciclos de carga-descarga de 4 seg. y tiempos de espera e integración de 400 y 600 mseg., respectivamente.

Especial atención se dedicó a la minimización de la resistencia de contacto para reducir las posibilidades de acoplamiento capacitivo, y en todos los casos se emplearon electrodos impolarizables de Cu—SO<sub>4</sub>Cu, aunque se ensayaron de Ag—ClAg.

Como precaución suplementaria se estableció la repetición de las lecturas cinco veces, cuando la cargabilidad fue menor de 6 mseg., y se tomó el valor medio. Para cargabilidad comprendida entre 4 y 6 mseg., la repetición de lecturas se efectuó 10 veces y 20 veces cuando descendió por debajo de 4 mseg. En todos los casos se adoptó como valor final la media de todas las lecturas.

Se utilizó un equipo SCINTREX de dominio de tiempos, compuesto por un emisor IPR-8 y un receptor IPC-7, ampliamente conocidos y suficientemente contrastados a lo largo de muchos años de aplicación en todo el mundo.

### INTERPRETACION CUALITATIVA DE LOS RESULTADOS

Como primera fase en la valoración de los resultados se realizó el análisis del conjunto de curvas de SEV y SPI obtenidos, tratando de definir agrupamientos que indiquen condiciones análogas dentro de zonas del área de investigación.

Del conjunto de curvas de SEV se pueden diferenciar algunos tipos característicos, que son los representados en la figura 11.

Los modelos 1 y 2 son típicos de cuencas continentales, con espesor considerable de sedimentos. Su característica esencial es el aspecto casi plano de las curvas, lo cual ofrece poca información respecto a la secuencia arcillas-arenas que las



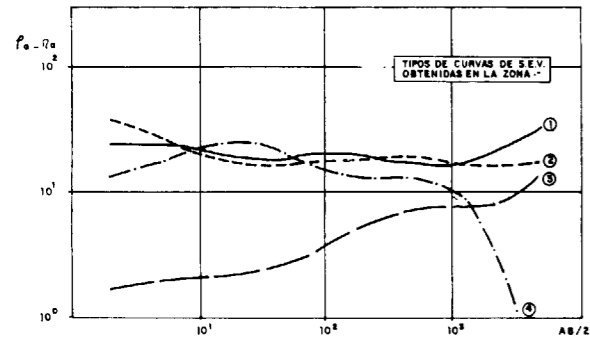


Figura 11.

origina. El hecho de que lleguen o no a manifestar la influencia del basamento resistivo diferencia ambas curvas en su tramo final.

Cuando existe en los niveles superficiales una salinización apreciable, como es el caso de algunos puntos del área de estudio, se aprecia el hecho claramente en las curvas de SEV que se inician con valores de resistividad muy bajos, tal como representa la curva 3 de la figura 11. Respecto a los fines del Estudio, el tipo de SEV de mayor interés es el núm. 4, que indica la presencia de niveles altamente conductores en su tramo final.

Tratando de observar la distribución espacial de las zonas conductoras, se elaboraron mapas de isoresistividades aparentes correspondientes a diferentes profundidades (función de AB/2).

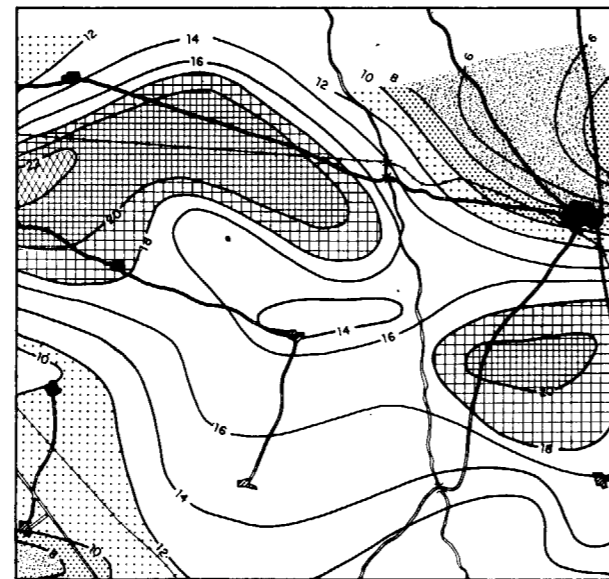
Puesto que la población de valores en cada caso puede seguir una distribución estadística particular, es conveniente definir los intervalos para el trazado de isolíneas mediante tratamiento estadístico que elimine los errores subjetivos y evite la aparición de falsas anomalías.

En nuestro caso la dispersión de cada población ha resultado reducida y, al objeto de poder hacer observables los rasgos de interés, hemos elegido intervalos iguales a la mitad de la desviación típica.

A título de ejemplo, de los resultados obtenidos incluimos las figuras 12 y 13, que corresponden a la distribución de resistividades aparentes en un sector del área estudiada, para distintos valores de apertura, AB/2. Puede observarse en ellos cómo las condiciones eléctricas del medio evolucionan con la profundidad, presentando ras-

gos de interés que pueden complementar los resultados de la interpretación cuantitativa.

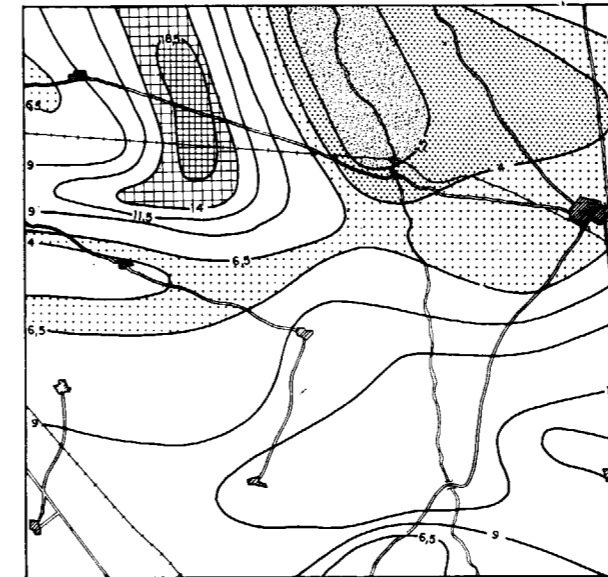
Dentro de este mismo apartado se puede incluir el análisis de las curvas de los SPI. Siguiendo los criterios de ROY y ELLIOT (1980) se definen, para el conjunto del área de estudio, unos límites de anomalía de cargabilidad conjuntamente con los de resistividad aparente. Naturalmente estos límites son en cierto modo subjetivos, aunque se apoyan en el conocimiento geológico e hi-



LEYENDA

|  |         |        |
|--|---------|--------|
|  | > 22    | ohm.m. |
| $> \bar{x} + \frac{3\delta n}{2}, < \bar{x} + 2\delta n$ | 20 - 22 | "      |
| $> \bar{x} + \delta n, < \bar{x} + \frac{3\delta n}{2}$  | 18 - 20 | "      |
| $> \bar{x} - \frac{\delta n}{2}, < \bar{x} + \delta n$   | 12 - 18 | "      |
| $> \bar{x} - \delta n, < \bar{x} - \frac{\delta n}{2}$   | 10 - 12 | "      |
| $> \bar{x} - \frac{3\delta n}{2}, < \bar{x} - \delta n$  | 8 - 10  | "      |
|  | < 8     | "      |

Figura 12.—Isorresistividades para AB/2=500 m.



LEYENDA

|   |           |        |
|---|-----------|--------|
|   | > 16,5    | ohm.m. |
| $> \bar{x} + \delta n, < \bar{x} + \frac{3\delta n}{2}$ | 14 - 16,5 | "      |
| $> \bar{x} - \frac{\delta n}{2}, < \bar{x} + \delta n$  | 6,5 - 14  | "      |
| $> \bar{x} - \delta n, < \bar{x} - \frac{\delta n}{2}$  | 4 - 6,5   | "      |
| $> \bar{x} - \frac{3\delta n}{2}, < \bar{x} - \delta n$ | 1,5 - 4   | "      |
|   | < 1,5     | "      |

Figura 13.—Isorresistividades para AB/2=2.000 m.

droquímico del área de estudio, así como en la forma y magnitud de los parámetros que definen ambos tipos de curvas. De todas formas, no es excesivamente trascendente el hecho de definir una zona de anomalía a partir de un valor estricto de cargabilidad o de resistividad aparente. Lo realmente importante es su localización dentro de unos márgenes razonables para posibilitar su posterior reconocimiento por otros métodos de mayor precisión.

Tomando como valores límites para la definición de anomalías 15 ohm.m. y 7 mseg., nos po-

demo encontrar con situaciones del tipo de las reflejadas en la figura 14, que corresponden a curvas reales obtenidas en el área de trabajo y cuyos resultados están contrastados por los datos de que actualmente se dispone.

Las curvas de la figura 14 a) presentan en su tramo central una zona anómala, tanto por su baja resistividad como por su mínimo de cargabilidad. Es obvio el interés de tal punto, que origina esas respuestas debido a la presencia de un acuífero salobre a profundidades moderadas (<100 m.).

Por el contrario, el caso de la figura 14 b), a pesar de la presencia de una anomalía conductora, carece de interés respecto a los objetivos del estudio, dado que tal anomalía no va asociada a un mínimo de cargabilidad. Esta circunstancia sugiere que el tramo conductor sea de naturaleza arcillosa.

El agrupamiento de curvas de resistividad y cargabilidad de acuerdo con los criterios anteriores se traduce en la definición de zonas de interés dentro de los márgenes de profundidad estudiados.

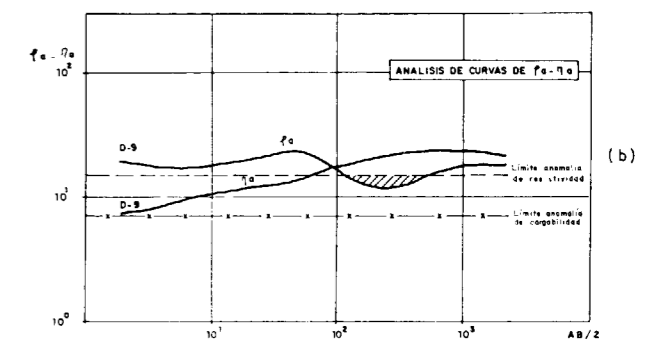
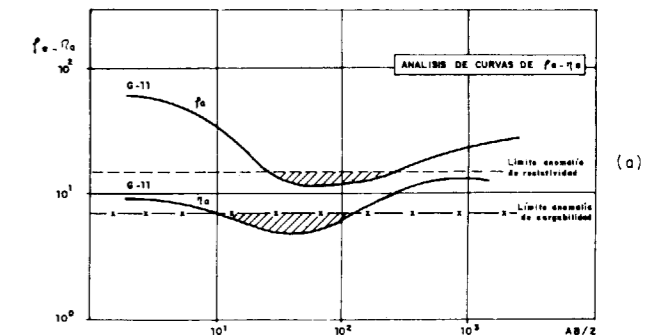


Figura 14.

ANALISIS CUANTITATIVO

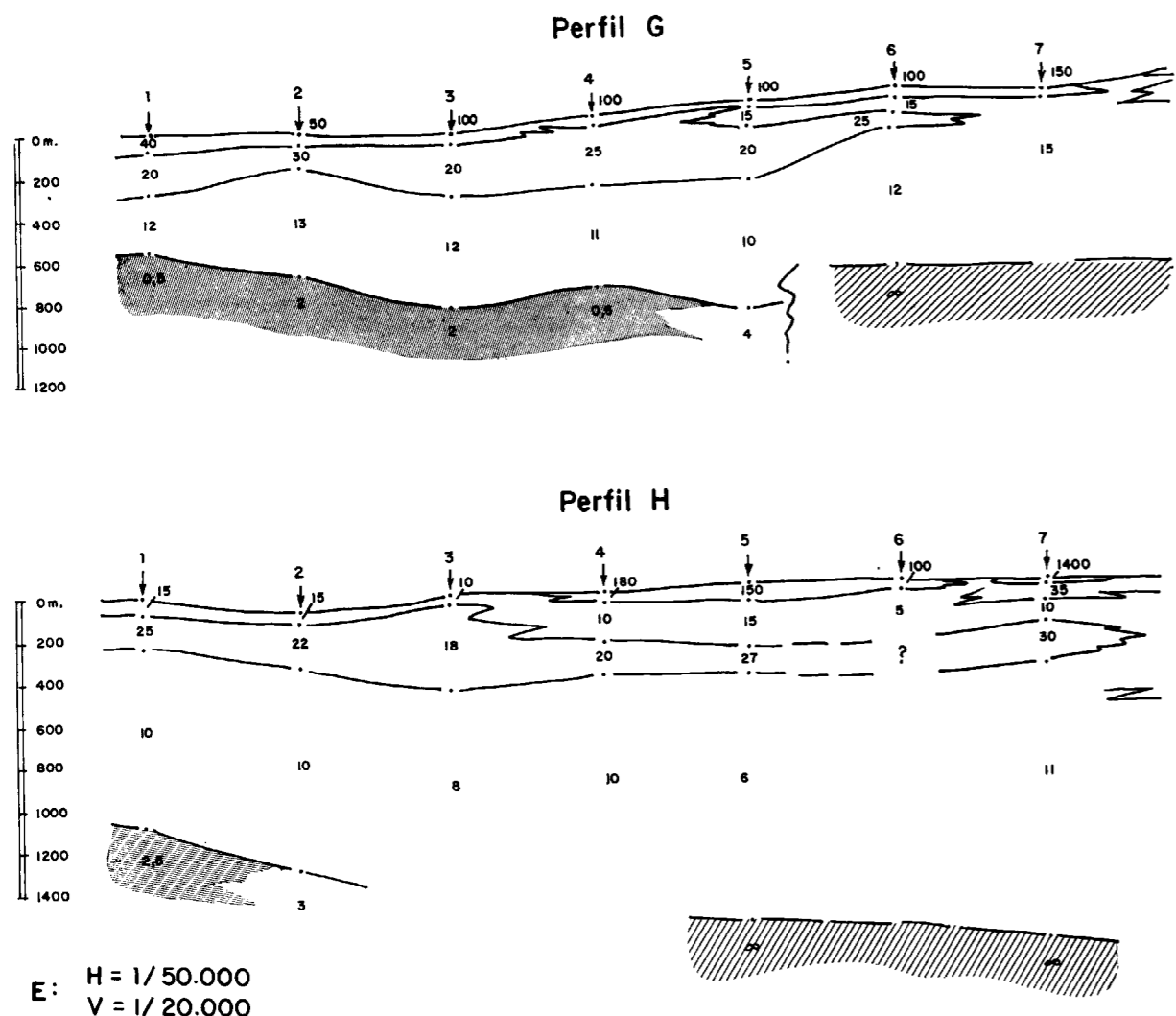
El estudio cuantitativo de las curvas de SEV se traduce en la identificación y posicionado de las diferentes formaciones litoeléctricas asignadas a la vertical del punto de medida.

Por tratarse de curvas de aspecto casi plano podría decirse que el conjunto del relleno Terciario de la cuenca actúa como un elemento homogéneo en el que resulta difícil la diferenciación de niveles particulares. No obstante, la presencia de tramos especialmente conductores, como ocurre en la parte final del SEV 4 en la figura 11, es perfectamente localizable. Respecto a su naturaleza no cabe la hipótesis de que sea de tipo arcilloso, porque las resistividades reales son inferiores a 2 ohm.m., lo cual no es común para este tipo de materiales.

Una vez realizada la interpretación de todos los SEV por los métodos clásicos de superposición, se ha efectuado el cálculo de los modelos teóricos correspondientes hasta conseguir el mejor grado de ajuste. Con estos resultados definitivos se han construido los perfiles geoelectricos correspondientes, pudiéndose de esta forma correlacionar los resultados y ofrecer una información completa de las condiciones litoeléctricas a lo largo de cada perfil.

En muchos casos ha podido estudiarse el conjunto del Terciario hasta su contacto con el basamento resistivo de naturaleza indefinida. La presencia de niveles muy conductores situados previsiblemente sobre el basamento ha enmascarado en otras ocasiones su presencia.

Como representativos de ambas situaciones incluimos en la figura 15 dos perfiles geoelectricos



E: H = 1/50.000  
V = 1/20.000

Figura 15.—Perfiles geoelectricos.

separados por una distancia de 5 km., que resumen de alguna forma el modelo geológico deducido para el área de trabajo.

Por ser especialmente significativo es conveniente señalar la presencia de un sustrato extremadamente conductor en el extremo N de ambos perfiles. Consideramos que está relacionado con la presencia de acuíferos salobres en esa zona y proponemos su reconocimiento mediante sondeos mecánicos.

La correlación de resultados entre todos los perfiles geoelectricos define una distribución espacial de los posibles acuíferos salobres, coherente con la morfología del basamento y que parece condicionada por las fracturas que le afectan.

CONCLUSIONES

La metodología de trabajo utilizada ha resultado satisfactoria al permitir abordar y solucionar los objetivos planteados en el estudio. Se puede afirmar que el método de resistividades, aun siendo de gran utilidad, precisa el complemento de los SPI para llegar a la definición de las áreas de auténtico interés, antes de pasar a la fase de reconocimiento mediante sondeos.

La ejecución de un SPI exige unas condiciones operativas y unas precauciones especiales, que se traducen en unos tiempos de ejecución aproximadamente tres veces superiores a los correspondientes a SEV de igual apertura (AB) máxima. Por esta razón, es lógico plantear una investigación del tipo de la realizada en dos fases: La primera, mediante SEV, tratará de definir las zonas potencialmente interesantes, mientras que la segunda acotará la validez de estas primeras zonas a partir de SPI.

Ante situaciones geológicas complejas puede darse la necesidad de trabajar previamente sobre modelos representativos de las posibles condiciones reales. Este trabajo adicional complementado con el cálculo de las curvas tipo, permitirá comprender e interpretar con mayor fiabilidad los resultados de campo sin representar un encarecimiento excesivo en el total del trabajo.

En síntesis, es de destacar que el método de PI está suficientemente desarrollado como para constituir una herramienta de valor en el campo hidrogeológico, como método complementario del de

resistividades. El trabajo que presentamos es una muestra dentro de una aplicación muy específica. Existen otras, como la hidrogeología en zonas kársticas, o la ingeniería civil, donde las posibilidades son amplias de cara a ofrecer soluciones al menor coste, lo cual constituye en definitiva el fin último de las técnicas de prospección.

AGRADECIMIENTOS

La ejecución del presente trabajo no hubiera sido posible sin la decidida voluntad de los técnicos de TOLSA, respecto a la aplicación de una metodología relativamente poco empleada, especialmente los SPI, para el estudio de problemas análogos al de nuestra aplicación.

A los directivos de TOLSA hemos de agradecerles las facilidades dadas para la publicación del trabajo y asimismo a la Compañía General de Sondeos por el apoyo prestado en todo momento.

BIBLIOGRAFIA

BRANT et al.: *Examples of induced polarization field results in the time domain.* Mining geophysics, v. 1, pp. 288-305 (1966).

DIETER et al.: *IP and resistivity type curves for three dimensional bodies.* Geophysics, v. 34, pp. 615-632 (1969).

FRISCHE et al.: *The theoretical study of induced electrical polarization.* Geophysics, vol. 22, pp. 688-706 (1957).

PATELLA, D.: *An interpretation theory for induced polarization vertical soundings (time-domain).* Geophysical Prospecting, 20, pp. 561-579 (1972).

PATELLA, D.: *A new parameter for the interpretation of induced polarization field prospecting (time-domain).* Geophysical prospecting, vol. 21, pp. 315-329 (1973).

OGLIVI et al.: *Hidrogeologic and engineering-geologic possibilities for employing the method of induced potentials.* Geophysics, vol. 37, pp. 837-861 (1972).

Roy et al.: *Model studies on some aspects of resistivity and membrane polarization behaviour over layered earth.* Geological Survey of Canada. Meeting de 1977 de la Geological Association of Canada (1977).

Roy et al.: *Combined resistivity and induced polarization survey for locating saline water pockets.* Meeting de 1980 de la Geological Association of Canada (1980).

SUMI, F.: *Prospecting for non-metallic minerals by induced polarization.* 27.º Meeting of EAEG, Madrid, 1965 (1965).

VACQUIER et al.: *Prospecting for ground water by induced electrical polarization.* Geophysics, vol. XXII, pp. 660-687 (1957).

ZOHBY et al.: *Recognition of natural (brine by electrical soundings near the Salt Fork of the Brazos River, Kent and Stonewall Counties, Texas.* US. Geological Survey. Informe interno (1965).

Recibido: Mayo 1982.



ESTUDIOS DE MINERALES Y ROCAS

# Geotermómetros y geobarómetros en el área metamórfica del Sistema Central Español

Por A. APARICIO YAGUE (\*) y L. GARCIA CACHO (\*)

RESUMEN

La utilización de datos geotermométricos y geobarométricos obtenidos a partir del quimismo de pares mineralógicos característicos (biotita-granate, estauroлита-granate, cordierita-granate, feldespato potásico-plagioclase) permite nuevas consideraciones sobre las isotermas e isobaras previamente establecidas en el conjunto metamórfico del Sistema Central Español. A la luz de los nuevos datos se confirma que la intensidad de los procesos metamórficos alcanza, como máximo, el grado medio y se establece la existencia de procesos de granitización en áreas hasta ahora consideradas como de metamorfismo de alto grado.

ABSTRACT

The geochemistry data of biotite-garnet, staurolite-garnet, cordierite-garnet, potassium feldspar-plagioclase mineral pairs are used like geothermometers and geobarometers, bringing forward new ideas on the isotherms and isobars in metamorphic rocks of the Sistema Central Español. The results permit to established a metamorphism only of very low, low and medium grade and considered a granitization process on areas, before attribute to high metamorphism.

INTRODUCCION

Las características físicas del metamorfismo regional del Sistema Central Español han sido establecidas fundamentalmente a partir de datos paragenéticos, teniendo en cuenta las condiciones de equilibrio de los minerales índice presentes.

Las secuencias metamórficas del Sistema Central incluyen áreas de muy bajo grado (APARICIO y GALÁN, 1980) con paragénesis cuarzo ± albita ± clorita ± paragonita ± allervardita; áreas de bajo grado metamórfico (SCHAFER, 1969; SOERS, 1972; GARCÍA CACHO, 1973; APARICIO y GALÁN, 1978; etc.) con paragénesis tipo cuarzo + albita + clorita + moscovita; áreas de grado intermedio (GARCÍA CACHO, 1973), con secuencias tipo cloritoide-estauroлита-distena-sillimanita y áreas consideradas de alto grado metamórfico (GARCÍA CACHO, 1973; FUSTER *et al.*, 1974; LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975), con paragénesis tipo cuarzo + biotita + plagioclase + feldespato potásico ± sillimanita ± cordierita.

La oscilación térmica máxima calculada para estos conjuntos metamórficos varía desde los 200° C en los niveles de muy bajo grado, hasta los 670° C en el denominado alto grado, con presiones de 1 a 3,5 Kb establecidos en áreas de muy bajo grado, presiones de 4 a 6,5 Kb en áreas de metamorfismo intermedio y valores de 3 a 3,5 Kb en los conjuntos de alto grado metamórfico.

A partir de todos estos datos se reconoció y estableció un modelo metamórfico desarrollado en tres áreas metamórficas tipo (Sectores oriental, central y occidental de la Sierra de Guadarrama) con gradientes térmicos y béricos respectivamente más altos y más bajos al pasar del sector oriental al occidental. Igualmente, criterios basados en las relaciones metamorfismo-deformación (LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975) sirvieron de apoyo para establecer que el proceso metamórfico se realizó en dos etapas sucesivas con gradientes béricos y térmicos diferentes y cuyo límite de separación temporal estaría situado en la segunda de las dos fases sinquistosas reconocidas en estas áreas. No obstante, trabajos más recientes (APARICIO y GALÁN, 1978; APARICIO *et al.*, 1979a) en base a crite-

(\*) Instituto de Geología, C.S.I.C. José Gutiérrez Abascal, 2. Madrid-6.

rios de petrofábrica, estratigráficos, paragenéticos y de quimismo mineralógico apoyan la existencia de un único y continuado proceso de dinamometamorfismo regional, modificando en parte lo establecido por LÓPEZ RUIZ *et al.* (1975). Por otra parte, APARICIO *et al.* (1979 b) y LÓPEZ RUIZ *et al.* (1975, 1978 y 1980) no han podido establecer diferencias de quimismo entre los minerales metamórficos originados en diferentes periodos de blastesis y en distintos sectores, y que, en cualquier caso, no se ha presentado todavía ninguna hipótesis que justifique convincentemente la causa de las variaciones temporales y espaciales del gradiente metamórfico en que están basadas las dos etapas metamórficas. De igual forma, tampoco se ha explicado hasta ahora la aparente discordancia metamórfica planteada por la presencia de numerosas restitas y/o enclaves con tamaños muy variables y de aspecto poco metamórfico, en áreas más o menos migmatíticas, en general de carácter porfiroblástico, y consideradas como de alto grado de metamorfismo.

Por otro lado, son relativamente numerosos los trabajos publicados sobre las variaciones del quimismo mineralógico y de la roca total en relación con la intensidad de los procesos metamórficos en distintas áreas de la cadena (APARICIO y BELLIDO, 1976; APARICIO *et al.*, 1979 c; LÓPEZ RUIZ y GARCÍA CACHO, 1974; LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1978, 1980). Toda esta serie de datos permite abordar el estudio de geotermómetros y geobarómetros en el Sistema Central Español.

SELECCION DE LOS MATERIALES Y TECNICAS UTILIZADAS

Se han estudiado una serie de muestras de las formaciones metamórficas más representativas del Sistema Central Español (fig. 1).

Para paliar en la medida de lo posible el efecto que las diferencias de composición de las rocas pueden introducir en la composición química de los minerales, se han seleccionado siempre rocas de ascendencia pelítica. No obstante, teniendo en cuenta la amplia variabilidad de los niveles metamórficos considerados, tanto la composición mineralógica como los tipos texturales y estructurales son muy variados (tabla I). Se han considerado, pues, rocas pizarrosas, esquistosas, néisicas y migmatíticas, estas últimas fundamentalmente de tipo

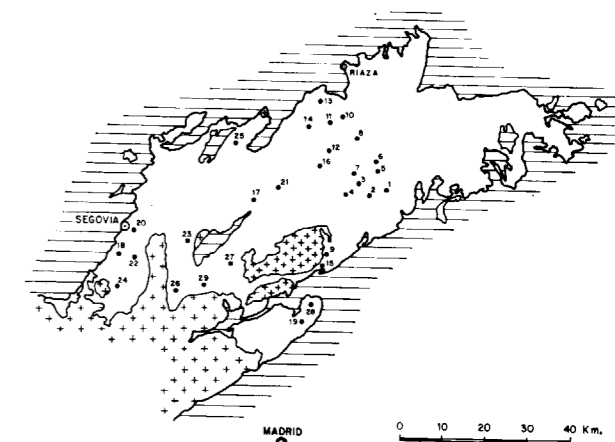


Figura 1.—Area estudiada y situación de muestras.

porfiroblástico. Figuran además una serie de rocas de textura pizarrosa y esquistosa más o menos feldespaticada, que aparecen frecuentemente como

TABLA I  
Mineralogía de las muestras analizadas

| Número muestra | Cuarzo | Clorita | Moscovita | Biotita | Cloritoide | Estauroлита | Distena | Sillimanita | Plagioclase | Feldespato K | Granate | Andalucita | Cordierita | Ilmenita | Zircón | Turmalina | Apatito |
|----------------|--------|---------|-----------|---------|------------|-------------|---------|-------------|-------------|--------------|---------|------------|------------|----------|--------|-----------|---------|
| 1              | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             |             |              | x       |            |            |          |        |           |         |
| 2              | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             |             |              | x       |            |            |          | x      |           |         |
| 3              | x      | x       | x         | x       | x          | x           |         |             |             |              | x       |            |            |          | x      | x         |         |
| 4              | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             |             |              | x       |            |            |          |        |           |         |
| 5              | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             |             |              |         | x          |            |          | x      |           |         |
| 6              | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             |             |              | x       |            |            |          | x      |           |         |
| 7              | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             | x           |              | x       |            |            |          | x      |           |         |
| 8              | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             |             |              | x       |            |            |          | x      |           |         |
| 9              | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           |              | x       |            |            |          | x      |           |         |
| 10             | x      | x       | x         | x       |            |             | x       | x           | x           |              | x       |            |            |          |        | x         |         |
| 11             | x      | x       | x         | x       | x          | x           | x       | x           | x           |              | x       |            |            |          |        | x         |         |
| 12             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           |              | x       |            |            |          |        | x         | x       |
| 13             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        | x         | x       |
| 14             | x      | x       | x         | x       | x          |             |         |             | x           |              | x       |            |            |          |        | x         | x       |
| 15             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             |             | x            | x       | x          |            |          | x      |           |         |
| 16             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        | x         | x       |
| 17             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        |           |         |
| 18             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       | x          |            |          |        | x         |         |
| 19             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        | x         |         |
| 20             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        |           |         |
| 21             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        |           |         |
| 22             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        |           |         |
| 23             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            | x       |            |            |          |        |           |         |
| 24             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            |         |            |            |          |        |           |         |
| 25             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            |         |            |            |          |        |           |         |
| 26             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           | x            |         |            |            |          |        |           |         |
| 27             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             |             |              | x       |            |            |          |        | x         |         |
| 28             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           |              | x       |            |            |          |        | x         | x       |
| 29             | x      | x       | x         | x       |            |             |         |             | x           |              |         |            |            |          |        |           |         |

TABLE II  
Composición química de granates

|                                | 1      | 2*     | 3*    | 4*     | 5*    | 6*     | 7*    | 8*    | 9*     | 10     | 11*    |
|--------------------------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 36.44  | 37.36  | 36.17 | 38.20  | 35.70 | 38.85  | 38.29 | 38.06 | 38.70  | 37.16  | 38.01  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 22.69  | 20.64  | 20.40 | 23.13  | 19.94 | 19.86  | 20.84 | 21.79 | 23.24  | 22.49  | 21.49  |
| FeO                            | 37.20  | 36.53  | 38.16 | 40.11  | 37.06 | 37.52  | 37.68 | 33.33 | 31.31  | 34.10  | 37.79  |
| MgO                            | 0.45   | 1.15   | 1.19  | 1.69   | 1.38  | 2.60   | 1.41  | 2.92  | 1.86   | 1.90   | 1.33   |
| CaO                            | 1.24   | 4.69   | 1.37  | 1.62   | 1.35  | 1.47   | 1.54  | 1.40  | 5.42   | 1.11   | 3.29   |
| MnO                            | 2.49   | 1.90   | 1.62  | 1.89   | 1.66  | 1.86   | 1.87  | 1.94  | 4.52   | 3.54   | 1.61   |
| TOTAL                          | 100.51 | 102.27 | 98.91 | 106.64 | 97.09 | 102.16 | 99.63 | 99.44 | 105.05 | 100.30 | 100.52 |
| Si                             | 5.897  | 5.969  | 5.986 | 5.847  | 6.006 | 6.165  | 5.951 | 6.085 | 5.909  | 5.978  | 6.079  |
| Al <sup>IV</sup>               | 0.102  | 0.031  | 0.014 | 0.153  | —     | —      | 0.049 | —     | 0.091  | 0.021  | —      |
| Al <sup>VI</sup>               | 4.232  | 3.863  | 3.972 | 4.027  | 3.961 | 3.721  | 3.985 | 4.113 | 4.098  | 4.193  | 4.058  |
| Fe                             | 5.040  | 4.887  | 5.288 | 5.140  | 5.221 | 4.980  | 5.173 | 4.461 | 4.003  | 4.593  | 4.658  |
| Mg                             | 0.108  | 0.274  | 0.294 | 0.386  | 0.243 | 0.612  | 0.345 | 0.697 | 0.887  | 0.479  | 0.317  |
| Ca                             | 0.214  | 0.883  | 0.242 | 0.265  | 0.347 | 0.248  | 0.271 | 0.240 | 0.424  | 0.190  | 0.564  |
| Mn                             | 0.339  | 0.256  | 0.225 | 0.243  | 0.325 | 0.248  | 0.258 | 0.261 | 0.581  | 0.456  | 0.217  |

Composición química de biotitas

|                                | 1     | 2*    | 3*    | 4*     | 5*    | 6*    | 7*     | 8*    | 9*    | 10     | 11*   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 34.03 | 34.77 | 33.37 | 34.78  | 34.68 | 32.74 | 33.97  | 34.63 | 34.53 | 36.02  | 33.71 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.71 | 20.15 | 19.84 | 20.19  | 19.32 | 19.09 | 21.45  | 19.54 | 18.28 | 18.04  | 20.80 |
| FeO                            | 27.04 | 22.10 | 24.53 | 23.73  | 22.11 | 21.80 | 23.17  | 21.06 | 18.85 | 19.78  | 22.74 |
| MgO                            | 5.44  | 7.55  | 6.93  | 7.78   | 8.38  | 9.39  | 8.88   | 10.35 | 10.95 | 11.48  | 8.22  |
| K <sub>2</sub> O               | 8.27  | 7.03  | 7.22  | 7.95   | 3.92  | 7.93  | 8.19   | 8.47  | 8.65  | 8.56   | 7.83  |
| TiO <sub>2</sub>               | 1.78  | 1.78  | 1.52  | 1.59   | 1.71  | 1.65  | 1.64   | 1.59  | 1.55  | 2.31   | 1.38  |
| MnO                            | 0.10  | 0.07  | 0.08  | 0.08   | 0.08  | 0.07  | 0.10   | 0.09  | 0.12  | 0.10   | 0.12  |
| H <sub>2</sub> O               | 4.08  | 3.88  | 3.80  | 3.93   | 3.92  | 3.78  | 4.03   | 3.93  | 3.85  | 3.87   | 3.88  |
| TOTAL                          | 99.46 | 97.33 | 97.29 | 100.07 | 99.25 | 99.45 | 101.43 | 99.66 | 96.78 | 100.16 | 98.68 |
| Si                             | 5.315 | 5.383 | 5.261 | 5.307  | 5.323 | 5.184 | 5.048  | 5.269 | 5.367 | 5.414  | 5.200 |
| Al <sup>IV</sup>               | 2.687 | 2.617 | 2.739 | 2.693  | 2.677 | 2.816 | 2.952  | 2.731 | 2.633 | 2.585  | 2.800 |
| Al <sup>VI</sup>               | 0.766 | 1.057 | 0.944 | 0.936  | 0.810 | 0.741 | 0.652  | 0.767 | 0.722 | 0.616  | 0.980 |
| Fe                             | 3.536 | 2.865 | 3.233 | 3.029  | 2.839 | 2.883 | 2.881  | 2.679 | 2.453 | 2.489  | 2.932 |
| Mg                             | 1.269 | 1.739 | 1.628 | 1.766  | 2.069 | 2.215 | 1.968  | 2.344 | 2.542 | 2.578  | 1.886 |
| K                              | 1.648 | 1.382 | 1.443 | 1.550  | 1.637 | 1.604 | 1.552  | 1.639 | 1.716 | 1.642  | 1.542 |
| Ti                             | 0.209 | 0.210 | 0.182 | 0.182  | 0.195 | 0.195 | 0.182  | 0.182 | 0.181 | 0.261  | 0.163 |
| Mn                             | 0.013 | 0.006 | 0.007 | 0.007  | 0.007 | 0.007 | 0.009  | 0.008 | 0.015 | 0.126  | 0.013 |
| OH                             | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000  | 4.000 | 4.000 | 4.000  | 4.000 | 4.000 | 4.000  | 4.000 |

\* Análisis publicados en LÓPEZ RUIZ et al. (1975).

Composición química de feldespatos

|                                | Plagioclasa |        |        |        |        |        |        | Feldespato potásico            |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------------------|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                | 21          | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 29     | 21                             | 22     | 23     | 24     | 25     | 26     | 29     |        |
| SiO <sub>2</sub>               | 61.77       | 63.15  | 64.16  | 63.52  | 62.41  | 65.04  | 62.63  | SiO <sub>2</sub>               | 60.86  | 65.36  | 63.56  | 63.88  | 65.90  | 64.74  | 64.03  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 24.02       | 23.55  | 22.06  | 22.71  | 24.35  | 20.36  | 23.87  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 19.09  | 18.95  | 19.07  | 19.31  | 18.45  | 20.15  | 19.48  |
| CaO                            | 6.21        | 4.29   | 3.91   | 1.83   | 4.05   | 3.79   | 5.55   | CaO                            | 4.86   | 0.16   | 0.12   | 0.20   | 0.13   | 0.10   | 0.19   |
| Na <sub>2</sub> O              | 8.08        | 8.88   | 9.40   | 10.62  | 9.12   | 9.76   | 8.69   | Na <sub>2</sub> O              | 1.81   | 1.41   | 1.87   | 1.61   | 1.22   | 0.79   | 1.37   |
| K <sub>2</sub> O               | 0.42        | 0.42   | 0.43   | 0.25   | 0.30   | 0.35   | 0.42   | K <sub>2</sub> O               | 14.07  | 14.33  | 14.32  | 15.76  | 14.02  | 14.31  | 15.63  |
| TOTAL                          | 100.50      | 100.29 | 99.96  | 98.93  | 100.23 | 99.30  | 101.16 | TOTAL                          | 100.69 | 100.21 | 98.94  | 100.76 | 99.72  | 100.09 | 100.70 |
| Si                             | 10.930      | 11.135 | 11.345 | 11.313 | 11.104 | 11.570 | 11.001 | Si                             | 11.357 | 11.959 | 11.827 | 11.762 | 12.067 | 11.826 | 11.771 |
| Al                             | 5.018       | 4.920  | 4.606  | 4.775  | 5.073  | 4.275  | 4.950  | Al                             | 4.206  | 4.085  | 4.189  | 4.198  | 3.989  | 4.346  | 4.228  |
| Ca                             | 1.177       | 0.810  | 0.740  | 0.348  | 0.765  | 0.722  | 1.044  | Ca                             | 0.972  | 0.030  | 0.023  | 0.038  | 0.025  | 0.018  | 0.036  |
| Na                             | 2.771       | 3.035  | 3.223  | 3.667  | 3.121  | 3.367  | 2.960  | Na                             | 0.654  | 0.499  | 0.674  | 0.574  | 0.432  | 0.279  | 0.487  |
| K                              | 0.093       | 0.093  | 0.095  | 0.556  | 0.065  | 0.079  | 0.093  | K                              | 3.352  | 3.344  | 3.401  | 3.704  | 3.278  | 3.336  | 3.668  |

Sigue TABLA II  
Composición química de granates

| 12*   | 13    | 14*    | 15*    | 16*    | 17*   | 18*    | 19*   | 20*    | 21    | 27     | 28    |
|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 35.48 | 36.25 | 35.91  | 34.83  | 37.38  | 37.02 | 38.66  | 35.21 | 36.93  | 39.39 | 35.93  | 37.29 |
| 22.28 | 22.24 | 22.43  | 23.56  | 20.06  | 20.90 | 21.80  | 21.66 | 20.06  | 20.06 | 23.90  | 23.65 |
| 35.62 | 33.87 | 41.01  | 36.86  | 36.02  | 33.87 | 35.97  | 36.31 | 36.07  | 30.11 | 32.94  | 34.41 |
| 1.24  | 1.56  | 1.97   | 2.56   | 1.80   | 1.20  | 2.66   | 2.63  | 2.22   | 2.30  | 1.39   | 2.23  |
| 2.95  | 1.60  | 1.45   | 1.92   | 2.39   | 1.00  | 1.04   | 2.93  | 0.76   | 0.89  | 0.98   | 1.22  |
| 0.62  | 4.42  | 1.54   | 2.24   | 2.65   | 5.43  | 1.52   | 0.69  | 5.45   | 1.63  | 5.15   | 0.80  |
| 98.19 | 99.94 | 104.31 | 101.97 | 100.30 | 99.42 | 101.65 | 99.43 | 101.43 | 99.38 | 100.29 | 99.60 |
| 5.841 | 5.878 | 5.682  | 5.572  | 6.065  | 6.050 | 6.088  | 5.755 | 5.980  | 5.996 | 5.768  | 5.943 |
| 0.159 | 0.121 | 0.318  | 0.428  | —      | —     | —      | 0.245 | 0.020  | 0.003 | 0.231  | 0.057 |
| 4.172 | 4.136 | 3.782  | 4.027  | 3.842  | 4.033 | 4.053  | 3.935 | 3.804  | 3.602 | 4.298  | 4.393 |
| 4.910 | 4.598 | 5.433  | 4.938  | 4.893  | 4.634 | 4.742  | 4.970 | 4.890  | 3.838 | 4.427  | 4.591 |
| 0.304 | 0.377 | 0.465  | 0.611  | 0.436  | 0.242 | 0.625  | 0.642 | 0.536  | 0.522 | 0.332  | 0.530 |
| 0.521 | 0.277 | 0.246  | 0.324  | 0.415  | 0.175 | 0.175  | 0.513 | 0.132  | 0.155 | 0.209  | 0.208 |
| 0.085 | 0.603 | 0.205  | 0.302  | 0.363  | 0.748 | 0.201  | 0.094 | 0.744  | 0.209 | 0.697  | 0.107 |

Composición química de biotitas

| 12*   | 13    | 14*   | 15*   | 16*    | 17*   | 18*   | 19*   | 20*   | 21    | 27    | 28     |
|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 32.28 | 34.28 | 33.61 | 36.27 | 34.32  | 34.50 | 33.68 | 34.60 | 35.36 | 34.74 | 36.27 | 34.41  |
| 19.58 | 18.73 | 19.91 | 17.95 | 19.75  | 20.12 | 18.22 | 17.98 | 18.28 | 17.46 | 22.03 | 16.89  |
| 23.08 | 21.30 | 21.27 | 19.44 | 22.75  | 23.66 | 20.14 | 21.55 | 20.95 | 20.55 | 20.20 | 22.30  |
| 7.52  | 9.41  | 9.37  | 8.97  | 7.73   | 4.88  | 8.15  | 8.62  | 7.82  | 10.88 | 6.34  | 9.80   |
| 8.98  | 9.15  | 7.73  | 9.67  | 9.02   | 9.64  | 9.81  | 8.84  | 9.12  | 8.44  | 8.17  | 10.87  |
| 3.00  | 2.72  | 1.66  | 2.68  | 2.89   | 2.07  | 5.53  | 2.34  | 3.07  | 3.63  | 1.50  | 1.96   |
| 0.12  | 0.20  | 0.09  | 0.06  | 0.25   | 0.33  | 0.05  | 0.05  | 0.19  | —     | 0.20  | 0.10   |
| 3.82  | 3.91  | 3.86  | 3.92  | 3.93   | 3.84  | 3.90  | 3.84  | 3.88  | 3.93  | 3.96  | 3.86   |
| 98.38 | 99.70 | 97.50 | 98.96 | 100.64 | 99.04 | 99.48 | 97.82 | 98.67 | 99.63 | 98.67 | 100.19 |
| 5.074 | 5.247 | 5.221 | 5.531 | 5.233  | 5.373 | 5.170 | 5.394 | 5.444 | 5.281 | 5.620 | 5.330  |
| 2.926 | 2.753 | 2.779 | 2.469 | 2.767  | 2.627 | 2.830 | 2.606 | 2.556 | 2.718 | 2.379 | 2.669  |
| 0.695 | 0.631 | 0.864 | 0.763 | 0.777  | 1.072 | 0.472 | 0.698 | 0.767 | 0.416 | 0.710 | 0.420  |
| 3.036 | 2.724 | 2.761 | 2.482 | 2.899  | 3.085 | 2.589 | 2.813 | 2.701 | 2.615 | 2.620 | 2.899  |
| 1.790 | 2.151 | 2.170 | 2.043 | 1.755  | 1.135 | 1.869 | 2.007 | 1.798 | 2.471 | 2.268 | 2.267  |
| 1.790 | 1.787 | 1.537 | 1.883 | 1.747  | 1.916 | 1.922 | 1.760 | 1.792 | 1.637 | 1.616 | 2.150  |
| 0.359 | 0.313 | 0.192 | 0.308 | 0.329  | 0.242 | 0.639 | 0.275 | 0.356 | 0.415 | 0.175 | 0.228  |
| 0.013 | 0.025 | 0.008 | 0.007 | 0.032  | 0.043 | 0.006 | 0.006 | 0.024 | —     | 0.026 | 0.013  |
| 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000  | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000 | 4.000  |

\* Análisis publicados en LÓPEZ RUIZ et al. (1975).

Composición química de estauroлита y cordierita

|                                | Estauroлита |       | Cordierita                     |       |
|--------------------------------|-------------|-------|--------------------------------|-------|
|                                | 4           | 11    | 21                             |       |
| SiO <sub>2</sub>               | 28.37       | 29.56 | SiO <sub>2</sub>               | 48.89 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 55.02       | 53.68 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 32.79 |
| FeO                            | 14.87       | 15.16 |                                |       |





enclaves en las series néisicas y migmatíticas, porfiroblásticas o no (muestras 26, 27, 28) así como rocas de conjuntos litológicos con carácter porfiroblástico, pero en áreas de metamorfismo intermedio o bajo (muestras 21, 23, 25).

La elección de los minerales para el estudio geotermométrico y geobarométrico se ha realizado tomando en consideración su abundancia y representatividad en toda la serie metamórfica. Así, se eligió como base el conjunto granate-biotita, ampliamente desarrollado en niveles de grado metamórfico bajo e intermedio, a pesar de que el granate presenta caracteres de inestabilidad en los niveles de metamorfismo más intenso del área considerada (LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975).

Además y teniendo en cuenta el carácter de minerales índice (aunque con una distribución más restringida) se han utilizado los pares estaurolita-granate y cordierita-granate en zonas metamórficas de grado medio y alto, respectivamente. No obstante, la escasa abundancia del par cordierita-granate en el conjunto de rocas migmatíticas hizo también necesario el uso del par plagioclasa-feldespato potásico.

Para el estudio del par biotita-granate se han seguido los trabajos de PERCHUK (1977), FERRY y SPEAR (1978) y THOMPSON (1976). El par cordierita-granate se ha estudiado con las calibraciones de PERCHUK (1977) y THOMPSON (1976) y el par estaurolita-granate según PERCHUK (1977). Para los minerales feldespáticos, en los niveles de alto grado metamórficos, se han utilizado los geotermómetros establecidos por STORMER (1975) y WHITNEY y STORMER (1977).

Las determinaciones analíticas de todos los minerales se han realizado con microsonda electrónica JEOL-50A, utilizando como patrones de comparación minerales de composición química similar. En el caso de minerales zonados (granates y plagioclasas) los datos analíticos se han obtenido a partir de un valor promedio del conjunto del cristal.

RESULTADOS

En la tabla II se presentan los datos químicos de los minerales analizados. A partir de estos da-

tos se han calculado, para el magnesio, el coeficiente de distribución  $K_D$ , coeficiente de partición  $K$  y el promedio  $\bar{X}$  (PERCHUK, 1977) en granate, biotita, cordierita y estaurolita (tabla III). En sucesivas columnas de la tabla III figuran los coeficientes de distribución  $K_D$  para el Mg, según los cálculos de FERRY y SPEAR (1978) y THOMPSON (1976), así como los valores de P y T obtenidos a partir de estos coeficientes, haciendo uso de los diagramas propuestos por estos autores.

En la tabla IV se expresan los porcentajes de Ab en plagioclasa y feldespato potásico coexistentes, y los valores de T obtenidos a 2 y 5 Kb según el termómetro de STORMER (1975).

Todo este conjunto de datos pone de manifiesto una concordancia casi general de los valores de P y T, con diferencias que no superan los 50° C, entre los obtenidos por calibraciones según distintos autores para el mismo par mineral, e incluso entre diferentes pares. Así pues, el par granate-biotita da resultados muy similares según THOMPSON (1976), FERRY y SPEAR (1978) y PERCHUK (1977). Los valores termométricos obtenidos a partir de los pares estaurolita-granate y cordierita-granate a pesar del escaso número de muestras consideradas, son coincidentes no sólo con los obtenidos con el par biotita-granate en las mismas zonas metamórficas en que se encuentran, sino también cuando se trata de la misma muestra (\*).

Los resultados conseguidos con el par plagioclasa-feldespato potásico (STORMER, 1975) en las zonas metamórficas de más alto grado, son similares o ligeramente inferiores a las obtenidas a partir del par granate-biotita o del par cordierita-granate (muestra 21).

En resumen, los niveles correspondientes a un metamorfismo de bajo grado se sitúan por debajo de temperaturas del orden de  $400 \pm 20^\circ C$ , el grado medio de metamorfismo queda enmarcado entre  $400 \pm 20^\circ C$  y  $480 \pm 20^\circ C$  y las rocas metamórficas con desarrollo regional de feldespato potásico se sitúan aproximadamente entre  $480 \pm 20^\circ C$  y  $570^\circ C$  (figura 2).

Asimismo, en algunas áreas concretas (El Car-

(\*) Los datos termométricos obtenidos con el par estaurolita-granate (muestras 4 y 11) son similares a los obtenidos a partir del par biotita-granate en muestras equivalentes del mismo nivel de metamorfismo, con la excepción de las rocas asociadas o en contacto con los esquistos de El Cardoso que arrojan valores de  $T = 510^\circ C$ .

TABLA III

|           | a     | b     | c     | d     | e     | t <sub>1</sub> | t <sub>2</sub> | t <sub>6</sub> | t <sub>7</sub> | t <sub>8</sub> | t <sub>m</sub> | σn | P <sub>1</sub> | P <sub>6</sub> |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|
| 1 ... ..  | 0.142 | 13.15 | 17.49 | 0.059 | 16.72 | 402            | 300            | —              | 310            | 355            | 341            | 40 | —              | —              |
| 2 ... ..  | 0.214 | 7.39  | 11.26 | 0.092 | 10.82 | 451            | 400            | 370            | 393            | 426            | 408            | 27 | 1.1            | 1.5            |
| 3 ... ..  | 0.193 | 6.55  | 9.33  | 0.109 | 9.06  | 500            | 440            | 420            | 431            | 456            | 449            | 27 | 1.7            | 2.0            |
| 4 ... ..  | 0.218 | 5.49  | 8.11  | 0.128 | 7.76  | 527            | 450            | 440            | 471            | 484            | 474            | 30 | 2.6            | 2.3            |
| 5 ... ..  | 0.240 | 7.13  | 11.60 | 0.090 | 10.96 | 467            | 420            | 385            | 389            | 423            | 416            | 29 | 1.3            | 1.6            |
| 6 ... ..  | 0.270 | 4.13  | 6.54  | 0.158 | 6.25  | 560            | 550            | 525            | 531            | 536            | 540            | 12 | —              | —              |
| 7 ... ..  | 0.233 | 6.75  | 10.66 | 0.096 | 10.24 | 473            | 420            | 410            | 402            | 438            | 428            | 25 | 1.7            | 1.9            |
| 8 ... ..  | 0.298 | 3.58  | 5.84  | 0.178 | 5.60  | 581            | 580            | 555            | 570            | 567            | 570            | 9  | —              | —              |
| 9 ... ..  | 0.296 | 5.96  | 11.07 | 0.101 | 9.79  | 462            | 440            | 430            | 413            | 441            | 437            | 15 | 2.2            | 2.2            |
| 10 ... .. | 0.297 | 5.90  | 10.96 | 0.100 | 9.91  | 478            | 440            | 431            | 413            | 436            | 439            | 21 | 2.2            | 2.2            |
| 11 ... .. | 0.226 | 6.39  | 9.84  | 0.105 | 9.45  | 484            | 440            | 420            | 422            | 449            | 443            | 23 | 1.8            | 2.0            |
| 12 ... .. | 0.214 | 6.49  | 9.72  | 0.103 | 9.54  | 484            | 440            | 420            | 418            | 448            | 442            | 23 | 1.7            | 2.0            |
| 13 ... .. | 0.254 | 6.46  | 10.72 | 0.103 | 9.63  | 478            | 410            | 420            | 420            | 446            | 434            | 24 | 1.8            | 2.0            |
| 14 ... .. | 0.258 | 5.78  | 9.51  | 0.108 | 9.18  | 496            | 450            | 440            | 429            | 456            | 454            | 22 | 2.1            | 2.2            |
| 15 ... .. | 0.278 | 4.34  | 7.08  | 0.141 | 7.02  | 546            | 525            | 490            | 498            | 505            | 512            | 20 | 3.7            | 3.1            |
| 16 ... .. | 0.225 | 4.92  | 7.26  | 0.147 | 6.79  | 533            | 500            | 475            | 510            | 517            | 507            | 19 | 3.0            | 2.8            |
| 17 ... .. | 0.159 | 5.21  | 6.74  | 0.171 | 5.83  | 560            | 510            | 450            | 556            | 553            | 525            | 41 | 2.9            | 2.6            |
| 18 ... .. | 0.266 | 3.74  | 5.72  | 0.181 | 5.47  | 581            | 580            | 540            | 576            | 560            | 567            | 15 | 4.3            | 3.8            |
| 19 ... .. | 0.264 | 3.71  | 5.65  | 0.180 | 5.52  | 589            | 570            | 540            | 573            | 560            | 566            | 16 | 4.4            | 3.8            |
| 20 ... .. | 0.242 | 4.56  | 6.91  | 0.163 | 6.07  | 546            | 530            | 485            | 540            | 546            | 529            | 22 | 3.5            | 3.0            |
| 21 ... .. | 0.259 | 3.55  | 5.34  | 0.144 | 6.94  | 596            | 600            | 550            | 504            | 504            | 562            | 39 | 4.5            | 4.0            |
| 27 ... .. | 0.262 | 7.57  | 13.22 | 0.086 | 11.52 | 456            | 410            | 375            | 381            | 417            | 407            | 29 | 1.3            | 1.4            |
| 28 ... .. | 0.270 | 4.29  | 6.86  | 0.147 | 6.76  | 533            | 550            | 500            | 510            | 523            | 523            | 17 | 3.7            | 3.1            |

$a = \bar{X}_{Mg}^{BiGr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $b = K_{Mg}^{BiGr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $c = K_{DMg}^{BiGr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $d = K_{DMg}^{GrBi}$  (FERRY y SPEAR, 1978)  
 $e = K_D^{GrBi}$  (THOMPSON, 1976)

t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub>, t<sub>6</sub>=Temperaturas obtenidas según calibraciones de PERCHUK (1977), para el par Biotita-Granate.  
 t<sub>7</sub>=Temperaturas obtenidas según calibraciones de FERRY y SPEAR (1978), para el par Biotita-Granate.  
 t<sub>8</sub>=Temperaturas obtenidas según calibraciones de THOMPSON (1976), para el par Biotita-Granate.  
 P<sub>1</sub>, P<sub>6</sub>=Presiones obtenidas según calibraciones de PERCHUK (1977) para el par Biotita-Granate.  
 σn=Desviación standard.  
 tm=Temperaturas medias.

|           | a'   | b'   | t' <sub>7</sub> | P <sub>7</sub> |
|-----------|------|------|-----------------|----------------|
| 4 ... ..  | 2.09 | 2.27 | 472             | 2.6            |
| 11 ... .. | 2.43 | 2.67 | 440             | 2.2            |

|           | c'   | d'   | e'    | t <sub>3</sub> | t <sub>4</sub> | t <sub>5</sub> | t <sub>9</sub> | t <sub>m</sub> | σn | P <sub>4</sub> | P <sub>5</sub> |
|-----------|------|------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----|----------------|----------------|
| 21 ... .. | 4.86 | 9.82 | 0.334 | 581            | 589            | 581            | 583            | 583            | 3  | 1.9            | 1.75           |

$a' = K_{Mg}^{Est-Gr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $b' = K_{DMg}^{Est-Gr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $c' = K_{Mg}^{Cord-Gr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $d' = K_{DMg}^{Cord-Gr}$  (PERCHUK, 1977)  
 $e' = X_{Mg}^{Cord-Gr}$  (PERCHUK, 1977)

t'<sub>7</sub>=Temperatura según calibración de PERCHUK (1977) para el par Estaurolita-Granate.  
 P<sub>7</sub>=Presión según calibración de PERCHUK (1977), para el par Estaurolita-Granate.  
 t<sub>3</sub>, t<sub>4</sub>, t<sub>5</sub>=Temperatura según calibración de PERCHUK (1977) para el par Cordierita-Granate.  
 t<sub>9</sub>=Temperatura según calibración de THOMPSON (1976) para el par Cordierita-Granate.  
 P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>=Presión según calibración de PERCHUK (1977) para el par Cordierita-Granate.

TABLA IV

|    | Plagioclasas |       |       | Feldespato potásico |       |       | $T_2$ | $T_5$ |
|----|--------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|-------|-------|
|    | Or           | Ab    | An    | Or                  | Ab    | An    |       |       |
| 21 | 2.32         | 68.55 | 29.13 | 67.33               | 13.14 | 19.53 | 505   | 550   |
| 22 | 2.37         | 77.06 | 20.57 | 86.33               | 12.88 | 0.79  | 490   | 510   |
| 23 | 2.36         | 79.40 | 18.24 | 82.97               | 16.46 | 0.57  | 520   | 540   |
| 24 | 1.37         | 90.07 | 8.56  | 85.80               | 13.30 | 0.90  | 450   | 485   |
| 25 | 1.67         | 78.97 | 19.36 | 87.75               | 11.57 | 0.68  | 455   | 490   |
| 26 | 1.90         | 80.77 | 17.33 | 91.80               | 7.69  | 0.51  | 470   | 490   |
| 29 | 2.27         | 72.25 | 25.48 | 87.51               | 11.62 | 0.87  | 480   | 503   |

$T_2$  = Temperaturas obtenidas según calibraciones de STORMER (1975) a 2 Kb.

$T_5$  = Temperaturas obtenidas según calibraciones de STORMER (1975) a 5 Kb.

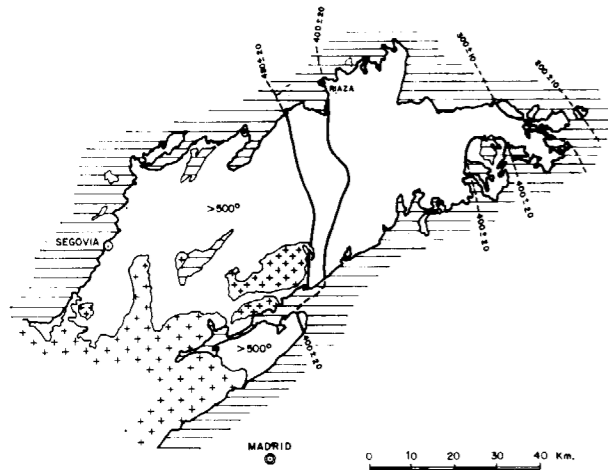


Figura 2.—Distribución de isotermas, obtenidas de geotermómetros. Las isotermas del sector oriental según APARICIO y GALÁN (1980).

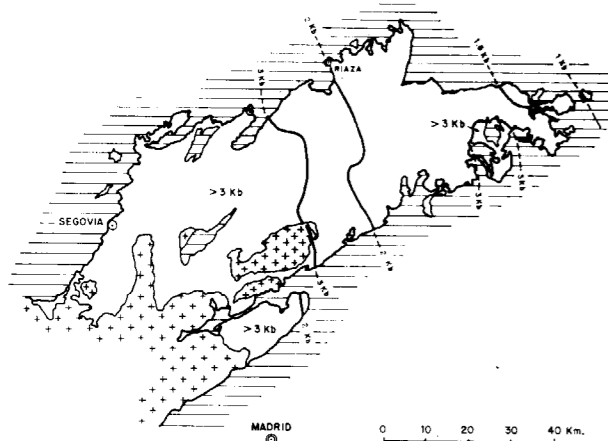


Figura 3.—Distribución de isobaras, obtenidas de geobarómetros. Las isobaras del sector oriental según APARICIO y GALÁN (1980).

dos, Hiendelaencina, El Vellón, etc.) se detecta, a la vista de los resultados obtenidos, un importante «gap» térmico que se sitúa entre 400 y 500°. Este salto térmico se produce precisamente en tránsitos rápidos de materiales pizarrosos a neises porfiroblásticos o claramente migmatíticos, o en el paso de rocas esquistosas sin feldespato a rocas neísicas con abundante desarrollo de plagioclasa y/o feldespato potásico.

De forma muy similar se ha verificado que las determinaciones de T obtenidas a partir de los enclaves esquistosos y pizarrosos que existen en las áreas migmatíticas, arrojan valores próximos a los 400° C para aquellos y valores de 520° C para estas últimas.

Por otro lado, las determinaciones geobarométricas calculadas (tabla III) sitúan a los materiales de bajo grado metamórfico en valores próximos a 1 Kb, a los niveles de grado medio entre 1,3 y 2,8 Kb, y al conjunto más metamórfico entre 2,8 y 4,4 Kb (fig. 3). En la misma línea que los valores térmicos, se detecta un salto significativo entre las presiones calculadas para los enclaves pizarrosos y esquistosos (1,4 Kb) y los correspondientes a las rocas migmatizadas encajantes (3,5 Kb).

## DISCUSION

Las temperaturas obtenidas mediante el uso de geotermómetros naturales manifiestan un notable paralelismo y coincidencia con los isotermas establecidos en función de los campos de estabilidad de las distintas asociaciones paragenéticas (LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975) hasta la entrada del feldespato potásico. Así, las áreas metamórficas de grado bajo y medio, presentan escasas diferencias en cuanto a límites térmicos. Sin embargo, las temperaturas obtenidas en los niveles de mayor grado metamórfico se sitúan, como máximo, 100° C por debajo de los 650° ± 50° C anteriormente establecidos.

Los datos de presión a partir de geobarómetros naturales son, por el contrario, bastante diferentes, y siempre más bajas para cada zona metamórfica que las reflejadas en anteriores trabajos (LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975; FUSTER *et al.*, 1974; GARCÍA CACHO, 1973, etc.). Así, aunque se observa un aumento gradual de P a medida que aumenta la

intensidad del proceso, en áreas consideradas como de metamorfismo intermedio (tipo distena-sillimanita, sector oriental de la Sierra de Guadarrama) sólo se alcanzan cifras de 2-3 Kb, que están muy alejadas de los 4-6 Kb anteriormente establecidos. Por el contrario, las presiones determinadas para niveles sucesivamente más occidentales y en áreas cada vez más migmatizadas, se sitúan entre 3-4 Kb, valores francamente similares a los citados en anteriores trabajos para estos conjuntos litológicos, a los que se atribuye un alto grado de metamorfismo dentro de un proceso metamórfico de baja presión.

Como se ha indicado anteriormente, los enclaves pizarrosos y esquistosos en áreas migmatizadas arrojan cifras de P y T notablemente inferiores a las correspondientes a los niveles encajantes de naturaleza migmatítica. Tomando en consideración las asociaciones paragenéticas de los enclaves, su naturaleza estructural y los nuevos datos geotermométricos y geobarométricos, parece lógico que su situación metamórfica debería corresponder a niveles de metamorfismo de bajo y medio grado, en contraste evidente con el alto grado metamórfico asignado a las rocas en que están inmersos. Esta discordancia metamórfica entre ambos tipos de rocas parece restar verosimilitud a cualquier consideración acerca de que buena parte de las áreas migmatizadas del Sistema Central se corresponden con procesos de metamorfismo regional de alto grado.

En otras áreas del Macizo Hercínico, con predominio de rocas neísicas de carácter porfiroblástico, migmatítico y granitoide, que habían sido consideradas como de alto grado metamórfico, SÁNCHEZ CELA y APARICIO (1972, 1975, 1982), y SÁNCHEZ CELA (1978) han puesto de manifiesto la existencia de procesos de granitización sobre series metamórficas de bajo y medio grado, atribuyendo la responsabilidad petrogenética de los neises porfiroblásticos, migmatitas y granitoides a los fenómenos granitizantes en lugar de a fuertes procesos de metamorfismo regional.

En esta misma línea, tomando en consideración los problemas ya expuestos, es posible desarrollar la idea de que una buena parte de la serie metamórfica del Sistema Central Español se ha visto afectada por un amplio y dilatado proceso de granitización generalizado y sincrónico con el dinamometamorfismo regional. De acuerdo con esta hipótesis, la máxima intensidad alcanzada por el

dinamometamorfismo regional sería el grado medio, con amplio desarrollo de los campos de estabilidad de estauroлита, distena y sillimanita (ver LÓPEZ RUIZ *et al.*, 1975). El proceso de granitización sería el responsable de una oclusión parcial del metamorfismo regional y de una extensa área granitizada rica en feldespato potásico, donde se generan variadas rocas de tipo neísico y migmatítico y en la que se ven favorecidos el crecimiento y desarrollo de porfiroblastos feldespáticos con múltiples y complejas relaciones texturales y estructurales, teniendo en cuenta la convergencia de los procesos granitizantes y dinamometamórficos. La granitización, incompleta, respetó numerosos restos de la serie, sometida a los complejos procesos de transformación estructural, mineralógica y química, que aparecen en la actualidad como enclaves de forma, tamaño y naturaleza variada, tales como pelíticos (esquistos), silíceos (cuarcitas), carbonatados (anfíbolitas, rocas de silicatos cálcicos y mármoles), etc.

Los trabajos ya citados de APARICIO y GALÁN (1978, 1980), SÁNCHEZ CELA y APARICIO (1972, 1975, 1982), SÁNCHEZ CELA (1978), junto con las nuevas consideraciones y datos sobre temperaturas y presiones aquí aportados, constituyen un fuerte respaldo a la hipótesis expuesta. APARICIO *et al.* (1977) también indicaron la coincidencia temporal en el Sistema Central entre los procesos dinamometamórficos y el fenómeno plutónico contradiciendo el carácter tardío postectónico atribuido a este último. De igual forma respecto de los procesos de granitización APARICIO *et al.* (1979 c) ya indicaron la existencia de un fenómeno de feldespaticización y aporte de elementos a los niveles considerados como de alto grado metamórfico, explicando como aloquímico el proceso metamórfico de alto grado y como isoquímico el de medio y bajo.

Así pues, las áreas más afectadas por la granitización hay que situarlas en los materiales considerados como de alto y medio grado metamórfico (fig. 4), justificándose de esta manera las discordancias metamórficas evidenciadas en zonas como Hiendelaencina, Bodera, Berzosa, etc., y entre las formaciones migmatíticas y sus enclaves.

Por otro lado, conforme a la evolución propuesta por SÁNCHEZ CELA y APARICIO (1982), existen diferentes etapas de granitización que se resuelven en frentes más o menos superficiales de diferente composición (primeras manifestaciones graníticas) capaces de originar yacimientos como los esquistos



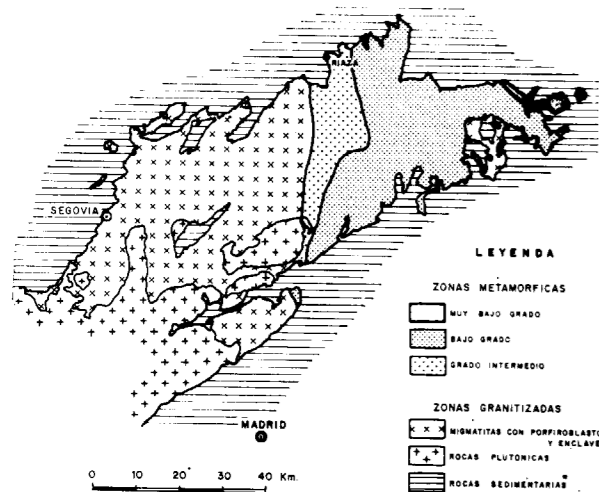


Figura 4.—Zonas granitizadas y de metamorfismo regional en la zona estudiada.

o neises de El Cardoso, Berzosa, etc., cuya composición mineralógica y situación estratigráfica (de igual forma que las distintas variedades de migmatitas porfiroblásticas) enmarcadas bajo una óptica diferente a la aquí expuesta, plantea problemas petrogenéticos, metamórficos y estratigráficos, a los distintos autores que los han estudiado local o globalmente (FERNÁNDEZ CASALS, 1979; FUSTER y VILLASECA, 1979; CAPOTE *et al.*, 1977 a y b; NAVIDAD y PEINADO, 1977; NAVIDAD, 1979; BISCHOFF *et al.*, 1978; ARENAS *et al.*, 1980, 1982; CAPOTE *et al.*, 1982; etc.

Por último, es preciso resaltar que el proceso de granitización permite explicar de forma convincente las distintas variedades de texturas y estructuras generadas por el aporte granitizante a una serie pelítica que se está metamorfizando. Es evidente la existencia de distintos estadios de asimilación y transformación, así como la presencia de núcleos o restitas (enclaves) poco o nada afectados. De igual forma se puede explicar la variada y en ocasiones confusa nomenclatura que se ha utilizado en el ámbito del Sistema Central para designar al mismo tipo de rocas, recurriendo a criterios muy diversos (litológicos, petrológicos, mineralógicos, químicos, estructurales, texturales, etcétera) llegando a denominaciones tales como: neises leucocráticos, leuconeises, neises glandulares, augeneises, neises macroglandulares, neises máficos, neises féficos, neises esquistosos, esquistos neísicos, ortoneises, neises porfidicos, embre-

chitas, nebulitas, riolitas?, etc. O recurriendo a denominaciones geográficas tales como: neises de La Morcuera, neises de El Cardoso, neises de Hien-delaencina, neises de Riaza, neises de Nazaret, neises de El Vellón, neises de Berzosa, etc. Todo ello para indicar estadios más o menos o igualmente evolucionados de la granitización de una serie estratigráfica.

#### AGRADECIMIENTOS

J. L. Casaseca y T. Ruiz (Mecanografía), J. Arroyo (Delineación), E. Molero (Preparación de muestras), J. de la Puente (analizó los minerales por microsonda).

#### BIBLIOGRAFIA

- APARICIO, A.; BARRERA, J. L., y SANTOS, V.: *Los granitos hercínicos sincinemáticos de la Sierra del Valle (Sector oriental de Gredos, Sistema Central Español) y sus relaciones con las series graníticas «postectónicas»*. Estudios Geol., 33: 575-580 (1977).
- APARICIO, A., y BELLIDO, F.: *Geochemical features of the metamorphism in the Sistema Central (Spain)*. Chemical Geology, 17: 281-293 (1976).
- APARICIO, A.; BRANDLE, J. L., y SEMPERE, J.: *Estudio comparativo de las inclusiones de cuarzo en cristales precinemáticos*. Bol. Geol. Min., 90: 45-59 (1979 a).
- APARICIO, A.; GARCÍA CACHO, L., y LÓPEZ RUIZ, J.: *Influencia del grado de metamorfismo y de la migmatización en la composición química de las moscovitas del área metamórfica de la Sierra de Guadarrama, Sistema Central Español*. Annales Societe Geol. Belgique, 102: 451-463 (1979 b).
- APARICIO, A.; BRANDLE, J. L., y BELLIDO, F.: *Chemical evolution in an old crustal area (Sistema Central Español)*. Physics and Chemistry of the Earth, 11: 505-517 (1979 c).
- APARICIO, A., y GALÁN, E.: *Metamorfismo de bajo grado en el área central del Macizo Hespérico (Sistema Central, Toledo)*. Bol. Geol. Min., 89: 475-486 (1978).
- APARICIO, A., y GALÁN, E.: *Las características del metamorfismo hercínico de bajo y muy bajo grado en el sector oriental del Sistema Central (Prov. de Guadalajara)*. Estudios Geol., 36: 75-84 (1980).
- ARENAS, R.; CASQUET, C.; PEINADO, M.: *El metamorfismo del sector de Riaza (Somosierra, Sistema Central Español). Implicaciones geoquímicas y petrológicas*. Cuadernos del Lab. Xeológico de Laxe 1, 117-146.
- ARENAS, R.; GONZÁLEZ LODEIRO, F.; PEINADO, M.: *La zona de cizalla de Berzosa-Riaza en el sector septentrional*.

*Influencia sobre la configuración de las zonas metamórficas*. Cuadernos del Lab. Xeológico de Laxe 3, 123-162.

- BISCHOFF, L.; LENZ, H.; MULLER, P.; SCHMIDT, K.: *Geochemical and geochronological investigations on meta-rhyolites and orthogneisses of the Eastern Sierra de Guadarrama (Spain)*. N. Jb. Geol. Palaont. Abh., 155, 3: 275-299 (1978).
- CAPOTE, R.; CASQUET, C.; FERNÁNDEZ CASALS, M. J.; MORENO, F.; NAVIDAD, M.; PEINADO, M., y VEGAS, R.: *The Precambrian in the Central Part of the Iberian Massif*. Estudios Geol., 33: 343-355 (1977 a).
- CAPOTE, R.; FERNÁNDEZ CASALS, M. J.; GONZÁLEZ LODEIRO, F., e IGLESIAS PONCE DE LEÓN, M.: *El límite entre las zonas astur occidental-leonesa y galaico-castellana en el Sistema Central*. Bol. Geol. Min., 88: 517-520 (1977 b).
- CAPOTE, R.; CASQUET, C.; FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Los grandes complejos estructurales del Sistema Central: Modelo de evolución tectonometamórfica*. Rev. R. Acad. C. Exactas, Físicas y Naturales, 76, 313-331 (1982).
- FERNÁNDEZ CASALS, M. J.: *Las deformaciones hercínicas en Somosierra - Guadarrama (Sistema Central)*. Estudios Geol., 35: 169-191 (1979).
- FERRY, J. M., y SPEAR, F. S.: *Experimental calibration of the partitioning of Fe and Mg between biotite and garnet*. Contr. Min. Petrol., 66: 113-117 (1978).
- FUSTER, J. M.; APARICIO, A.; CASQUET, C.; GARCÍA CACHO, L.; MORA, A., y PEINADO, M.: *Interacciones entre los metamorfismos plurifaciales y polifásicos del Sistema Central Español*. Bol. Geol. Min., 85: 595-600 (1974).
- FUSTER, J. M., y VILLASECA, C.: *Migmatización en las series metamórficas de la vertiente norte de la Sierra de Guadarrama*. Estudios Geol., 35: 285-290 (1979).
- GARCÍA CACHO, L.: *Evolución temporal del metamorfismo y procesos de blastesis sucesiva en el sector oriental del Sistema Central Español*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Univ. Complutense de Madrid (1973).
- LÓPEZ RUIZ, J.; APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L.: *El Metamorfismo de la Sierra de Guadarrama (Sistema Central Español)*. Mem. Inst. Geol. Min., 86, 127 pp. (1975).
- LÓPEZ RUIZ, J., y GARCÍA CACHO, L.: *The garnets of the Eastern area of the Sierra de Guadarrama, Sistema Central, Spain*. Chem. Geol., 13: 269-282 (1974).
- LÓPEZ RUIZ, J.; APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L.: *Chemical variations in biotites during prograde metamorphism, Sierra de Guadarrama, Sistema Central, Spain*. Chem. Geol., 21: 113-129 (1978).

LÓPEZ RUIZ, J.; APARICIO, A., y GARCÍA CACHO, L.: *Chemical variations of muscovites from the Sierra de Guadarrama metamorphic area, Sistema Central (Spain)*. Geol. Rundschau, 69: 94-106 (1980).

- NAVIDAD, M.: *Las series glandulares del Sector Central del Macizo Ibérico*. Estudios Geol., 35: 31-48 (1979).
- NAVIDAD, M., y PEINADO, M.: *Facies vulcano-sedimentarias en el Guadarrama Central (Sistema Central Español)*. Studia Geol., 12: 137-159 (1977).
- PERCHUK, L. L.: *Thermodynamic control of metamorphic processes*. In: «Energetics of geological processes». Ed. Springer-Verlag. New York, 473 pp. (1977).
- SÁNCHEZ CELA, V.: *Consideraciones petrogenéticas sobre diversas rocas cuarzo-feldespáticas en el área de Zalamea de La Serena (Badajoz) y su relación con rocas análogas del SO de España*. Bol. Geol. Min., 85: 596-606 (1978).
- SÁNCHEZ CELA, V., y APARICIO, A.: *Nuevas consideraciones petrogenéticas sobre las rocas gneísicas y porfiroides localizadas en la alineación estructural «Almendralejo-Azuaga» (Badajoz)*. Bol. Geol. Min., 83: 407-419 (1972).
- SÁNCHEZ CELA, V., y APARICIO, A.: *Sobre las rocas porfiroides de la banda Almendralejo-Azuaga (SO de España)*. Bol. Geol. Min., 86: 193-195 (1975).
- SÁNCHEZ CELA, V., y APARICIO, A.: *Feldspathic-rocks of «sedimentary», metamorphic and igneous facies, in relation with granitization-transformation processes in Hercynian massif of Spain*. En: *Transformists' Petrology*, 189-230. Ed. F. K. Drescher-Kaden y S. S. Augustithis. Atenas (1982).
- SCHAFFER, G.: *Geologie und Petrographie in ostlichen Kastilischen Hauptscherdegebirge (Sierra de Guadarrama, Spain)*. Munster Forsch. Geol. Palaont., 10: 207 pp. (1969).
- SOERS, E.: *Stratigraphie et geologie structurale de la partie orientale de la Sierra de Guadarrama*. Studia Geol., 4: 7-94 (1972).
- STORMER, J. C.: *A practical two-feldspar geothermometers*. Am. Min., 60: 667-674 (1975).
- THOMPSON, A. B.: *Mineral reactions in pelitic rocks: II Calculations of some P-T-X (Fe-Mg) phase relations*. Amer. J. Science., 276: 425-454 (1976).
- WHITNEY, J. A., y STORMER, J. C.: *The distribution of Na AlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> between coexisting microcline and plagioclase and its effect on geothermometric calculations*. Amer. Min., 62: 687-691 (1977).

Recibido: Septiembre 1981.

## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# Rocas metamórficas en las pegmatitas de Sierra Albarrana (Provincia de Córdoba)

Por M. ORTEGA (\*), A. GARROTE (\*\*), J. RODRIGUEZ (\*) y P. FENOLL (\*)

## RESUMEN

En este trabajo se estudian mineralógica y genéticamente tres tipos de materiales metamórficos en las pegmatitas de Sierra Albarrana (Córdoba). En dos de ellos (gneises plagioclásicos turmalinizados y biotititas) las rocas originales se encuentran en el entorno inmediato de las pegmatitas, en tanto que el tercero (nódulos de clorita, moscovita y granate) deriva de rocas no aflorantes.

En los tres casos, los cambios texturales y mineralógicos que los han afectado son diferentes. En los gneises plagioclásicos el principal cambio es una intensa turmalinización sin que se haya modificado su textura.

Las biotititas representan la transformación de primitivos niveles de esquistos biotíticos intercalados en cuarcitas feldespáticas. Al ser englobados por la pegmatita, los esquistos sufren esencialmente cambios texturales con recristalización de biotita en grandes placas y segregación de niveles de cuarzo.

Finalmente, nódulos de clorita, moscovita y granate en los que se distinguen diversas asociaciones minerales: (a) cordierita-granate rico en almandino-sillimanita; (b) granate rico en almandino-cordierita-biotita; (c) mica incolora-clorita-cloritoide, derivados de la cordierita y —en menor grado— de biotita y sillimanita; (d) mica incolora en placas y turmalina prismática que parecen introducidos en los nódulos a partir de la pegmatita encajante.

## ABSTRACT

This work deals with the mineralogy and petrogenesis of metamorphic materials in pegmatites from Sierra Albarrana (province of Córdoba). Two types (tourmaline-rich plagioclase gneisses and biotitites) have probable parental rocks in the wall-rock of the pegmatite bodies, whereas a third type (chlorite-muscovite-garnet nodules) presumably derive from rock not presently outcropping in the area. In each case, textural and mineralogic changes have been different.

In the plagioclase gneiss, the main change consist in intense tourmalinization, without significant modification of the previous fabric. Biotitites represent the transformation of primitive layers of biotite schist, which suffered extensive metamorphic differentiation giving place to coarsely sized biotite with quartz inclusions.

In the third type two distinct primary mineral assemblages can be recognized: (a) cordierite-almandine garnet-sillimanite, and (b) garnet-cordierite-biotite, which were later retromorphosed to several muscovite-, chlorite- and chloritoid bearing secondary assemblages. The same nodules often bear big muscovite blades and tourmaline, which may represent material incorporated from the surrounding pegmatite mobilizate. Such nodules are supposed to correspond to metamorphic rocks not visible in the region, that have been included and carried to their present emplacement, with transformation of their previous fabric and mineralogy. This nodules are the only record of the materials that supposedly underlies the Albarrana Formation.

## 1. INTRODUCCION

En un primer trabajo (GARROTE et al., 1980) se ha relacionado la morfología, petrología y distribución de las pegmatitas de Sierra Albarrana

con la evolución tectonometamórfica de las rocas encajantes. Por otra parte, se han publicado recientemente datos mineralógicos sobre algunas especies minerales (ORTEGA et al., 1982).

El objeto del presente trabajo es el estudio mineralógico y químico, así como la interpretación de los procesos petrogenéticos de distintas rocas metamórficas englobadas en las pegmatitas. En algunos casos se trata de rocas fácilmente

reconocibles en el entorno inmediato con cambios texturales y/o mineralógicos parciales, mientras que en otros los caracteres previos sólo son —en parte— identificables.

## 2. ENTORNO GEOLOGICO

Las rocas del área de Sierra Albarrana (fig. 1) se han descrito en trabajos anteriores (GARROTE, 1976; GARROTE et al., en prensa; GARROTE et al.,

1980). Los materiales aflorantes pertenecen a tres conjuntos litológicos distintos: a) sucesión de materiales metamórficos precámbricos; b) sedimentos del Carbonífero Inferior discordantes sobre las rocas metamórficas, y c) rocas ígneas, volcánicas y plutónicas, esencialmente, de edad Carbonífero Inferior.

Las pegmatitas en las cuales se han encontrado restos de rocas metamórficas (fig. 1) encajan en las formaciones con mayor metamorfismo (tabla 1).

TABLA 1

Entorno geológico de los afloramientos estudiados

| PEGMATITA              |  | ROCA ENCAJANTE                                   |                         |                        |
|------------------------|--|--|-------------------------|------------------------|
| Yacimiento             | Material metamórfico                                   | Litología  | Formación               | Metamorfismo           |
| Cerro de la Sal («CS») | Nódulos de clorita, moscovita y granate, esencialmente | Gneises pelíticos migmatíticos                   | Peña Grajera (tramo II) | Grado alto (Sill-FdK)  |
| Peña Grajera («PG»)    | Gneises plagioclásicos turmalinizados                  | Gneises de grano fino y micas-quistos            | Peña Grajera (tramo II) | Grado medio (Sill-Mos) |
| Diéresis («D»)         | Esquistos biotíticos (biotititas)                      | Cuarcitas feldespáticas con niveles de esquistos | Sierra Albarrana        | Grado alto (Sill-FdK)  |

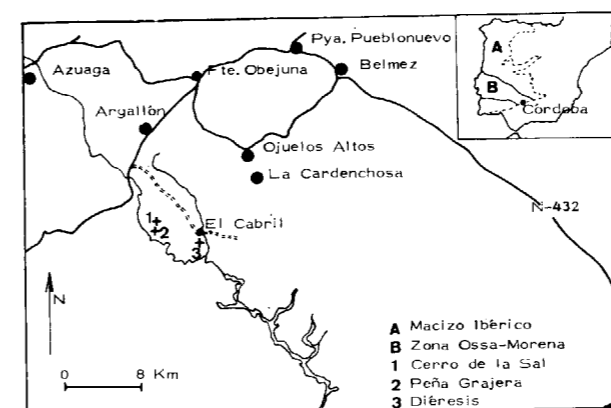


Figura 1.—Localización geográfica del área estudiada.

Los nódulos con clorita, moscovita y granate dominantes se encuentran en una masa de pegmatita, que alcanza los 100 m. de potencia y en

la que se ha reconocido la siguiente zonación, desde el borde hacia el centro y de arriba hacia abajo:

- Una zona marginal, independientemente de la profundidad, ocupada por una pegmatita con feldespato potásico peritítico, albita (frecuente e incluso dominante), granate (de color oscuro y tamaño entre 0,5 y 4 cm.), turmalina, moscovita (hasta un 20 por 100) y biotita cloritizada. Son frecuentes los intercrecimientos gráficos y el tamaño de grano puede alcanzar los 15 cm.
- Una zona intermedia, en contacto con la anterior, constituida por cristales decimétricos —incluso métricos— con cuarzo, feldespato potásico peritítico, albita (escasa) y moscovita (escasa).

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Departamento de Investigaciones Geológicas del CSIC.

(\*\*) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Bilbao.



c) Una zona interna con feldespatos potásico y cuarzo, en cristales decimétricos y —con frecuencia— métricos.

Los nódulos sólo se han observado en la zona intermedia (foto 1). Sus dimensiones oscilan entre 20 cm. y 1 m. Su forma es irregular, con secciones ovaladas o ameboides, y los contactos con la pegmatita son netos.

Los gneises plagioclásicos turmalizados están englobados en una pegmatita tabular, dentro de una zona rica en moscovita (foto 2). Los enclaves de gneises presentan formas irregulares, aplastadas, con dimensiones decimétricas a métricas. En todos ellos se conserva la esquistosidad más manifiesta. Los contactos pegmatita-gneis son netos y cortan a la esquistosidad.

Los esquistos biotíticos —englobados en la pegmatita de la cantera «Diéresis»— han evolucionado a agregados plegados de biotita en grandes placas, con cuarzo en diferenciados discontinuos. Estos agregados son de forma irregular (foto 3), bien definidos y superan los 4 m. de longitud.

### 3. PETROGRAFIA Y MINERALOGIA

En este apartado se describen los caracteres texturales y mineralógicos de las diferentes muestras, obtenidos mediante microscopía, difracción de rayos X y análisis químico.

#### 3.1. Nódulos de clorita, moscovita y granate

La asociación mineralógica encontrada es la siguiente: clorita, granate, moscovita, cordierita, cloritoide, sillimanita, biotita, cuarzo, microclina, plagioclasa, turmalina, zoisita, hiperstena y piritita.

En algunas muestras, la clorita es el mineral mayoritario (foto 4). Se origina por alteración de cordierita y, en menor cantidad, a partir de biotita. En unos casos pseudomorfiza —junto con mica incolora— a la cordierita, en agregados de grano muy fino. En otros, también con moscovita y a veces con cloritoide, constituye agregados de mayor tamaño de grano y textura fibroso-radiada. El aspecto prismático-hexagonal observable de visu, en las muestras cloríticas, es conse-

cuencia de la pseudomorfosis de agregados prismáticos de cordierita (foto 5).

Frecuentemente aparece en cristales xenomorfos con textura corroída y esquelética. Los datos ópticos, hasta donde ha sido posible determinar dado el grado de alteración, revelan las siguientes características:

birrefringencia anómala  
 $2V_x=26^\circ (-)$   
 elongación positiva  
 Pleocroísmo:  $\alpha$ =incoloro  
 $\beta$ =verde claro  
 $\gamma$ =verde claro

Los granates, que alcanzan 10-15 cm. (foto 6), son idiomorfos. En lámina delgada se observa que están fracturados e incluyen cuarzo, plagioclasa, cordierita y sillimanita, sin ninguna distribución u orientación preferente.

La mica incolora aparece como pinnita, en agregados radiales y más raramente en placas.

La cordierita se conserva en un escaso número de muestras. Normalmente se ha transformado a clorita, mica incolora y cloritoide en diversas proporciones (foto 7).

El cloritoide se presenta en prismas desorientados con maclas polisintéticas junto con clorita y moscovita (foto 8).

La sillimanita se observa, en casi todas las muestras, en cristales fracturados y —a veces— esqueléticos.

Se han estudiado más exhaustivamente la clorita, el granate, la cordierita y la moscovita por ser los minerales más abundantes.

##### 3.1.1. Clorita

Para la caracterización y determinación de la clorita y de sus propiedades cristaloquímicas se han medido, mediante difracción de rayos X en agregado orientado, dos parámetros:

a) Espaciado basal —sobre la reflexión (004)— para calcular el contenido en  $Al^{total}$  según la ecuación de Albee (1962). Las determinaciones de  $Al^{IV}$  y  $Al^{VI}$  se han realizado mediante las ecuaciones de Nieto (1982).

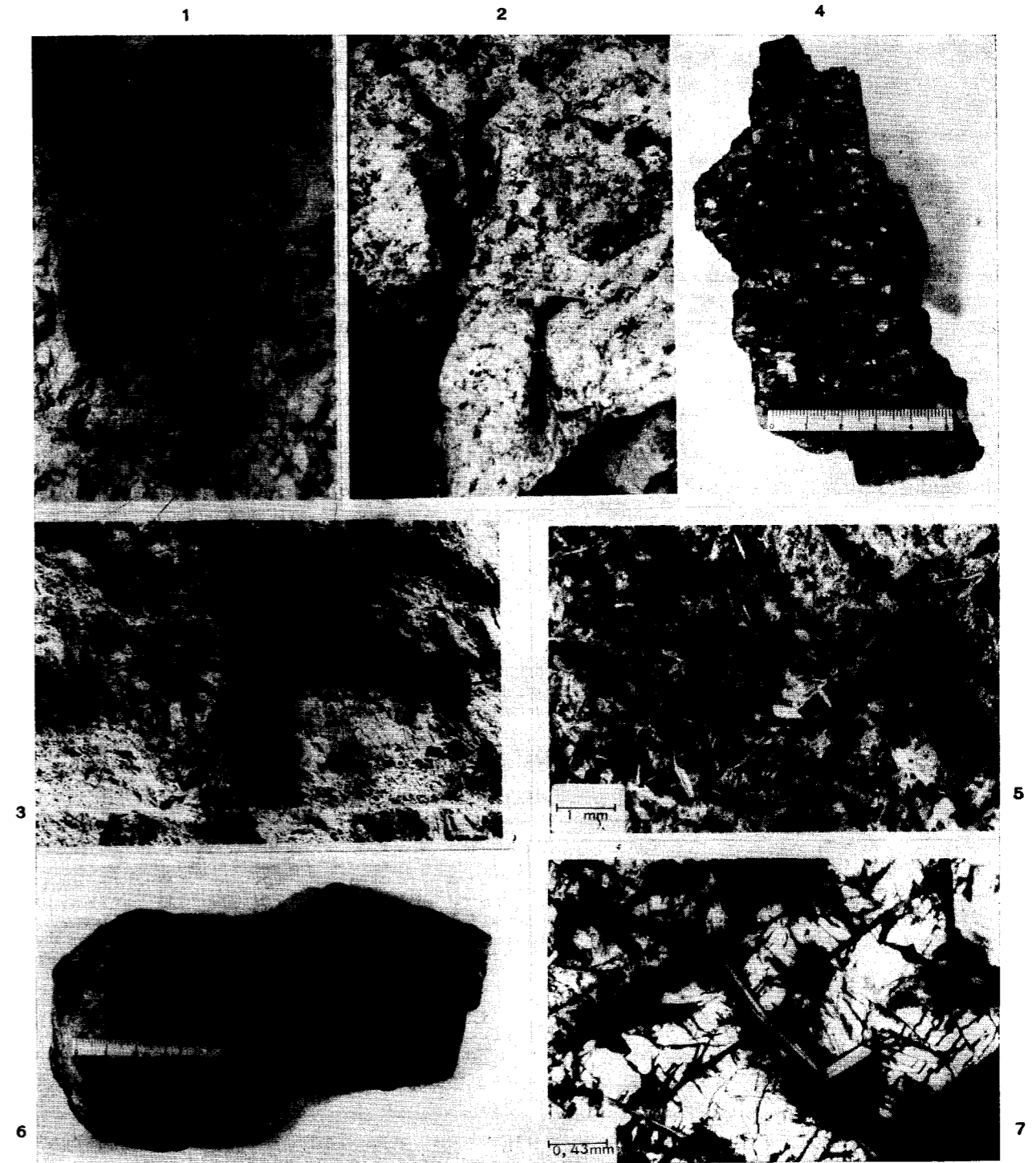


Foto 1.—Nódulo de clorita, moscovita y granate en la pegmatita de la cantera «Cerro de la Sal».

Foto 2.—Gneis plagioclásico turmalizado en la pegmatita de «Peña Grajera».

Foto 3.—Biotititas. Cantera «Diéresis». La parte clara corresponde a la pegmatita; la zona oscura a las biotitas.

Foto 4.—Clorita correspondiente a un nódulo de clorita, moscovita y granate. Cantera «Cerro de la Sal».

Foto 5.—Aspecto general de la muestra CS-014 correspondiente a la asociación mica incolora, clorita, con piritita estrechamente ligada a ellos.

Foto 6.—Granates (ricos en almandino) con inclusiones de turmalina. Corresponden a los nódulos del «Cerro de la Sal».

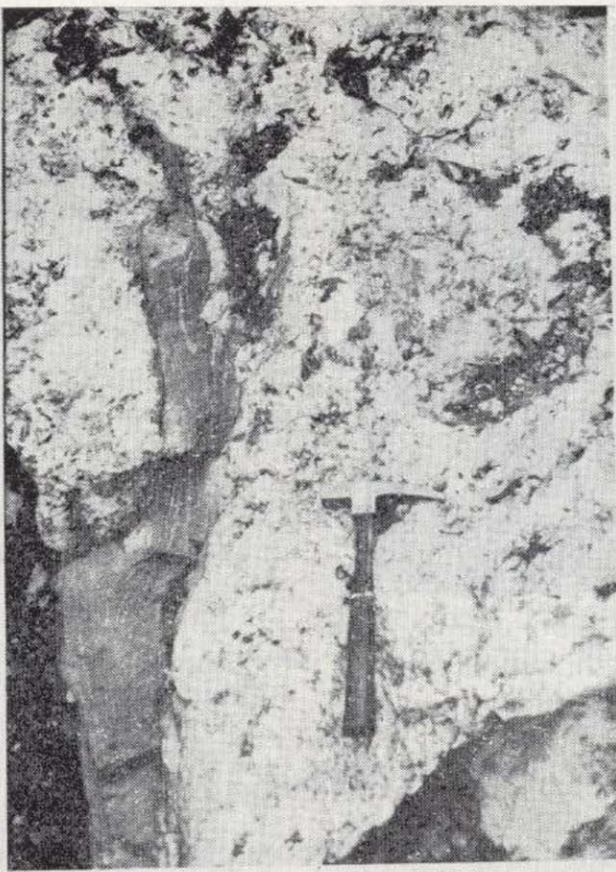
Foto 7.—Cristales de cordierita parcialmente alterados. Muestra CS-008.



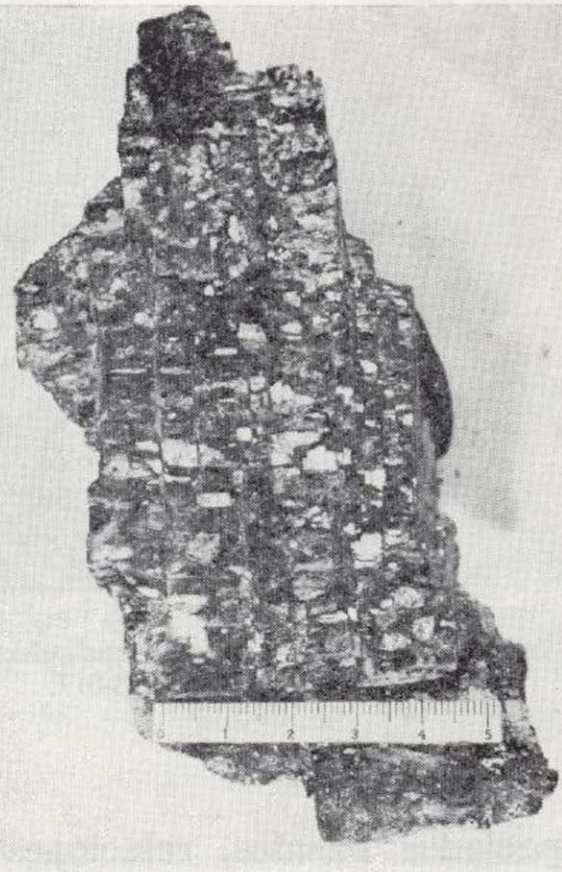
1



2

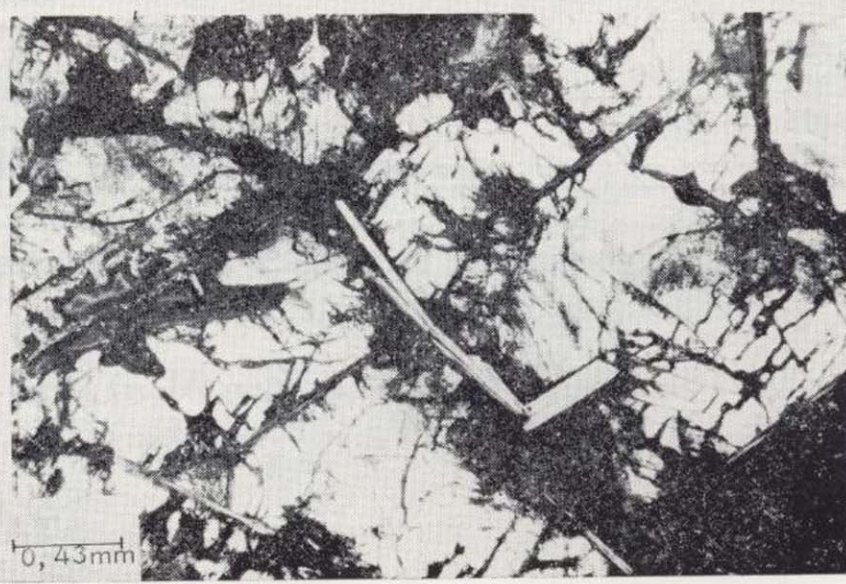


4



3

5



6

7

Foto 1.—Nódulo de clorita, moscovita y granate en la pegmatita de la cantera «Cerro de la Sal».

Foto 2.—Gneis plagioclásico turmalinizado en la pegmatita de «Peña Grajera».

Foto 3.—Biotititas. Cantera «Diéresis». La parte clara corresponde a la pegmatita; la zona oscura a las biotitas.

Foto 4.—Clorita correspondiente a un nódulo de clorita, moscovita y granate. Cantera «Cerro de la Sal».

Foto 5.—Aspecto general de la muestra CS-014 correspondiente a la asociación mica incolora, clorita, con pirita estrechamente ligada a ellos.

Foto 6.—Granates (ricos en almandino) con inclusiones de turmalina. Corresponden a los nódulos del «Cerro de la Sal».

Foto 7.—Cristales de cordierita parcialmente alterados. Muestra CS-008.



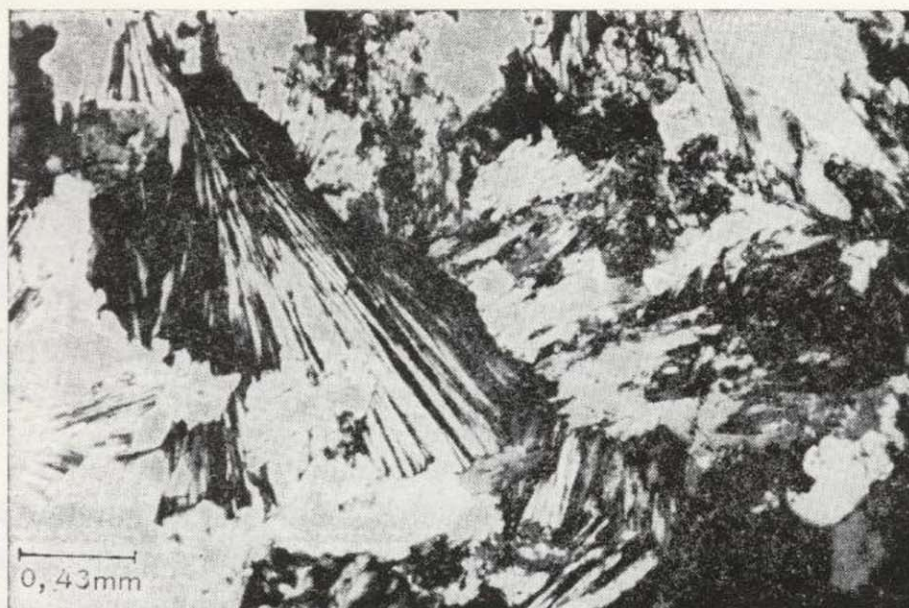


Foto 8.—Cristales fibrosos radiados de cloritoide.  
Muestra CS-017.

b) Relaciones de las intensidades  $I_{004}/I_{003}$  e  $I_{004}/I_{005}$  y cálculo de los factores de estructura relativos correspondientes, con objeto de determinar el contenido y distribución de átomos pesados (hierro, esencialmente), según el método de Nieto (1982).

Para la clasificación de la clorita se ha utilizado la nomenclatura y criterios propuestos por la AIPEA (BAILEY, 1980).

En las tablas 2 y 3 se resumen los resultados obtenidos mediante difracción de rayos X.

**TABLA 2**

**Espaciados basales, relaciones de intensidades y factores de estructura relativos de las cloritas**

| Muestra       | d (001) Å | $I_{004}/I_{003}$ | $I_{004}/I_{005}$ | $F_{004}/F_{003}$ (*) | $F_{004}/F_{005}$ (**) |
|---------------|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| CS-009 ... .. | 14,12     | 3,00              | 7,50              | 2,39                  | 1,90                   |
| CS-014 ... .. | 14,10     | 3,62              | 10,87             | 2,62                  | 2,29                   |
| CS-016 ... .. | 14,11     | 3,03              | 6,44              | 2,40                  | 1,76                   |
| CS-017 ... .. | 14,10     | 3,06              | 8,83              | 2,41                  | 2,06                   |

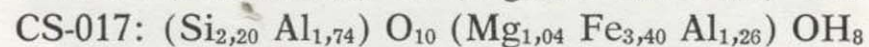
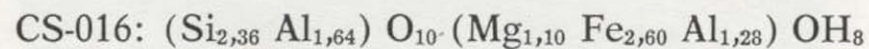
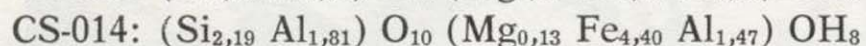
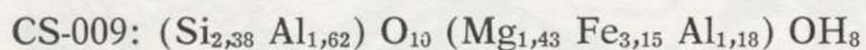
Las ecuaciones \* y \*\* se han obtenido para las siguientes condiciones de trabajo:  
Kv=36, mA=24, C.T.=8, velocidad de exploración=1°/minuto.

**TABLA 3**

**Composición y clasificación de las cloritas**

| Muestra       | Si   | Al <sup>IV</sup> | Al <sup>VI</sup> | Fe <sup>oc.</sup> | Fe <sup>int.</sup> | Mg   | Término   |
|---------------|------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|------|-----------|
| CS-009 ... .. | 2,38 | 1,62             | 1,18             | 1,90              | 1,25               | 1,42 | Chamosita |
| CS-014 ... .. | 2,19 | 1,81             | 1,47             | 2,40              | 2,00               | 0,13 | Chamosita |
| CS-016 ... .. | 2,36 | 1,64             | 1,28             | 1,60              | 1,00               | 1,19 | Chamosita |
| CS-017 ... .. | 2,26 | 1,74             | 1,26             | 1,90              | 1,50               | 1,06 | Chamosita |

Según se desprende de la tabla 3, a estas muestras corresponden las siguientes fórmulas:



El análisis químico proporciona los siguientes resultados (tabla 4):

**TABLA 4**

**Análisis químicos de muestras cloríticas**

| Muestra       | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO  | MgO  | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |
|---------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| CS-009 ... .. | 42,75            | 30,36                          | 1,46                           | 6,55  | 0,13 | 2,55 | 0,28 | 0,09             | 0,20              | 7,45             | 5,88                          |
| CS-014 ... .. | 43,28            | 27,06                          | 2,52                           | 9,87  | 0,15 | 3,07 | 0,71 | 0,38             | 0,20              | 6,05             | 6,09                          |
| CS-016 ... .. | 46,53            | 27,37                          | 2,09                           | 12,08 | 0,19 | 1,58 | 1,00 | 0,02             | 2,46              | 1,00             | 5,02                          |
| CS-017 ... .. | 46,98            | 27,06                          | 1,46                           | 12,50 | 0,11 | 1,61 | 1,02 | 0,04             | 2,51              | 1,09             | 4,94                          |





Foto 8.—Cristales fibrosos radiados de cloritoide. Muestra CS-017.

b) Relaciones de las intensidades  $I_{004}/I_{003}$  e  $I_{004}/I_{005}$  y cálculo de los factores de estructura relativos correspondientes, con objeto de determinar el contenido y distribución de átomos pesados (hierro, esencialmente), según el método de Nieto (1982).

Para la clasificación de la clorita se ha utilizado la nomenclatura y criterios propuestos por la AIPEA (BAILEY, 1980).

En las tablas 2 y 3 se resumen los resultados obtenidos mediante difracción de rayos X.

TABLA 2

Espaciados basales, relaciones de intensidades y factores de estructura relativos de las cloritas

| Muestra | d (001) Å | $I_{004}/I_{003}$ | $I_{004}/I_{005}$ | $F_{004}/F_{003}$ (*) | $F_{004}/F_{005}$ (**) |
|---------|-----------|-------------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| CS-009  | 14,12     | 3,00              | 7,50              | 2,39                  | 1,90                   |
| CS-014  | 14,10     | 3,62              | 10,87             | 2,62                  | 2,29                   |
| CS-016  | 14,11     | 3,03              | 6,44              | 2,40                  | 1,76                   |
| CS-017  | 14,10     | 3,06              | 8,83              | 2,41                  | 2,06                   |

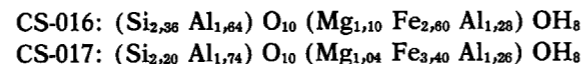
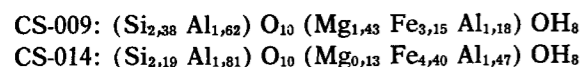
Las ecuaciones \* y \*\* se han obtenido para las siguientes condiciones de trabajo: Kv=36, mA=24, C.T.=8, velocidad de exploración=1°/minuto.

TABLA 3

Composición y clasificación de las cloritas

| Muestra | Si   | Al <sup>IV</sup> | Al <sup>VI</sup> | Fe <sub>oc.</sub> | Fe <sub>int.</sub> | Mg   | Término   |
|---------|------|------------------|------------------|-------------------|--------------------|------|-----------|
| CS-009  | 2,38 | 1,62             | 1,18             | 1,90              | 1,25               | 1,42 | Chamosita |
| CS-014  | 2,19 | 1,81             | 1,47             | 2,40              | 2,00               | 0,13 | Chamosita |
| CS-016  | 2,36 | 1,64             | 1,28             | 1,60              | 1,00               | 1,19 | Chamosita |
| CS-017  | 2,26 | 1,74             | 1,26             | 1,90              | 1,50               | 1,06 | Chamosita |

Según se desprende de la tabla 3, a estas muestras corresponden las siguientes fórmulas:



El análisis químico proporciona los siguientes resultados (tabla 4):

TABLA 4

Análisis químicos de muestras cloríticas

| Muestra | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO  | MgO  | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |
|---------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| CS-009  | 42,75            | 30,36                          | 1,46                           | 6,55  | 0,13 | 2,55 | 0,28 | 0,09             | 0,20              | 7,45             | 5,88                          |
| CS-014  | 43,28            | 27,06                          | 2,52                           | 9,87  | 0,15 | 3,07 | 0,71 | 0,38             | 0,20              | 6,05             | 6,09                          |
| CS-016  | 46,53            | 27,37                          | 2,09                           | 12,08 | 0,19 | 1,58 | 1,00 | 0,02             | 2,46              | 1,00             | 5,02                          |
| CS-017  | 46,98            | 27,06                          | 1,46                           | 12,50 | 0,11 | 1,61 | 1,02 | 0,04             | 2,51              | 1,09             | 4,94                          |

Con objeto de establecer la fórmula de la clorita a partir del análisis químico se ha hecho necesario cuantificar cada uno de los componentes minerales y comparar los porcentajes obtenidos por difracción de rayos X y análisis químico (tabla 5). Debido a la relativa complejidad mineralógica, sólo en dos muestras (CS-009 y CS-014) ha sido posible.

TABLA 5

Análisis cuantitativo (%) en muestras con clorita, moscovita y granate

| Muestra | Análisis químico |        |         | Difracción de rayos X |         |
|---------|------------------|--------|---------|-----------------------|---------|
|         | Clorita          | Cuarzo | Moscov. | Clorita               | Moscov. |
| CS-009  | 30               | 7      | 63      | 34                    | 66      |
| CS-014  | 41               | 8      | 51      | 50                    | 50      |

Poderes reflectantes:

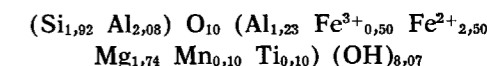
Clorita=2 (reflexión a 7 Å)  
 Moscovita=1 (reflexión a 10 Å)

Las diferencias están comprendidas en el error implícito del método de difracción de rayos X. Adicionalmente ha de tenerse en cuenta que el cuarzo ha sido soslayado en uno de los casos. Basándonos en estos datos cuantitativos y en los resultados del análisis químico, se han determinado las fórmulas de las cloritas bajo los siguientes supuestos: 1.º que todo el K<sub>2</sub>O pertenece a la

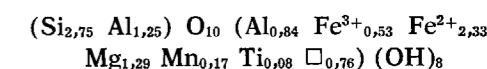
moscovita, y 2.º que la clorita posee 8 grupos OH<sup>-</sup> de acuerdo con la fórmula teórica.

Los resultados son los siguientes:

Muestra CS-009:



Muestra CS-014:



La comparación con las fórmulas obtenidas sobre los resultados del análisis difractométrico permite concluir que las diferencias son aceptables y se sitúan en el margen de error del método.

3.1.2. Granates

La tabla 6 resume los resultados de los análisis químicos y de las medidas del parámetro  $a_0$ . Los datos analíticos permiten deducir que los granates corresponden a términos con elevados porcentajes en almandino y espesartita. Ha de indicarse, sin embargo, que las proporciones de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son relativamente elevadas. Ello se interpreta debido a la conjunción de dos factores: por un lado, a la oxidación del propio granate y, por otro, a la existencia de posibles inclusiones de pirita. Por estas razones se ha preferido formular el cuarto componente composicional como grosularita y no como andradita.

TABLA 6

Composición química y parámetro  $a_0$  (Å) de granates

|                                | CS-016 | CS-017 | CS-027 | CS-030 | CS-031 |
|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| SiO <sub>2</sub>               | 36,92  | 37,04  | 37,12  | 37,19  | 37,10  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,26  | 20,68  | 20,61  | 20,42  | 20,38  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0,95   | 1,08   | 0,93   | 0,60   | 1,10   |
| TiO <sub>2</sub>               | —      | —      | 0,04   | 0,03   | —      |
| FeO                            | 28,64  | 28,51  | 26,95  | 28,15  | 27,11  |
| MnO                            | 11,74  | 11,56  | 12,80  | 12,11  | 12,09  |
| MgO                            | 1,40   | 1,40   | 1,66   | 1,73   | 1,82   |
| CaO                            | 0,16   | 0,15   | 0,33   | 0,33   | 0,25   |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,04   | 0,03   | 0,03   | 0,03   | 0,04   |
| K <sub>2</sub> O               | 0,14   | 0,08   | 0,12   | 0,10   | 0,12   |
| H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>  | 0,02   | 0,03   | 0,01   | 0,05   | —      |
| TOTAL                          | 100,27 | 100,56 | 100,60 | 100,74 | 100,01 |
| Almandino                      | 66,25  | 66,45  | 61,64  | 64,10  | 63,16  |
| Espesartita                    | 27,50  | 27,27  | 30,62  | 27,93  | 28,53  |
| Piropo                         | 5,77   | 5,82   | 6,77   | 7,02   | 7,56   |
| Grosularita                    | 0,48   | 0,46   | 0,97   | 0,95   | 0,75   |
| $a_0$ (Å) ± 0,001 Å            | 11,543 | 11,538 | 11,546 | 11,544 | 11,542 |



### 3.1.3. Cordierita

Este mineral se ha identificado —relativamente inalterado— en una sola muestra (CS-008), en la que se presenta con hábito prismático, englobado por clorita (foto 9).

La asociación mineral —en este caso— es la siguiente: cordierita, clorita, moscovita, piritita y feldespato potásico, como mineral minoritario.

En la tabla 7 se resumen los análisis químicos realizados en la muestra CS-008 en la que se han diferenciado dos partes. Una de ellas (CS-008 verde claro) corresponde a la zona constituida por cordierita, como mineral predominante, si bien existe contaminación de clorita (chamosita), moscovita y feldespato potásico. Dicha asociación mineral explicaría la desviación en el contenido de

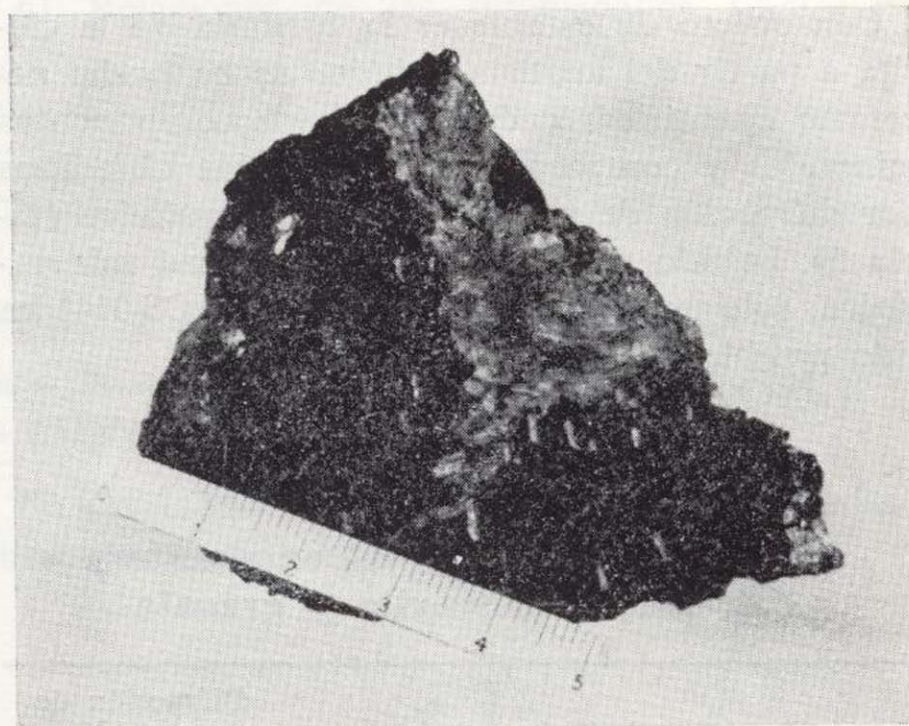


Foto 9.—Cordierita (parte clara) y clorita (parte oscura). Muestra CS-008.

**TABLA 7**

**Análisis químico de una muestra con cordierita y clorita**

| Muestra                      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | CaO  | MgO  | MnO  | TiO <sub>2</sub> | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |
|------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|------|------------------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| CS-008 (verde oscuro) ... .. | 43,27            | 31,97                          | 5,57                           | 3,69  | 0,40 | 2,20 | 0,44 | —                | 0,40              | 3,86             | 7,57                          |
| CS-008 (verde claro) ... ..  | 45,60            | 29,86                          | 2,01                           | 11,15 | 0,11 | 3,39 | 1,92 | —                | 1,40              | 1,08             | 3,42                          |

algunos óxidos, no pudiendo interpretarse tal análisis químico como característico de la cordierita original.

Así, las relativamente elevadas proporciones en MnO y K<sub>2</sub>O se deberían —respectivamente— al acomodo que el primero encuentra en la estructura de minerales ferromagnesianos (clorita, en este caso) que acompaña a la cordierita, y a la presencia de feldespato potásico en el segundo. El contenido más bajo en MgO puede explicarse debido a un reemplazamiento de magnesio por hierro. Es interesante destacar, también, que el elevado porcentaje de H<sub>2</sub>O<sup>+</sup> (3,42%) pone de relieve la existencia de importantes fenómenos de alteración en dicha cordierita (FOLINSBEE, 1941a).

Los otros datos químicos (CS-008 verde oscuro) corresponden a la zona de la muestra en la que la clorita es el mineral dominante con proporciones de cordierita, piritita, moscovita y feldespato potásico.

### 3.2. Gneises plagioclásicos turmalizados

Presentan textura granolepidoblástica con cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y moscovita como minerales mayoritarios. El tamaño de grano no supera 1 ó 2 mm. En ellos se reconoce una esquistosidad materializada por la orientación de la moscovita, el alargamiento mineral y la existencia de bandeo litológico.

La turmalina —que puede constituir el 50 ó 70 por 100 de la roca— presenta un tamaño de grano, en general, mayor que el resto de los minerales, con algunos prismas de más de 2 cm. Los peciloblastos de este mineral, que engloban cuarzo y feldespatos, están zonados y corresponden a un término de la serie chorlo-elbaita.

El proceso de turmalinización se produce a favor de las superficies de esquistosidad aunque, dado el carácter tardío del proceso, los prismas de turmalina están desorientados dentro de los planos de esquistosidad.



En lámina delgada, perpendicular a la esquistosidad (foto 10), se observa una concentración de turmalina en ciertos niveles y con diferente tamaño de unos a otros. Por otra parte, la desorientación dentro de los planos de esquistosidad ocasiona la aparición de secciones basales y prismáticas alargadas. También es destacable que —simultáneamente a la turmalinización— se ob-

serva un enriquecimiento en apatito con los mismos rasgos texturales que la turmalina.

3.3. Esquistos biotíticos (biotititas)

Son rocas de aspecto pegmatoide, pero con una esquistosidad bien visible en el afloramiento y con intenso microplegado decimétrico. En las muestras se observan paquetes de biotita en placas de gran tamaño (a veces, decimétricas) entre las que se intercalan diferenciados de cuarzo y feldespato (minoritario) de varios milímetros a varios centímetros de tamaño, pero —en general— de escasa continuidad.

En lámina delgada la textura es lepidoblástica (foto 11) con biotita de pleocroísmo marrón deformada por una fase de microplegues angulares. Entre los paquetes de mica hay niveles granoblásticos con cuarzo, feldespato y biotita. Esta última adopta una orientación ortogonal respecto a la biotita de los lechos lepidoblásticos.

La biotita corresponde al politipo 3T, según ha resultado de la determinación mediante el método de Laüe. Sus análisis químicos se recogen en la tabla 8.

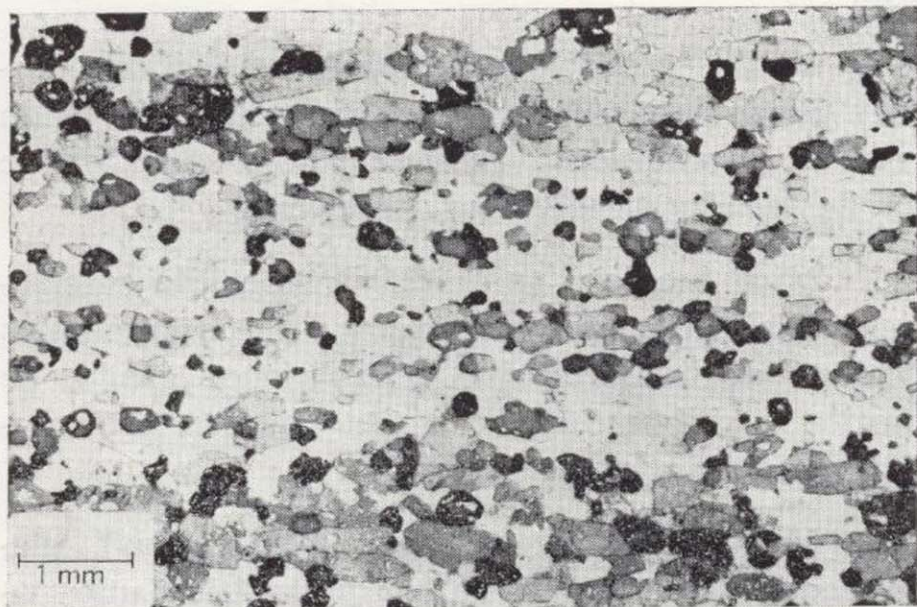


Foto 10.—Concentración de turmalina según niveles y con diferente tamaño. Muestra MO-PG.

TABLA 8

Análisis químico de biotitas

| Muestra      | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO   | MnO  | MgO   | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> |
|--------------|------------------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|
| D-008 ... .. | 32,70            | 17,58                          | 3,32             | 5,74                           | 14,30 | 0,12 | 11,58 | 0,10 | 0,38              | 8,26             | 5,09                          |
| D-012 ... .. | 31,48            | 17,01                          | 3,11             | 8,55                           | 13,38 | 0,11 | 11,79 | 0,09 | 0,31              | 9,18             | 4,32                          |

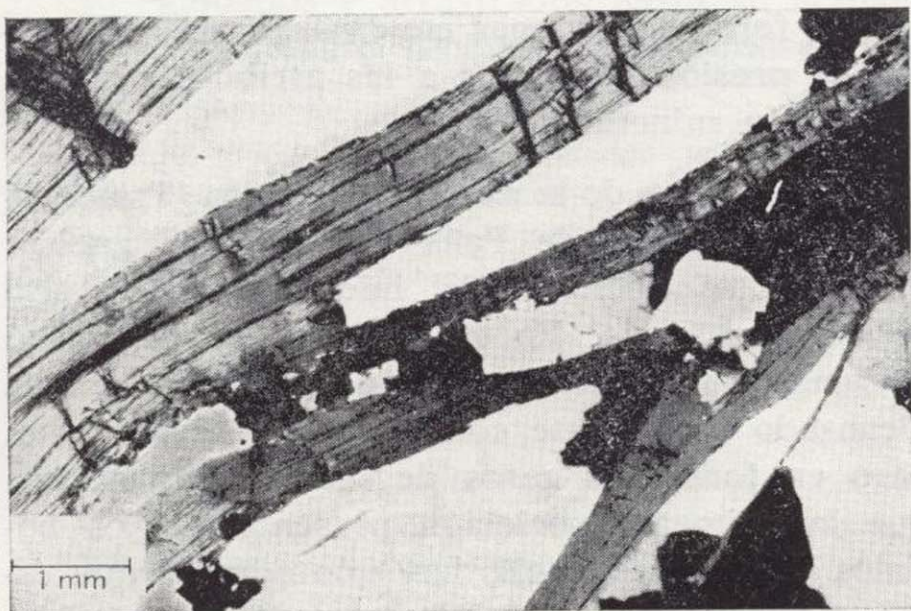


Foto 11.—Cristales de biotita y lechos segregados de cuarzo y feldespato potásico en biotititas. Muestra D-009.

Como trazas se han determinado los siguientes elementos:

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Li <sup>+</sup>  | 184-197 ppm |
| Rb <sup>+</sup>  | 591-656 ppm |
| Cr <sup>3+</sup> | 105-144 ppm |
| Ba <sup>2+</sup> | 290-334 ppm |
| Cu <sup>2+</sup> | 8- 23 ppm   |
| Zn <sup>2+</sup> | 95- 97 ppm  |

4. DISCUSION

Los tres tipos de materiales descritos corresponden a rocas metamórficas. En los casos de los gneises plagioclásicos turmalinizados y de las biotititas, las rocas originales se encuentran en



el entorno inmediato de las pegmatitas que las engloban. Por el contrario, los nódulos de clorita, moscovita y granate no corresponden a rocas aflorantes. En los tres casos, la evolución textural y mineralógica es diferente.

En los *gneises plagioclásicos turmalinizados*, la roca metamórfica previa pertenece a las rocas encajantes como se ha mencionado anteriormente. Sin tener en cuenta la presencia de la turmalina, estos gneises son idénticos a los existentes en el tramo II de la Formación de Peña Grajera. Al ser englobados por la pegmatita, su textura no se ha modificado, pero han sufrido una importante turmalinización y un ligero enriquecimiento en apatito.

Los fenómenos de turmalinización afectan igualmente a las rocas encajantes de la masa pegmatítica de Peña Grajera, donde se observan los esquistos y gneises turmalinizados en una extensión de 5 a 10 cm. desde el contacto.

En otras pegmatitas, enclavadas también en esquistos y gneises de grano fino, se aprecia igualmente este fenómeno. Por ejemplo, en la pegmatita existente en la carretera Argallón-Alanís. Asimismo, pegmatitas encajadas en otras litologías han ocasionado igualmente la turmalinización de las rocas encajantes.

Por ejemplo, pegmatita de «Colmenar» en la que la turmalinización —localmente muy intensa— afecta a las cuarcitas feldespáticas de la Formación Albarrana.

Las *biotitas* representan la transformación de primitivos niveles de esquistos biotíticos (70-90 por 100 de biotita) intercalados en las cuarcitas feldespáticas de la Formación Albarrana.

En la pegmatita «Diéresis», estos niveles se reconocen entre las rocas encajantes en contacto con la pegmatita. Su textura es lepidoblástica con cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico y biotita. La biotita es de color verdoso y pleocroísmo marrón; su tamaño de grano alcanza 3 ó 4 mm.

Al ser englobados por la pegmatita, los esquistos —en este caso— experimentan esencialmente cambios texturales con recristalización de la biotita en grandes placas y segregación del cuarzo en niveles. El único cambio mineralógico a destacar es el empobrecimiento en plagioclasa.

No se observa turmalinización y tampoco hay desarrollo de minerales secundarios como ocurre en los nódulos de clorita, moscovita y granate.

En los *nódulos de clorita, moscovita y granate* se distinguen claramente diversas asociaciones minerales:

1. Cordierita, granate rico en almandino, sillimanita.
2. Granate rico en almandino, cordierita, biotita.

En ambos casos, con escasa cantidad de cuarzo y plagioclasa. Algunos de estos minerales están total o parcialmente reemplazados, como ya se ha destacado en diversas muestras.

3. Mica incolora (pinnita y moscovita prismática-radial), clorita y cloritoide. Estos minerales derivan de la cordierita y, en menor grado, de biotita y sillimanita. La piritita aparece estrechamente ligada a estos minerales.

4. Mica incolora (moscovita en placas), plagioclasa, cuarzo y turmalina prismática que parecen introducidos en los nódulos a partir de la pegmatita encajante. Localmente, la plagioclasa engloba restos de cordierita.

Las dos primeras asociaciones minerales caracterizan, al menos, la zona de más alta temperatura del grado alto de metamorfismo en metapelitas. La presencia —aunque en escaso número de muestras— de hiperstena indica, por otra parte, que se alcanzaron las condiciones de la zona de hiperstena.

Los componentes habituales de las pegmatitas se han formado en unas condiciones de temperatura y presión inferiores a las atribuidas a esta asociación mineral.

En el entorno de la masa pegmatítica (Tramo II de la Formación de Peña Grajera) los gneises muestran asociaciones del inicio del grado alto de metamorfismo. En el Tramo I de la misma Formación y en la Formación Albarrana se han alcanzado igualmente condiciones de grado alto, pero en todos los casos de menor temperatura que la primera asociación presente en los nódulos. En consecuencia, hay que admitir que éstos proceden de materiales no aflorantes. Además, los componentes pegmatíticos derivan también —en parte— de esas zonas (GARROTE et al.,

1980) y la citada asociación podría representar un residuo dentro de una zona con migmatización avanzada y generalizada.

La asociación clorita, moscovita y cloritoide es el resultado de la retrogradación de las primeras asociaciones acaecida cuando los nódulos estaban ya englobados por la pegmatita.

Por último, en este caso el aporte de la pegmatita al enclave está limitado a la neoformación de escasos prismas de turmalina y de placas de moscovita, alojada —sobre todo— en los contactos entre prismas de cordierita. Sólo en los bordes de los nódulos se encuentran cuarzo y plagioclasa.

Como resumen final, se pueden destacar los siguientes hechos:

- Las pegmatitas de Sierra Albarrana engloban rocas metamórficas desigualmente transformadas.
- Los gneises turmalinizados representan enclaves del entorno inmediato (enclaves «paraautóctonos»); el principal cambio es una intensa turmalinización.
- Las biotitas son el resultado de la recristalización y empobrecimiento en plagioclasa de los esquistos biotíticos presentes en las rocas encajantes (enclaves «paraautóctonos»).
- Los nódulos de clorita, moscovita y granate corresponden verosímilmente a rocas metamórficas no aflorantes, al menos de la zona de más alta temperatura del grado alto de metamorfismo. Dichos nódulos han sido englobados y arrastrados hasta su actual emplazamiento (enclaves «alóctonos») y —en

buen grado— transformadas su textura y mineralogía previas. A nivel regional constituyen el único testimonio sobre el tipo de material existente por debajo de la Formación Albarrana, en la sucesión metamórfica del núcleo de Sierra Albarrana, aunque puedan corresponder tanto a una litología específica o más verosímilmente a una asociación residual.

## V. BIBLIOGRAFIA

- ALBEE, A. L.: *Relationship between the mineral association chemical composition and physical properties of the chlorites series*. Am. Miner., 47, 851-870 (1962).
- BAILEY, S. W.: *Summary of recommendations of AIPEA nomenclature committee*. Clay Minerals, 15, 85-93 (1980).
- FOLINSBEE, R. E.: *The chemical composition of garnet associated with cordierite*. Am. Miner., 26, 50 (1941 a).
- GARROTE, A.: *Asociaciones minerales del núcleo metamórfico de Sierra Albarrana (Provincia de Córdoba)*. Sierra Morena Central. Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Mineral. Geol. Univ. Coimbra, 82, 17-39 (1976).
- GARROTE, A.; ORTEGA HUERTAS, M., y ROMERO, J.: *Los yacimientos de pegmatitas de Sierra Albarrana (Provincia de Córdoba)*. Sierra Morena. IGME. Temas Geológico-Mineros. 1.ª Reunión sobre Geología de Ossa Morena, 145-168 (1980).
- GARROTE, A.; DELGADO QUESADA, M., y CONTRERAS, M. C.: *Hoja 1:50.000, núm. 900 (La Cardenchoa)*. IGME (en prensa).
- NIETO, F.: *Cloritas de las Cordilleras Béticas* (Tesis). Universidad de Granada, 245 pp. (1982).
- ORTEGA HUERTAS, M.; GARROTE, A.; RODRÍGUEZ GORDILLO, J., and FENOLL HACH-ALÍ, P.: *Pegmatitic assemblages in the metamorphic core of Sierra Albarrana (Córdoba, Spain)*. 13th IMA General Meeting. Varna (Bulgaria) (1982).

# INFORMACION

## Noticias

### EN LA REALIZACION DEL PNAMP, PEN, FOMAR Y PANU: EL IGME INVIRTIÓ 2.919 MILLONES DE PESETAS EN 1981

Durante 1981 el Instituto Geológico y Minero de España ha realizado una inversión total de 2.919 millones de pesetas en la realización de 566 proyectos que afectan a 49 provincias, según la Memoria de actividades realizadas por el IGME sobre el referido año. La realización de estos proyectos se inscribe en los planes y programas sobre los que centró su actividad el Instituto en 1981: el Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales no Energéticas (PNAMP); el Plan Energético Nacional (PEN); el Programa de Cartografía Geológica de los Fondos Marinos (FOMAR); el Programa Nacional de Abastecimiento a Núcleos Urbanos con Aguas Subterráneas (PANU).

Para llevar a cabo estos objetivos, el IGME agrupó sus proyectos en tres sectores claramente definidos: Infraestructura geológica minera, recursos minerales, geología aplicada a la ordenación del medio natural. En las realizaciones del primer sector la Memoria del IGME destaca que en el campo de la cartografía geológica ya está cubierto más del 55 por 100 del territorio nacional a escala 1:50.000 y cerca del 12 por 100 de la nueva síntesis geológica a escala 1:200.000, basada en el propio mapa 1:50.000, y, finalmente, el nuevo mapa geológico de España a escala 1:1.000.000. Este primer sector de actuaciones representa aproximadamente un 20 por 100 del total de las inversiones que desarrolla el Instituto, alcanzando en 1981 la cifra de 530,7 millones de pesetas.

En cuanto al segundo sector —Recursos Minerales— la labor del IGME ha sido la realización de trabajos básicos difícilmente cuantificables en términos económicos, pero imprescindibles para el aprovechamiento de los recursos minerales. Mediante estos trabajos se pretende disponer de una infraestructura minera que permita un conocimiento básico de los recursos minerales; ocuparse de la explotación e investigación propiamente dichas, dentro de las áreas reservadas seleccionadas como de interés por su posible potencial minero; realización de trabajos básicos dirigidos a la propia explotación minera. Entre las realizaciones prácticas se encuentra el Mapa Metalogénico Nacional, el de Rocas Industriales y el de Previsión de

Mineralizaciones por sustancias. Se ha iniciado, igualmente, la preparación de inventarios por sustancias de los yacimientos de existencia conocida y se cuenta ya con los inventarios de estaño, wolframio, hierro, plomo y zinc.

Por otra parte, se ha puesto en marcha el Programa de Exploración Minera Sistemática de todo el territorio nacional, mediante una moderna tecnología que pretende el descubrimiento de nuevas anomalías e indicios minerales.

Finalmente, dentro del sector de trabajos realizados con la geología aplicada a la ordenación y protección del medio natural, el IGME ha dedicado un especial interés al campo de las aguas subterráneas. Hasta el momento, y mediante la aplicación del Programa de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), se ha estudiado más de las dos terceras partes del país. La aplicación del Programa de Estudios para la Planificación, Control y Conservación de Acuíferos ha permitido el mantenimiento de una red piezométrica para el control de los niveles acuíferos subterráneos, toma de muestras para el control de la calidad del agua, y una tercera de aforos de superficie para la cuantificación de los recursos subterráneos.

Por lo que respecta al Programa de Abastecimiento a Núcleos Urbanos con Aguas Subterráneas (PANU), entre 1975 —año en que se elaboró— y 1981, se ha invertido un total de 763.930.000 pesetas, realizándose obras de alumbramiento en 351 municipios de 33 provincias. Se ha aforado un caudal de 7.287,35 litros por segundo con una capacidad de abastecimiento para 3.146.089 habitantes.

Entre las acciones más espectaculares realizadas por el IGME en 1981, si bien son fruto de un largo período de trabajo, destaca el descubrimiento del yacimiento de lignitos de Ginzo de Limia, cuya importancia está aún por determinar.

### IGME: MEMORIA DE ACTIVIDADES 1981 PROGRAMA PARA LA EXPLORACION DE RECURSOS MINERALES

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) inició, en el curso del pasado año, el Programa de Exploración Sistemática de Recursos Naturales (PES), que

tiene como finalidad el poner de manifiesto las áreas de mayor interés minero y la posible existencia en las minas de mineralizaciones económicamente explotables.

Según la Memoria de actividades del IGME, en 1981 se llevó a cabo una campaña piloto en la zona de Lovios (Orense) y Pirineo Central, realizándose unas 75.000 determinaciones que, tras su estudio e interpretación, permitirá extraer la información necesaria para poder orientar e iniciar seguidamente la fase de exploración estratégica.

Las tareas de investigación y exploración de recursos minerales realizadas se recogen en la siguiente estadística:

|                                       |                        |
|---------------------------------------|------------------------|
| Sondeos                               | 17.500 m.l             |
| Calicatas                             | 19.500 m <sup>3</sup>  |
| Pocillos                              | 2.500 m <sup>3</sup>   |
| Muestras                              | 9.000 ud               |
| Cartografía geológica minera 1:50.000 | 27.550 Km <sup>2</sup> |
| Cartografía geológica minera 1:25.000 | 58.000 Ha              |
| Cartografía geológica minera 1:10.000 | 25.000 Ha              |
| Cartografía geológica minera 1: 5.000 | 1.000 Ha               |

En cuanto a recursos mineros no energéticos, en el Paredón (Cerro Muriano) se ha cubicado una masa de sulfuros polimetálicos de 639.155 toneladas, con contenidos de 6,53 por 100 Zn, 2,98 por 100 Pb, 1,08 por 100 Cu, 79,85 g/t. de Ag y 0,61 g/t. de Au.

Dentro de esta Reserva, en la zona de la mina San Enrique, un sondeo ha detectado contenidos de cobre (1,87 por 100) y 61 g. de plata por tonelada, en una columna de 3,20 m.

En el Integral varios sondeos han cortado tramos mineralizados en Pb, Zn y Ag de altas leyes.

### MAGNETITAS Y PIRITAS EN LA RESERVA DEL SUROESTE

En la Reserva Estatal del suroeste, área de Aracena, mediante investigación geofísica, se han detectado interesantes anomalías en la zona del río Chanza, correspondiente a una posible mineralización de magnetita, de 600 m. de corrida y potencia media de 3 m., que habrá de ser investigada por sondeos mecánicos.

En la zona de Santa Ana, el único sondeo efectuado ha cortado mineralizaciones de pirita con calcopirita y blenda en dos tramos de 11,70 m. y 6,46 m. a los 56 y 95 metros, respectivamente.

En Gibraleón (Huelva) se efectuó un sondeo para reconocimiento de una anomalía gravimétrica, cortándose un paquete de 70 metros de pizarras, con sedimentación de piritas, y la serie volcánica-sedimentaria en la que se sitúan las masas piríticas de la región.

En cuanto al cobre, en la inscripción de «Malcocinado» los sondeos realizados para la investigación de cobre han dado resultados alentadores respecto a la posible existencia de mineralizaciones diseminadas en rocas eruptivas de carácter porfídico.

### EVALUACION DE POTENCIALES DE ESTAÑO Y WOLFRAMIO

En «El Trasilón» (Cáceres) se ha estimado como recursos geológicos posibles unas 4.000 t de SnO<sub>2</sub>. Se ha efectuado igualmente la estimación del potencial de Sn

y W en Almoharín, Hoyos y Acebo, y también en la provincia de Cáceres. En Salamanca, por otra parte, se han investigado las zonas de Santa Genoveva, Buenavista y Garcirrey.

Por lo que respecta al granito en Pontevedra, se han estimado como recursos 100 millones de m<sup>3</sup> de la variedad comercial «roca porriño», verificándose por sondeos la existencia de 3 millones de m<sup>3</sup>, lo que equivale a asegurar reservas para 20 años al ritmo actual de producción.

### OTRAS PROSPECCIONES

En Extremadura se han detectado 15 zonas con posibilidades de minerales de plomo y de zinc. Se continúan las investigaciones de estas sustancias en Aldeacentenera (Cáceres), Albuquerque y Castuera (Badajoz).

Se han encontrado indicios de antimonio en la mina «La Cabrera», de Losacio (Zamora), que se encuentra pendiente de evaluar. También se detectaron pequeñas áreas de cromita en Calzadilla de los Barros (Badajoz), de escaso interés económico.

### DURANTE 1981: EL IGME ALCANZO EN SONDEOS 3.112 METROS LINEALES

Durante 1981 el Instituto Geológico y Minero de España, IGME, centró sus proyectos y trabajos, en materia de aguas subterráneas y geotecnia, en dos cometidos principales, según la Memoria de actividades del referido año: el relativo a aguas subterráneas, en especial lo concerniente a los abastecimientos a núcleos urbanos en un período de sequía, y en el de la geología ambiental y territorial.

En este contexto se encuadra el Programa de Investigación de Aguas Subterráneas, PIAS, en virtud del cual se llevaron a cabo estudios de infraestructura en las cuencas Norte, Duero, Ebro, Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Segura y Sur, estudios que se materializaron en la composición de la cartografía siguiente: 10.000 Km<sup>2</sup> de cartografía hidrogeológica a E. 1:200.000, 3.000 Km<sup>2</sup> de cartografía hidrogeológica a E. 1:50.000.

En cuanto a trabajos de sondeos, se alcanzó la cifra de 3.112 metros lineales.

Según los datos recogidos en la Memoria del IGME, en la Cuenca del Norte los estudios más importantes se realizaron en Asturias, concretamente sobre los acuíferos de la sierra de Aramo y Somiedo.

En la Cuenca del Duero se realizaron los estudios de los sistemas del Norte de León, Palencia y Burgos; del Mesozoico del Extremo Norte de la Ibérica y del Cretácico de Segovia.

Por lo que respecta a la Cuenca del Tajo, los estudios se enfocaron sobre los sistemas terciario-detritico de Madrid, Toledo, Cáceres, del Alagón y de la Sierra de Altamira.

En la Cuenca del Guadalquivir se estudiaron los sistemas del altiplano de Ecija y de los subsistemas Vejer-Barbate y Puerto Real-Conil.

En la Cuenca Sur Occidental, zona de Málaga, se realizó la investigación hidrogeológica de la Serranía de



Ronda, concretamente de los sistemas de las sierras de Tébar Peñarrubia y Cañete, recogiendo datos sobre aforos y pluviometría y aportaciones naturales en las estaciones de aforo, que permitieron calcular las medidas anuales y mensuales. Se estudió también el sistema de Sierra Tejada-Almijara.

En cuanto a la Cuenca Sur Oriental, en la zona de Almería, se efectuaron trabajos de infraestructura hidrogeológica en el Campo de Dalías, Cubeta del Saltador y en el Campo de Níjar, quedando concluido en este último lugar el inventario de puntos de agua, con un total de 610, situados 332 en sondeos, 122 en pozos, 121 en pozos-sondeos, 6 en galerías y 29 en manantiales.

En la Cuenca del Ebro se cartografiaron 500 Km<sup>2</sup> a E. 1:50.000. Por otra parte, se hizo la recopilación y síntesis de toda la investigación hidrológica realizada, evaluándose unas disponibilidades anuales del orden de 3.850 Hm<sup>3</sup>, volumen que se considera suficiente para permitir en una primera fase la puesta en regadío de 100.000 Ha de terreno, que podría incrementarse con acciones a largo plazo.

Finalmente, en la Cuenca Baja del Segura (Murcia), se realizó el estudio hidrogeológico de la zona Aguilas-Mazarrón, habiéndose efectuado los esquemas hidrogeológicos de los 29 sistemas acuíferos definidos, columnas estratigráficas, cortes, etc. Paralelamente se hizo un estudio hidrogeológico de la Comarca Caravaca-Cehegín.

#### PARA LA PROTECCION DE LA CALIDAD DE AGUAS SUBTERRANEAS: EL IGME CONTROLA 1.772 PUNTOS DE LA RED GENERAL EN 1981

Durante 1981 el Instituto Geológico y Minero de España, IGME, ha centrado su actividad en 38 provincias, dentro del Programa de Estudios para la Planificación, Control y Conservación de Acuíferos, programa en el que se incluyen los estudios y trabajos orientados a la protección de los acuíferos nacionales y para evitar la sobreexplotación y proteger la calidad del agua.

En este sentido, y según los datos de la Memoria del IGME, durante 1981 se realizaron los siguientes trabajos:

|  |        |
|--|--------|
| Nuevos puntos inventariados ... ..                             | 2.053  |
| Puntos de observación piezométrica ... ..                      | 2.180  |
| Medidas piezométricas ... ..                                   | 19.500 |
| Puntos de la red de vigilancia general de calidad.             | 1.772  |
| Muestras para análisis normal tomadas en la red general ... .. | 3.095  |
| Puntos de vigilancia para intrusión marina ...                 | 512    |
| Muestras para análisis de cloro ... ..                         | 1.836  |
| Medidas hidrométricas (aforos, ríos) ... ..                    | 2.325  |

#### ACTUALIZACION DE BALANCES

Durante el ejercicio de 1981 se han puesto al día los balances, las evaluaciones de recursos hidráulicos subterráneos y las explotaciones de distintos acuíferos de las Cuencas Norte, Duero, Guadiana, Sur, Segura y Júcar, habiéndose actuado, además, toda la cuenca del Guadalquivir. Por otra parte se han evacuado dos informes especiales preceptivos sobre las vegas de Guadix y Granada.

Por lo que respecta a la protección de la calidad de aguas subterráneas, aparte del control de la calidad rea-

lizado por las redes de vigilancia (1.772 puntos de la red general y 512 puntos de las redes de intrusión marina) se han llevado a cabo los siguientes estudios y trabajos:

Estudio de la contaminación de vertidos de fábricas alcoholeras en el sistema 23 de la llanura manchega.

23 informes preceptivos sobre ubicación de vertederos y cementerios.

Estudio profundo de la salinidad de la zona de Olmedo-Portillo, en el acuífero detrítico terciario del Duero, con 1.159 metros de sondeos de investigación perforados. Estudios para la detección de la contaminación de sondeos en Villanueva del Río y Minas, en la Cuenca del Guadalquivir.

Estudios sobre intrusión marina de los acuíferos del Campo de Dalías, con un total de 1.425 metros de sondeos de investigación perforados.

Estudios sobre perímetros de protección de la calidad y cantidad de las aguas subterráneas en Alcoy (Alicante), Puebla de Farnals (Valencia) y Zamora.

Estudio para la protección del acuífero costero subyacente a la IV Planta Siderúrgica Integral de Sagunto.

Estudio del estado actual de los acuíferos costeros en la Cuenca del Júcar.

Estudio sobre la contaminación por vertidos de alcoholeras en Cariñena, en la Cuenca del Ebro.

Estudio sobre emplazamiento de balsas de alpechín en Córdoba, Jaén y Toledo. Realización de mapas de orientación al vertido de residuos sólidos urbanos en toda la provincia de Madrid y en zonas de Alicante, Elche, Gijón-Oviedo, Morella, Albocacer, Mosqueruela y Costa del Sol.

Por otra parte, también se han realizado informes generales sobre la calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas del Duero, Sur, Media y Baja, y Baja del Guadalquivir.

#### RESULTADO DEL CONVENIO-MARCO FIRMADO EN 1980: EL IGME ENTREGA AL CONSEJO GENERAL DE CASTILLA Y LEON VARIOS TRABAJOS Y ESTUDIOS

El pasado 29 de septiembre le ha sido entregado al presidente del Consejo General de Castilla y León, José Manuel García Verdugo, una serie de trabajos y estudios que son fruto del Convenio-Marco de asistencia técnica suscrito en junio de 1980 entre el Instituto Geológico y Minero de España y el ente preautonómico de Castilla y León.

Entre los mencionados trabajos y estudios, que contemplan diversas facetas y áreas de la región, figuran los siguientes: estudio del medio natural en zonas deprimidas del Nordeste de Palencia; investigación geológico-minera del potencial de Talco en la zona de Lillo (León); explotación de pizarras bituminosas en el sector Mataporquera-Aguilar de Campóo (Palencia); cartografía geológico-minera del área de Robledo de Caldas-Cármenes (León); investigación para estaño, wolframio, manganeso y otros elementos en Zamora y Salamanca; inventario de rocas industriales en la provincia de Zamora; proyección de la cuenca carbonífera de Cerredo (El Bierzo-Villablino); bases para la revisión del mapa metalogenético de la región; proyecto de investigación hidrogeológica de la Cuenca del Duero con fines de ubicación de posibles captaciones



para abastecimientos urbanos; ordenación y valoración geológico-minera de las provincias de León, Zamora y Salamanca y establecimiento de un plan de promoción de su potencial minero.

En el acto de entrega estuvieron presentes el director general de Minas, Adriano García Loygorri, y el director del IGME, Mariano Ricardo Echevarría.

#### INAUGURADA OFICIALMENTE: LA PLANTA DE RECONVERSION DE BASURAS DE VALDEMINGOMEZ TRANSFORMARA 200 TONELADAS DIARIAS EN MATERIAS PRIMAS

«La realización de la planta de Valdemingómez es uno de los exponentes más claros de la materialización de la Ley de Conservación de la Energía al permitir el mayor aprovechamiento de las materias primas, objetivo primordial del Plan Energético Nacional que, con unas inversiones de 1,5 billones de pesetas en los últimos tres años, ha sido uno de los elementos de dinamización de la economía española.» En tales términos se expresó el ministro de Industria y Energía, Ignacio Bayón, en el acto de inauguración de la Planta de Clasificación y Reciclaje de Residuos Sólidos Urbanos de Valdemingómez, al que asistieron también el ministro del Interior, Juan José Rosón, el alcalde de Madrid, Enrique Tierno Galván; el presidente de la Empresa Nacional ADARO, Juan Antonio Gómez Angulo, alcaldes de casi cincuenta ciudades y otras personalidades.

La planta de Valdemingómez, construida por ADARO con tecnología propia en terrenos cedidos por el Ayuntamiento de Madrid, tiene una capacidad de tratamiento de 200 toneladas de residuos sólidos urbanos al día y permitirá la obtención de cuatro toneladas de chatarra magnética, 23 toneladas de papel, ocho toneladas de plásticos y 83 toneladas de abono orgánico «compost».

La realización de la planta ha requerido una inversión de 237 millones de pesetas, que ha sido costeada por la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnología, del Ministerio de Industria y Energía, 82,33 millones; Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (C.D.T.I.) 77,33 millones; y el INI, también 77,33 millones.

ADARO ha construido también plantas similares en París, dos en Suecia, otra en Italia y actualmente existen posibilidades de contratar la construcción de tres más, una en Israel y dos en Yugoslavia.

En el acto de inauguración Ignacio Bayón destacó igualmente la importancia que la planta de Valdemingómez representa desde el punto de vista ecológico, al propiciar una mejor calidad de vida de los ciudadanos con el reciclaje de unas basuras que pueden convertirse en elementos contaminantes de no tratarse adecuadamente. El ministro de Industria y Energía se refirió también a la capacidad tecnológica de la planta y afirmó que su Ministerio ha seguido en estos últimos años al política no sólo de poner en pie lo que estaba caído, sino de seguir avanzando tecnológicamente, «ya que sin avances en la innovación tecnológica no existe futuro».

#### 4.º SYMPOSIUM INTERNACIONAL DE MINERALOTECNIA DENTRO DE LAS ACTIVIDADES DE EXPOMINER

Los días 11, 12 y 13 de noviembre del presente año 1982, en el Palacio de los Congresos de la Feria de Barcelona, se celebrará el «4.º Symposium Internacional de Mineralotecnía». Los temas que se tratarán por científicos españoles y extranjeros, versarán el día 11 sobre la riqueza minera de España en la actualidad, reto mineral en la cuenca mediterránea, aplicaciones industriales de la tecnología moderna de los sectores del cemento y yesos. El día 12, en el sector de la cerámica se desarrollarán diversas conferencias —coloquios, como son, entre otros, el ahorro de energía, evaluación de yacimientos y explotación de lignitos—. Y el día 13 se tratarán, entre otros temas, la de las prestaciones monográficas de minerales de vanguardia; colaboran en la realización de este Symposium la Generalitat de Catalunya, Stand de Bureau de la Recherche Géologique et Minière (Francia), Museo de Geología de Barcelona, Consejo Superior de Investigaciones Científicas e Instituto Geológico y Minero de España.

#### VII SIMPOSIO NACIONAL SOBRE «OBRAS DE SUPERFICIE EN MECANICA DE ROCAS»

ORGANIZADO POR LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECANICA DE LAS ROCAS, TENDRA LUGAR EN MADRID (CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRAFICOS) LOS DIAS 9 Y 10 DE DICIEMBRE DEL PRESENTE AÑO

La Sociedad Española de Mecánica de las Rocas organiza su VII Simposio Nacional con el título: Obras de Superficie en Mecánica de Rocas.

Este simposio se celebrará en Madrid los días 9 y 10 de diciembre de 1982 en el auditorio del Centro de Estudios Hidrográficos, sede de la Sociedad.

Se desarrollarán los siguientes temas:

— Alteración superficial de macizos rocosos. Analizando sus causas, desarrollo, consecuencias y métodos de estudio.

— Taludes rocosos. Incluyendo todos los aspectos relacionados con los taludes rocosos: naturales, para minería y para obras públicas.

— Cimentaciones en roca. Incluyendo el proyecto y construcción de cimentaciones en roca para centrales de energía, edificios, instalaciones industriales, presas y puentes.

— Métodos constructivos para excavaciones superficiales en roca. Incluyendo las técnicas, maquinaria, procedimientos y procesos constructivos para la excavación, corrección y acabado de excavaciones superficiales en roca.

El Simposio se abrirá con una Conferencia especial dictada por un especialista de la máxima categoría.

Se celebrarán tres Sesiones Técnicas:

- 1) Alternación superficial en macizos rocosos.
- 2) Taludes rocosos.
- 3) Cimentaciones en roca.

Que serán dirigidas por un ponente general, con la colaboración de varios panelistas. En estas sesiones se presentarán las comunicaciones recibidas y se mantendrán discusiones abiertas.

Se celebrará una Sesión Informativa:

— Métodos constructivos para excavaciones superficiales en roca.

Para ampliar esta información los lectores pueden dirigirse a:

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECANICA  
DE LAS ROCAS  
VII Simposio Nacional  
Paseo Bajo de la Virgen del Puerto, 3  
MADRID-3

#### IV CURSO DE POSTGRADUADOS EN INGENIERIA GEOLOGICA

Se pone en conocimiento a los que pueda interesar que el próximo día 21 de marzo, y con duración hasta el 11 de mayo del próximo año 1983, se celebrará el IV Curso de Postgraduados en Ingeniería Geológica.

El período de inscripción finalizará el 1 de febrero de 1983.

Para mayor información dirigirse al teléfono 243 80 42, o bien personalmente en la planta cuarta de la Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

## Notas bibliográficas

### GEOLOGIA GENERAL

12410. **La geología de los fluidos o geofluidología.** MARTINEZ ALVAREZ, J. A.

E. T. S. Ingeniero de Minas de Oviedo.  
*Revista de Minas* (1979), núm. 1, 72-79, ref. 13, esp., bibl. IGME.

\* Teoría, Corteza terrestre, Inclusión fluido, Dinámica, Medio elastoviscoplastico, Yacimiento potencial.

12414. **Qué es la Geología.**

Ayuntamiento de Barcelona. Museo de Geología.  
*Centenario del Museo de Geología, 1878-1978.*

\* Enseñanza, Geología, Planeta Tierra.

12446. **El Museo de Geología (Museo Martorell). Un siglo de historia, 1878-1978.** MASRIERA, A.

*Servicio de Publicaciones.* Barcelona, pp. 1-19, ref. 21, esp., bibl. IGME.

\* Museo, Geología, Histórica, Provincia Barcelona, Museo Martorell.

12448. **La geología catalana: Ahir, Avui i demà.** REGUANT SERRA, S.

*Museo de Geología.* Barcelona (1978), 1-25, cat., bibl. IGME.

\* Histórico, Perspectiva, Geología, Catálogo.

### GEOLOGIA REGIONAL

12294. **Exploración geológica-minera del Noroeste Argentino. NOA I (Area Tucumán-Catamarca-Santiago del Estero).**

Ministerio de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería. Buenos Aires. Argentina.

*Servicio Nacional Minero Geológico* (1972), pp. 1-117, esp., bibl. IGME.

\* Programa, Política Estado, Prospección minera, Geología regional, Prospección geoquímica regional, Prospección aluvionar, Andes Argentinos, Catamarca, Tucumán, Patagonia Argentina, Santiago del Estero.

12295. **Zona de reserva núm. 1: Diablillos.**

Ministerio de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería. Buenos Aires. Argentina.

*Servicio Nacional Minero Geológico* (1972), pp. 18-20, esp., bibl. IGME.

\* Filita, Granito, Gneis, Antecámbrico, Dacita, Textura porfídica, Terciario, Alteración hidrotermal, Hierro sustancia, Pirita sustancia, Calcopirita, Prospección geoquímica regional, Anomalía regional, Cobre, Cinc, Andes argentinos, Catamarca.

12296. **Zona de reserva núm. 2: Agua Escondida.**

Ministerio de Industria y Minería. Subsecretaría de Minería, Buenos Aires. Argentina.

*Servicio Nacional Minero Geológico* (1972), esp., bibl. IGME.

\* Arenisca, Metamorfismo, Ordovícico, Roca ígnea, Pórfido andesítico, Seritización, Silicificación, Terciario, Alteración hidrotermal, Plomo sustancia, Prospección geoquímica regional, Anomalía regional, Cinc, Cobre, Andes argentinos, Catamarca.

12425. **Excursión al Precámbrico y Cámbrico inferior de Paracuellos. Cámbrico medio de Murero.** CAPOTE DEL VILLAR, R.

*6.º Curso de Geología Práctica,* Teruel 1981. Colegio Universitario, esp., bibl. IGME.

\* Excursión, Antecámbrico, Cámbrico, Tectónica superpuesta, Macizo Ibérico, Provincia Zaragoza.

12428. **Sierra de Albarracín.** RIBA ARDERIU, O.

*6.º Curso de Geología Práctica,* Teruel, 1981. Colegio Universitario, pp. 34-58, ref. 8, esp., bibl. IGME.

\* Corte geológico, Primario, Triás, Jurásico, Cretácico, Mioceno, Plioceno, Horst, Tectónica zócalo, Tectónica cobertura, Macizo Ibérico, Provincia Teruel, Sierra de Albarracín.

12429. **Itinerario geológico a la Serranía de Cuenca.** MELENDEZ, A.; MELENDEZ, F.; RAMIREZ DEL POZO, J.

*6.º Curso de Geología Práctica,* Teruel, 1981. Colegio Universitario, pp. 59-78, esp., bibl. IGME.

\* Excursión, Primario, Triás, Jurásico, Cretácico, Terciario, Orogenia alpina, Despegue, Tectónica imbricada, Macizo Ibérico, Provincia Cuenca, Serranía de Cuenca.

12434. **Geología de la región de Montalbán-Utrillas.** PARDO TIRAPU, G.; VILLENA MORALES, J.

*6.º Curso de Geología Práctica,* Teruel, 1981. Colegio Universitario, pp. 161-194, ref. 31, esp., bibl. IGME.

\* Devónico, Namuriense, Westfaliense, Carbonífero inf., Triás, Jurásico, Cretácico, Terciario, Corte geológico, Anticlinal, Graben, Paleogeografía, Excursión, Macizo Ibérico, Provincia Teruel, Formación Escucha, Formación Utrillas, Montalbán-Utrillas.

12464. **Geología da regio do Cariango, Angola.** FERREIRA DA SILVA, A. T. S.; ALMEIDA FERNANDES, N.

*Bol. Soc. Geol. Port.* (1978), vol. 21, núm. 1, 27-59, ref. 24, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Arcaico, Antecámbrico, Antecámbrico medio, Antecámbrico sup., Jurásico, Cretácico, Roca ígnea, Estratigrafía, Geología histórica, Angola.



## ESTRATIGRAFIA

12278. **O grau de incarbonização dos carvoes durienses e as consequências genticas, geológicas e estruturais que resultam do seu conhecimento. 1. Introdução geral. 2. Fi-siografia e geologia da região da bacia carbonífera do Douro.** LEMOS DE SOUSA, M. J.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 179-231, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Antecámbrico, Cámbrico, Ordovícico, Silúrico, Orogenia caledoniana, Epirogénesis, Devónico, Carbonífero, Orogenia hercínica, Litofacies, Geocronología, Mapa geológico, Título minero, Portugal.

12284. **Observações sobre o Carbónico do Sul de Portugal.** CORREIRA PERDIGAO, J.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 385-404, port., bibl. IGME.

\* Turnaisiense, Viseense, Namuriense, Westfaliense, Flynch, Esquistos, Cuarzita, Caliza, Fauna específica, Portugal, Algarve, Bajo Alentejo.

12371. **Observaciones sobre la microfauna de la Hoja de Alcira (Valencia).** BELTRAN, F.; GRANADOS, L.; MARTINEZ, C.; RIOS, L. M.; ZAPATERO, M. A.

*Bol. Geol. Min.* (1981), vol. 92, núm. 4, 259-266, ref. 10, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Jurásico, Cretácico inf., Cenomaniense, Turoniense, Senoniense, Corte geológico, Microfauna, Provincia Valencia.

12411. **Estratigrafía y Paleografía del Jurásico superior y Cretácico inferior del Nordeste de la Provincia de Albacete.** ARIAS, C.

*Sem. stratigr. Ser. monogr.* (1978), núm. 3, 1-299, ref. 93, esp., bibl. IGME.

\* Tesis, Bibliografía específica, Escala estratigráfica, Corte geológico, Correlación, Cretácico inf., Jurásico, Litofacies, Biofacies, Paleogeografía, Ciclo sedimentario, Tectónica del zócalo, Provincia Albacete.

12445. **El Lías de la mitad norte de la rama castellana de la Cordillera Ibérica.** GOY GOY, A.

*Fac. Geología Madrid* (1974), 1-35, ref. 57, esp., bibl. IGME.

\* Tesis, Lías inf., Pliensbaquiense, Toarciense, Aalenense, Corte geológico, Ciclo sedimentario, Fauna específica, Fauna ammonite, Fauna braquiópodo, Macizo Ibérico, Provincia Segovia, Provincia Soria, Provincia Guadalajara, Provincia Cuenca.

## CUATERNARIO

12285. **Núcleo paleolítico de grandes dimensões.** CARDOSO, J. L.; POSO, A.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 407-411, ref. 3, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Arqueología, Util prehistórico, Pleistoceno medio, Acheulense, Portugal.

12286. **Os machados do Paleolítico do Norte de Africa e sua expansão na Europa Occidental.** PENALVA, C.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 413-436, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Arqueología, Util prehistórico, Paleolítico, Expansión, Pleistoceno medio, Acheulense, Desecación, Fauna mamíferos, Africa del Norte, Europa Oeste, Mar Mediterráneo Oeste.

12287. **Um acampamento Languedocense com industria mirensa a Sul de V. N. de Milfontes a Pedro de D. Rodrigo.** ZBYSZEWSKI, G.; DA VEIGA FERREIRA, O.; PENALVA, C.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 437-448, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Arqueología, Util prehistórico, Duna costera, Morfología, Pleistoceno, Riss, Wurm, Fauna, Portugal, Bajo Alentejo.

12289. **As industrias paleolíticas de Samouco e sua posição dentro do conjunto Quaternario do Baixo Tejo.** ZBYSZEWSKI, G.; CARDOSO, J. L.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 547-609, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Arqueología, Util prehistórico, Paleolítico, Prospección, Arcilla, Pleistoceno medio, Acheulense, Arena, Pleistoceno reciente, Mousteriense, Interglaciario Riss-Wurm, Portugal.

12290. **Achados antigos de Paleolítico na região de Mafra.** ZBYSZEWSKI, G.; CARDOSO, J. L.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 611-629, port., res. franc., bibl. IGME.

\* Arqueología, Util prehistórico, Paleolítico, Pleistoceno reciente, Mousteriense, Portugal, Extremadura.

## GEOCRONOLOGIA

12375. **Evolución geomorfológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas.** CRUZ SANJULIAN, J.

*Bol. Geol. Min.* (1981), vol. 92, núm. 4, 297-308, ref. 19, esp., res. franc., bibl. IGME.

\* Travertino, Datación, C 14, Dato, Red hidrográfica, Morfología fluvial, Terraza, Provincia Málaga.

## GEOLOGIA EXTRATERRESTRE

12423. **Qué es la Geoplanetología.**

Ayuntamiento de Barcelona. Museo de Geología. Centenario del Museo de Geología, 1878-1978.

*Museu de Geologia Martorell* (1979), pp. 19-22, cat., bibl. IGME.

\* Enseñanza, Geología extraterrestre, Planetología.

## GEOLOGIA DEL INGENIERO

12377. **Las evaluaciones del impacto ambiental. Criterios y metodología.** ESTEVAN BOLEA, M. T.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 19, 12-26, esp., bibl. IGME.

\* Teoría, Estudio impacto medio, Acción humana, Metodología, Legislación, España, Japón, Francia, Brasil, Israel, País Bajo.

12378. **Los E. I. A. Procedimientos administrativos sobre evaluaciones del impacto ambiental en Estados Unidos, Canadá y República Federal Alemana.** MURUAIS, J.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), 27-42, núm. 19, esp., bibl. IGME.

\* Estudio impacto medio, Planificación, Proyecto, Institución, Política de Estado, Canadá, Estados Unidos, Alemania.

12379. **Política española en materia de medio ambiente.** GRAU FERNANDEZ, S.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 19, 43-53, esp., bibl. IGME.

\* Medidas protección, Política de Estado, Legislación, España.

12380. **Introducción a un sistema de información ambiental.** MEDINA, A.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 19, 57-84, ref. 30, esp., bibl. IGME.

\* Teoría, Medidas protección, Estadística, Metodología.

12381. **Contaminación causada por el tráfico marítimo y sistema para su erradicación.** VILLALBA PUENTE, E. J.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 19, 87-97, esp., bibl. IGME.

\* Medidas de protección, Polución, Agua mar, Puerto, Financiación, España.

12382. **Vertido de residuos radiactivos al mar.** MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. DIRECCION GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE.

*Bol. inf. Medio Ambiente* (1981), núm. 19, 118-119, esp., bibl. IGME.

\* Medidas protección, Polución, Agua mar, Residuo radiactivo, Legislación.

12393. **La Ordenación territorial y las Comunidades Autónomas.** LOPEZ RODO, L.

*Estudios Territoriales* (1981), núm. 3, 17-27, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación regional, Planificación urbana, Utilización terreno, Ordenación suelo, Política de Estado, Legislación, España.

12394. **Conceptualizaciones sobre ordenación del territorio y su aplicación al desarrollo regional de Extremadura.** FRUTOS, L. M.

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 29-43, ref. 40, esp., bibl. IGME.

\* Utilización terreno, Ordenación suelo, Planificación, Planificación regional, Planificación urbana, Extremadura.

12395. **Los sistemas de información territorial. Ideas para su diseño e implantación.** CUENCA, J.

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 45-58, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación regional, Documentación, Investigación datos, Almacenaje datos.

12396. **Plan indicativo de usos turísticos y recreativos del embalse de Izuajas.** PALANCA, M.

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 85-101, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación regional, Presa hormigón, Estudio impacto medio, Provincia Córdoba, Provincia Granada, Provincia Málaga.

12397. **Análisis del origen, evolución y futuro de los P. D. T. C. a través de la experiencia gallega.** BERTOLO, J. J.

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 125-147, ref. 5, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación regional, Planificación urbana, Política de Estado, Legislación, España, Galicia.

12398. **La estética del paisaje urbano y su consideración dentro de los informes de impacto ambiental.** CALDERON, J.

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 153-166, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Planificación urbana, Estudio impacto medio.

12399. **Ley de 16 de diciembre de 1980 de creación del Instituto Catalán del Suelo.**

*Estudios territoriales* (1981), núm. 3, 171-174, esp., bibl. IGME.

\* Planificación, Planificación regional, Planificación urbana, Utilización terreno, Legislación, Cataluña.

12408. **Evaluación de las presiones dinámicas ejercidas por rellenos sobre muros de edificios.** NAVARRO UGENA, C.

*Rev. Obras Públicas* (1981), núm. 3.196, 615-619, ref. 10, esp., res. esp., bibl. IGME.

\* Presión, Presión terreno, Terraplén, Edificio, Método matemático, Elemento finito.

12409. **Posibilidades de reutilización de aguas residuales y riesgos sanitarios derivados.** RAMBLA GIL, A.

*Rev. Obras Públicas* (1981), núm. 3.196, 621-631, esp., res. esp., bibl. IGME.

\* Agua contaminada, Reciclaje, Potabilidad, Metodología, Calidad agua, Bacteria, Radiactividad, España.

12415. **Congreso sobre legislación ambiental: Ponencias.** MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO. DIRECCION GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE.

*6.º Cong. Leg. Amb.* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Legislación, Perímetro protección.

12416. **El medio ambiente en la Constitución española.** FERNANDEZ RODRIGUEZ, T. R.

*6.º Cong. Leg. Amb.* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Política de Estado, Medidas protección, España.

12417. **La legislación del Medio Ambiente en España y en la CEE.** MORELL OCAÑA, L.

*6.º Cong. sobre Legislación Ambiental.* Madrid (1981), esp., bibl. IGME.

\* Estudio crítico, Legislación, Medidas protección, España, CEE.

12418. **Ecologismo político a la luz de la Constitución.** ENEBRAL CASARES, F. X.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), esp., bibl. IGME.

\* Política de Estado, Ecología, Medidas protección, España.

12419. **Ley general y/o leyes sectoriales para la protección del medio ambiente.** PEREZ MORENO, A.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), esp., bibl. IGME.

\* Estudio crítico, Legislación, Medidas de protección, España.

12420. **La Contaminación de la felicidad: Relaciones entre Ética, Economía y Derecho Ambiental.** DALMAU PORTA, J. I.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), esp., bibl. IGME.

\* Filosofía, Ciencia económica, Legislación, Medidas protección.

12421. **Interpretación de la legislación vigente cara al desarrollo de una energía limpia: El gas natural.** SOCIEDAD PARA EL ESTUDIO Y DESARROLLO DE LA INDUSTRIA DEL GAS. SEDIGAS.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), 1-11, esp., bibl. IGME.

\* Medidas protección, Legislación, Polución, Energía, Gas natural, España.

12422. **El medio ambiente y la ordenación del territorio.** BASSOLS COMA, M.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), 1-42, ref. 26, esp., bibl. IGME.

\* Medidas protección, Legislación, Planificación, Planificación regional, Ordenación suelo, Planificación urbana, Política de Estado, España.

12423. **El medio ambiente y la crisis económica: Consecuencias jurídicas.** MARTIN MATEO, R.

6.º Cong. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), 1-24, esp., bibl. IGME.

\* Estudio impacto medio, Acción humana, Industria, Energía, Empobrecimiento recursos.

12424. **La legislación urbanística aplicada a la defensa del medio ambiente.** FARINOS SAID, A.

6.º Congr. sobre Legislación Ambiental. Madrid (1981), esp., bibl. IGME.

\* Medidas protección, Legislación, Planificación urbana, Política de Estado, España.

## PALEONTOLOGIA: GENERALIDADES

12447. **Gran Enciclopedia Aragonesa.** LINAN, E.; MORALES, J.; SEQUEIROS, L.; VILLAS, E.

Unión Aragonesa del Libro. Zaragoza (1981), vol. 5, 1411-1414, ref. 6, esp., bibl. IGME.

\* Microfósil, Fauna molusco, Fauna briozoario, Fauna braquiópodo, Fauna ostrácodo, Fauna anfibio, Fauna peces, Fauna reptiles, Fauna mamíferos, Aragón.

12450. **Métodos y resultados de la investigación paleontológica.** MELENDEZ MELENDEZ, B.; ALVARADO FERNANDEZ, S.

Real Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat. Madrid (1978), 1-51, ref. 24, esp., bibl. IGME.

\* Paleontología, Actualismo, Anatomía, Evolución, Extinción, Dinosaurios, Ichnites, Reptiles.

## PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

12455. **Jurásico Medio en el Perú.** WESTERMANN, G. E. G.; RICCARDI, A. C.; PALACIOS, O.; RANGEL, C.

Boletín serie D. Estudios Especiales (1980), Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Lima, Perú, núm. 9, 1-47, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Jurásico medio, Caliza, Arenisca, Fauna específica, Paleogeografía, Perú.

## PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

12291. **Contribuição para o conhecimento da fauna do Kimeridgiano da mina de lignito Guimarota; Leira, Portugal.** KRUSAT, G.

Mem. Serv. Geol. Port. (1980), núm. 27, 7-79, ing., res. port., bibl. IGME.

\* Docodonto, Kimmeridgiense, Mandíbula, Diente, Ecología, Filogenia, Portugal, Leiria.

12438. **Geología y Paleontología de los alrededores de Teruel.** ADROVER, R.; GUTIERREZ ELORZA, M.; PEÑA MONNE, J. L.

6.º Curso de Geología Práctica. Teruel (1981), 213-238, ref. 21, esp., bibl. IGME.

\* Graben, Neógeno, Cuaternario, Terraza, Glacis, Neotectónica, Mapa geomorfológico, Inventario, Yacimiento fosilífero, Fauna mamífero, Provincia Teruel.

12449. **Oligoceno-Mioceno Inferior por medio de Foraminíferos planctónicos en el sector central de las Cordilleras Béticas (España).** MOLINA MARTINEZ, E.

Facultad de Ciencias. Granada (1979), 1-342, ref. 276, esp., bibl. IGME.

\* Fauna foraminífero, Taxón planctónico, Fauna específica, Oligoceno, Mioceno Inferior, Límite estratigráfico, Estratigrafía, Unidad estratigráfica, Flysch, Margas, Corte geológico, Cronoestratigrafía, Zona Bética, Zona Subbética, Cordilleras Béticas, España.

12467. **Notes d'Ichthyologie Miocene portugaise. VII: Quelques Teleosteens nouveaux ou pen connus.** JONET, S.

Bol. Soc. Geol. Port. (1978), vol. 21, núm. 1, 1-12, ref. 11, franc., bibl. IGME.

\* Teleosteos, Diente, Taxón nuevo, Mioceno, Portugal.

## TECTONICA

12372. **Las fallas de «El Cubito». Geometría, funcionamiento y sus implicaciones cronoestratigráficas en el Terciario de Salamanca.** GRACIA, A. S.; GARCIA MARCOS, J. M.; JIMENEZ FUENTES, E.

Bol. Geol. Min. (1981), vol. 92, núm. 4, 267-273, ref. 15, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fractura, Falla, Geometría, Graben, Paleógeno, Corte geológico, Cuenca Duero, Provincia Salamanca.

12430. **Geología de la fosa del Jiloca y sus alrededores.** OLIVE DAVO, A.; PORTERO GARCIA, J. M.; CAPOTE DEL VILLAR, R.; GUTIERREZ ELORZA, M.

6.º Curso de Geología Práctica, Teruel, 1981.

Colegio Universitario, pp. 79-98, ref. 25, esp., bibl. IGME.

\* Graben, Tectónica superpuesta, Ciclo sedimentario, Neotectónica, Excursión, Jurásico, Mioceno, Plioceno, Mapa geomorfológico, Macizo Ibérico, Provincia Teruel, Provincia Zaragoza, Fosa del Jiloca.

12431. **Neotectónica, fundamentos y aspectos prácticos.** HERNANDEZ ENRILE, J. L.

6.º Curso de Geología Práctica. Teruel, 1981.

Colegio Universitario, pp. 99-106, esp., bibl. IGME.

\* Neotectónica, Investigación científica.

12465. **«Fracture cleavage». Relação, com o dobramento dos marmores portugueses.** LEDEIRA, F. L.

Bol. Soc. Geol. Port. (1978), vol. 21, núm. 1, 19-25, ref. 13, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Esquistosidad, Esquistosidad fractura, Fracturación hidráulica, Mármol, Anticlinorio, Cámbrico, Portugal, Extremoz.

12466. **Nota previa sobre a existencia de deformação, metamorfismo e granitização ante-hercínicos, na parte portuguesa de Ossa-Morena.** CARVALHOSA, A. B.; GONÇALVES, F.

Bol. Soc. Geol. Port. (1978), vol. 21, núm. 1, 13-17, ref. 2, port., bibl. IGME.

\* Deformación, Metamorfismo, Granito, Antecámbrico, Granitoide, Ossa Morena, Portugal.

## HIDROLOGIA

12369. **Criterios básicos para evaluar la calidad de aguas de riego.** CERDA, A.; CARO, M.; FERNANDEZ, F. G.

An. edafol. agrobiol. (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1779-1791, ref. 30, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Irrigación, Calidad agua, pH, Salinidad, Toxicidad, Suelo, Intercambio iónico, Sodio, Ión.

12383. **Problemática de las aguas subterráneas en la Provincia de Castellón de la Plana.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 1-57, ref. 3, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Jurásico, Cretácico, Terciario, Cuaternario, Infiltración, Alimentación natural, Bombeo, Balance agua, Gestión recursos agua, Calidad agua, Interfase, Provincia Castellón.

12384. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 1-222, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Recurso agua, Balance agua, Calidad agua, Polución, Agricultura, Industria, Residuo doméstico, Análisis químico, Provincia Valencia, Provincia Castellón, Provincia Alicante, Provincia Teruel, Provincia Guadalajara, Provincia Cuenca, Cuenca río Júcar.

12385. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistemas acuíferos núm. 50, Zona Sur, y núm. 52, Macizo del Caroch.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 11-24, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Balance agua, Calidad agua, Polución, Acción humana, Industria, Agricultura, Previsión, Provincia Valencia, Provincia Alicante, Macizo del Caroch, Denia, Gandía.

12386. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistema acuífero núm. 51, Plana de Valencia.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 25-38, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Recurso agua, Balance agua, Calidad agua, Polución, Acción humana, Industria, Agricultura, Residuo doméstico, Acción preventiva, Provincia Valencia, Valencia.

12387. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistema acuífero núm. 53, Medio Turia.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 39-54, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Caliza, Dolomía, Conglomerado, Secundario, Terciario, Balance agua, Recurso agua, Calidad agua, Provincia Valencia, Utiel.

12388. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistema acuífero núm. 54, Alto Turia.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 55-65, esp. bibl. IGME.

\* Manto agua, Caliza, Karst, Alimentación natural, Infiltración, Balance agua, Provincia Teruel, Provincia Guadalajara, Provincia Cuenca, Provincia Valencia.

12389. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistema acuífero núm. 55, Planas Vinaroz-Peñíscola y Oropesa-Torreblanca.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

Colecc. Inf. (1981), 67-80, esp., bibl. IGME.

\* Sistema multicapa, Caliza, Jurásico sup., Arcilla, Roca clástica suelta, Mioceno, Balance agua, Recurso agua, Calidad agua, Polución, Acción humana, Interfase, Intrusión agua salada, Acción preventiva, Provincia Castellón.



12390. **Calidad de las aguas subterráneas en las Cuencas media y baja del río Júcar: Sistema acuífero núm. 56, Sierra del Espadón y Plana de Castellón.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

*Colecc. Inf.* (1981), 81-92, esp., bibl. IGME.

\* Manto agua, Arena, Arcilla, Mioceno, Cuaternario, Recurso agua, Balance agua, Calidad agua, Interfase, Intrusión agua salada, Acción preventiva, Provincia Valencia, Provincia Castellón.

12402. **Uldecona. Hoja 546.** INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA.

*Mapa de orientación vertido residuos sólidos urbanos*, Escala 1:50.000 (1981), pp. 1-9, esp., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa, Perímetro de protección, Descarga, Residuo, Manto agua, Estudio impacto medio, Caliza, Dolomía, Provincia Tarragona, Provincia Castellón.

12439. **Karst de Pozondón y Villar del Cobo y Periglaciarismo del Macizo del Tremedal. Sierra de Albarracín.** GUTIERREZ ELORZA, M.; PEÑA MONNE, J. L.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Colegio Universitario, 239-249, ref. 7, esp., bibl. IGME.

\* Lapiez, Dolina, Plioceno sup., Caliza, Jurásico inf., Periglaciario, Cryoturación, Geomorfología, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

## PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

12460. **Panorama dos dolomitas e calcarios dolomíticas portugueses.** MANUELLA, G.; BALACO MOREIRA, J. C.; ROMAO, M. L.

*Bol. Minas* (1980), vol. 17, núm. 4, 311-324, ref. 23, port., res. port., franc., ing., bibl. IGME.

\* Inventario, Dolomía, Caliza dolomítica, Primario, Jurásico, Materia prima, Análisis mayores, Producción, Importación, Consumo, Calidad mineral, Portugal.

12461. **Estudo comparativo de argilas especiais dos jazigos de Pombal e Barracao.** CASAL MOURA, A.; GRADE, J.

*Bol. Minas* (1980), vol. 17, núm. 4, 293-310, ref. 26, port., res. port., franc., bibl. IGME.

\* Arcilla, Plioceno, Análisis mayores, Coeficiente correlación, Difracción RX, Composición mineralógica, Propiedad mecánica, Ensayo laboratorio, Análisis térmico, Portugal, Leiria.

## PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

12435. **Consideraciones petrológicas sobre unas rocas ígneas de facies granudas asociadas a sedimentos del Triás, en Villel, Provincia de Teruel.** SANCHEZ CELA, V.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 195-202, esp., bibl. IGME.

\* Sienita, Monzonita, Roca encajante, Roca contacto, Triás, Quimismo, Provincia Teruel.

12462. **Mineralogical investigation of the monchique nephelines, Algarve, Portugal.** CANILHO, M. H.; SALVADO CANELHAS, M. G.; PEREIRA MANO, J.

*Bol. Soc. Geol. Port.* (1978), vol. 21, núm. 1, 83-102, ref. 11, ing., res. port., bibl. IGME.

\* Sienita, Sienita nefelínica, Nefelina, Dato mineral, Dato RX, Análisis mayores, Cretácico sup., Grupo nefelina, Portugal, Algarve, Macizo de Monchique.

12463. **Evolução geologica da faixa dobrada Cela-Cariango, Angola.** FERREIRA DA SILVA, A. T. S.; KAWASHITA, K.

*Bol. Soc. Geol. Port.* (1978), vol. 21, núm. 1, 61-82, ref. 15, port., res. ing., bibl. IGME.

\* Datación, K-Ar, Rb-Sr, Metabasita, Granulita, Gneis, Migmatita, Cadena geosinclinal, Orogenia antecámbrica, Angola.

## YACIMENTOLOGIA DE METALES

12426. **Papel de la Karstificación en la génesis de los yacimientos de hierro de Sierra Menera, Teruel y Guadalajara.** FERNANDEZ-NIETO, C.; FERNANDEZ RUBIO, R.; GUTIERREZ ELORZA, M.; ARRESE SERRANO, F.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 8-30, ref. 45, esp., bibl. IGME.

\* Goetita, Hierro sustancia, Génesis yacimiento, Karst, Carbonato, Ordovícico, Silúrico, Anticlinal, Macizo Ibérico, Provincia Teruel, Provincia Guadalajara, Sierra Menera.

12427. **Compañía Minera de Sierra Menera, S. A. Desarrollo de los trabajos.** DEBON GOMEZ, A.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 31-33, esp., bibl. IGME.

\* Hierro sustancia, Goetita, Análisis químico, Cuarcita, Explotación, Provincia Teruel, Provincia Guadalajara, Macizo Ibérico, Sierra Menera.

## YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

12373. **Los yacimientos de diatomita en España.** CALVO SORANDO, J. P.

*Bol. Geol. Min.* (1981), vol. 92, núm. 4, 274-284, ref. 46, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Diatomita sustancia, Propiedad física, Utilización sustancia, Control sedimentario yacimiento, Medio agua poco profunda, Mioceno medio, Mioceno sup., Plioceno, Importación, Exportación, Provincia Jaén, Provincia Albacete, Provincia Sevilla, Provincia Almería.

12437. **Caolines de Riodeva (Teruel-Valencia).** GALAN, E. *6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 206-212, ref. 8, esp., bibl. IGME.

\* Caolín sustancia, Arenisca, Caolinización, Calidad mineral, Granulometría, Análisis químico, Neocomiense, Wealdense, Provincia Teruel, Provincia Valencia, Riodeva.

## CARBON

12279. **O grau de incarbonização dos carvoes durlenses e as consecuencias geneticas, geologicas e estruturais que resultam de sou conhecimento. 3.—Amostragen-Colheita, preparação laboraral de a mostrás e estudos efectuados sobre as diferentes fracções.** LEMOS DE SOUSA, M. J. *Com. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 231-240, port., bibl. IGME.

\* Carbón, Muestreo, Preparación, Preparación muestras, Metodología, Portugal.

12280. **Idem. 4.—O grau de incarbonização dos carvoes durlenses.** LEMOS DE SOUSA, M. J.

*Com. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 240-287, port. bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Teoría, Carbón, Grado hullificación, Poder reflector, Ecuación matemática, Método estadístico, Programa ordenador, JOB CARBOES 18, JOB CARBOES 21, Portugal.

12281. **Idem. 5.—Repercussao do grau de incarbonização no estabelecimento da historia genetica, geologica e estrutural.** LEMOS DE SOUSA, M. J.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, 288-306, port., bibl. IGME.

\* Síntesis bibliográfica, Hullificación, Estadística, Influencia, Presión, Temperatura, Metamorfismo dinámico, Orogenia hercínica, Estefaniense, Portugal.

12432. **Ambientes sedimentarios del Carbón.** SANCHEZ DE LA TORRE, L.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 107-142, esp., bibl. IGME.

\* Carbón, Génesis roca sedimentaria, Cuenca hullera, Medio lagunar, Medio deltáico, Sedimentación lagunar, Sedimentación deltáica, Cuenca parállica, Cuenca límnica, Capa carbón.

12433. **Modelos deltaicos en exploración de carbón.** AGUEDA VILLAR, J. A.

*6.º Curso de Geología Práctica*. Teruel, 1981.

Teruel: Colegio Universitario, pp. 143-160, ref. 6, esp., bibl. IGME.

\* Delta, Sedimentación deltáica, Sedimentación fluvial, Medio fluvial, Cuenca hullera, Asturias.

## SUELOS

12352. **Aridisoles formados sobre materiales volcánicos, Islas Canarias. Natrargids. Características físico-químicas y mineralógicas. Interpretación y clasificación.** RODRIGUEZ HERNANDEZ, C. M.; RODRIGUEZ PASCUAL, C.; FERNANDEZ CALDAS, E.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1415-1441, ref. 11, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Aridisol, Perfil suelo, Propiedad mecánica, Propiedad química, Composición mineralógica, Fracción fina, Fracción gruesa, Dato RX, Clasificación, Roca volcánica, Canarias, Tenerife.

12353. **Vertisoles formados sobre materiales volcánicos, Islas Canarias. Typic Pellusterts. I: Características morfológicas, físico-químicas y mineralógicas. Interpretación y clasificación.** FERNANDEZ CALDAS, E.; RODRIGUEZ PASCUAL, C.; RODRIGUEZ HERNANDEZ, C. M.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1443-1459, ref. 10, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Vertisol, Perfil suelo, Roca volcánica, Propiedad mecánica, Composición mineralógica, Fracción fina, Fracción gruesa, Dato RX, Clasificación, Suelo, Canarias, Tenerife.

12354. **Estudio edafológico de la Sierra del Pinar, Grazalema, Cádiz. V: Suelos calci-magnésicos: Datos micromorfológicos.** CORRAL, L.; BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1461-1468, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Composición cálcica, Composición dolomítica, Textura, Provincia Cádiz.

12355. **Estudio edafológico de la Sierra del Pinar, Grazalema, Cádiz. VI: Suelos empardecidos: Datos del medio, descripción de perfiles y datos analíticos.** CORRAL, L.; BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1469-1478, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo pardo, Perfil suelo, Propiedad química, Estructura suelo, Caliza, Jurásico inf., Suelo, Provincia Cádiz.

12356. **Estudio edafológico de la Sierra del Pinar, Grazalema, Cádiz. VII: Suelos empardecidos: Datos micromorfológicos.** CORRAL, L.; BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1479-1484, ref. 7, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo pardo, Estructura suelo, Textura, Suelo, Provincia Cádiz.

12357. **Características electroquímicas de suelos ferralíticos.** FERNANDEZ CALDAS, E.; GONZALEZ BATISTA, A.; HERNANDEZ MORENO, J. M.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1485-1496, ref. 15, esp., bibl. IGME.

\* Suelo, Granulometría, Materia orgánica, pH, Capacidad carga catión, Composición mineralógica, Fracción fina, Propiedad electroquímica, Canarias, Tenerife.

12358. **Características electroquímicas de suelos con predominio de montmorillonita.** GONZALEZ BATISTA, A.; HERNANDEZ MORENO, J. M.; FERNANDEZ CALDAS, E.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1497-1507, ref. 13, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Vertisol, Suelo pardo, Montmorillonita, Propiedad electroquímica, Materia orgánica, pH, Capacidad carga catión, Composición mineralógica, Fracción fina, Canarias.

12359. **Estudio de la evolución de un suelo formado sobre materiales coluviales procedentes de margas.** DE OLMEDO PUJOL, J. L.; ONNA, A. F.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1509-1522, ref. 21, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Coluvión, Marga, Suelo calcáreo, Suelo pardo, Perfil suelo, Composición mineralógica, Estructura suelo, Textura, Provincia Huelva.

12360. **Microflora y materia orgánica reconocible en suelos de pradería seca. II: Estudio microbiológico y ultraestructural.** KILBERTUS, G.; REISINGER, O.; CARBALLAS, M.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1523-1531, ref. 20, esp., res. ing., franc., bibl. IGME.

\* Suelo, Materia orgánica, Bacterias, Estructura suelo, Dato MET, Dato MEB, Francia, Lorraine, Suelo pradera seca.

12362. **Alteración de minerales en suelos con distinto grado de desarrollo. Suelos A-B-C. II: Mineralogía de la fracción arena.** HOYOS DE CASTRO, A.; FERNANDEZ BERMEJO, C.; GONZALEZ PARRA, J.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1565-1575, ref. 5, esp., bibl. IGME.

\* Suelo, Podzol, Alteración, Composición mineralógica, Minerales pesados, Minerales ligeros, Sierra Urbasa, Provincia Alava, Navarra.

12363. **Análisis digital de una imagen Landsat en el Sistema ERMAN II.** LABRANDERO, J. L.; GUERRA, A.; PALOU, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1577-1586, ref. 3, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Análisis imagen, Teledetección multispectral, ERTS-LANDSAT, Algoritmo, Suelo, Clasificación.

12365. **Solubilización de calcio y magnesio en suelos calizos en disoluciones de trietanolamina utilizados para determinar la capacidad de cambio.** ROIG, A.; ROMERO, M.; BOLARIN, M. C.; SANTA CRUZ, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1621-1629, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo calcáreo, Pedología, Solubilidad, Calcio, Magnesio, Ión, pH, Capacidad cambio ión, Análisis químico.

12366. **Sustitución de Trietanolamina por Trishidroximetil amino metano en la determinación de capacidad de cambio de cationes de cambio.** ROIG, A.; ROMERO, M.; SANTA CRUZ, F.; BOLARIN, M. C.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1631-1639, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo calcáreo, Pedología, Solubilidad, Calcio, Magnesio, Ión, pH, Capacidad cambio catión, Análisis químico.

12367. **Adsorción de fosfato por carbonato cálcico.** SANTA CRUZ, F.; BOLARIN, M. C.; ROIG, A.; CARO, M.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1641-1649, ref. 13, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo calcáreo, Adsorción, Fosfato, Ión, Concentración, Termodinámica, Análisis químico.

12368. **Solubilización de carbonatos en Trietanolamina utilizada como reactivo de intercambio iónico en suelos calizos.** ROIG, A.; ROMERO, M.; BOLARIN, M. C.; SANTA CRUZ, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, 1651-1663, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Suelo, Suelo calcáreo, Pedología, Solubilidad, Carbonato, Calcio, Magnesio, Ión, Cambio iónico, Regresión estadística, Análisis químico.

## GEOQUIMICA

12283. **Application of factor analysis to the geochemical prospecting data in the Arouca-Castro Daire region, northern Portugal.** SANTOS OLIVEIRA, J. M.

*Comun. Serv. Geol. Port.* (1978), vol. 63, pp. 367-384, ing., bibl. IGME.

\* Prospección geoquímica regional, Muestreo, Distribución espacial, Análisis componente principal, Estadística, Análisis factorial, Portugal.

12361. **Origen y distribución de la Gipsita en Galicia.** MACIAS VAZQUEZ, F.; GARCIA-RODEJA GAYOSO, E.; GUITIAN RIVERA, F.; PUGA PEREIRA, M.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, pp. 1433-1563, ref. 47, esp., res. ing.-franc., bibl. IGME.

\* Gipsita, Alteración, Roca, Suelo, Análisis químico, Localización, Galicia.

12364. **Estudio comparativo de dos métodos de obtención de la solución del suelo: Aplicación al estudio de la solución de suelos podsólicos de Galicia.** FERNANDEZ MARCOS, M. L.; MACIAS, F.; GAITIAN OJEA, F.

*An. edafol. agrobiol.* (1980), vol. 39, núm. 9-10, pp. 1587-1607, ref. 35, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Metodología, Suelo, Podsol, Solución acuosa, Análisis minerales, Síntesis bibliográfica, Galicia.

12374. **Geochemical study of stream sediments in the argentiferous area of Híndelaencina, Spain.**

*Bol. Geol. Min.* (1981), vol. 92, núm. 4, 285-296, ref. 27, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Gneis, Vulcano-sedimentario, Antecámbrico, Plata sustancia, Filón, Red drenaje, Prospección geoquímica, Análisis multivariable, Análisis factorial, Anomalía, Provincia Guadalajara.

12376. **Ijolitas-Sienitas-Carbonatitas de los macizos del norte del complejo plutónico basal de Fuerteventura (Islas Canarias).** BARRERA, J. L.; FERNANDEZ SANTIN, S.; FUSTER, J. M.; IBARROLA, E.

*Bol. Geol. Min.* (1981), vol. 92, núm. 4, 309-321, ref. 21, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca ígnea, Ijolita, Sienita, Carbonatita, Quimismo, Análisis químico, Cálculo petrográfico, Análisis modal, Canarias, Fuerteventura.

## FISICA DEL GLOBO

12370. **Observaciones Meteorológicas, Magnéticas y Sísmicas.**

INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA MARINA. SAN FERNANDO.

*An. Inst. Obs. Mar.* (1977), 1-201, esp., bibl. IGME.

\* Observatorio, Dato, Meteorología, Sismicidad, Declinación magnética, Instrumentación, Provincia de Cádiz, San Fernando.

12441. **Curso de Prospección Gravimétrica. Primera parte: Fundamentos de la teoría del campo gravitatorio de la Tierra.** MIRONOV, V. S.

Barcelona: Editorial Reverte, S. A. (1977), 1-84, esp., bibl. IGME.

\* Tratado, Teoría, Potencial terrestre, Geode, Ecuación matemática, Corrección, Campo gravitatorio.

12442. **Curso de Prospección Gravimétrica. Segunda parte: Métodos de medición de la fuerza de la gravedad.** MIRONOV, V. S.

Barcelona: Editorial Reverte, S. A. (1977), 85-266, esp., bibl. IGME.

\* Tratado, Enseñanza, Método gravimétrico, Gravimetría hilo de cuarzo, Gravimetría resorte, Gravimetría péndulo, Gravimetría cuerda vibrante, Gravimetría marina.

12443. **Curso de Prospección Gravimétrica. Tercera parte: Método de medición de las segundas derivadas del potencial de gravitación.** MIRONOV, V. S.

Barcelona: Editorial Reverte, S. A. (1977), 267-321, esp., bibl. IGME.

\* Tratado, Enseñanza, Método gravimétrico, Variómetro gravimétrico, Balanza de torsión.

12444. **Curso de Prospección Gravimétrica. Cuarta parte: Interpretación geológica de las anomalías de la gravedad y aplicación de la prospección gravimétrica.** MIRONOV, V. S.

Barcelona: Editorial Reverte, S. A. (1977), 323-524, esp., bibl. IGME.

\* Teoría, Anomalía gravimétrica, Corteza terrestre, Interpretación, Método matemático, Prospección, Morfología yacimiento, Prospección gravimétrica, Cartografía.

## ENERGIA

12391. **Coyuntura energética. Julio 1981.**

Centro de Estudios de la Energía.

*Coyunt. energ.* (1981), esp., bibl. IGME.

\* Mercado, Petróleo, Carbón, Gas natural, Energía nuclear, Electricidad, España.

12392. **Datos comparativos de la minería del carbón: Junio y julio 1981.**

Federación Nacional de Empresarios del Carbón.

*Datos comp. min. carbón* (1981), núm. 6-7, pp. 1-9, esp., bibl. IGME.

\* Carbón, Antracita, Lignito, Producción, Productividad, Consumo, España, Asturias, Provincia León, Provincia Palencia, Provincia Teruel.

12404. **Balance de actuaciones del PEN a julio de 1981 (y 2).**

*Minerpress* (1981), núm. 72, 10 pp., esp., bibl. IGME.

\* Energía, Política de Estado, Producción, Importación, Exportación, España.

12405. **Eficiencia de los sistemas eólicos.**

Centro de Estudios de la Energía.

*Nuevas energías* (1981), núm. 4, 5-7, esp., bibl. IGME.

\* Energía eólica, Instrumentación.

12406. **La biomasa como fuente de energía.**

Centro de Estudios de la Energía.

*Nuevas energías* (1981), núm. 4, 10-11, esp., bibl. IGME.

\* Biomasa, Producción, Energía, Residuo agrícola, Residuo industrial, Residuo doméstico, Agua contaminada, España.

12454. **Balanco Energetico Nacional 1980.**

Ministerio das Minas e Energia. Brasilia. Brasil.

*Balanco Energetico Nacional* (1980), 3-101, port., bibl. IGME.

\* Energía, Política de Estado, Consumo, Producción, Importación, Brasil.

## MAPAS

12401. **Muga de Sayago.** LAZUEN ALCON, F. J.; ROLDAN TORRES, R.; GABALDON, V.

*Mapa Geol. Esp.* 1:50.000 (1981), 1-19, ref. 38, esp., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa geológico, Gneis, Micaesquisto, Granito, Granodiorita, Diorita cuarcítica, Tectónica superpuesta, Orogenia hercínica, Provincia Zamora, Hercínico centro.

12407. **Signos y abreviaturas usados en las cartas náuticas españolas.**

Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz. España.

*Publ. especial del Inst. Hidros. de la Marina* (1981), número 14, esp., bibl. IGME.

\* Leyenda carta, Normalización, Dato, Topografía, Puer, Batimetría, Línea costa.

12412. **Catálogo de cartas náuticas y otras publicaciones (1981).**

Instituto Hidrográfico de la Marina. Cádiz. España.

Esp., bibl. IGME.

\* Catálogo, Carta batimétrica, Institución, Conjunto cartas, Mundo.

12456. **Geología de los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba.** REYES RIVERA, L.

*Bol. Perú, Com. Carta Geol. Nac.* (1980), núm. 3, 1-67, ref. 14, esp., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa geológico, Pérmico, Trías superior, Jurásico, Cretácico inf., Cretácico sup., Terciario, Cuaternario, Orogenia andina, Perú.



12468. **Mapa dos recursos minerais do estado de Bahía, escala 1:1.500.000. Texto explicativo.** LUIZ TUDE DE SA, E.; FERRAZ PINHERO, D. J.; BAPTISTA DUARTE, F.; ALVES DE ALMEIDA SAMPALO, H.; VERNER INDA, H. A.

*Bahía: Secretaria de Minas e Energia. Brasil (1980), pp. 1-70, ref. 48, port., bibl. IGME.*

\* Memoria explicativa, Mapa sustancia útil, Recurso natural, Metal sustancia, Sustancia no metálica, Gas natural, Petróleo, Agua mineral, Producción, Reserva, Exportación, Importación, Bahía.

12453. **Destaques 1980.**

Ministerio das Minas e Energia. Brasilia. Brasil.

*Destaques (1980), 1-40, port., bibl. IGME.*

\* Informe actividad, Institución, Brasil.

12458. **Aguas minerais e de mesa: Manifestos de nascentes de aguas minerais, registrado, movimento de processos, sociedades y produções.**

Direcção Geral de Geologia e Minas. Lisboa. Portugal.

*Bol. Minas (1980), vol. 17, núm. 4, 345-348, port., bibl. IGME.*

\* Inventario, Título minero, Agua mineral, Producción, Portugal.

12459. **Minas: Manifestos mineiros registados, movimentos de processos, areas cativas, sociedades, produções, exportações, importações y cotações.**

Direcção Geral de Geologia e Minas. Lisboa. Portugal.

*Bol. Minas (1980), vol. 17, núm. 4, 325-344, port., bibl. IGME.*

\* Inventario, Título minero, Mina, Legislación, Metal sustancia, Sustancia no metálica, Producción, Importación, Exportación, Portugal.

## ECONOMIA: GENERALIDADES

12292. **Estudios sobre derecho, política y administración mineros. Parte I: Derecho minero comparado e internacional.** J. CANO, G.

*Fondo Editorial de Derecho y Economía. Buenos Aires. Argentina (1979), pp. 27-58, esp., bibl. IGME.*

\* Legislación minera, Hidrocarburo, Política Estado, Investigación, América Central, América del Sur.

12293. **Estudios sobre derecho, política y administración mineros. Parte II: Derecho minero argentino. Parte III: Administración minera. Parte IV: Política minera argentina.** J. CANO, G.

*Fondo Editorial de Derecho y Economía. Buenos Aires. Argentina (1979), pp. 59-466, esp., bibl. IGME.*

\* Tratado, Legislación minera, Hidrocarburo, Política Estado, Investigación, Histórico, Argentina.

12400. **Europa: Situación ante el suministro de materias primas minerales.** MENENDEZ PEREZ, E.

*Ind. Min. (1981), núm. 211, 21-34, ref. 6, esp., bibl. IGME.*

\* Mercado, Energía, Metal sustancia, Sustancia no metálica, Política aprovisionamiento, Producción, Europa oeste, Mundo.

12452. **Recursos marinos: Su existencia y explotación.** Caja Nacional de Ahorro y Seguro. Departamento Prensa y Publicidad. Buenos Aires. Argentina.

*Serie Colaboraciones para el maestro (1980), núm. 12, 5-46, ref. 16, bibl. IGME.*

\* Enseñanza, Mar, Plataforma continental, Recurso natural, Biomasa, Petróleo, Argentina.

## ECONOMIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

12436. **Caolines de Riodeva (Teruel-Valencia).** I. GALAN, E.

*6.º Curso de Geología Práctica. Teruel (1981).*

Colegio Universitario. Teruel, pp. 203-206, ref. 8, esp., bibl. IGME.

\* Caolín sustancia, Producción, Valor producción, Reserva, España.

12457. **Pedreiras: Movimento de processos, sociedades y exportações.**

Direcção Geral de Geologia e Minas. Lisboa. Portugal.

*Bol. Minas (1980), vol. 17, núm. 4, 349-355, port., bibl. IGME.*

\* Inventario, Título minero, Sociedad, Pizarra sustancia, Marga sustancia, Granito sustancia, 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



# BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

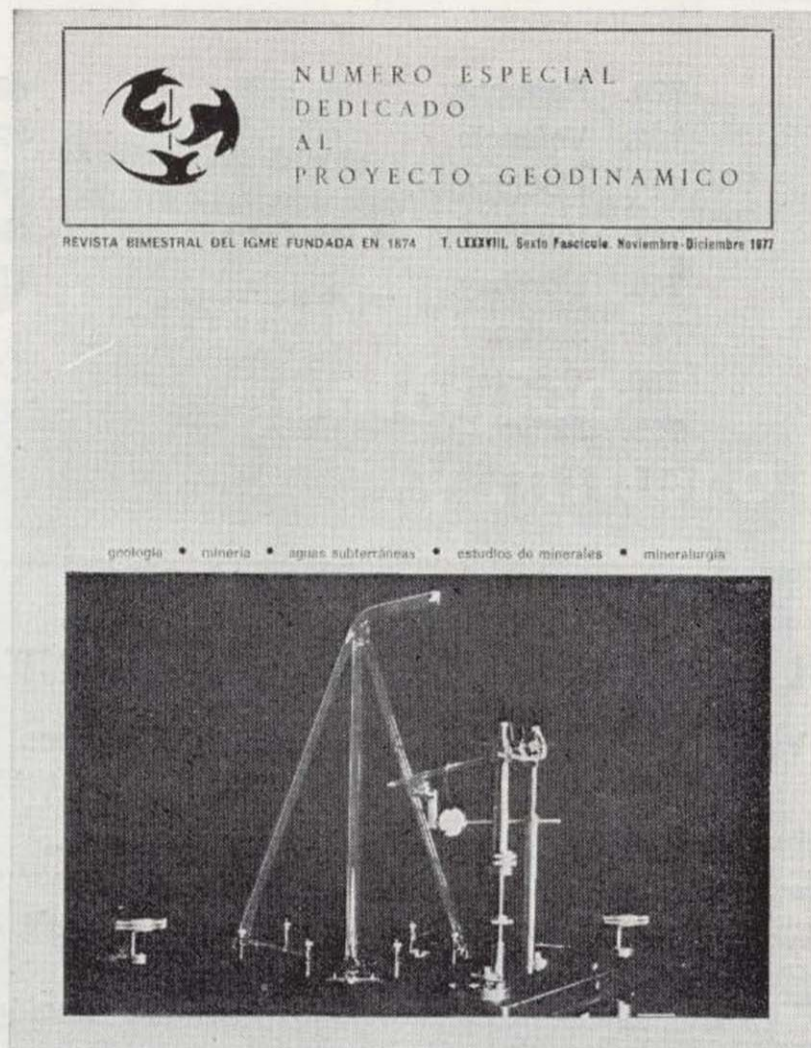
Precio: 300 ptas.

La consideramos como la publicación de mayor difusión del Instituto Geológico y Minero de España. Se inició en el año 1874, continuando su publicación. Actualmente se presenta en fascículos de aparición bimestral, que componen al año un tomo.

Es la primera revista española de su especialidad, tratándose en ella temas de Geología, Minería, Aguas Subterráneas, Energía, Geofísica, Geoquímica, Geotecnia, Geonucleónica y Estudio de Minerales y Rocas. Contiene además una parte fija dedica-

da a Información General, Noticias, Notas Bibliográficas, Información legislativa, etc.

El último tomo publicado es el 90, que corresponde al año 1979 (fascículos I al VI) y comprende trabajos de Geología, Minería, Aguas Subterráneas y de Estudios de Minerales y Rocas, que hacen un total de 636 páginas, incluidas las dedicadas a diversos temas de información, así como los índices por materias y autores de dicho tomo. También están publicados los fascículos I y II correspondientes al año 1980.



## Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología económica industrias extractivas y de su beneficio

## BOLETIN DE SUSCRIPCION

Suscripción anual (6 números)

|                       |             |
|-----------------------|-------------|
| ESPAÑA e IBEROAMERICA | 1.400 ptas. |
| DEMÁS PAISES          | 1.500 ptas. |

Nombre, Organismo o Empresa .....

Profesión .....

Dirección ..... Teléfono .....

Ciudad (provincia) ..... D. P. ....

País .....

Fecha ..... FIRMA

### FORMA DE PAGO

Contra reembolso.

Talón nominativo.



*La inversión  
requiere un buen proyecto*



**intecsa**

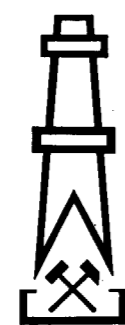
INTERNACIONAL DE INGENIERIA  
Y ESTUDIOS TECNICOS S. A.

FEB. 1983



# EN PROSPECCION DE RECURSOS NATURALES

- \* GEOLOGIA
- \* AGUAS SUBTERRANEAS
- \* EXPLORACION MINERA
- \* EXPLORACION PETROLERA
- \* SONDEOS
- \* ROCAS INDUSTRIALES
- \* GEOTERMIA
- \* GEOTECNIA
- \* GEOFISICA
- \* LABORATORIOS



**Compañía  
General de  
Sondeos, S.A.**

OFICINAS CENTRALES: Corazón de María, 15 - Tel. 416 85 50\* - MADRID-2  
Portal de Castilla, 46 - Tel. 22 36 04\* - VITORIA

LABORATORIOS: San Roque, 3 - Majadahonda (MADRID)