

En este número:

- La litoestratigrafía y estructura del Complejo Volcánico-Sedimentario de la Faja Piritosa-Sur-Ibérica (zona de San Telmo-Valdelamusa. Huelva).
- Nota preliminar sobre el hallazgo del género (Chondrites) en el Lías de la Sierra del Levante (Mallorca).
- Los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid.
- El yacimiento Pirítico-Polimetálico, Mina Troya.
- Índice de liberación de la esfalerita en un proceso de flotación diferencial de sulfuros.
- Cálculo de la constante de Euler y sus aplicaciones en Hidrogeología y Geología del Petróleo.
- Geometría interna del plutón granítico de Madrudejos (Toledo), basado en determinaciones gravimétricas.
- Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías.
- Contribución al conocimiento petrológico y geoquímico de silcretas formadas por silicificación (Mioceno, Cuenca del Tajo).

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCVIII, Segundo Fascículo, Marzo - Abril 1987

boletín geológico y minero

3 AÑO. 1987



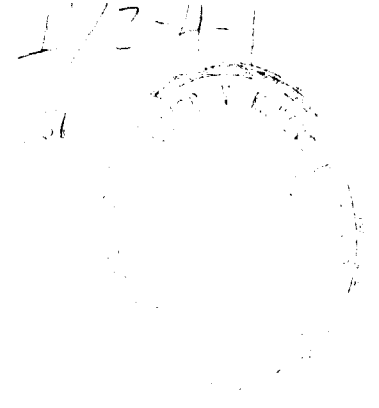
geología • minería • aguas subterráneas • geotecnia • estudios de minerales • mineralurgia



Tomo 98
Fascículo II
Marzo - Abril 1987

1/2-4-1
36

Boletín Geológico y Minero



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

SUMARIO

Geología	J. L. HERNÁNDEZ ENRILE: La litoestratigrafía y estructura del Complejo Volcánico-Sedimentario de la Faja Piritosa-Sur-Ibérica (zona de San Telmo-Valdelamusa. Huelva)	3
	G. COLOM: Nota preliminar sobre el hallazgo del género (Chondrites) en el Lías de la Sierra del Levante (Mallorca)	13
	N. LÓPEZ-MARTÍNEZ, C. SESE BENITO y E. HERRÁEZ: Los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid	17
Minería	A. MANERA BASSA: El yacimiento Pirítico-Polimetálico, Mina Troya	35
	F. A. LÓPEZ GÓMEZ, G. CARUANA y F. GARCÍA CARCEDO: Indices de liberación de la esfarelita en un proceso de flotación diferencial de sulfuros	48
Aguas subterráneas	I. QUINTERO AMADOR: Cálculo de la constante de Euler y sus aplicaciones en Hidrogeología y Geología del Petróleo	60
Geofísica	J. F. BERGAMÍN y J. M. GONZÁLEZ CASADO: Geometría interna del plutón granítico de Madrdejos (Toledo), basado en determinaciones gravimétricas	75
Geotecnia	F. JAVIER ALONSO, R. M.ª ESBERT y J. ORDAZ: Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías	84
Estudio de minerales y rocas	M.ª A. BUSTILLO y M. BUSTILLO: Contribución al conocimiento petrológico y geoquímico de silcretas formadas por silicificación (Mioceno, Cuenca del Tajo)	96
Información	J. M. LÓPEZ DE AZCONA: Mineros destacados del siglo XIX. Policarpo Cía y Francés (1817-1867)	114
	MARÍA SOLEDAD RELANZÓN: La minería española en la Edad Moderna. Una aproximación a su estudio. Fasc. II	118
	Noticias y Notas bibliográficas	141

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Ríos Rosas, n.º 23 - 28003-Madrid
Teléfono 441 70 67

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Doctor Fleming, 7, 2.º - 28036-Madrid
Teléfono 250 02 03

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

**CENTRO 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

Textura en bird-eyes en la pirrotina de la corona de metamorfismo del plutón de Trujillo (Cáceres).

Foto del Dr. J. Guijarro (Universidad Autónoma de Madrid)

Depósito legal: M. 3.279 - 1958
ISSN 0366 - 0176
NIPO 232 - 87 - 001

Imprenta IDEAL, S. A. - Chile, 27 - Teléf. 259 57 55 - 28016-MADRID

La litoestratigrafía y estructura del Complejo Volcánico-Sedimentario de la Faja Piritosa-Sur-Ibérica (zona de San Telmo-Valdelamusa. Huelva)

Por J. L. HERNANDEZ ENRILE (*)

RESUMEN

Se pone de manifiesto una formación de tránsito Devónico Superior (Fameniense)-Viseense Inferior constituida por pizarras y volcanitas ácidas. Dentro del Complejo Volcánico-Sedimentario se distinguen las volcanitas ácidas-1 a las que se asocia las mineralizaciones de sulfuros, una Serie Intermedia y un volcanismo ácido-2. Asimismo se describen las estructuras resultantes de la tectónica tangencial posterior a las fases de plegamiento.

ABSTRACT

We study here a formation transitional between the upper Devonian (Famennian) and the lower Visean, constituted by shales and acid volcanites. Within the Volcano-Sedimentary Complex, we distinguish acid volcanites-1 associated to the sulphide mineralizations, an intermediate series, and acid volcanites-2. We also describe the structures related to a tangential tectonic phase, which comes after the folding episodes.

INTRODUCCION

Es bien conocido que los yacimientos de sulfuros asociados a secuencias volcánico-sedimentarias, aportan un alto porcentaje de producción de cobre resultado de las investigaciones que se han venido realizando en los últimos quince años.

La mayoría de estos yacimientos presentan en términos generales características muy comunes. Se tratan de masas de sulfuros polimetálicos vinculados genéticamente con un volcanismo de tendencia calco-alcalina, y asociados a «stockwork» o vías de acceso hidrotermal susceptibles de distribución distal variable. En este sentido, los yacimientos de sulfuros polimetálicos del segmento piritoso sur-ibérico se manifiestan por lo general como cuerpos lentiformes encajados en rocas volcánico-sedimentarias correspondientes a una misma isocrona entre el Viseense Inferior y Medio. De aquí, se deduce la importancia para la exploración, obtener criterios que permitan fijar horizontes guía, y relacionarlos en el espacio y en el tiempo con las facies volcánico-sedimentarias

vinculadas con las mineralizaciones. Sin embargo, la compleja estructura resultado de la tectónica polifásica hercínica y de la heterogénea distribución con cambios de facies de las series volcánico-sedimentarias, dificultan en gran medida la localización de nuevos yacimientos.

El objeto de este trabajo es poner de manifiesto precisamente la secuencia estratigráfica y estructura a fin de que sirva de marco geológico-estructural de las mineralizaciones localizadas en la Zona de San Telmo y Valdelamusa. Para lo cual, se estudia la polaridad de la secuencia volcánica y la tectónica de los yacimientos conocidos para su posterior correlación. Asimismo, se presta atención a la distribución y cambios de facies del Complejo Volcánico-Sedimentario como contribución al entendimiento de la paleogeografía y procesos volcánicos de esta provincia metalogénica.

PRINCIPALES UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS

En el área de estudio situada en el borde sep-

(*) Departamento de Geodinámica de la Universidad Complutense.

tentrional de la Faja Piritosa, se reconocen las tres grandes unidades o formaciones que caracterizan la sedimentación durante el paleozoico superior en la zona sur-ibérica.

Una primera unidad constituida por paquetes pelíticos con intercalaciones de cuarcitas de edad Devónico Superior. Se extiende con dirección general E-O y N 120°, a lo largo de toda la franja septentrional de la zona citada.

La segunda unidad corresponde al Complejo Volcánico-Sedimentario representado en una amplia extensión de afloramiento en donde se han diferenciado tres grupos litoestratigráficos ya reconocidos por ROUTHIER et al., 1980, y H. ENRILE, 1981, 1983. Por último, la tercera unidad constituida por metasedimentos de pizarras, cuarzovacas y grauvacas que atribuimos por comparación a la facies Culm (Viseense Superior).

Litoestratigrafía

Devónico Superior: En toda la franja sur-ibérica que bordea el Geoanticlinal de Beja-Aracena, la formación más antigua que se conoce con exclusión del Grupo de Pulo de Lobo es la de pizarras con intercalaciones lentiformes de cuarcitas. En el techo de esta unidad yacen niveles de calizas con fauna de crinoides y conodontos cuyas dataciones últimas (HOFSTETTER, J. P., 1980) han confirmado la edad Fameniense, dada anteriormente por otros autores (MESEGUER PARDO, 1945; DOETCH, 1953; HOLLINGUER, 1959). Esta potente y monótona sucesión de rocas pelíticas y cuarcitas fue designada en la litoestratigrafía de la región como Grupo filito-cuarcítico, abreviadamente P. Q. (SCHERMERHORN, 1971). En la zona de estudio aparece representada a lo largo de la banda norte, formando parte del flanco meridional de una antifforma de dirección E-O. Las facies que presenta equivalentes a las citadas y los criterios estructurales aplicados en diferentes afloramientos de la zona, revelan su posición bajo el Complejo Volcánico-Sedimentario.

Formación Transicional: Con esta denominación definimos una secuencia metasedimentaria con participación volcánica en transición hacia el Complejo Volcánico-Sedimentario. Está constituida por una potente serie de pizarras con niveles de cuarcitas definiendo unas facies similares a las del tipo P. Q. Sin embargo, adicionalmente con-

tienen intercalaciones de bancos de grauvacas, cuarzovacas, tufitas y riolitas. En esta formación aparecen también episodios de volcanitas ácidas subyacentes y premonitoras de la mineralización asociada al Volcanismo Acido 1.

Esta unidad ha sido observada prácticamente en todos los yacimientos de la región, si bien donde mejor aparece representada es a lo largo de la antifforma Confesionarios-La Sorpresa-Norte Cueva de la Mora. A diferencia de las facies del Devónico Superior (P. Q.) contiene paquetes de pizarras sericíticas y cuarzovacas, además de las volcanitas antes citadas.

Complejo Volcánico-Sedimentario: La litoestratigrafía de la formación volcánico-sedimentaria presenta en grandes rasgos facies comunes en todos los yacimientos estudiados. No obstante, en la Zona de San Telmo aparece una secuencia que por su singularidad la expondremos aparte.

Vulcanismo Acido-1: Está representada por bancos de riolitas, tobas y brechas con texturas generalmente afaníticas. La observación de procesos de albitización conduce a la denominación de cuarzo-queratofidos. Los niveles superiores de este volcanismo aparecen afectados por silificaciones y cloritización derivadas del hidrotermalismo origen de la mineralización. Las masas de sulfuros polimetálicos se superponen a este horizonte volcánico asociadas a capas centimétricas de cloritas junto con tufitas, cineritas y riolitas silificadas.

Serie Intermedia: El volcanismo inmediato suprayacente a la formación ácida-1 varía de facies y potencia de Norte a Sur. En efecto, a lo largo de la franja volcánica de El Carpio y Lomero, la Serie Intermedia comienza por rocas volcanoclásticas de tobas y tufitas junto a episodios lávicos de composición andesita-espilita. La presencia de cloritas en la base, e intercalaciones y diseminaciones de pirita, ponen de manifiesto la continuidad de procesos hidrotermales durante el inicio de la deposición de la Serie Intermedia. Estas rocas básicas disminuyen de potencia para dejar de aparecer al sur de la antifforma Confesionarios-Cueva de La Mora. La Serie Intermedia continúa hacia el techo con una potente formación de dacitas (queratofidos y cuarzo-queratofidos) con textura generalmente porfirítica. Al sur de la zona, estas rocas de composición intermedia yacen junto con diabasas (Serie dolerítica) superponiéndose a

la formación transicional pelítica con intercalaciones de vulcanitas ácidas (Acido-1).

El techo de la Serie Intermedia se caracteriza por una formación volcánico-sedimentaria que, por su constancia regional y singularidad de sus facies, puede ser utilizada como horizonte guía. Se trata de una serie en pizarras y cineritas abigarradas con tonos violáceos y con tramos de riolitas afaníticas e intercalaciones de cherts y jaspes rojos con mineralizaciones de manganeso. También contiene esporádicos sills de diabasas.

Volcanismo Acido-2. Está constituido en la base por una sucesión de brechas, pizarras y tobas (cuarzo-queratofidos con texturas granoblásticas de cristales de feldespato. Hacia el techo de esta serie ácida predominan lavas con textura afanítica e intercalaciones lentiformes de jaspes rojos, brechas y ocasionalmente sills de diabasas.

Culm (Subculm): Por encima del complejo volcánico riolítico-riodacítico que define esta secuencia superior de volcanitas ácidas, yace un paquete de pizarras sericíticas a las que se superponen pizarras grauváquicas. En los tramos superiores

se caracteriza por la alternancia a veces con ritmo flyschoides de pizarras y grauvacas. Esta última facies es comparable con la formación Culm reconocida el SE de Cueva de la Mora. Sin embargo, la serie pelítica y pizarras grauváquicas que yacen inmediatamente por encima del volcanismo ácido-2, hace suponer que se trata de una formación de transición Viseense Medio a Viseense Superior.

Por lo que se refiere a la secuencia volcánico-sedimentaria de la Zona de San Telmo, se distinguen de muro a techo las siguientes formaciones:

Formación Transicional. Por encima del «Grupo» de cuarcitas y pizarras (P. Q.) aparecen en tránsito gradual pizarras negras con tramos muy silíceos e intercalaciones de capas centimétricas de cuarzovacas. En los niveles superiores se interstratifican tobas-cuarzo-queratofidos y tufitas con mineralizaciones de pirita diseminada.

Volcanismo ácido-1. Se inicia con potentes bancos de riolitas y riolitas (cuarzo-queratofidos) de textura afanítica y granoblástica y con alto contenido en albita y sílice. A techo de estas volcanitas aparecen masas lentiformes de sulfuros y precedidas de capas centimétricas de clorita y tobas

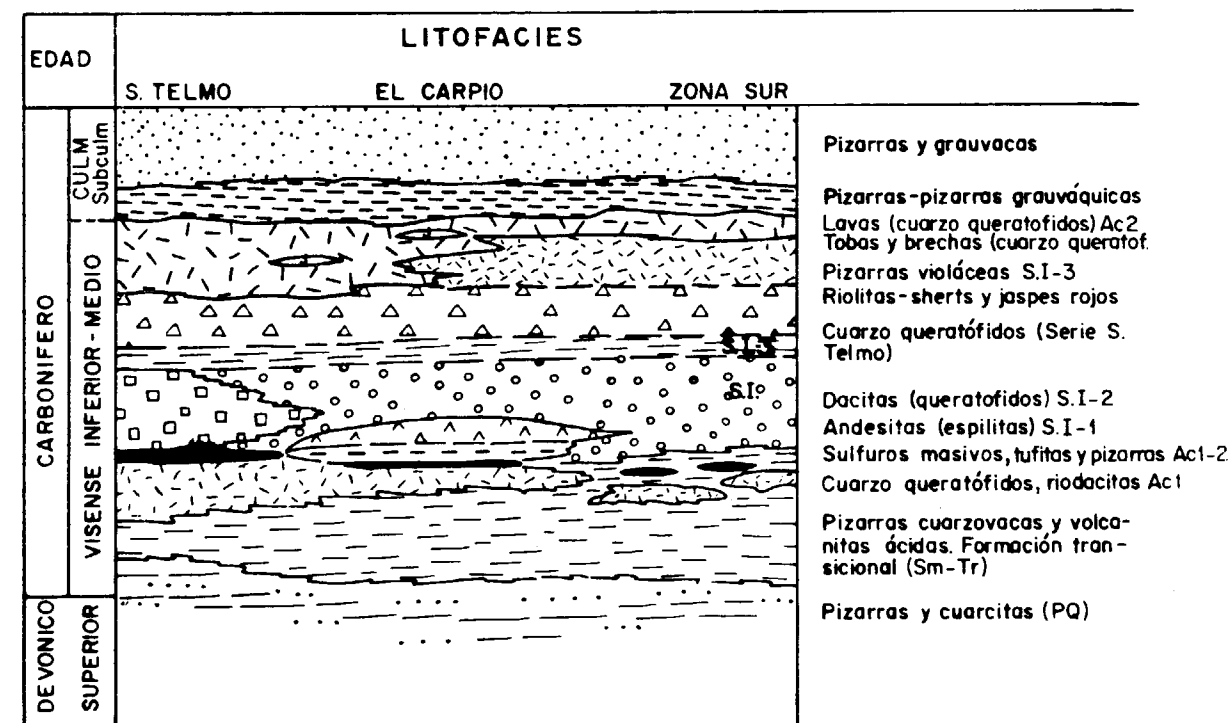


Figura 1.—Síntesis litoestratigráfica del Complejo Volcánico Sedimentario de la Zona de San Telmo-Valdelamusa.

silificadas. Estas facies se observan igualmente por encima de las capas de sulfuros masivos.

No obstante, la dispersión en la vertical de cloritización y silificación es notoriamente más reducida que en la anterior secuencia en donde se superponen tufitas y lavas andesíticas.

Sin embargo, en esta serie, a los niveles de cloríticos se superponen bancos de riolitas con escaso contenido de piritita diseminada. Esta secuencia continúa hacia el techo con una potente sucesión de rocas volcánicas ácidas, tobas y brechas (cuarzo-queratófidos) contrastando con la serie anterior en la que aparecían dacitas (queratófidos). De aquí se deduce un cambio de facies, máxime cuando el techo de ambas formaciones corresponde a un horizonte común constituido por las pizarras y cineritas de tonos violáceos y jaspes rojos pertenecientes al techo de la Serie Intermedia.

La proximidad de ambas secuencias en la Zona de San Telmo, se debe a que la formación andesítica forma parte de un frente de cabalgamiento con desplazamiento de Norte a Sur sobre el Complejo Volcánico de San Telmo.

Tectónica

Las estructuras de deformación resultantes de la tectónica polifásica hercínica han sido ya descritas en diversas áreas de la Faja Piritica (FEBREL, T., 1965; RAMBAUD, F., 1969; CHERMERHORN, L., 1971; ROUTHIER, P., 1980; HERNÁNDEZ ENRILE, J., 1983). Sin embargo, describiremos sucintamente las estructuras características de las principales etapas de deformación, a fin de que sirva de base para la comprensión de las estructuras mayores.

La primera fase de plegamiento origina estructuras de anticlinoriales y sinclinorios cuyos pliegues menores métricos presentan una geometría isoclinal, con charnelas engrosadas y flancos estirados (fig. 3). La dirección general del plegamiento es ONO-ESE y con fuerte vergencia hacia el Sur. Asociados a la esquistosidad (S1) de plano axial que acompaña al plegamiento, se desarrollan fallas inversas comúnmente en los flancos invertidos de los pliegues, dando lugar a transposiciones que pueden superar decenas de metros.

La segunda etapa de deformación origina también estructuras de longitud de onda hectométrica

ca a kilométrica y de dirección E-O. Los pliegues asociados a dichas estructuras revelan una intensidad de deformación menor que la primera fase. Se caracteriza por la simetría monoclinica y esquistosidad de fractura (S2) de plano axial, la cual se desarrolla preferentemente en los materiales pelíticos.

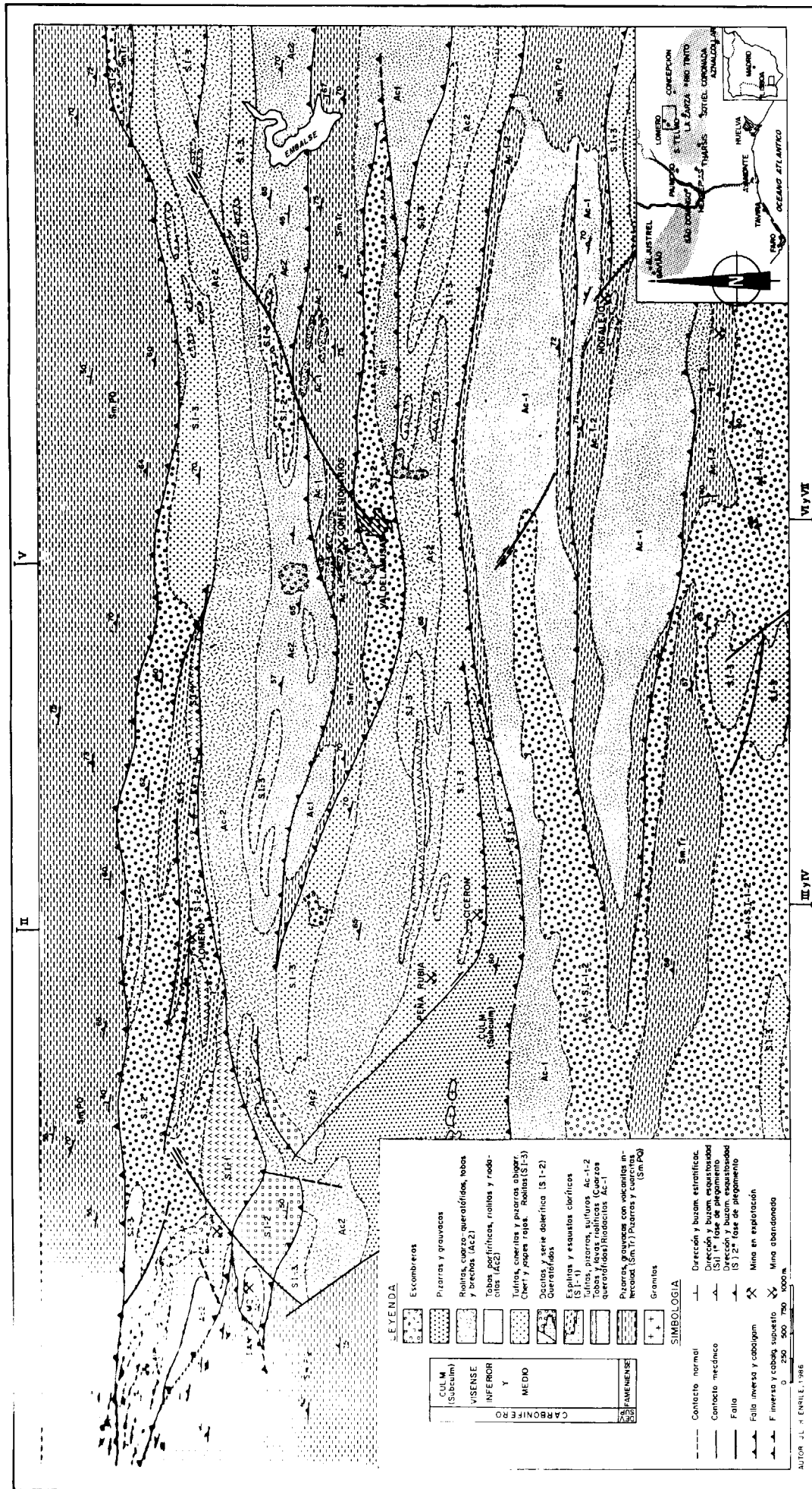
La superposición de estas dos fases de plegamiento da lugar a un modelo de interferencia de tipo 3 (fig. 4), según la clasificación de RAMSAY, J., 1967. Ello fue puesto de manifiesto en un trabajo anterior (HERNÁNDEZ ENRILE, 1983).

En una etapa de tectónica tangencial, posterior al plegamiento, da origen a cabalgamientos y fallas inversas (figs. 4 y 5) con vergencia sur y dirección E-O, dando como resultado la peculiar estructura en escamas de la Faja Piritosa sur-ibérica.

En la región de estudio diferenciamos tres grandes unidades estructurales de Norte a Sur, cuyos límites responden a zonas de cabalgamiento. La primera se trata de la antiforma que con dirección E-O se extiende al norte del área estudiada. En ésta, aparece sólo representada su borde meridional por la formación de cuarcitas y pizarras del Devónico Superior (fig. 2). El contacto entre esta formación y el Complejo Volcánico-Sedimentario es a través de un cabalgamiento con dirección E-O (fig. 6, cortes geológicos I y II, y fig. 7, corte geológico V). De este modo, la formación P. Q. se superpone mecánicamente sobre diferentes unidades litoestratigráficas del volcánico-sedimentario superior.

Por otra parte, la oblicuidad que guarda la dirección de plegamiento con respecto a la del cabalgamiento, permite deducir la posterioridad del mismo con relación a las estructuras de la primera y segunda fase.

La segunda unidad estructural corresponde a una sinforma o sinclinorio en materiales del complejo volcánico con dirección E-O. Se extiende a lo largo de toda la zona centro del área estudiada (fig. 2), desde San Telmo hasta el este de Valdelamusa. El flanco norte de esta estructura está definido por los materiales de la Serie Intermedia, espilitas y queratófidos y niveles superiores de la misma de pizarras de tonos violáceos. En los núcleos de los anticlinales aparece el volcanismo ácido-1 con el que asociamos los yaci-



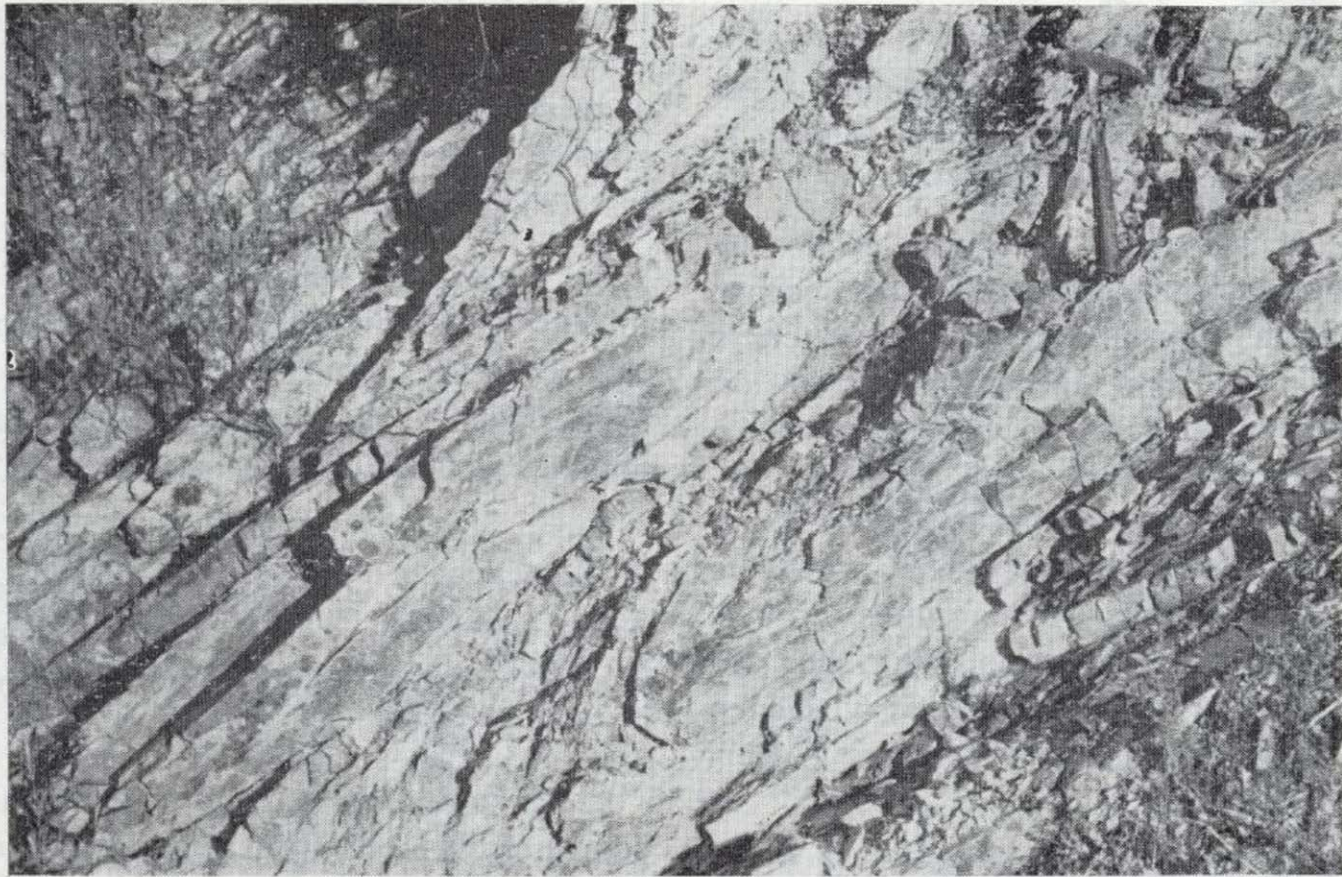


Figura 3.—Pliegues isoclinales de la primera fase de plegamiento hercínico, con flancos cizallados.

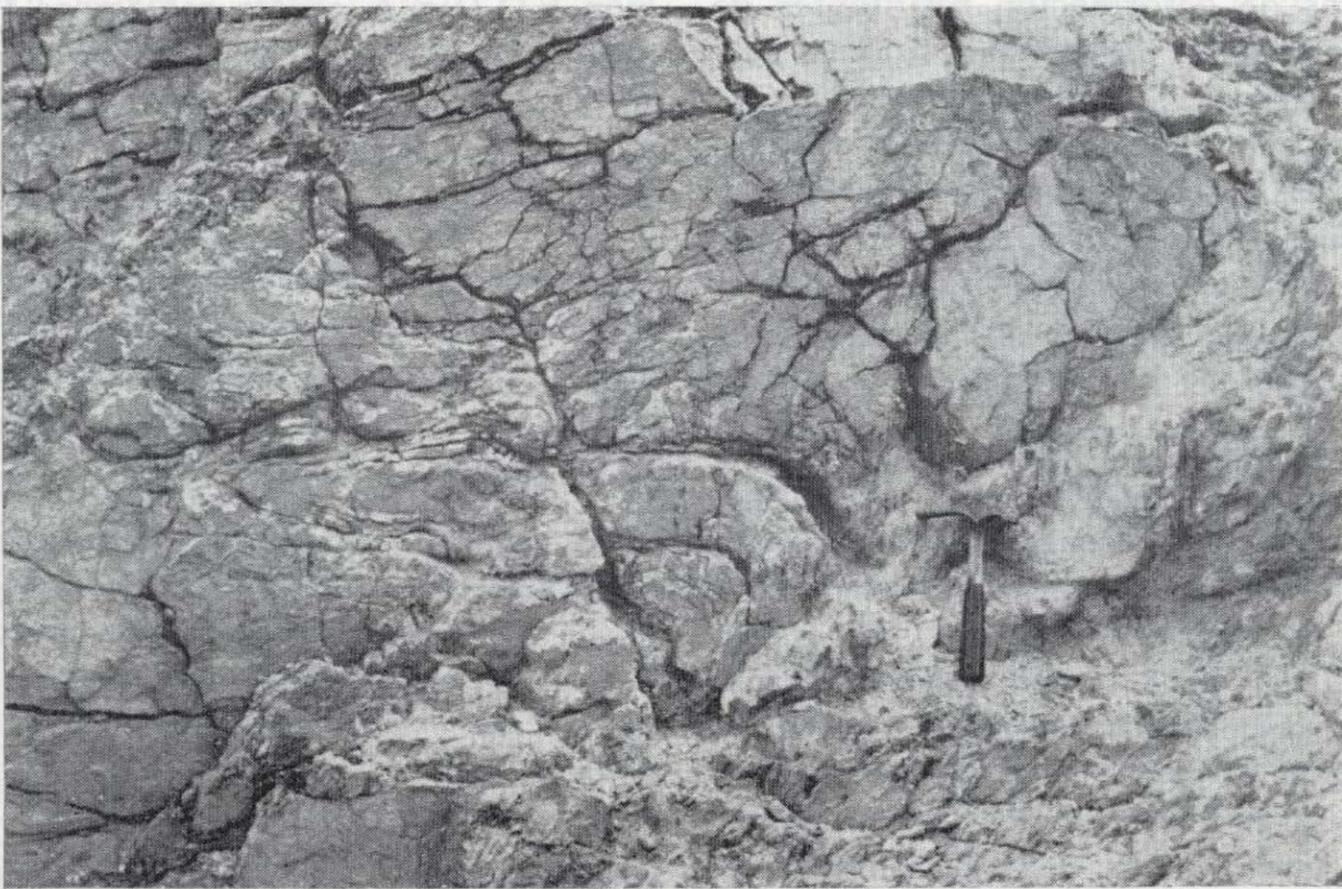


Figura 4.—Superposición de plegamiento y falla inversa acompañante a la tectónica de cabalgamiento.

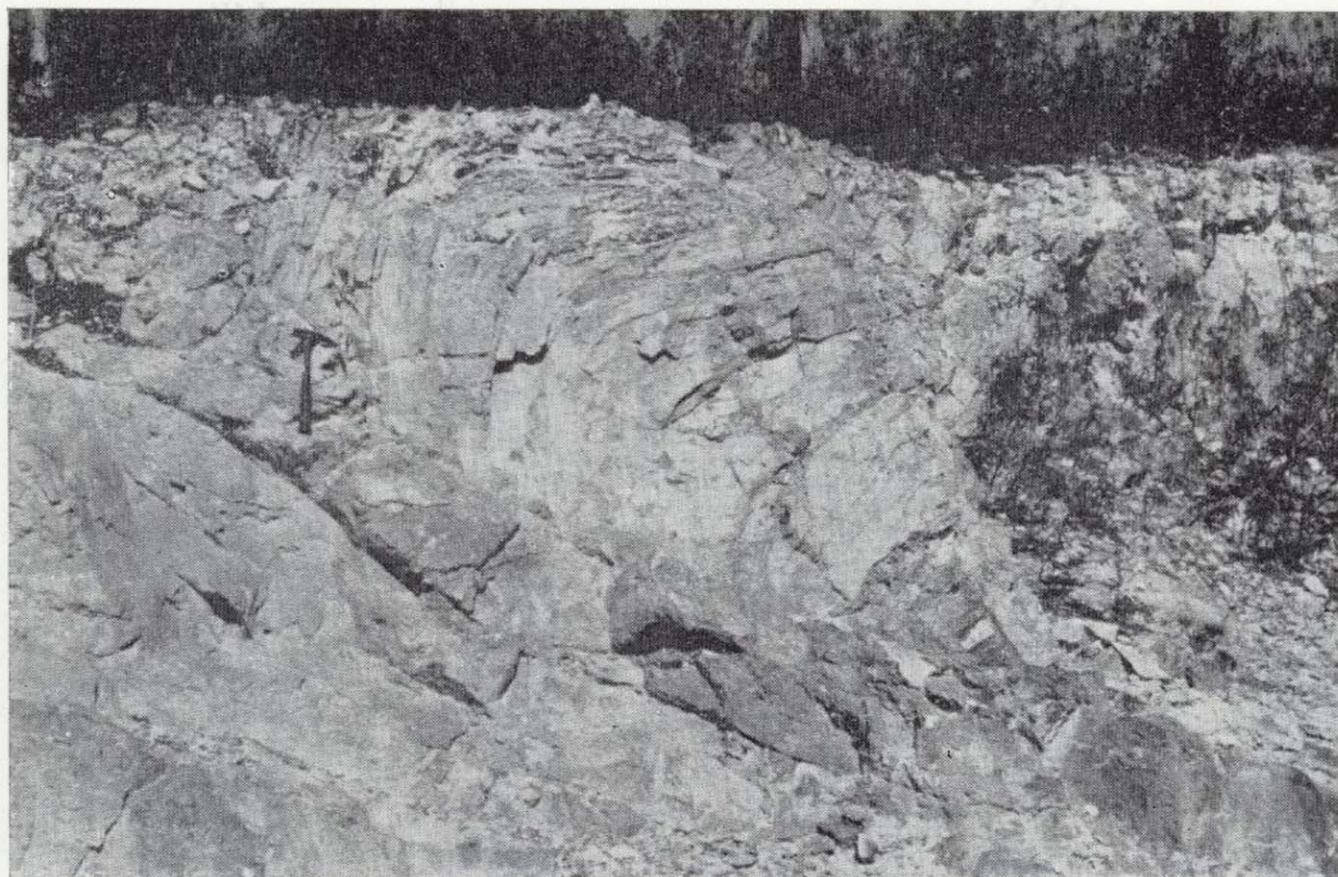


Figura 5.—Falla inversa acompañante a la tectónica de cabalgamiento posterior a la segunda fase de plegamiento hercínico.

mientos del Carpio-San Telmo y Lomero (fig. 6, cortes geológicos I y II). De igual manera, el flanco sur está definido por la formación superior de la Serie Intermedia de las pizarras abigarradas, las cuales cabalgan sobre la formación transicional de pizarras y volcánicas de la base del complejo volcánico (fig. 7, cortes geológicos VI y VII). En el núcleo de esta estructura yace la formación volcánica superior llegando a alcanzar su mayor extensión de afloramiento en su extremo occidental coincidiendo con una virtual terminación periclinal distorsionada por la tectónica de cabalgamiento y fracturación (fig. 2). En este sentido, la estructura en escamas resultado de esta tectónica es responsable de la antifforma San Telmo-Los Confesionarios que se extiende a través del eje del sinclinatorio (fig. 2 y fig. 7, cortes geológicos V y VI).

El núcleo de la antifforma está constituido por las formaciones transicional y volcánicas ácidas-1, las cuales se ponen en contacto mediante cabalgamiento con los horizontes superiores de la Serie Intermedia y volcanismo ácido-2 (fig. 6, corte geológico III). En relación con el núcleo de esta an-

tifforma existe mineralización a lo largo de su eje en donde se localizan como yacimientos más importantes Los Confesionarios y Cueva de la Mora, éste fuera de la zona de estudio.

Por último, al sur de la zona se manifiesta otra gran unidad estructural, en este caso corresponden a un anticlinorio constituido por la formación transicional pelítica y los tramos inferiores de la Serie Intermedia (queratófidos y doleritas) (figura 6, corte geológico IV, y fig. 7, corte geológico VII). La estructura en escamas se manifiesta a través de cabalgamiento de las rocas volcánicas sobre las pizarras, quedando éstas reducidas a estrechas franjas donde una intensa formación revela los efectos de deslizamiento a través de los mismos.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a Billiton Española y a la Sociedad Promotora de Recursos Naturales por los medios y ayuda recibida para la realización de este trabajo.

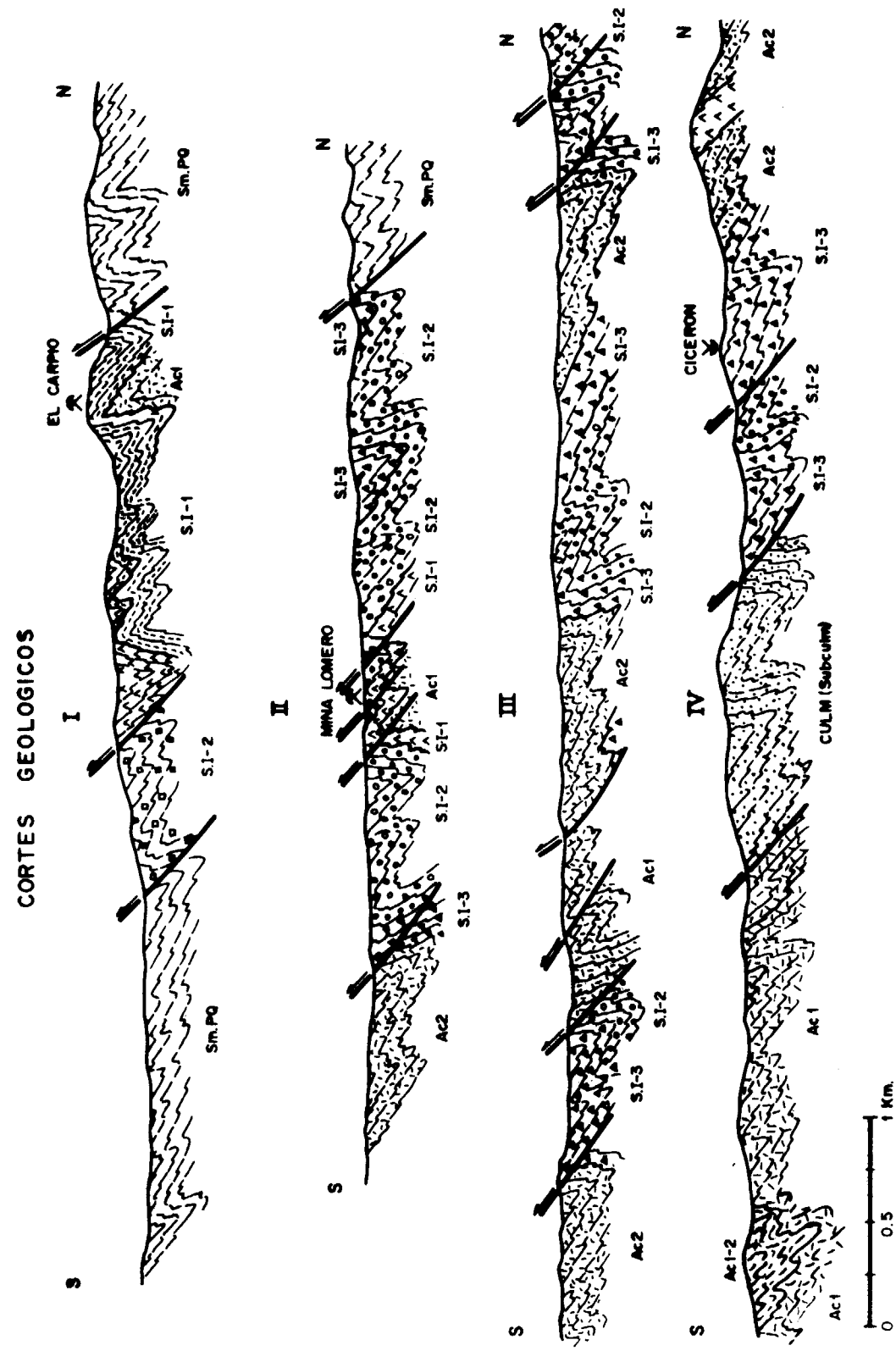


Figura 6

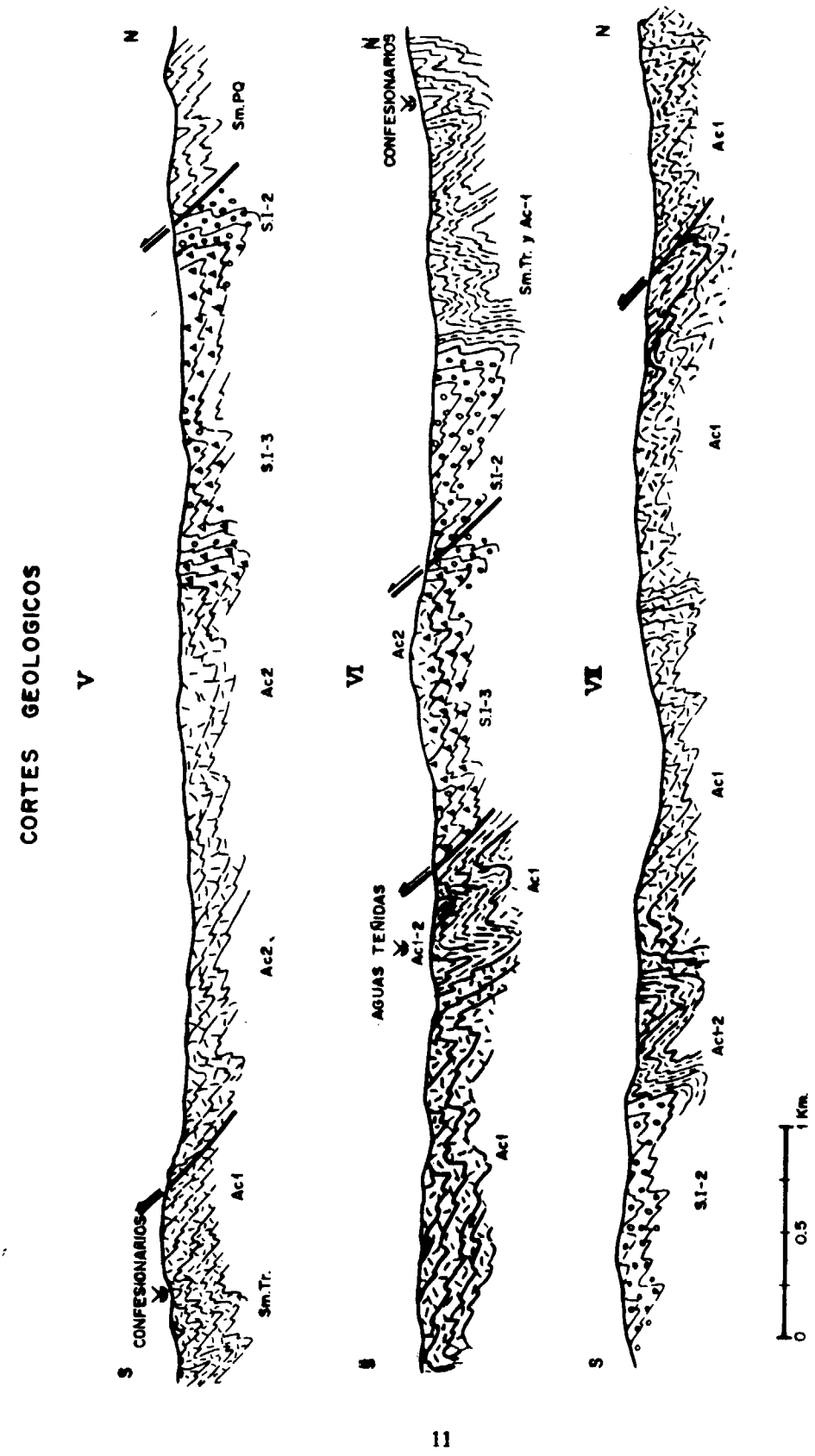


Figura 7

BIBLIOGRAFIA

- CARVALHO, D.; GOINHAN, J.; OLIVEIRA, V., y RIBEIRO: *Observações sobre a geologia do Sul de Portugal e conseqüências metalogenéticas*. Estud. Notas e Taab. Serv. Fomento Mineiro. Porto, 202 (1-2), pp. 153-188 (1971).
- CARVALHO D.; CONDE, L.; HERNÁNDEZ ENRILE, J. L.; OLIVEIRA, V., y SCHERMERHORN, L. J. G. S.: III Reuniao de Geologia do Sudoeste do Macizo Hespérico da Península Ibérica. Huelva-Beja, 1975, Faixa Piritosa Ibérica. Serviços Geológicos de Portugal (1976).
- FEBREL MOLINERO, T.: *Tectónica de la Hoja de Calañas (Huelva)*. IN-27, pp. 46-57 (1965).
- FEBREL MOLINERO, T.: *Estratigrafía, Tectónica y Petrografía en la zona de Calañas (Huelva)*. IGME, Enadimsa, pp. 1-57 (1967).
- HERNÁNDEZ ENRILE, J. L.: *Marco geológico estructural de los yacimientos de sulfuros de Aznalcóllar (Región Oriental de la Banda Piritosa Ibérica)*. Reunión Xeoloxia e Minería do Noroeste Peninsular. Cuadernos do Laboratorio Xeoloxico de Laxe, núm. 3, pp. 535-561 (1981).
- HERNÁNDEZ ENRILE, J. L.: *La tectónica superpuesta en la región oriental de la Banda Piritosa Ibérica*. Congreso Internacional del Carbonífero, tomo III, 505-517 (1983).
- RAMSAY, J.: *Folding and Fracturing of rocks*. McGraw-Hill, Co., 568 pp., New York (1967).
- RAMBAUD, F.: *El sinclinal carbonífero de Riotinto (Huelva) y sus mineralizaciones asociadas*. Mem. Inst. Geológ. y Miner., t. LXXI, p. 299 (1969).
- ROUTHIER, P.; AYE, F.; BOYER, C.; LECOLLE, M.; MOLIERE, P.; PICOT, P., y ROGER, C.: *La ceinture sud-ibérique a amas sulfures dans sa partie espagnole médiane*. Mémoire du BRGM, núm. 94, París (1980).
- SCHERMERHORN, L. J. G., y STANTON, W. I.: *Folded overthrust at Aljustrel (South Portugal)*. Geol. Mag. Cambridge, tomo 106, pp. 130-141 (1969).

Recibido: Enero de 1986.

Nota preliminar sobre el hallazgo del género (*Chondrites*) en el Lías de la Sierra del Levante (Mallorca)

Por G. COLOM

RESUMEN

Se describen en este trabajo los *Chondrites* de Son Masià, correspondientes al Jurásico de Mallorca. De acuerdo con ZITTEL, SHIMPER, HEER y otros, se consideran como restos de algas y no, como pistas de organismos arenícolas según los autores modernos.

Por intermedio de unos amigos, profesionales de la construcción, recibí unos ejemplares de *Chondrites* procedentes de la cantera de Son Masià, situada en el término de Manacor. A pesar de los estudios del profesor B. Darder, y de otros geólogos que últimamente se han ocupado de la Sierra del Levante, hasta el presente no eran conocidos los restos de *Chondrites*, en las series liásicas de Mallorca; sus materiales son utilizados actualmente en la construcción.

La geomorfología de la zona de Manacor presenta escasos relieves, siendo casi toda ella llana y dedicada a zonas de cultivos. El hallazgo del yacimiento de Son Masià, juntamente con sus fósiles, es debida a la acción erosiva de las aguas de lluvia que ocasionaron, cuando fueron abundantes, grandes y pequeños charcos siendo su acción destructora, la que dejó el infrayacente al descubierto en los sitios más erosionados, pudiéndose observar entonces que bajo las tierras labrantías existían vastas zonas, que contenían, en gran parte, las fosilizadas praderas de *Chondrites*.

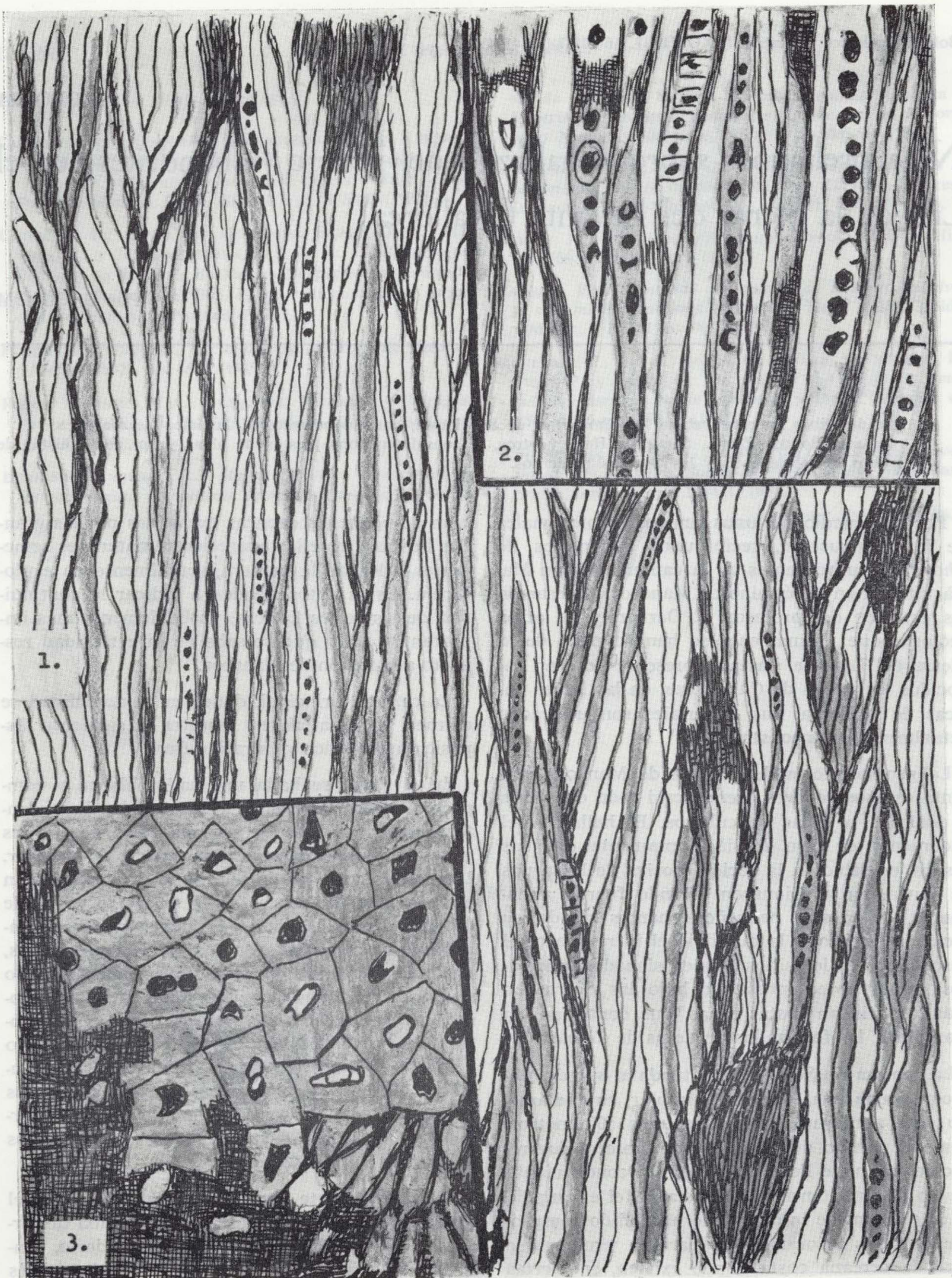
La cantera de Son Masià, situada al sur de Manacor, ocupa una superficie circular, cuyo diámetro será aproximadamente de unos 500 metros. Como el tiempo dedicado a esas canteras fue reducido, no pude llegar a poseer un conocimiento exacto de su extensión; no obstante, el encargado de la cantera me informó que ha podido comprobar que sus afloramientos parecen prolongarse hacia la cercana costa donde existen, en ciertas partes formaciones análogas, desmanteladas por las aguas de arrastre, lo que da lugar a la forma-

ción de pequeñas cuencas excavadas por las grandes lluvias y en ellas aparecieron materiales semejantes a los de la cantera, actualmente en explotación. Estos datos tienden a indicar la continuidad de las series liásicas, probablemente más importantes de lo que se sabe en la actualidad respecto a la región de Manacor.

La cantera principal, donde en la actualidad se extraen más materiales, muestra la siguiente disposición geológica y estratigráfica.

En el techo se halla una caliza blanca y compacta, a base de oolitas descansando discordantes sobre una base de margas finas de colores grises y amarillentos, de un metro de espesor. Las calizas oolíticas de Son Masià se caracterizan por sus grandes oolitas, cuyo diámetro va desde 0,4 mm. hasta 0,6 mm. para las mayores, acompañadas de pequeñas pisolitas, en delgados lechos, pudiendo alternar con otras más pequeñas y no revelando ninguna clase de brechas intraformacionales (*intraformational breccia*), detalle que poseen las oolitas liásicas debido a su diastrofismo y apareciendo completamente deformadas y estrujadas. Además en las brechas intraformacionales liásicas, las oolitas son el elemento principal formando la matriz, que enlaza todos los fragmentos de que se compone la roca.

Al empezar este estudio y comprobar que el conjunto oolítico de Son Masià, cabalgaba discordante sobre todos los niveles del Secundario, pensé que se trataba de las oolitas Vindobonienses (=Helveciense) cuyo tipo más característico son las calizas blancas de la zona de Santany (Mallor-



Número 1.—Vista de conjunto, a poco aumento ($\times 40$) de un trozo de carbón de la cantera de Son Masià, mostrando su estructura histológica, posiblemente perteneciente a un fragmento de Conifera (?).

Número 2.—Lado superior derecho, mostrando la disposición de las mismas células, vistas a mayor aumento ($\times 80$).

Número 3.—Lado inferior izquierdo, corteza de Conifera (?) mostrando su estructura celular, vista a mayor aumento ($\times 80$).

ca); no obstante, su comparación microscópica con las oolitas liásicas, demostró que se trataba del Mioceno Superior transgresivo y discordante, tan característico del centro de Mallorca.

En determinados niveles de estas formaciones de tipo poco profundo y posiblemente salobres, impregnado de pirita, aparecen trozos carbonosos, en general pequeños, los mayores suelen alcanzar los 10 centímetros, de forma redondeada representados por trozos de ramas de arbustos de reducidas dimensiones, posiblemente pertenecientes al grupo de las Coníferas; las secciones-delgadas muestran aún una estructura celular sorprendente por su buena conservación (fig. 1). Les siguen

concordantes las margas grises cuya composición litológica es la siguiente: Matriz en gran parte formada por pequeños romboedros de calcita, con una secuencia que dobla sus estratos volviéndose más gruesos hacia el techo; se trata de una megasecuencia arcillosa igual y monótona en la mayoría de sus estratos. Los cristales de dolomía aparecen formando grupos, caracterizándose algunos de ellos por su mayor tamaño. Todos los materiales examinados en secciones muestran la presencia de unas pequeñas esquirlas calizas, delgadas, de una longitud que no pasa de 0,3 mm., posibles restos de microgasterópodos de agua dulce. Su potencia oscila, alrededor de tres metros, según su espesor y niveles.

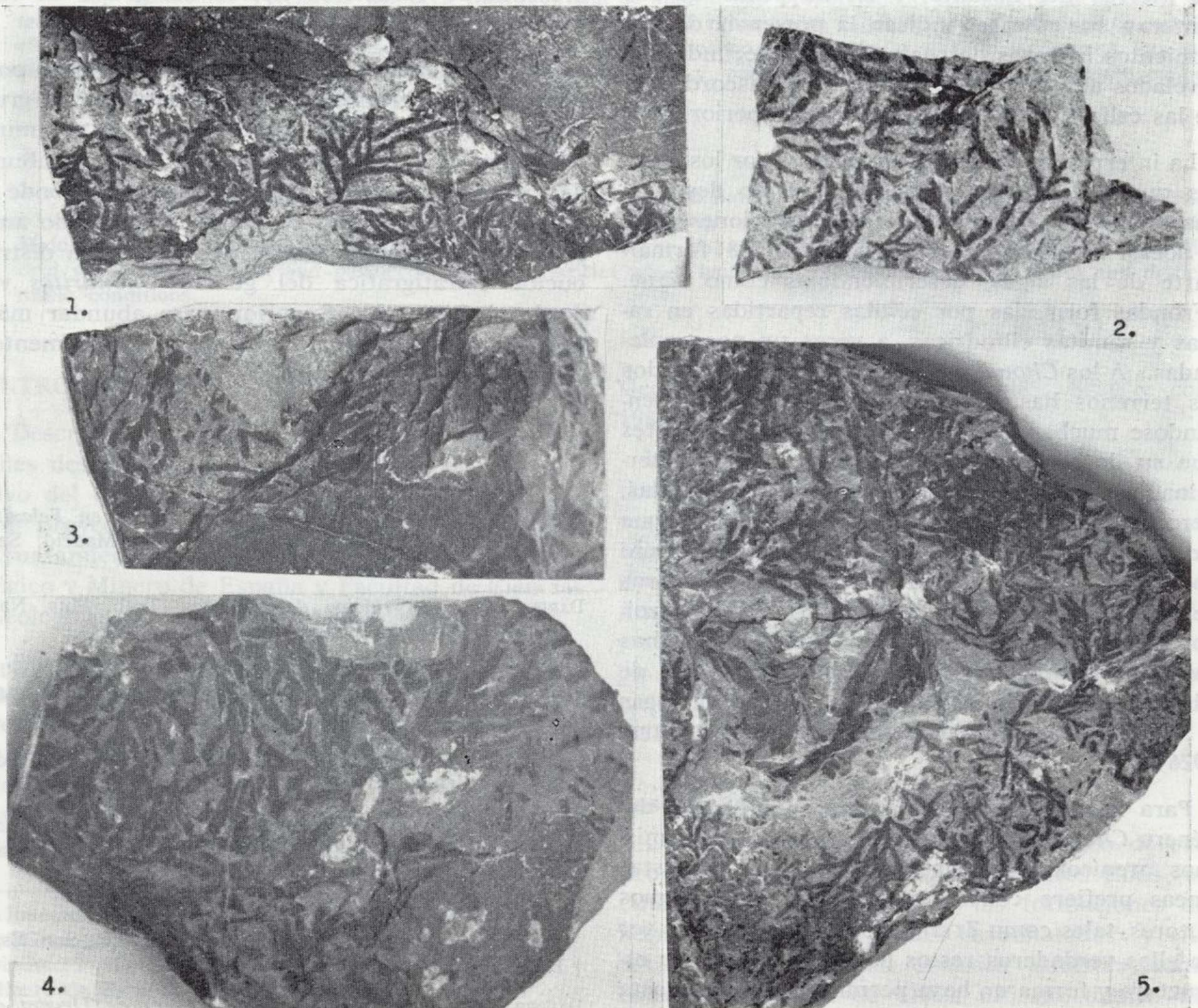


Lámina I.—*Chondrites* cf. *liassicus*, HEER, de las canteras de Son Masià (Manacor, Mallorca). Núms. 1-5 (tamaño natural).

Durante el Lías la zona balearica formaba parte de un área epicontinental, con aguas poco profundas, desarrollándose en ellas amplias praderas de algas formando una compacta masa de origen orgánico. Entre ellas existen unos pocos microorganismos de tipo litoral, como *Involutina*, *Textularia*, *Lenticulina*, *Stomiosphaera*, etc.; su escasez tiende a indicar la existencia de biotopos marino-lacustres, al menos durante algunas fases de su existencia, aunque con el transcurso del tiempo llegase a imponerse el régimen marino, a partir del Lías Superior.

El dispositivo geológico de las canteras de Son Masià, de la zona de Manacor, en su conjunto, forma parte de todo el sistema de plegamientos de las Sierras del Levante, y en no pocas de sus canteras, sus estratos indican la presencia de plegamientos intensos de sus materiales secundarios, revelados aún más claramente por la discordancia de las calizas oolíticas del Mioceno Superior.

La interpretación de los *Chondrites* por los autores que los han estudiado, ha sufrido desde el pasado siglo múltiples y diversas definiciones. Para el doctor A. Schenk (in ZITTEL, 1891, p. 58) forman parte de las algas, describiéndolas como sigue. «Frondas formadas por células repartidas en ramas y ramitas cilíndricas, a veces un poco aplanadas.» A los *Chondrites* se les encuentra en todos los terrenos hasta alcanzar el Terciario, presentándose muchas veces con formas tan semejantes que su determinación resulta difícil. Para determinados autores sus frondas son muy ramificadas, pero la forma exacta es difícil de concebir, porque siempre sus frondas se hallan aplastadas, pero comprendiendo variadas ramificaciones. Para otros se trata de algas propias de los terrenos paleozoicos superiores, siendo abundantísimas en algunas localidades alemanas (Boll, Wurtemberg, Lías de Alsacia) formando verdaderas praderas de algas y acompañadas por una fauna variada (MEUNIER, 1926).

Para la mayoría de los autores, las formas del género *Chondrites* pertenecen a pistas de organismos arenícolas. No obstante, el autor de estas líneas prefiere considerarlas como los antiguos autores, tales como ZITTEL, SCHIMPER, HEER, y ver en ellas verdaderos restos de algas, aunque su estructura y forma no haya permitido resolver hasta el presente su verdadera naturaleza; sin embargo, para los *Chondrites*, el concepto de algas es el que me parece debe prevalecer.

Para J. PIVETEAU (1952), los *Chondrites* son interpretados como gusanos arenícolas, viviendo en las zonas barros, de escasa profundidad donde construyen galerías. Para quien haya podido examinar el abundante material de *Chondrites* de las canteras de Son Masià, no cabe duda de que han pertenecido a algas, o a un género afín a ellas, y aunque la figura que el citado autor presenta consiste en una serie de tubos, con diversas ramas y numerosas bifurcaciones, dispuestas en diferentes planos, los *Chondrites* aquí estudiados resultan muy diferentes a la figura y descripción de PIVETEAU.

La especie que tanto abunda en Son Masià es una forma próxima a *Chondrites liassicus* HEER, presentando caracteres típicos del grupo de los *Chondrites*, Lámina I.

La forma citada de Mallorca se caracteriza por sus numerosas ramificaciones, constituyendo grupos de frondas (lám. 1). Las dimensiones son muy desiguales debido a la fosilización, pero la abundancia en que se presentan en Mallorca responde a la ecología del género *Chondrites*, formando amplias praderas, como las de Son Masià. La distribución estratigráfica del género *Chondrites* va desde el Paleozoico Superior, para abundar más en el Jurásico Inferior, y una especie, únicamente, alcanza al Cretáceo Superior.

BIBLIOGRAFIA

- DARDER, B.: *Los fenómenos de corrimiento en Felanitx (Mallorca)*. Trab. Mus. Nac. Cien. Nat., Madrid. Ser. Geol. núm. 6 (1913).
- DARDER, B.: *El Triásico de Mallorca*. Trab. Mus. Nac. Cien. Nat., Madrid. Ser. Geol. núm. 7 (1914).
- DARDER, B.: *La tectonique de la région orientale de l'île de Majorque*. Bull. Soc. Géol. France, vol. 25, pp. 245-278 (1925).
- DARDER, B.: *Le relief et la tectonique de Majorque*. Géol. Mediterr. Occident., vol. 1, núm. 2 (1929).
- DARDER, B.: *Dues notes sobre la geologia de la serra de Llevant de Mallorca*. Butll. Inst. Catalana Hist. Nat. Vol. 33, núms. 1-2 (1933).
- FALLOT, P., y DARDER, B.: *Observaciones geológicas en la región central de la isla de Mallorca*. Bull. R. Soc. Esp. Hist. Nat., vol. 25, pp. 488-498 (1925).
- DARDER, B.: *Mapa Geològic de les Serres de Llevant de l'illa de Mallorca, per Bartomeu Darder*. Palma de Mallorca (dues fulles Felanitx-Artá). Publicat per l'Exma. Diput. Provincial de les Balears. Esc. de 1/50.000.

Recibido: Febrero de 1986.

Los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid

Por N. LOPEZ-MARTINEZ (*) C. SESE BENITO (**) y E. HERRAEZ (**)

RESUMEN

Los sedimentos Terciarios del área metropolitana de Madrid han proporcionado seis nuevos yacimientos paleontológicos de Micromamíferos. Los 400 restos identificados se reparten en 11 especies que permiten la correlación con las faunas del Aragoniense Medio de otras cuencas (Mioceno Inferior-Medio, — 17 m. a. aprox.). Las asociaciones del Mioceno madrileño muestran rasgos tafanómicos y paleoecológicos peculiares, que interpretamos como propios de un clima relativamente árido y cálido.

ABSTRACT

The Tertiary deposits of the metropolitan area of Madrid have delivered six new paleontological localities containing Micromammals. The 400 identified samples, belonging to 11 species, allow the correlation with the Middle Aragonian fauna in other basins (Early-Middle Miocene, ca. — 17 m.y.). The Miocene associations from Madrid show taphonomical and paleoecological peculiarities which have been related to relatively warm and dry climatic conditions.

INTRODUCCION

Describimos aquí las nuevas microfaunas fósiles descubiertas en el área de Madrid con motivo del estudio geológico realizado en el marco del proyecto «Geología de Madrid» del Excmo. Ayuntamiento, Excmo. Diputación, Instituto Geológico y Minero de España y Facultad de Ciencias Geológicas de la Universidad de Madrid.

En los años 82 y 83 se han recogido muestras de localidades favorables para la conservación de Micromamíferos fósiles. Se han hallado restos identificables en seis yacimientos muestreados para este estudio, que se completan con dos yacimientos más, hallados por los investigadores de la sección de Paleontología del Instituto de

Geología del CSIC (ALBERDI, 1985; SESÉ y col., 1985).

Los seis yacimientos que serán estudiados a continuación han proporcionado más de 400 restos identificables pertenecientes a 11 especies de Micromamíferos (Roedores, Quirópteros, Insectívoros y Lagomorfos). Todos ellos pertenecen al Aragoniense Medio (Mioceno Medio continental), y serán referidos a la escala bioestratigráfica regional de DAAMS y FREUDENTHAL (1981) y a las unidades faunísticas de MEIN (1975) y FAHLBUSCH (1976).

Los yacimientos

Los yacimientos hallados en el marco de este proyecto se encuentran en sedimentos finos (arcillas verdes, sepiolitas) de las formaciones denominadas «Arcillas verdes carbonatadas» y «Arcillas finas, o unidad arcósica inferior», entre cotas que oscilan de 610 a 675 m., dentro del municipio de Madrid. En el cuadro 1 se detalla la distribución de la fauna por yacimientos, y en el mapa 1 figura su localización.

Este trabajo ha sido realizado en el marco del proyecto «Geología de Madrid», del Excmo. Ayuntamiento, Excmo. Diputación, Fac. S. S. Geológicas e Instituto Geológico y Minero de España, 1982-1984.

(*) Departamento de Paleontología, Facultad de C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid. 28040 Madrid.

(**) Museo Nacional de Ciencias Naturales, C. S. I. C., U. E. Paleontología. Castellana, 86. 28003 Madrid.

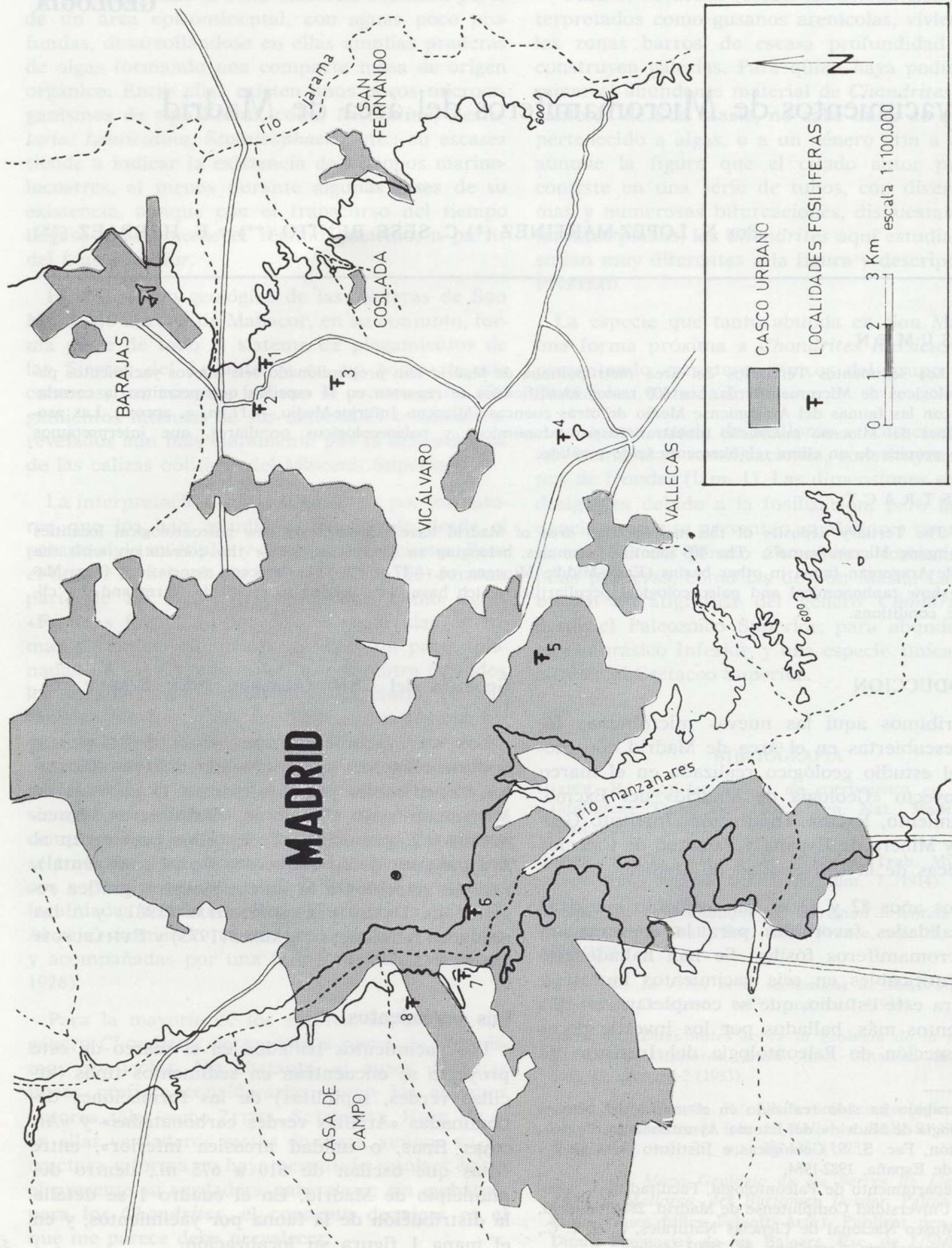


Figura 1.—Mapa de situación de los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid. 1: O'Donnell. 2: Ciudad Pegaso. 3: Casa del Trapero. 4: Cerro de Almodóvar. 5: Arroyo del Olivar. 6: Moratines. 7: San Isidro (Vía Carpetana). 8: Sondeo del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP).

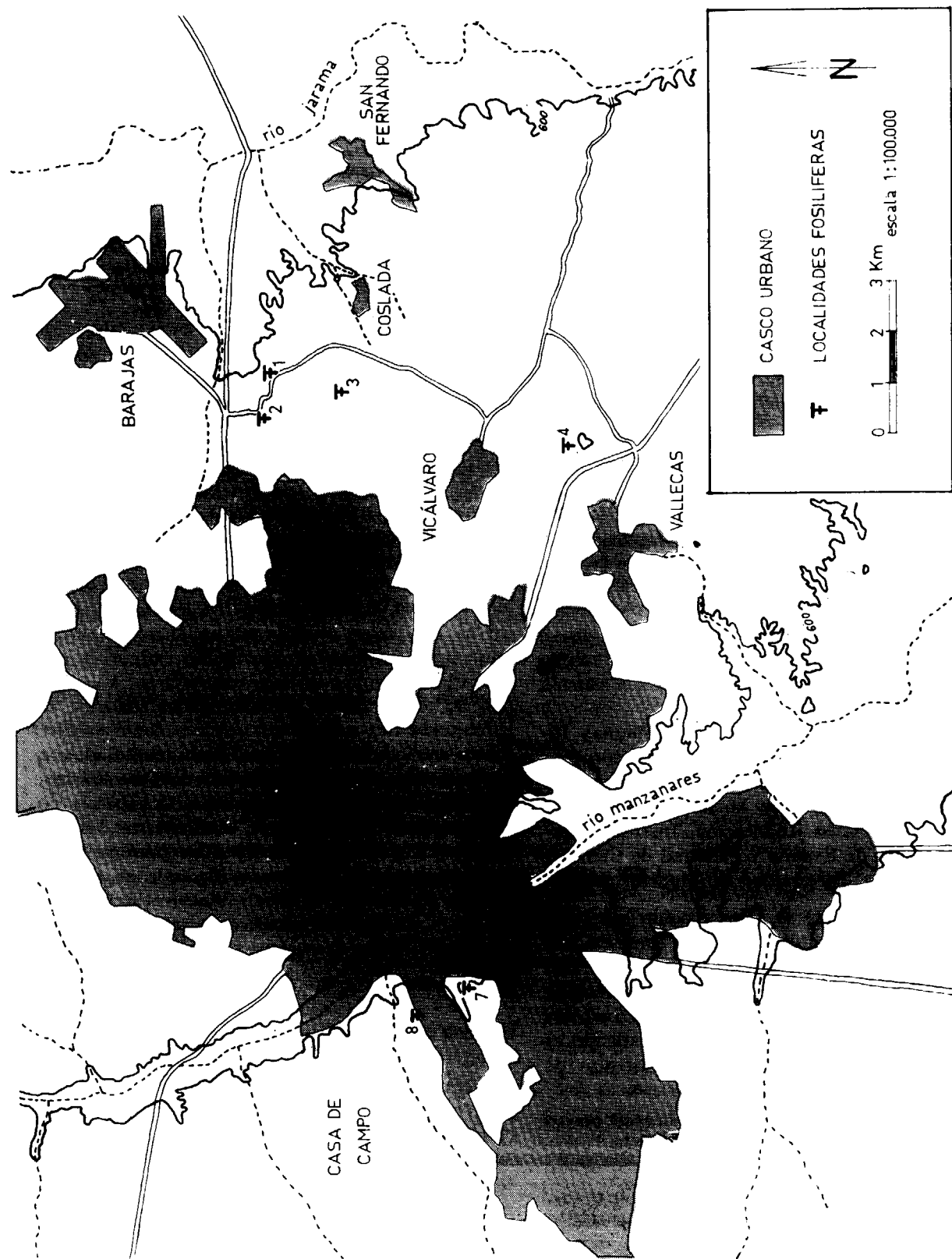


Figura 1.—Mapa de situación de los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid. 1: O'Donnell. 2: Ciudad Pegaso. 3: Casa del Trapero. 4: Cerro de Almodóvar. 5: Arroyo del Olivar. 6: Moratines. 7: San Isidro (Vía Carpetana). 8: Sondeo del Servicio Geológico de Obras Públicas (SGOP).

1. *O'Donnell*.—Con más de 1.600 restos de Micromamíferos, unos 300 dientes identificados, el yacimiento de O'Donnell es el más importante y más rico de los hallados hasta ahora en la cuenca central del Tajo. Sus coordenadas son 3° 35' 25" O y 40° 26' 34" N, y su altitud de 620 m. Se encuentra en un nivel de arcilla verde por encima de los carbonatos y arcillas de la unidad «Arcillas verdes carbonatadas», y unos 2 m. por debajo de los primeros niveles arcósicos.

2. *Ciudad Pegaso*.—Muy semejante al anterior, situado a 1 Km. al E de la localidad de O'Donnell, en un nivel equivalente de la misma unidad. Sus coordenadas son 3° 36' 00" O y 40° 26' 35" N; su altitud 640 m. No ha sido convenientemente explotado por haber sido cerrada la zanja de los colectores del PSIM donde fue hallado. Se ha solicitado al Ayuntamiento su apertura como Punto de Interés Singular para la geología de Madrid.

3. *Casa del Trapero*.—Situado a unos 2 Km. al S del yacimiento de O'Donnell, en la «Unidad arcósica inferior» o arcosas finas, en un banco arcilloso bajo un potente nivel de arcosas. Sus coordenadas son 3° 35' 00" y 40° 25' 50", y su altitud alrededor de 650 m.

4. *Cerro de Almodóvar*.—Situado a unos 6 Km. al S de la primera localidad, en el flanco N del conocido cerro en la zona de Vallecas. Corresponde a un nivel arcilloso verde, con granos de arcosa dispersos, situado inmediatamente por encima de un potente banco de sepiolita. Sus coordenadas son 3° 36' 01" O y 40° 23' 10" N, y la altitud del nivel fosilífero de unos 674 m., a unos 50 m. por debajo de la máxima cota del Cerro.

5. *San Isidro*.—Es el único yacimiento del área de Madrid hallado hasta ahora en la orilla derecha del Manzanares; se encuentra en la base del Cerro de S. Isidro, en el talud frente al lado N de este famoso cerro. Corresponde a un nivel de limos ocre intercalados en una secuencia de arcillas verdes y carbonatos edáficos incluida en las facies denominadas «peñuela». Sus coordenadas son 40° 24' 15" N y 30° 44' 00" O y su altitud de 610 m.

6. *Sondeo S. G. O. P.*—Una pequeña muestra procedente del testigo del sondeo realizado en la sede del Servicio Geológico de Obras Públicas, extraída a unos 200 m. de profundidad, proporcionó una mandíbula casi completa de *Lagopsis*

peñai. Procedía de una facies arcillosa, negruzca y micácea cuyo levigado no proporcionó más restos.

7. *Arroyo del Olivar*.—Este yacimiento de Puente de Vallecas, descubierto en un túnel construido para el PSIM, se encuentra a unos 5 m. bajo el nivel de la calle del mismo nombre. Sus coordenadas son 3° 39' 00" O y 40° 23' 10" N y su altitud de unos 665 m. Lo constituye una capa de arcillas verdes con cantos arcósicos dispersos situado entre niveles arcósicos pertenecientes a la unidad de las arcosas finas. Por su situación se puede relacionar con el yacimiento de grandes mamíferos de Puente de Vallecas descubierto por HERNÁNDEZ-PACHECO en 1926.

La fauna de estos yacimientos presenta una gran semejanza y nos referiremos a ellas como las *faunas de Madrid*. A continuación describimos el material asignado a cada especie para el conjunto de los yacimientos (ver distribución por yacimientos en el cuadro 1). La nomenclatura utilizada puede consultarse en SESÉ (1981). No se incluyen medidas detalladas dado el carácter preliminar de este informe; el estudio sistemático completo constituirá el tema de tesis doctoral de uno de los firmantes (E. H.).

Las faunas

Las microfaunas fósiles del área de Madrid presentan peculiaridades notables en relación a las de otras cuencas continentales de la misma época. En general, dominan los reptiles sobre los mamíferos. Los huesos se presentan desarticulados, dispersos, alterados en grados diversos, de coloración generalmente blanca. La diversidad de los Micromamíferos es baja, y dominan unas pocas especies, todas ellas propias de terrenos abiertos y de régimen xerotrófico: *Lagopsis*, *Armantomys*, *Heteroxerus*, *Megacricetodon*, por este orden. Hay pocos anfibios y no se han hallado peces.

— Orden *Lagomorpha*

Lagopsis peñai ROYO, 1929 (lám. 1, figs. 1 a 6).

Es la especie más frecuente y más abundante del Mioceno de Madrid. Ha aparecido en todas las localidades muestreadas, y sus restos comprenden mandíbulas completas, maxilares, dientes aislados y huesos postcraneales, principal-

LAMINA 1

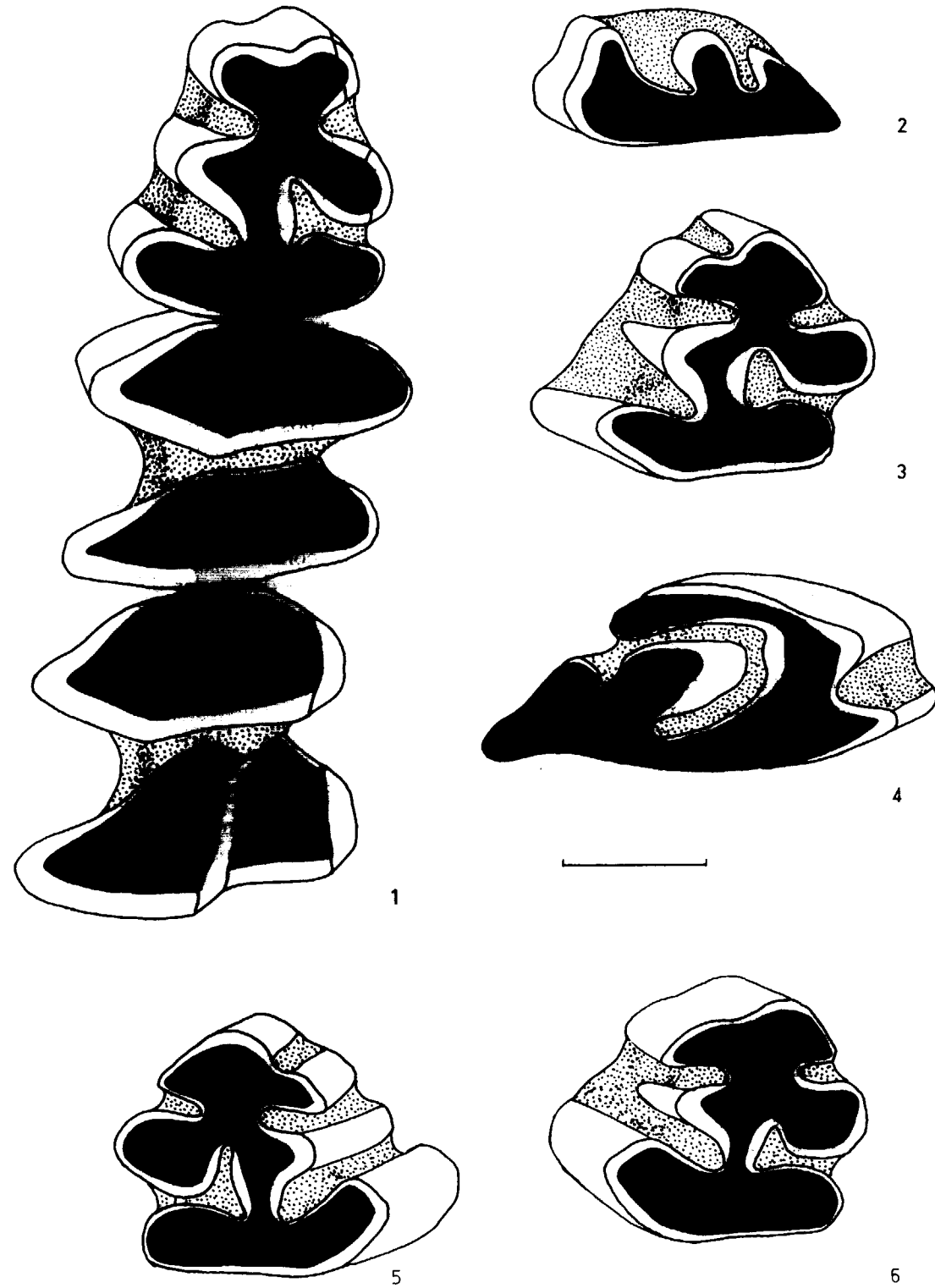


Lámina 1—*Lagopsis peñai* de Madrid. 1: Mandíbula con P₃-P₄M₁ izq. del sondeo SGOP. 2: P² superior izq. de O'Donnell. 3: P₃ inferior izq. de O'Donnell. 4: P³ superior dcho. de O'Donnell. 5: P₃ inferior dcho. de Ciudad Pegaso. 6: P₃ inferior izq. de Ciudad Pegaso.

CUADRO 1
Distribución de especies de Micromamíferos por yacimientos del área de Madrid hallados en el marco del proyecto «Geología de Madrid».

Xg sedimento tamizado	<i>Heteroxerus</i>	<i>Megacricetodon</i>	<i>Fahlbuschia</i> (2 sp)	<i>Pseudodryomys robustus</i>	<i>Microdryomys</i>	<i>Armanomys</i>	<i>Lagopsis</i>	<i>Galerix</i>	cf. <i>Chocidurinae</i>	<i>Caenotherium</i>	Localidades	A. total
150	■	■					■		■		Almodóvar	671
60	■	■		■			■		■		A. del Olivar	605
30	■	■					■		■		Trapero	650
60		■					■		■		C. Pegaso	640
370	■	■		■			■		■		O'Donnell	620
240		■					■		■		S. Isidro	610
60	■	■		■			■		■		Moratines (ALBERDI y col 1981)	600
0.2							■				S.G.O.P.	411

mente huesos del tarso, metápodos, húmeros, etc. En total han sido hallados unos 150 restos, incluido el único hallazgo del sondeo SGOP.

El género *Lagopsis* aparece, en Francia y España exclusivamente, en el Aeniense Superior, en los yacimientos de Laugnac, Bouzigues, Loranca, Navarrete, etc. (DÍAZ y LÓPEZ, 1979). La especie *Lagopsis peñai* aparece en el Aragoniense Inferior y Medio (yacimientos de Moratilla, Villafeliche, Buñol, Alcalá de Henares) y se distingue de los más primitivos *Lagopsis* por su mayor talla, por el mayor desarrollo del hipoflexo en los dientes yugales superiores, y sobre todo por la evolución del anterocónido del tercer premolar inferior (P₃), que pasa de ser pequeño y redondeado a ser grande, aplastado y fuertemente entallado por un surco. La especie *L. peñai* es mucho más abundante en España que en Francia, donde suele coexistir con el género *Prolagus*. En la cuenca del Tajo se presenta como el único lagomorfo del Mioceno Inferior y Medio. En el Aragoniense Superior *L. peñai* es sustituido por *L. cf. verus*, de mayor talla y con anterocónido bilobulado.

La atribución de una población fósil de *Lagopsis* a una especie determinada no ofrece dificultad, pero sí es más difícil su atribución en el caso de un individuo aislado, como el resto procedente

del sondeo SGOP. Esto es debido a la variabilidad intraespecífica, que produce un pequeño solapamiento en los caracteres de dos especies. La adquisición de los caracteres utilizados en la diagnosis es un fenómeno evolutivo en gran parte estadístico, y cuando se tiene una secuencia continua de faunas sucesivas, como en la cuenca de Calamocha, se puede observar el aumento de la frecuencia de morfotipos C en el P₃ de las poblaciones primitivas de *Lagopsis* (ver cuadro 2).

Por razones probabilísticas, un individuo muestreado al azar en una población fósil tiene más probabilidades de pertenecer a los morfotipos A y B en el caso de *Lagopsis* primitivos (85-100 por 100), y al tipo C en el caso de *L. peñai* (60-100 por 100). El animal hallado en el sondeo es de talla grande y morfotipo C, por tanto es, más probablemente, un *L. peñai*. Además es patente la gran hipsodoncia que presenta esta mandíbula, mucho mayor que la de *Lagopsis* primitivo aunque este carácter no ha sido nunca cuantificado por la dificultad de medirlo en dientes aislados.

En conclusión, todas las poblaciones de *Lagopsis* de Madrid pueden ser atribuidas a *Lagopsis peñai* ROYO. La aparición de este taxón en España es, con referencia a la biozonación regional, desde la parte media de la zona A hasta el techo de la zona E (ver DAAMS y FREUDENTHAL, 1981).

CUADRO 2

Distribución en porcentaje de los 3 morfotipos de P₃ en las distintas poblaciones de Lagopsis de España y Francia, del Mioceno Inferior y Medio. (Modificado de LOPEZ-MARTINEZ, 1984.)

Biozona DAAMS y V. MEULEN 1983	Localidad	Nº P ₃	% morfotipo.		
			A	B	C
C	O'DONNELL	31			100
	BUÑOL	27			100
	S.G.O.P.	1			100
B	VILLAFELICHE 2	12			100
A	ESTREPOUY	12		16	84
	BAÑON 2	5		40	60
Z	MOPATILLA	39		39	61
	VALHONDO 1	25	39	55	6
	LORANCA	48	22	68	10
	RAMBLAR 7	83	41	53	6
	RAMBLAR 4	23	33	52	15
	RAMBLAR 3	57	60	33	7
	RAMBLAR 1	11	63	37	
	NAVARRETE	6	100		

En Francia se extiende desde la parte media de la unidad MN 3 de MEIN (1975) hasta la unidad MN 5. No existe todavía un acuerdo sobre la correlación entre estas dos escalas.

La significación paleoecológica de este animal comienza a ser actualmente interpretada. *Lagopsis* es un género semejante a las actuales «pikas», familia relacionada con los conejos y liebres. Poseen una dentición especializada para la vegetación dura, por eso se desarrollan durante el Mioceno en el momento de la evolución de las gramíneas.

La gran abundancia de *Lagopsis* en España, sobre todo en la cuenca del Tajo y en la Depresión Intermedia, contrasta con su mayor escasez al N del Ebro (cuenca del Vallés-Penedés) y en Francia, estando totalmente ausente de Europa Central (LÓPEZ, 1977). Este hecho ha sido interpretado por MEIN (1984) como un gradiente latitudinal ligado a la temperatura. *Lagopsis* sería un género termófilo, mientras su contemporáneo *Prolagus*, muy abundante en Alemania y N de Francia, sería menos tolerante a las altas temperaturas. No obstante, la abundancia de *Lagopsis* coincide a veces con la de otros taxones supuestamente ter-

móforos, como *Peridyromys* (DAAMS y V. DER MEULEN, 1984; LÓPEZ-MARTÍNEZ, 1984).

Lagopsis disminuye en el Aragoniense Superior hasta desaparecer al inicio del Vallesiense.

— Orden Rodentia

Género *Heteroxerus* STEHLIN y SCHAUB, 1951 (lám. 2, figs. 1-2).

Especie *H. cf. grivensis* (MAJOR, 1893).

Este género de ardilla terrestre (tribu xerini), habitante de espacios abiertos al contrario que las ardillas arborícolas (tribu sciurini), es uno de los roedores más frecuentes de las microfaunas de Madrid. Aparece en los yacimientos de O'Donnell, Trapero y Almodóvar, con unos 50 restos entre incisivos y molares aislados. ALBERDI y col. (1981) lo citan asimismo en el yacimiento de Moratines.

El género *Heteroxerus* aparece en Europa desde el Oligoceno Superior hasta el Mioceno Superior, rara vez coexisten dos especies. Las diferencias específicas dentro de este género se refieren fundamentalmente a la talla, y aunque se han citado algunos caracteres evolutivos (desarrollo de anterolofido y protosénido, reducción de mesocónido, evolución de metacónulo en M³) éstos no sirven para separar especies, presentándose siempre muy variables y disociados entre sí.

La talla de los *Heteroxerus* de Madrid coinciden en general con *H. grivensis* del Aragoniense Superior, pero en el Aragoniense Medio (zona E de DAAMS y FREUDENTHAL, 1981) coexiste esta especie con otra de menor talla, probablemente *H. rubricati*. A esta pequeña especie se ha atribuido la población de Moratines (ALBERDI y col., 1981), pero sólo los dientes superiores presentan pequeño tamaño, siendo los inferiores de tamaño mayor.

En este estado de la cuestión las poblaciones de Madrid pueden ser referidas provisionalmente como *H. cf. grivensis*, y es posible sospechar la presencia de otra especie de menor tamaño. Todavía no puede utilizarse esta ardilla en las divisiones bioestratigráficas hasta que no se clarifique su sistemática intragenérica. La revisión de las ardillas fósiles de España, emprendida por G. CUENCA en su Tesis Doctoral (Univ. de Zaragoza), es una labor indispensable para la interpretación de este material.

LAMINA 2

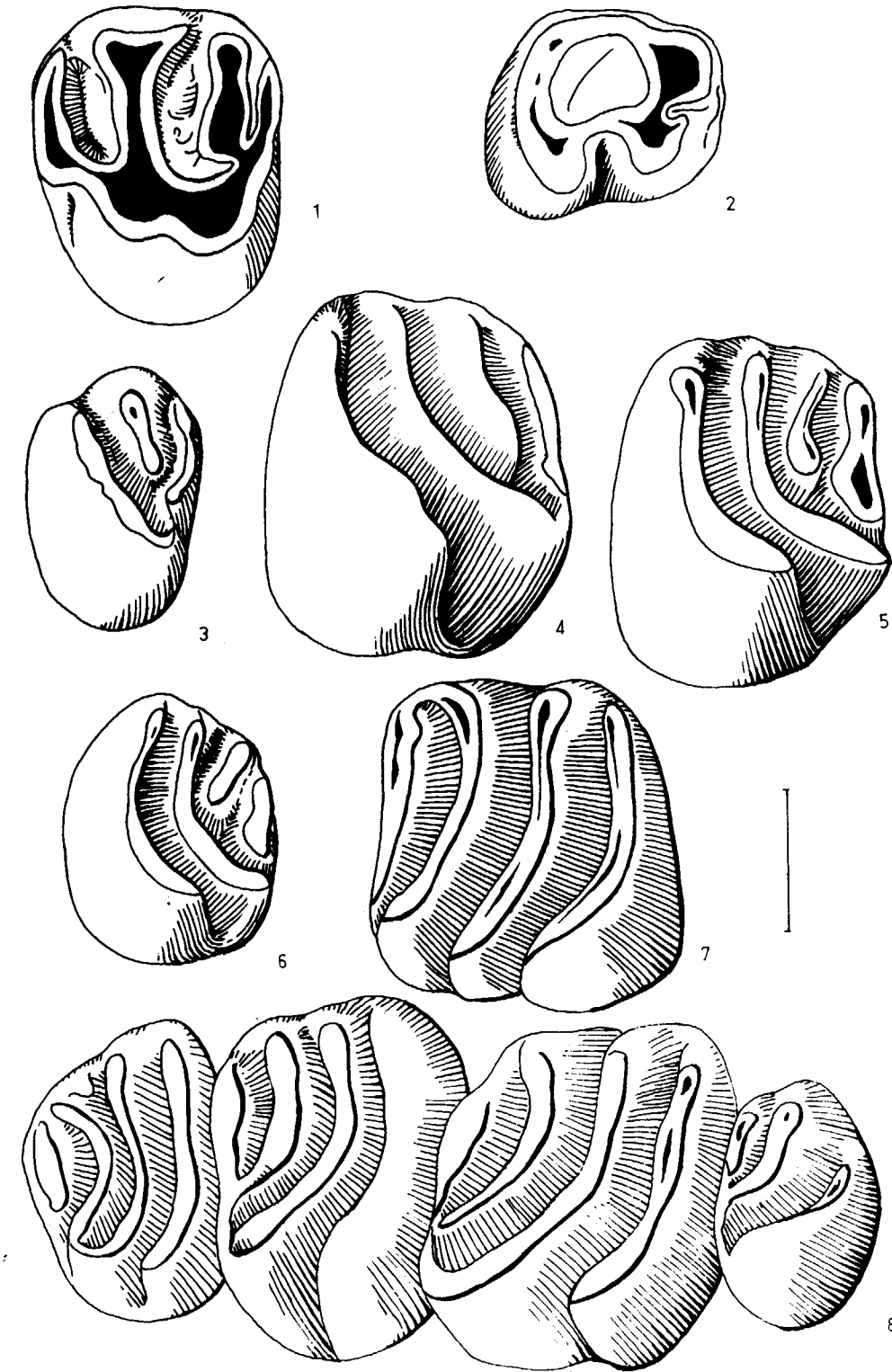


Lámina 2.—*Heteroxerus cf. grivensis* de O'Donnell. 1: M¹ sup. izq. 2: P₄ inferior dcho. *Arvantomys giganteus* de Madrid. 3: P₄ sup. izq. 4: M¹ sup. izq. 5: M² sup. izq. 6: M³ sup. izq. 7: M₂ inferior izq., todos ellos de O'Donnell. 8: Maxilar completo con P₄-M³ sup. dcho. de Arroyo del Olivar.

El género *Heteroxerus* puede ser, sin embargo, utilizado como marcador paleoambiental. El habitat fundamentalmente estepario de la tribu a la que pertenece (independientemente de la temperatura) puede ser atribuido a esta ardilla fósil. Su presencia y su gran abundancia en las faunas del Mioceno de Madrid hablan en favor de un ambiente árido con escasa cobertura vegetal.

Género *Armantomys* DE BRUIJN, 1967 (lám. 2, figs. 3 a 8).

Especie *A. giganteus* DE BRUIJN, 1967.

Este lirón de gran talla, taxón fósil endémico de la Península Ibérica, es el roedor más abundante de los yacimientos madrileños. Sus características peculiares de la dentición son inconfundibles: crestas muy elevadas e inclinadas; ausencia de centrolofos y de crestas accesorias; corona dentaria muy hipsodonta (de gran altura). Esta configuración es propia de un mamífero hervívoro muy especializado en vegetación dura, y V. MEULEN y DE BRUIJN (1982) le atribuyen consecuentemente un habitat estepario. Aparece en España en el Mioceno Inferior, y se extingue al final del Mioceno Medio, coincidiendo con la crisis del Vallesiense que supone un enfriamiento general en el Mediterráneo.

En Madrid, *Armantomys* ha sido registrado en los yacimientos de S. Isidro, O'Donnell y C. Pegaso, y se cita asimismo en Moratines (ALBERDI y col., 1981). Unos 75 restos son atribuidos a este lirón en la colección procedente del muestreo realizado para este proyecto.

El estudio sistemático de *Armantomys* está aún sin realizar, y ha sido emprendido por dos de nosotros (N. L. y C. S.) en colaboración con R. DAAMS. Desde el Mioceno Inferior se puede constatar la existencia simultánea de dos especies, una de gran tamaño y otra muy pequeña. Hasta ahora los autores han reconocido solamente la más grande, y ha recibido distintos nombres en yacimientos sucesivos (*A. aragonensis*-*A. giganteus*-*A. tricristatus*) en los que se aprecia un progresivo aumento de la hipsodontia y de la talla, junto con modificaciones en el número y conexiones de las crestas.

Todas las poblaciones de Madrid son homogéneas y pueden ser referidas a *A. giganteus* (originalmente era una subespecie de *A. aragonensis*).

La talla es mayor que la de *A. aragonensis*; el anterolofos desaparece en P^4 , el posterolofos se reduce mucho en M^2 y M^3 , y las coronas dentarias son mucho más rectangulares en *A. giganteus* (más anchas que largas) que en *A. aragonensis*, que tienden a ser más cuadradas. La reducción de M^3 y de su posterolofos es un carácter poco útil en la distinción de estas especies por su fuerte variabilidad.

La distribución de estas especies en las secuencias biostratigráficas debe ser revisada junto con los caracteres sistemáticos, pero se puede resumir que *A. aragonensis* es propio del Aragoniense Inferior-base del A. Medio (zonas A-D) y *A. giganteus* se registra durante el Aragoniense Medio (zonas D y E), coexistiendo ambos según DE BRUIJN (1967), en Valdemoros 1A (zona D). En el Aragoniense Superior, *Armantomys* es muy raro en la cuenca de Calatayud-Daroca (DAAMS y FREUDENTHAL, 1981), pero se registra *Armantomys tricristatus* LÓPEZ en la cuenca de Almazán (LÓPEZ y col., 1977).

La importancia de este taxón en las faunas de Madrid es tanta que a menudo es el primer mamífero que se encuentra, y su abundancia no disminuye en el Aragoniense Superior (faunas de Paracuellos, ALBERDI y col., 1983). Su atribución a un habitat de estepa cálida puede ser confirmado en base a su asociación con *Lagopsis* y *Heteroxerus*, en faunas de escasa diversidad.

Género *Pseudodryomys* DE BRUIJN, 1967 (lám. 3, figs. 1 a 3).

Especie *P. robustus* DE BRUIJN, 1967.

Este lirón de tamaño mediano, de morfología muy simplificada y de corona dentaria relativamente alta, es mucho menos abundante, y sólo ha sido registrado en O'Donnell, donde se han hallado cinco dientes.

Las características de su morfología dentaria (ausencia de centrolofos, protocono muy retrasado) le aproximan al grupo de especies *P. robustus-simplicidens*; la talla es propia de *P. robustus*, pero la distinción de especies dentro de este grupo aún no está convenientemente establecida.

En Moratines, ALBERDI y col. (1981) describen un maxilar con serie dentaria completa de este

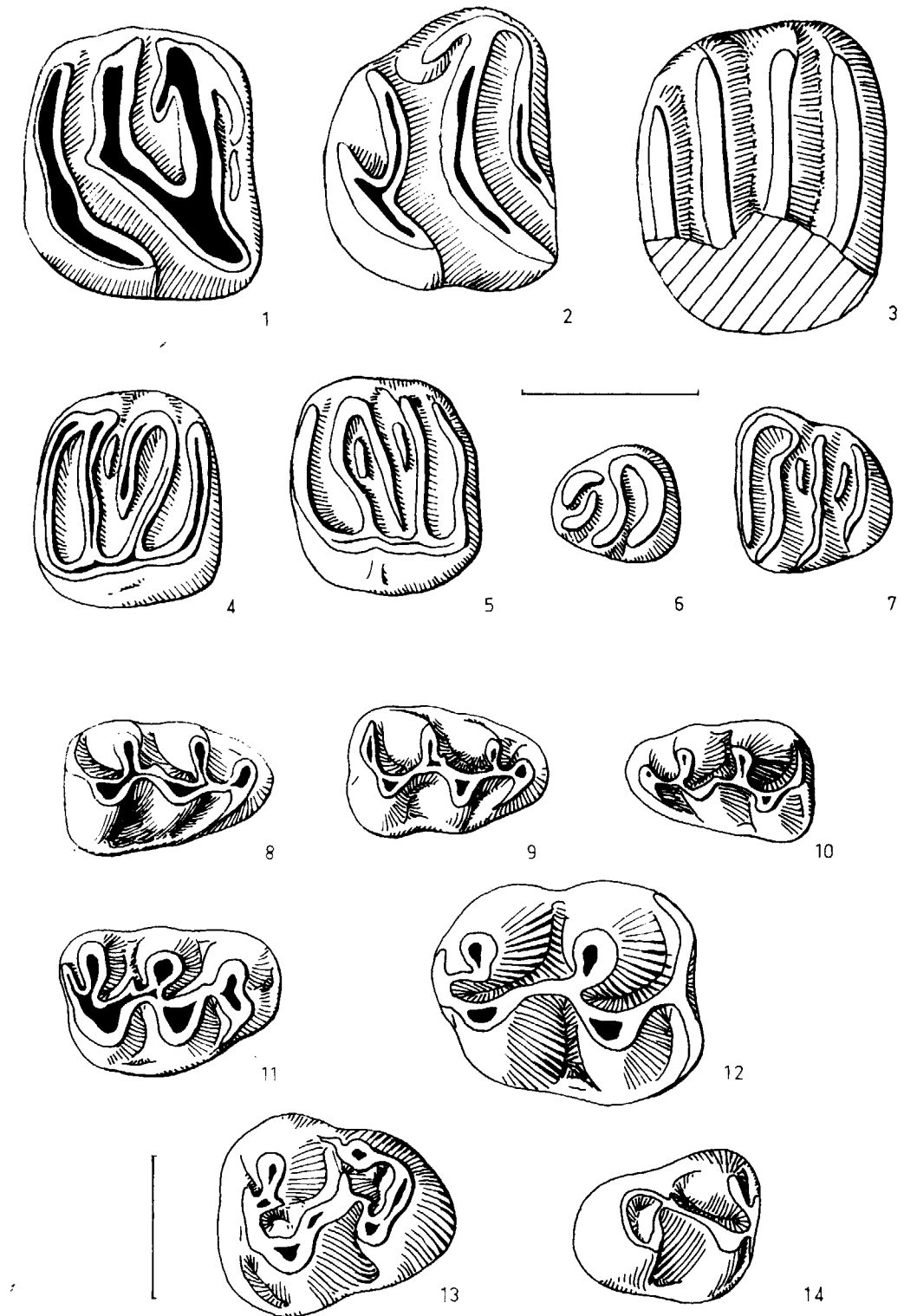


Lámina 3.—*Pseudodryomys robustus* de Madrid. 1: M^1 sup. izq. de O'Donnell. 2: M^3 inferior dcho. de Arroyo del Olivar. 3: M^2 sup. dcho. de O'Donnell con protocono fragmentado. *Microdryomys koenigswaldi* de O'Donnell. 4: $M^{1,2}$ sup. dcho. 5: $M^{1,2}$ sup. izq. 6: P_4 inferior izq. 7: M^3 inferior izq. *Megacricetodon collongensis* de Madrid. 8: M^1 inferior dcho. de Arroyo del Olivar. 9: M^1 inferior dcho. de S. Isidro. 10: M^1 inferior izq. de San Isidro. 11: M^1 superior dcho. de O'Donnell. *Fahlbuschia* sp. de Madrid. 12: M^2 sup. dcho. de Arroyo del Olivar. 13: M^3 inferior izquierda de O'Donnell. *Fahlbuschia* cf. *koenigswaldi* de O'Donnell. 14: M^3 inferior dcho.

mismo lirón, atribuyéndolo a *P. robustus*. El interés que tiene este hallazgo es que en la secuencia del Aragoniense estratotípico de Calatayud-Daroca (DAAMS y FREUDENTHAL, 1981), *Pseudodryomys* no existe en la zona E, extinguiéndose en el techo de la zona D. Aunque los criterios de extinción no son fiables en biostratigrafía, y este fenómeno está sujeto a una fuerte componente regional, la semejanza entre las faunas aragonesas y madrileñas es muy alta, y las diferencias que puedan observarse son muy significativas. En el caso de *Pseudodryomys robustus-simplicidens*, que son lirones endémicos de la Península Ibérica, y que nunca han podido ser interpretados desde el punto de vista paleoecológico, su comportamiento en ambas cuencas cobra una especial relevancia.

Género *Microdryomys* (lám. 3, figs. 4 a 7).

Especie *M. koenigswaldi* DE BRUIJN, 1967.

Se trata de un lirón muy pequeño, del tamaño de un ratón doméstico, que aparece en Europa en el Oligoceno Superior y se extingue al final del Aragoniense, quedando como una reliquia en el Vallesiense Superior de la cuenca del Duero (ALVAREZ, 1983). Tiene coronas dentarias bajas, complejas, con numerosas crestas accesorias y endo-lofo. Los dientes inferiores se asemejan a los de *Peridyromys*, pero los dientes superiores son inconfundibles. Sólo se ha hallado en el yacimiento de O'Donnell (10 restos).

Se distinguen cinco especies de *Microdryomys* en base a la talla y al número de crestas accesorias. DAAMS (1981) ha revisado el género y propuesto una sucesión de especies en la que coexisten tres especies (*M. monspeliensis*, *M. koenigswaldi* y *M. complicatus*) asociadas dos a dos en las tres combinaciones posible, y procedentes de distintos ancestros. Según este esquema, *M. koenigswaldi* de talla grande y complicación dentaria intermedia, sería el más semejante a la población de Madrid. Esta especie se extiende en la cuenca de Daroca desde la base de la zona D hasta el final del Aragoniense.

La asociación de *Peridyromys* y *Microdryomys* muestra una sustitución del primer taxón por el segundo, que es progresiva si se contempla su abundancia relativa (DAMMS y V. MEULEN, 1984). Este reemplazamiento ha sido interpretado como una señal asociada a un aumento de temperatura.

Microdryomys es muy abundante en yacimientos especiales, como Sansan y Anwil (Aragoniense Superior del S de Francia y Suiza respectivamente) que constituyen enclaves microclimáticos de fauna tropical con numerosos primates; por esta razón, este taxón se considera un marcador termófilo que desaparece en el Vallesiense (con la crisis climática que inicia un ciclo de clima templado) salvo en enclaves especiales como la cuenca del Duero.

Género *Megacricetodon* FAHLBUSCH, 1964 (lámina 3, figs. 8 a 11).

Especie *M. collongensis*.

Es uno de los hamsters más frecuentes en el Mioceno de Europa occidental. El género se extiende desde el Aragoniense Medio hasta el Vallesiense Inferior. Desde el Aragoniense Superior coexisten dos especies de distinta talla en la mayoría de las localidades, mientras en el Aragoniense Medio sólo se encuentra una especie. Este es el caso de estas poblaciones de Madrid, que muestran una gran homogeneidad y se pueden atribuir todas a una sola especie.

Megacricetodon está representado por más de 50 restos procedentes de las localidades de O'Donnell, S. Isidro, C. Pegaso, Trapero y Almodóvar. Ha sido citado asimismo en Moratines (ALBERDI y col., 1981), y sus características concuerdan en todas las poblaciones: anterocónido simple, un único anterolóbulo labial, mesolóbulo muy reducido o ausente, anterocono dividido, mesolofo medio, que se detiene contra el flanco del metacono, uniones transversas o retroversas, posterolofo de tamaño medio. La talla de M_1 oscila entre 1,29 y 1,47 mm. de longitud.

Se han descrito más de 12 especies de *Megacricetodon* en Alemania, Francia y España y definido tendencias evolutivas dentro del grupo, que han sido utilizadas en las divisiones biocronológicas: aumento de la talla, división del anterocónido, reducción de mesolobos-mesolóbidos, retroversión de las uniones entre cúspides en los molares superiores, reducción del posterolofo. Varios estudios sistemáticos sobre este género en España han sido emprendidos por FREUDENTHAL (1963), SESÉ (1977), AGUILAR (1980) y actualmente en curso por DAAMS. Las poblaciones de Calatayud-Daroca, Buñol (Valencia) y Portugal parecen ordenarse conforme a las tendencias evolutivas citadas, en

una secuencia de especies denominadas: *M. primitivus* (de Chelas 1 y Buñol, zona C) — *M. collongensis* (Valdemoros 3 B hasta Las Planas, zonas D y E) — *M. minor* + *M. crusafonti* (Manchones, zona G) y *M. minor/debruijini* + *M. ibericus* (Nombrevilla, zona H). Las poblaciones de Madrid pueden ser perfectamente incluidas en la especie de *M. collongensis* coincidiendo con las tallas de las poblaciones de la zona D (Valdemoros) que son más pequeñas que las de la zona E (Las Planas) (ver gráfico 3).

La posibilidad de utilizar la evolución de *Megacricetodon* en biostratigrafía y en la correlación entre las distintas regiones de Europa ha llevado a proponer modelos de filogenia entre las 12 especies actualmente reconocidas (SESÉ, 1977; AGUILAR, 1980), pero se tropieza con una dificultad metodológica. La filogenia basada en la escuela clásica necesita conocer previamente la sucesión temporal; hasta ahora se ha trabajado con faunas aisladas, y la superposición era inferida precisa-

mente en base a las especies de *Megacricetodon*, con lo cual la filogenia era un círculo vicioso. Es de suponer que pueda proponerse un modelo estable cuando estén estudiadas las poblaciones de *Megacricetodon* de Calatayud-Daroca, que se encuentran en superposición estratigráfica.

AGUILAR (1981) ha propuesto una filogenia en la cual las poblaciones de *M. collongensis* francesas serían diacrónicas y más antiguas que las poblaciones semejantes de España. Nosotros retenemos sin embargo la hipótesis más parsimoniosa, en tanto no se conozcan las secuencias biostratigráficas que obliguen a pensar en tal diacronía.

Megacricetodon es más abundante todavía en el Aragoniense Superior, donde llega a constituir el 85 por 100 de la fauna de Roedores. Esta enorme superpoblación ha conducido a atribuir a este hamster un modo de vida gregario, a modo de plaga temporal como los actuales Microtinos. Se le supone un habitat de terreno abierto, de tipo sabana o «estepa» cálida (WEERD & DAAMS, 1976).

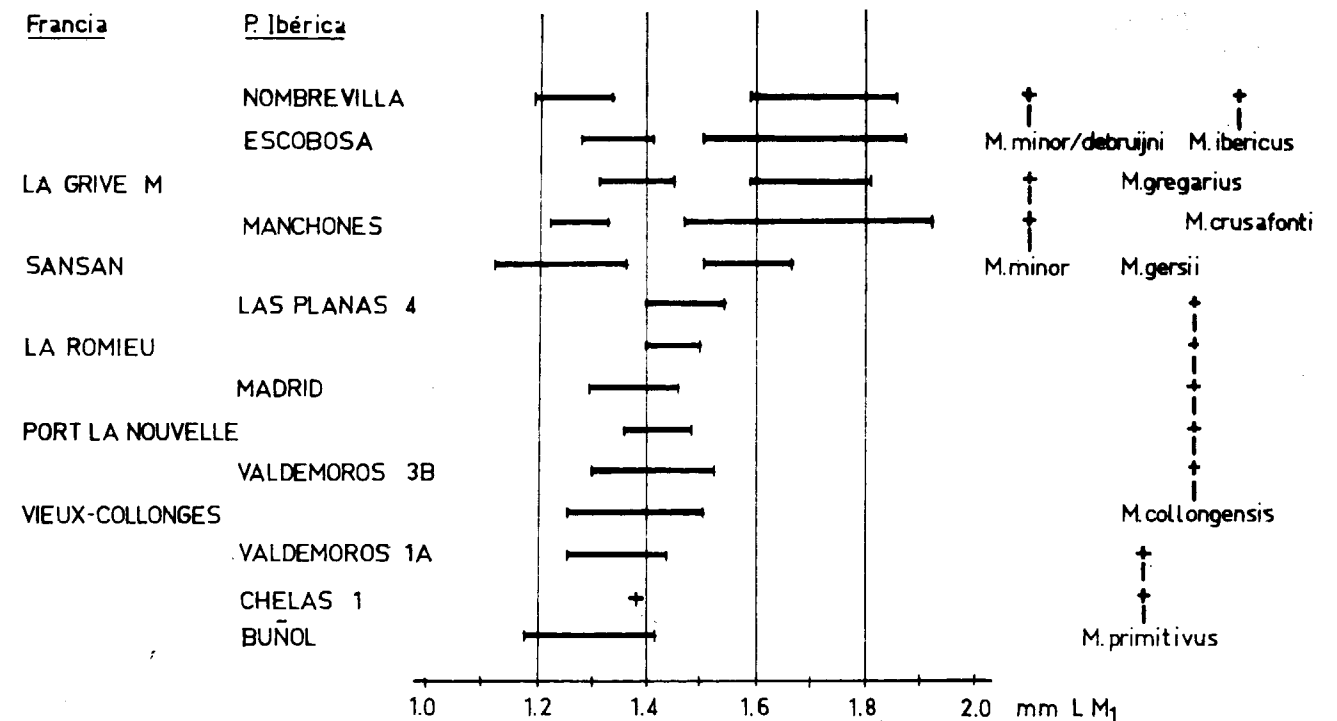


Figura 2.—Diagrama de la variación de tamaño del género *Megacricetodon* en distintas localidades del Aragoniense Medio y Superior de Francia, España y Portugal. Datos de FREUDENTHAL (1963), AGUILAR (1981) y propios.

Género *Fahlbuschia* MEIN & FREUDENTHAL, 1971.

Especies *F. koenigswaldi* y *F. sp.* (lám. 3, figs. 12 a 14).

Este hamster es típico del Aragoniense ibérico, y se asemeja al género *Democricetodon* con tallas siempre más grandes. Se atribuyen a este género unos 15 restos procedentes de las localidades de O'Donnell y C. Pegaso.

Las poblaciones de ambas localidades son heterogéneas, y se separan fácilmente en dos grupos de talla diferente. Es la primera vez que se reconocen dos especies de este género coexistiendo en la misma localidad. Hasta ahora sólo se había nombrado una especie en cada yacimiento, desde el Aragoniense Medio (*F. koenigswaldi*) hasta el Aragoniense Superior (*F. darocensis*).

La pequeña especie de Madrid muestra protolólulo doble en M^2 y M_1 de contorno rechoncho, con longitudes de M_1 de alrededor de 1,80 mm. Es mayor que *F. koenigswaldi* pero sus características morfológicas se asemejan a esta especie. La especie grande tiene protolólulo simple en M^2 y M_1 muy alargado, semejante a *Megacricetodon* pero con fuerte anterolólido lingual. La denominamos *Fahlbuschia sp.* y sus M_1 miden alrededor de 2,15 mm.

El estudio sistemático detallado del género *Fahlbuschia* en la secuencia faunística de Calatayud-Daroca está actualmente en curso por M. FREUDENTHAL. Este autor nos ha confirmado la existencia de dos especies simultáneas en algunas localidades de Aragón, y ambas se pueden relacionar perfectamente con las de Madrid. Dado que es en la cuenca de Daroca donde existen las mejores condiciones para el estudio de este grupo, dejamos esta nueva especie en nomenclatura abierta hasta que sea nombrada en Aragón.

— Orden Insectívora

Galerix exilis (de BLAINVILLE, 1890).

Durante el Mioceno hay en la Península Ibérica dos especies de este insectívoro: *Galerix exilis* y *Galerix socialis*. La primera especie es muy común desde el Aragoniense Inferior hasta el Aragoniense Superior y a partir del Vallesiense es reemplazada por *G. socialis* en el Vallés-Penedés (GIBERT, 1975). La diferenciación de estas dos especies es sutil: la serie dentaria inferior de *G. socialis* es cre-

ciente de P_1 a P_4 , sin embargo en *G. exilis* P_3 es más pequeño que P_2 ; otro carácter discriminante de ambas especies es el P^3 en el que en *G. socialis* hay dos cúspides en la parte lingual mientras que en *G. exilis* sólo hay una (Sesé, 1980). El P^3 hallado en O'Donnell permite comprobar que la especie madrileña es *G. exilis*, restringida al Aragoniense. Este insectívoro aparece también en los yacimientos de Ciudad Pegaso, San Isidro y Arroyo del Olivar.

Cf. *Crociturinae* gen. sp. indet. (fig. 3b).

Los caracteres invocados por REPENNING (1967) para la diferenciación de las diversas subfamilias de los Sorícidos: *Crociturinae*, *Soricinae*, *Heterosoricinae*, *Allosoricinae* y *Limnoecinae* se refieren fundamentalmente a caracteres de la mandíbula (la forma del cóndilo mandibular) y la dentición (estructura de la parte posterior del P_4) que complementadas con otros caracteres morfológicos de la dentición permiten la separación taxonómica de subfamilias y géneros. El material de que disponemos en las poblaciones de Almodóvar, Trape-ro, San Isidro y O'Donnell es muy fragmentario. Sólo disponemos de algunos dientes aislados y un fragmento mandibular, pero faltan piezas tan claves como el cóndilo mandibular, P_4 inferior o series dentarias completas, lo que dificulta la atribución de este material a una u otra subfamilia.

Un carácter frecuentemente invocado para la distinción de algunas subfamilias de Sorícidos es la ausencia de pigmentación en los dientes de *Crociturinae* y *Allosoricinae* y presencia de pigmentación en algunos representantes de *Limnoecinae* y la pigmentación característica en *Soricinae*. Sin embargo, REPENNING (1967) señala que en algunos géneros de *Soricinae* la pigmentación es débil y en otras ausente. Los dientes de nuestras reducidas poblaciones no presentan señales de pigmentación. Otro carácter señalado para la separación de las diversas subfamilias es la reducción del talónido en M_3 inferior a prácticamente una sola cúspide en *Crociturinae*. REPENNING (1967) señala que aunque este carácter es prevalente en esta subfamilia, también se encuentra en algunos *Soricinae* y *Limnoecinae*, aunque no en *Heterosoricinae*. En el M_3 inferior de San Isidro el talónido está muy reducido con una sola cúspide presente (hipocónido). En ausencia de otros caracteres morfológicos más definitivos, creemos que el escaso material de Sorícidos de nuestras

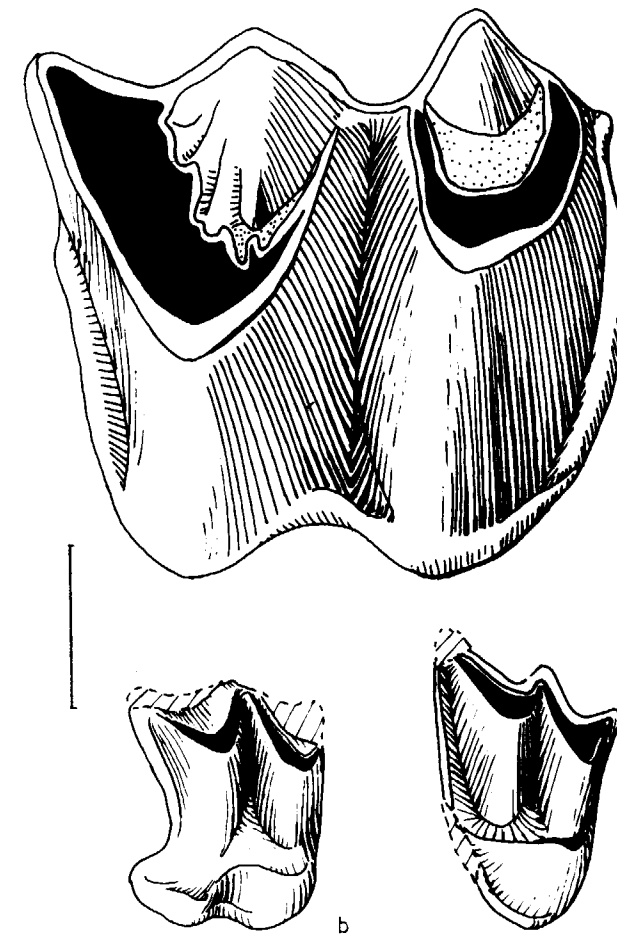


Figura 3.—a) M_1 inferior de *Caenotherium sp.* de O'Donnell. b) M^2 superior de cf. *Crociturinae* gen. sp. indet. de S. Isidro. c) M^1 superior de Mamífero indet. de S. Isidro.

poblaciones podría asimilarse con reservas a la subfamilia *Crociturinae* por dos caracteres: ausencia de pigmentación y reducción del talónido en M_3 que aunque no son concluyentes, al menos este último carácter parece ser más propio de los *Crociturinae* que de las demás subfamilias.

Mamífero indet.

Un único diente hallado en S. Isidro no se puede identificar fácilmente con ningún Micromamífero. Se trata de un M^1 superior derecho casi completo al que le falta un pequeño fragmento del metastilo y del cíngulo posterior (fig. 3c). Por la simetría de la muralla y el aspecto general del

diente se asemeja a los Quirópteros, pero se diferencia de los murciélagos comunes en la falta de saliente parastilar, y en la ausencia de cíngulo anterior, terminando la preprotocrista en el flanco del paracono. Estos dos caracteres lo diferencian del orden Chiroptera (SEVILLA, com. pers.) y lo asemejan a los Insectívoros. No obstante, no es posible incluirlo entre los Insectívoros por el cíngulo labial que rodea al protocono, ausente en los Tálpidos y Erinaceidos, y la falta de talón característico de los Sorícidos.

Bioestratigrafía

Los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid se encuentran en la Unidad Intermedia del Terciario continental, salvo el resto hallado en el sondeo SGOP que pertenece a la Unidad Inferior (ALBERDI y col., 1983). Las unidades cartográficas han sido correlacionadas con criterios sedimentológicos y estratigráficos, dado que las faunas han sido homogéneas y no permiten distinciones biocronológicas.

En la figura 4 se resume un esquema de correlación litostratigráfica en una columna sintética y la posición correspondiente de las localidades fosilíferas. La secuencia faunística puede ser completada con los yacimientos de Paracuellos, situados en las arcosas gruesas a techo de la Unidad Intermedia, que no serán estudiados aquí por encontrarse fuera del área de Madrid.

La sucesión de Micromamíferos presenta muy pocas variaciones verticales, y todos los yacimientos constituyen una única unidad bioestratigráfica.

El yacimiento de Moratines (ALBERDI y col., 1981) presenta algunas diferencias con los demás, en lo que respecta al tamaño de *Heteroxerus* y *Armantomys*, que podrían representar dos especies cada género. El caso de *Heteroxerus* podría tener importancia en la correlación con la secuencia de la Cuenca de Calatayud (DE BRUIJN, 1967), pero su significado es aún poco claro, dada la escasez de fauna en Moratines y la falta de una revisión sistemática de las ardillas (Tesis Doctoral de CUENCA en curso).

Los yacimientos de las facies «peñuela» presentan una diferencia con los de las arcosas finas, la presencia de *Caenotherium*, pequeño Artiodáctilo del tamaño de una liebre, que es particular-

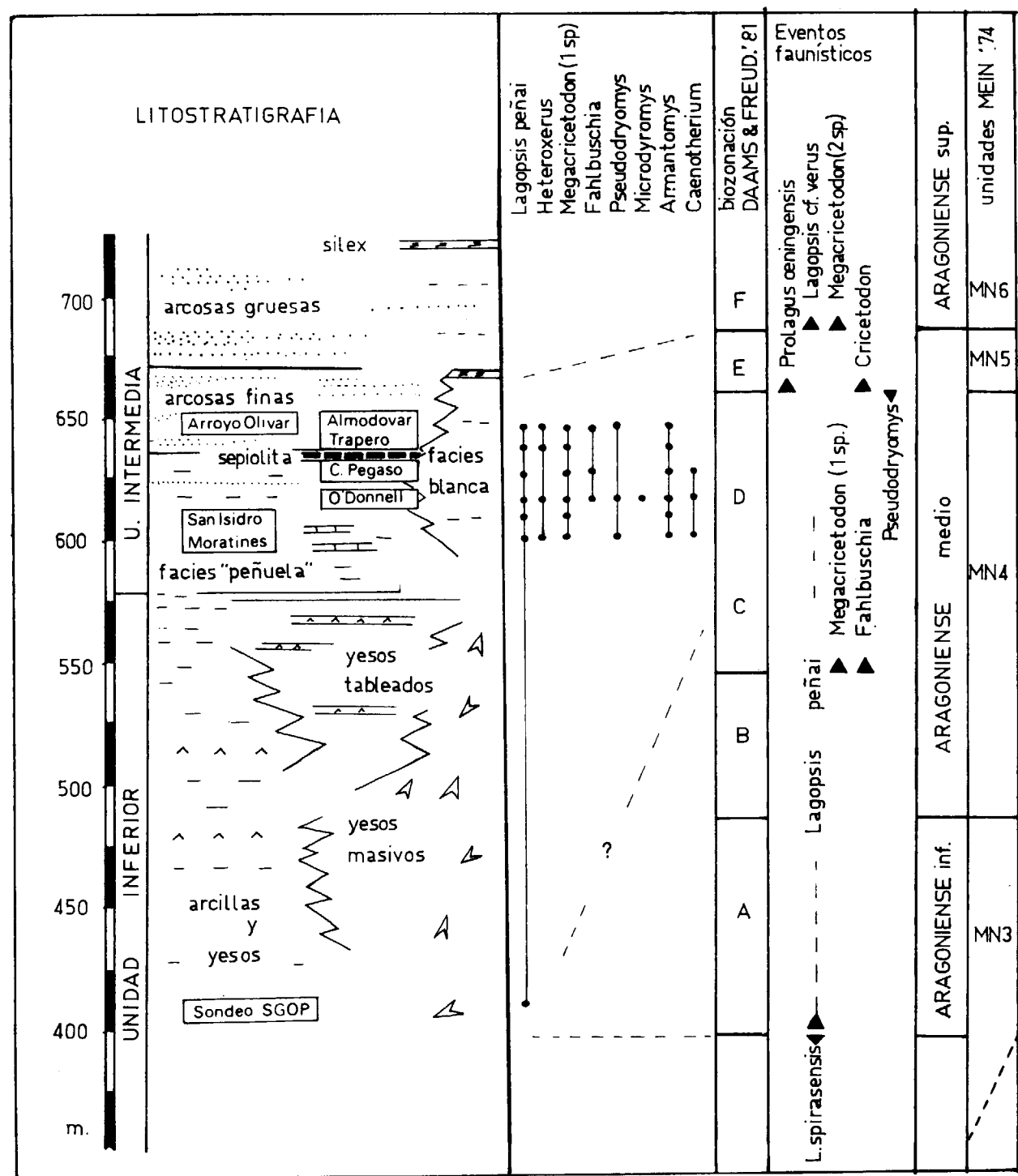


Figura 4.—Bioestratigrafía de los yacimientos de Micromamíferos del área de Madrid. Correlación con la escala bioestratigráfica de la Cuenca de Catalayud-Daroca, y con la escala biocronológica del Terciario continental europeo.

mente abundante en los yacimientos de O'Donnell y C. Pegaso. Este primitivo rumiante no aparece en los yacimientos estratigráficamente superiores. Su ausencia puede ser debida a una extinción evolutiva, ya que este animal es un paleoendemismo en el Mioceno ibérico y había sido ya eliminado en latitudes más templadas. Pero su ausencia puede ser debida simplemente a factores ecológicos, como ocurre con el équido *Anchitherium* que aparece asociado a las arcillas y muy raramente en las arcosas.

El escaso significado de estas diferencias en la secuencia faunística conduce a agrupar a todas las faunas del área de Madrid en una única unidad bioestratigráfica, fácilmente referible al Aragoniense Medio en base a la presencia de *Megacricetodon* con una sola especie, *Fahlbuschia* y *P. robustus*.

El Aragoniense, subdividido en tres periodos, posee una secuencia-tipo en el área de Daroca que puede ser correlacionada en detalle con la de Madrid. La zona D de DAAMS y FREUDENTHAL (1981) presenta una asociación semejante a las faunas del área de Madrid (ver fig. 4) con *Megacricetodon*, *Fahlbuschia*, *Heteroxerus*, *Armantomys*, *Pseudodryomys* y *Lagopsis peñai*. La única especie de *Megacricetodon* presente, *M. collongensis*, presenta en esta zona la misma talla que en Madrid (ver fig. 3).

Al contrario, las faunas de Daroca de la zona E se diferencian en su composición de las de Madrid; en la zona E aparecen *Cricetodon* y *Prolagus* ausentes en las de Madrid, y desaparece *Pseudodryomys* que, sin embargo, aparece en Madrid hasta en los niveles de Arroyo del Olivar.

Así, pues, según los criterios de las zonas de conjunto (Assemblage-zones) utilizados en el Aragoniense estratotípico, las faunas de la unidad de Madrid pueden correlacionarse con las de la zona D de la Cuenca de Calatayud-Daroca.

Sin embargo es posible anotar algunas diferencias en los caracteres de ciertas especies de Madrid respecto a faunas atribuidas a la zona D. El género *Heteroxerus* presenta en Madrid gran variabilidad, y en general un tamaño grande semejante a *H. grivensis*. Esta especie en Calatayud-Daroca aparece en el Aragoniense Superior (zona grivensis de DE BRUIJN, 1967, equivalente a las zonas F y G de DAAMS y FREUDENTHAL, 1981), y se

ha descrito también una fuerte variabilidad en *Heteroxerus* de poblaciones atribuidas a la zona E. En las de la zona D, sin embargo, se encuentra generalmente *H. rubricati* de talla más pequeña. Esta especie ha sido citada en Moratines (ALBERDI y col., 1981), pero el examen detallado muestra una mayor variabilidad de tamaño que la admitida para *H. rubricati*.

La secuencia de Madrid debe ser completada para poder interpretar las diferencias observadas y establecer las correlaciones precisas; pero, en principio, son más útiles los criterios de asociación, mientras no existan las revisiones sistemáticas definitivas que permitan utilizar los criterios evolutivos en la correlación. Por ejemplo, los casos de *Fahlbuschia* y *Armantomys*, utilizados en la distinción entre las unidades de MEIN MN 4 y MN 5 no son indicativos de una sucesión bioestratigráfica en faunas aisladas, porque existen dos líneas evolutivas simultáneas donde se había interpretado que existía sólo una.

El dato paleontológico procedente del sondeo SGOP es muy importante para la datación de la Unidad Inferior, pero insuficiente para una precisión bioestratigráfica. La aparición de *Lagopsis peñai* en la base del Aragoniense es el límite de edad que puede proponerse para este hallazgo; pero desde este límite hasta las faunas de Madrid existen al menos tres biozonas (A, B, C) que contienen *L. peñai* y que no pueden ser distinguidas en base a esta especie (ver fig. 4).

Introducción al estudio paleoecológico

El interés que los análisis paleoecológicos presentan para la interpretación paleoclimática y el significado de los procesos geológicos ha sido entendido en los estudios paleontológicos desde hace cien años. Sin embargo, hasta que no se ha avanzado en el conocimiento de las faunas fósiles y en los estudios ecológicos actuales no se han podido proponer modelos de interpretación paleoecológica.

Los análisis de faunas continentales están mucho más atrasados que los de faunas marinas debido a la falta de información anteriormente señalada. No obstante, desde SHOTWELL, 1955; DE VOORIES, 1969; OLSON, 1966, hasta los más recientes de WEERD y DAAMS, 1978, y el interin-colonio de Montpellier (1983), pasando por los es-

tudios tafonómicos sobre faunas actuales (BEHRENSMEYER et al., 1980) existen ya suficientes métodos para proponer interpretaciones paleoecológicas de faunas continentales.

Se han utilizado principalmente dos tipos de aproximaciones al problema:

- 1) El significado ambiental de algunos marcadores ecológicos ligados muy estrechamente al medio. Es el caso, por ejemplo, de los castores, las ardillas terrestres, etc. Este significado puede ser inferido (a partir de organismos actuales emparentados) o deducido (en base a consideraciones morfofuncionales o geográficas).
- 2) El estudio de algunas variables ecológicas tales como la diversidad, equitabilidad, distribución trófica, etc. A las variaciones de estos índices se les atribuye un significado preciso, deducido a partir de la comparación de ecosistemas actuales.

De forma todavía preliminar, las faunas de Madrid pueden ser interpretadas desde el punto de vista paleoecológico, con estos dos tipos de criterios. En primer lugar, los Micromamíferos de Madrid poseen pocas especies, tres o cuatro de entre ellas representadas por un gran número de individuos. Esta escasa diversidad es aún menor que la que se observa en otras faunas del Aragoniense Medio de la Depresión Intermedia (p. ejemplo, Córcoles, DÍAZ y LÓPEZ, 1979) y de Calatayud-Daroca. En segundo lugar, las especies dominantes en Madrid son herbívoros de coronas dentarias hipsodontas (*Lagopsis*, *Armantomys*, *Pseudodryomys*), especialistas en alimentación herbácea de tipo xerofítico. Estos dos criterios conducen a inferir para estas faunas un medio muy abierto y árido, dominado por la vegetación dura. La ausencia de taxones propios de ambientes húmedos como *Democricetodon*, *Eumyarion*, *Eomyi*idos, ardillas arbóreas, etc., que existen en el Aragoniense Medio de Europa central y occidental indica que este tipo de ambiente no estaba extendido en la Cuenca de Madrid. Las condiciones de aridez vienen asimismo indicadas por la dominancia de los reptiles sobre los mamíferos, la ausencia de peces, y los factores tafonómicos observados: desconexión de los huesos, y coloración blan-

ca, que indican alteración de la materia orgánica en medio aéreo. En la figura 5 se propone una reconstrucción del paisaje y fauna del yacimiento de O'Donnell.

Respecto a la temperatura existente en este ambiente suponemos que debía ser cálida por la presencia de dos taxones supuestamente termófilos (*Lagopsis* y *Mycrodryomys*) y la abundancia de los reptiles. Muchos de los Micromamíferos de las faunas de Madrid son endemismos ibéricos o bien se encuentran limitados a bajas latitudes en Europa; casi todos desaparecen en el límite Aragoniense-Vallesiense, que se supone coincide con una fase de enfriamiento (GARCÍA-MORENO, 1983).

Estas condiciones subdesérticas atribuidas a las faunas de Madrid son las que CHAMLEY (1983) supone necesarias para la formación de minerales fibrosos de la arcilla (sepiolita, paliworsquita) tan abundantes en el Aragoniense madrileño.

La fase cálida y árida en el Mioceno Medio del Tethys ha sido detectada asimismo por alteración del cuarzo y por análisis isotópicos en conchas marinas (MÜLLER, 1984) y coincide en el mar con el Langhiense, y en el continente con las zonas D, E y F de DAAMS y FREUDENTHAL, 1981, situándose el máximo en la zona E (DAAMS y V. DER MEULEN, 1984).

AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han colaborado en el proyecto «Geología de Madrid», gracias a las cuales ha sido posible este estudio. El Dr. José Pedro Calvo, del Departamento de Petrología de la Universidad Complutense, dirigió eficazmente el área de Geología y contribuyó en la prospección paleontológica. El Dr. Antonio Goy, del Departamento de Paleontología, coordinó el proyecto y dirigió el área cultural. Dentro de ésta, agradecemos la labor del Sr. Ernesto Gallego en la promoción y protección de los yacimientos paleontológicos.

La mecanografía de este trabajo corrió a cargo de María de Andrés. Los dibujos son de una de las autoras (N. L. M.).

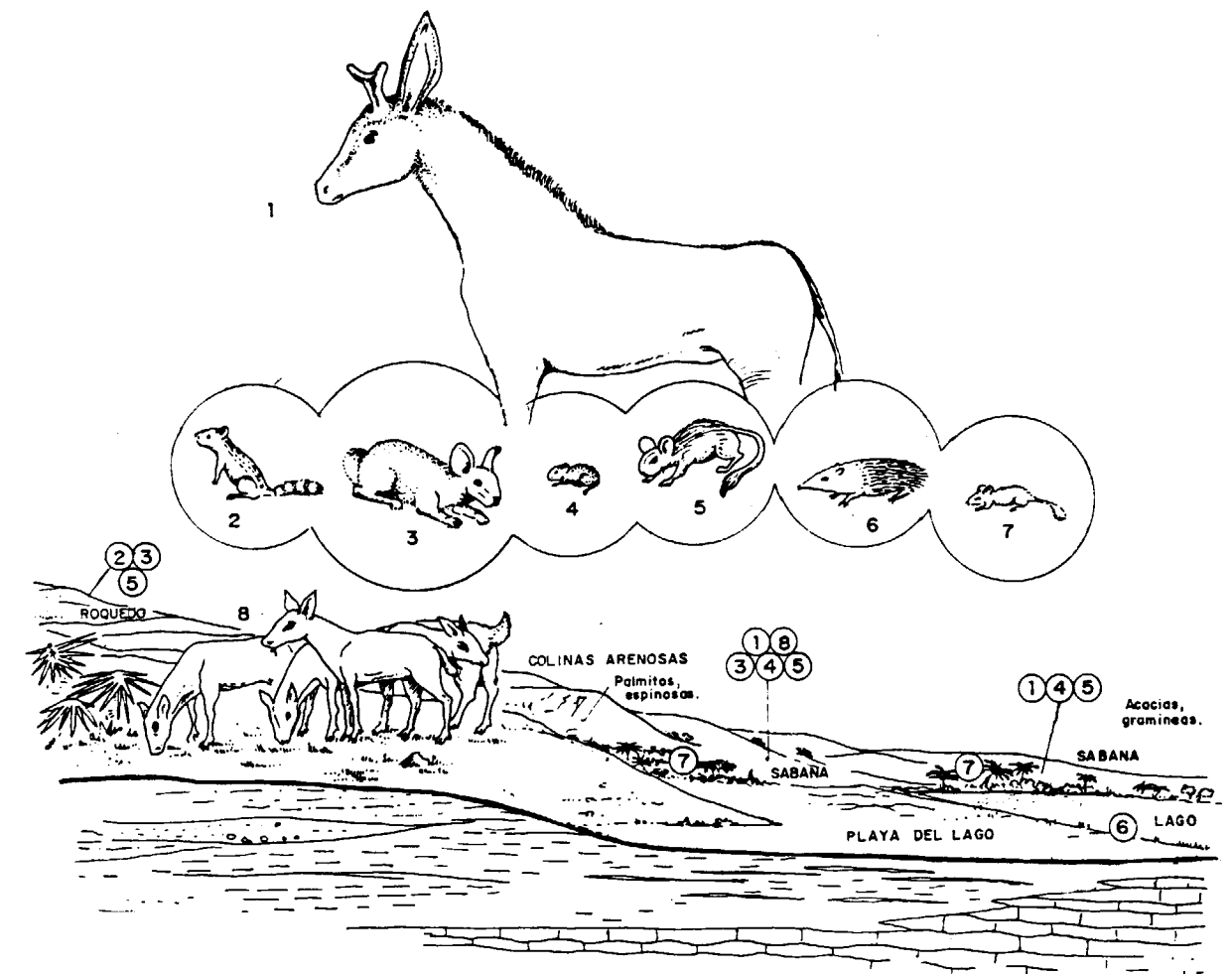


Figura 5.—Reconstrucción del paisaje y fauna del yacimiento de O'Donnell: 1, *Triceromeryx*, ruminante con 3 cuernos, habitante de sabana. 2, *Heteroxerus*, ardilla terrestre habitante de los terrenos abiertos, como los perritos de las praderas. 3, *Lagopsis*, liebre silbadora o pika, como *Heteroxerus* habitante de estepas y sabanas. 4, *Fahlbuschia*, hamster ibérico, y 5, *Armantomys*, lirón terrestre, ambos de la sabana. 6, *Galerix*, erizo musaraña, en las proximidades del lago. 7, *Microdryomys*, lirón enano, en matorral y sabana, y 8, *Caenotherium* o ciervo-liebre, en rebaños en la sabana.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR, J. P.: *Nouvelle interpretation de l'évolution du genre Megacricetodon au cours du Miocène*. Palaeovertebrata. Mem. Jub. R. Lavocat, 355-364 (1980).
- AGUILAR, J. P.: *Evolution des Rongeurs Miocènes et Paléogeographie de la Méditerranée Occidentale*. Thèse Acad. Montpellier, 217 pp. (1981).
- ALBERDI, M. T. (Ed.): *Geología y Paleontología del Terciario continental de la provincia de Madrid*. Mus. Nac. Cien. Nat., 8, 145 pp. (1985).
- ALBERDI, M. T.; HOYOS, M.; JUNCO, F.; LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.; MORALES, J.; SESE, C., y SORIA, D.: *Biostratigraphie et*

évolution sédimentaire du Néogène continental de l'aire de Madrid. Interim-Coll. RCMNS. Paleoclimatic Evol., Montpellier, 15-18 (1983).

ALBERDI, M. T.; JIMÉNEZ, E.; MORALES, J., y SESE, C.: *Morantines: primeros micromamíferos en el Mioceno Medio del área de Madrid*. Estudios Geol., 37, 291-305 (1981).

ALVAREZ-SIERRA, M. A.: *Paleontología y Estratigrafía del Mioceno Superior del sector central de la Cuenca del Duero. Los Micromamíferos de la serie de Torremormojón (Palencia)*. Tesis de Licenciatura, Fac. C. Geológicas, Univ. Complutense de Madrid, 210 pp. (1983).

BAUDELLOT, S., y CROUZEL, F.: *La faune burdigalienne des*

- gisements d'Espira de Conflent (Pyrénées Orientales). Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 110 (3-4), 311-326 (1974).
- BEHRENSMEYER, A. K., y HILL, A.: *Fossils in the Making*. Univ. Chicago Press, 415 pp. (1980).
- DE BRUIJN, H.: *Gliridae, Sciuridae y Eomyidae (Rodentia, Mammalia) miocenos de Catalayud (prov. Zaragoza, España) y su relación con la biostratigrafía del área*. Bol. Inst. Geol. Min. España, 78, 187-373 (1967).
- CHAMLEY, H.: *Indications paléoclimatiques fournies par les successions argileuses du Néogène supérieur méditerranéen*. Interim-Coll. RCMNS, Paleoclimatic Evol. Montpellier, 3942 (1983).
- DAAMS, R., y FREUDENTHAL, M.: *Aragonian: the stage concept versus Neogene Mammal zones*. Scripta Geol., 62, 1-17 (1981).
- DAAMS, R., y VAN DER MEULEN, A.: *Paleoenvironmental and Paleoclimatic interpretation of Micromammal faunal succession in the Uper Oligocene and Miocene of North Central Spain*. Palaeobiol. Cont., 14 (2), 241-258 (1984).
- DÍAZ-MOLINA, M., y LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.: *El Terciario continental de la Depresión Intermedia (Cuenca)*. Biostratigrafía y Paleogeografía. Estudios Geol., 35, 149-167 (1979).
- FAHLBUSCH, V.: *Report on the International Symposium on Mammalian stratigraphy of the European Tertiary*. Newsl. Strat., 27 (5), 160-167 (1976).
- FREUDENTHAL, M.: *Entwicklungsstufen der miozänen Cricetodontinae (Mammalia, Rodentia) Mittelspaniens und ihre stratigraphische Bedeutung*. Beaufortia, 119 (10), 51-157 (1963).
- GARCÍA-MORENO, E.: *Paleontología y Biostratigrafía del Mioceno Medio del sector central de la cuenca del Duero. Los Micromamíferos de la serie de Torremormojón*. Tesis de Licenciatura. Fac. C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 187 pp. (1983).
- GIBERT, J.: *Distribución biostratigráfica de los Insectívoros del Mioceno en el NE de España. Biotopos, comparación de cuencas y localidades. Relaciones faunísticas con América del Norte*. Acta Geol. Hisp., 10 (5), 167-169 (1975).
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.: *Revisión sistemática y Biostratigráfica de los Lagomorpha (Mammalia) del Terciario y Cuaternario Inferior de España*. Tesis Doctoral. Fac. C. Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, 470 pp. (1977).
- LÓPEZ-MARTÍNEZ, N.: *Los Lagomorfos (Mammalia) de la sucesión del Mioceno Inferior de Calamocha (prov. de Teruel)*. Col-Pa, 39, 27-44 (1984).
- LÓPEZ, N.; SESE, C., y SANZ, J. L.: *La microfauna (Rodentia, Insectívora, Lagomorpha y Reptilia) de las fisuras del Mioceno Medio de Escobosa de Calatañazor (Soria, España)*. Acta Geol. Hisp., 12 (1-3), 60-68 (1977).
- MEIN, P.: *Biozonation du Neogene Méditerranéen à partir des Mammifères*. Report on Act. RCMNS Working Groups, VII Cong. Bratislava, 78-81 (1975).
- MEIN, P.: *Composition quantitative des faunes de mammifères du Miocène moyen et supérieur de la région lyonnaise*. Paleobiol. Cont., 14 (2), 339-346 (1984).
- VAN DER MEULEN, A., y DE BRULIN, H.: *The Mammals from the lower Miocene of Aliveri (Island of Evia, Greece). Part 2. The Gliridae*. Proc. Kon. Nederl. Akad. Wetensch., 85 (4), 485-524 (1982).
- MULLER, C.: *Changes of relative surface water temperature through the Neogene and Quaternary in the Mediterranean and North Atlantic*. Paleobiol. Cont., 14 (2), 359-370 (1984).
- OLSON, E. C.: *Community evolution and the origin of Mammals*. Ecology, 47, 291-302 (1966).
- REPENNING, C. A.: *Subfamilies and Genera of the Soricidae*. Geol. Surv. Prof. Paper, 565, 1-71 (1967).
- SESE BENITO, C.: *Los Cricétidos (Rodentia, Mammalia) de las fisuras del Mioceno Medio de Escobosa de Calatañazor (Soria, España)*. Trab. Neog. Cuat., 8, 127-180 (1977).
- SESE BENITO, C.: *Mamíferos del Mioceno Medio de Escobosa de Calatañazor (Soria)*. Tesis Doctoral. F. C. Biológicas, Univ. Complutense, 388 pp. (1980).
- SESE, C.; LÓPEZ, N., y HERRAEZ, E.: *Micromamíferos (Insectívoros, Roedores y Lagomorfos) de la provincia de Madrid*. In ALBERDI, M. T. (Ed.): *Geología y Paleontología del Terciario Continental de la provincia de Madrid*. Mus. Nac. Cien. Nat., 8, 29-40 (1985).
- SHOTWELL, J. A.: *An approach to the paleoecology of mammals*. Ecology, 36, 327-337 (1955).
- VOORHIES, M. R.: *Taphonomy and population dynamics of an early Pliocene Vertebrate fauna, Knox Country, Nebraska*. Univ. Wyoming Contrib. Geol. Spec. Paper, 1, 69 pp. (1969).
- WEERD, A. VAN DER, y DAAMS, R.: *Quantitative composition of rodent faunas in the Spanish Neogene and paleoecological implications*. Proc. Koninkl. Nederl. Akad. Wetensch., 81 (4), 448-473 (1978).

Recibido: Mayo de 1986.

El yacimiento Pirítico-Polimetálico, Mina Troya (*)

Por A. MANERA BASSA (**)

RESUMEN

Se realiza un modelo de mineralización tipo Troya definida por una zonación A, B, C, J con características petrológicas y texturales propias.

También se dan los diferentes controles que contribuyen a la génesis del yacimiento.

ABSTRACT

This paper shows the mineralization in Troya deposit defined by in ore zoning in A, B, C and J areas with their own textural and petrological characteristic.

Also shown are different controles that contribute to the ore formation theory.

INTRODUCCION

La Mina Troya se encuentra situada a 3 km. de Mutiloa, provincia de Gipuzkoa, figura 1. El área queda enmarcada dentro de la hoja geológica número 88 del Mapa Geológico de España a escala 1/50.000.

La zona de estudio ha tenido desde el siglo XVII tradición minera, explotándose diferentes sectores hasta hace cincuenta años. EXMINESA, en 1971, inició un programa de exploración que culminó con la localización de un área de interés en Troya. En 1972, mediante el sondeo C-5, se descubrió el depósito; a partir de este momento se ha venido realizando cartografía geológica, geoquímica, geofísica y sondeos, finalizando los estudios con un estudio de viabilidad en diciembre de 1983.

Durante los años 1984 y 1985 se han venido realizando trabajos de investigación y desarrollo en la mina. El artículo se centra en las características genéticas y metalogenéticas del yacimiento.

Desde un punto de vista regional el área de estudio se encuentra en la cadena Pirineo Cantá-

(*) El presente artículo está basado en las investigaciones geológicas realizadas en el yacimiento Troya durante los años 1983-84.

(**) Urbanización Las Mimbreras, bloque núm. 10. Majadahonda (Madrid).

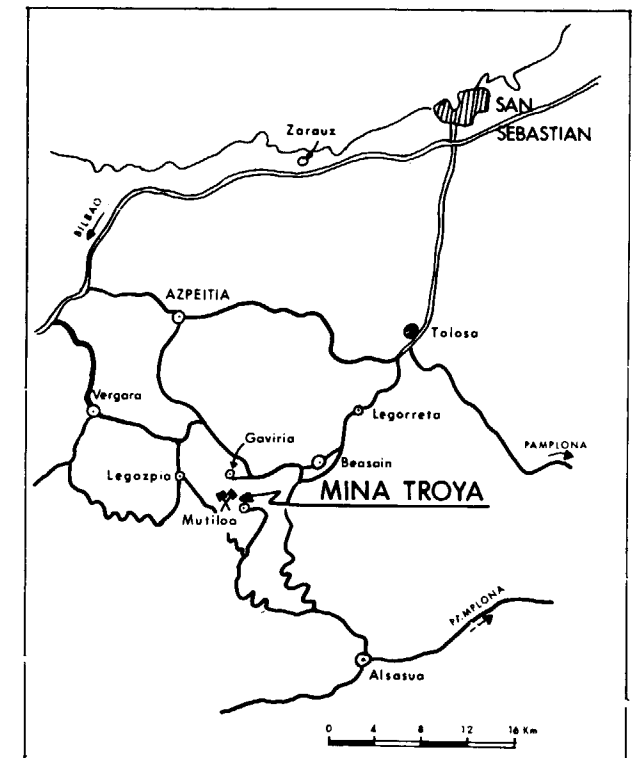


Figura 1

brica y más concretamente forma parte del denominado Arco Basco; es un sector de características singulares, ya que es la zona de tránsito entre las estructuras de dirección NO-SE procedentes del sinclinorio vizcaíno con las de dirección E-O de la Sierra de Aralar. De una manera general se puede decir que existe una gran complejidad tanto desde el punto de vista paleográfico, estratigráfico y estructural.

En la figura 2, se muestra cómo el Dominio Troya se encuentra incluido dentro de una banda de deformación a escala cortical definida por fallas de zócalo de dirección N 30° a lo largo de la cual se producen fenómenos diapíricos que, en nuestro caso, han podido condicionar la formación del yacimiento. A esta banda la llamamos banda Zegama-San Sebastián, que es prácticamente paralela a la existente en Navarra denominada Banda Estella-Elizondo. El estudio de las estructuras circulares unido a otros controles son determinativos en ocasiones para la localización de posibles yacimientos.

ESTRATIGRAFIA DE LA SERIE

Desde el punto de vista estratigráfico se pueden distinguir una serie de unidades de muro a techo; en la figura 3, se muestra la columna estratigráfica resumida de la zona próxima a la mina. La unidad B pertenece al Urganiano, y posiblemente las C, D, E al Supraurgoniano.

Unidad «A»

Constituida por una alternancia de limolitas y areniscas. Su espesor no se conoce.

Unidad «B»

Son calizas recifales (biomicritas y micritas) en las que el contenido de restos orgánicos puede variar tanto lateral como en la vertical. Las calizas pueden pasar a calizas margosas con pasadas de margas y limolitas gris oscuro. Intercalados en las calizas hay niveles de dolomías y sideritas de

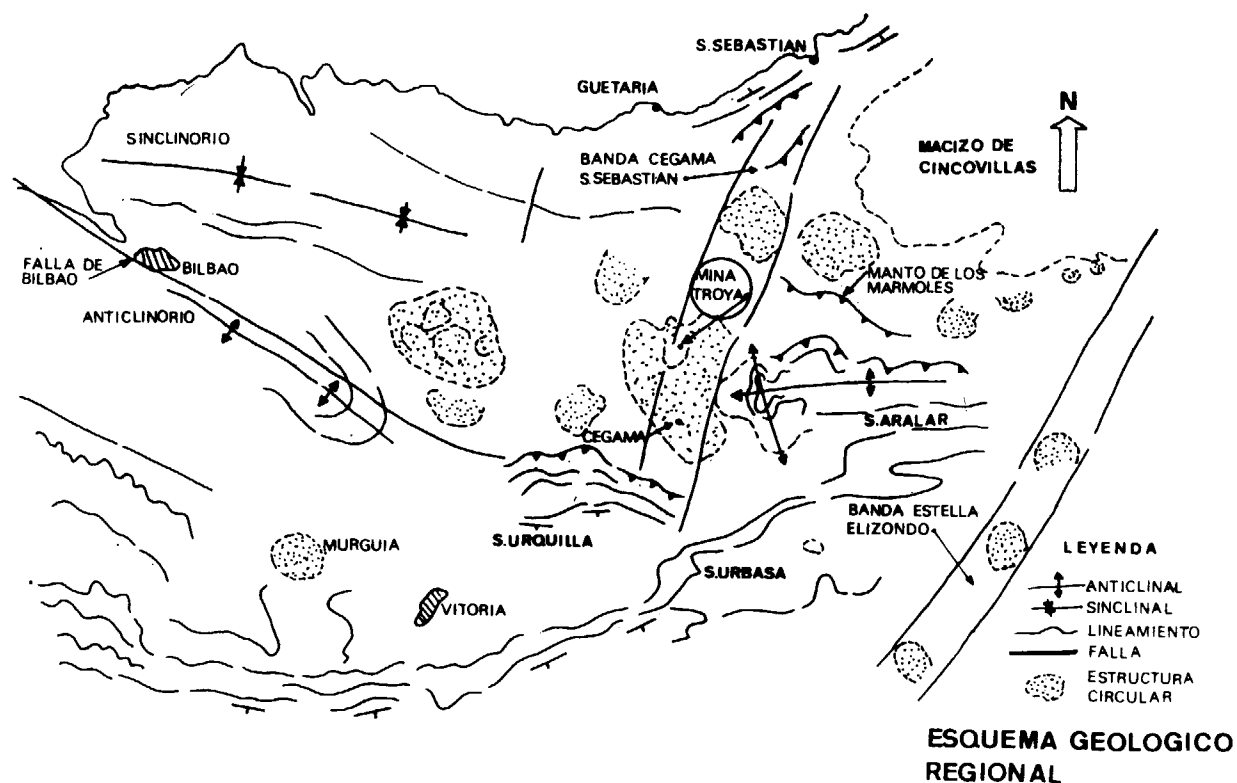


Figura 2

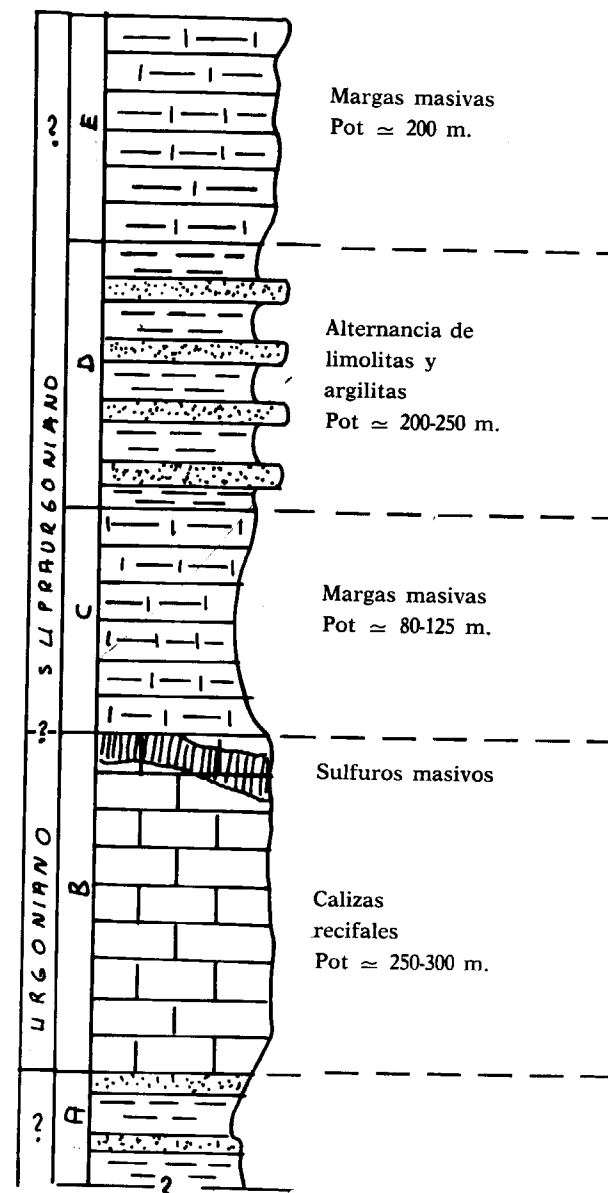


Figura 3

espesor variable. La potencia de la unidad puede variar entre 250 y 300 metros. En esta unidad encaja la mineralización Troya.

Unidad «C»

Margas de color negro, masivas, con intercalaciones de areniscas hacia el techo. El espesor varía entre 80 y 125 metros.

Unidad «D»

Alternancia de areniscas, limolitas y argilitas. Tanto lateral como la vertical las areniscas pueden predominar sobre las limolitas y viceversa.

La potencia varía entre 200 y 250 metros.

Unidad «E»

Son margas masivas negras que lateralmente pueden pasar a barras de calizas margosas.

El espesor estimado es superior a los 200 metros.

TECTONICA

El aspecto tectónico de la zona en la cual se encuentra la mina es muy complejo y viene dado por una combinación de pliegues, fallas y juntas definidas por una serie de fases de deformación. La geometría de los pliegues es de tipo concéntrico como corresponde a un nivel estructural medio. Existen dos direcciones principales de plegamiento, la primera tiene una dirección de N 340° a N 5° y la segunda una dirección de N 100° a N 90°. La geometría de los pliegues influye, en ocasiones, directamente sobre la morfología del mineral provocando ondulaciones de mayor o menor cuantía. Existen dos direcciones principales de fallas y juntas que afectan al yacimiento con desigual intensidad, dependiendo de las zonas. La primera dirección varía entre N 47° (1) a N 80° y la segunda familia entre N 120° a N 160°. Dentro de las dos direcciones anteriores, la primera, a escala de fallas, provoca desplazamientos importantes como el graben producido entre las fallas F1 y F2, figura 4, y la falla F4 al norte del yacimiento, lo cual provoca desplazamientos de cierta consideración.

La segunda familia se manifiesta con menor intensidad a escala de fallas; sin embargo, en el yacimiento, a escala de juntas, es una dirección dominante con un espaciado que varía entre 10 centímetros y 5 metros, que ocasiona en las zonas de poco espaciado aumentos considerables en la ley de la zona mineralizada.

El borde Este del yacimiento se encuentra delimitado por las anteriores direcciones de fallas, fi-

(1) Las direcciones indicadas son azimutales.

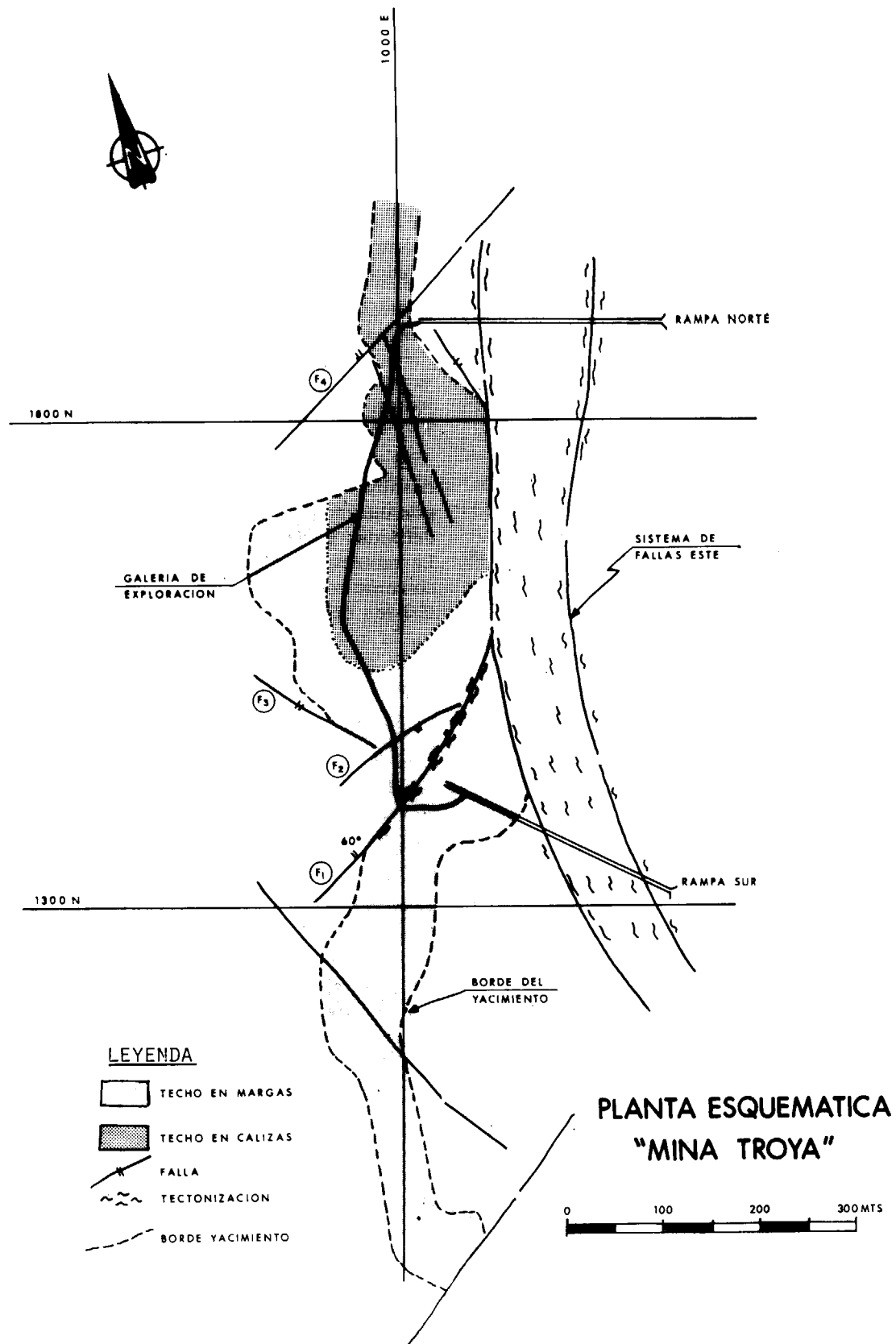


Figura 4

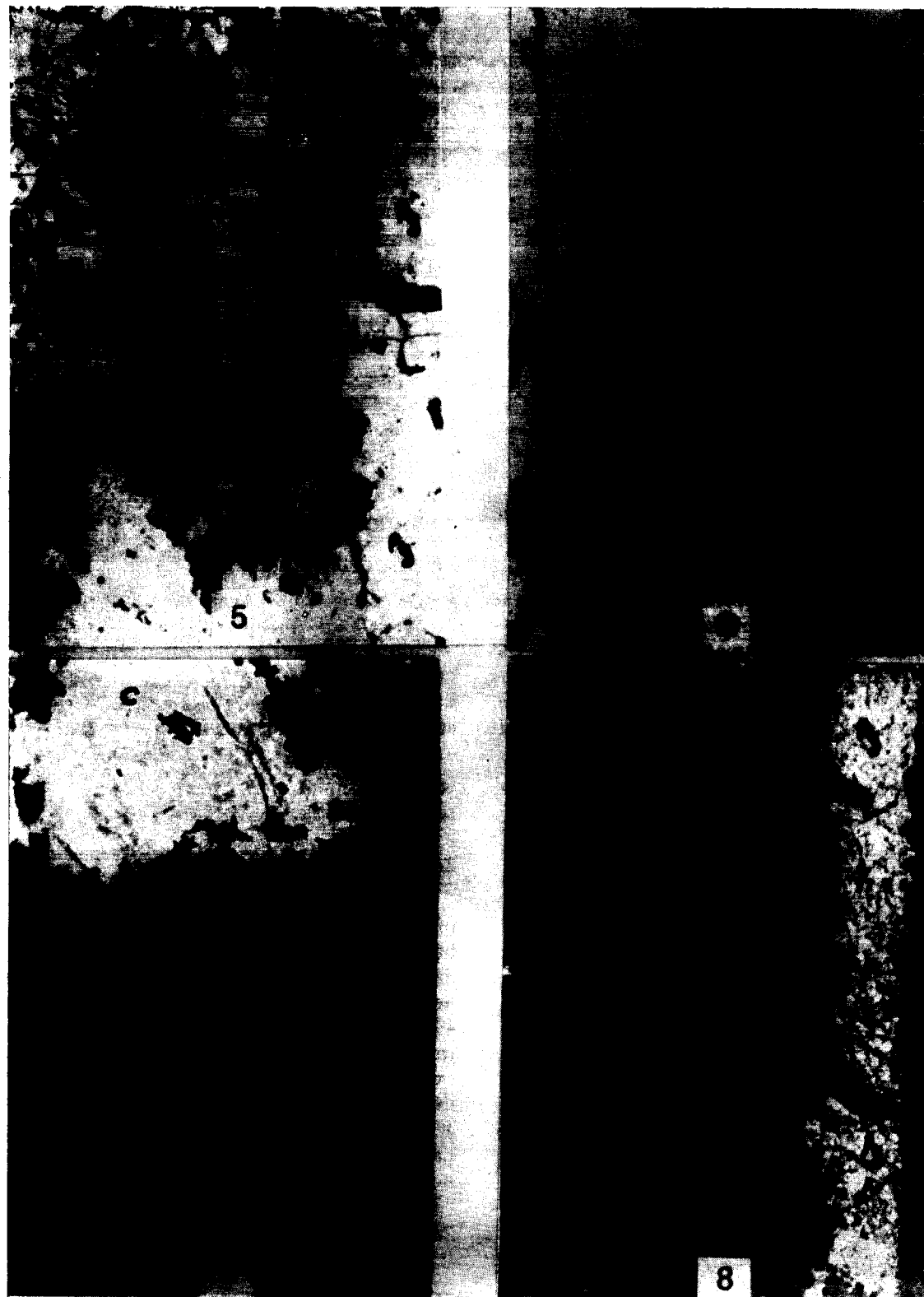


Figura 5.—Rombos de arsenopirita (A) Junto a blenda (B) y pirita (Py).

Figura 7.—Microvenas de blenda (B) atravesando agregados de pirita (Py) entre ganga de carbonatos (C).

Figura 6.—Microvenas de blenda (B) atravesando a la pirita (Py).

Figura 8.—Blenda (B) incluyendo a cuarzos (Q) cerca de una banda de pirita.

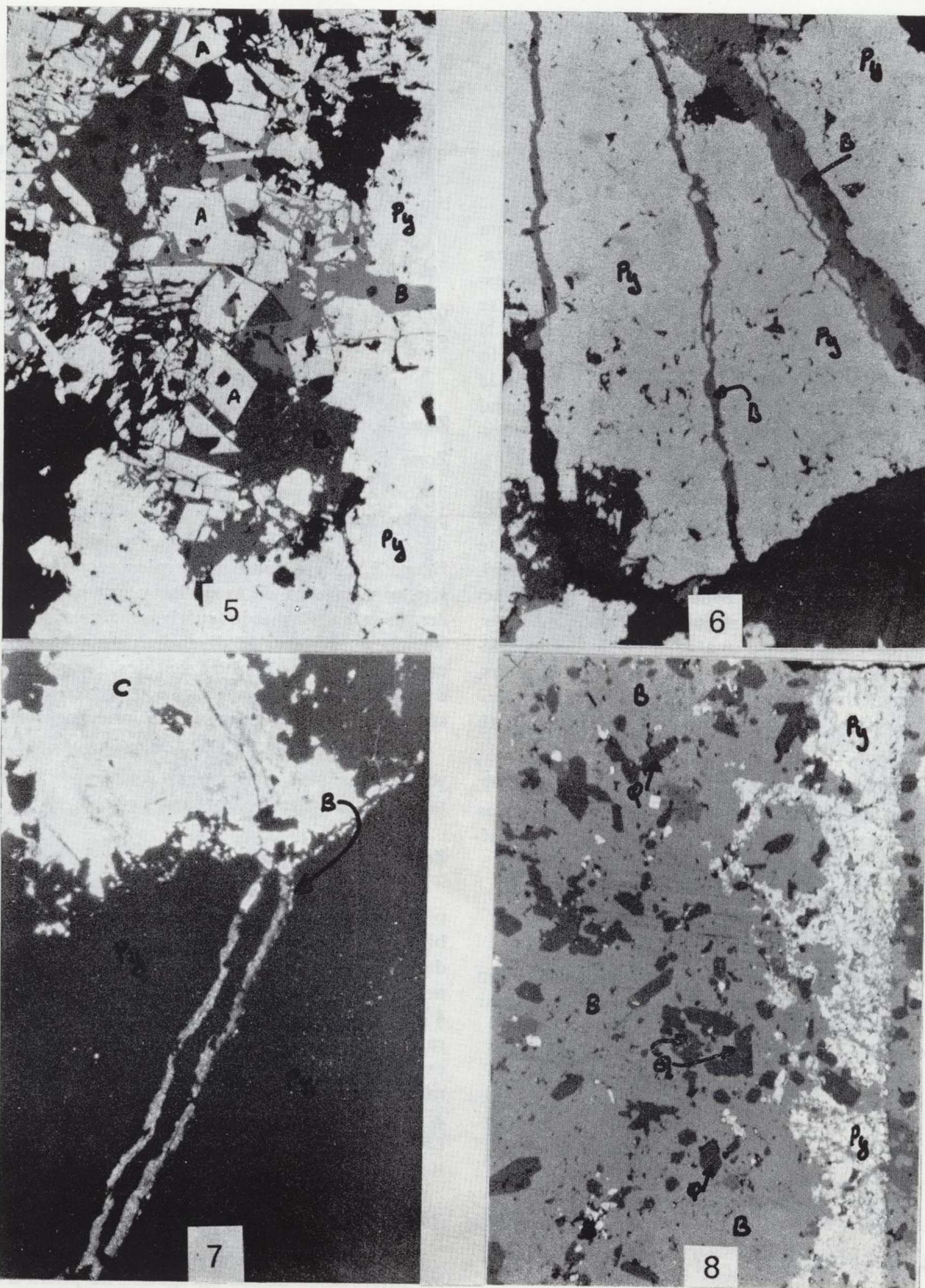


Figura 5.—Rombos de arsenopirita (A) Junto a blenda (B) y pirita (Py).

Figura 7.—Microvenas de blenda (B) atravesando agregados de pirita (Py) entre ganga de carbonatos (C).

Figura 6.—Microvenas de blenda (B) atravesando a la pirita (Py).

Figura 8.—Blenda (B) incluyendo a cuarzos (Q) cerca de una banda de pirita.

gura 4, que provocan, según los sectores, mayores o menores desplazamientos.

CARACTERISTICAS GENERALES DEL YACIMIENTO

El yacimiento pirítico Troya tiene una morfología de tipo estratiforme con complicaciones de mayor o menor cuantía, dependiendo del dominio estructural que se considere. En la figura 4, se muestra cómo entre las coordenadas 900 N y 1550 N la mineralización se encuentra en el contacto margas Uc y calizas Ub y cómo a partir de la coordenada 1550 N y hacia el Norte el mineral se introduce estratiformemente dentro de la caliza.

Desde el punto de vista mineralógico y textural la característica principal que se observa es la existencia de una zonación subhorizontal existente dentro de la masa de sulfuros masivos. En total, se han identificado tres zonas, A, B, C, con características singulares. La masa de sulfuros masivos, a veces, descansa sobre una zona de dolomías y sideritas jasperoides, irregularmente distribuidas, con un contenido variable de blenda, galena, calcopirita y pirita, a la que denominamos zona J, figura 16.

La distribución de las diferentes zonas A, B, C, J y su posición relativa respecto a la roca caja es la característica principal que define el cuerpo mineralizado.

Especies mineralógicas

Para el conjunto de la mena y ganga pueden distinguirse las siguientes especies mineralógicas:

Minerales de Mena

Pirita
Marcasita
Blenda
Galena
Calcopirita
Arsenopirita

Minerales de Ganga

Cuarzo Q1 y Q2 (dos generaciones)
Dolomita

Siderita
Anquerita
Calcita
Barita

Mediante una serie de barridos de fluorescencia por rayos se han obtenido de una manera cualitativa los siguientes elementos:

Elementos principales: Fe, Zn.

Elementos accesorios: Pb, Mn, Cu, Ba.

Elementos trazas: Ba, Co, Ni, Al, Bi, Cr, V, Ga, W, S, Cl, Ce, F, Hg, Ge, Ti, Cd, Sb, As, Cu, Mn, Sr, Au, Ag.

Zonación

Zona C

Constituida por pirita masiva de grano fino y pirita brechoide con cantidades variables de blenda oscura y acaramelada calcopirita y galena, figura 5. Existe como minerales accesorios marcasita proveniente de la pirita y arsenopirita. A veces la zona C puede sufrir enriquecimientos en blenda a manera de diseminaciones o concentraciones en bandas subhorizontales, figura 6; la blenda se puede presentar también en venas y fisuras como producto de removilizaciones posteriores.

La pirita, además de encontrarse de forma masiva, en ocasiones se presenta diseminada en un mosaico dolomítico de grano grueso.

Zona B

Se caracteriza por ser una zona constituida por pirita masiva, en general, de grano fino, con un bandeo composicional en el que alternan bandas de 1-3 mm. de pirita y cuarzo con otras monominerales de blenda masiva que pueden alcanzar los 4 cm. de espesor, figuras 7, 8 y 9. La blenda es acaramelada e incolora en cristales gruesos, también existe calcopirita y galena que parece tener una mayor proporción en los niveles más bajos. Como accesorios hay marcasita proveniente de la pirita. La ganga es un mosaico dolomítico, supuestos relictos de la roca caja.

Zona A

Constituida por pirita masiva, blenda relleno los intersticios de los agregados de pirita a manera de microvenas, también puede presentarse de manera masiva en cristales idiomorfos y subidio-



Figura 9.—Agregado de pirita (Py) incluidos en blenda (B).
Figura 11.—Agregado masivo de blendas zonadas de mediano tamaño (B).

Figura 10.—Pirita subidiomorfa (Py) incluida en blenda masiva (B).
Figura 12.—Gran cristal de blenda (B) incluyendo cuarzos (Q).

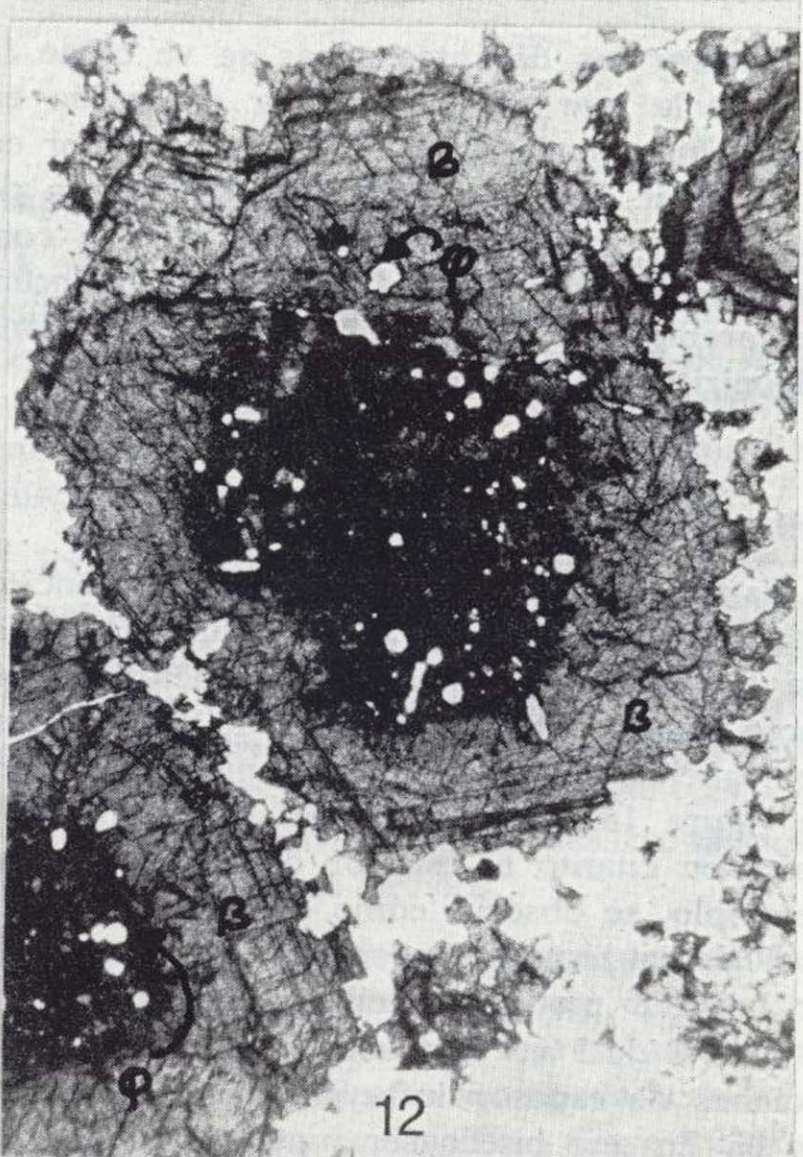
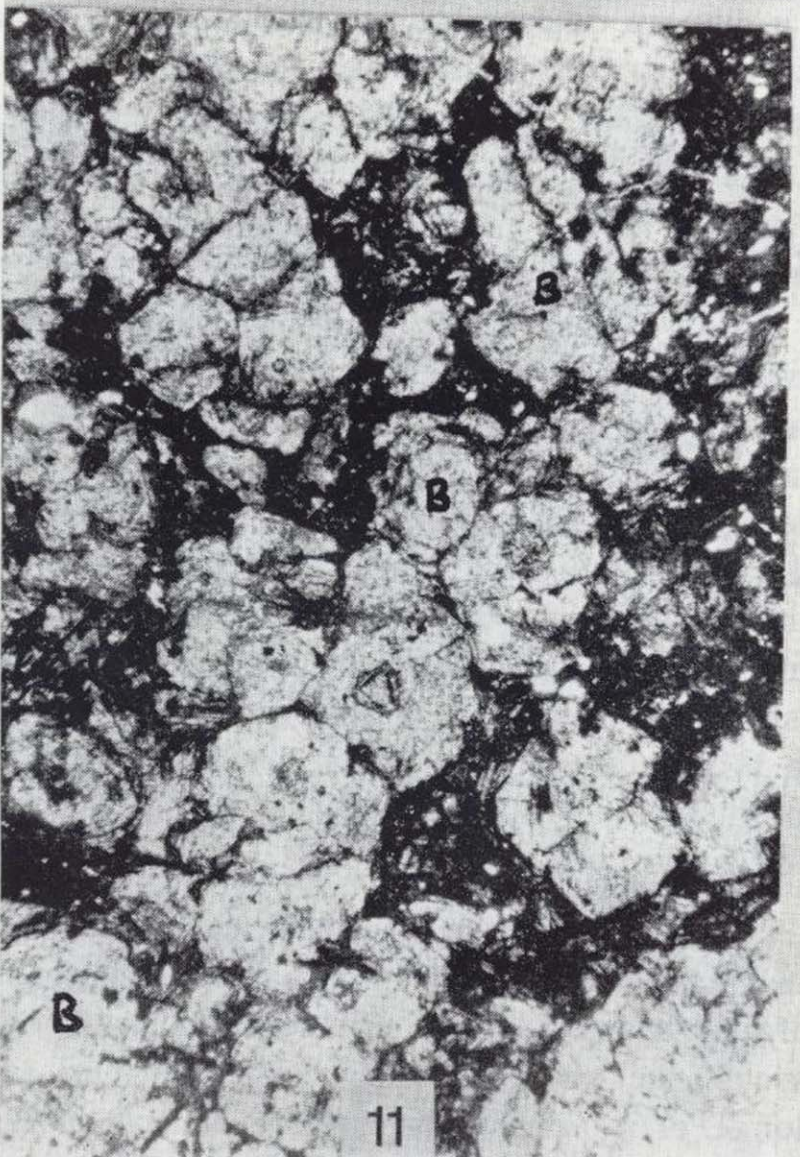
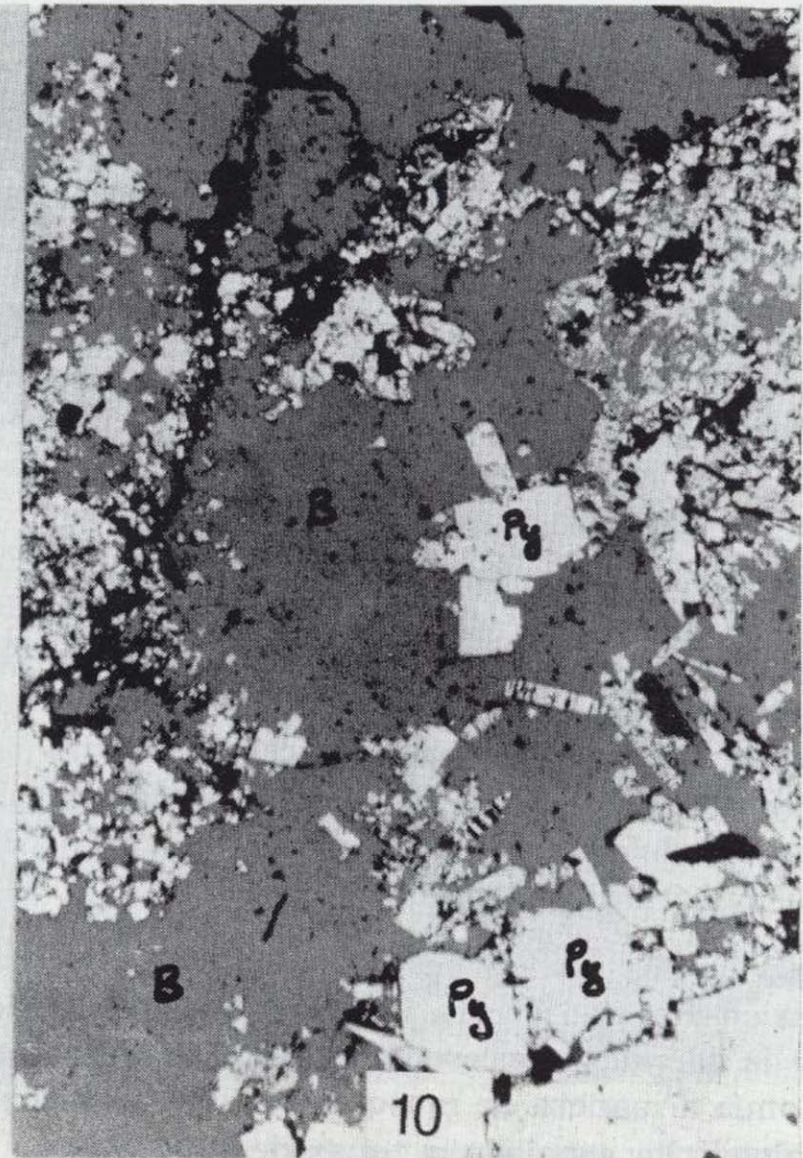
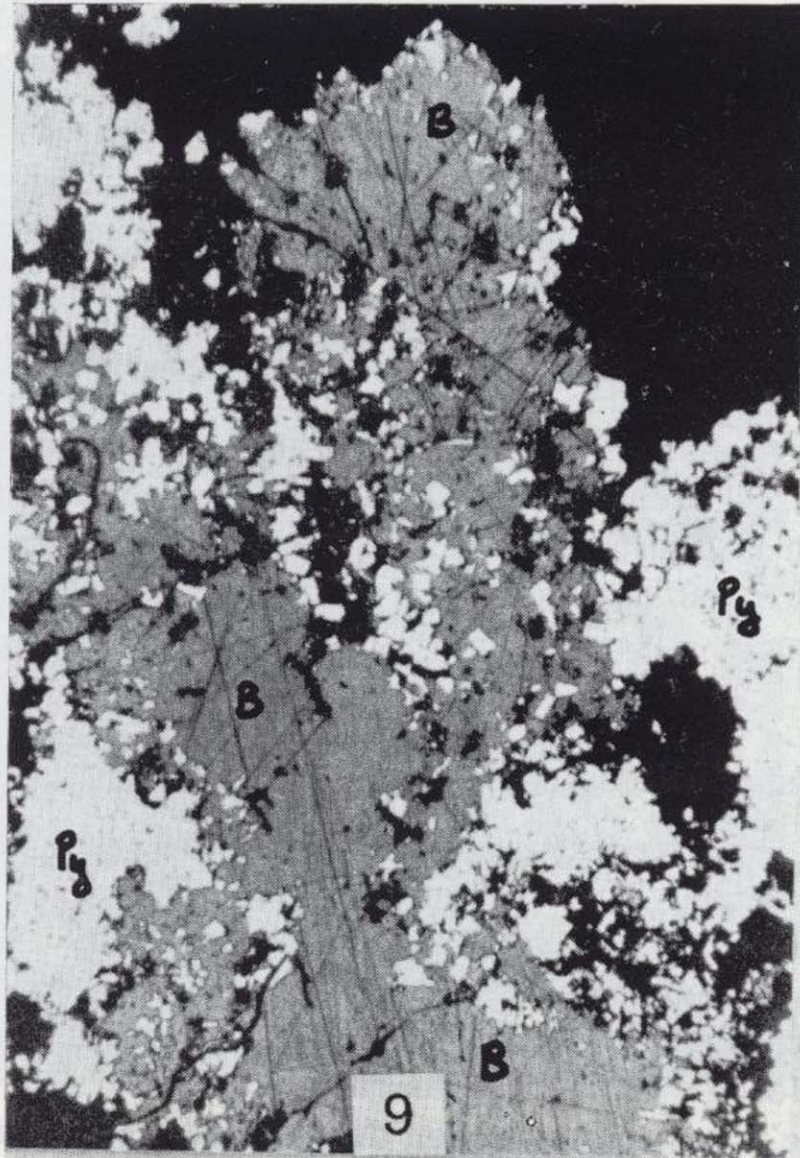


Figura 9.—Agregado de pirita (Py) incluidos en blenda (B).
 Figura 11.—Agregado masivo de blendas zonadas de mediano tamaño (B).

Figura 10.—Pirita subidiomorfa (Py) incluida en blenda masiva (B).

Figura 12.—Gran cristal de blenda (B) incluyendo cuarzos (Q).

morfos zonados, figuras 10, 11, 12, 13, y a manera de mosqueados. Existe galena y calcopirita. Como accesorios hay marcasita proveniente de la pirita y arsenopirita. La ganga suele estar formada por un mosaico de dolomita sobre la que se ha depositado intersticialmente la mena.

Zona J

Formada por dolomías jasperoides con un contenido variable de blenda y pirita, figura 15. Las dolomías suelen estar sideritizadas. Esta zona suele estar al muro de la mineralización, aunque dependiendo del área del yacimiento también puede encontrarse al techo o intercalada a manera de lentejones dentro de la masa de sulfuros masivos. En general, hacia los bordes del yacimiento se observa cómo los sulfuros masivos pasan lateralmente a las dolomías con un contenido variable de blenda y pirita diseminada.

Las dolomías suelen ser de grano grueso con textura en mosaico, figura 14. La pirita es de grano fino y la blenda se presenta intersticialmente en la dolomía a manera de mosqueados. En ocasiones hay calcopirita asociada a zonas de fractura.

Al observar las distintas zonas se ve cómo la zona A es la que tiene un mayor contenido en blenda disminuyendo en la B y siendo menor en la C, es decir, hay una mayor concentración de blenda en las zonas A y B, aumentando la concentración de pirita en la C, pareciendo concentrarse también en mayor cantidad en esta zona la calcopirita y arsenopirita.

Distribución de la mineralización

La distribución de la mineralización es función directa de la litología y de la estructura. En general, si la masa mineralizada se encuentra en el contacto margas calizas, como sucede hacia el Sur, la distribución de zonas es tal como se muestra en la figura 16. Ahora bien, existen variaciones laterales en cuanto al espesor de las zonas; así, por ejemplo, se observa cómo de Sur a Norte el espesor de la zona A, de ser 0,5 metros, puede pasar hasta 3 metros, disminuyendo el espesor de la zona C de 3 a 4 metros a 2 ó 1 metro; éstas variaciones de espesor influyen directamente en la ley de Zn que puede ser mayor o menor dependiendo de la distribución de las distintas zonas. El contacto entre la masa de sulfuros y la

zona J de dolomías jasperoides, al muro de mineralización, suele presentarse de manera neta e irregular, a modo de cicatriz.

Lateralmente, los sulfuros masivos pueden pasar a dolomías jasperoides con mayor o menor contenido en blenda.

Cuando la mineralización se introduce dentro de la masa de calizas recifales, la distribución de las zonas se hace más irregular y su control más difícil, dependiendo de los sectores. No obstante, en la figura 16 b se muestran los diferentes tipos de combinaciones que se han observado de las zonas, en cuanto a su disposición espacial.

Esterilidades en la zona mineralizada

Las esterilidades vienen definidas por calizas, dolomías o margas que aparecen a veces intercaladas dentro de la masa de sulfuros y que no han sido reemplazadas. Las calizas y dolomías, en ocasiones, se encuentran silicificadas con algo de blenda y pirita diseminada. Las formas geométricas de las esterilidades son de dos tipos: amigdaloides y a manera de estratos con ondulaciones variables. En la figura 17 se muestran los distintos casos observados.

Roca caja de la mineralización

En la figura 18 se muestran las posibilidades existentes en cuanto a la roca caja que rodea a la mineralización, que en el techo puede ser marga, caliza, caliza silicificada o dolomías jasperoides dependiendo de la zona que se considere. Cuando el techo está constituido por margas existe un área mecanizada en el contacto que puede variar entre 2 y 20 cm., no observándose donde el techo está constituido por calizas recifales. El muro de la mineralización, en todos los casos, está en dolomías y sideritas jasperoides, calizas y calizas silicificadas, con más o menos ley.

Desde el punto de vista de la morfoestructura de la mineralización, el yacimiento es de tipo estratiforme, pero presenta una serie de formas geométricas que se complican sobre todo en la zona donde el mineral se introduce dentro de las calizas. En la figura 19, se muestran los diferentes tipos de formas observadas.

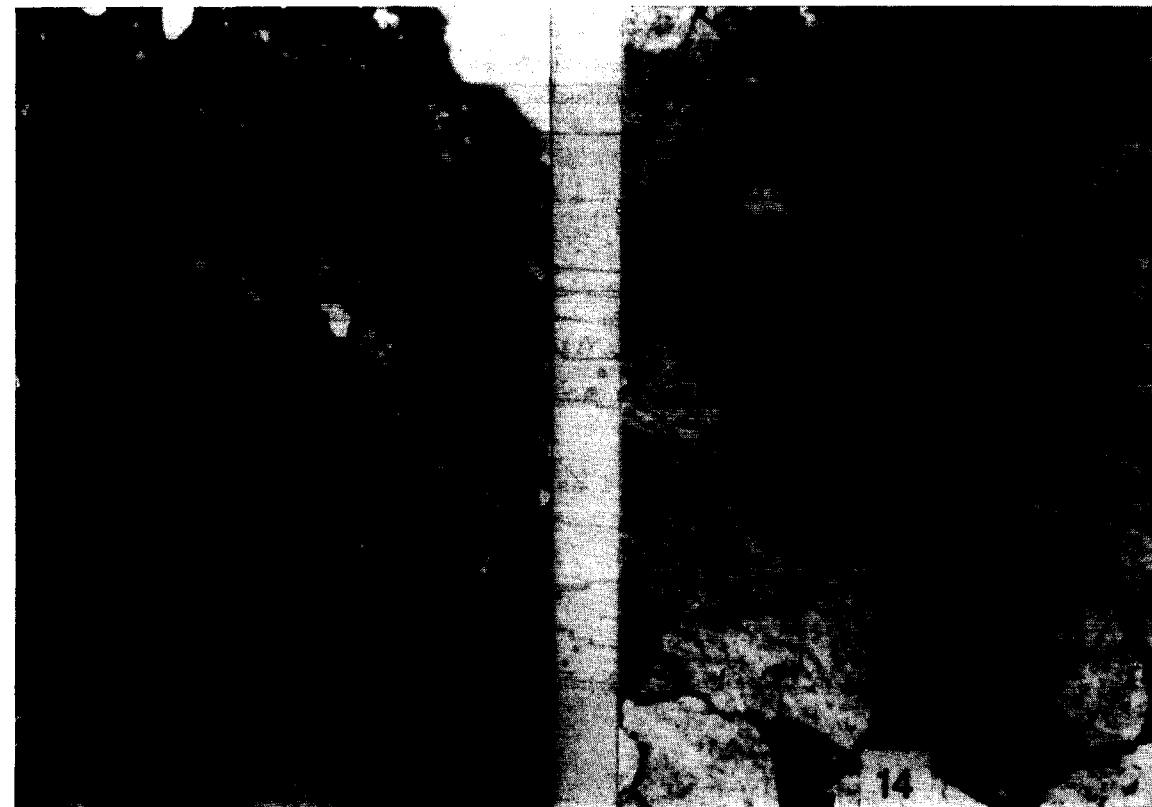


Figura 13.—Cristal de blenda ligeramente zonado (B), creciendo entre la pirita (Py).

Figura 14.—Dolomía en mosaico con metalización.



Figura 15.—Nivel jasperoide con cuarzos y blenda intersticial (B).

Etapas del proceso mineralizador

A partir de las observaciones petrográficas efectuadas se ha visto una serie de relaciones inter-cristalinas mutuas entre los minerales de la ganga y los de la mena, que nos permiten definir diferentes etapas en el proceso de formación del yacimiento. En síntesis se pueden distinguir:

1. Existencia de una roca original carbonatada de naturaleza dolomítica con huecos y cavidades susceptibles de ser rellenados dentro de un paquete sedimentario carbonático. El proceso de dolomitización que provoca la aparición de porosidades, fisuración y espacios vacíos es de origen secundario y se ha desarrollado sobre niveles calcáreos previos.
2. Intensa silicificación sobre los materiales carbonatados (probablemente en dos generaciones). Esta silicificación representada por los cuarzos jasperoides va acompañada de las soluciones ricas en Fe, Zn, Pb y Cu y aniones sulfurosos, los cuales precipitan en las fisuras, cavidades, amígdalas..., reemplazando a niveles dolomíticos.
3. Precipitación de la mena, siendo el orden de deposición el siguiente:

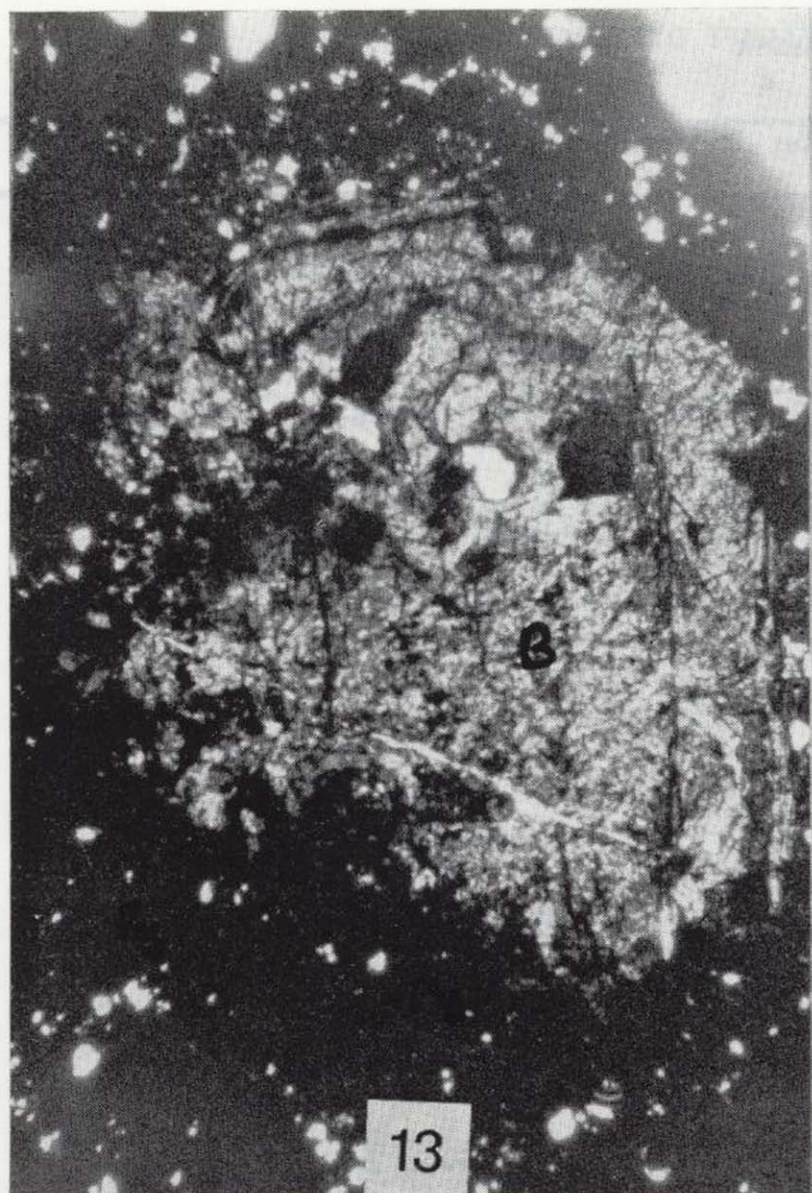


Figura 13.—Cristal de blenda ligeramente zonado (B), creciendo entre la pirita (Py).

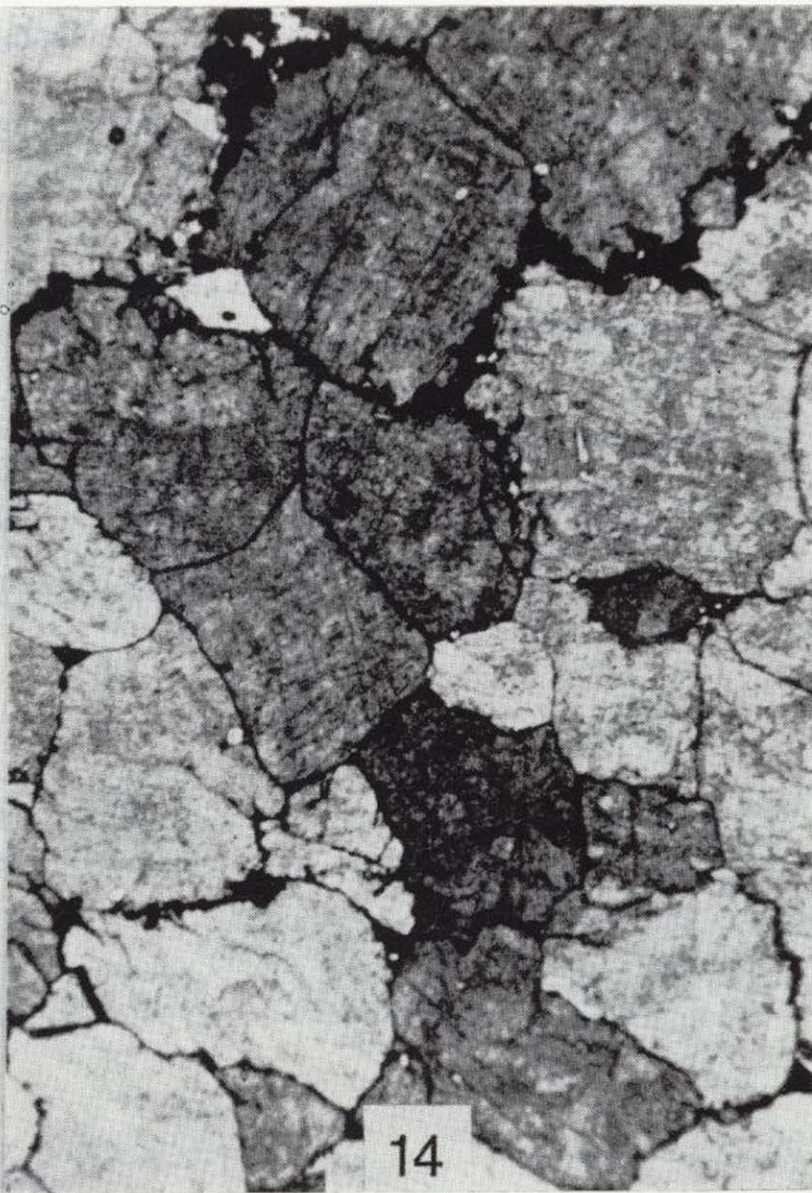


Figura 14.—Dolomía en mosaico con metalización.

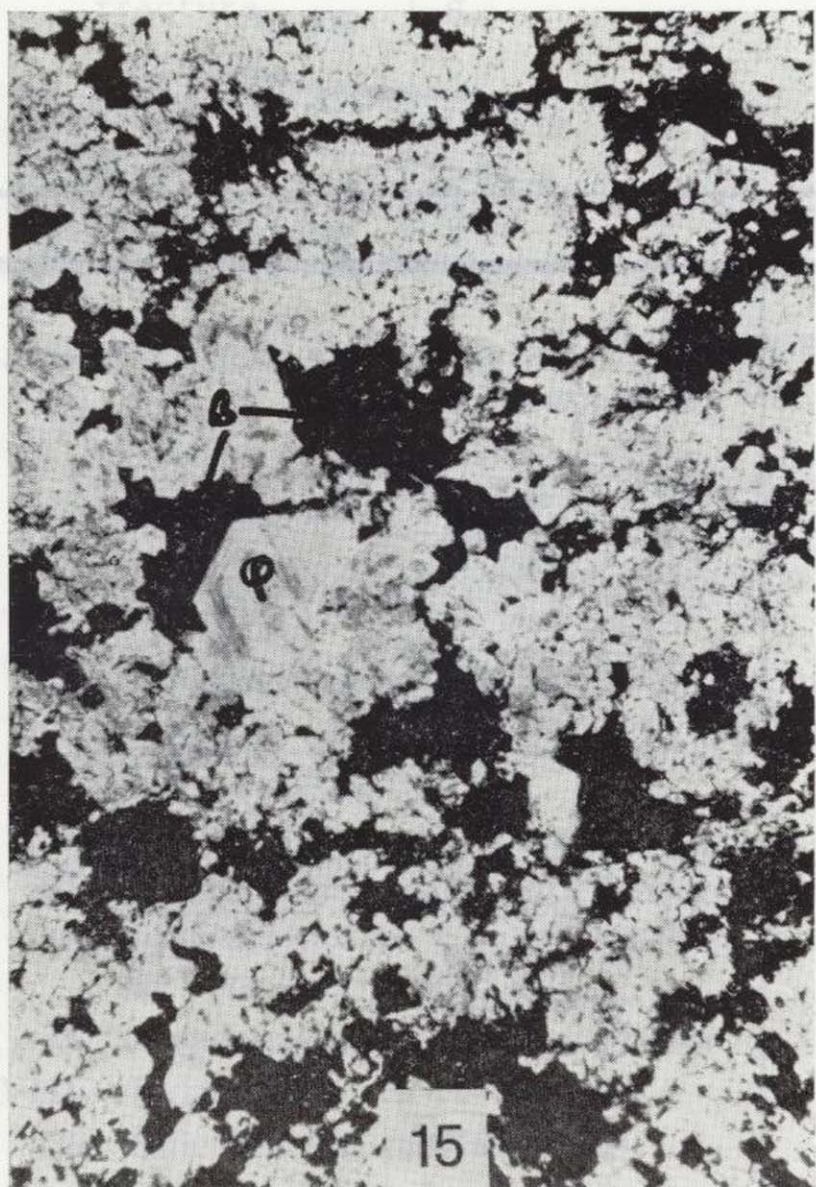


Figura 15.—Nivel jaseroide con cuarzos y blenda intersticial (B).

Etapas del proceso mineralizador

A partir de las observaciones petrográficas efectuadas se ha visto una serie de relaciones intercrystalinas mutuas entre los minerales de la ganga y los de la mena, que nos permiten definir diferentes etapas en el proceso de formación del yacimiento. En síntesis se pueden distinguir:

1. Existencia de una roca original carbonatada de naturaleza dolomítica con huecos y cavidades susceptibles de ser rellenados dentro de un paquete sedimentario carbonático. El proceso de dolomitización que provoca la aparición de porosidades, fisuración y espacios vacíos es de origen secundario y se ha desarrollado sobre niveles calcáreos previos.
2. Intensa silicificación sobre los materiales carbonatados (probablemente en dos generaciones). Esta silicificación representada por los cuarzos jaseroideos va acompañada de las soluciones ricas en Fe, Zn, Pb y Cu y aniones sulfurosos, los cuales precipitan en las fisuras, cavidades, amígdalas..., reemplazando a niveles dolomíticos.
3. Precipitación de la mena, siendo el orden de deposición el siguiente:

Figura 16.—Distribución de zonas.

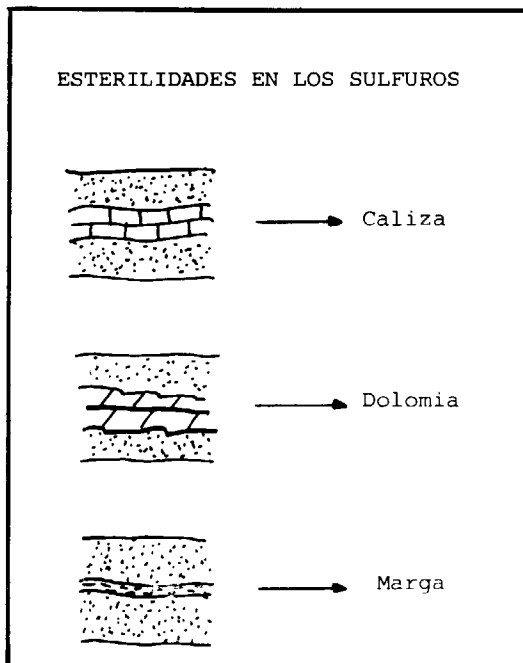
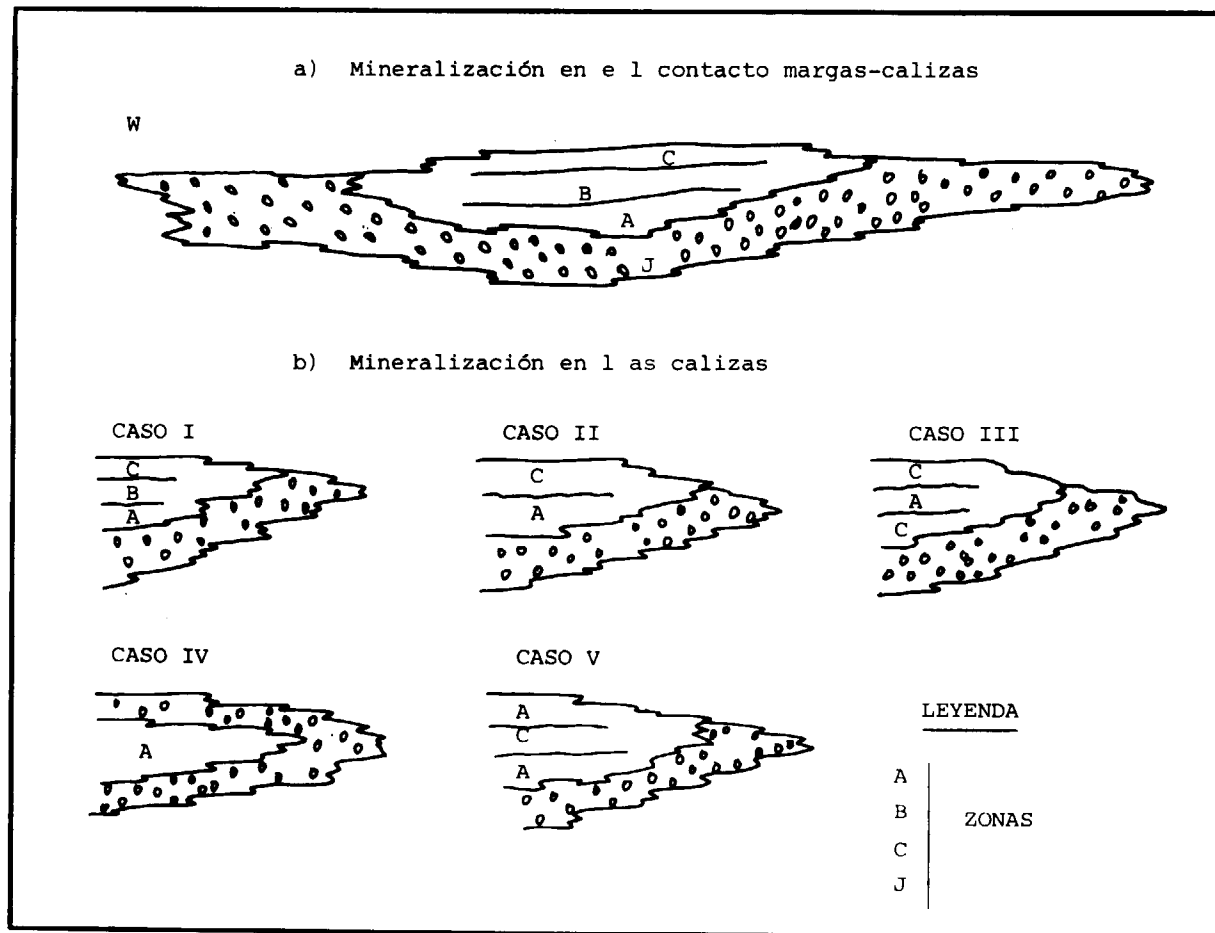


Figura 17

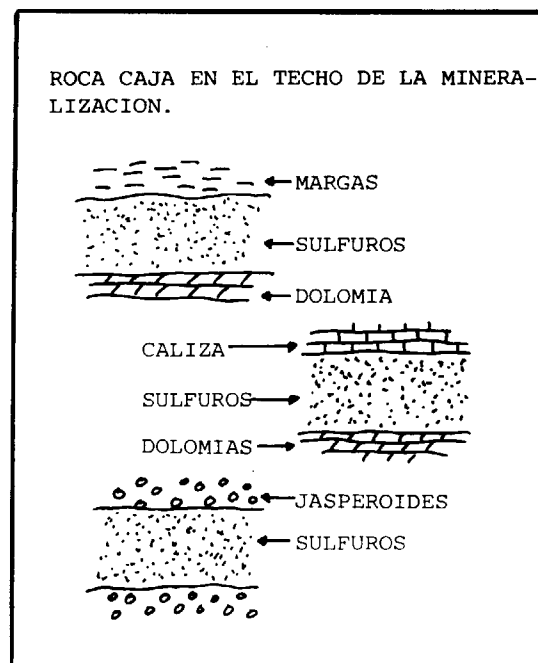


Figura 18

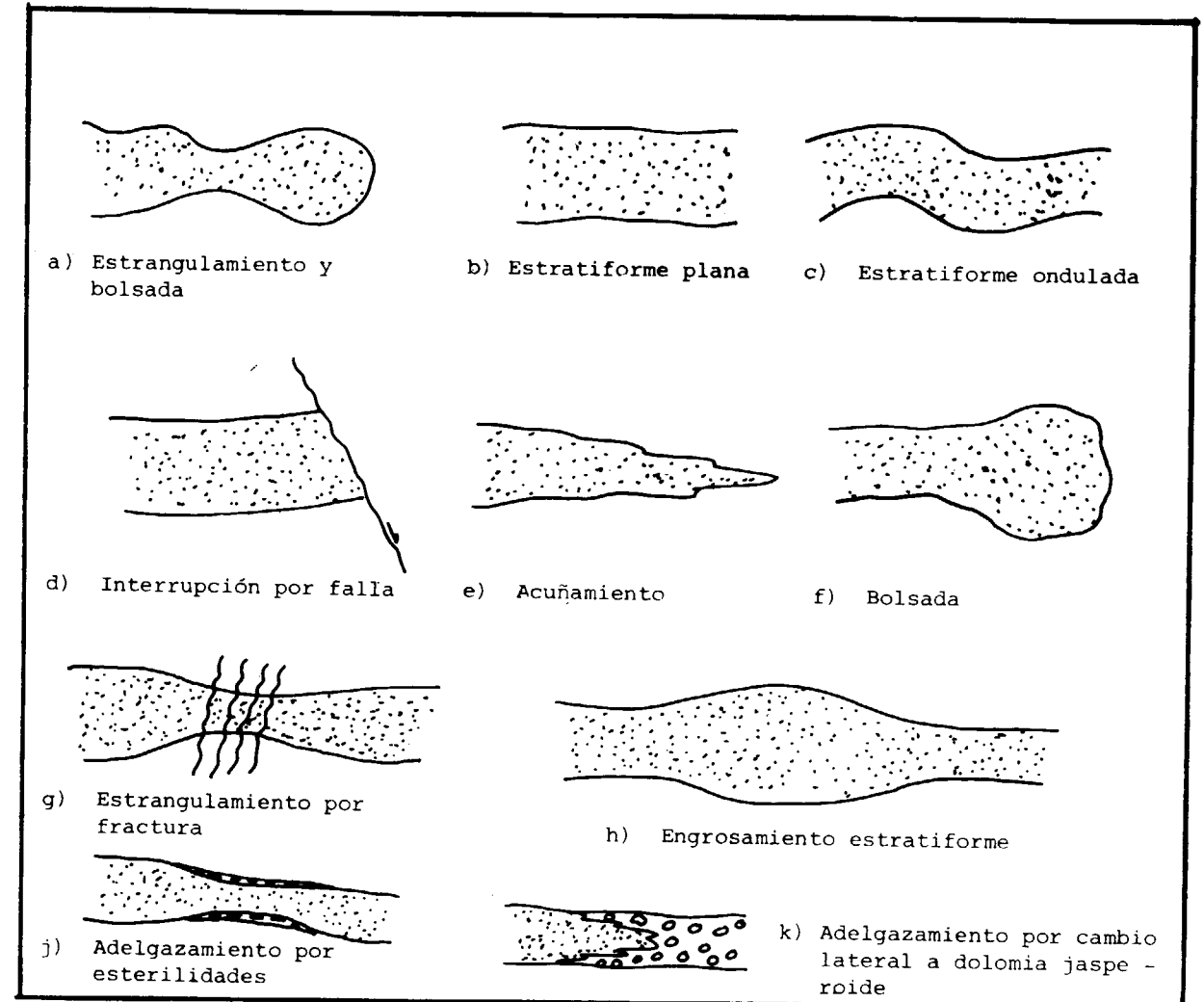


Figura 19.—Morfología de la mineralización.

- I. Existencia de una roca carbonática tipo caliza.
- II. Depósito de una pirita I de tipo sedimentario.
- III. Comienzo de una silicificación masiva.
- IV. Pirita II que en ocasiones se transforma en marcasita.
- V. Blenda I.
- VI. Galena y calcopirita que pueden depositarse anterior y posterior a la Blenda I.
- VII. Blenda II en fisuras y cavidades.
- VIII. Pirita III.
- IX. Silicificación tardía.

En la figura 20 se muestra un diagrama de flujo con la secuencia de la mineralización.

Primeras ideas sobre el posible origen genético del yacimiento y controles

Todavía se tienen que hacer estudios encaminados a determinar el origen del yacimiento TROYA, aquí trataremos de dar las primeras hipótesis en base a las observaciones realizadas tanto a escala macro como microscópica.

Al ser un yacimiento de tipo estratiforme abre una serie de indeterminantes ya que se observan tanto características de tipo singenético como epi-

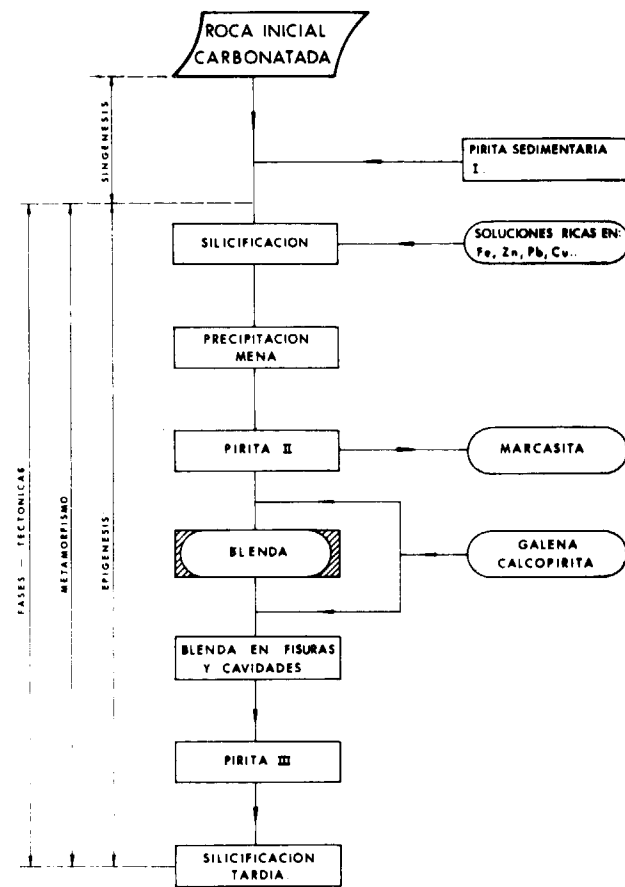


Figura 20.—Diagrama de flujo. Secuencia de la mineralización.

genético; esto quiere decir que estamos ante una mineralización de tipo multifásico que ha tenido un desarrollo paulatino a lo largo de la escala del tiempo, y que ha estado condicionada en una primera fase, por una sedimentación controlada por una paleogeografía de tipo arrecifal que ha dado lugar a los depósitos de pirita I, aparentemente singenética. Con posterioridad la tectónica de la cuenca cretácica y terciaria unida a un diapirismo profundo es la que ha provocado la existencia de los fluidos mineralizadores que han reemplazado y removilizado, en parte, las piritas singenéticas primarias y han depositado los diferentes tipos de menas, según la secuencia paragenética ya indicada, dando lugar a cuerpos de tipo estratiforme, figura 19a.

CONCLUSIONES

1. Se ha realizado un modelo de mineralización del yacimiento pirítico polimetálico Troya definido por una serie de controles determinativos que se pueden clasificar en:
 - * Control Paleográfico. Determina la deposición de la Pirita I singenética.
 - * Control Litológico. La mineralización está ligada a las unidades carbonatadas tipo caliza recifal de la unidad B.
 - * Control Estratigráfico. El contacto caliza recifal unidad B y marga unidad C es favorable para el emplazamiento de la mineralización.
 - * Control Mineralógico. Silicificación, dolomitización y sideritización.
 - * Control Estructural. Son de dos tipos: Pliegues, como la suave estructura anticlinal, tipo TROYA. Fracturas. Hay un control con las fracturas de dirección NO-SE traducidas a escala de mina por juntas y fallas que provocan removilizaciones. Las fallas de dirección NO-SE pueden ser canalizadoras o actuar como barreras.
2. Se ha identificado una zonación en el cuerpo de la masa mineral a la que se le ha llamado A, B, C y J. Cada zona tiene unas características petrológicas y texturales que la determinan.
3. La distribución de zonas y su ordenación espacial depende de la roca caja que la rodea, ya sea marga, caliza recifal o dolomías y sideritas jasperoides.
4. Las leyes en Zn muestran de manera análoga una zonación característica, siendo, en general, mayor en la zona axial del yacimiento, según una dirección Norte-Sur, disminuyendo hacia los bordes del cuerpo mineral según dirección Este-Oeste.
5. La zona axial del yacimiento responde a una estructura de tipo anticlinal con un control paleogeográfico muy marcado.
6. El yacimiento muestra características singenéticas iniciales y epigenéticas con posterioridad, con claros procesos de reemplazamiento.

AGRADECIMIENTOS

A EXMINESA por haberme permitido el acceso a la información de la mina, así como por darme los medios necesarios para la realización del presente artículo. A José Luis Barrera por la revisión, comentarios y realización de las fotografías del trabajo.

BIBLIOGRAFIA

ARRIBAS, A., y MORO, C.: *Distribución de elementos trazas*

en las esferitas y galenas de los yacimientos filonianos del tipo B.G.P.C. Tecniterrae, S-288 (1982).

BUSTILLO REVUELTA, M.: *Contribución al conocimiento de las mineralizaciones de Pb-Zn del tipo Reocín en el sector Oeste de Cantabria.* Estudio Geológ., 41, 127-138 (1985).

ROUVIER, H., et al.: *Deposits and Salt-Bearing Diapirs in Southern Europe and North Africa.* Economic Geology, vol. 80, pp. 666-687 (1985).

VADALA, P., et al.: *Nouvelles donnees sur le gisement de Reocin (Santander, Espagne).* Chronique de la Recherche Minière, núm. 462 (1981).

Recibido: Abril 1986

MINERIA

Índice de liberación de la esfalerita en un proceso de flotación diferencial de sulfuros

Por F. A. LOPEZ GOMEZ, G. CARUANA y F. GARCIA CARCEDO (*)

RESUMEN

La determinación de las condiciones de liberación de fases mineralógicas es un problema de obligada resolución a la hora de diseñar los circuitos de concentración en los procesos de beneficio de minerales.

Hasta ahora, los métodos de cálculo del grado de liberación estaban basados en el recuento microscópico de granos fracción a fracción granulométrica, sobre probetas pulidas y con ayuda del microscopio petrográfico.

Parece evidente, que este método no sólo es tremendamente engorroso, sino que además depende en gran medida de la pericia del operador, con lo que puede comprenderse fácilmente la duración y subjetividad de las medidas.

La aplicación de las técnicas del análisis de imagen automatiza estas medidas y permite el cálculo de índices de liberación mediante un proceso que se desarrolla en este trabajo. Para ello, es necesario aislar las partículas mixtas para determinar su número y el porcentaje de cada una de las fases mineralógicas que los componen, aspecto este último no abordado hasta ahora. Para ello, los autores utilizan una serie de parámetros ópticos y homogeneizan los valores de gris de cada una de las fases dándolas un único valor, con lo que es posible calcular los parámetros necesarios para que mediante un sencillo cálculo matemático pueda obtenerse el índice de liberación.

En este trabajo, los autores describen el método que han desarrollado y lo aplican en un proceso de concentración por flotación de sulfuros complejos al ciclo del cinc.

ABSTRACT

Determining the liberation conditions for mineralogical phases is an essential problem in order to design the concentration flow-sheets for mineral-dressing processes.

Till now, the basis to calculate liberation degrees was to count mineral grains from different granulometric fractions in polished probes by a petrographic microscope.

It seems evident that this method is very slow and its results depend directly on the human factor, the measures being very subjective.

The application of Image Analysis Techniques permit solving those problems, but it simultaneously poses other difficulties which are described and partly solved in this work.

The first problem to overcome is to isolate the middlings for determining their total amount and the percentage of each mineralogical phase. For that it is necessary to use different optical parameters and to homogenize the grey levels of the phases fixing a medium value. Then it will be possible to calculate the necessary parameters for determining the liberation index.

An original operative method for determining the liberation index in a mineral dressing process is described in this paper. The obtained results are discussed.

1. MINERALOGIA DEL PRODUCTO ESTUDIADO

Las muestras estudiadas en este trabajo se obtuvieron mediante un proceso de concentración

por flotación realizado sobre una muestra media de sulfuros complejos de cinc, plomo, cobre y hierro procedente de un sondeo de una compañía minera del Norte de España.

La muestra media con la que se alimentó el circuito de flotación presentaba una composición química que se recoge en la tabla 1. El estudio

por difracción de rayos X permitió establecer la composición mineralógica cualitativa y su relación con los resultados del análisis químico permitió establecer la composición mineralógica media que se recoge también en la tabla 1.

Con el fin de estudiar con más detalle las mineralizaciones del producto a concentrar en el proceso de flotación, se realizaron una serie de probetas pulidas correspondientes a muestras de mano procedentes del sondeo que presentaban diferencias texturales y mineralógicas notorias.

La mineralogía del producto tratado corresponde a pirita/marcasita; esfalerita; galena calcopirita; cuarzo, y cantidades menores de calcita y siderita.

Los minerales mayoritarios son la pirita y marcasita seguidos de la esfalerita y la galena.

Desde un punto de vista mineralúrgico, nos encontramos ante unos sulfuros complejos como consecuencia del elevado porcentaje de pirita y a la existencia de calcopirita, lo que supone grandes inconvenientes para el beneficio de la esfalerita y galena por flotación diferencial.

Texturalmente, existen intercrecimientos muy íntimos de marcasita tabular con esfalerita y galena (figs. 1, 2 y 3). En algunas zonas se pueden observar transformaciones pirita-marcasita, así como una segunda generación de cristales de pirita de menor tamaño crecidos íntimamente con esfalerita (fig. 4).

En relación con la pirita, aparecen cristales de tamaños muy diversos (fig. 5) y la ganga dominante que la acompaña en las transformaciones pirita-marcasita es ganga de carbonatos.

La esfalerita se presenta de una forma casi masiva, con gran número de inclusiones de cuarzo bipirimidial, cristales tabulares de marcasita y romboedros de calcita (fig. 6).

En algunas zonas aparece un depósito posterior de galena en la que hay inclusiones de tetraedrita. La galena es una galena argentífera (fig. 7).

Figura 1.—Intercrecimiento de marcasita (MC), esfalerita (SL) y galena (GN).

Figura 2.—Palmeado de marcasita.

Figura 3.—Intercrecimiento de esfalerita (SF), marcasita (MC) y cuarzo (Q).

Figura 4.—Esfalerita (gris claro) con marcasita prismática y cuarzo (gris oscuro).



(*) Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas. CENIM (CSIC). Madrid. España.

por difracción de rayos X permitió establecer la composición mineralógica cualitativa y su relación con los resultados del análisis químico permitió establecer la composición mineralógica media que se recoge también en la tabla 1.

Con el fin de estudiar con más detalle las mineralizaciones del producto a concentrar en el proceso de flotación, se realizaron una serie de probetas pulidas correspondientes a muestras de mano procedentes del sondeo que presentaban diferencias texturales y mineralógicas notorias.

La mineralogía del producto tratado correspondiente a pirita/marcasita; esfalerita; galena calcopirita; cuarzo, y cantidades menores de calcita y siderita.

Los minerales mayoritarios son la pirita y marcasita seguidos de la esfalerita y la galena.

Desde un punto de vista mineralúrgico, nos encontramos ante unos sulfuros complejos como consecuencia del elevado porcentaje de pirita y a la existencia de calcopirita, lo que supone grandes inconvenientes para el beneficio de la esfalerita y galena por flotación diferencial.

Texturalmente, existen intercrecimientos muy íntimos de marcasita tabular con esfalerita y galena (figs. 1, 2 y 3). En algunas zonas se pueden observar transformaciones pirita-marcasita, así como una segunda generación de cristales de pirita de menor tamaño crecidos íntimamente con esfalerita (fig. 4).

En relación con la pirita, aparecen cristales de tamaños muy diversos (fig. 5) y la ganga dominante que la acompaña en las transformaciones pirita-marcasita es ganga de carbonatos.

La esfalerita se presenta de una forma casi masiva, con gran número de inclusiones de cuarzo bipirimidial, cristales tabulares de marcasita y romboedros de calcita (fig. 6).

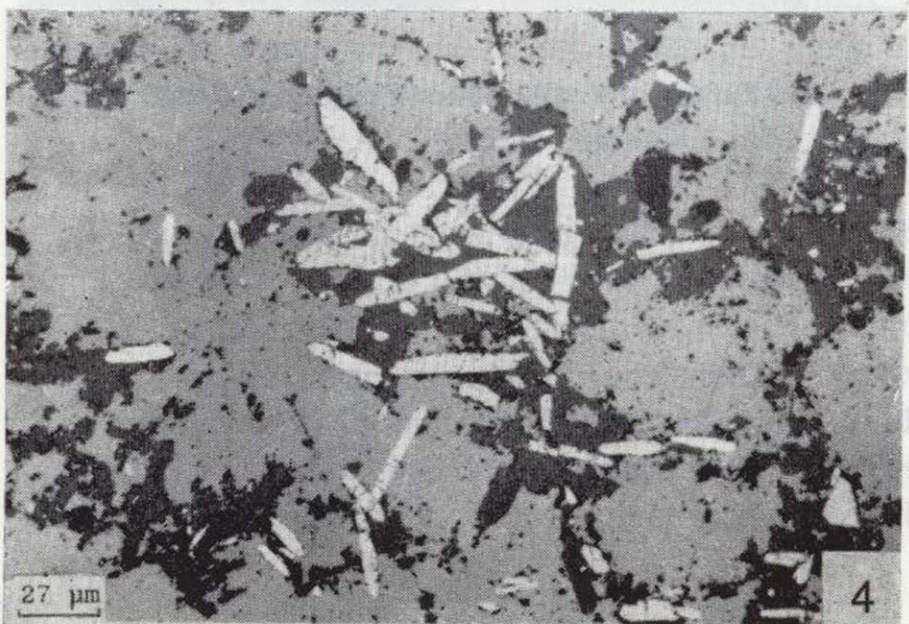
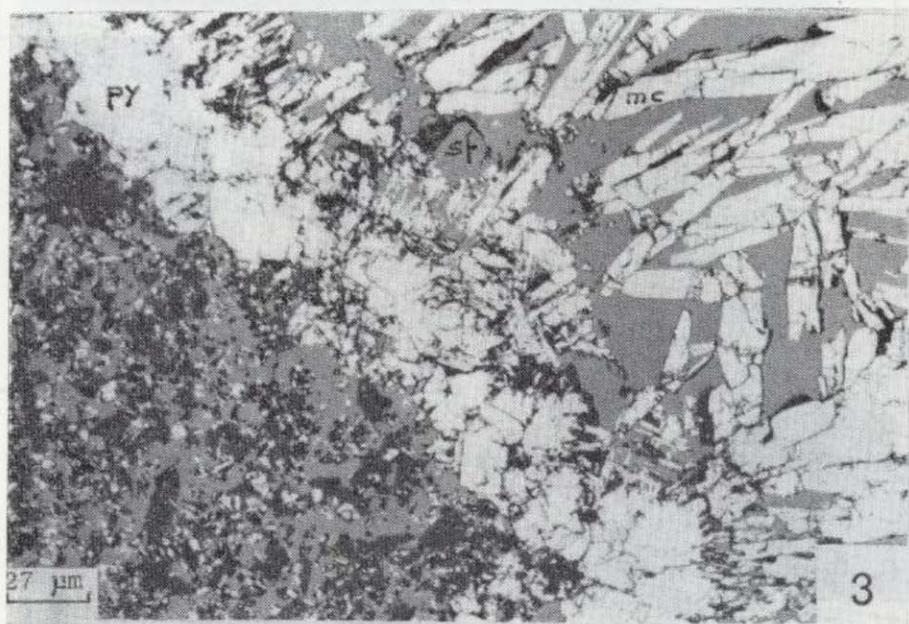
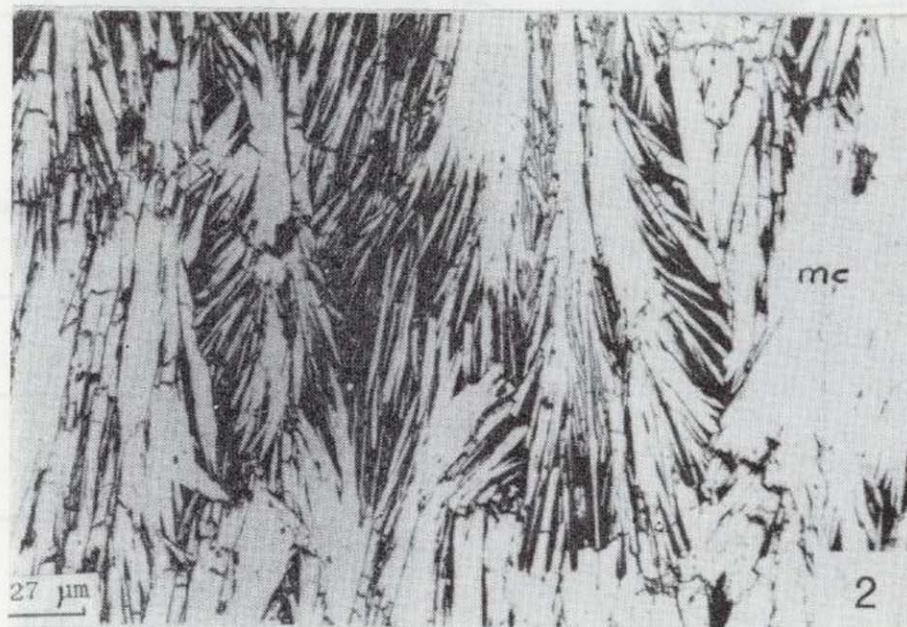
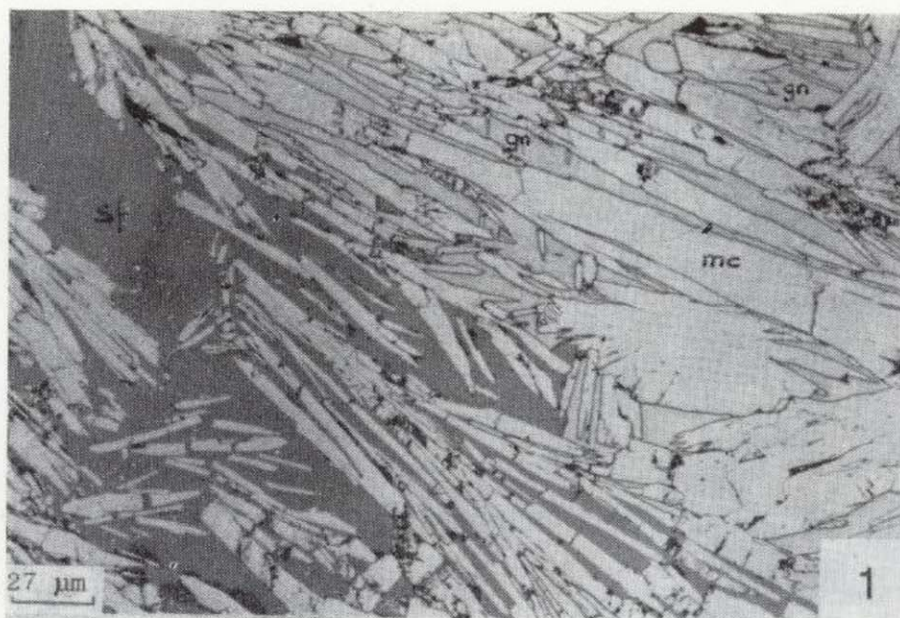
En algunas zonas aparece un depósito posterior de galena en la que hay inclusiones de tetraedrita. La galena es una galena argentífera (fig. 7).

Figura 1.—Intercrecimiento de marcasita (MC), esfalerita (SL) y galena (GN).

Figura 2.—Palmeado de marcasita.

Figura 3.—Intercrecimiento de esfalerita (SF), marcasita (MC) y cuarzo (Q).

Figura 4.—Esfalerita (gris claro) con marcasita prismática y cuarzo (gris oscuro).



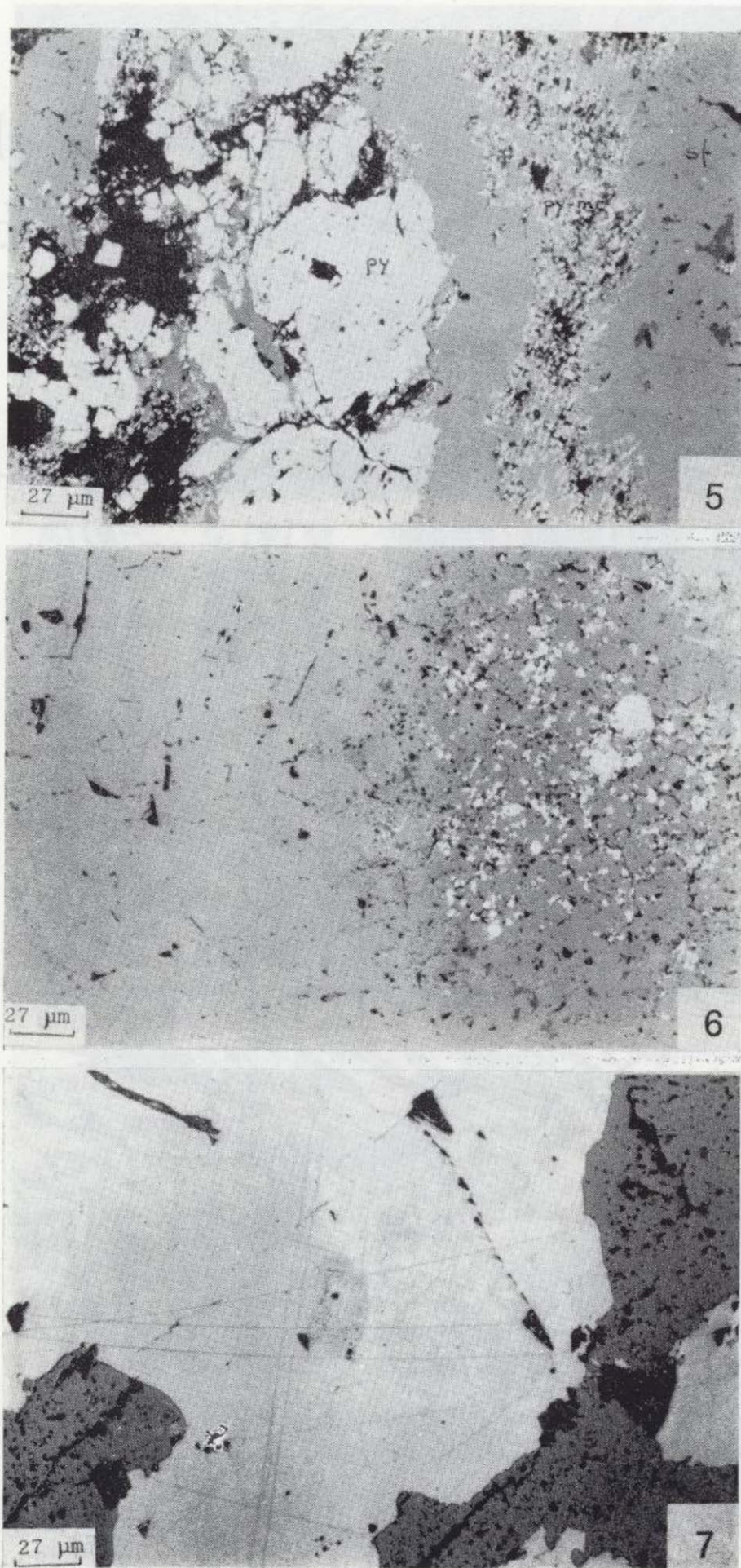


Figura 5.—Esfalerita (SF), pirita (PY) y marcasita (MC) con distintos tamaños de grano.

Figura 6.—Esfalerita masiva (gris) con inclusiones de pirita y marcasita (blanco).

Figura 7.—Concreción de plata en un cristal de galena.

Del análisis conjunto de estas muestras, se puede estimar la posible sucesión mineralógica que aparece en el yacimiento. Una primera generación de pirita-marcasita con inclusiones de arsenopiri-

ta se deposita con la ganga de carbonatos. Con posterioridad, hay un depósito de esfalerita y calcopirita para terminar con el depósito de galena.

TABLA 1

Composición química y mineralógica de la muestra media del todo-uno

	%		%
CuO	1,82	As ₂ O ₃	0,13
ZnO	23,90	PXC	25,20
PbO	0,42	CO ₂	3,78
FeO	15,23	Calcopirita	0,04
Fe ₂ O ₃	24,55	Pirita+	
MnO	0,09	Marcasita	22,62
CdO	0,05	Galena	0,45
Ag ₂ O	0,011	Esfalerita	28,60
MgO	0,28	Arsenopirita	0,22
CaO	0,91	Dolomita	1,28
Na ₂ O	0,04	Siderita	0,03
K ₂ O	0,03	Sílice+	
SiO ₂	1,60	Silicatos	41,83
SO ₂	35,94		
Al ₂ O ₃	0,27	TOTAL	100,00

2. OBTENCION DE LAS MUESTRAS PARA ANALISIS DE LIBERACION

Las muestras sobre las que se aplicó el método de determinación de índices de liberación que se desarrolla en este trabajo, se obtuvieron mediante un proceso de concentración por flotación diferencial.

La planta de concentración se compone de un circuito de trituración (primaria y secundaria) y un circuito de molienda compuesta por un molino cilíndrico de bolas y un clasificador de espiral. El producto molido presenta una granulometría en el rebote del clasificador inferior a 200 Mallas Tyler. En el molino de bolas se lleva a cabo la adición de Ca(OH)₂ con el fin de asegurar una depresión eficaz de la pirita en las celdas de flotación.

El producto molido se acondiciona en un tanque con agitación y se flota para plomo en un circuito de desbaste y otro de relavado. El estéril de este primer ciclo se acondiciona con xantato y sulfato de cobre y se flota la esfalerita mediante ciclos de desbaste, apure y dos relavados.

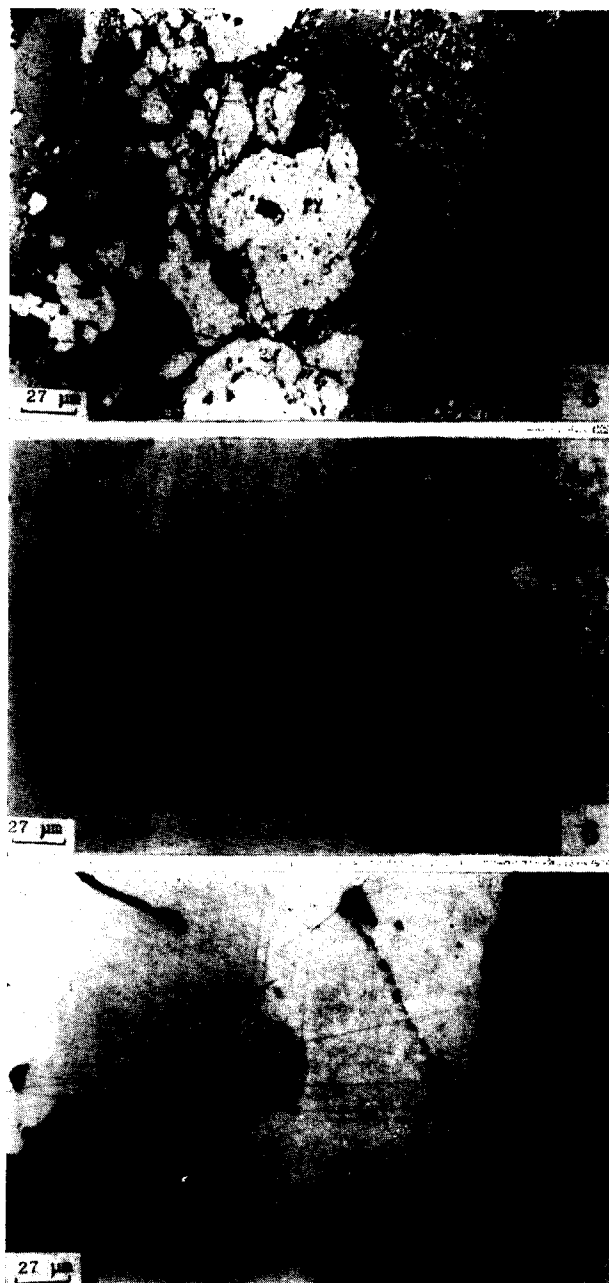


Figura 5.—Esfalerita (SF), pirita (PY) y marcasita (MC) con distintos tamaños de grano.

Figura 6.—Esfalerita masiva (gris) con inclusiones de pirita y marcasita (blanco).

Figura 7.—Concreción de plata en un cristal de galena.

Del análisis conjunto de estas muestras, se puede estimar la posible sucesión mineralógica que aparece en el yacimiento. Una primera generación de pirita-marcasita con inclusiones de arsenopiri-

ta se deposita con la ganga de carbonatos. Con posterioridad, hay un depósito de esfalerita y calcopirita para terminar con el depósito de galena.

TABLA 1
Composición química y mineralógica de la muestra media del todo-uno

%		%	
CuO	1,82	As ₂ O ₃	0,13
ZnO	23,90	PXC	25,20
PbO	0,42	CO ₂	3,78
FeO	15,23	Calcopirita	0,04
Fe ₂ O ₃	24,55	Pirita+	
MnO	0,09	Marcasita	22,62
CdO	0,05	Galena	0,45
Ag ₂ O	0,011	Esfalerita	28,60
MgO	0,28	Arsenopirita	0,22
CaO	0,91	Dolomita	1,28
Na ₂ O	0,04	Siderita	0,03
K ₂ O	0,03	Sílice+	
SiO ₂	1,60	Silicatos	41,83
SO ₂	35,94		
Al ₂ O ₃	0,27	TOTAL	100,00

2. OBTENCION DE LAS MUESTRAS PARA ANALISIS DE LIBERACION

Las muestras sobre las que se aplicó el método de determinación de índices de liberación que se desarrolla en este trabajo, se obtuvieron mediante un proceso de concentración por flotación diferencial.

La planta de concentración se compone de un circuito de trituración (primaria y secundaria) y un circuito de molienda compuesta por un molino cilíndrico de bolas y un clasificador de espiral. El producto molido presenta una granulometría en el rebote del clasificador inferior a 200 Mallas Tyler. En el molino de bolas se lleva a cabo la adición de Ca(OH)₂ con el fin de asegurar una depresión eficaz de la pirita en las celdas de flotación.

El producto molido se acondiciona en un tanque con agitación y se flota para plomo en un circuito de desbaste y otro de relavado. El estéril de este primer ciclo se acondiciona con xantato y sulfato de cobre y se flota la esfalerita mediante ciclos de desbaste, apure y dos relavados.

En la figura 8 aparece un esquema de la planta de concentración.

Se procedió a la toma de muestras a lo largo de un período de funcionamiento normal de la planta de concentración. Las muestras obtenidas procedían de los puntos del circuito señalados en la figura 8 y fueron las siguientes: rebose del cla-

sificador; estéril del ciclo de plomo; espuma del desbaste del cinc; estéril del primer relavado del cinc; concentrado y estéril final del proceso de concentración.

Estas muestras se analizaron química y granulométricamente. Los resultados se recogen en la figura 9 y en la tabla 2.

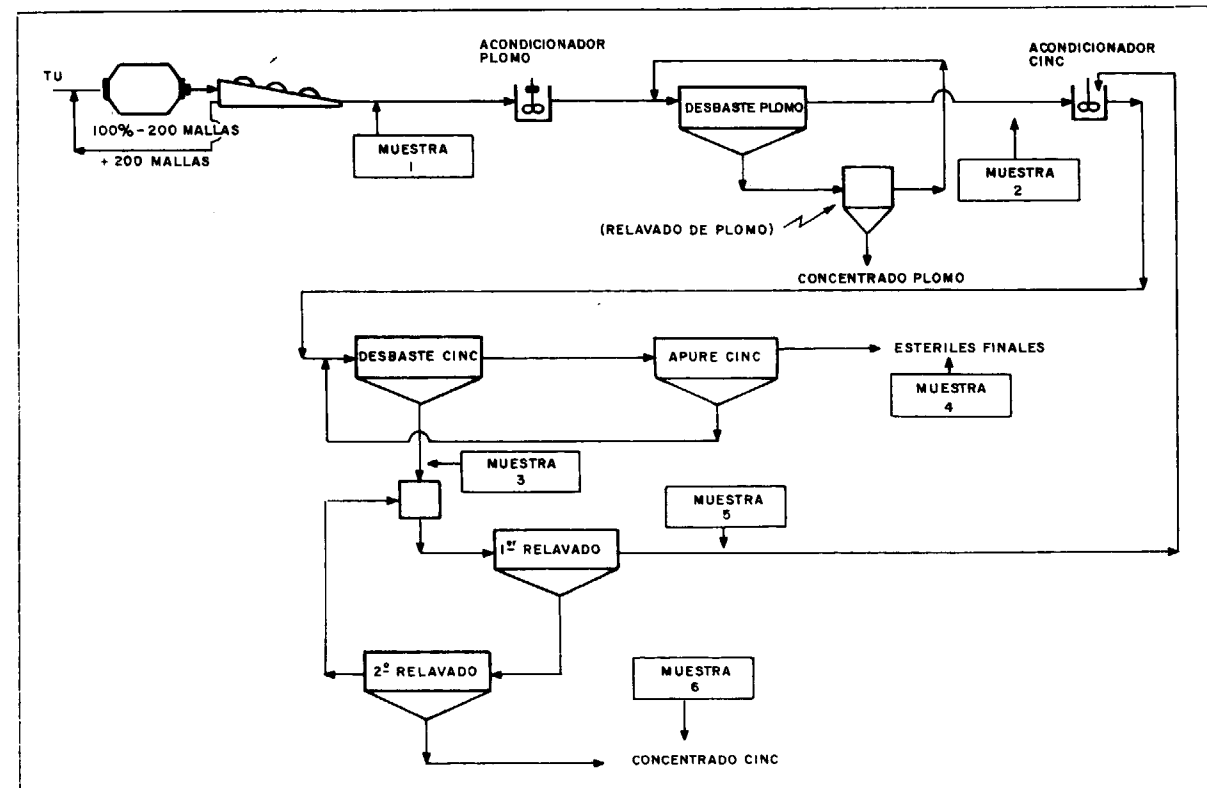


Figura 8.—Diagrama del proceso de concentración por flotación.

TABLA 2
Composición química media de las muestras tomadas en la planta de concentración

Producción analizado	% Pb	% Zn	% Cu	% Fe
Rebose clasificador	0,39	19,20	0,100	28,00
Estéril 1.º relavado cinc	1,13	4,90	0,03	44,00
Espuma apure del cinc	0,26	15,80	0,165	37,50
Estéril final ciclo cinc	0,17	1,60	0,05	31,50
Concentrado de cinc	0,21	55,18	0,330	8,00

Inicialmente, se pensó estudiar por análisis de imagen la liberación de la esfalerita en todas las muestras obtenidas en el proceso de control. Un estudio microscópico sobre probetas pulidas realizadas con partes representativas de dichas muestras, puso de manifiesto que desde un punto de vista práctico (como por ejemplo la determinación de la idoneidad de un circuito de remolienda para el cinc) tan sólo tenían interés el concentrado y el estéril del primer relavado de cinc, muestras que fueron finalmente estudiadas por análisis de imagen.

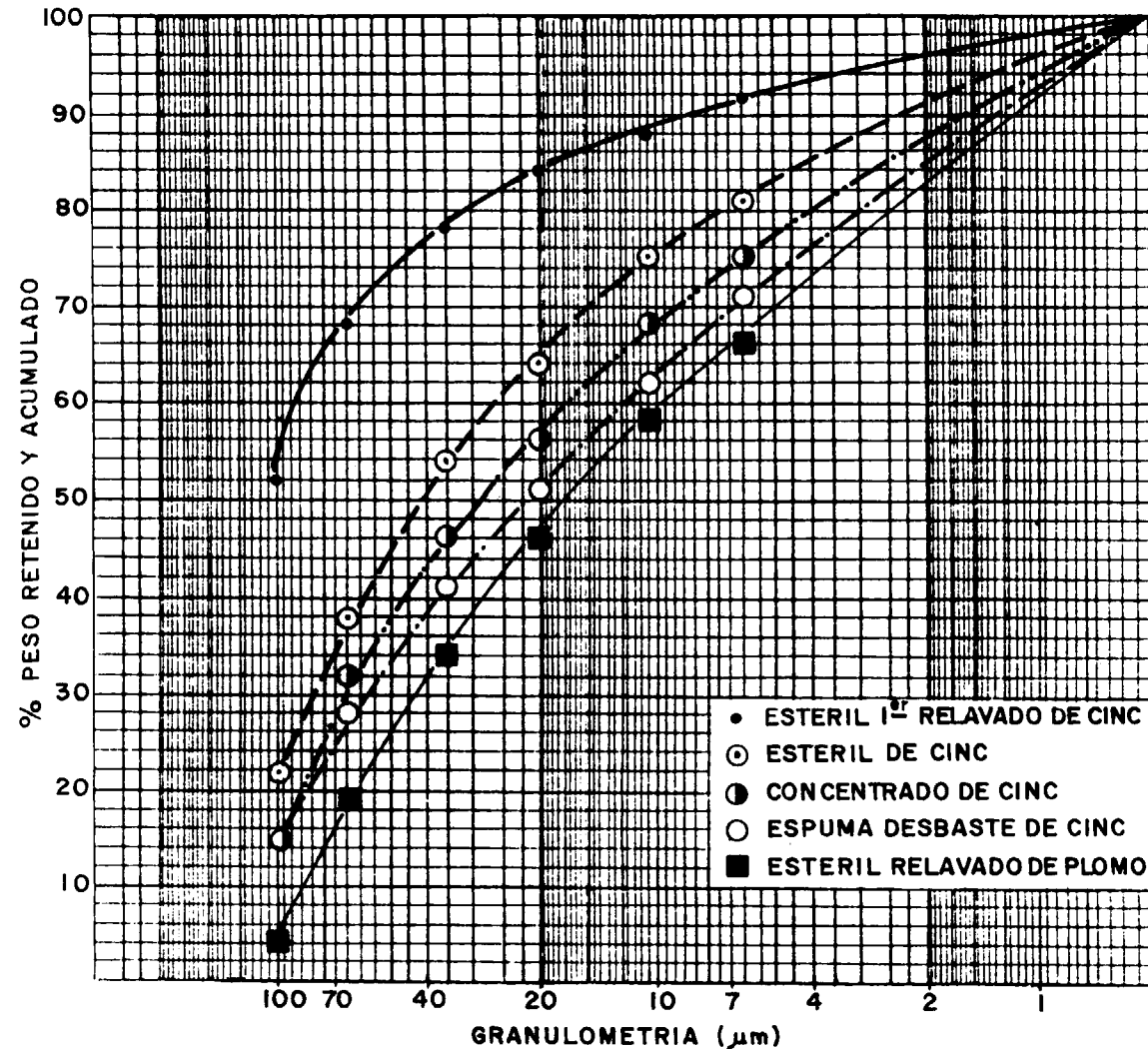


Figura 9.—Curvas granulométricas de las muestras tomadas en la planta de concentración.

3. MEDIDAS DEL GRADO DE LIBERACION POR ANALISIS DE IMAGEN

La determinación de las condiciones de liberación de fases mineralógicas es un problema de obligada resolución a la hora de diseñar los circuitos de molienda en los procesos de concentración de minerales.

Hasta ahora los métodos de cálculo del grado de liberación estaban basados en el recuento microscópico de granos fracción a fracción granulométrica sobre probetas pulidas y con ayuda del microscopio petrográfico. Normalmente los resultados del recuento se expresaban como porcentajes en volumen, lo cual solamente es válido cuan-

do todos los granos, dentro de una misma categoría granulométrica, tengan el mismo volumen, ya que entonces el número de granos (n) es proporcional a su superficie (s) y al volumen de los mismos (v).

En este caso, el índice de liberación Ø de una fracción granulométrica «j» puede calcularse mediante la ecuación [1]:

$$\text{Ø}_j = \frac{\text{Peso de la especie «j» liberada}}{\text{Peso total de la especie «j»}} \times 100 \quad [1]$$

y según las aproximaciones comentadas, la ecuación [1] puede transformarse en [2]:

$$\text{Ø} = \frac{L}{L + \frac{1}{2} M_1 + \frac{1}{3} M_2 + \frac{1}{n} M_{n-1}} \quad [2]$$

en la que L es el número de granos de la especie liberada, M₁ el número de granos mixtos binarios que contienen la especie a estudiar; M₂ el número de granos mixtos ternarios y M_{n-1} el número de granos mixtos de orden n que contiene la especie a estudiar.

Por definición, un mixto es una partícula que contiene mineral «útil», siendo éste aquella fase mineralógica que se beneficiará y para la cual se estudian sus condiciones de liberación.

El grado de liberación puede también definirse como la fracción de mineral útil, expresada en volumen, que se encuentra completamente liberada de la ganga y de otras especies mineralógicas.

En este caso, el grado de liberación puede calcularse según la expresión [3]:

$$\text{Ø} (\%) = \frac{\text{Volumen mineral útil liberado}}{\text{Volumen total de mineral útil}} \times 100 \quad [3]$$

Definido de esta manera, el grado de liberación puede variar entre 0 y 100 por 100, para los casos en los que todo el mineral útil se encuentre en forma de mixtos mineralógicos o completamente liberado.

Sin embargo, esta definición no tiene en cuenta el contenido en mineral útil en los mixtos y así, si se aplica la misma a casos concretos, puede suceder que el índice de liberación permanezca constante a medida que aumenta el grado de molienda del producto estudiado, es decir, que no se produzcan nuevas partículas con mineral útil, lo cual no es del todo correcto.

Por ello (BERUBÉ, 1984) se consideró un coeficiente de liberación definido como el contenido volumétrico medio de partículas que contienen el mineral útil, y que se expresa mediante la ecuación [4].

$$\text{Ø} (\%) = \frac{\text{Volumen total de mineral útil}}{\text{Volumen de partículas mineralizadas}} \times 100 \quad [4]$$

El grado de liberación así definido, tiene un sentido más concreto, ya que considera todas las partículas mineralizadas.

En el caso de utilización del análisis de imagen, las medidas realizadas para el cálculo del índice de liberación están basadas en el análisis de superficies, consecuentemente son medidas bidimensionales.

En este caso, pueden definirse el contenido aparente de mineral útil (T) y el grado de liberación aparente de una muestra determinada, mediante las ecuaciones [5] y [6].

$$T (\%) = \frac{\text{Superficie total de mineral útil}}{\text{Superficie total de partículas}} \times 100 \quad [5]$$

$$\text{Ø} (\%) = \frac{\text{Superficie total de mineral útil}}{\text{Superficie de partículas mineralizadas}} \times 100 \quad [6]$$

Para una muestra determinada, el grado de liberación puede aproximarse a la relación expresada en la ecuación [7] (BERUBÉ y MARCHAND, 1983).

$$\text{Ø} (\%) = \frac{\text{Superficie total de mineral útil}}{\text{Superficie total de mixtos}} \times 100 \quad [7]$$

La ecuación utilizada en este trabajo es semejante a la utilizada por BERUBÉ y MARCHAND, ecuación [3]:

$$\text{Ø} (\%) = \frac{\text{Superficie mineral útil liberado}}{\text{Superficie total de mineral útil}} \times 100 \quad [8]$$

De esta forma, y mediante el estudio de probetas pulidas que contengan el mineral a estudiar molido a diferentes granulometrías, puede llegarse a obtener el grado de liberación de cada una de ellas y consecuentemente, el grado de liberación

global del mineral molido, utilizando la ecuación [8]:

$$\varnothing_{\text{global}} (\%) = \sum_{i=1}^n \varnothing_i \cdot T_i \cdot \frac{V_i}{\sum_{i=1}^n V_i \cdot T_i} \quad [8]$$

siendo n el número de intervalos granulométricos estudiados y que pueden obtenerse por clasificación, o tamizado, ciclos yer, etc...; V_i el volumen de la fracción granulométrica correspondiente expresada como % en peso respecto del peso total del producto clasificado (calculado a partir del peso y densidad de cada fracción); T_i el contenido aparente en mineral útil de cada fracción granulométrica calculados según la ecuación [5] y \varnothing_i el grado de liberación aparente.

En esta ecuación se pondera cada valor de \varnothing_i en función del volumen de mineral útil de cada fracción granulométrica.

En la práctica, los contenidos aparentes de cada fracción se determinan mediante análisis químico y las distribuciones granulométricas por tamizado y pesada de las fracciones obtenidas, pudiéndose utilizar para el cálculo del grado de liberación la ecuación [9]:

$$\varnothing (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \varnothing_i \cdot P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i} \quad [9]$$

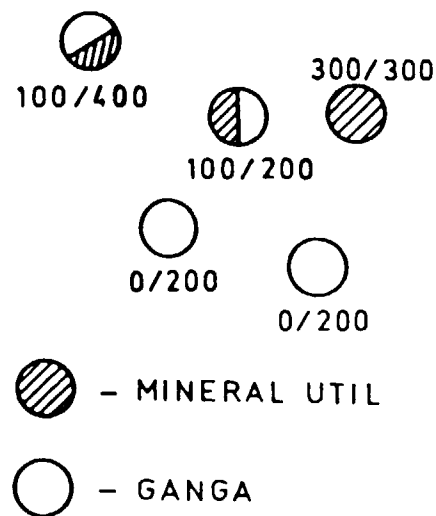
en la que P_i y t_i representan respectivamente el porcentaje en peso de la fracción granulométrica «i» y su contenido o ley en el elemento «útil» calculado según técnicas analíticas convencionales.

El empleo de la técnica de análisis de imagen hace posible la medida directa de los valores de los contenidos aparentes en mineral «útil», T_i , y en su caso, puede utilizarse para el cálculo de los grados de liberación la ecuación:

$$\varnothing (\%) = \frac{\sum_{i=1}^n \varnothing_i \cdot P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \quad [10]$$

siendo \varnothing el grado de liberación aparente de cada fracción granulométrica calculado según la ecuación [7] y T_i los contenidos aparentes calculados mediante la ecuación [5].

En la figura 10 se resumen en un ejemplo los valores del grado de liberación calculados según las diferentes formulaciones que pueden utilizarse.



(Los números indican unidades arbitrarias de volumen o superficie)

BERUBÉ y MARCHAND, (1983 y 1984)

$$\varnothing = \frac{\text{Volumen mineral útil liberado}}{\text{Volumen total mineral útil}} \times 100 = \frac{300}{100+100+300} \times 100 = 60\%$$

$$\varnothing = \frac{\text{Volumen total de mineral útil}}{\text{Volumen de partículas mineralizadas}} \times 100 = \frac{100+100+300}{400+200+300} \times 100 = 55\%$$

BERUBÉ y MARCHAND (1984)

$$\varnothing = \frac{\text{Superficie total mineral útil}}{\text{Superficie total de mixtos}} \times 100 = \frac{100+100+300}{400+200+300} \times 100 = 55\%$$

LÓPEZ GÓMEZ et al. (1985)

$$\varnothing = \frac{\text{Superficie mineral útil liberado}}{\text{Superficie total mineral útil}} \times 100 = \frac{300}{100+100+300} \times 100 = 60\%$$

Figura 10.—Ejemplos de aplicación de las diversas formulaciones matemáticas existentes para el cálculo del grado de liberación por análisis de imagen.

4. METODOLOGIA DEL ESTUDIO POR ANALISIS DE IMAGEN

El concentrado de cinc y el estéril de su primer relavado se clasificaron en diferentes fracciones granulométricas: + 104; 104-74; 74-40 y -40 μm . Partes representativas de estas muestras se montaron por duplicado sobre un soporte de cronolita y se pulieron primero con alúmina y finalmente con pasta de diamante.

Las etapas seguidas en la aplicación de la técnica de análisis de imagen se recogen en la figura 11.

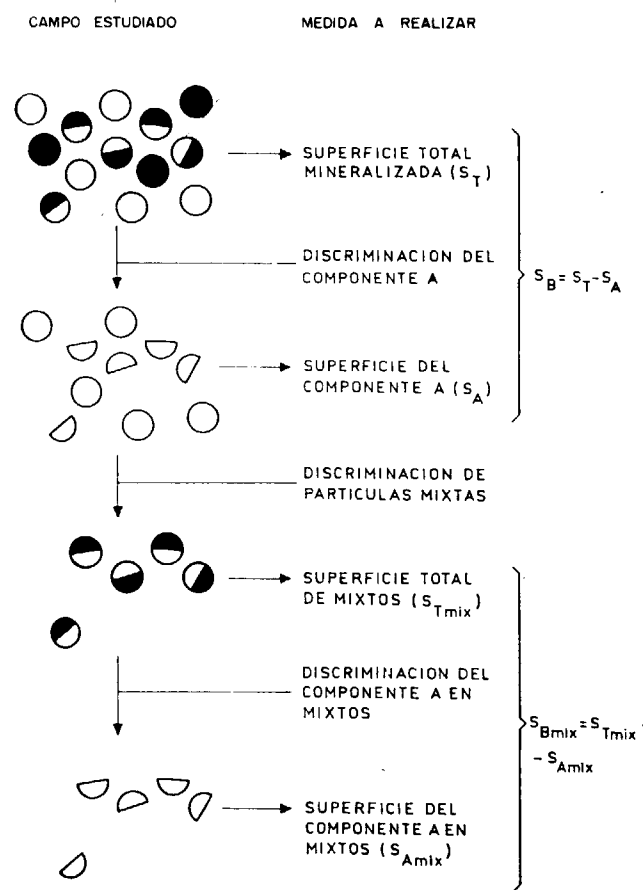


Figura 11.—Esquema general del proceso de medida del grado de liberación por análisis de imagen.

El proceso seguido consiste inicialmente en la normalización de la imagen obtenida por medio de un microscópico petrográfico, mejorando su aspecto densitométrico y eliminando el fondo correspondiente al soporte mediante una serie de filtros (figs. 12 y 13).

Una vez realizado este proceso, se lleva a cabo la discriminación de las especies mineralógicas existentes en el campo estudiado, obteniéndose la superficie total de partículas (figs. 14 y 15). A continuación se lleva a cabo la medida de la superficie correspondiente a la fase mayoritaria (en este caso la esfalerita) mediante la correspondiente discriminación de acuerdo a sus niveles de grises.

La homogeneización de los niveles de grises (figura 16) y la discriminación según el nivel medio, permite obtener los granos mixtos y medir su superficie y la de las diferentes fases mineralógicas que los componen (figs. 17, 18 y 19).

Como ejemplo de los resultados que pueden obtenerse con el método propuesto, en la tabla 3 se recogen los obtenidos en una muestra de concentrado de cinc al que corresponde la secuencia de imágenes comentadas anteriormente.

TABLA 3

Resultados obtenidos en la medida del índice de liberación en una muestra de concentrado de cinc

Superficie total mineralizada	0,5679 × 10 ⁶ μm^2
Superficie de esfalerita	0,5203 × 10 ⁶ μm^2
Superficie total de mixtos (esfalerita + galena)	0,1710 × 10 ⁶ μm^2
Superficie total de esfalerita en mixtos.	0,1213 × 10 ⁶ μm^2
Índice de liberación de esfalerita	76,7%
Porcentaje de mixtos	30,1%
Composición de los mixtos	70,94% esfalerita
	29,06% galena

Posteriormente, se aplicó el método descrito a diversas muestras de concentrado y de estéril del primer relavado del ciclo del cinc.

En cada una de las muestras se estudiaron más de 60 campos diferentes, número que dada la homogeneidad y representatividad de las muestras se consideró suficiente para obtener una medida estadística precisa.

Los resultados obtenidos se recogen en las tablas 4 y 5. En todos los cálculos se han considerado como mixtos aquellas partículas que contu-



Figura 12.—Imagen de un campo estudiado después de ser mejorado con un filtro ENHCON (en gris la esfalerita y en blanco la galena).



Figura 13.—Eliminación del fondo existente en el campo estudiado.



Figura 14.—Discriminación realizada para la medida de la superficie total de partículas.



Figura 15.—Mejora de la imagen mediante un filtro para la medida de la superficie total de partículas.

viesen como mínimo un 5 por 100 de área de cualquiera de las fases mineralógicas en relación con el área total del grano mixto estudiado.

cambio una buena preparación metalográfica de las muestras de estudio y una adecuada homogeneidad en las mismas, hechos, sobre todo este último aspecto, no siempre es fácil de conseguir.

TABLA 4

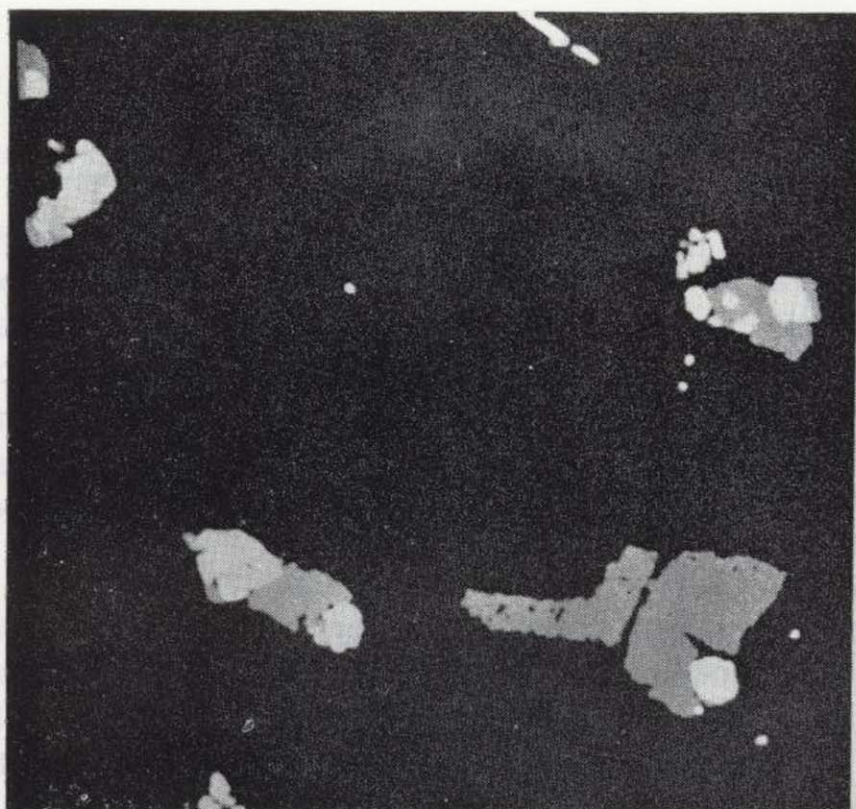


Figura 16.—Aislamiento de las partículas mixtas mediante la homogeneización del nivel medio de gris en las mismas.

Figura 17.—Discriminación realizada para la determinación de la superficie total de partículas mixtas.

los niveles de gris según el nivel medio. Si es necesario calcular para cada caso concreto mediante la realización de un perfil de niveles de

CIM Bull., 76 (1963).

J. J. J. B. R. Technical note rapid production of

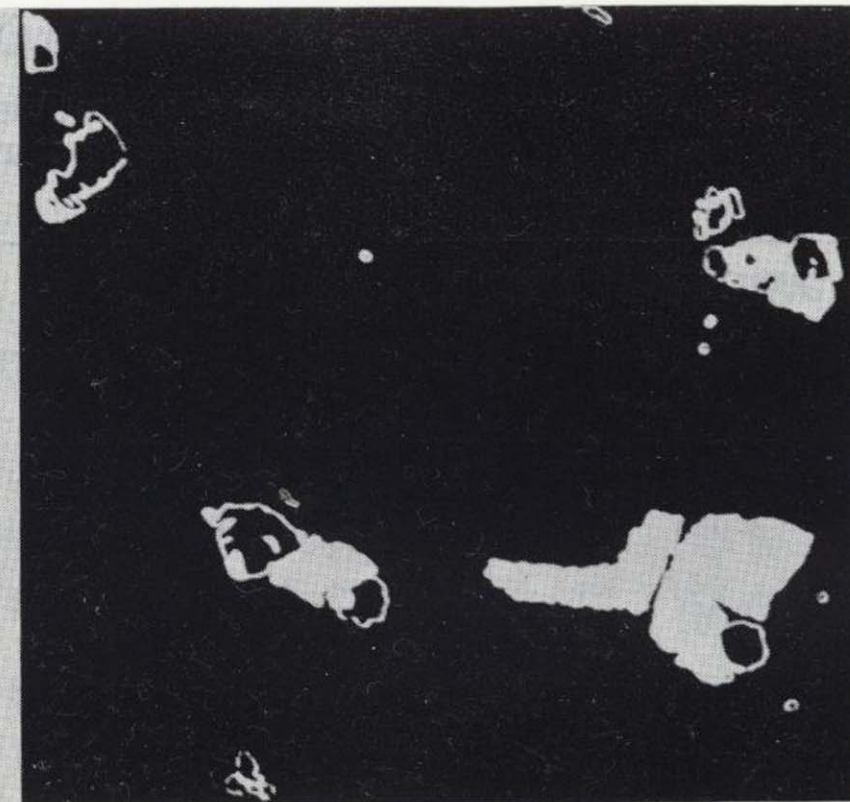


Figura 18.—Discriminación realizada para la medida de la superficie de galena en los mixtos.

Figura 19.—Discriminación realizada para la medida de la superficie de esfalerita en los mixtos.

poner de la composición de los mixtos.

El método propuesto, que aunque presenta entre otras la ventaja de su rapidez, requiere en

copper and iron sulphides from the room Antelope Deposit in Zambia. XIV International Mineral Processing Congress, Toronto (Canada), vol. VIII, 3-15-15 (1982).

Recibido: Marzo 1986.

TABLA 4

Resultados del análisis de liberación en el concentrado de cinc

GRANULOMETRIA (μm)	% PESO	S_T $\times 10^7$	S_{ZNS} $\times 10^6$	S_{MIXTOS} $\times 10^6$	S_{ZNS} EN MIXTOS $\times 10^6$	% L	% MIXTOS	COMPOSICION DE MIXTOS	
								ZNS (%)	PbS +GANGA%
+ 104	14.20	0.562	0.554	0.472	0.399	92.8	8.40	84.53	15.47
104- 74	11.90	0.144	0.136	0.323	0.294	78.4	22.43	91.02	8.98
74- 40	18.26	0.437	0.430	0.297	0.230	94.7	6.80	77.44	22.56
-40	55.64	0.603	0.590	0.422	0.355	94.0	7.00	84.12	15.88
TOTAL	100.00	0.513	0.502	0.394	0.329	93.4	8.99	83.77	16.22

(*) LOS VALORES DE LAS SUPERFICIES ESTAN EXPRESADAS EN μm^2

TABLA 5

Resultados del análisis de liberación en el estéril del primer relavado del cinc

GRANULOMETRIA (μm)	% PESO	S_T $\times 10^7$	S_{ZNS} $\times 10^7$	S_{MIXTOS} $\times 10^7$	S_{ZNS} EN MIXTOS $\times 10^7$	S_{GANGA} EN MIXTOS $\times 10^7$	% L	COMPOSICION DE MIXTOS		% MIXTOS
								ZNS (%)	GANGA (%)	
+ 104	51.98	0.543	0.518	0.150	0.129	0.021	75.10	85.86	14.14	27.74
104- 74	15.72	0.568	0.489	0.291	0.214	0.076	56.20	73.77	26.23	51.11
74- 40	10.24	0.105	0.081	0.052	0.028	0.023	65.10	54.04	44.96	49.33
- 40	21.34	0.021	0.015	0.012	0.007	0.006	55.10	53.22	46.77	55.10
TOTAL	100.00	0.287	0.358	0.132	0.105	0.027	70.60	73.28	26.72	40.41

(*) LOS VALORES DE LAS SUPERFICIES ESTAN EXPRESADAS EN μm^2

viesen como mínimo un 5 por 100 de área de cualquiera de las fases mineralógicas en relación con el área total del grano mixto estudiado.

cambio una buena preparación metalográfica de las muestras de estudio y una adecuada homogeneidad en las mismas, hechos, sobre todo este último aspecto, no siempre es fácil de conseguir.

**5. DISCUSION DE RESULTADOS:
CONCLUSIONES**

Las experiencias realizadas por los autores en este y otros trabajos anteriores, ponen de manifiesto que la aplicación de las técnicas de análisis de imagen al cálculo de índices de liberación, impone inicialmente la condición de la existencia de una cierta diferenciación entre los niveles de gris de las fases mineralógicas presentes, sin la cual, los procesos de discriminación no son posibles.

En este momento, se está mejorando el método de medida para aquellos casos en los que la luz normal del microscopio petrográfico no permite alcanzar esta diferenciación. Para ello se intenta utilizar la luz polarizada.

El cálculo del grado de liberación impone el aislamiento de las partículas mixtas para lo cual es indispensable recurrir a la homogeneización de los niveles de gris según el nivel medio, nivel que es necesario calcular para cada caso concreto mediante la realización de un perfil de niveles de gris.

Como se ha podido comprobar, el cálculo de índices de liberación por análisis de imagen conduce a diferentes resultados según las ecuaciones matemáticas utilizadas como se ha podido comprobar en la figura 10. A pesar de ello, las variaciones entre las diferentes formulaciones son mínimas.

No obstante, el método propuesto presenta la ventaja de poder conocer la composición de los mixtos, dato siempre más significativo desde un punto de vista mineralúrgico que su proporción en la muestra estudiada.

Así por ejemplo, en el caso estudiado en este trabajo, si se hubiese obtenido tan sólo el porcentaje de mixtos en el estéril del primer relavado del cinc (40 por 100), se hubiese podido pensar en la necesidad de un circuito de remolienda, decisión que quizás sea más discutible al poder disponer de la composición de los mismos.

El método propuesto, que aunque presenta entre otras la ventaja de su rapidez, requiere en

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las colaboraciones de los doctores F. López Aguayo, Catedrático de Mineralogía de la Universidad de Zaragoza; y los doctores F. Medina García y J. C. Ruiz Sierra, del CENIM.

ESTE TRABAJO FORMA PARTE DEL PROGRAMA 678/059 DEL CSIC.

BIBLIOGRAFIA

1. BARBERY, G., and PREVOSTEAU, J. M.: *La minéralogie quantitative*. Annales des Mines. Février, 1-10 (1976).
2. BERUBE, M. A., and MARCHAND, J. C.: *Etudes de libération des minerais à l'Université de Laval. Principes et measurement à l'aide d'un analyseur d'images*. CIM Bull., 76 (850) (1983).
3. JACKSON, B. R.: *Technical note rapid production of high quality polished sections for automated image analysis of minerals*. Proc. Australas. Inst. Min. Metall., 289, 93-97 (1984).
4. LÓPEZ GÓMEZ, F. A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, D., y CARUANA, G., et al.: *Aplicaciones del análisis de imagen al control de procesos de concentración de minerales*. Rocas y Minerales, 162, 64-77 (1985).
5. LÓPEZ GÓMEZ, F. A.; FERNÁNDEZ GARCÍA, D., y CARUANA, G., et al.: *El análisis de imagen en mineralogía y mineralotecnía*. Rocas y Minerales, 160, 36-41 (1985).
6. CARUANA, G.; ARIAS GARCÍA, A., and LÓPEZ GÓMEZ, F. A.: *Application of image analysis techniques to grinding control in ore beneficiation processes*. 3rd Mediterranean Congress on Chemical Engineering. Feria de Barcelona. Barcelona (Spain), 151-152 (1984).
7. MILLER, P. R., and REID, A. F.: *QUEM-SEM image analysis in the determination of modal assays, mineral associations and mineral liberation*. XIV International Mineral Processing Congress. Toronto (Canadá), vol. VIII, 3.1-3.20 (1982).
8. RIXON, P. M., and KOSTIC, N.: *The application of image analysis to determine the flotation characteristics of copper and iron sulphides from the roan Antelope Deposit in Zambia*. XIV International Mineral Processing Congress. Toronto (Canadá), vol. VIII, 5.1-5.15 (1982).

Recibido: Marzo 1986.

AGUAS SUBTERRANEAS

Cálculo de la constante de Euler y sus aplicaciones en Hidrogeología y Geología del Petróleo

Por I. QUINTERO AMADOR (*)

RESUMEN

Se propone aquí un método aproximativo, para obtener la constante de Euler, basado en diversos algoritmos.

Se indican algunos ejemplos en el campo de la Geología del Petróleo y de la Hidrogeología.

ABSTRACT

An approximative method, to obtain the Euler's constant is proposed here, based on several algorithms. Some examples are presented in the context of Petroleum Geology and Groundwater Hidrogeology.

RESUME

On propose ici une méthode approximative, pour l'obtention de la constante de Euler. Quelques exemples sont présentés dans la Géologie du Pétrole et la Hidrogéologie.

INTRODUCCION

La constante de Euler, tan conocida en el análisis matemático, es fundamental en el estudio de las aguas subterráneas para calcular la trasmisividad y el coeficiente de almacenamiento. Para ello se recurre a representaciones gráficas que corresponden a fórmulas de no equilibrio según un diagrama bilogarítmico a donde se llevan los valores de $W(u)$ en función de los de u .

El gráfico de la curva tipo, $W(u)$, se obtiene a partir de cuadros en los que se calculan los valores de dicha función a partir de las abscisas, u , mediante la fórmula exponencial integral de Theis, o de la simplificación de Jacob.

También en el cálculo teórico de presiones en yacimientos petrolíferos, considerando el flujo radial hacia un pozo, el fluido no compresible y el estado no continuo, se llega a desarrollos semejantes y por integración de la ecuación de la difusividad nos encontramos, de nuevo, la constante de Euler.

Las posibilidades a que da lugar la integración mencionada son numerosas y se resuelven mediante gráficos, calculados y dibujados como en el caso del agua.

La curva $W(u)$ no es otra que la integral $\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ entre un valor u y otro ∞ . Su resolución se hace por desarrollo en serie, y los cuadros se calculan a partir de los sucesivos valores que toma la función para cada uno de los atribuidos a u .

Todo está tabulado y representado gráficamente, pero el concepto físico y matemático se pierde bajo el peso de la rutina, sin que lleguemos siquiera a comprender cuándo puede recurrirse a las simplificaciones de Jacob o de Nisle.

(*) Catedrático de la E. T. S. I. Minas de Madrid.

El problema es aún más interesante si consideramos la ecuación de la difusividad, no sólo aplicable al fluido petrolífero o acuífero, sino también al flujo eléctrico o a la difusión del calor.

En los numerosos tratados de aguas subterráneas o de petróleo que hemos tenido ocasión de examinar nos encontramos la fórmula:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0,5772 - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots$$

CUESTIONES QUE SE PLANTEAN

A partir de esta aseveración, todo es claro, pero, antes de seguir, hay que detenerse en dos cuestiones: simplificación de Jacob y convergencia de la serie.

La primera cuestión de las simplificaciones, es evidentemente la simple retención de los dos primeros términos, prescindiendo de todos los demás cuando u es suficientemente pequeña, de tal manera que $W(u) = -L 1,78 u$. Pero igualmente que Jacob planteó esa simplificación, podríamos nosotros establecer $W(u) = -L 1,78 u e^{-u}$ para otros valores de u y hasta otros límites. Por consiguiente, es preciso tener el concepto matemático para determinar en cada caso los términos de la serie que pueden ser despreciados.

Para el estudio de la segunda cuestión partiremos del desarrollo de $\frac{e^{-u}}{u} = \frac{1}{u} - 1 + \frac{u}{2!} - \frac{u^2}{3!} + \frac{u^3}{4!} - \dots$

La integral entre u e ∞ viene dada por:

$$\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \left[Lu - \frac{u}{1 \cdot 1!} + \frac{u^2}{2 \cdot 2!} - \frac{u^3}{3 \cdot 3!} + \dots \right]_u^\infty$$

Para valores de u suficientemente pequeños, la serie es claramente convergente, pero para el límite superior es oscilante e indeterminada: $\infty - \infty + \infty - \dots$

El cálculo puede hacerse descomponiendo la integral en otras dos, de tal manera que

$$I = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \int_u^2 \frac{e^{-u}}{u} du + \int_2^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

Pero

$$I = \int_u^2 \frac{e^{-u}}{u} du = L2 - \frac{2}{1 \cdot 1!} + \frac{2^2}{2 \cdot 2!} - \frac{2^3}{3 \cdot 3!} + \dots - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots$$

$$I_1 = \left(L2 + \frac{2^2}{2 \cdot 2!} + \frac{2^4}{4 \cdot 4!} + \dots \right) - \left(\frac{2}{1 \cdot 1!} + \frac{2^3}{3 \cdot 3!} + \frac{2^5}{5 \cdot 5!} + \dots \right) - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots$$

$$I_1 = (0,693147 + 0,166666 \dots + 0,0148147 + 0,0007936 + 0,0000282 +$$

$$+ 0,0000007 + \dots) - (2 + 0,4444444 + 0,0533333 + 0,0036281 +$$

$$+ 0,0001567 + 0,0000046 + 0,0000001 + \dots) - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} +$$

$$+ \dots = -0,6261164 - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots$$

Calculada I_1 , veamos la convergencia de $I_2 = \int_2^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$, que no resulta tan evidente.

Desde luego,

$$I_2 < \int_2^{\infty} e^{-u} du = \left| -e^{-u} \right|_2^{\infty} = e^{-2} \quad ; \quad I_2 < e^{-2}$$

$$I_2 > \int_2^{\infty} \frac{e^{-u}}{u^2} du$$

que integrada por partes da:

$$\left| -\frac{1}{u} e^{-u} \right|_2^{\infty} - \int_2^{\infty} \frac{e^{-u}}{u} du$$

con lo que

$$I_2 > \frac{e^{-2}}{2} - I_2 \quad ; \quad 2I_2 > \frac{e^{-2}}{2} \quad ; \quad I_2 > \frac{e^{-2}}{4}$$

Por tanto, queda demostrado que:

$$\frac{e^{-2}}{4} < I_2 < e^{-2}$$

De esta manera hemos llegado a $I = -0,6261164 + I_2 - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots$. La constante es $C = -0,6261164 + I_2$, por lo que está comprendida entre $-0,49$ y $-0,59$.

CALCULO DE LA CONSTANTE DE EULER

Estudiada la convergencia, pasamos al cálculo de la constante de Euler, para la que acabamos de obtener un valor comprendido entre $-0,49$ y $-0,59$.

Determinada la integral I_1 con suficiente aproximación, ya que la constante tiene seis cifras decimales exactas, hemos de aproximar ahora la integral I_2 , que representa el área encerrada entre la curva y el eje de abscisas desde la ordenada correspondiente al valor 2 hasta la ∞ .

El cálculo de I_2 puede hacerse mediante una serie mayorante y otra minorante.

Como serie mayorante bastaría tomar los trapecios circunscritos, de manera que:

$$I_2 < \frac{\frac{1}{2e^2} + \frac{1}{3e^3}}{2} + \frac{\frac{1}{3e^3} + \frac{1}{4e^4}}{2} + \frac{\frac{1}{4e^4} + \frac{1}{5e^5}}{2} + \dots$$

Operando: $I_2 < \frac{1}{4e^2} + \frac{1}{3e^3} + \frac{1}{4e^4} + \frac{1}{5e^5} + \dots$, y si se toman los diez primeros términos, se obtienen seis cifras exactas, de manera que $I_2 < 0,056961$. Sumando este valor con el de I_1 obtenemos para la constante de Euler, aproximadamente, $-0,569$.

Con un cálculo más laborioso dividiremos el intervalo entre 2 y 3 en 10 partes. Area = $= 0,0359182$.

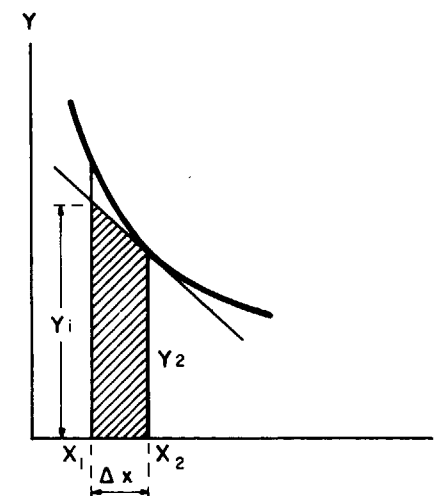
Para el intervalo entre 3 y 4 lo hacemos en 5 partes, y su área calculada nos da: $0,0093235$.

El intervalo entre 4 y 5 lo dividimos en dos partes, y su área es $0,0027158$, en tanto que los sucesivos trapecios se toman con intervalo 1.

De esta manera se llega a un resultado de mejor aproximación para la serie mayorante

$$I_2 < 0,0492366$$

Como serie minorante tomamos los trapecios inscritos formados por las tangentes como indica la figura



La tangente en (x_2, y_2) es:

$$y - y_2 = y'_2 (x - x_2)$$

y su intersección con $x = x_1$ es:

$$y_1 = y_2 + y'_2 (x_1 - x_2)$$

o sea,

$$y_1 = y_2 + y'_2 \Delta x$$

$$\Delta S = \frac{y_1 + y_2}{2} \Delta x = y_2 \left[\left(1 + \frac{\Delta x}{x_2} \right) + \frac{\Delta x}{x_2} \right] \Delta x$$

Esta expresión resulta bastante cómoda para operar, y así, partiendo de $x_1 = 2$ y tomando $\Delta x = \frac{1}{10}$ se obtienen las áreas entre los valores 2 y 3, que se expresan a continuación:

$$\frac{1}{2,1} \frac{1}{e^{2,1}} \left(21 + \frac{1}{2,1} \right) \frac{1}{200} \quad ; \quad \frac{1}{2,2} \frac{1}{e^{2,2}} \left(21 + \frac{1}{2,2} \right) \frac{1}{200} \quad ; \quad \frac{1}{2,3} \frac{1}{e^{2,3}} \left(21 + \frac{1}{2,3} \right) \frac{1}{200} \dots$$

siendo el término final $\frac{1}{3} \frac{1}{e^3} \left(21 + \frac{1}{3} \right) \frac{1}{200}$.

El área calculada mediante la suma anterior es $\frac{7,145481}{200}$, y vale, por consiguiente, 0,0357274.

El intervalo entre 3 y 4 lo dividimos, como hicimos con la serie mayorante, en cinco partes. Sus valores serán entonces:

$$\frac{1}{3,2} \frac{1}{e^{3,2}} \left(11 + \frac{1}{3,2} \right) \frac{1}{50} ; \frac{1}{3,4} \frac{1}{e^{3,4}} \left(11 + \frac{1}{3,4} \right) \frac{1}{50} ; \frac{1}{3,6} \frac{1}{e^{3,6}} \left(11 + \frac{1}{3,6} \right) \frac{1}{50} ; \dots$$

$$\dots \frac{1}{4} \frac{1}{e^4} \left(11 + \frac{1}{4} \right) \frac{1}{50}$$

Haciendo operaciones resulta un área igual a 0,0091674.

El intervalo entre 4 y 5 lo dividimos en dos partes, y su área es

$$\frac{1}{4,5} \frac{1}{e^{4,5}} \left(5 + \frac{1}{4,5} \right) \frac{1}{8} + \frac{1}{5} \frac{1}{e^5} \left(5 + \frac{1}{5} \right) \frac{1}{8} = 0,0024873$$

El resto de la serie minorante es:

$$\frac{1}{6e^3} + \frac{1}{7e^2} + \frac{1}{8e^8} + \dots$$

Sumando todos los valores hallados, resulta 0,0479855, y, por tanto, $0,0479855 < I_2 < 0,0492366$, de manera que el error ϵ es menor que la diferencia, es decir $\epsilon < 0,0009$.

Promediando los valores por defecto y por exceso, obtenemos $I_2 = 0,04878$, de donde, $C = -0,6261164 + 0,04878 = -0,5773$, mientras que el obtenido por Nisle era $-0,5772$.

OTRO METODO DE CALCULO

Consiste en llevar el límite superior de la primera integral a un valor más alto, de manera que:

$$\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \int_u^5 \frac{e^{-u}}{u} du + \int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

La segunda integral da el área, como antes, pero es mucho más convergente y su valor muy pequeño.

La dificultad principal es el cálculo de la primera, ya que

$$\int_u^5 \frac{e^{-u}}{u} du = -Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots +$$

$$+ \left(L5 - 5 + \frac{25}{4} - \frac{125}{18} + \frac{625}{96} - \dots \right)$$

y la expresión del paréntesis es muy poco convergente, por lo que habrán de tomarse 22 términos para tener seis cifras decimales exactas.

En este procedimiento el cálculo es de carácter mecánico, pero para hacerlo menos penoso recurriremos a un artificio que lo simplifique, teniendo en cuenta que:

$$a_n = \frac{5^n}{n \cdot n!} (-1)^n \quad \text{y} \quad a_{n-1} = \frac{5^{n-1}}{(n-1)(n-1)!} (-1)^{n-1}$$

por lo que

$$a_n = -\frac{5(n-1)}{n^2} a_{n-1}$$

De esta manera, calculado el término $n-1$, el término n es igual al valor hallado multiplicado por $\frac{5(n-1)}{n^2}$ y con signo contrario. Los términos son:

$$L_5 = 1,609438 \quad ; \quad a_1 = -5 \quad ; \quad a_2 = -\frac{5}{2^2} a_1 \quad ; \quad a_3 = -\frac{10}{3^2} a_2 \quad ;$$

$$a_4 = -\frac{15}{4^2} a_3 \quad ; \quad a_5 = \frac{20}{5^2} a_4 \quad \text{etc.}$$

Operando con los valores antes expresados, se obtiene el resultado $-0,578364$, con 6 cifras decimales exactas.

La otra integral $\int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ puede sustituirse por la serie de trapecios circunscritos:

$$\frac{\frac{e^{-5}}{5} + \frac{e^{-6}}{6}}{2} + \frac{\frac{e^{-6}}{6} + \frac{e^{-7}}{7}}{2} + \frac{\frac{e^{-7}}{7} + \frac{e^{-8}}{8}}{2} + \dots =$$

$$= \frac{e^{-5}}{10} + \frac{e^{-6}}{6} + \frac{e^{-7}}{7} + \frac{e^{-8}}{8} + \dots = 0,0012791$$

La constante es entonces $C = -0,578364 + 0,0012791 = -0,57708$.

El valor del área debe afinarse más haciendo menores los intervalos de los trapecios circunscritos con diferencias de abscisas $\frac{1}{2}$ en vez de 1.

Dicho valor es entonces

$$\frac{1}{2} \left(\frac{e^{-5}}{10} + \frac{e^{-5,5}}{5,5} + \frac{e^{-6}}{6} + \frac{e^{-6,5}}{6,5} + \dots \right) = 0,0011786$$

y la constante

$$C = -0,578364 + 0,0011786 = -0,57718$$

Utilicemos ahora la misma serie minorante de trapecios inscritos que determinamos anteriormente, partiendo de $x_2 = 5,5$; $\Delta x = \frac{1}{2}$.

$$\Delta S = y_2 \left[\left(1 + \frac{\Delta x}{2} \right) + \frac{\Delta x}{2} \frac{1}{x_2} \right] \Delta x$$

El área de los trapecios inscritos resulta:

$$\begin{aligned} & \frac{5}{8} \left(\frac{e^{-5,5}}{5,5} + \frac{e^{-6}}{6} + \frac{e^{-6,5}}{6,5} + \frac{e^{-7}}{7} + \dots \right) + \\ & + \frac{1}{8} \left(\frac{e^{-5,5}}{5,5^2} + \frac{e^{-6}}{6^2} + \frac{e^{-6,5}}{6,5^2} + \frac{e^{-7}}{7^2} + \dots \right) = \\ & = 0,0010518 + 0,0000348 = 0,0010866 \end{aligned}$$

Con esta serie minorante, $C = -0,578364 + 0,0010866 = -0,577276$.

Si consideramos como valor de la integral el promedio de los valores obtenidos por la serie mayorante y la minorante, tendremos por lo menos cuatro cifras decimales exactas en el valor de C.

$$C = 0,578364 + 0,0011326 = \underline{\underline{-0,577231}}$$

UN TERCER METODO DE CALCULO Y SU DISCUSION

Este nuevo procedimiento de cálculo, consiste en buscar una mayor convergencia a la integral, entre límites de $\frac{e^{-u}}{u} du$. Para conseguirlo, procederemos a su integración por partes:

$$\begin{aligned} \int \frac{e^{-u}}{u} du &= -\frac{e^{-u}}{u} - \int \frac{e^{-u}}{u^2} du = -\frac{e^{-u}}{u} + \frac{e^{-u}}{u^2} + \\ &+ \int \frac{2!e^{-u}}{u^3} du = -\frac{e^{-u}}{u} + \frac{e^{-u}}{u^2} - \frac{2!e^{-u}}{u^3} - \int \frac{3!e^{-u}}{u^4} du \end{aligned}$$

El desarrollo completo de la integral es:

$$\int \frac{e^{-u}}{u} du = -\frac{e^{-u}}{u} + \frac{1!e^{-u}}{u^2} - \frac{2!e^{-u}}{u^3} + \frac{3!e^{-u}}{u^4} - \dots - \frac{(2n-1)!e^{-u}}{u^{2n}} + \int \frac{(2n)!e^{-u}}{u^{2n+1}} du$$

Si tomamos $n = 3$, tendremos:

$$\int \frac{e^{-u}}{u} du = -\frac{e^{-u}}{u} + \frac{1!e^{-u}}{u^2} - \frac{2!e^{-u}}{u^3} + \frac{3!e^{-u}}{u^4} - \frac{4!e^{-u}}{u^5} + \frac{5!e^{-u}}{u^6} + \int \frac{6!e^{-u}}{u^7} du$$

Aprovechemos el valor de la serie para $u = 5$, que era $-0,5783639$, y determinemos:

$$\begin{aligned} \int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du &= \frac{e^{-5}}{5} \left(1 - \frac{1!}{5} + \frac{2!}{5^2} - \frac{3!}{5^3} + \frac{4!}{5^4} - \frac{5!}{5^5} \right) + \int_5^\infty \frac{6!e^{-u}}{u^7} du = 0,832 \frac{1}{5e^5} + \\ &+ \int_5^\infty \frac{720e^{-u}}{u^7} du = \frac{0,1664}{e^5} + \int_5^\infty \frac{720e^{-u}}{u^7} du = 0,0011211 + \int_5^\infty \frac{720e^{-u}}{u^7} du \end{aligned}$$

Esta última integral puede calcularse por la serie de trapecios circunscritos:

$$\begin{aligned} & \frac{720}{2} \left(\frac{e^{-5}}{5^7} + \frac{e^{-6}}{6^7} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{e^{-6}}{6^7} + \frac{e^{-7}}{7^7} \right) + \dots = \frac{720}{2 \cdot 5^7 e^5} + \frac{720}{6^7 e^6} + \frac{720}{7^7 e^7} + \dots = \\ & = 0,000031 + 0,0000062 + 0,0000007 + \dots = 0,0000379 \end{aligned}$$

Si se utilizara la serie minorante de rectángulos inscritos de abscisa igual a la unidad, la nueva serie es la misma que la anterior prescindiendo del primer término: $\frac{720}{6^7 e^6} + \frac{720}{7^7 e^7} + \dots$

Como consecuencia inmediata, deducimos que el error cometido utilizando la serie mayorante de trapecios es menor que el primer término. Por consiguiente, $\epsilon < 0,000031$.

De esta manera $\int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = 0,0011211 + 0,0000379 = 0,0011590$, y la constante es: $C = -0,5783639 + 0,0011590 = -0,5772049$, con $\epsilon < 0,000031$.

Aparentemente, la integral definida de $\frac{e^{-u}}{u} du$ alcanza un mayor grado de convergencia si se toma un valor alejado de la serie antes definida:

$$-\frac{e^{-u}}{u} \left[1 - \frac{1!}{u} + \frac{2!}{u^2} - \frac{3!}{u^3} + \dots + \frac{(2n-1)!}{u^{2n-1}} \right] + (2n)! \int \frac{e^{-u}}{u^{2n+1}} du$$

puesto que $\int \frac{e^{-u}}{u^{2n+1}} du$ produce un error tan pequeño como se quiera, para lo que basta tomar n suficientemente grande. No obstante, esa apariencia es falsa, ya que el coeficiente $(2n)!$, que afecta a la integral, desestabiliza el proceso.

Para el caso $\int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ tendríamos como valor:

$$\frac{e^{-5}}{5} \left[1 - \frac{1!}{5} + \frac{2!}{5^2} - \frac{3!}{5^3} + \dots + \frac{(2n-1)!}{5^{2n-1}} \right] + (2n)! \int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u^{2n+1}} du$$

Se trata de buscar el error de $\int_5^\infty \frac{(2n)! e^{-u}}{u^{2n+1}} du$, que ya hemos indicado es menor que el primer término obtenido en la serie mayorante. Por tanto, $\epsilon < \frac{(2n)!}{2 \cdot 5^{2n+1} e^5}$

Para un valor de n suficientemente grande podemos utilizar la fórmula de Stirling, y nos quedará:

$$\varepsilon < \frac{\sqrt{2\pi \cdot 2n} (2n)^{2n} e^{-2n}}{2 \cdot 5^{2n+1} e^5} e^v$$

siendo e^v un factor que tiende a la unidad cuando n → ∞.

Operando, resulta $\varepsilon < \frac{\sqrt{2\pi}}{10e^5} \sqrt{2n} \left(\frac{2n}{5e}\right)^{2n} e^v$ que aumenta al crecer n hasta alcanzar un valor ∞.

Con esta expresión podemos comprobar que el error para 2n = 6, antes calculado, es

$$\varepsilon < \left(\frac{6}{5e}\right)^6 \sqrt{6} \frac{\sqrt{2\pi}}{10e^5} e^v = 0,0000306 e^v$$

en el que e^v es mayor que la unidad, pero próxima ella, lo que coincide con $\varepsilon < 0,000031$ antes hallado.

Para el caso concreto $\int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ podríamos tomar los términos de la serie, suficientes para llegar al cálculo de la $\int_5^\infty \frac{2!e^{-u}}{u^3} du$ o bien de $\int_5^\infty \frac{4!e^{-u}}{u^5} du$ o de $\int_5^\infty \frac{6!e^{-u}}{u^7} du$, etc.

En el primer caso, el error es $\varepsilon < \frac{2!}{2 \cdot 5^3 e^5} = 0,0000539$.

En el segundo caso es $\varepsilon < \frac{4!}{2 \cdot 5^5 \cdot e^5} = 0,0000252$.

En el tercero, ya calculado, es $\varepsilon < \frac{6!}{2 \cdot 5^7 e^5} = 0,000031$.

Para $\int_5^\infty \frac{8!e^{-u}}{u^9} du$ el error es $\varepsilon < \frac{8!}{2 \cdot 5^9 e^5} = 0,000031 \frac{8 \times 7}{5 \times 5} = 0,0000694$.

Las integrales sucesivas darán mayor error, de forma progresiva, y el proceso se desestabiliza.

Existe, por tanto, para cada integral definida $\int_a^\infty \frac{(2n)!e^{-u}}{u^{2n+1}} du$ un valor óptimo, que para el caso de a = 5 es el valor n = 2.

Por consiguiente,

$$\begin{aligned} \int_5^\infty \frac{e^{-u}}{u} du &= \frac{e^{-5}}{5} \left(1 - \frac{1!}{5} + \frac{2!}{5^2} - \frac{3!}{5^3} \right) + \int_5^\infty \frac{4!e^{-u}}{u^5} du = \frac{104}{625e^5} + \int_5^\infty \frac{4!e^{-u}}{u^5} du = \\ &= 0,0011211 + \frac{4!}{2 \cdot 5^5 e^5} + \frac{4!}{5^6 e^6} + \frac{4!}{5^7 e^7} + \dots = 0,0011503 \end{aligned}$$

Con este valor calculado, la constante es:

$$C = -0,5783639 + 0,0011503 = -0,57721 \text{ con error menor que } 0,000025$$

Determinada la constante de Euler, se tiene:

$$\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0,5772 - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots$$

OTRA POSIBILIDAD DE CALCULO

Consiste en hacer el cambio $u = L \frac{1}{x}$ conservando el valor determinado para u = 5 en la integral $\int_u^5 \frac{e^{-u}}{u} du$, que era -0,5783639.

Con ese cambio, nos queda por determinar $\int_{\frac{1}{e^5}}^0 \frac{dx}{Lx}$.

Dando a x los valores $\frac{1}{e^5}, \frac{1}{e^6}, \frac{1}{e^7}$, etc., tendremos los valores de $\frac{1}{Lx}$ siguientes: $-\frac{1}{5}, -\frac{1}{6}, -\frac{1}{7}$, etc.

El área entre $\frac{1}{e^5}$ y 0 será la suma de los trapecios:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{2} \left(\frac{1}{e^5} - \frac{1}{e^6} \right) \left(\frac{1}{5} + \frac{1}{6} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{e^6} - \frac{1}{e^7} \right) \left(\frac{1}{6} + \frac{1}{7} \right) + \dots = \\ &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{e} \right) \left[\left(\frac{1}{5e^5} + \frac{1}{6e^5} \right) + \left(\frac{1}{6e^6} + \frac{1}{6e^7} \right) + \left(\frac{1}{7e^7} + \frac{1}{7e^8} \right) + \dots \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{e} \right) \left[\left(\frac{1}{5e^5} + \frac{1}{6e^6} + \frac{1}{7e^7} + \dots \right) + c \left(\frac{1}{6e^6} + \frac{1}{7e^7} + \frac{1}{8e^8} + \dots \right) \right] \end{aligned}$$

Como $L \left(1 - \frac{1}{e} \right) = - \left(\frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2} + \frac{1}{3e^3} + \frac{1}{4e^4} + \frac{1}{5e^5} + \dots \right)$ se puede calcular $\frac{1}{5e^5} + \frac{1}{6e^6} + \dots$ y también $\frac{1}{6e^6} + \frac{1}{7e^7} + \dots$

La expresión anterior queda así:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{e}\right) \left[-L \left(1 - \frac{1}{e}\right) - \left(\frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2} + \frac{1}{3e^3} + \frac{1}{4e^4}\right) - eL \left(1 - \frac{1}{e}\right) + \right. \\ & \left. + e \left(\frac{1}{e} + \frac{1}{2e^2} + \frac{1}{3e^3} + \frac{1}{4e^4} + \frac{1}{5e^5}\right) \right] = -\frac{1}{2} \left(e - \frac{1}{e}\right) L \left(1 - \frac{1}{e}\right) - \\ & -\frac{1}{2} \left(1 - \frac{1}{e}\right) \left(1 + \frac{3}{2e} + \frac{5}{6e^2} + \frac{7}{12e^3} + \frac{9}{20e^4}\right) = \\ & = 0,53903495 - \frac{1}{2} \times 0,6321204 (1 + 0,5518194 + 0,1127794 + 0,0290424 + 0,008242) = 0,53903495 - \\ & - 0,3160602 \times 1,7018832 = 0,53903495 - 0,5378975 = 0,0011374 \end{aligned}$$

La constante valdrá $-0,5783639 + 0,0011374 = -0,5772265$.

PROCEDIMIENTO FINAL DE MAYOR PRECISION

$$\begin{aligned} & \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = \int_u^a \frac{e^{-u}}{u} du + \int_a^\infty \frac{e^{-u}}{u} du \\ & \int_u^a \frac{e^{-u}}{u} du = \left(La - \frac{a}{1 \cdot 1!} + \frac{a^2}{2 \cdot 2!} - \dots \right) - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \dots \end{aligned}$$

La expresión del paréntesis para a = 5 vale -0,5783639.

Calculemos ahora $\int_a^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ mediante el cambio $e^u = \frac{1}{x}$.

Haciendo operaciones, queda $\int_{\frac{1}{e^a}}^0 \frac{dx}{Lx}$

$$\int \frac{dx}{Lx} = x \frac{1}{Lx} - \int x \frac{\left(-\frac{1}{x}\right)}{(Lx)^2} dx = \frac{x}{Lx} + \int \frac{dx}{(Lx)^2} = \frac{x}{Lx} + x \frac{1}{(Lx)^2} + \int \frac{2dx}{(Lx)^3}$$

De esta manera obtendríamos la serie

$$\frac{x}{Lx} \left[1 + \frac{1!}{Lx} + \frac{2!}{(Lx)^2} + \frac{3!}{(Lx)^3} + \dots + \frac{n!}{(Lx)^n} + \dots \right]$$

Para valores de x finitos la serie es divergente, por lo que sólo interesa, en la integración por partes, quedarnos con:

$$\int_{\frac{1}{e^a}}^0 \frac{dx}{x} = \left| \frac{x}{Lx} \left(1 + \frac{1}{Lx}\right) \right|_{\frac{1}{e^a}}^0 + 2 \int_{\frac{1}{e^a}}^0 \frac{dx}{(Lx)^3} = \frac{1}{ae^a} \left(1 - \frac{1}{a}\right) + 2 \int_{\frac{1}{e^a}}^0 \frac{dx}{(Lx)^3}$$

Para calcular el área, determinamos los intervalos abscisales en los trapecios formados. Esos intervalos son $\frac{1}{e^a}, \frac{1}{e^{a+1}}, \frac{1}{e^{a+1}}, \frac{1}{e^{a+2}}$, etc.

Calculando el área para a = 5, el primer trapecio tiene como área

$$\left(\frac{1}{e^5} - \frac{1}{e^6}\right) \frac{1}{2} \left(\frac{1}{e^5 \times 5^3} - \frac{1}{e^6 \times 6^3}\right) = 0,0000001$$

Por tanto,

$$\int_{\frac{1}{e^5}}^0 \frac{dx}{Lx} = \frac{1}{5e^5} \left(1 - \frac{1}{5}\right) + 0,0000002 = \frac{0,16}{e^5} + 0,0000002 = 0,0010782$$

El error cometido es menor que 0,0000003, y, en consecuencia, tendremos seis cifras decimales exactas. Queda $-0,5783639 + 0,0010782 = -0,5772857$.

De esta manera, la constante de Euler vale $-0,577285$.

Según este cálculo,

$$\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -0,5772 - Lu + \frac{u}{1 \cdot 1!} - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots$$

mediante el cual hemos llegado al concepto matemático.

APLICACIONES

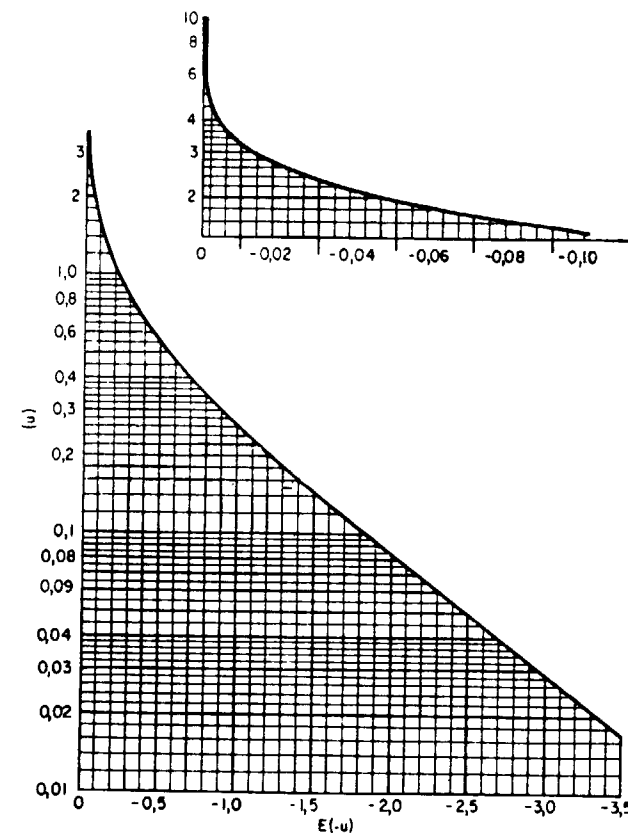
Ejemplo de concepto físico aplicado es el cálculo de la caída de presión en un yacimiento petrolífero.

Si llamamos E(-u) a la integral con signo negativo $-\int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$, la integración de la ecuación de la difusividad nos conduce a $\Delta p = \frac{B_0 q_{sc} \mu}{14,16 h K} E\left(-\frac{r^2}{4\eta t}\right)$ siendo $\eta = \frac{6,328 K}{\mu c \phi}$

Las unidades son las siguientes:

- Δp — en lpc
- B_0 — razón volumétrica = barriles almacén/ q_{sc}
- q_{sc} — razón de flujo en condiciones standard en barriles por día
- μ — viscosidad en centipoises
- h — espesor en pies
- K — permeabilidad en darcys
- r — distancia en pies
- t — tiempo en días
- c — compresibilidad = $-\frac{dV}{V}/dp$ en lpc⁻¹
- ϕ — porosidad total en % dividida por cien

Con el gráfico adjunto, una vez determinada la u , se puede calcular $E(-u)$ para cualquier valor de aquélla.



Cuando u es menor de 0,02, se acostumbra a simplificar $E(-u)$ reteniendo la constante y el logaritmo neperiano, tal que $E(-u) = 0,5772 + Lu = L 1,78 + Lu = -L 1,78 u$, pero tampoco se complican los cálculos si se toma: $E(-u) = 0,5772 + Lu - u = L 1,78 u - u$.

También en hidrogeología, partiendo de la divergencia del gradiente se tiene la ecuación:

$$\nabla(K \text{ grad. } h) = S \frac{\partial h}{\partial t}, \text{ siendo } K \text{ la permeabilidad y } S \text{ el coeficiente de almacenamiento.}$$

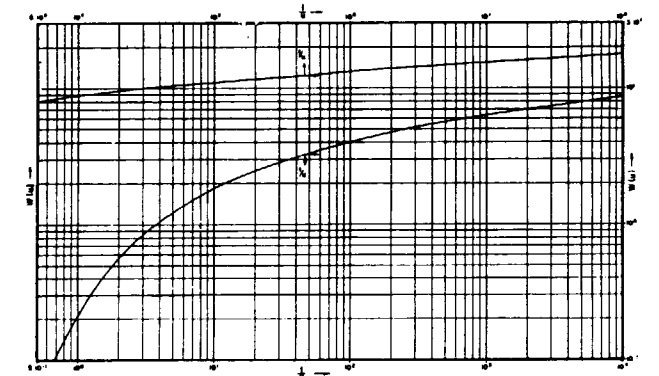
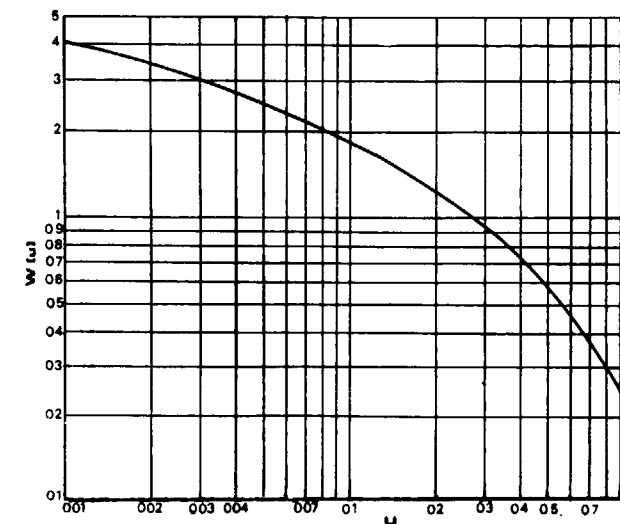
La ecuación anterior en polares es: $\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t}$, que es otra vez la ecuación de la difusividad, en que $T = Kh$ es la transmisividad.

Integrada la ecuación diferencial anterior se llega a $\Delta = \frac{QW(u)}{4\pi T}$, siendo $W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$ y el valor de u es $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ en tanto que Δ es la depresión.

La fórmula exponencial integral de Theis, al desarrollar $W(u)$, da:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} \left(-0,5772 - Lu + u - \frac{u^2}{2 \cdot 2!} + \frac{u^3}{3 \cdot 3!} - \dots \right)$$

En los ensayos de bombeo con un caudal Q , cuando el régimen es de no equilibrio, la depresión puede calcularse teóricamente por la fórmula anterior conociendo S y T , además de Q , pero los ensayos de bombeo se llevan a cabo para resolver el problema inverso, es decir, determinar los parámetros hidrogeológicos S y T . Para ello se obtiene la curva tipo, llevando sobre un diagrama bilogarítmico los valores de u en abscisas y los de $W(u)$ en ordenadas. A continuación, mediante los ensayos de bombeo, se determina la curva experimental, también sobre diagrama bilogarítmico, llevando en abscisas r^2/t y en ordenadas las depresiones Δ en metros.



Se superpone esta curva, dibujada en papel transparente, sobre la curva tipo, de la manera más completa posible, conservando los ejes de coordenadas paralelos.

Se elige sobre las curvas superpuestas un punto tal, que el tiempo de bombeo sea suficientemente grande (superior a 12 horas) y se obtendrá sobre la curva experimental Δ en metros y r^2/t en m²/minuto, que al mismo tiempo serán la $W(u)$ y la u , respectivamente.

Como $\Delta = \frac{QW(u)}{4\pi T}$ y $u = \frac{r^2 S}{4Tt}$ y se conocen todos los valores, excepto T y S , pueden des-

pejarse de las fórmulas anteriores, tal que:

$$T = \frac{QW(u)}{4\pi\Delta} \quad \text{y} \quad S = \frac{4Ttu}{r^2}$$

Para valores de u muy pequeños puede utilizarse la simplificación de Jacob, tal como se hizo para calcular la depresión en el caso del petróleo, de tal manera que podemos escribir:

$$\Delta = \frac{Q}{4\pi T} (-0,5772 - Lu) = \frac{Q}{4\pi T} \left(-L 1,78 - L \frac{r^2 S}{4Tt} \right) = \frac{Q}{4\pi T} L \frac{4Tt}{1,78r^2 S}$$

que pasando a logaritmos decimales es $\Delta = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt}{r^2 S}$, que es la fórmula de Jacob.

En este caso, en que u es pequeño, del orden de 0,02 o menor, no es preciso para resolver el problema recurrir a la solución gráfica, sino determinar las depresiones correspondientes a dos tiempos suficientemente grandes,

$$\left. \begin{aligned} \Delta_1 &= \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt_1}{r^2 S} \\ \Delta_2 &= \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{2,25 Tt_2}{r^2 S} \end{aligned} \right\} \text{restando queda:} \quad \Delta_1 - \Delta_2 = \frac{0,183 Q}{T} \log \frac{t_1}{t_2}$$

Por tanto, $T = \frac{0,183 Q}{\Delta_1 - \Delta_2} \log \frac{t_1}{t_2}$, y, obtenida la transmisividad, se calcula el coeficiente de almacenamiento S ,

$$S = \frac{2,25 Tt_1}{r^2 \cdot 10^{0,183 Q} \Delta_1 T}$$

Hemos expuesto, como ejemplo, alguna de las posibilidades que ofrece la fórmula de Theis o su simplificación de Jacob en hidráulica de pozos, así como la caída de presión en un yacimiento petrolífero. Sin embargo, el tema es inagotable en el campo de las aplicaciones y, al existir extensos trabajos sobre ellas, podemos renunciar a una exposición más completa, que, por otra parte, desborda el objetivo inicial que nos habíamos marcado.

Recibido: Julio de 1986.

Geometría interna del plutón granítico de Madridejos (Toledo), basado en determinaciones gravimétricas

Por J. F. BERGAMIN y J. M. GONZALEZ CASADO (*)

RESUMEN

A partir del estudio gravimétrico del área de Madridejos (Toledo), se llevan a cabo una serie de modelos tanto de la forma como del tipo de emplazamiento del cuerpo granítico existente en dicha área.

También se hacen una serie de precisiones sobre los aspectos geológicos y tectónicos de la región, así como de sus relaciones con el emplazamiento del granito.

ABSTRACT

In Madridejos (Toledo) region, a study about the subsurface geometry and emplacement mechanism of the Madridejos granitic outcrop has been carried out.

The localitation and subsurface study of that granitic body, have been made using geophysical methods, basically gravity. The geometry of the pluton, is related with geological features (Tectonic) on the research area.

INTRODUCCION

Dentro del proyecto de investigación de los granitos hercánicos de la Península Ibérica, desarrollado por el Departamento de Geodinámica de la U. C. M., se han investigado diversos afloramientos situados entre los Montes de Toledo y Sierra Morena (BERGAMÍN et al., 1986), como son: los de Orgaz (SANTA TERESA, 1982), Valdepeñas (BERGAMÍN y DE VICENTE, 1986), Fontanosas (BERGAMÍN, 1985), y varias alineaciones de cúpulas graníticas no aflorantes en la provincia de Ciudad Real (BERGAMÍN et al., 1985).

Dentro de este contexto se comenzó el estudio del plutón granítico de Madridejos (BERGAMÍN y GONZÁLEZ CASADO, 1986), estableciéndose unas primeras precisiones acerca de las características geológico-estructurales del granito y su entorno, al igual que una interpretación cualitativa de las dimensiones y relaciones entre el plutón granítico y la roca caja.

En el presente trabajo se continúa la investigación de este plutón, para el que se proponen y discuten varias geometrías en profundidad, tan-

to para el propio granito como para las rocas con las que se relaciona. Todos los modelos propuestos están basados en la interpretación de los correspondientes perfiles gravimétricos, establecidos a partir del levantamiento que se llevó a término en la región.

El objeto final del trabajo es el establecimiento de la estructura tridimensional del granito, basándose para ello, en la interpretación de tres modelos bidimensionales que cruzan el cuerpo granítico según diversas direcciones.

SITUACION GEOLOGICA

Se eligió este afloramiento granítico para su estudio, debido a las características alóctonas del mismo, y al relativamente alto contraste de densidades que existe entre dicho cuerpo y las rocas metasedimentarias con que se relaciona.

La forma cartográfica del plutón de Madridejos (fig. 1), resulta imprecisa debido a los escasos afloramientos graníticos, y a los importantes y extensos recubrimientos sedimentarios de edad terciaria y cuaternaria. No obstante y a través de me-

(*) Departamento Geodinámica, U. C. Madrid.

dios de prospección geofísica (BERGAMÍN y GONZÁLEZ CASADO, 1986) es posible establecer que el afloramiento granítico tiene unas grandes dimensiones, una extensión aproximada de 170 Km² de superficie, presentando una marcada forma elíptica, cuyo eje mayor tiene una dirección Norte-Sur, mientras el eje menor es Este-Oeste.

El granito se encuentra emplazado en el extremo oriental del anticlinorio hercínico de Urda-Consuegra, estructura ésta que afecta a un conjunto de rocas epimetamórficas del Paleozoico Inferior; fundamentalmente cuarcitas y calizas, del Ordovícico y Cámbrico respectivamente.

Estructuralmente este anticlinorio de Urda-Consuegra, se origina por la interferencia entre las últimas fases de deformación hercínicas, que originan estructuras de superposición de plegamiento (JULIVERT et al., 1983), de tipo domos y cubetas [realmente intermedias entre los tipos 1 y 2 de RAMSAY (1969)]. Estos domos y cubetas tienen en toda la región, formas elipsoidales situándose sus ejes mayores y menores, con direcciones Este-Oeste y Norte-Sur respectivamente.

Estas direcciones se correlacionan notablemente con el eje máximo y mínimo del afloramiento plutónico. Por ello pensamos que puede existir una correlación entre ambas estructuras, de forma que el granito fuese afectado tardíamente durante su emplazamiento por estas últimas fases de deformación (F3 y/o F5, GONZÁLEZ CASADO, 1986). No obstante y como se indica en una nota previa sobre este afloramiento (BERGAMÍN y GONZÁLEZ CASADO, 1986) el emplazamiento fue relativamente tardío, ya que la masa granítica modifica notablemente la forma del domo de Urda, aumentando de manera notoria la extensión del afloramiento que ocupa el mismo hacia el Noreste.

Debido a los escasos afloramientos graníticos en los que se pueden realizar observaciones directas de la roca, no se han podido establecer las características estructurológicas del mismo. A pesar de ello, y como indicó MARTÍN ESCORZA (1977), existe una cierta disposición concéntrica de las estructuras visibles en foto aérea, teniendo su centro en los alrededores de la población de Camuñas (fig. 1), lo que coincide con la disposición del mínimo gravimétrico (fig. 2). Por otro lado, se observa cómo las rocas en las que se emplaza el plutón se encuentran modificadas por el mismo, definiendo una estructura en domo (fig. 6). También hay que indicar la existencia de algunos diques con dispo-

sición radial con respecto al punto indicado anteriormente.

GRAVIMETRIA

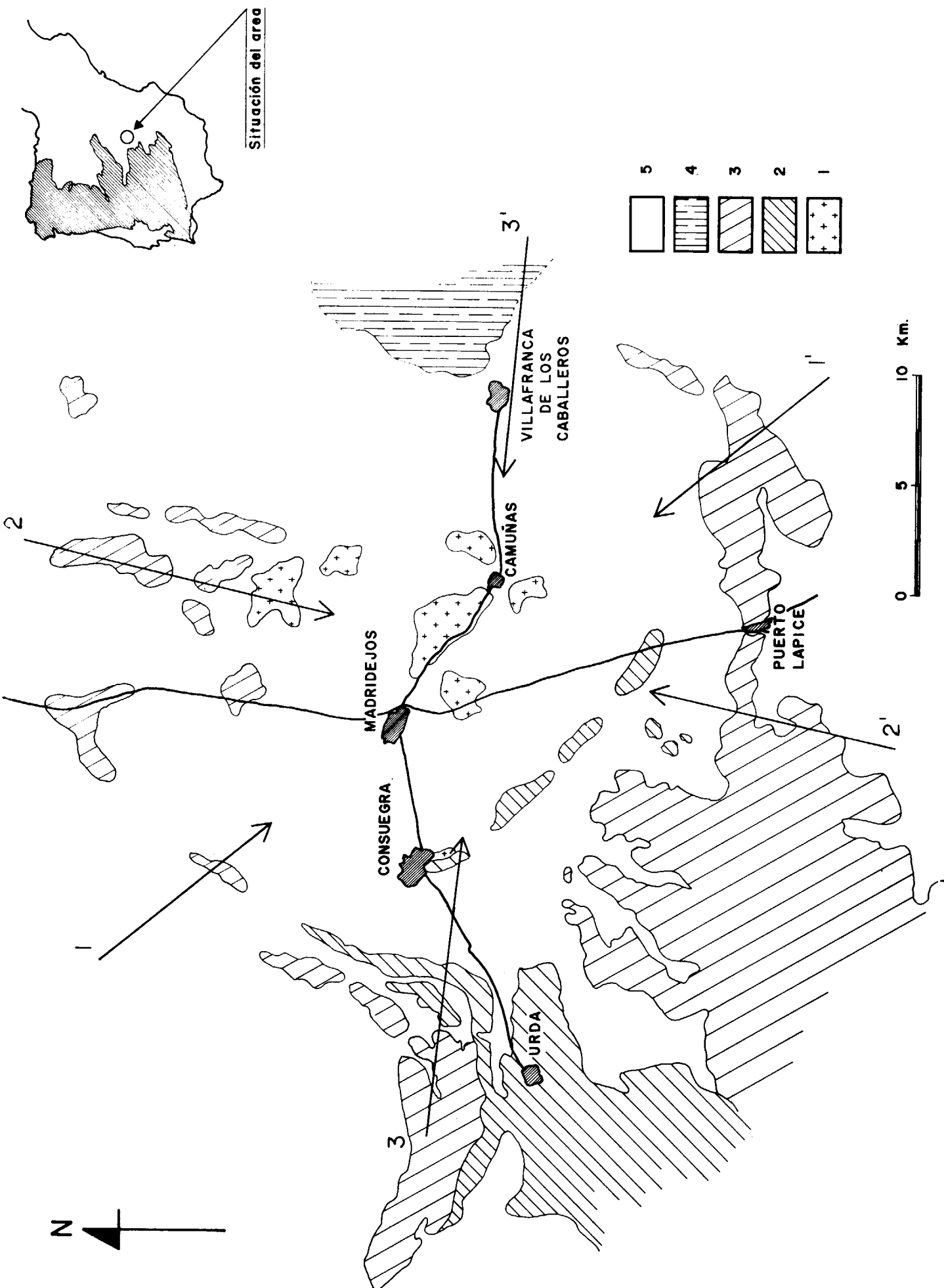
Sobre un levantamiento gravimétrico a escala 1:200.000 ya efectuado en la región (BERGAMÍN y GONZÁLEZ CASADO, 1986), basado en datos propios y en el mapa gravimétrico de la provincia de Toledo (I. G. N., 1978), se elaboró un nuevo mapa de anomalías de Bouguer, siguiendo la metodología indicada en la Norma Gravimétrica (I. G. M. E., 1982). A partir de éste y mediante la eliminación del efecto regional, que se calculó teniendo en cuenta varios factores: los valores estabilizados de anomalías de Bouguer sobre la roca caja, estudiados sobre perfiles transversales y también la tendencia existente en esta zona, que se refleja en el mapa de anomalías de Bouguer de la Península Ibérica (escala 1:1.000.000, I. G. N., 1976). Así se calculó el mapa de Anomalías Residuales de Bouguer (fig. 2), que constituye la base sobre la cual van a realizarse las interpretaciones que se efectúan en este trabajo.

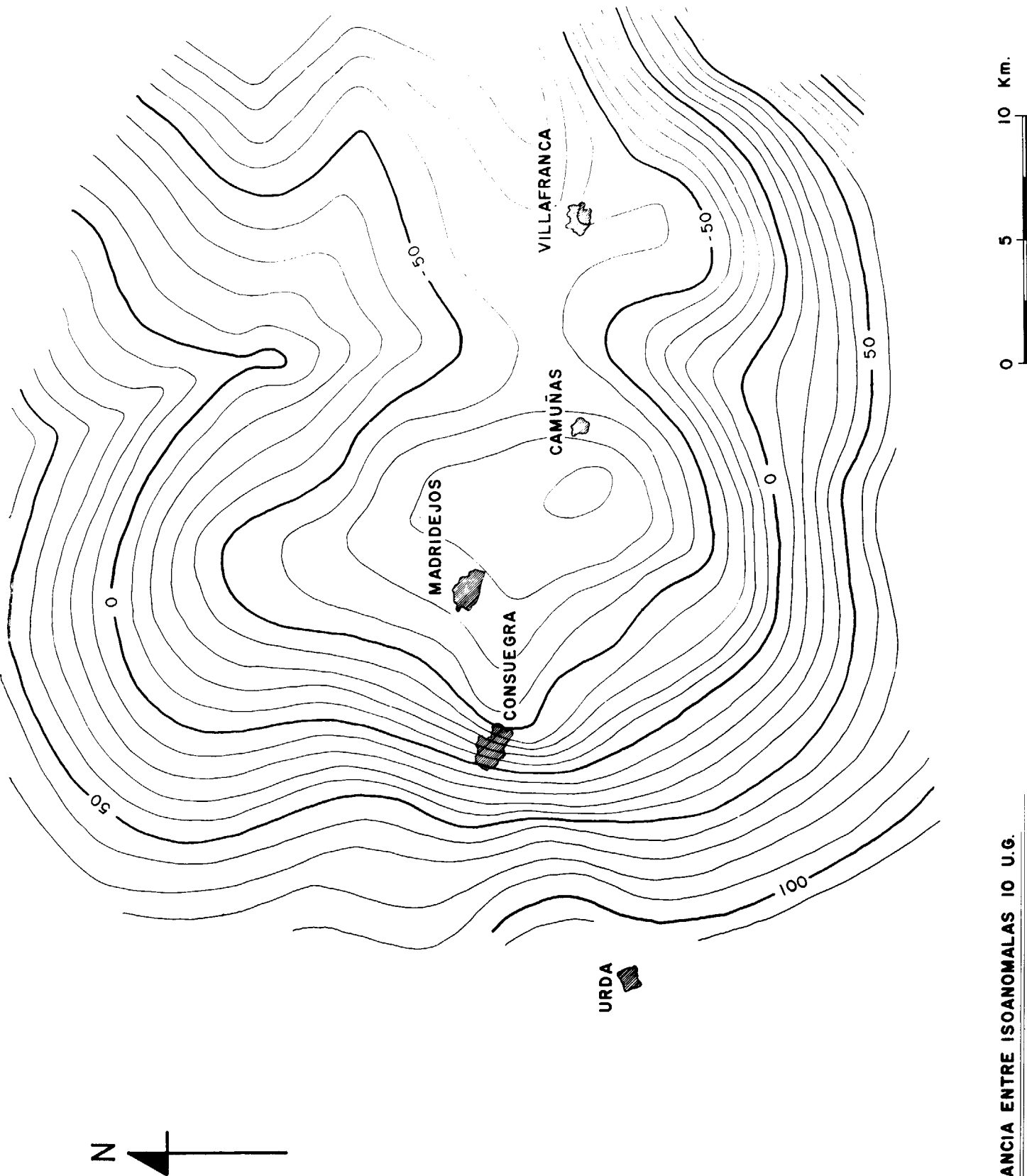
Con el fin de poder realizar modelos gravimétricos es necesario por una parte determinar las densidades de las rocas existentes en la región, y por otra conocer de la forma más exacta posible la distribución en profundidad de esas mismas rocas. Las últimas consideraciones se infieren de un detallado conocimiento geológico de la región (Cortes Geológicas), y las primeras mediante un muestreo sistemático de las rocas más características existentes en ella y del cálculo experimental de las densidades de las muestras, obteniéndose una densidad media para cada tipo o unidad establecida, que es la tomada en los cálculos posteriores. Los resultados de este proceso son los siguientes:

Unidad	Número de muestras	Densidad (Mg/m ³)
Plutón de Madridejos	50	2.67
Materiales del Ordovícico Inferior.	70	2.70
Materiales del Cámbrico	40	2.82
Materiales Terciarios	30	2.32

INTERPRETACION

En el mapa de anomalías residuales (fig. 2) se observa cómo existe un importante mínimo cen-





EQUIDISTANCIA ENTRE ISOANOMALAS 10 U. G.

trado sobre la masa de rocas graníticas, que coincide aproximadamente con el centro del plutón, en su traza cartográfica, mientras que hacia la roca esta anomalía disminuye progresivamente con menor o mayor gradiente.

Para comenzar el análisis cuantitativo se trazaron varios perfiles (figs. 1, 3, 4, 5) que cruzan diametralmente el plutón según direcciones Norte-Sur, Este-Oeste y Noroeste-Sureste. Los valores así obtenidos muestran unos mínimos centrados sobre el granito de -90 U. G.

Si se comparan estos perfiles, en forma y valor de sus mínimos, con los obtenidos para otros cuerpos graníticos de esta misma región geológica y que se emplazan en rocas de similares características, cuerpos de: Orgaz [-100 U. G. (SANTA TERESA, 1982)], Valdepeñas [-160 U. G. (BERGAMÍN

y DE VICENTE, 1986)], Fontanosas [-120 U. G. (BERGAMÍN et al., 1986)], que corresponden respectivamente a masas graníticas desenraizadas (Orgaz), y enraizadas (Valdepeñas y Fontanosas), podemos plantear como primera aproximación, que el plutón no debe de alcanzar una gran profundidad, estando más próximo a la geometría que presenta el de Orgaz, que a la de los situados más al Sur. Este hecho se pone aún más de manifiesto si se comparan las relaciones existentes entre el valor de la anomalía y la extensión del afloramiento granítico.

A) Modelos bidimensionales

Sobre los tres perfiles citados anteriormente y que cruzan el afloramiento granítico diametralmente (figs. 3, 4, 5), se levantaron los cortes geológi-

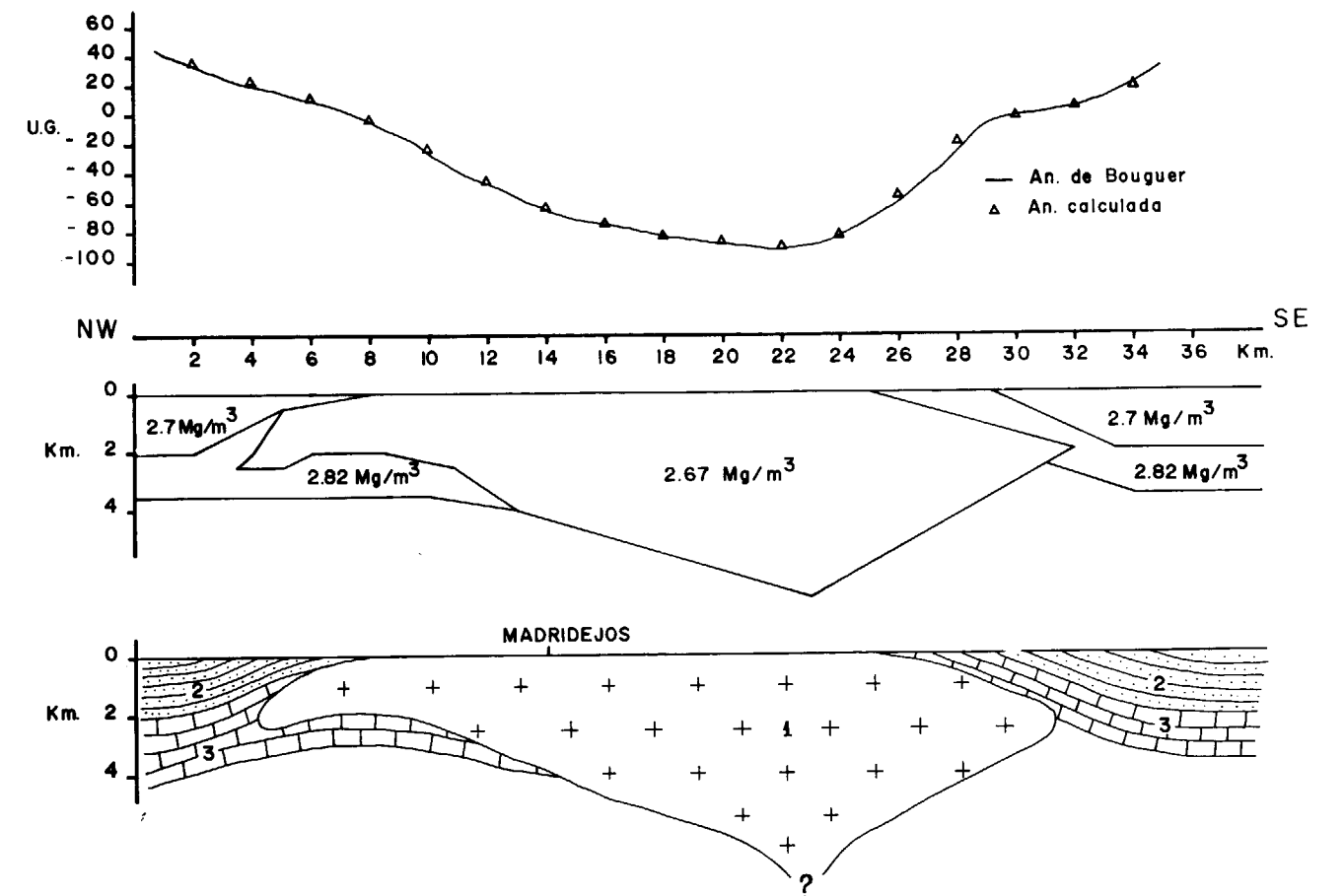


Figura 3.—Perfil I-I', Residual de Anomalías de Bouguer, y Corte Geológico interpretativo [1) Granito. 2) Ordovícico. 3) Cámbrico].

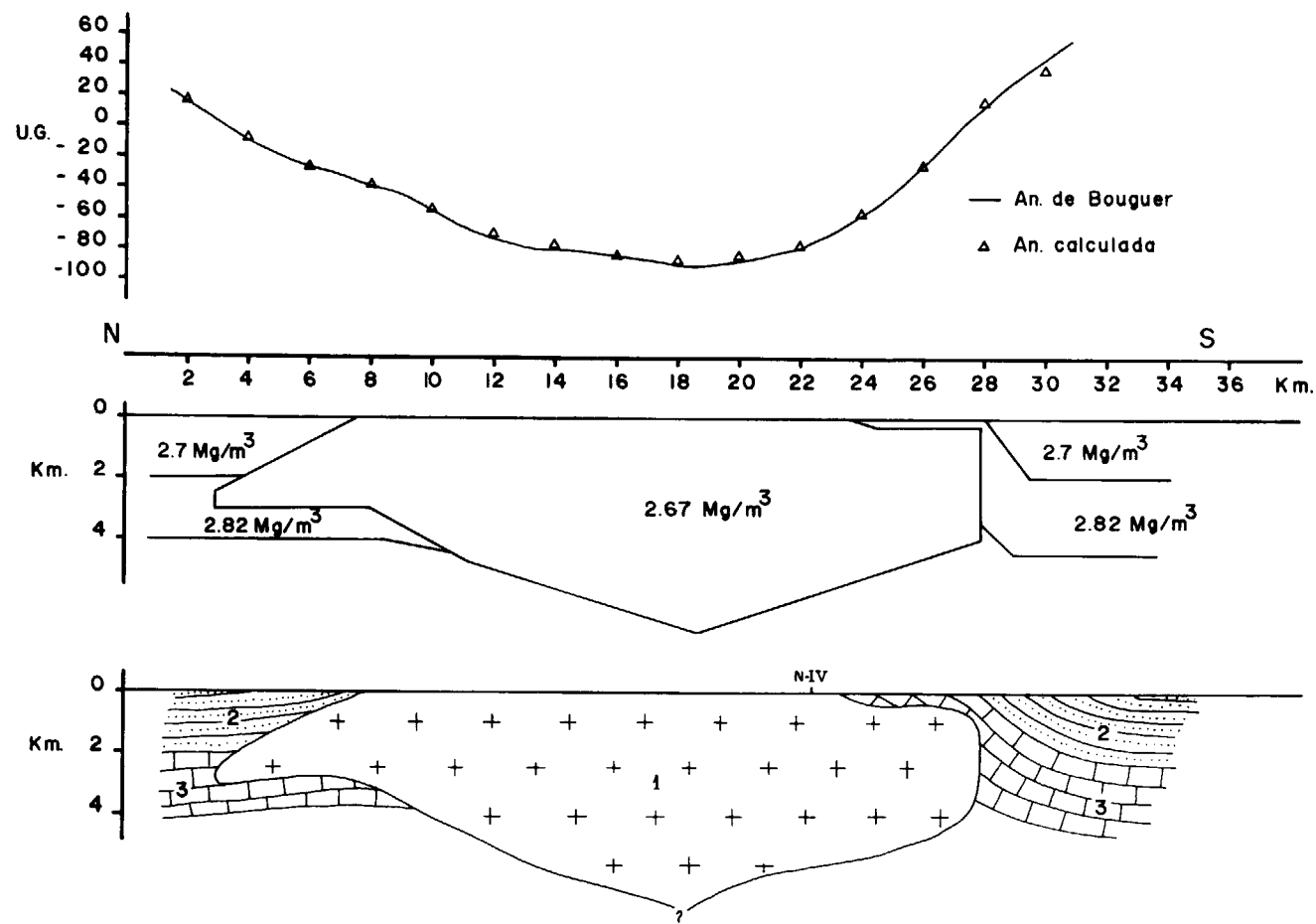


Figura 4.—Perfil II-II', Residual de Anomalías de Bouguer, y Corte Geológico interpretativo [1) Granito. 2) Ordovícico. 3) Cámbrico].

co-estructurales, a partir de los cuales se establecieron una serie de polígonos, para cada agrupación de rocas que se considera representativa desde el punto de vista geológico estructural. Cada polígono debe de caracterizarse por tener una densidad media, que corresponde con las densidades calculadas para las rocas agrupadas dentro de los mismos. Estos polígonos sirvieron de base para el ajuste de los modelos geométricos bidimensionales, mediante la utilización del algoritmo de cálculo propuesto por TALWANI (1959).

Desde un principio el cálculo de los modelos muestra ya claramente, cómo el plutón presenta una forma desenraizada, debido, como ya se indicó anteriormente, a la pequeña anomalía residual generada por el granito, comparada con la gran extensión del mismo. En todos los modelos calcu-

lados, el vértice más profundo del plutón se sitúa en torno a los 7.000 m., en su parte central.

Las formas resultantes, en todos los casos, muestran una estructura en forma de triángulo invertido, con bordes convergentes hacia el interior y con buzamientos cercanos a 45 grados. Esta estructura es la resultante después de haberse desechado los modelos con bordes paralelos o convergentes hacia la superficie, pues la forma y valores de las anomalías calculadas para los mismos, no cumplen con la anomalía real.

Una característica notable de los tres modelos obtenidos (figs. 3, 4, 5), es que en la parte superior del granito, los bordes convergen ligeramente hacia arriba, encontrándose incluso en algún caso sus límites verticales y luego paralelos a la superficie topográfica (corte de la fig. 4). Otra caracte-

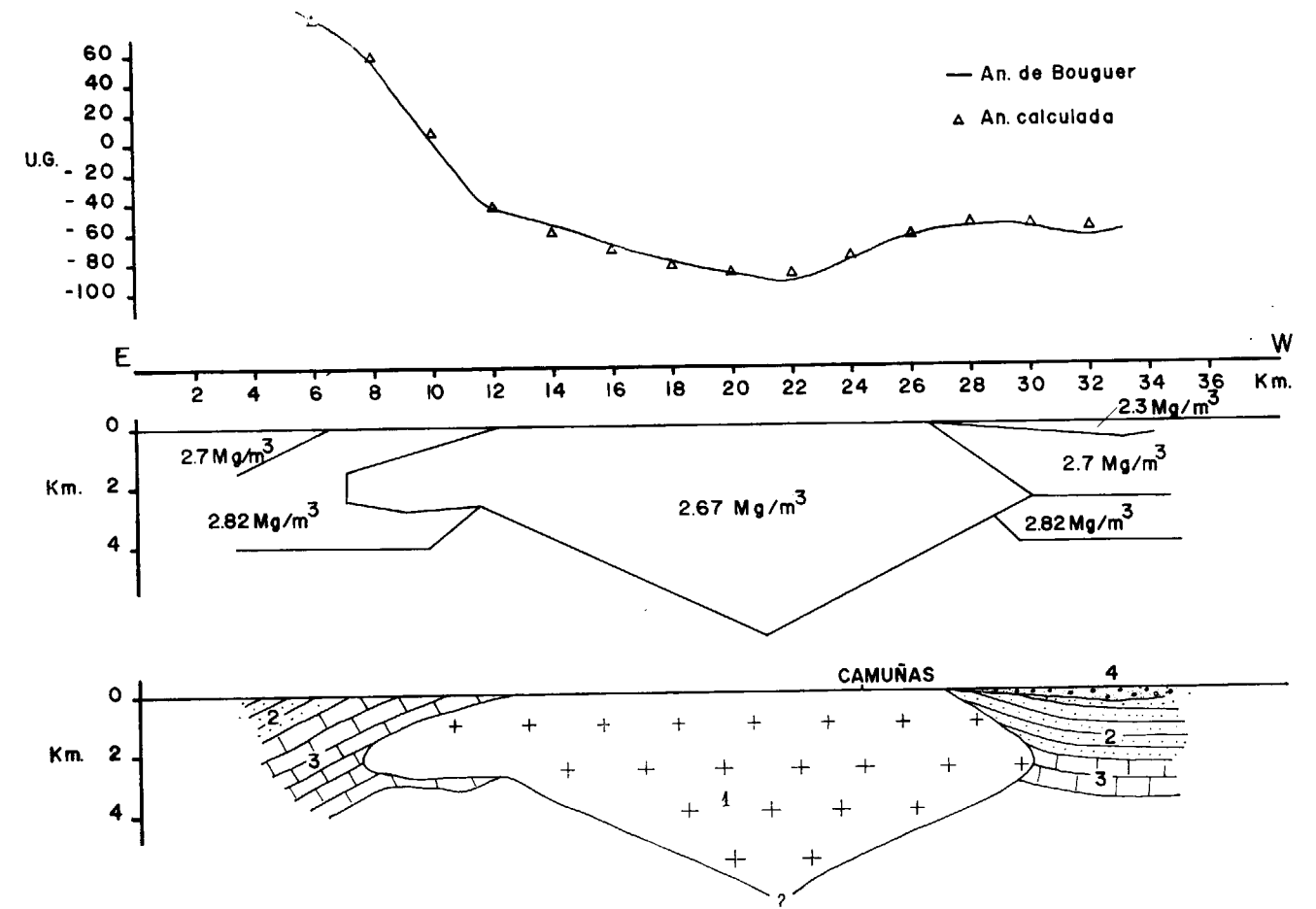


Figura 5.—Perfil III-III', Residual de Anomalías de Bouguer, y Corte Geológico interpretativo [1) Granito. 2) Ordovícico. 3) Cámbrico. 4) Terciario].

rística común a los tres modelos es la existencia de «Roof pendants», en todos los bordes del plutón, que en algunos casos (parte sur del perfil II-II') son muy acusados, llegando a encontrarse incluso series metamórficas, poco profundas (500 m.), dispuestas sobre el techo del plutón, a lo largo de tres kilómetros.

B) Modelo tridimensional

Podemos por tanto resumir los resultados obtenidos indicando que la masa granítica presenta siempre una forma de cúpula, aplanada en su parte más superficial, hasta los 2.000 m. de profundidad, mientras que hasta los 7.000 m., aproximadamente, adquiere una forma de troncocónica aplastada (fig. 6). Hay que resaltar que en los bor-

des del granito, existen en algunos casos lóbulos subhorizontales sobre los que queda una pequeña porción de material encajante, y que incluso en algunos casos estos lóbulos tienen en su base formas convexas hacia arriba.

Para la interpretación de estos modelos agrupamos el material encajante en varios polígonos, que son: una cuña de rocas sedimentarias terciarias, situada en la parte este del perfil III-III', un polígono formado fundamentalmente por rocas carbonáticas del Cámbrico, que se encuentra siempre modificado por el granito, pudiendo situarse por encima del borde, caso este en que se observa aflorar en el terreno, o bien quedar truncados o situados bajo los lóbulos del plutón, el espesor del paquete es siempre próximo a los 2.000 m. Se ha distinguido otro conjunto de rocas, prin-

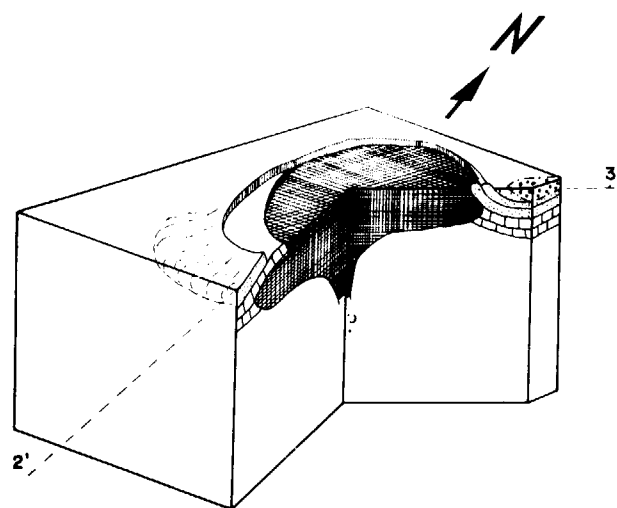


Figura 6.—Bloque Diagrama Interpretativo, según los Perfiles II-II' y III-III'.

principalmente cuarcitas de edad Ordovícica, que siempre aparecen algo verticalizadas en superficie por efecto de la intrusión granítica, el espesor del paquete en conjunto es próximo también a los 2.000 metros. Todos los valores de espesores mencionados, están referidos a los valores de los polígonos considerados, y no a la potencia estratigráfica de las series, ya que éstas, dentro de cada polígono, se encuentran lógicamente plegadas.

Los ajustes entre las anomalías calculadas y las residuales, muestran unos coeficientes de correlación de 0,86, 0,91 y 0,88 respectivamente, que se pueden considerar óptimos si tenemos en cuenta el tipo de levantamiento.

CONCLUSIONES

- El cuerpo granítico de Madrideojos se encuentra desenraizado, emplazándose alóctona y discordantemente en las series Paleozoicas del Domo de Urda.
- Las dimensiones calculadas para el afloramiento superficial ocupado por el granito son de: 16 Km. según el perfil I-I', 17 Km. según el perfil II-II' y de 14 Km. según el perfil III-III'.
- Tiene una geometría de cono invertido hacia abajo, con abultados lóbulos hacia los

lados, probablemente formados por la expansión lateral al emplazarse el granito en niveles superficiales altos. Encontrándose su zona de raíces muy adelgazada y a una profundidad media de 7.000 m., en la parte central del plutón.

- Las rocas del encajante situadas en los bordes del granito, son «Roof Pendants» flotando sobre el mismo, especialmente en su borde SO.
- La forma elíptica del plutón está probablemente relacionada con las últimas fases de plegamiento hercínicas, aunque modifica notablemente las estructuras de superposición de plegamiento existentes en la región y que se produjeron durante las últimas etapas citadas.

BIBLIOGRAFIA

- BERGAMIN, J. F.: *Interpretación geotectónica del Area del Campo de Calatrava (Ciudad Real) basada en determinaciones gravimétricas*. Tesis Doctoral, U. C. Madrid (1985).
- BERGAMIN, J. F.; CAPOTE, R., y CARBÓ, A.: *Detección mediante gravimetría de cuerpos graníticos ocultos en la región de Campo de Calatrava (Ciudad Real)*. Bol. Geol. Min., XCVI-VI, 653-658 (1985).
- BERGAMIN, J. F., y DE VICENTE, G.: *Estructura en profundidad del granito de Pozo de la Serna (Ciudad Real), en base a datos gravimétricos*. Estud. Geol., 41, 5-6 (1985).
- BERGAMIN, J. F.; CAPOTE, R.; CARBÓ, A.; GONZÁLEZ CASADO, J. M.; SANTA TERESA, I.; DE VICENTE, G., y ZORITA, M.: *Comparative study of subsurface geometry on granitic bodies in a southern sector of the centro-iberian zone*. Trab. Geol. U. Oviedo, in press. (1986).
- BERGAMIN, J. F., y GONZÁLEZ CASADO, J. M.: *Avance de la interpretación geotectónica del emplazamiento del plutón granítico de Madrideojos (Toledo), basada en determinaciones gravimétricas*. Estud. Geol., 42, 3-4 (1986), en prensa.
- GONZÁLEZ CASADO, J. M.: *Estudio geológico de la zona de cizalla de Berzosa Honrubia (S. C. E.)*. Tesis Doctoral, U. C. Madrid (1986).
- IGME-AITEMIN: *Norma gravimétrica* (1982).
- IGN: *Mapa gravimétrico de la Península Ibérica a escala 1:1.000.000* (1976).
- IGN: *Mapa gravimétrico de la provincia de Toledo a escala 1:200.000* (1978).
- JULIVERT, M.; VEGAS, R.; ROIZ, J. M., y MARTÍNEZ RIUS, A.: *La estructura de la extensión Sureste de la zona Centro-*

Ibérica con metamorfismo de bajo grado. Libro Jubilar de J. M. Ríos, t. I, 477-490 (1983).

MARTÍN ESCORZA, C.: *Estructuras anulares en el norte de La Mancha (Meseta Central Española)*. Estud. Geol., 32, 447-457 (1977).

RAMSAY, G.: *Folding and Fracturing rocks*, Mc Graw-Hill. New York, 568 pp. (1967).

SANTA TERESA, I.: *Estudio en profundidad del granito de Orgaz, en base a datos gravimétricos*. Tesis L., U. C. Madrid.

TALWANI, M.; WORZEL, J. L., y LANDISMAN, M.: *Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with application to the Mendocino submarine fracture zone*. J. Geophys. Res., 64:49-59 (1959).

Recibido: Noviembre 1986.

GEOTECNIA

Caracterización del sistema poroso de calizas y dolomías

Por F. JAVIER ALONSO, R. M.^a ESBERT y J. ORDAZ (*)

RESUMEN

Se han seleccionado ocho tipos rocosos carbonatados, bien diferenciados petrográficamente —calizas micríticas, calizas cristalinas y dolomías cristalinas—, analizándose las características de su estructura porosa. Previamente se revisan algunos conceptos básicos y metodológicos.

Se ha efectuado la observación directa de los poros a distintos niveles. La porosidad y las curvas de distribución de tamaños de poro han sido obtenidas mediante técnicas de inyección de mercurio.

A partir de las observaciones y medidas realizadas se caracteriza el sistema poroso para cada uno de los distintos tipos rocosos estudiados, analizándose la dependencia con sus características petrográficas, en particular con la mineralogía y grado de cristalinidad.

ABSTRACT

Eight types of carbonate rocks which correspond to well defined petrographic varieties —micritic limestones, crystalline limestone and crystalline dolomites— have been selected, and the characteristics of their pore structure studied. Some basic and methodological concepts were previously revised.

Poros were directly observed at different levels. Porosity and pore-size distribution have been determined by means of mercury intrusion techniques.

As a result of the observations and measuring assessed, the pore-system for each of the different rock types studied have been characterized; and the dependency regarding their petrographic characteristics —particularly those connected with their mineralogy and degree of crystallinity— have been analysed.

INTRODUCCION

Los espacios vacíos —poros y fisuras de las rocas— constituyen frecuentemente los «componentes» más significativos, desde el punto de vista de su comportamiento físico-químico. Así, es conocida su influencia en las propiedades físicas (dureza, resistencia), químicas (adsorción, disolución, ...) y, en particular, en los procesos de alteración (MONTOTO, 1983; ESBERT y ORDAZ, 1985).

Además de la proporción de poros y fisuras, importan sus características en cuanto a tamaño, forma, orientación, etc., si bien el hecho de su compleja interconexión hace que dichas características no sean en muchos casos fáciles de establecer.

(*) Area de Petrología, Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

Las rocas carbonatadas, de acuerdo con la gran variedad de procesos implicados en su génesis, así como su predisposición a los cambios postdeposicionales (disoluciones, cementaciones, neomorfismos), presentan un sistema poroso con una estructura especialmente variable y compleja (CHOQUETTE y PRAY, 1970).

En este trabajo se revisan, en primer lugar, algunos conceptos referentes a las características geométricas y genéticas del sistema poroso de este tipo de rocas, incluyendo las técnicas utilizadas en la determinación de sus principales parámetros. Dichos conocimientos son aplicados en los distintos tipos rocosos seleccionados, elaborándose un modelo para su sistema poroso, que es interpretado en función de sus características petrográficas.

SISTEMA POROSO: CONCEPTOS Y METODOS DE ESTUDIO

Características geométricas

El tamaño es sin duda un parámetro importante, pero difícil de tratar, dada la continuidad del sistema poroso, su carácter tridimensional y las irregularidades de sus formas. De acuerdo con la morfología presentada, es de mayor o menor interés la distinción entre el tamaño de los poros y el de sus accesos.

Respecto al tamaño de los poros, CHOQUETTE y PRAY —siguiendo la escala de Wentworth— distinguen: megaporos (tamaños mayores de 4 mm.), mesoporos (entre 4 mm. y 60 μm) y microporos (inferiores a 60 μm). PITTMAN (1971) rebaja el tamaño de los microporos hasta 1 μm . En este trabajo, y por razones prácticas, se ha distinguido entre macroporos y microporos, situándose su límite en 10 μm ; de esta manera es mayor la correspondencia entre el tamaño de los poros y el de sus accesos, permitiendo además la cuantificación de los macroporos por microscopía óptica.

El tamaño de los accesos a los poros es obtenido por métodos indirectos, distinguiéndose —de acuerdo con la técnica de inyección de Hg— entre: macroaccesos (radio superior a 7,5 μm) y microaccesos (entre 7,5 y 0,0035 μm). El volumen de poros con radios de acceso superiores a 7,5 μm es denominado «macroporosidad», y el accesible por debajo de dicho valor constituye la «microporosidad». Es de destacar que la macroporosidad está formada por los macroporos y sus macroaccesos, mientras la microporosidad incluye —además de los microporos— aquellos macroporos comunicados por microaccesos.

En las rocas carbonatadas, la forma de los espacios vacíos se caracteriza por ser muy irregular y variada. Atendiendo a formas regulares extremas se puede distinguir entre: poros (tendencia esférica), conductos (tendencia cilíndrica) y fisuras (tendencia planar). Normalmente los «poros» están formados por ensanchamientos locales del sistema poroso, constituyendo las otras dos clases los «accesos» a los poros. Además, pueden distinguirse dos tipos de porosidad: la porosidad debida mayoritariamente a «poros» y la debida mayoritariamente a «fisuras»; esta última frecuente en rocas cristalinas

En calizas de bajo grado de cristalinidad, diver-

sos autores —HOUPERT et al., 1978; BOUSQUIE, 1979— han señalado la ausencia de redes de fisuración a escala de roca matriz. Este hecho es corroborado en las rocas estudiadas, tanto de las observaciones directas, como a partir de las medidas de velocidad de propagación de ondas elásticas (ALONSO y SUÁREZ DEL RÍO, 1985).

En cuanto al grado de conexión o conectividad entre los poros, suelen considerarse dos tipos de poros y de porosidad:

- 1) Cerrada, no comunicada.
- 2) Abierta, comunicada, accesible o efectiva.

No obstante, el hecho de que exista comunicación entre los poros guarda relación con el tipo de fluido considerado y las condiciones en que se encuentre. En la práctica, dicha diferenciación está referida —mientras no se diga lo contrario— a su accesibilidad al agua bajo vacío. Las calizas y en general las rocas sedimentarias, presentan la mayor parte de sus poros comunicados; este tipo de porosidad es normalmente la de mayor interés, ya que permite el movimiento de fluidos en el seno de la roca.

Los ensayos de inyección de Hg en las rocas permiten una nueva diferenciación dentro del volumen poroso accesible:

- 1) Porosidad atrapada y, complementariamente.
- 2) Porosidad libre o circulante.

La primera está constituida por aquellos espacios vacíos donde el mercurio queda retenido después de efectuada la primera inyección. La porosidad libre se caracteriza por permitir la entrada y salida del mercurio en inyecciones posteriores. Esta retención del Hg por la roca es atribuida a la geometría de su sistema poroso, y en particular a la existencia de poros angostos —con fuertes estrangulamientos en sus accesos—. No obstante, la retención de Hg es un hecho bastante general e importante en los diferentes tipos rocosos, ligada a más de una geometría del sistema poroso (GREGG y SING, 1982), y en donde intervienen otros muchos factores (MOSCOU y LUB, 1981).

Aspectos genéticos

De acuerdo con los trabajos de CHOQUETTE y PRAY (1970) y ELF-AQUITAINE (1975), pueden señalarse distintos tipos de poros dentro de las rocas estudiadas. Así, se tiene:

* *Poros móldicos*: Generados por disolución selectiva de componentes (normalmente fósiles). Suelen ser macroporos cuyo tamaño y forma viene dado por los del componente sustituido.

* *Poros «vug»*: De origen diagenético tardío, son generados por disolución de la roca sin relación con sus elementos texturales. Normalmente presentan grandes tamaños (mm.). Estos poros pueden aparecer más o menos tapizados por esparita, denominándose entonces microgeodas para diferenciarlos de los poros microkársticos y canalillos que no la presentan.

* *Poros intercristalinos*: Propios de los procesos de dolomitización, en donde la formación de una fase mineral más densa supone un importante incremento de porosidad. Sus formas son intersticiales —secciones con forma de estrella— con accesos más o menos planares.

* *Poros intracristalinos*: Característicos de las rocas cristalinas y abundantes en las dolomías secundarias. Su tamaño es mucho más pequeño y suelen estar peor comunicados.

* *Poros matriciales*: Asociados a la micrita y, por tanto, propios de las rocas micríticas, son poros intercristalinos a nivel de cristales de tamaño micrita. El tamaño de los poros es muy pequeño y las formas más planares —modelo de red en nido de abeja (BOUSQUIE, 1979).

encuentran más o menos ligados a la técnica empleada para su determinación.

Técnicas de estudio

El estudio llevado a cabo incluye la observación directa de los poros, y la cuantificación de parámetros relativos a la porosidad y porometría de las rocas. En la figura 1 se muestra la metodología seguida, así como las técnicas utilizadas en este trabajo. Un estudio más general —relativo a la caracterización de la estructura porosa— puede verse en HAYNES (1973).

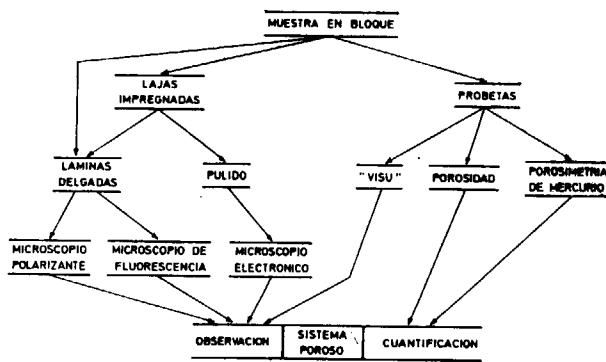


Figura 1.—Metodología seguida en la caracterización del sistema poroso.

La *observación directa* de los poros se ha efectuado a distintos niveles (lupa binocular, microscopía óptica, de fluorescencia y electrónica de barrido) y sobre muestras preparadas de diferentes maneras (láminas delgadas, impregnadas con resinas fluorescentes y pulidas). El análisis realizado incluye su localización textural, junto a sus características geométricas y genéticas, así como la cuantificación de los macroporos.

Las determinaciones de *porosidad* (ALONSO, 1986) han sido realizadas teniendo en cuenta las normas ISRM (1979), RILEM (1980) y los trabajos de BELIKOV et al. (1967). Los ensayos se han efectuado sobre muestras cilíndricas (D:35, L:65 mm.), considerando los siguientes parámetros:

* «Porosidad total» (n), obtenida como relación de ambas densidades (densidad de la roca seca y densidad de los granos minerales).

* «Porosidad abierta» (n_0), obtenida por introducción de líquido en los espacios vacíos. Se ha determinado tanto la porosidad accesible al agua —por el método de la pesada hidrostática—, como la accesible al mercurio —método de inyección de Hg.

* «Grado de comunicación» o de relleno de los poros (S), definido como la relación entre ambas porosidades, se expresa en tanto por ciento.

La *porometría* —distribución del volumen poroso en función del radio de acceso de los poros— ha sido obtenida mediante técnicas de inyección de Hg en la roca (ORDAZ Y ALONSO, 1983). El ensayo se ha realizado con un porosímetro Carlo-Erba (Serie 200), sobre muestras cilíndricas (D: 11, L:20 mm.), explorándose el rango de poros comprendidas entre 75 y 0,0035 μm . Los ensayos porométricos efectuados constan de dos inyecciones consecutivas, lo que permite determinar la porosidad atrapada y su distribución de tamaños. Los resultados se expresan de forma integral, tal como se muestra en la figura 2.

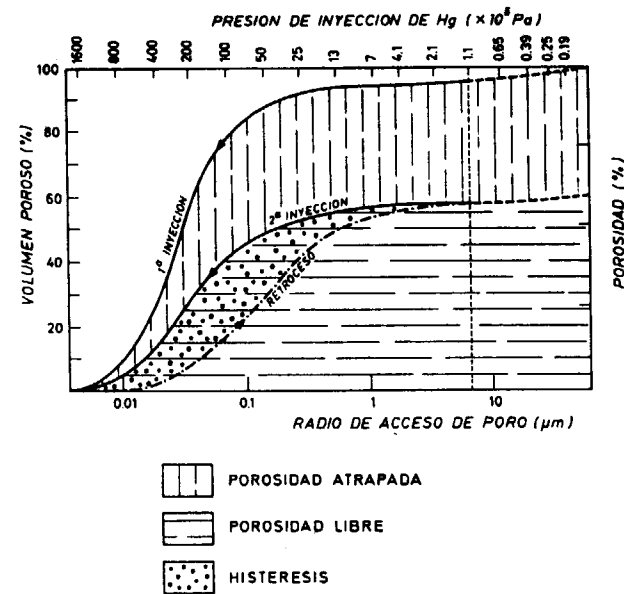


Figura 2.—Curva porométrica tipo, donde se muestra la distribución de la porosidad en función del radio de acceso a los poros.

ROCAS ESTUDIADAS: PETROGRAFIA

Han sido seleccionados cuatro tipos rocosos de naturaleza carbonatada, diferentes en cuanto a

edad y petrografía; así como dos variedades dentro de cada tipo (tabla I), en relación con pequeñas diferencias en composición, textura o porosidad.

TABLA I
Rocas estudiadas

Caliza del Páramo (Valladolid). Variedades: P-1, P-2.
Canteras de Campaspero. Mioceno Superior.
Caliza de Montaña (Asturias). Variedades: M-1, M-2.
Canteras próximas a Oviedo. Carbonífero.
Dolomía de Boñar (León). Variedades: B-1, B-2.
Canteras de Boñar. Cretácico Superior.
Caliza de Laspra (Oviedo). Variedades: L-1, L-2.
Zona de Buenavista. Eoceno-Oligoceno.

Las características petrográficas analizadas atienden a los rasgos deposicionales de las rocas (FOLK, 1962; DUNHAM, 1962) y, sobre todo, a los cristalinios, dado que éstos son los de mayor interés en relación con la configuración del sistema poroso.

Para cada tipo rocoso se indican en primer lugar, las características «de visu» más relevantes. La mineralogía engloba los resultados de los distintos análisis realizados: residuo insoluble, estudio de láminas delgadas teñidas y difracción de Rayos X. La textura se ha obtenido a partir de observaciones en microscopía óptica de polarización y electrónica de barrido; en este último caso se han analizado superficies de fractura, así como otras atacadas por ácido ClH diluido.

Seguidamente se señalan dichas características, así como las diferencias existentes entre ambas variedades.

Caliza del Páramo

Roca de color blanquecino algo grisáceo; aspecto masivo criptocristalino, ligeramente moteado por la presencia de algunos granos —peloides—, poros y núcleos cristalinos.

Mineralogía

El componente mayoritario es la calcita. Presenta un residuo insoluble alrededor del 6,5 por 100 (7,1 en la variedad P-1 y 5,7 en P-2) principalmente de naturaleza arcillosa, con algo de cuarzo; dentro de la fracción arcillosa es mayoritaria la paligorskita.

Textura

Es una micrita grumelar —micrita más o menos fosilífera a intraesparita de gravels— (fig. 3). El tamaño de los cristales de micrita es relativamente pequeño ($2 \mu\text{m}$); presenta alrededor de un 30 por 100 de microesparita con disposición intersticial, así como esparita en núcleos cristalinos y restos fósiles. Esta distribución de tamaños confiere a la roca cierto aspecto microdrusiforme.

Las diferencias más acusadas entre las dos variedades estudiadas son las relativas a su contenido en núcleos cristalinos y a la presencia de macroporos, a su vez inversamente relacionadas entre sí. La variedad P-1 presenta un 7 por 100 de esparita, mientras P-2 sólo un 2 por 100.

Caliza de Montaña

Roca de color gris oscuro; aspecto masivo fina-

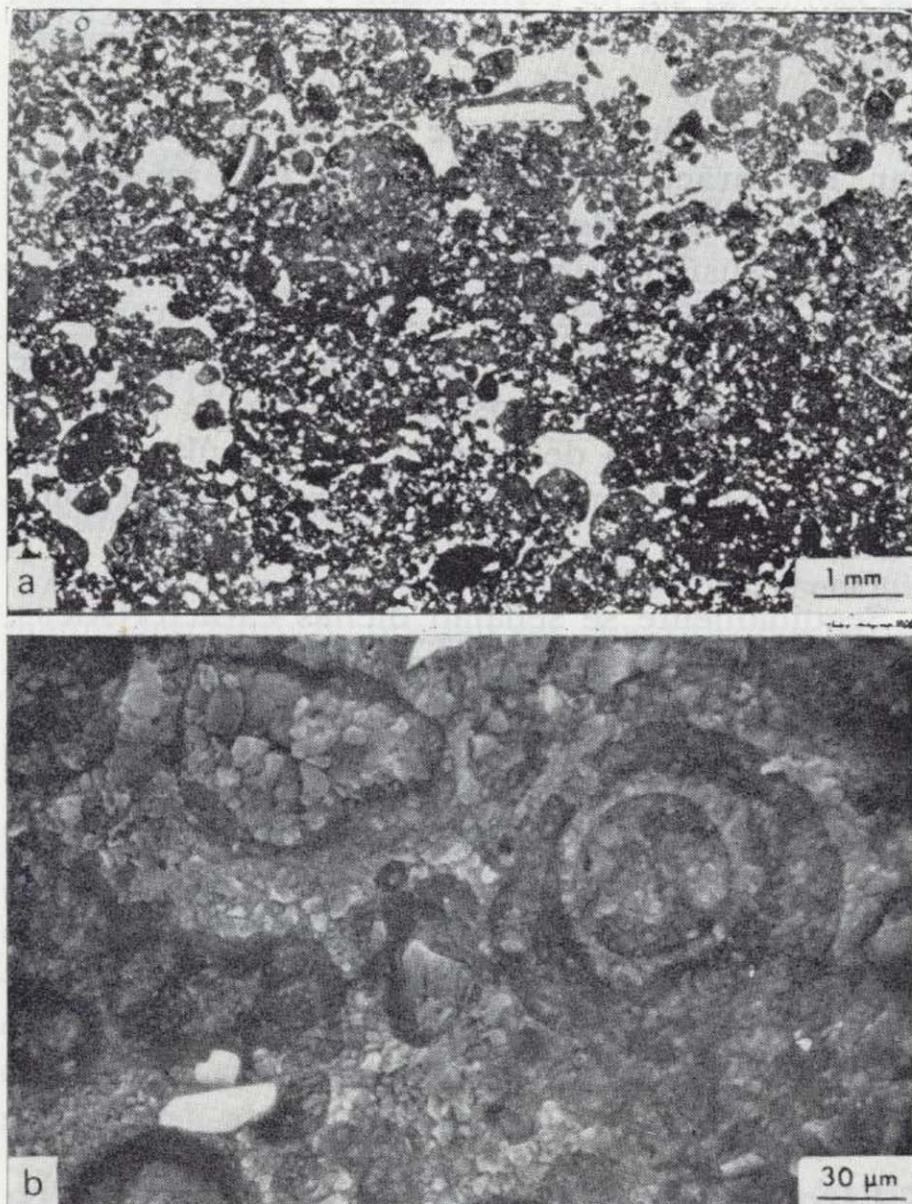


Figura 3.— Caliza del Páramo, variedad P-1. *a*) Aspecto de la textura en una zona intraesparítica (N. P.). *b*) Pueden observarse las variaciones en el tamaño de los cristales, a las que se debe la textura grumelar (M. E. B., superficie atacada por CIH).

namente cristalino, mostrando de forma difusa un bandeo homogéneo (variedad M-1), o cierto aspecto brechoide salpicado de manchas amarillentas de dolomita (M-2).

Mineralogía

El componente mayoritario es la calcita, la variedad M-2 presenta algo de dolomita (5 por 100). Su residuo insoluble es muy pequeño (0,7 por 100) y de naturaleza bituminosa.

Textura

Es cristalina granoblástica poligonal, de grano fino —tamaño medio de los cristales $30 \mu\text{m}$ —, relativamente equigranular y alotriomórfica (fig. 4). El aspecto bandeado o brechoide guarda relación con ligeras variaciones en el tamaño de los cris-

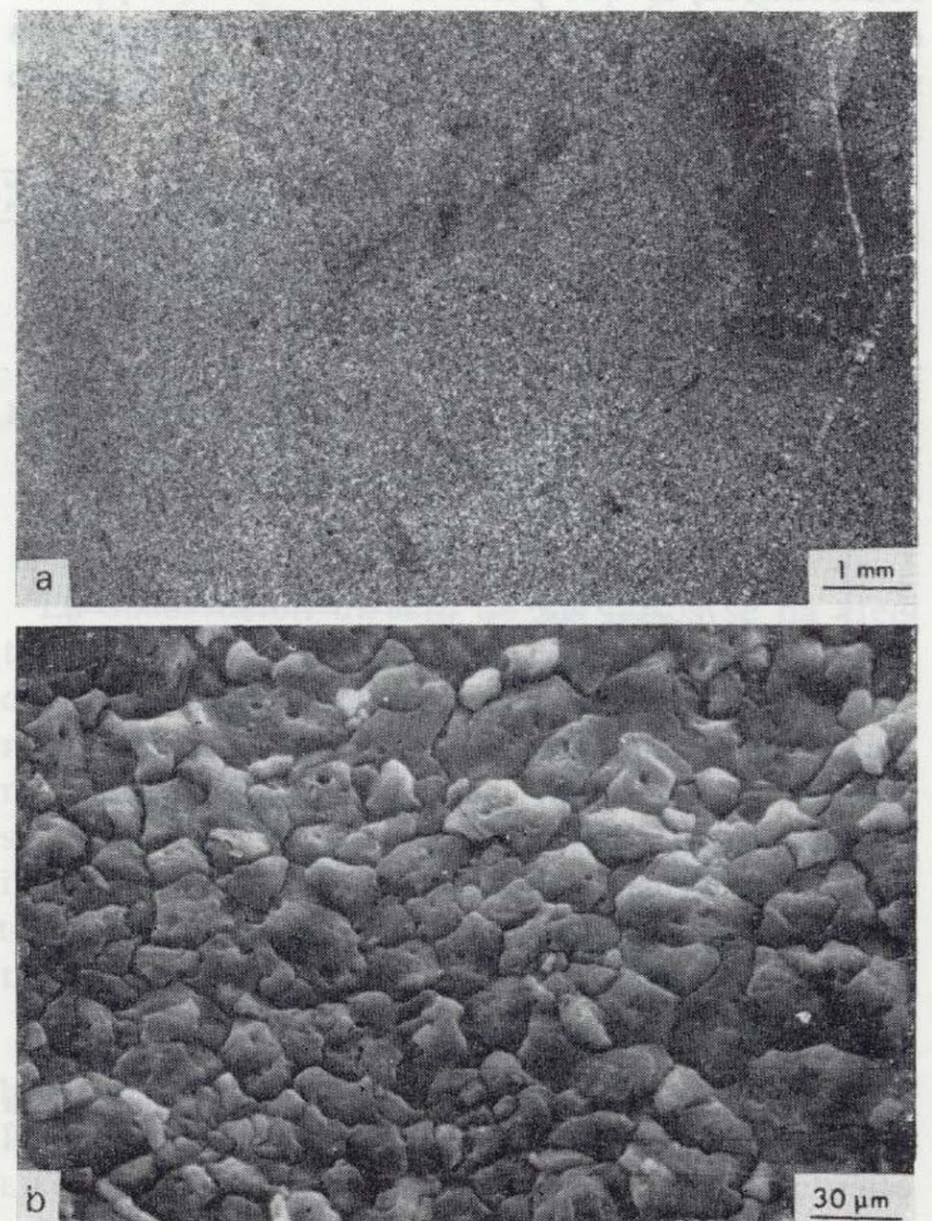


Figura 4.— Caliza de Montaña, variedad M-1. *a*) Roca con textura cristalina muy homogénea (N. P.). *b*) Aspecto que presentan los cristales de calcita, grabados por ácido (M. E. B., superficie atacada por CIH).

tales. La dolomita se presenta en cristales euhedrales aislados, o asociados en núcleos cristalinos.

Las diferencias más importantes entre las dos variedades estudiadas son la mayor homogeneidad textural que posee M-1 y, sobre todo, la presencia de dolomita en M-2.

Dolomía de Boñar

Roca de color ocre claro, difusamente moteada, con tonos amarillentos a rojizos; aspecto masivo microcristalino, que se sobrepone a otro más difuso de tipo granudo muy homogéneo en la variedad B-1 y algo brechoide en B-2.

Mineralogía

Constituida esencialmente por dolomita, presenta también algo de calcita —más abundante y mejor repartida en la variedad B-1 (12 por 100 en B-1 y 6 por 100 en B-2)—. Su residuo insoluble se sitúa alrededor del 4 por 100, siendo mayoritariamente de naturaleza arcillosa.

Textura

Es cristalina, granoblástica, de grano fino (tamaño medio de los cristales $20 \mu\text{m}$), equigranular, idiomórfica o subidiomórfica. Subyacente muestra una textura relictiva granuda de tipo clástico, bien calibrada, especialmente en la variedad B-1 (fig. 5). El tamaño medio de los granos es $0,5 \text{ mm}$., mostrando en posiciones intersticiales calcita o bien macroporos.

Las diferencias más importantes entre las dos variedades consideradas son las relativas a su contenido en calcita y a su homogeneidad textural.

Caliza de Laspra

Roca de color blanquecino, más o menos grisáceo; aspecto masivo criptocristalino, débilmente salpicado por algún granillo de esparita o cuarzo. La variedad L-1, de color más oscuro, es ligeramente más cristalina.

Mineralogía

Constituida esencialmente por calcita ferrosa. El contenido en terrígenos difiere en las dos variedades consideradas (2 por 100 en L-1 y 7 por 100 en L-2), siendo fundamentalmente de natura-

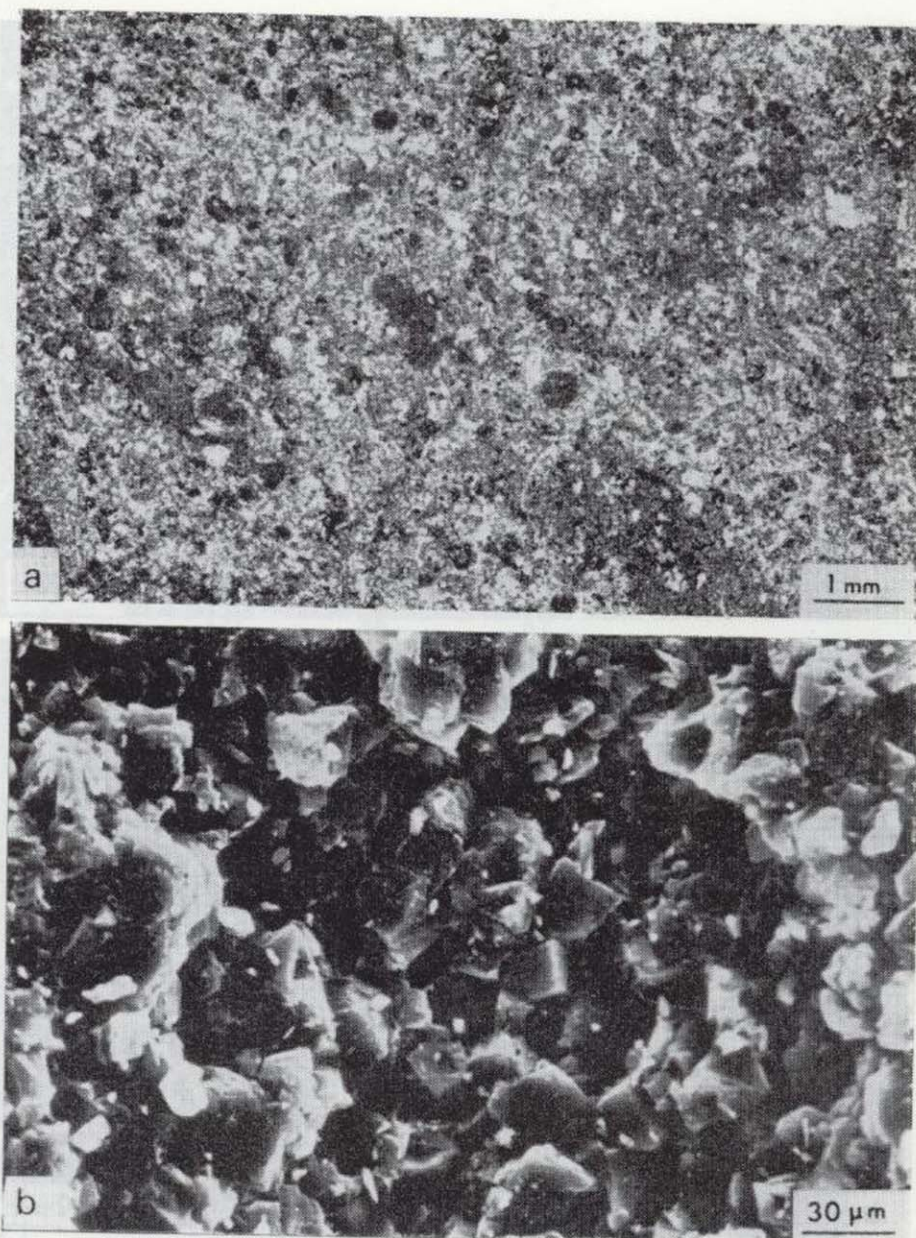


Figura 5.—Dolomía de Boñar, variedad B-1. a) Puede apreciarse la textura granuda relictiva, generada por pequeñas variaciones en el tamaño de los cristales (N. P.). b) Cristales euhedrales de dolomita con abundante porosidad intercristalina (M. E. B.)

leza arcillosa, si bien se observan algunos granos de cuarzo, chert y ópalo. La fracción arcillosa está constituida mayoritariamente por esmectita.

Textura

Es una micrita fosilífera, mostrando distinto grado de recristalización las dos variedades consideradas. En L-1 predominan los cristales de $10 \mu\text{m}$ —microesparita—, mientras en L-2 lo hace la micrita, con cristales de tamaño inferior a $2 \mu\text{m}$ (fig. 6).

Las diferencias entre las dos variedades son notables, destacando las referentes al grado de cristalinidad y contenido en arcillas, a su vez inversamente relacionadas entre sí.

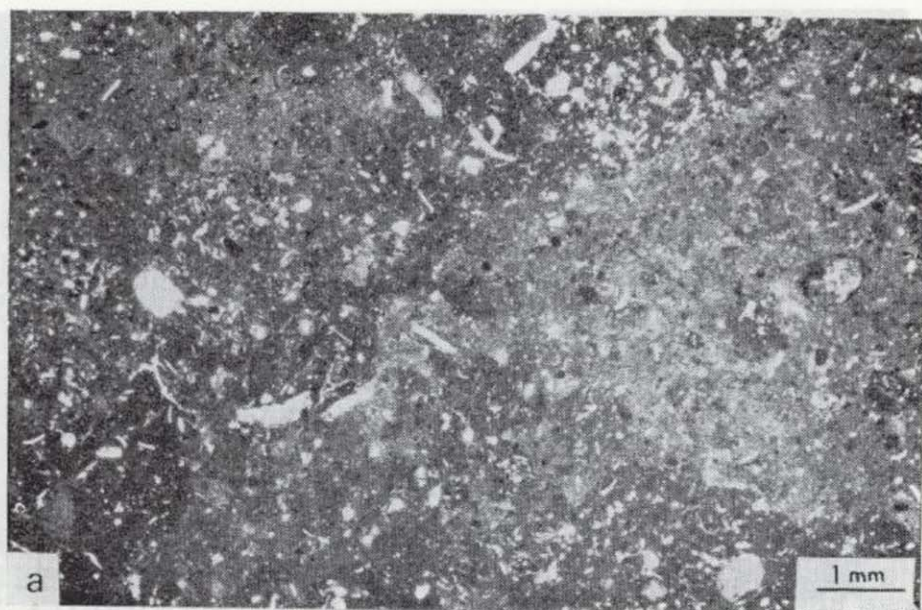


Figura 6.—Caliza de Laspra, variedad L-2. a) Micrita fosilífera removilizada, se observa algún grano de cuarzo y esparita (N. P.). b) Aspecto de los cristales de micrita, grabados por ácido (M. E. B., superficie atacada por ClH).

ANÁLISIS DEL SISTEMA POROSO

Caliza del Páramo

Las dos variedades seleccionadas presentan similares tipos de poros, si bien en proporciones distintas y en consecuencia poseen distinta porosidad.

En cuanto a su observación directa, destacan ya a simple vista poros móldicos —de formas elongadas y tamaños alrededor de 1 mm.— y poros «vug» —desde microgeodas a microkarsts y canalillos— de mayor tamaño (5 mm.). La variedad P-1 presenta microgeodas en baja proporción, mientras que en P-2 abundan más los poros móldicos y los canalillos de disolución. En microscopía de polarización continúan observándose poros de esas dos clases en ambas variedades, siendo su tamaño más frecuente 150 μm . Se ha realizado un conteo

de los macroporos —poros superiores a 10 μm —, encontrándose notables diferencias entre ambas variedades; así, en P-1 dichos poros se sitúan alrededor del 1 por 100 y en P-2 del 5 por 100.

De acuerdo con los valores de porosidad total (tabla II), el volumen poroso más relevante es el correspondiente a los microporos. Estos son poros matriciales, localizados en las zonas micríticas —que son las mayoritarias en este tipo rocoso—, mientras la esparita nunca presenta este tipo de poros. Consecuencia de este hecho son las diferencias en el grado de pulimento (fig. 7) y, en especial, la incapacidad que presenta la micrita para el pulido.

En la tabla II se muestran los valores medios de porosidad; las diferencias observadas entre ambos métodos son atribuidas mayoritariamente a la heterogeneidad de las rocas estudiadas. Teniendo en cuenta los porcentajes previamente indicados de macroporos, se deduce que ambas variedades presentan similar proporción de microporos; en consecuencia, sus diferencias de porosidad son debidas fundamentalmente a los macroporos.

La distribución de tamaños de acceso de poro —obtenida mediante técnicas de inyección de mercurio en la roca— se muestra en la figura 8, resumiéndose en la tabla III los principales parámetros determinados mediante dicho ensayo.

Es de destacar el pequeño radio de acceso de poro y su baja dispersión —similar al presentado

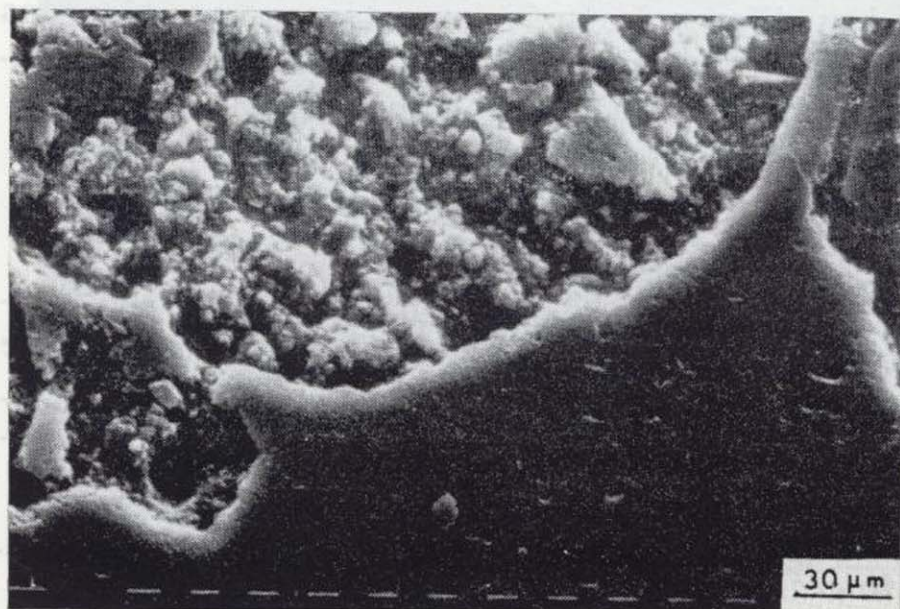


Figura 7.—Caliza del Páramo, variedad P-1, muestra pulida. Diferencias entre las zonas micríticas y las esparíticas, puestas de manifiesto por su grado de pulimento (M. E. B. $\times 320$).

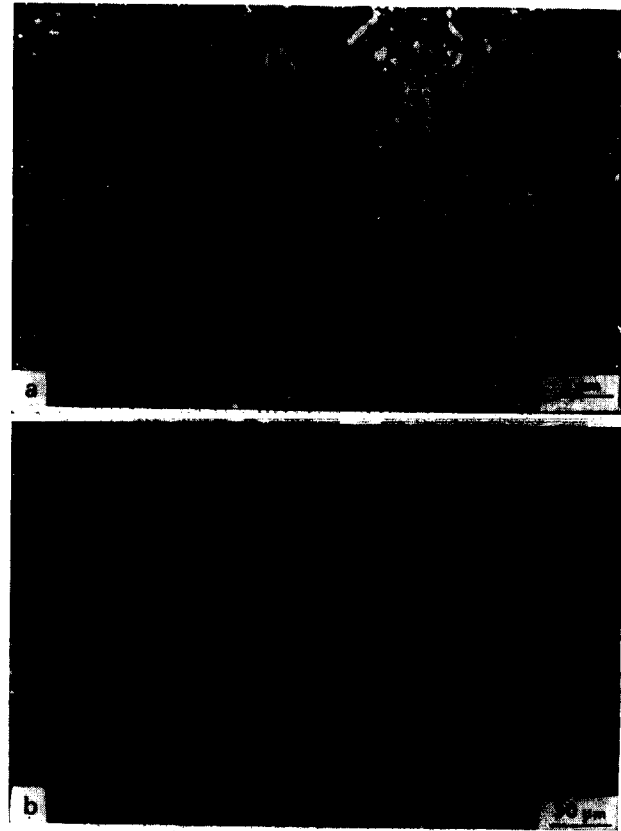


Figura 6.—Caliza de Laspra, variedad L-2. a) Micrita fosilífera removilizada, se observa algún grano de cuarzo y esparita (N. P.). b) Aspecto de los cristales de micrita, grabados por ácido (M. E. B., superficie atacada por ClH).

de los macroporos —poros superiores a 10 μm —, encontrándose notables diferencias entre ambas variedades; así, en P-1 dichos poros se sitúan alrededor del 1 por 100 y en P-2 del 5 por 100.

De acuerdo con los valores de porosidad total (tabla II), el volumen poroso más relevante es el correspondiente a los microporos. Estos son poros matriciales, localizados en las zonas micríticas —que son las mayoritarias en este tipo rocoso—, mientras la esparita nunca presenta este tipo de poros. Consecuencia de este hecho son las diferencias en el grado de pulimento (fig. 7) y, en especial, la incapacidad que presenta la micrita para el pulido.

En la tabla II se muestran los valores medios de porosidad; las diferencias observadas entre ambos métodos son atribuidas mayoritariamente a la heterogeneidad de las rocas estudiadas. Teniendo en cuenta los porcentajes previamente indicados de macroporos, se deduce que ambas variedades presentan similar proporción de microporos; en consecuencia, sus diferencias de porosidad son debidas fundamentalmente a los macroporos.

La distribución de tamaños de acceso de poro —obtenida mediante técnicas de inyección de mercurio en la roca— se muestra en la figura 8, resumiéndose en la tabla III los principales parámetros determinados mediante dicho ensayo.

Es de destacar el pequeño radio de acceso de poro y su baja dispersión —similar al presentado



Figura 7.—Caliza del Páramo, variedad P-1, muestra pulida. Diferencias entre las zonas micríticas y las esparíticas, puestas de manifiesto por su grado de pulimento (M. E. B. $\times 320$).

ANÁLISIS DEL SISTEMA POROSO

Caliza del Páramo

Las dos variedades seleccionadas presentan similares tipos de poros, si bien en proporciones distintas y en consecuencia poseen distinta porosidad.

En cuanto a su observación directa, destacan ya a simple vista poros móldicos —de formas elongadas y tamaños alrededor de 1 mm.— y poros «vug» —desde microgeodas a microkarsts y canalillos— de mayor tamaño (5 mm.). La variedad P-1 presenta microgeodas en baja proporción, mientras que en P-2 abundan más los poros móldicos y los canalillos de disolución. En microscopía de polarización continúan observándose poros de esas dos clases en ambas variedades, siendo su tamaño más frecuente 150 μm . Se ha realizado un contejo

TABLA II
Porosidad obtenida por el método hidrostático (M. H.) y por inyección de mercurio (M. Hg)

Muestra	Porosidad	Total	Porosidad	Abierta	G. de Comunic.	
	M. H. %	M. Hg. %	M. H. %	M. Hg. %	M. H. %	M. Hg. %
P-1	9,9	9,8	9,0	8,3	91	85
P-2	13,2	16,2	12,5	14,6	95	90
M-1	0,40	—	0,25	—	63	—
M-2	0,81	—	0,52	—	64	—
B-1	14,1	12,3	13,6	11,8	96	96
B-2	15,0	15,0	14,6	13,0	97	87
L-1	1,6	1,5	1,3	1,0	84	67
L-2	6,8	7,8	6,4	6,2	94	79

TABLA III
Parámetros porométricos obtenidos por inyección de mercurio

Muestra	Micro-porosidad %	Porosidad atrapada %	Radio Acc. Porosidad μm
P-1	96	59	0,013
P-2	90	60	0,037
M-2	—	—	0,7
B-1	95	80	0,30
B-2	73	75	1,8
L-1	100	85	0,0095
L-2	97	61	0,018

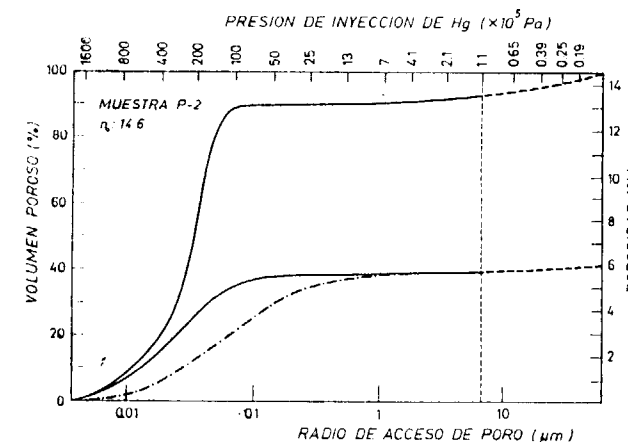
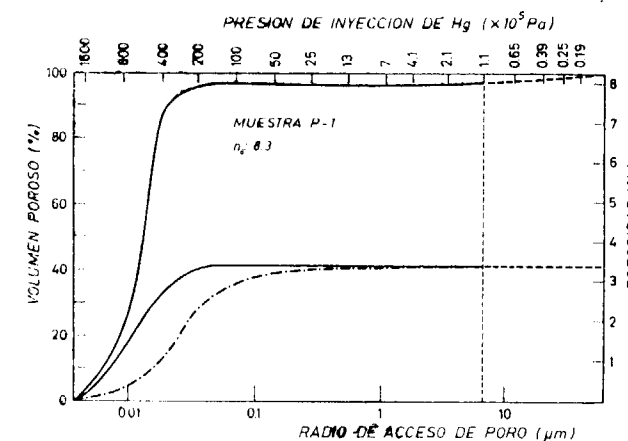


Figura 8.—Curvas porométricas correspondientes a las dos variedades de Caliza del Páramo.

por otras calizas micríticas (ESBERT et al., 1982)—, así como el elevado porcentaje de microporosidad. De este último dato se deduce que los macroporos están mayoritariamente comunicados por microaccesos, especialmente en la variedad P-2. Finalmente puede señalarse que, de las dos variedades consideradas, la de menor porosidad presenta tamaño de acceso de poro ligeramente menor.

Caliza de Montaña

Roca de muy baja porosidad, observándose tan sólo algunos poros en microscopía electrónica de barrido y microscopía de fluorescencia. A escala de roca matriz no se observa fisuración; no obstante, por métodos indirectos han podido ser detectadas incipientes fisuras.

En la variedad M-1, de muy baja porosidad, ésta es debida fundamentalmente a microfisuras y microporos de tipo intracristalino. La variedad M-2 muestra poros inter a intracristalinos de mayor tamaño, asociados a la dolomita; dichos poros aparecen en los contactos calcita-dolomita y en el interior de los cristales de dolomita siguiendo direcciones cristalográficas (fig. 9).

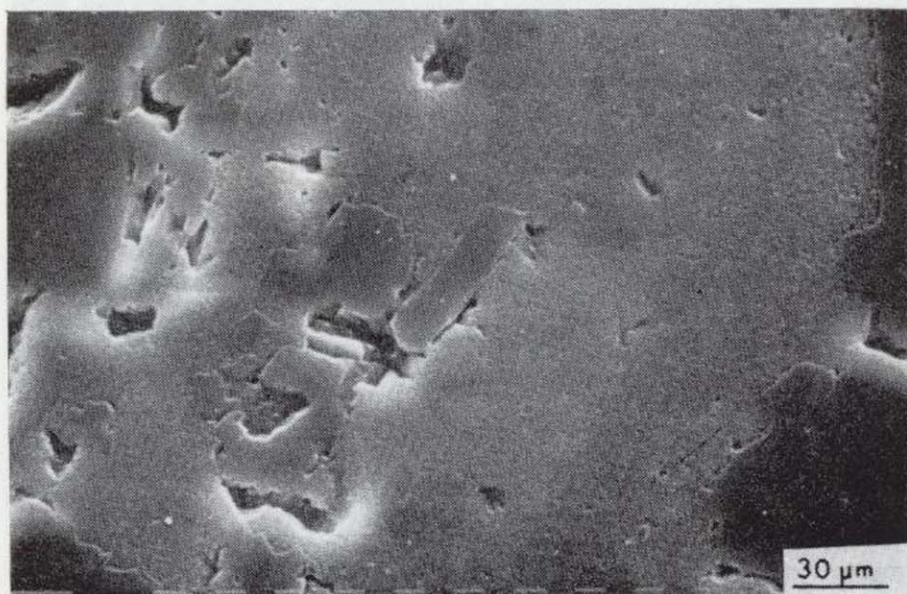


Figura 9.—Caliza de Montaña, variedad M-2, muestra pulida. Porosidad localizada en el interior y sobre todo en los bordes de los cristales de dolomita (M. E. B. $\times 320$).

La porosidad —dada su baja magnitud— sólo ha podido ser obtenida por el método de la pesada hidrostática (tabla II), mereciendo además estos valores menor confianza que los determinados en los restantes tipos rocosos. A pesar de ello, es de señalar el bajo grado de comunicación entre sus poros.

La distribución de tamaños de acceso de poro, obtenida también con mayores márgenes de error se muestra en la figura 10. Puede observarse cómo el radio medio resultante es relativamente elevado (tabla III) —comparable al presentado por la Dolomía de Boñar—, siendo también elevada la dispersión de tamaños.

Dolomía de Boñar

Esta roca muestra una porosidad mucho más importante, próxima en ambas variedades, si bien con ciertas diferencias en cuanto a la configuración de su sistema poroso.

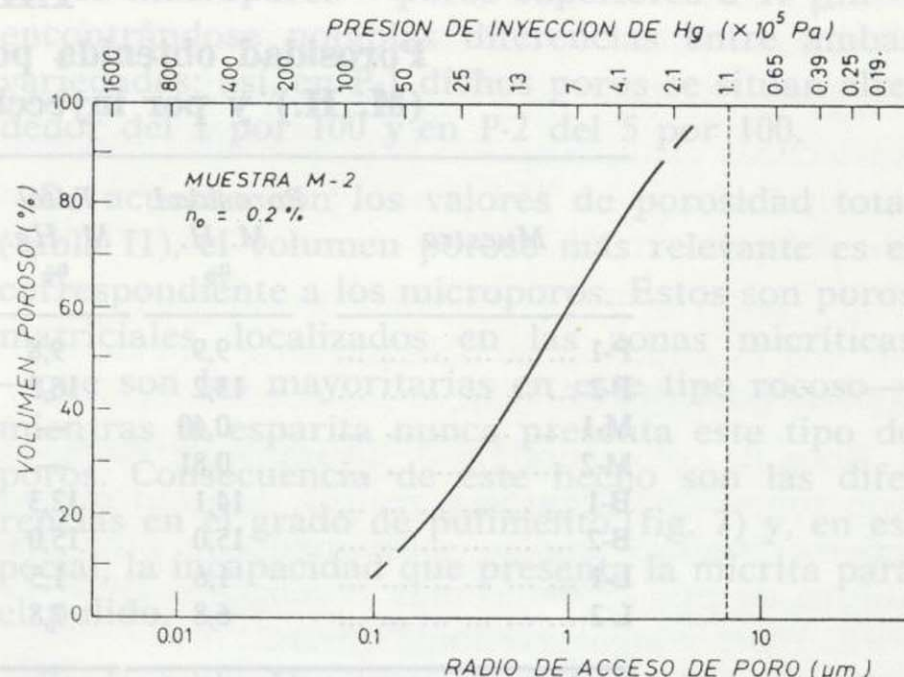


Figura 10.—Curva porométrica de la variedad M-2 correspondiente a Caliza de Montaña.

En la variedad B-1 los poros de mayor tamaño aparecen localizados en posiciones intersticiales respecto a la textura granuda relictas —poros intergranulares—, y su valor puede situarse alrededor de 60 μm . En B-2 destacan grandes poros de origen móldico, con tamaños alrededor de 0,5 mm. y formas que van de equidimensionales a elongadas, observándose asimismo poros intergranulares similares a los anteriores. Es de destacar la diferencia entre ambas variedades respecto al porcentaje de macroporos, situándose éste alrededor del 2 por 100 en L-1 y del 6 por 100 en L-2.

De acuerdo con su porosidad total (tabla II), nuevamente se deduce que el volumen poroso más relevante es el constituido por los microporos. Esta porosidad es debida mayoritariamente a poros intercristalinos e intracristalinos, asociados a la dolomita; destacando su heterometría y sus formas en estrella (fig. 11), así como la ausencia de poros en los cristales de calcita espática. Asimismo, cabe resaltar el elevado grado de comunicación entre los poros, en relación sin duda con el mayor tamaño que presentan sus accesos.

Respecto a la distribución de tamaños —figura 12, tabla III— destaca el elevado radio de acceso de poro y, sobre todo, su elevada dispersión; ambos hechos son más acusados en la variedad B-2. Finalmente es de señalar el mayor porcentaje de porosidad atrapada que posee este tipo rocoso.

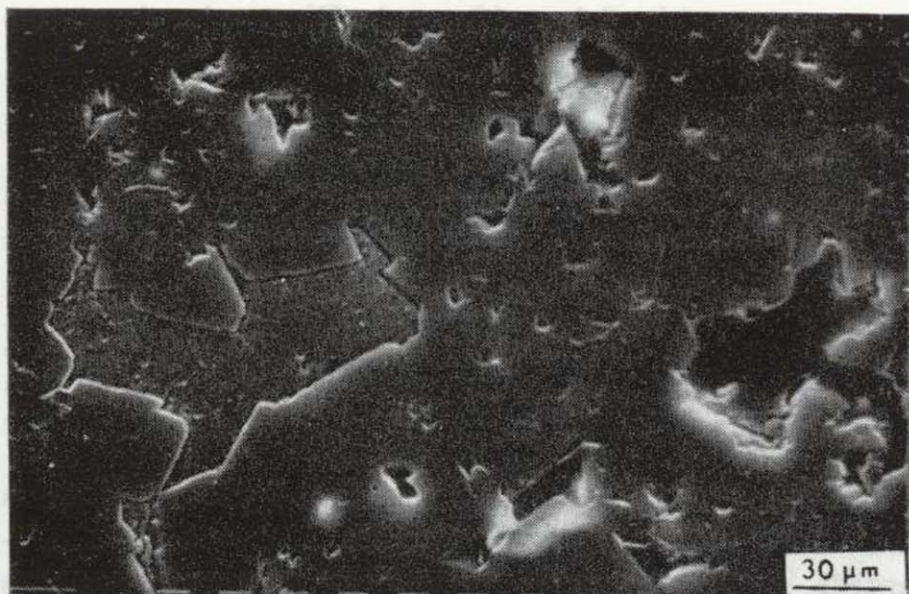


Figura 11.—Dolomía de Boñar, variedad B-2, muestra pulida. Aspecto de los grandes poros intercristalinos y de otros más pequeños intracristalinos, asociados a la dolomita (M. E. B. $\times 320$).

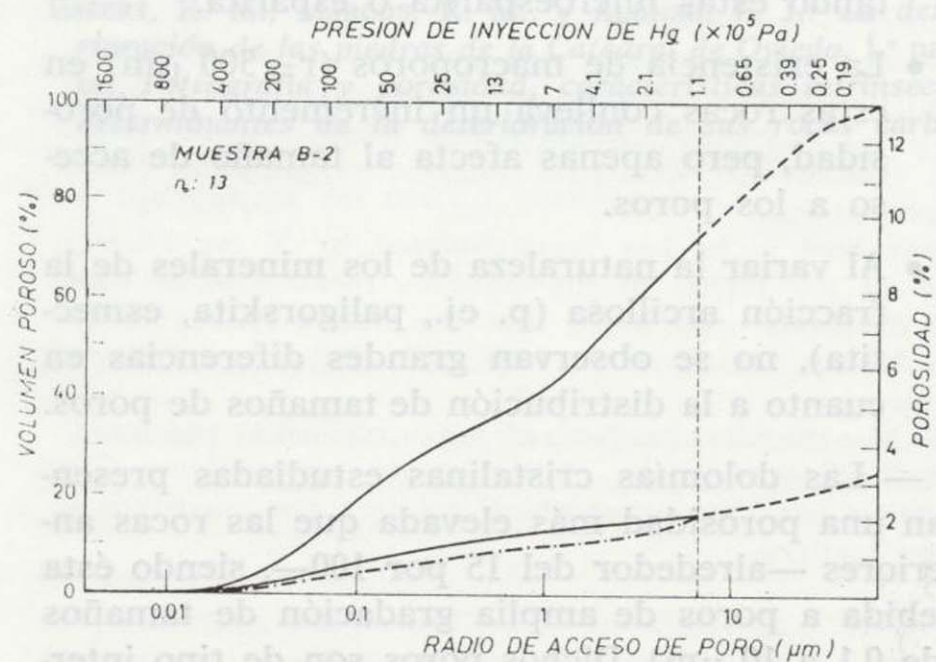
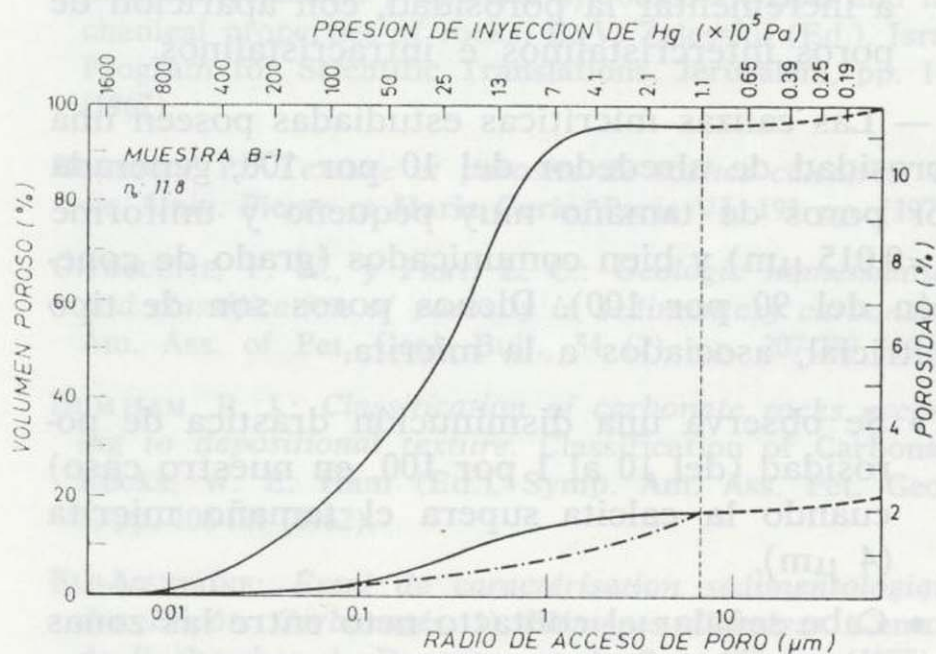


Figura 12.—Curvas porométricas correspondientes a las dos variedades de Dolomía de Boñar.

Caliza de Laspra

Las dos variedades seleccionadas presentan porosidades muy diferentes, siendo en general más difíciles de observar los espacios vacíos, consecuencia de la ausencia de macroporos y del pequeño tamaño de los microporos.

La variedad L-1 muestra pequeñas superficies de discontinuidad de formas ondulantes y tendencia estilolítica, ricas en material arcilloso fácilmente deleznable. Bajo microscopía electrónica de barrido la porosidad es localizada en las zonas micríticas —poros matriciales—, guardando por tanto relación con el porcentaje de micrita en la roca. La variedad micrítica (L-2) presenta exclusivamente porosidad matricial, homogéneamente repartida por toda la roca (fig. 13), observándose también la ausencia de poros en los núcleos de esparita.

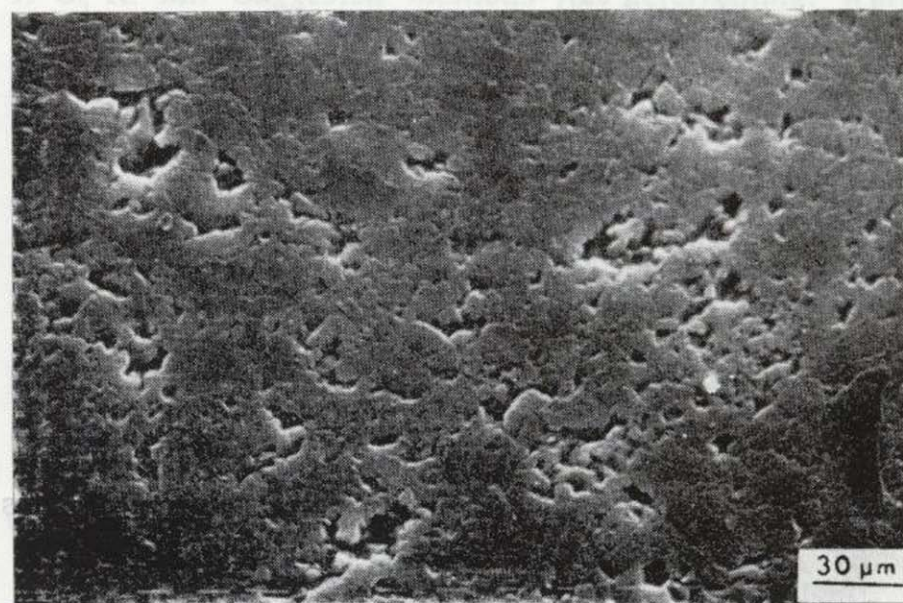


Figura 13.—Caliza de Laspra, variedad L-1, muestra pulida. Puede observarse el bajo grado de pulimento, en relación con la porosidad matricial que presenta la micrita.

En cuanto a los valores de porosidad —tabla II— son de destacar las diferencias existentes entre las dos variedades consideradas: micrítica y cristalina, relativas tanto a la porosidad como al grado de comunicación entre los poros. Los resultados obtenidos en este sentido son concordantes con los de los tipos rocosos previamente analizados.

La distribución de tamaños —fig. 14, tabla III— muestra radios de acceso de poro sumamente pequeños y muy baja dispersión. Ambos hechos son más acusados en la variedad cristalina L-1, donde es posible la existencia de porosidad con tamaños por debajo del rango explorado.

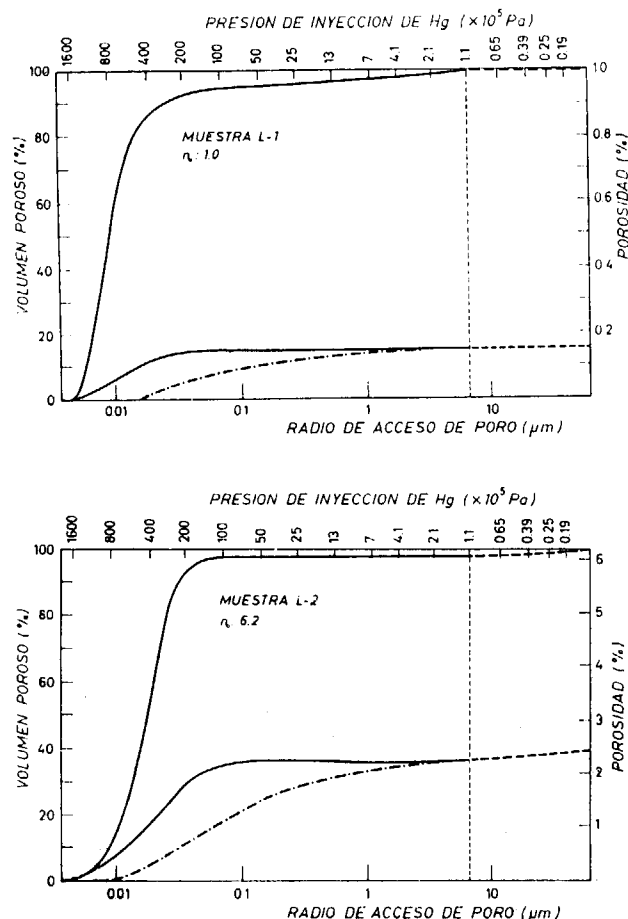


Figura 14.—Curvas porométricas correspondientes a las dos variedades de Caliza de Laspra.

CONCLUSIONES

De las observaciones y medidas realizadas pueden extraerse las siguientes conclusiones:

A) Características relativas al sistema poroso de los tipos rocosos analizados.

— La Caliza del Páramo presenta macroporos y microporos, dando acceso los microporos ($r \approx 0.015 \mu\text{m}$) a los macroporos ($r \approx 500 \mu\text{m}$). Su grado de interconectividad es elevado (90 por 100).

— La Caliza de Montaña muestra, en baja proporción (0,5 por 100 en total), microporos e incipientes microfisuras, con menor grado de interconectividad entre sí (60 por 100).

— La Dolomía de Boñar presenta una gradación más continua entre el tamaño de los poros y de

sus accesos (de 0,1 a 10 μm). El grado de conexión entre los poros es muy elevado (96 por 100).

— La Caliza de Laspra posee exclusivamente microporos con pequeños tamaños de acceso ($r \approx 0.014 \mu\text{m}$), los cuales están bien comunicados (90 por 100).

B) Correlaciones entre características petrográficas y sistema poroso.

— Las calizas cristalinas estudiadas presentan muy baja porosidad —inferior al 1 por 100—, atribuible a microporos y microfisuras con un grado de interconectividad de alrededor del 60 por 100.

- Al aumentar el grado de cristalinidad de la roca —dentro del estrecho rango considerado— tiende a disminuir la porosidad, así como el grado de conexión entre los poros.
- La presencia de cristales de dolomita tiende a incrementar la porosidad, con aparición de poros intercristalinos e intracristalinos.

— Las calizas micríticas estudiadas poseen una porosidad de alrededor del 10 por 100, generada por poros de tamaño muy pequeño y uniforme ($r \approx 0,015 \mu\text{m}$) y bien comunicados (grado de conexión del 90 por 100). Dichos poros son de tipo matricial, asociados a la micrita.

- Se observa una disminución drástica de porosidad (del 10 al 1 por 100, en nuestro caso) cuando la calcita supera el tamaño micrita (4 μm).
- Cabe señalar el contacto neto entre las zonas porosas micríticas y las no porosas, presentando éstas microesparita o esparita.
- La existencia de macroporos ($r \approx 500 \mu\text{m}$) en estas rocas conlleva un incremento de porosidad, pero apenas afecta al tamaño de acceso a los poros.
- Al variar la naturaleza de los minerales de la fracción arcillosa (p. ej., paligorskita, esmectita), no se observan grandes diferencias en cuanto a la distribución de tamaños de poros.

— Las dolomías cristalinas estudiadas presentan una porosidad más elevada que las rocas anteriores —alrededor del 15 por 100—, siendo ésta debida a poros de amplia gradación de tamaños (de 0,1 a 10 μm). Dichos poros son de tipo intercristalino e intracristalino, con muy buena interconectividad entre ellos (alrededor del 96 por 100).

AGRADECIMIENTOS

A la comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (Proyectos n. 4446/79 y 2573/83) y a la Fundación Ramón Areces (Proyecto: «Evaluación del estado de alteración y alterabilidad de los materiales rocosos de las Catedrales de León y Sevilla»).

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO, F. J., y SUÁREZ DEL RÍO, L. M.: *Velocidad de propagación de ondas en rocas carbonatadas*. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 15, pp. 315-324 (1985).
- ALONSO, F. J.: *Caracterización petrofísica y alterabilidad de calizas y dolomías*. Tesis Doctoral, Dpto. Petrología, Fac. de Geología, Univ. de Oviedo, 309 pp. (1986).
- BELIKOV, B. P.; ZALESKII, B. V.; ROZANOV, Y. A.; SANINA, E. A., y TIMCHENKO, I. P.: *Methods of studying the physico-mechanical properties of rocks*. Physical and mechanical properties of rocks, B. V. Zaleskii (Ed.), Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, pp. 1-58 (1967).
- BOUSQUIE, P.: *Texture et porosité de roches calcaires*. Tesis, Univ. Pierre et Marie Curie, París VI, 191 pp. (1979).
- CHOQUETTE, P. W., y PRAY, L. C.: *Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates*. Am. Ass. of Pet. Geol. Bull., 54 (2), pp. 207-250 (1970).
- DUMHAM, R. J.: *Classification of carbonate rocks according to depositional texture*. Classification of Carbonate Rocks, W. E. Ham (Ed.), Symp. Am. Ass. Pet. Geol., 1, pp. 108-121 (1962).
- ELF-AQUITAINE: *Essai de caractérisation sédimentologique des Dépôts Carbonatés*. 1) *Éléments d'analyse*. Centres de Recherches de Boussens et de Pau, 172 pp. (1975).
- ESBERT, R. M.; MARCOS, R. M., y ALONSO, F. J.: *La deterioración de las piedras de la Catedral de Oviedo*. 1.ª parte: *Petrografía y porosidad, características intrínsecas determinantes de la deterioración de sus rocas carbonatadas*. Materiales de Construcción, 185, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, pp. 61-71 (1982).
- ESBERT, R. M., y ORDAZ, J.: *Alteración y alterabilidad de las piedras de construcción: Criterios petrofísicos y ensayos de laboratorio*. I Congreso de Patología en la Edificación, C. O. A. C., Barcelona, 15 pp. (1985).
- FOLK, R. L.: *Spectral subdivision of limestone types*. Classification of Carbonate Rocks, W. E. Ham (Ed.), Symp. Am. Ass. Pet. Geol., 1, pp. 62-84 (1962).
- GREGG, S. J., y SING, K. S. W.: *Adsorption, surface area and porosity*. Academic Press, London, 300 pp. (1982).
- HAYNES, J. M.: *Determination of pore properties of constructional and other materials. General introduction and classification of methods*. Matériaux et Constructions, Bull. RILEM, 6 (33), pp. 169-174 (1973).
- HOUPERT, R.; KOROMI, N., y TISOT, J. P.: *Structure, propriétés physiques et comportement mécanique des roches calcaires*. Proc. III Cong. Assoc. Int. Geol. Ing., Secc. II, Madrid, pp. 191-199 (1978).
- I. S. R. M.: *Suggested methods for determining: Water content, porosity, density, absorption and related properties. Swelling and slake-durability index properties*. Int. J. Rock Mech. and Min. Sci., 16 (2), pp. 143-156 (1979).
- MONTOTO, M.: *Petrophysics: The petrographic interpretation of the physical properties of rocks*. Proc. 5th Cong. Int. Soc. Rock Mechanics, Sec. B, Melbourne (Australia), pp. 93-98 (1983).
- MOSCOU, L., y LUB, S.: *Practical use of mercury porosimetry in the study of porous solids*. Powder Technology, 29 (1), p. 45-52 (1981).
- ORDAZ, J., y ALONSO, F. J.: *Características del sistema poroso de la arenisca de Villamayor (Salamanca)*. Trabajos de Geología, Univ. de Oviedo, 13, pp. 83-92 (1983).
- PITTMAN, E. D.: *Microporosity in carbonate rocks*. Am. Ass. Pet. Geol. Bull., 55 (10), pp. 1873-1881 (1971).
- R. I. L. E. M.: *Essais recommandés pour mesurer l'altération des pierres et évaluer l'efficacité des méthodes de traitement*. Matériaux et Constructions, Bull. RILEM, 13 (75), pp. 216-220 (1980).

Recibido: Febrero 1987.

ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

Contribución al conocimiento petrológico y geoquímico de silcretas formadas por silicificación (Mioceno, Cuenca del Tajo)

Por M.^a A. BUSTILLO (*) y M. BUSTILLO (**)

RESUMEN

Las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo (sílex y ópalos) han sido llamadas silcretas. En el presente trabajo se discute la aplicación a estas rocas del término silcreta debido a la dificultad de definir, basándose en datos petrológicos, si estos sílex u ópalos se han formado en ambiente vadoso o freático.

Las «silcretas» están incluidas en materiales diferentes: calizas, dolomías, yesos y arcillas. Se han formado por reemplazamiento de los materiales encajantes. La mineralogía y textura de las fases silíceas viene condicionada en gran parte por el tipo de roca caja. El cuarzo y el ópalo C-T aparecen frecuentemente, pero el ópalo C-T es masivo sólo en las «silcretas» formadas por silicificación de dolomías, arcillas y calizas arcillosas. En ocasiones, junto a la formación de ópalo C-T en calizas arcillosas tiene lugar la formación de paligorskita. El cuarzo presenta diferentes texturas (calcedonita, quartzina, lutcita, megacuarzo y microcuarzo) dependiendo de la roca encajante y del ambiente de la silicificación.

La composición química de las rocas silíceas y la de sus rocas encajantes es analizada por Fluorescencia de rayos X. Los contenidos en Rb, Ba, Pb, Ce, Y, Th, Zn, Ni, Ga y Zr son más altos en las silcretas que en las rocas encajantes cuando estas son calizas o yesos. Esta diferencia puede implicar que las aguas relacionadas con el proceso de silicificación de yesos y calizas no evolucionan «in situ» a partir de la roca caja, sino que son originadas en un ambiente exterior a ellas y posiblemente común a todas.

El análisis factorial, considerando como variables la composición química (elementos mayores y menores) y la composición mineralógica (cuarzo, ópalo C-T, sepiolita, yeso, filosilicatos, calcita, dolomita y paligorskita), revela que el factor composición mineralógica unido a la localización geográfica es importante a la hora de establecer el comportamiento de las variables en los diferentes perfiles.

ABSTRACT

Siliceous rocks (cherts and opals) in the Miocene of the Tajo Basin have been named silcretas. Due to the difficulty to determine from petrological data, if these cherts and opals are formed in vadose or phreatic environments, the application of the term «silcrete» is being discussed in the present work. The siliceous rocks are included in a variety of host material: limestones, dolostones, gypsums and clays. The silica replacement of host materials has clearly been the most important mode of «silcrete» development.

The variety of host materials is reflected in the highly variable mineralogy and texture of these «silcretas». Opal C-T and quartz appear frequently, but the opal C-T is only massive in the «silcretas» formed on dolostones, clays and clayey-limestones. Sometimes the formation of opal C-T in clayey-limestones goes together with the formation of palygorskite. Quartz has many different textures (calcedonite, quartzine, lutcite, megaquartz, microquartz...) depending on the host rocks and silicification environment.

The chemical composition of cherts and opals and their host rocks has been analyzed by X ray Fluorescence. The contents in Rb, Ba, Pb, Ce, Y, Th, Zn, Ni, Ga and Zr are higher in the siliceous rocks than in some host rocks (carbonate and gypsum rocks especially). This difference may imply that the waters related to the silicification process of limestones and gypsums did not evolve «in situ» from the host rocks, but were originated in a strange environment probably common to all the «silcretas».

A factor analysis has been realised, taking as variables, the chemical (major and minor elements) and mineralogical composition (quartz, opal C-T, sepiolite, gypsum, phyllosilicates, calcite, dolomite and palygorskite). The factor analysis shows that the mineralogical composition together with the geographical position are important in order to define the behaviour of the variables in the different sections.

(*) Departamento de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales (C. S. I. C.).

(**) Departamento de Petrología. Facultad de Geológicas. Universidad Complutense.

INTRODUCCION

En los sedimentos miocenos de la Cuenca del Tajo aparecen diferentes tipos de rocas silíceas sobre las que se han realizado estudios mineralógicos y petrológicos considerándose procesos, ambientes de formación y evolución diagenética de los distintos minerales de la sílice (BUSTILLO, 1976, 1978, 1983 y 1984) o sus posibilidades como material gemológico (GARCÍA GIMÉNEZ et al., 1985).

En el presente trabajo se hace por primera vez un estudio conjunto de la petrología y geoquímica de las rocas silíceas y sus rocas caja, abordándose la discusión de algunos aspectos de la génesis y ambientes de formación.

De los diferentes tipos de rocas silíceas de la Cuenca del Tajo (BUSTILLO, 1976) se han escogido preferentemente aquéllas que aparecían incluidas en rocas caja que por sus características (bioturbación, signos pedogenéticos) indicaban un ambiente superficial, lo que garantizaba en parte el que se tratase realmente de silcretas.

El término silcreta es introducido por LAMPLUGH [1902, Geol. Mag., vol. 9 (1902), p. 575] para depósitos superficiales endurecidos por precipitación de sílice que es transportada por aguas superficiales. Este término se ha venido utilizando en rocas silíceas de una manera general para toda acumulación de sílice producida por procesos físico-químicos superficiales no relacionados con la cuenca de sedimentación.

Actualmente este término debe corresponderse con el de calcreta, lo que implica que la génesis de la roca silícea tiene lugar en ambiente vadoso o a techo de la capa freática donde hay elevación de agua por capilaridad en etapas áridas. Debido a esto, este término no debe ser aplicado indiscriminadamente a todas las acumulaciones de sílice inorgánica en medio continental.

ENCUADRE GEOLOGICO

La zona estudiada queda incluida dentro de la Cuenca del Tajo, amplia depresión de origen tectónico con una extensión actual de más de 10.000 kilómetros cuadrados. Esta cuenta está rellena, mayormente, por sedimentos paleógenos y neógenos que se apoyan, en general, sobre un sustrato de materiales cretácicos que, a su vez, descansan en el zócalo cristalino.

Las columnas muestreadas presentan todas ellas una edad miocena, quedando englobadas la mayoría en la Unidad Intermedia, que junto con la Inferior y Superior constituyen las tres grandes megasecuencias sedimentarias en que se divide el Mioceno de esta Cuenca. El límite inferior de la Unidad Intermedia queda definido por una discontinuidad o ruptura sedimentaria detectable por un fuerte cambio en la naturaleza litológica (JUNCO y CALVO, 1986), mientras que el límite superior está establecido por la discordancia erosiva en la base del conjunto terrígeno denominado «red fluvial intramiocena» (CAPOTE y CARRO, 1968).

En el área norte de la Cuenca, la Unidad Intermedia presenta facies a grandes rasgos similares con la Unidad Inferior, por lo que es difícil su diferenciación. En las proximidades de Madrid, se distinguen tres tipos de facies: detríticas, intermedias y palustres-lacustres (HOYOS et al., 1985), existiendo, fundamentalmente en las facies intermedias, niveles de sílex y sepiolita de potencia variable. Por último, hacia el sur (zona de Brea de Tajo-Drieves) esta unidad está constituida, básicamente, por una sucesión monótona de yesos pardos microcristalinos y yesos margosos blancos con nódulos y masas dispersas de sílex que, en ocasiones, se concentran sirviendo de nivel guía en estudios cartográficos (SAN JOSÉ, 1975).

LOCALIZACION DE LOS AFLORAMIENTOS ESTUDIADOS

Se han muestreado diferentes puntos y facies de la Cuenca del Tajo, para conseguir que estuvieran representadas gran variedad de rocas caja (yesos, dolomías, calizas y arcillas) y por otra parte para obtener rocas silíceas con diferentes mineralogías.

La localización de los puntos es expresada en la tabla 1.

Los afloramientos fueron escogidos en función de que además de la roca silícea no alterada fuera posible muestrear la roca caja directamente en contacto. En la figura 1 se han expresado los cortes geológicos más representativos y la relación entre las muestras silíceas y las de la roca caja.

En Brihuega, las masas de sílice adquieren gran volumen y extensión quedando sueltas por la

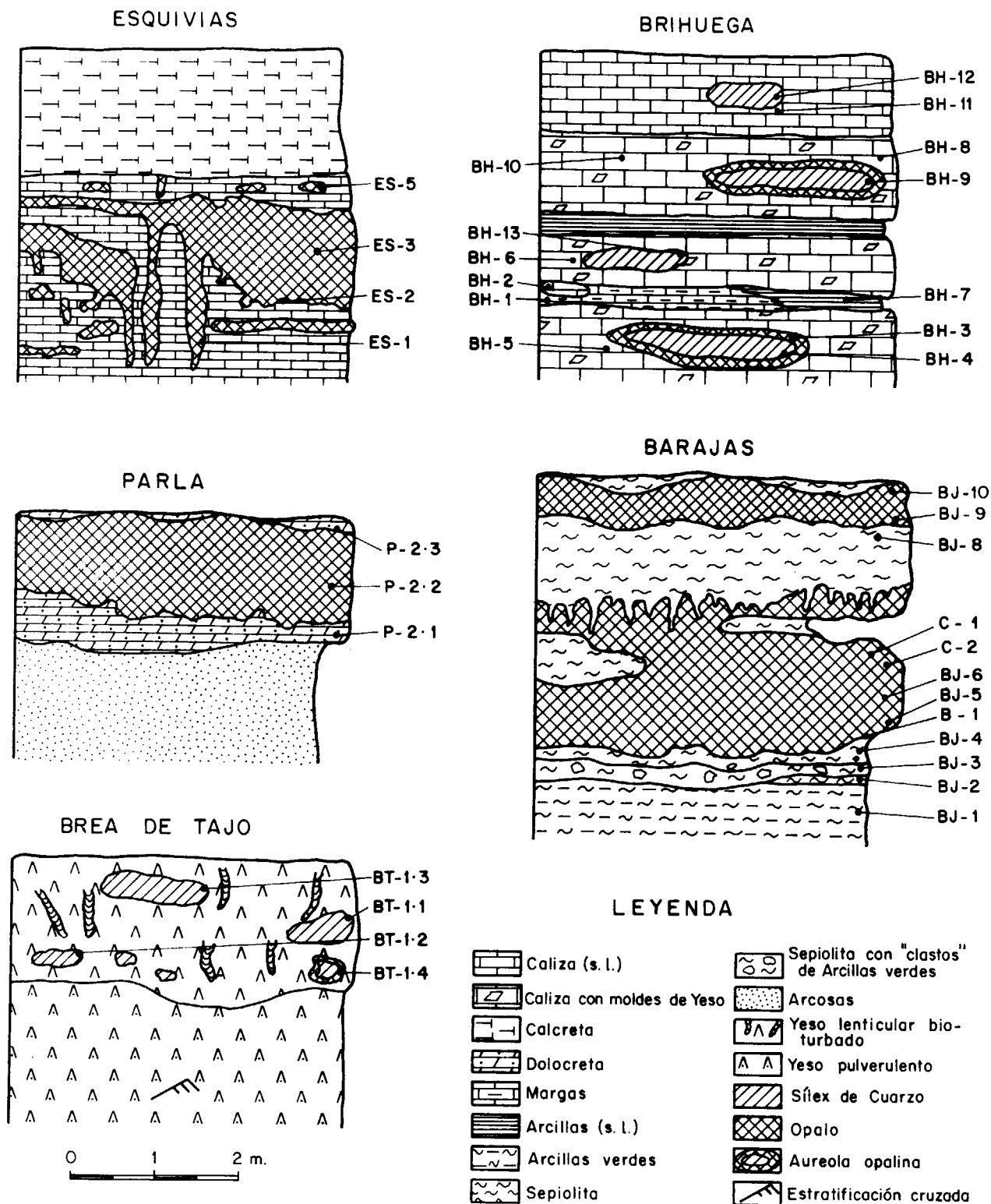


Figura 1.—Perfiles geológicos y situación de las muestras estudiadas.

TABLA 1

Punto	Localidad	Coordenadas	Roca caja del sílex
1	Brihuega BH	2° 50' 45" 40° 46' 15"	Serie blanca calcárea (Mioceno Medio)
2	Muduex MD	2° 57' 30" 40° 49' 15"	Parte media de la caliza del Páramo (Mioceno Superior)
3	Gajanejos G	2° 53' 30" 40° 50' 45"	Parte superior de la caliza del Páramo (Mioceno Superior)
4	Barajas BJ, B y C	3° 30' 45" 40° 28' 15"	Sepiolita (Mioceno Medio)
5	Parla P	3° 45' 30" 40° 15' 00"	Dolocreta entre arcosas (Mioceno Medio)
6	Esquivias ES	3° 45' 00" 40° 6' 45"	Caliza arcillosa ligada a calcretas (Mioceno Medio)
7	Brea de Tajo BT-1	3° 7' 15" 40° 13' 45"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
8	Brea de Tajo BT-2	3° 5' 15" 40° 14' 15"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
10	Brea de Tajo BT-3	3° 4' 30" 40° 14' 15"	Yesos bioturbados ligados a yesoarenitas (Mioceno Medio)
11	Perales de Tajuña PT	3° 18' 30" 40° 12' 15"	Yesos bioturbados (Mioceno Medio)

erosión (fig. 2). Se escogió para el muestreo el punto referido por tratarse de una cantera, no considerándose las grandes masas de sílex que aparecen por la erosión a lo largo del valle del río Tajuña. El sílex, que se presenta como pequeños nódulos hasta masas de 6 m³ de volumen, exhibe gran variedad de colores (gris, azul, rojo, etcétera) y tonos. Tiene estructura homogénea, aunque localmente se puede observar canales de bioturbación. En algunas ocasiones la zona exterior es opalina tomando un color blanquecino más opaco.

En Muduex y Gajanejos (puntos 2 y 3 respectivamente) el sílex aparece incluido en la parte media y superior de la denominada caliza del páramo. Al igual que en el punto 1, el sílex tiene gran variedad de colores y tonos. El volumen de sílice es inferior al punto anterior, ya que las masas silíceas no superan 1 m³; pueden tener también aureolas opalinas pero es menos frecuente.

En Barajas, punto 4, de los diferentes afloramientos y niveles de silcreta se escogió el refe-

rido por presentar gran volumen de sílice y poder observar el paso gradual en la vertical de «las arcillas verdes» a la sepiolita con sílice (fig. 3). El tránsito se hace a través de una facies mixta donde las «arcillas verdes» aparecen como «intraclastos» dentro de la sepiolita. Esta facies mixta puede representar la transformación gradual en ambiente edáfico de la arcilla verde a la sepiolita, quedando como restos de la roca primitiva los «intraclastos» verdes.

Las masas de sílice o silcretas aparecen claramente diferenciadas dentro de la sepiolita. En la base la silcreta, que es una mezcla de sílice y sepiolita, se presenta más masiva, mientras que hacia el techo manifiesta morfologías botroidales muy irregulares (fig. 4). La parte masiva puede presentar numerosas grietas subhorizontales o planares cementadas por sílice pura, la cual se acumula igualmente en otras porosidades de la roca.

En Parla, punto 5, se muestreó un nivel de encostramiento de 1,5 m. de potencia situado en las arcosas. Este nivel es de naturaleza carboná-

Figura 2.—Masas de sílex individualizadas por la erosión. Brihuega.

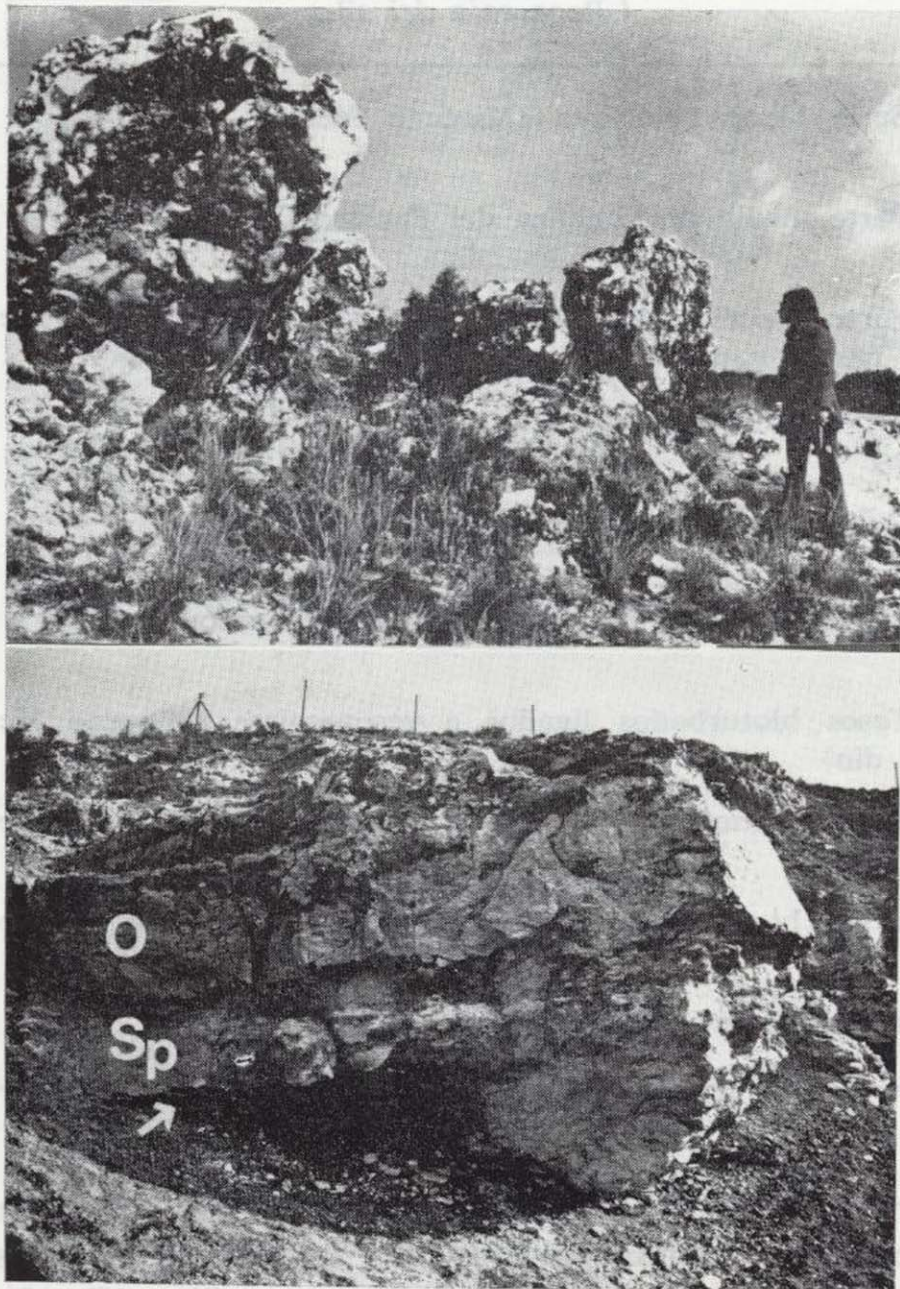


Figura 3.—Perfil de B̄arajas. El nivel de silcreta (o) descansa sobre sepiolita (Sp). En la base (flecha) tiene lugar el tránsito de las arcillas verdes a la sepiolita.

tica-silíceas, aunque la sílice tiende a acumularse en la parte superior, siendo la base exclusivamente carbonática. La estructura de la silcreta es globular.

En Esquivias, punto 6, la roca caja de carácter calco-arcilloso está afectada por una silicificación muy intensa, situándose por debajo de un nivel de calcreta. La silicificación, en ocasiones, es tan intensa que se producen masas de sílice de estructura homogénea y color muy oscuro que destacan claramente de la roca caja. La morfología de la silicificación es muy irregular pero se observan dos planos preferentes: uno horizontal y concordante con la estratificación y otro vertical (figura 5). En el borde de la masa silícea se ad-

vierte en determinados casos un tránsito gradual hacia la roca caja, dando unas facies de colores intermedios entre el marrón oscuro de la silicificación y el beige claro de la roca caja. Hacia el techo la silicificación se hace menos intensa.

En Brea de Tajo se realizaron muestreos en tres puntos diferentes (7, 8, 9), aunque todos ellos presentan en común que la roca caja es un yeso compacto intensamente bioturbado, ya que existen numerosos burrows, semejantes a los descritos por DÍAZ-MOLINA y BUSTILLO (1985) en el Mioceno de la Cuenca de Loranca. Estos episodios de intensa bioturbación se intercalan entre otros yesos pulverulentos, en los que localmente es posible advertir ciertas laminaciones y estratificación cruzada poco clara. Algunas de las masas de sílice reproducen fielmente los burrows de la roca caja, y presentan estructura «tubular» (DÍAZ-MOLINA y BUSTILLO, 1985). Sin embargo, otras veces son homogéneas, e incluso en ocasiones se advierte una envuelta opalina con anillos Liesegang. Pueden presentar volúmenes desde 2 m³ a pequeños nódulos de pocos cm³.

En Perales de Tajuña, punto 11, las silicificaciones son menos importantes, y se encuentran en forma de nódulos (hasta 1 dm³ de volumen) aplanados según la estratificación y que se van sucediendo en los diferentes estratos. Estos estratos son unas veces de calizas con moldes de cristales de yesos, y otras de yesos compactos. Los sílex tienen gran variedad de colores (gris, negro, blanco), y pueden manifestar canales de bioturbación.

**MINERALOGIA Y PETROLOGIA:
DESCRIPCION Y DISCUSIONES
SOBRE LOS AMBIENTES DE FORMACION**

a) Brihuega - Muduex - Gajanejos

Las rocas encajantes correspondientes a Brihuega, Muduex y Gajanejos presentan las mismas microfacies, por lo que son tratadas en conjunto.

Son microsparitas con pseudomorfo calcáreo de cristales lenticulares de yeso. Están formadas exclusivamente por calcita, no existiendo restos de yeso. En ocasiones presentan indicios de cuarzo.

Los sílex que se producen en estas facies están constituidos fundamentalmente por cuarzo. Sin embargo, las aureolas blanquecinas que aparecen



Figura 4.—Detalle de la silcreta anterior. La parte inferior es masiva con grietas subhorizontales y el techo presenta formas botroidales irregulares (¿morfologías de ascensión por capilaridad?).



Figura 5.—Esquivias. Silicificaciones situadas por debajo de un nivel de calcreta. Se advierten dos planos preferentes de silicificación uno horizontal concordante con la estratificación y otro vertical.

en el exterior, están formadas mayormente por ópalo C-T. Este sílex de cuarzo se ha producido por envejecimiento, ya que además de la presencia de aureolas opalinas, en las texturas del cuarzo se puede advertir numerosas microesferas que son huellas de la fase opalina precursora.

Las texturas de cuarzo son: mosaicos de cristales de cuarzo meso, micro y criptocristalino, calcedonita, quartzina y lutecita. Estas dos últimas aparecen muy minoritariamente, lo que indica que cuando se produce la silicificación, en la mayoría de los casos el proceso previo de calcitización de los cristales lenticulares de yeso ha terminado y las aguas intersticiales no eran ricas en sulfatos.

Es interesante resaltar que frecuentemente las rocas silíceas presentan pequeñas cantidades de filosilicatos, los cuales no son detectados en la roca caja. Ello podría indicar que durante la silicificación se produce también una neoformación de minerales de la arcilla.

No existen pruebas petrográficas (cementaciones estalactíticas, texturas globulares, etc.) que indiquen que estas rocas silíceas se hayan formado en ambiente vadoso, por lo que podría tratarse de silicificaciones freáticas.

b) Barajas

La roca caja es una sepiolita que presenta proporciones variables de ópalo C-T y cuarzo, y en ocasiones indicios de illita (ver tabla 2). En esta roca caja el cuarzo se encuentra cementando huecos en forma de calcedonita y mega, meso y microcuarzo, principalmente aunque puede aparecer quartzina. La mayor parte del ópalo se encuentra íntimamente mezclado con la sepiolita, formando una trama en la que la sepiolita puede individualizarse como un «intraclasto».

La roca silícea está constituida fundamentalmente por ópalo C-T, el cual presenta textura gelatinosa, intraclástica o globular (BUSTILLO, 1976). El cuarzo se encuentra cementando huecos con las mismas texturas comentadas anteriormente o se forma como consecuencia del proceso de envejecimiento que sólo tiene lugar en determinadas zonas de la roca silícea, quedando patente en varios casos la textura globular inicial del ópalo (figura 6).

La textura globular ha sido interpretada como

TABLA 2
Composición mineralógica y resultados geoquímicos de las rocas silíceas (SR) y rocas caja (HR)

Brihuega, Muduey y Gajanejos															
Mineralogía (%) (Semicuantitativo, DRX)					Composición química (p.p.m.)										
Fd	Q	Op	Ca	Do	Ph	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
In	15	—	35	10	40	143	145	5	444	23	22	34	10	5	88
—	5	—	85	In	BH-1*	38	49	In	274	5	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	BH-2*	11	19	In	268	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	BH-5 (H.R.)	13	12	In	252	In	In	In	In	In	In
In	10	—	In	—	BH-6 (H.R.)	233	260	28	1,296	42	56	90	17	21	515
—	In	—	100	—	BH-7*	9	5	In	741	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	BH-8 (H.R.)	7	9	In	261	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	BH-10 (H.R.)	12	119	In	430	In	In	In	In	In	In
—	65	25	10	—	BH-11 (H.R.)	88	79	34	103	21	59	18	7	16	137
—	35	60	In	—	BH-3 (S.R.)	108	70	36	198	26	70	24	9	17	201
—	95	—	—	—	BH-3 (O.R.)	111	119	44	71	27	75	24	9	20	220
—	55	30	15	—	BH-4 (S.R.)	87	79	24	325	21	55	14	7	12	135
—	85	—	—	—	BH-9 (S.R.)	106	100	42	71	26	75	22	8	20	218
—	85	—	—	—	BH-12 (S.R.)	116	100	51	76	28	77	24	9	22	245
—	85	—	15	—	BH-13 (S.R.)	95	23	31	126	23	57	15	7	12	162
—	60	—	40	—	MD-1 (S.R.)	67	16	In	72	15	40	6	In	6	65
—	—	—	100	—	MD-2 (S.R.)	5	9	In	253	In	In	In	In	In	In
—	In	—	100	—	G-1 (H.R.)	9	9	In	136	In	In	In	In	In	In
—	100	—	In	—	G-2 (H.R.)	76	32	18	74	18	47	9	5	9	104
—	75	—	20	—	G-2 (S.R.)	89	50	25	106	22	60	13	6	10	156
—	—	—	—	5	G-3 (S.R.)										

Brea de Tajo y Perales de Tajuña

Q	Op	Gy	Ph	Ca	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
100	—	—	—	—	95	100	33	97	22	63	19	9	17	176
95	—	In	—	—	84	68	28	396	22	63	18	8	16	149
95	—	In	—	—	91	75	28	487	23	65	20	8	14	163
100	—	—	—	—	81	194	33	132	17	54	20	9	15	93
5	95	—	—	—	76	33	20	1,102	18	49	17	8	11	82
100	—	In	—	—	26	111	25	1,259	In	38	In	8	14	In
95	—	In	—	—	84	82	29	315	19	57	16	8	11	131
—	—	100	—	—	21	In	In	2,040	In	5	In	In	In	In
In	—	100	—	—	21	In	In	2,555	45	7	In	In	In	In
—	—	100	—	—	25	In	In	1,459	In	7	In	In	In	In
—	—	100	—	—	21	In	In	2,137	In	13	In	In	In	In
In	—	100	—	—	25	In	In	1,942	In	In	In	In	In	In
—	—	100	—	—	22	In	In	1,862	In	7	In	In	In	In
—	In	20	—	80	5	In	In	324	In	In	In	In	In	In
100	—	—	—	—	87	140	33	56	22	62	22	9	18	166
90	—	—	10	—	34	158	30	89	19					
—	—	—	—	—										

Barajas

Mineralogía (%) (Semicuantitativo, DRX)										Composición química (p.p.m.)				
Q	Op	Sp	Sm	I	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
5	—	55	35	5	231	111	52	137	39	68	105	11	24	247
10	25	65	—	—	133	36	55	78	29	77	37	10	22	246
5	—	90	—	5	185	111	48	70	31	62	71	11	18	175
10	—	80	In	10	219	95	48	102	36	59	65	11	16	239
In	In	95	—	In	126	43	48	83	29	76	49	11	21	231
5	—	95	—	In	146	59	53	83	32	77	48	11	24	281
—	30	70	—	—	106	72	87	63	28	188	272	11	35	330
5	45	40	—	—	118	33	59	90	28	75	32	9	21	257
10	75	15	—	—	121	21	81	81	29	77	26	8	18	237
90	In	10	—	—	121	45	65	68	27	78	26	8	20	225
25	60	15	—	—	123	46	49	76	28	77	31	9	22	221
15	70	25	—	In	163	58	43	90	35	74	62	11	24	266
80	20	—	—	—	93	115	61	50	22	64	22	8	18	167
10	75	15	—	—	154	76	47	100	28	71	49	9	19	223
5	95	In	—	—	118	36	41	80	25	72	34	9	18	200
—	—	—	—	—										

Parla

Composición química (p.p.m.)															
Q	Op	Do	Ca	Fd	Ph	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
20	—	70	5	5	In	90	53	In	237	15	27	19	In	In	51
20	80	—	—	—	—	100	75	29	55	21	64	22	9	16	157
15	70	10	5	—	—	80	52	17	52	18	48	15	6	8	103
—	—	—	—	—	—										

Esquivias

Q	Op	Ca	PI	Rb	Ba	Pb	Sr	Y	Th	Zn	Ni	Ga	Zr
In	—	95	5	30	13	In	121	7	9	In	In	In	In
—	—	95	5	8	56	In	210	In	In	In	In	In	In
15	60	In	25	99	41	27	79	23	59	24	9	16	152
In	45	—	55	112	91	30	53	24	60	39	9	19	143
In	50	—	50	129	51	33	71	27	66	38	9	20	135
10	50	In	40	95	54	19	79	21	56	24	8	12	134
—	—	—	—										

OR=Aureola opalina.
T =Muestra de tránsito entre roca caja y roca silícea.
* =Ver su situación en los perfiles, fig. 1.
** =Intraclasto de «arcillas verdes» incluido en sepiolita.
In<5 (p.p.m. o % en la mineralogía).

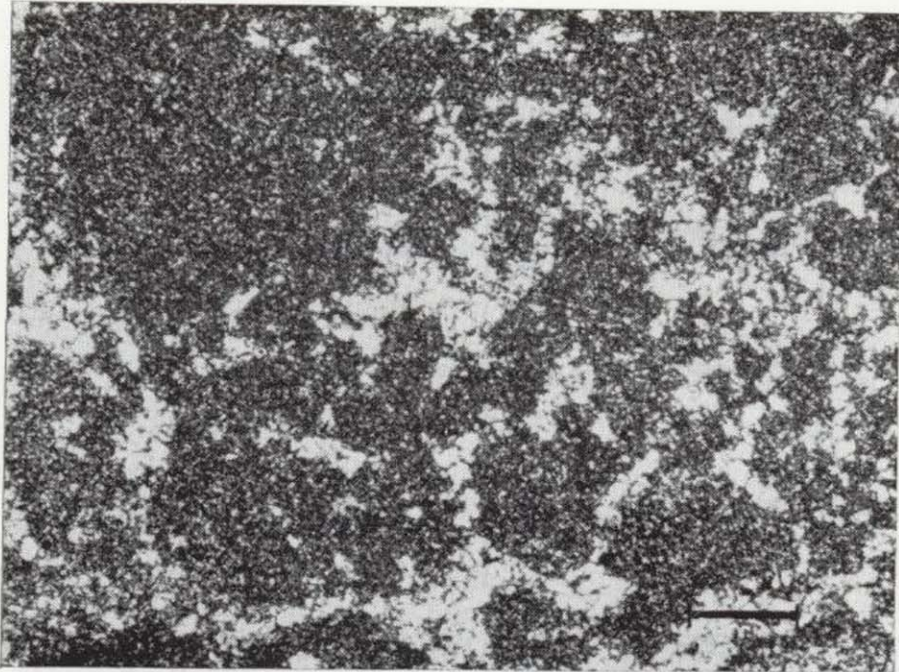


Figura 6.—Sílex de cuarzo reflejando la estructura globular del ópalo precursor. NX. La escala equivale a 250 μ .

consecuencia del ambiente vadoso (BUSTILLO, 1976) y es comparable a la fábrica globular definida por otros autores en silcretas (SUMMERFIELD, 1983a y b).

Esta fábrica, unido a otros hechos como los huecos planares cementados totalmente por texturas de cuarzo muy diferentes, nos permite definir a estas rocas como silcretas. Podría interpretarse que se han formado por un proceso de silicificación de la sepiolita. No existen datos de cómo tiene lugar este proceso de reemplazamiento, aunque ha sido mencionado por algunos autores (HAY y WIGGINS, 1980). Más recientemente ROULIN (1985) describe diferentes pasos en el proceso de opalización de esmectitas. Según este autor hay un reemplazamiento isovolumétrico de los minerales de arcilla, que implica un proceso de difusión iónica.

c) Parla

La roca caja es una dolocreta formada por dolomicrosparita con un 70 por 100 de fragmentos de cuarzo, feldespato y micas. Ciertos huecos aparecen cementados por cristales de calcita que son de génesis muy posterior.

La roca silícea está constituida por ópalo C-T de textura globular, apareciendo cuarzo en las cementaciones (calcedonita, megacuarzo y microcuarzo) y como consecuencia de los procesos de envejecimiento (microcuarzo). Los fragmentos terrígenos son escasos (<5 por 100).

Entre ambos materiales hay un tránsito gradual donde la dolomita de grano fino es «matriz» de glóbulos aislados de ópalo u ópalo-dolomítico (figura 7).

Dado que la proporción de terrígenos es mucho más pequeña en la parte silícea que en la parte carbonática hay que pensar que la parte silícea se forma posteriormente por un proceso de silicificación de la dolocreta. Una vez que el proceso inicial de carbonatación del material terrígeno comienza, queda sílice libre que evidentemente propicia la formación de una silcreta. Por lo tanto dolocreta-silcreta pueden ser rocas originadas por procesos relacionados.

d) Esquivias

La roca caja es una «intramicrosparita» ya que se diferencian «clastos» micríticos en una «matriz»

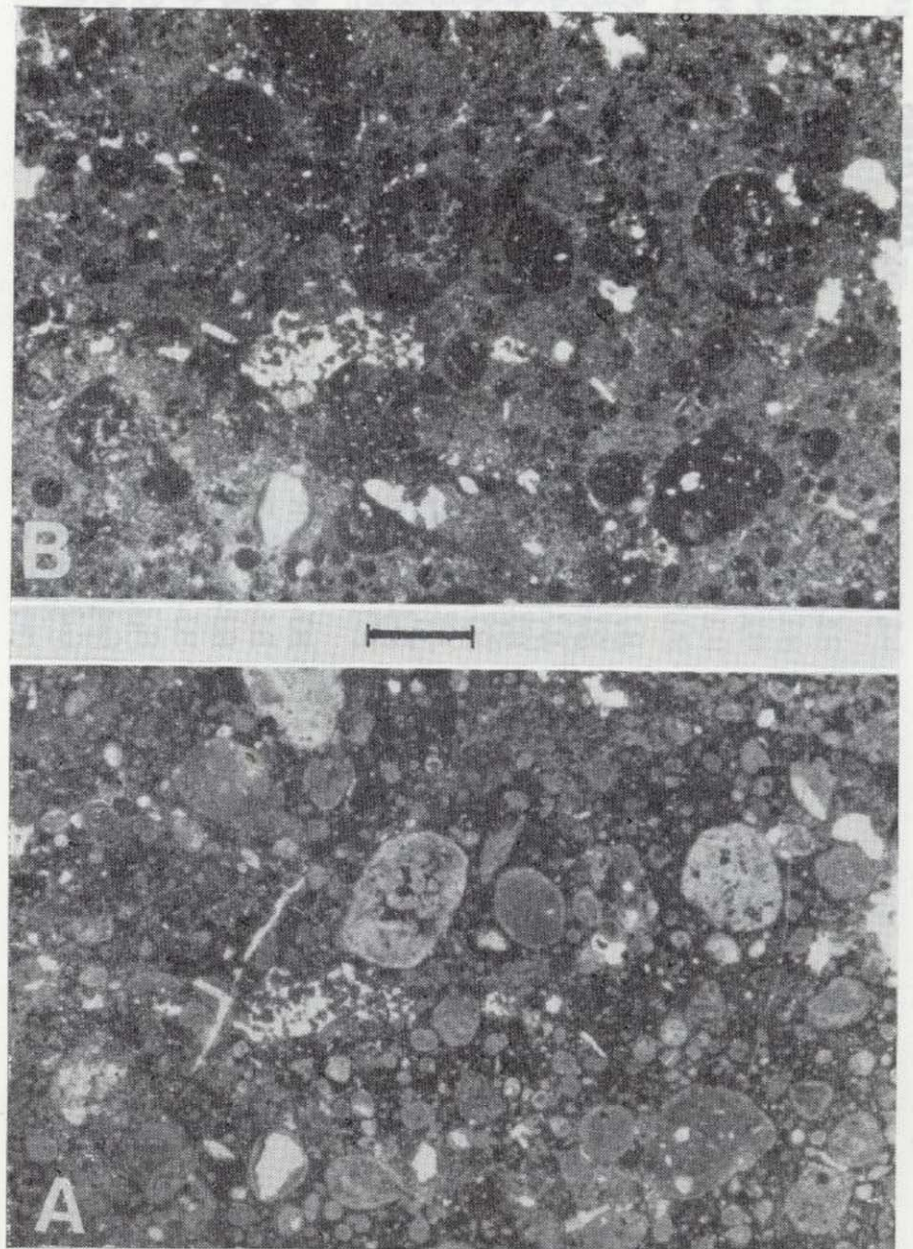


Figura 7.—Opalo globular con «matriz» dolomítica. A) N; B) NX. La escala equivale a 800 μ .

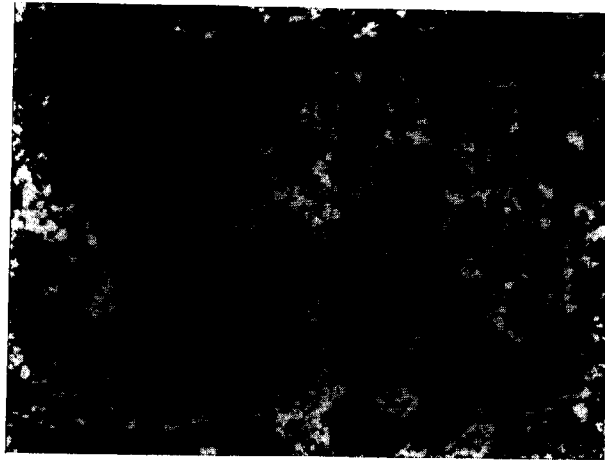


Figura 6.—Sílex de cuarzo reflejando la estructura globular del ópalo precursor. NX. La escala equivale a 250 μ .

consecuencia del ambiente vadoso (BUSTILLO, 1976) y es comparable a la fábrica globular definida por otros autores en silcretas (SUMMERFIELD, 1983a y b).

Esta fábrica, unido a otros hechos como los huecos planares cementados totalmente por texturas de cuarzo muy diferentes, nos permite definir a estas rocas como silcretas. Podría interpretarse que se han formado por un proceso de silicificación de la sepiolita. No existen datos de cómo tiene lugar este proceso de reemplazamiento, aunque ha sido mencionado por algunos autores (HAY y WIGGINS, 1980). Más recientemente ROULIN (1985) describe diferentes pasos en el proceso de opalización de esmectitas. Según este autor hay un reemplazamiento isovolumétrico de los minerales de arcilla, que implica un proceso de difusión iónica.

c) Parla

La roca caja es una dolocreta formada por dolomicrosparita con un 70 por 100 de fragmentos de cuarzo, feldespato y micas. Ciertos huecos aparecen cementados por cristales de calcita que son de génesis muy posterior.

La roca silícea está constituida por ópalo C-T de textura globular, apareciendo cuarzo en las cementaciones (calcedonita, megacuarzo y microcuarzo) y como consecuencia de los procesos de envejecimiento (microcuarzo). Los fragmentos terrígenos son escasos (<5 por 100).

Entre ambos materiales hay un tránsito gradual donde la dolomita de grano fino es «matriz» de glóbulos aislados de ópalo u ópalo-dolomítico (figura 7).

Dado que la proporción de terrígenos es mucho más pequeña en la parte silícea que en la parte carbonática hay que pensar que la parte silícea se forma posteriormente por un proceso de silicificación de la dolocreta. Una vez que el proceso inicial de carbonatación del material terrígeno comienza, queda sílice libre que evidentemente propicia la formación de una silcreta. Por lo tanto dolocreta-silcreta pueden ser rocas originadas por procesos relacionados.

d) Esquivias

La roca caja es una «intramicrosparita» ya que se diferencian «clastos» micríticos en una «matriz»

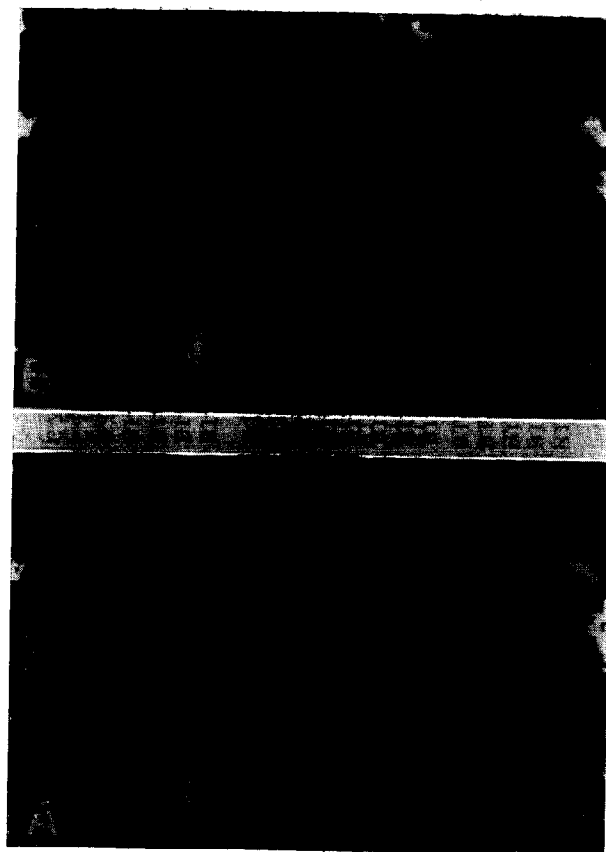


Figura 7.—Ópalo globular con «matriz» dolomítica. A) N; B) NX. La escala equivale a 800 μ .

de microsparita. Su origen y ambiente de formación es problemático pero posiblemente se trate de un sedimento carbonático poco profundo transformado por subaerismo. Esto último concuerda con el hecho de que directamente encima aparece un nivel de calceta. En difracción de rayos X, además de calcita, se detectan pequeñas cantidades de paligorskita. Petrográficamente se observa la presencia de terrígenos de cuarzo y la existencia de glóbulos de un tamaño máximo de 0,5 mm. de naturaleza arcillo-silícea y algún cemento de lussatita.

La masa silícea está constituida por ópalo C-T y paligorskita. Ambas fases están íntimamente mezcladas y no son diferenciables petrográficamente. Cuando la textura es intraclástica o globular, por la birrefringencia podría decirse que los intraclastos o glóbulos están constituidos por ópalo C-T y paligorskita y «la matriz» que los une, sólo por ópalo C-T.

Existen cementaciones de lussatita y cuarzo (calcedonita, fundamentalmente), pero son escasas. No se observa cuarzo de envejecimiento a excepción de una pequeña cantidad que se produce a partir de la lussatita.

La textura globular de la masa opalina y su asociación con calcetas, hacen pensar que la silicificación se produce en ambiente vadoso. Por otra parte la gran proporción de paligorskita que coexiste con el ópalo (ver tabla 2) plantea la posibilidad de que ambos minerales sean contemporáneos.

VON RAD et al. (1977) hablan de la precipitación contemporánea de ópalo C-T y paligorskita/sepiolita a partir de soluciones alcalinas sobresaturadas en sílice, magnesio y aluminio.

e) Brea de Tajo y Perales de Tajuña

En general la roca caja es de carácter yesífero y está formada fundamentalmente por pequeños cristales lenticulares (1 mm., tamaño máximo) de yeso.

La excepción la constituye los niveles calcáreos de Perales de Tajuña que están formados por mosaicos de cristales de calcita (de 30 a 100 μ) con una pequeña proporción de cristales de yeso.

Cuando los yesos están bioturbados los cristales de yeso se disponen dentro de los canales de

bioturbación en láminas curvadas produciendo la laminación en menisco.

El sílex está constituido por cuarzo, aunque los difractogramas indican la presencia de pequeñas cantidades de filosilicatos. Estos, a su vez, no suelen ser detectados en las rocas caja, por lo que pensamos que se producen relacionados con la silicificación. El cuarzo presenta una gran variedad de texturas: quartzina, mosaicos de cuarzo, cripto, micro y mesocristalino, lutecita y en ocasiones calcedonita. La alta frecuencia con que aparecen las formas fibrosas de elongación positiva está de acuerdo con el ambiente sulfatado de la sustitución.

En la aureola exterior blanquecina aparece ópalo C-T con textura gelatinosa que refleja pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso. Debido a la gran anchura del pico atribuible al ópalo C-T, no es posible detectar claramente la presencia de filosilicatos en esta aureola.

La existencia de materia orgánica dentro de los sílex indica que éstos se producen en etapas muy tempranas. Es factible entonces que estas silicificaciones se produzcan en ambiente vadoso o a techo de la capa freática, ya que es posible que las estructuras de bioturbación de la roca caja se hayan formado en ambiente subaéreo.

GEOQUIMICA

Para el estudio geoquímico de elementos traza en los diferentes materiales muestreados, se calcularon los contenidos en Rb, Ba, Pb, Sr, Y, Th, Ni, Ga y Zr, por Fluorescencia de Rayos X, utilizando patrones standard y correcciones de matriz según FLETCHER (1981). En la tabla 2 se han reunido los resultados obtenidos en las diferentes secciones estudiadas. En muestras de rocas silíceas seleccionadas se realizaron también análisis de mayores por vía húmeda (tabla 3).

Los materiales analizados pueden agruparse, según su naturaleza, en cuatro poblaciones diferentes: tres que constituyen la roca encajante del sílex (yesos, rocas carbonáticas y arcillas) y una correspondiente a la roca silícea propiamente dicha. Estas poblaciones, de presencia variable en función de las columnas muestreadas, poseen unos contenidos medios (ppm.) en los elementos estudiados que quedan reflejados en la tabla 4.

TABLA 3
Análisis total de algunas rocas silíceas seleccionadas

TABLA 3.A
Sílex de cuarzo

	BT-1-1	BT-1-2	BT-1-3	BT-1-4	BT-2-1	BT-3-1	PT-1	PT-2	PT-2	B-1 R.C.
SiO ₂	95,77	95,00	95,30	95,60	96,26	95,42	96,59	97,07	96,03	64,47
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	0,34	0,55
Fe ₂ O ₃	—	—	—	—	0,03	0,05	0,06	—	0,09	0,17
FeO	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MnO	0,01	—	—	—	—	—	—	—	—	—
MgO	0,22	0,25	0,01	0,03	0,06	0,01	0,06	0,04	0,76	18,29
CaO	0,59	0,97	1,04	0,95	1,14	1,76	0,28	0,20	0,19	0,17
Na ₂ O	0,09	0,05	0,09	0,09	0,04	0,06	0,03	0,16	0,03	0,05
K ₂ O	—	—	—	—	—	0,05	0,01	0,03	0,07	0,07
TiO ₂	0,51	0,46	0,38	0,51	—	—	—	—	—	—
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,01	—	—	—	—	—	0,02
*	2,45	3,05	2,89	2,19	1,96	2,19	2,54	2,40	2,49	16,03
TOTAL	99,65	99,79	99,72	99,38	99,49	99,54	99,57	99,94	100,02	99,82

TABLA 3.B
Opalos

	BT-14	P-2-2	ES-1	ES-2
SiO ₂	92,70	92,16	81,92	77,92
Al ₂ O ₃	—	1,34	1,73	3,44
Fe ₂ O ₃	—	0,33	0,68	1,24
FeO	—	—	—	—
MnO	—	—	0,01	0,01
MgO	0,15	1,02	2,51	5,55
CaO	1,36	0,26	3,24	0,20
Na ₂ O	0,09	0,03	0,05	0,04
K ₂ O	—	0,25	0,17	0,32
TiO ₂	0,40	0,05	0,13	0,09
P ₂ O ₅	0,01	0,04	0,04	0,03
*	5,31	4,42	9,34	10,68
TOTAL	100,02	99,90	99,82	99,52

El estudio global pone de manifiesto la existencia de dos grandes grupos de rocas encajantes desde un punto de vista geoquímico: un grupo constituido por los yesos y las rocas carbonáticas y otro formado por las arcillas. El primero se caracteriza por los contenidos significativos en rubidio y estroncio, para los yesos, y rubidio, bario y estroncio para los carbonatos, mientras que el resto de elementos analizados se encuentran en can-

tidades inferiores a los 5 ppm., límite de detección considerado. Estos resultados permiten incluir los materiales citados anteriormente dentro del rango común de variación para los elementos analizados por otros autores. DEAN (1978) presenta valores de estroncio entre 100 y 1.500 ppm. para diferentes sedimentos evaporíticos (yesos y anhidritas) y BUTLER (1973) amplía este rango hasta los 2.500 ppm., afirmando que contenidos superiores pueden ser debidos a pequeñas inclusiones de celestina. Por su parte, VEIZER (1983) considera frecuentes los relativamente altos contenidos en estroncio para los carbonatos, aunque el rango de variación puede ser muy amplio (KINSMAN, 1969). En cualquier caso, la ausencia de datos en relación a calizas continentales limita la interpretación de los resultados. Por último, la ausencia de otros elementos, especialmente metales pesados, es frecuente en este tipo de materiales.

El otro tipo de rocas encajantes caracterizable por sus contenidos en elementos traza son las arcillas. Estas presentan, en comparación con los yesos y carbonatos, menores contenidos en estroncio, rasgo éste común si observamos los contenidos presentados por VINE y TOURTELOT (1970), y valores notablemente mayores en el resto de los elementos analizados (tabla 4). Aunque los contenidos en elementos traza en las arcillas pueden ser muy variables, en función de su composición

TABLA 4
Valores de la media, desviación standard y rango de variación para los diferentes grupos de rocas analizables

	Rb			Ba			Pb			Sr			Y			Th			Zn			Ni			Ga			Zr							
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C								
Carbonatos	22,7 (24,6)	5-90	—	32,6 (32,3)	5-119	—	5 (—)	nd-8	—	277,4 (157,6)	104-741	—	5 (—)	nd-15	—	67,2 (21,6)	39-108	—	85,5 (69,2)	32-271	—	11,4 (2,0)	7-17	—	20,7 (7,5)	5-35	—	261,3 (110,0)	88-515	—	164,0 (43,7)	65-225	—	171,8 (58,9)	43-266
Yesos	22,5	1,8	21-25	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd	—	1.999,0 (327,5)	1.459-2.555	—	5 (—)	nd	—	6,8 (3,3)	nd-13	—	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd	—	5 (—)	nd
Arcillas	169,4 (45,9)	106-233	—	103,5 (64,6)	36-1.984	—	47,1 (20,7)	nd-161	—	88,0 (23,0)	63-1.296	—	32,1 (5,6)	17-42	—	63,3 (1,90)	40-78	—	19,0 (4,4)	6-26	—	8,1 (1,0)	nd-9	—	16,2 (3,6)	9-20	—	164,0 (43,7)	65-225	—	171,8 (58,9)	43-266			
Cuarzo	86,1 (25,5)	67-121	—	103,9 (42,5)	16-194	—	36,3 (13,2)	nd-65	—	164,8 (142,7)	50-487	—	21,0 (6,0)	15-28	—	65,4 (9,1)	48-77	—	31,5 (12,0)	15-62	—	8,9 (1,2)	6-11	—	16,7 (4,2)	8-24	—	164,0 (43,7)	65-225	—	171,8 (58,9)	43-266			
Roca silícea	111,5 (23,5)	76-163	—	51,3 (19,1)	21-91	—	35,9 (15,2)	17-81	—	82,8 (34,5)	52-1.102	—	24,1 (3,3)	18-35	—	65,4 (9,1)	48-77	—	31,5 (12,0)	15-62	—	8,9 (1,2)	6-11	—	16,7 (4,2)	8-24	—	164,0 (43,7)	65-225	—	171,8 (58,9)	43-266			
Opalo	111,5 (23,5)	76-163	—	51,3 (19,1)	21-91	—	35,9 (15,2)	17-81	—	82,8 (34,5)	52-1.102	—	24,1 (3,3)	18-35	—	65,4 (9,1)	48-77	—	31,5 (12,0)	15-62	—	8,9 (1,2)	6-11	—	16,7 (4,2)	8-24	—	164,0 (43,7)	65-225	—	171,8 (58,9)	43-266			

A = Media.
B = Desviación standard.
C = Rango de variación.

mineralógica, ámbito de formación, etc., los resultados obtenidos en el presente estudio entran dentro del rango de variación para este tipo de materiales (MOSSER, 1980).

Esta mayor riqueza queda reflejada, a su vez, en las rocas silíceas, de tal forma que los sílex con roca encajante arcillosa poseen mayores contenidos en elementos traza (excepto en estroncio) que los sílex incluidos en calizas o yesos (tabla 5). Es decir, en la geoquímica de las rocas silíceas estudiadas existe un factor determinante en su composición que podríamos denominar factor «roca encajante». Esto puede ser debido a la existencia, en la muestra silícea a analizar, de pequeñas cantidades de roca caja no detectadas por Difracción de Rayos X. También podría ser debido a una cierta influencia de los elementos traza de las arcillas en el proceso de silicificación, tal y como exponen HEIN y MORGENSON (1983). En este sentido, el proceso de calcitización de yesos también denota la influencia de la roca precursora. Así, los contenidos en estroncio de las rocas encajantes del perfil de Brihuega son mayores en aquellas muestras que presentan pseudomorfos de cristales lenticulares de yeso calcitizado.

Las rocas silíceas, formadas por ópalos C-T o cuarzo, presentan una riqueza en elementos traza que podríamos calificar como intermedia entre las calizas o yesos y las arcillas. Su estudio comparativo, a nivel bibliográfico, resulta difícil de establecer dada la inexistencia de trabajos relacionados con la geoquímica de elementos traza en sílex nodulares de ámbito continental, siendo relativamente frecuentes, por el contrario, los trabajos de rocas silíceas estratificadas («bedded cherts») (SUGISAKI et al., 1982; BELLANCA et al., 1982; HEIN et al., 1983; MATSUMOTO e IJIMA, 1983; BARRET, 1981; ADACHI et al., 1986).

No obstante, los resultados obtenidos permiten establecer una serie de conclusiones de cierto interés. Los sílex, al margen de su composición mineralógica, poseen contenidos apreciables en ciertos elementos traza (Pb, Y, Zn, Ni, Ga y Zr) que no están presentes en sus rocas encajantes (tablas 2 y 4) cuando éstas son de composición carbonatada o yesífera. No existe, por lo tanto, una correlación entre ambos contenidos, de forma que la composición en ciertos elementos traza de algunas rocas silíceas es independiente de la composición de sus rocas encajantes, de forma similar a como hace constar MAXWELL (1963).

TABLA 5
Contenidos en algunos elementos traza de los sílex en función de sus rocas encajantes

Columna	Roca encajante	N.º de muestras	Rb		Ba		Pb		Sr		Zr	
			A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Brea del Tajo	Yesos	7	76.71	(21.5)	94.71	(46.7)	28	(4.2)	541.1	(425.9)	132	(34.6)
Esquivias	Carbonatos	4	108.7	(13.2)	59.2	(18.9)	27.2	(5.2)	70.5	(10.6)	116	(42.7)
Barajas	Arcillas	4	132	(17.9)	42.5	(13.4)	59.5	(14.7)	78.7	(8.0)	237.2	(17.6)
Brihuega	Carbonatos	6	102.6	(11.1)	91.1	(16.7)	38.5	(8.5)	140.6	(93.6)	176.1	(47.2)

A = Media (ppm.).

B = Desviación standard (ppm.).

En las rocas silíceas, y como complemento al estudio de elementos traza, se han llevado a cabo, en algunas muestras seleccionadas, los análisis de su composición total. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 3. Los contenidos en sílice varían entre el 78 y el 97 por 100, constatándose una relación entre la mineralogía (ópalo C-T o cuarzo) y el incremento en el contenido en sílice, tal como hacen constar HEIN y MORGENSON (1983). El Al_2O_3 en general no supera el 0,5 por 100. La existencia de mayores contenidos en algunas muestras (ES-1 y ES-2 de Esquivias y P-2-2 de Parla) puede ser explicada por la presencia de cantidades importantes de paligorskita, que en ocasiones lleva cierto contenido en Al_2O_3 (WEAVER y POLLAR, 1973).

Cuando se compara la relación Al_2O_3/MgO de las rocas opalinas y de sus rocas encajantes arcillosas se advierte que esta relación no es constante (tabla 3, comparar B-1 y B-1 RC). Este hecho no debería suceder cuando se produce un proceso de silicificación simple por lo que habría que obtener un mayor número de datos sobre esta problemática.

Dentro de la composición de mayores, las relaciones entre Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO y MnO , utilizadas por diversos autores (BOSTROM et al., 1973; STEINBERG y MPODOSIZ-MARIN, 1978; BALTUCK, 1982; HEIN et al., 1983) para extraer características paleogeográficas, no pueden ser aplicadas en nuestro caso, por ser un ambiente de formación diferente. Además, según BALTUCK (1982), el proceso de silicificación que origina los «nodular chert» borra las características geoquímicas propias del ambiente de sedimentación.

Un aspecto a considerar en relación al estudio de elementos traza, es su evolución durante el proceso de envejecimiento, es decir, en la conversión ópalo-cuarzo (HEIN et al., 1981; TRUSCOTT y SHAW, 1984; BRUECKNER y SNYDER, 1985). En este sentido, parece observarse, en aquellas muestras que presentaban un núcleo de cuarzo y una aureola externa de ópalo (tabla 2, muestras BT-1-4 y BH-3), un cierto enriquecimiento en elementos traza en la fase de ópalo C-T, lo que concuerda con la estructura del ópalo C-T, que permite incorporar mayor cantidad de elementos traza. Posteriormente, el proceso de envejecimiento llevaría consigo una liberación parcial de dichos elementos, dando lugar a una fase de cuarzo con contenidos globalmente menores. Esta evolución no es aplicable al

estroncio (muestra BT-1-4) ya que la presencia de pequeñas cantidades de roca encajante de carácter yesífero distorsionan los contenidos en estroncio en el ópalo C-T y, por tanto, controlan su presencia. Efectos similares han sido puestos de manifiesto por BRUECKNER y SNYDER (1985). En nuestro caso, el bajo número de muestras que presentaban conjuntamente ópalo C-T y cuarzo, hace que las tendencias no puedan ser afirmadas con total seguridad, siendo necesario un muestreo ulterior que permita contrastar los resultados obtenidos.

Por último, se ha observado, en aquellas muestras que poseían una mezcla de diferentes minerales, una importante correlación entre la composición mineralógica y el contenido en determinados elementos traza (tabla 2). Así este contenido puede, en ocasiones, ser expresado de forma polinómica en función del aporte relativo de cada fase mineralógica, basándose en los datos semicuantitativos obtenidos por Difracción de Rayos X. Este comportamiento permite corroborar, tal como se ha comentado anteriormente, que cada mineral presenta unos márgenes de variación determinados para cada elemento traza (tabla 4).

Análisis factorial de los resultados geoquímicos

Para el tratamiento de los datos obtenidos, se han llevado a cabo dos análisis factoriales. El primero de ellos considera como variables los elementos traza de las rocas silíceas, mientras que en el segundo las variables están constituidas por los resultados geoquímicos (mayores y trazas) y mineralógicos (composición porcentual), obtenidos en rocas silíceas y rocas encajantes seleccionadas.

En el primer análisis factorial cabe destacar la obtención de dos factores que explican el 75 por 100 de la varianza total (tabla 6-A), estando estos factores definidos por una combinación de las variables primitivas, combinación ésta que queda reflejada en la tabla 6-B. Si representamos las variables en función de los ejes factoriales I y II (fig. 8a), se observa una dispersión en su distribución, sin que existan pautas determinadas de concentración zonal para las variables consideradas. Por otra parte la inclusión de las muestras en el gráfico anterior (fig. 8b) pone de manifiesto una distribución que viene condicionada tanto por la situación geográfica como por la composición

TABLA 6

A) Varianza explicada por cada uno de los factores obtenidos, así como sus proporciones relativas

Factor	Varianza explicada	Proporción acumulada %
I	5,91	59,13
II	1,59	75,01
III	0,86	83,61
IV	0,71	90,72
V	0,37	94,51
VI	0,22	96,73
VII	0,15	98,19
VIII	0,11	99,34
IX	0,04	99,75
X	0,02	100,00

B) Influencia de las diferentes variables en la composición de los factores I y II

Variable	Factor I	Factor II
1 (Rb)	0,796	0,058
2 (Ba)	-0,322	0,747
3 (Pb)	0,634	0,465
4 (Sr)	-0,645	0,183
5 (Y)	0,966	0,100
6 (Th)	0,857	0,396
7 (Zn)	0,751	0,338
8 (Ni)	0,374	0,824
9 (Ga)	0,628	0,711
10 (Zr)	0,926	0,210

mineralógica. Así, las muestras procedentes de perfiles geológicos diferentes quedan agrupadas en conjuntos diferentes, y éstos, a su vez, incluyen muestras con rocas encajantes afines.

En el segundo análisis factorial, más completo, las variables consideradas han sido: contenidos en elementos traza (Rb, Ba, Pb, Sr, Y, Th, Zn, Ni, Ga y Zr), contenidos en mayores (SiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, TiO₂, P₂O₅ y Fe total), así como el tanto por ciento existente en cada muestra, de las siguientes fases minerales: cuarzo, ópalo, sepiolita, yeso, filosilicatos, calcita, dolomita y paligorskita, dando un total de 28 variables. De los 28 factores obtenidos, 5 de ellos presentan una relativa importancia, con un 78

por 100 de varianza acumulada explicada por ellos. A su vez, los dos primeros factores, que explican entre ambos un 53 por 100 de la varianza total, quedan definidos básicamente por las variables correspondientes a los contenidos en elementos traza y el contenido en cuarzo y ópalo. La representación de las variables consideradas en función de los ejes factoriales I y II (fig. 9a) pone de manifiesto, al igual que sucedía en el primer análisis factorial, una considerable mezcla entre las diferentes variables, no pudiéndose separar claramente grupos correspondientes a los elementos traza, mayores y fases mineralógicas. Por el contrario, la inclusión de las muestras en dicho gráfico (fig. 9b) da lugar a dos grandes asociaciones, una constituida por las rocas encajantes y otra formada por las rocas silíceas, primando, por ello, en primer término la composición química sobre la posición geográfica. Es interesante hacer constar que la sepiolita, que posee carácter de roca encajante, queda no obstante incluida en el grupo de las rocas silíceas. Para finalizar, dentro del grupo de las rocas silíceas, se observa una notable distribución en función de las columnas, quedando las muestras agrupadas según el perfil geológico al que corresponden.

CONCLUSIONES

- 1) La definición de una roca silícea continental como silcreta se realiza por sus características texto-estructurales, por el tipo de roca caja asociada y por su situación en el perfil geológico. Sin embargo hay que señalar que esta deducción debe ser manejada con precaución. Cuando la génesis de una roca silícea es por silicificación, este proceso reproduce frecuentemente las características texto-estructurales de la roca encajante, no quedando reflejado el propio ambiente de silicificación. Así, por ejemplo, una silicificación en ambiente freático (no relacionada con la ascensión capilar del techo de la capa freática) que afecta a una calcreta a determinados metros de profundidad, produce una falsa silcreta, porque aunque la roca silícea presenta caracteres texto-estructurales típicos de silcreta, su ambiente de génesis no es vadoso. Por otra parte una roca silícea formada en ambiente freático constituida por ópalo C-T si pasa a condiciones subaéreas puede transformarse completamen-

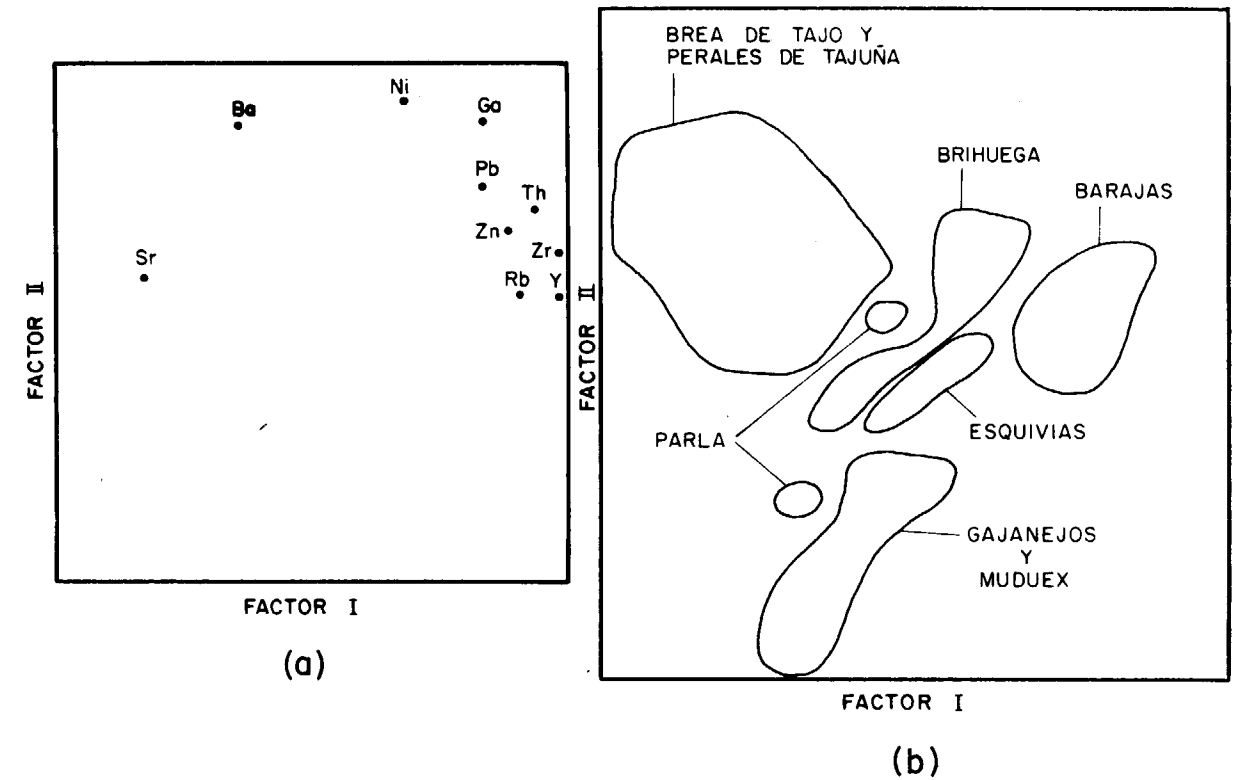


Figura 8.—a) Representación de las variables consideradas en función de los ejes factoriales I, II (primer análisis factorial). b) Agrupaciones de muestras en función de los ejes factoriales I, II (primer análisis factorial).

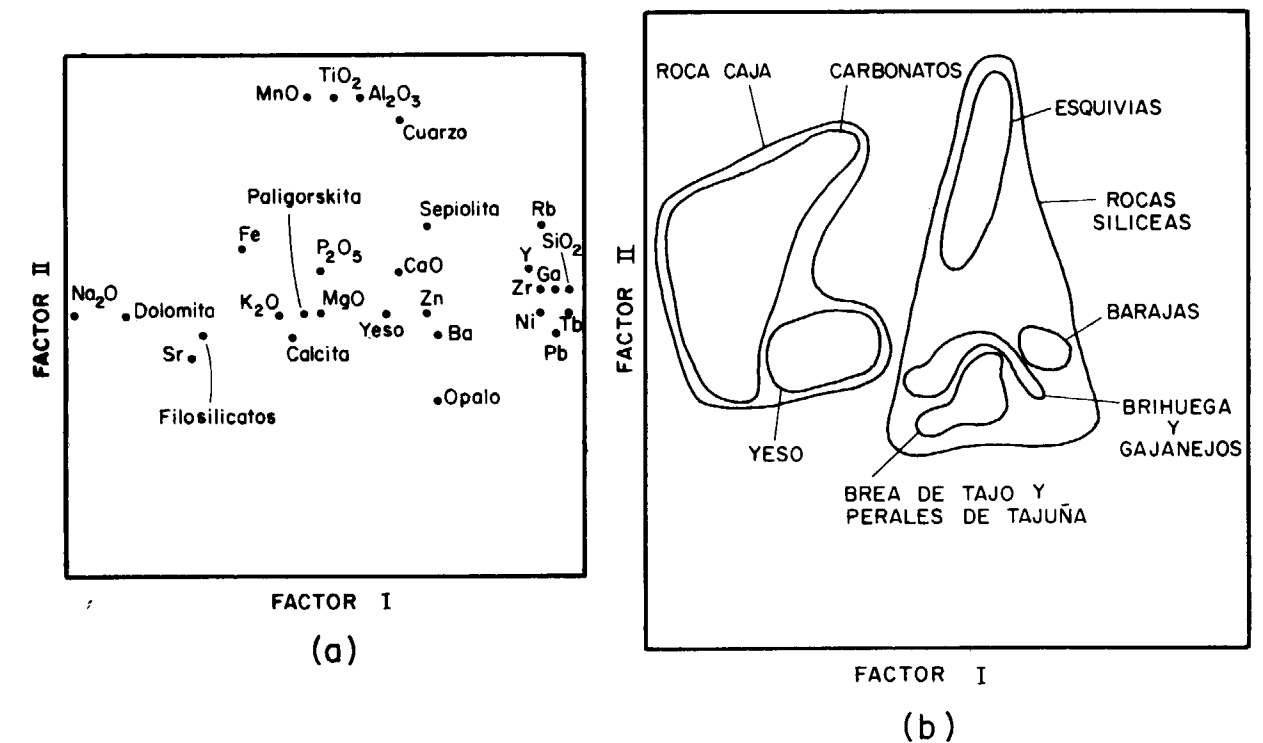


Figura 9.—a) Situación de las diferentes variables (composición química y mineralógica) en función de los ejes factoriales I y II (segundo análisis factorial). b) Grupos de muestras obtenidas considerando como ejes los factores I y II (segundo análisis factorial).

te, debido a la inestabilidad del ópalo C-T, y tomar características texto-estructurales de una silcreta.

- 2) Del punto anterior se deduce la complejidad de determinar la génesis de una roca silícea continental formada por reemplazamiento. Las rocas silíceas de Brihuega, Muduex y Gajanejos no manifiestan datos claros para ser definidas como silcretas pues podrían haberse formado en ambiente freático. En las rocas silíceas de ambiente evaporítico (Brea de Tajo y Perales de Tajuña) la existencia de materia orgánica junto con la presencia de «estructuras tubulares» (que posiblemente se producen en substratos subaéreos) indica que la silicificación se pudo producir en etapas tempranas sobre sedimentos yesíferos que tuvieron exposición subaérea, por lo que es factible que se traten de silcretas.

Las rocas silíceas incluidas en las «facies de transición» de la Cuenca del Tajo (Barajas, Parla y Esquivias) serían silcretas en cuanto a sus características texto-estructurales. Ahora bien, como muchas de estas características existen también en las rocas encajantes, y no hay criterios para determinar cuándo se produce el proceso de silicificación, no se puede descartar una silicificación freática.

- 3) El análisis geoquímico de las rocas silíceas y sus rocas encajantes pone de manifiesto que los sílex poseen contenidos apreciables en ciertos elementos traza que no están presentes en sus rocas encajantes, cuando éstas son de composición carbonatada o yesífera. Esto lleva consigo que la geoquímica de las rocas silíceas no está condicionada por la geoquímica de las rocas encajantes. De acuerdo con estos resultados, es posible afirmar que las aguas causantes de los procesos de silicificación no pudieron evolucionar «in situ», en un sistema diagenético cerrado, a partir de la disolución y concentración de las rocas encajantes. Las facies arcillosas son fuente potencial de las aguas silicificantes.
- 4) El tratamiento por análisis factorial de los resultados geoquímicos y mineralógicos, revela que el factor composición mineralógica, unido a la localización geográfica, es importante a la hora de establecer el comportamiento de las variables en los diferentes per-

files. La influencia del tipo de roca caja en la geoquímica de la roca silícea incluida en ella, enmascara la posible existencia de diferencias genéticas en los diversos procesos de silicificación, bien por cambios en la composición de las soluciones silicificantes, bien por tratarse de silicificaciones generadas en ambientes diferentes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al doctor J. L. Brandle, del Departamento de Petrología, Facultad de Geológicas, por la realización del análisis factorial. A R. García García, del Departamento de Geología, Museo Nacional de Ciencias Naturales, por la realización de los análisis mineralógicos y geoquímicos.

BIBLIOGRAFIA

- ADACHI, A.; YAMAMOTO, K., y SUGISAKI, R.: *Hidrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: their geological significance as indication of Ocean Ridge Activity*. *Sediment. Geol.*, 47, 125-148 (1986).
- AUDLEY-CHARLES, M. G.: *Some aspects of the chemistry of Cretaceous Siliceous sedimentary rocks from eastern Timor*. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 29, 1175-1192 (1965).
- BALTUCK, M.: *Provenance and distribution of Tethyan pelagic and hemipelagic siliceous sediment, Pindos Mountains, Greece*. *Sediment. Geol.*, 31, 63-83 (1982).
- BARRETT, T. J.: *Chemistry and Mineralogy of Jurassic bedded chert overlying ophiolites in the North Apennines, Italy*. *Chem. Geol.*, 34, 289-317 (1981).
- BELLANCA, A.; DECIMA, A., y NEIN, R.: *Indagini composizionali su diatomiti messinice (Tripoli) della Sicilia centrale*. *Mineralogica et Petrographica Acta gic. Acta geologica Alpina*, 26 (1982).
- BOSTROM, K.; KRAEMER, T., y GARTNER, S.: *Provenance and accumulation rates of opaline silica. Al, Ti, Fe, Mn, Cu, Ni and Co in pacific pelagic sediments*. *Chem. Geol.*, 11, 123-148 (1973).
- BRUECKNER, H., y SNYDER, W.: *Chemical and Sr-Isotopic variations during diagenesis of Miocene Siliceous Sediments of the Monterey Formation, California*. *Jour. Sed. Petrol.*, 55, 553-568 (1985).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Sedimentación lacustre-palustre, formación de ópalos y otras silicificaciones en el Mioceno Medio al sur de Villaluenga (Toledo)*. *Estudios Geol.*, 40, 137-151 (1984).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Estudio petrológico de las rocas silíceas miocenas de la Cuenca del Tajo*. *Estudios Geol.*, 32, 451-497 (1976).

- BUSTILLO, M.ª A.: *Significado de las rocas silíceas en la sedimentación miocena de la Cuenca del Tajo*. *Estudios Geol.*, 34, 129-132 (1978).
- BUSTILLO, M.ª A.: *Ageing features in inorganic continental opals*. *Estudios Geol.*, 38, 335-344 (1983).
- BUTLER, G. P.: *Strontium geochemistry of modern and ancient calcium sulphate minerals*. In: N. H. Purser (Ed.), *The Persian Gulf Holocene Carbonate sedimentation and diagenesis in a shallow epicontinental sea*, Springer-Verlag, Berlín, 423-452 (1973).
- CAPOTE, R., y CARRO, S.: *Existencia de una red fluvial intramiocena en la depresión del Tajo*. *Estudios Geol.*, 24, 91-97 (1968).
- DEAN, W. E.: *Trace and minor elements in evaporites*. In: W. E. Dean & B. Ch. Schreiber (Eds.), *Marine Evaporites*. SEPM short course núm. 4, 86-104 (1978).
- DÍAZ-MOLINA, M., y BUSTILLO, M.ª A.: *Wet fluvial fans of the Loranca Basin (Central Spain) channel models and distal bioturbated gypsum with chert*. 6th European Regional Meeting Excursion Guidebook, 148-185 (1985).
- FLETCHER, W. J.: *Analytical methods in Geochemical prospecting*. *Handbook of Exploration Geochemistry*, 1. Elsevier, Amsterdam, 255 pp. (1981).
- GARCÍA JIMÉNEZ, R.; MORANTE, M.; MEDINA, S. A., y LEGUEY, S.: *Posibilidades gemológicas de los ópalos y materiales silíceos de la zona de Esquivias-Valdemoro en la cuenca de Madrid*. Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía (V Reunión Científica), 8, 65-73 (1985).
- HAY, R. L., y WIGGINS, B.: *Pellets, ooids, sepiolite and silica in three calcretes of the southwestern United States*. *Sedimentology*, 27, 559-577 (1980).
- HEIN, J. R.; VALLIER, T. L., y ALLAN, M. A.: *Chert Petrology and Geochemistry Mid-Pacific Mountains and Hess Rise*. DSDP. Leg. 62. Initial Reports of the DSDP, 62, 711-747 (1981).
- HEIN, J., y MORGENSEN, L.: *Petrology and geochemistry of silicified upper Miocene chalky Costa Rica Rif*. DSDP. Leg. 69. Initial Report of the DSDP, 69, 395-422 (1983).
- HEIN, J. R.; KUIJPERS, E. P.; DENYER, P., y SLINNEY, R. E.: *Petrology and Geochemistry of Cretaceous and Paleogene cherts from Western Costa Rica*. *Develop. in Sediment.*, 36, 143-175 (1983).
- HOYOS, M.; JUNCO, F.; PLAZA, J. M.; RAMÍREZ, A., y RUIZ SÁNCHEZ-PORRO, J.: *El Mioceno de Madrid*. En: *Geología y Paleontología del Terciario Continental de la provincia de Madrid*. M. T. Alberdi (Coordinadora). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid, 8, 9-16 (1985).
- JUNCO, F., y CALVO, J. P.: *Cuenca de Madrid*. En: *Libro homenaje a J. M. Ríos* (t. 2). IGME, Madrid (1986).
- KINSMAN, D. J.: *Interpretation of Sr²⁺ concentrations in carbonate minerals and rocks*. *Jour. Sed. Petrol.*, 39, 486-508 (1969).
- MATSUMOTO, R., e IJIMA, A.: *Chemical sedimentology of some Permo-Jurassic and Tertiary bedded cherts in Central Honshu, Japan*. *Develop. in Sediment.*, 36, 165-174 (sin publicar).
- MAXWELL, J. A.: *Geochemical study of some chert and related deposits*. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 104 (1963).
- MOSSER, C.: *Etude Geochimique de quelques elements traces dans les argiles des alterations et des sediments*. *Sciences Geologiques, Memoire*, 63, 229 pp. (1980).
- ROULIN, F.: *L'eocene continental du synclinal D'Apt (Vaucluse, Sud-Est de la France): Enchainements silcrete-calcrete et argilogenese*. These 242 pp, Universite Claude-Bernard, Lyon I (1985).
- SAN JOSÉ, M. A.: *Mapa Geológico de España*. E. 1:50.000. Hoja 584 (Mondéjar). IGME (1975).
- STEINBERG, M., y MPODOZIS-MARIN, C.: *Classification geochimique des radiolarites et des sediments siliceux oceaniques: signification paleo-oceanographique*. *Oceanologia Acta*, 1, 359-367 (1978).
- SUMMERFIELD, M. A.: *Geochemistry of weathering profiles silcretas, Southern Cape Province, South Africa*. En: *Residual Deposits* (Ed. R. C. L. Wilson). *Spec. Publ. Geol. Soc. London* (1983a).
- SUMMERFIELD, M. A.: *Petrography and diagenesis of silcrete from the Kalahari basin and Cape Coastal zone, Southern Africa*. *J. of Sediment. Petrol.*, 53, 895-909 (1983b).
- SUGISAKI, R.; YAMAMOTO, K., y ADACHI, M.: *Triassic bedded cherts in central Japan are not pelagic*. *Nature*, 298, 644-647 (1982).
- TRUSCOTT, M. G., y SHAW, D. M.: *Boron in chert and Precambrian siliceous iron formations*. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 48, 2313-2320 (1984).
- VEIZER, J.: *Chemical diagenesis of carbonates: theory and application of trace element technique*. SEPM, sort course núm. 10, 3-1, 3-100 (1983).
- VINE, J. D., y TOURTELOT, E. B.: *Geochemistry of black shale deposits a summary report*. *Econ. Geol.*, 65, 253-272 (1970).
- VON RAD, V.; RIECH, V., y ROSCH, H.: *Silica Diagenesis in continental Margin Sediments of North-West Africa*. Initial Reports of the DSDP, 41, 879-905 (1977).
- WEAVER, C. E., y POLLARD, L. D.: *The chemistry of clay minerals*. *Develop. Sediment.*, 15, 213 pp. (1973).

Recibido: Septiembre 1986.

INFORMACION

Mineros destacados del Siglo XIX Policarpo Cía y Francés (1817-1867)

1. ANTECEDENTES

Nuestro biografiado nació en Pamplona (1817), de una noble familia Navarra. Por parte de su padre, el apellido Cía, es de origen toponímico del lugar del mismo nombre, antes del Ayuntamiento de Gulina, y hoy del de Iza, del Partido Judicial de Pamplona. Este noble linaje navarro, tuvo tres casas solariegas; el Cabo de Armería de Oyandera, la casa solar de Sanchoena y la de Perochena, existiendo múltiples expedientes de hidalguía de sus palacianos, e incluso de asiento en las Cortes del Reino de Navarra.

La casa de Perochena, pasó a Pamplona, originaria de Policarpo Cía, la cual tenía por armas: de oro con dos leones rampantes de su color puestos en palo, acompañados por diez calderos en sable.

El apellido de la madre procede de Francia, de donde pasó a España. Una rama se extendió por Aragón, figurando varios expedientes nobiliarios suyos en los linajes de Aragón.

2. ESTUDIOS

Inicia sus estudios superiores en (1835) la cátedra de química docimástica de la Dirección General de Minas, regentada por el ingeniero tercero del Real Cuerpo Facultativo de Minas Vicente González Arnao, al mismo tiempo que estudiaba ciencias naturales en el Real Museo bajo la dirección de Donato García (1782-1855) y las matemáticas en los Reales Estudios de San Isidro. Terminada esta formación preparatoria, quedó incorporado a la primera promoción (1836) de la Escuela de Minas de Madrid, figurando en el escalafón general con el número 275. Fueron sus profesores: de mineralogía y geognosia, Rafael Amar de la Torre (1802-1874); de laboreo de minas y mecánica, Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859); de docimasia y metalurgia, Lorenzo Gómez Pardo (1800-1847). Durante los tres cursos seguidos en la escuela, en todo momento ocupó el primer lugar.

3. ACTIVIDAD PROFESIONAL

Con la categoría de aspirante del Cuerpo de Minas (R. O. de 17 de febrero de 1839) pasa destinado a Almadén, a las órdenes de Casiano del Prado y Valle (1797-1866). Desempeñó las cátedras de conocimiento de minerales y rocas y laboreo de minas, en la escuela, ahora de capataces o práctica de minas de Almadén (R. O. de 11 de marzo de 1841), durante los cursos 1841-1842, 1842-1843, 1843-1844 en que cesó, así como en sus actividades en el coto minero, por su pase a Linares como ayudante primero del Cuerpo, de donde se incorporó para desempeñar la secretaría de la inspección de Asturias y Galicia a las órdenes del Inspector (1836-1845) y eminente geólogo Guillermo Schulz y Schweizer (1800-1877). Desde este destino, fue comisionado para girar una visita de inspección a las minas de Huesca, Pirineos del Aragón alto y Navarra, tema de una de sus publicaciones.

La sanción por R. O. (10 de mayo de 1845), relativa a las dietas asignadas a los ingenieros por las operaciones facultativas, hechas a instancia de parte y oficialmente, fue considerada por muchos ingenieros como depresiva, motivo de la baja en el servicio solicitada por varios, entre ellos por Cía. Ante las insistencias para su retorno al servicio activo, accedió, con la condición de servir en ultramar, designándolo como ingeniero inspector de la provincia de Puerto Príncipe en la Isla de Cuba (R. O. de 11 de julio de 1846). Antes de emprender la navegación hacia la isla de Cuba, pasó a Suecia, donde estudió el beneficio de los minerales de cobre de Swansea y de Fahlum y los de hierro de dicho país, así como la posibilidad de utilización de estas técnicas en España continental y en Cuba. Llegó a La Habana en diciembre de 1847.

En Cuba, trabajó intensamente durante su corta estancia, debido a los efectos nocivos del clima para su salud. Formó parte activa en la Comisión encargada de redactar las ordenanzas mineras de la isla, puso especial interés en los estudios para la mejora de las ricas explotaciones de cobre de Santiago de Cuba y el criadero de oro de Holguín.

Dejó Policarpo Cía, prácticamente terminada, la carta geológica de la isla de Cuba, utilizando como mapa director el del naturalista coruñés Ramón de la Sagra (1798-1871), catedrático de historia natural en La Habana (R. D. de 16 de noviembre de 1822), publicado en 1853.

4. LABOR DOCENTE

Fue un gran entusiasta de la docencia. Cuando era estudiante le agradaba explicar a sus compañeros los temas sobre los que tenían dudas. Oficialmente inició su función docente en la Escuela Práctica de Minas de Almadén, como hemos consignado en el capítulo anterior.

Interesado Rafael Cavanilles y Malo (1778-1853), Director de la Escuela de Minas de Madrid, de contar con su colaboración como profesor, logra (9 de agosto de 1849) su designación para desempeñar el grupo de cátedras de mecánica aplicada, construcción y estereotomía, y en su consecuencia, regresó a la Península (julio de 1850).

En compañía de Joaquín Ezquerro del Bayo (1793-1859), Inspector General de Minas (17 de mayo de 1851), fueron comisionados para visitar los establecimientos mineros y metalúrgicos del Norte de Europa en Suecia, Noruega y Finlandia, durando la comisión hasta el mes de noviembre.

También continuó trabajando para empresas particulares, como lo fue la dirección facultativa (1854 y 1855) de la mina «Suerte», considerada como una de las más importantes del distrito argentífero de Hiendelaencina, donde consiguió resultados muy satisfactorios, promoviendo el aprovechamiento de sus terreras pobres, con muy baja ley en plata, con una preparación mecánica por vía húmeda, técnica generalizada posteriormente a todas las sociedades de aquella comarca minera.

Entusiasta de las ciencias geológicas, desempeñó el grupo de cátedras de laboreo de minas, geología y mineralogía. Hizo una detenida y minuciosa clasificación de las rocas y minerales del Museo de la Escuela, documentación que se conservaba cuando era alumno.

5. DIRECTOR DE LA ESCUELA DE MINAS

Jubilado a petición propia, por razones de salud, Ramón Pellico y Pan y Agua (1809-1876), con la misma fecha de su cese (R. O. de 3 de diciembre de 1862), es nombrado Cía director de la Escuela. El mal estado de salud de Pellico, le impidió, a éste presidir las juntas del claustro, después de la celebrada (10 de junio de 1862), empezando la presidencia de Cía cuando era director en funciones (9 de septiembre de 1862).

Por su delicado estado de salud, solicitó Cía el relevo como profesor de la cátedra de mineralogía, a lo que accedió la superioridad (R. O. de 12 de septiembre de 1863). Ascendió a inspector general de segunda clase (R. O. de 10 de julio de 1864), con el desempeño anejo del cargo de vocal de la Junta Superior Facultativa de Minas. Por sus achaques, pidió y obtuvo su jubilación voluntaria, con

honorarios por su distinguido comportamiento de Inspector General de primera clase.

Como director, luchó infatigablemente por el prestigio de la Escuela, la que pasó de cinco alumnos en la promoción de 1863, a 20, número tope que tuvieron las promociones de 1864, 1865 y 1866.

Los campamentos de geología habían quedado suspendidos desde el celebrado en Hiendelaencina (1950); logró reanudarlos gracias a los créditos alcanzados, promoviendo los de Hiendelaencina (1863) y Cartagena (1864).

Actualizó el reglamento de la Escuela, iniciando su detenido estudio (7 de abril de 1863), con grandes dificultades por parte de los profesores, dado que cada uno juzgaba su asignatura como la más importante. Las sesiones se iniciaban a las 14 horas los días hábiles y los domingos y festivos a las 9 de la mañana. El número de ingenieros del cuerpo era insuficiente para la docencia, policía minera y demás actividades de su competencia, logrando el R. D. de 29 de junio de 1864 para dar al cuerpo mayor ensanche.

Otra de sus preocupaciones era la insuficiencia y baja calidad de la Escuela en la plaza del Conde de Barajas, número 8, pero por falta de créditos todo se redujo a la prórroga del contrato de inquilinato (R. O. de 14 de mayo de 1864) por otro cuatrienio.

Solicitada su jubilación voluntaria, se publica el R. D. correspondiente («Gaceta de Madrid» de 10 de noviembre de 1864), y con la misma fecha el de nombramiento de José de Monasterio y Correa (1819-1874), quien le había sustituido en muchas ocasiones como director interino, unas veces, y otras como director en funciones.

La última junta presidida, donde se continuó estudiando el reglamento, fue la del mismo día de su cese, impidiendo el claustro dejase la presidencia a Monasterio, como era su deseo. La primera presidida por Monasterio, como director, fue la del 25 de noviembre de 1864.

6. FALLECIMIENTO

Entusiasta navarro, pasó a residir en Tudela cuando le concedieron la jubilación, cesando en sus actividades mineras y dedicándose a pasear y comentar sobre la agricultura de aquellas fértiles tierras. Falleció el 22 de noviembre de 1867.

A pesar de su alejamiento de la minería, su óbito fue muy sentido y escribía (1 de diciembre de 1867) José de Monasterio y Correa (1819-1874) refiriéndose a Cía: «deja rastros imperecederos de su laboriosidad, de su competencia y de su justificación acrisolada».

Durante la dirección (1922-1927) de la Escuela de Eduardo Gullón y Daban (1860-1927), se construyó el nuevo edificio para aula magna y laboratorio, inaugurado por don Alfonso XIII (1886-1931) con motivo de la festividad de Santa Bárbara (4 de diciembre de 1925), acto al que asistí como alumno de la misma, y pudimos comprobar que entre los diez apellidos inmortalizados con letras de oro, en el aula magna, figuraba «Cía».

7. PUBLICISTA

El dominio de varios idiomas, principalmente el francés y el inglés, le permitieron hacer traducciones de ambos idiomas y comentar artículos referentes a los últimos adelantos. Citamos las publicaciones más importantes de las que tenemos información.

Memoria sobre la máquina de vapor que sirve para el desagüe de las minas de Almadén del azogue, su trabajo mecánico y su efecto útil, y mejora de que es susceptible. Septiembre, 1839. Anal. de Minas, t. 2, p. 431, 1841.

Memoria sobre los procedimientos empleados en Linares para el beneficio de los minerales de cobre. Mayo, 1840. Anal. de Minas, t. III, p. 174, 1845.

Memoria sobre el procedimiento que se emplea en Almadén del azogue para el beneficio de sus minerales. Almadén, 23 de marzo de 1840.

Noticia sobre varias minas de Aragón y Navarra. Bol. Of. de Minas, 1844.

Minas de Sierra Almagrera y Murcia. Bol. de Minas, 1844.

Empresa minera de Leiza. Sociedad la Navarra. Informe facultativo de las minas de esta sociedad. Pamplona, 1847.

Memoria sobre los minerales de cobre de Swansea y otros puntos, sobre la conveniencia de que los de la Isla de Cuba se beneficien en ella o en la Península y

medios que podrían adoptarse para conseguirlo. Habana, 1850.

Sobre las minas de Almadén. Rev. Minera, t. 2, p. 26, 1851.

Memoria sobre el beneficio de hierro en Suecia, su producción y causas que influyen en la excelencia de sus cualidades. Rev. Minera, t. III, p. 385, 1852.

Sobre el beneficio de los minerales de cobre de Fahlun (Suecia) y resultados que daría su aplicación en Río Tinto. Rev. Minera, t. IV, pp. 3 y 33, 1853.

Observaciones geológicas de una gran parte de la Isla de Cuba. Rev. Minera, t. V, 1854.

Demostración física del movimiento de rotación de la tierra, por medio del péndulo de Foucault. Rev. Minera, t. II, p. 217, 1851. Es una recopilación traducida del trabajo de Jean Bernard Leon Foucault (1819-1868) sobre este tema.

Sobre el Distrito secundario de Portugal, al norte del Tajo. Rev. Minera, t. II, pp. 321 a 351, 1861. Es una traducción de un artículo de Daniel Scharpe.

Máquina de aire caliente de Ericson. Rev. Minera, t. IV, p. 280, 1853.

Acerca del estado de la mina «Suerte», del Distrito de Hiendelaencina. Madrid, 1854.

Investigación sobre la producción artificial de los minerales de la familia de los silicatos y de los aluminatos

por al reacción de los vapores sobre las rocas. Rev. Minera, t. V, p. 537, 1854. Se trata de una traducción de un trabajo del académico de Ciencias de París y Director de la Escuela de Minas de dicha capital, Gabriel Auguste Daubrée (Metz, 1814-París, 1896).

Nota sobre la constitución geológica de la provincia de Segovia. Rev. Minera, t. V, p. 602, 1854. Es un comentario a la publicación de Casiano del Prado y Valle (1797-1866).

Noticia sobre el procedimiento de Henry Besemer (1813-1898) para convertir el hierro colado en acero o en hierro dulce, sin adición de combustible. Rev. Minera, t. VII, p. 639, 1856.

Estudio sobre el metamorfismo producido por las rocas trópicas. Es una traducción del trabajo de Delesse. Rev. Minera, t. VII, p. 673, 1856.

Noticia sobre los criaderos y minas de cobre (Santiago de Cuba). Rev. Minera, t. VIII, p. 168, 1857.

Producción de carbón en Asturias y movimiento del ferrocarril de Sama de Langreo a Gijón. Rev. Min., t. IX, p. 236, 1858.

Memoria sobre la riqueza mineral de La Seo de Urgel. Es traducción de la escrita por el ingeniero del cuerpo imperial de minas Noblemaire y traducida por Cía. Bol. Of. Minis. Fomento, t. XXIX, pp. 49 y 83, 1859.

Informe correspondiente a los años 1854 a 1858 de la mina «Suerte» en Hiendelaencina, 1858.

Apuntes sobre el terreno nummulítico de las inmediaciones de Pamplona. Rev. Minera, t. X, p. 193, 1859.

Noticia sobre los experimentos de Daubrée, para obtener por la vía húmeda el feldespato, cuarzo y otros cuerpos. Rev. Minera, t. X, p. 28, 1859.

Procedimiento de amalgamación de los minerales de plata de Potosí. Es una traducción del trabajo de Lemuhot. Rev. Minera, t. X, p. 180, 1859.

Sobre la geología de Málaga y parte meridional de Andalucía. Es una traducción de un trabajo de T. Ansted. Rev. Minera, t. XI, p. 312, 1860.

8. BIBLIOGRAFIA

Libros de actas de la Junta de Profesores de la Escuela de ingenieros de Minas, t. 1, 1849.

MAFFEI Y RAMOS, R.: Centenario de la Escuela de Minas de España (1777-1877). Madrid, 1877, 300 pp.

LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: La enseñanza de la minería en el mundo hispánico. Madrid, 1979, 200 pp.

Decreto de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Químicas, de 18 de Mayo de 1859, en virtud del cual se le concede el título de Doctor honoris causa a D. Juan de Dios Rodríguez, por sus trabajos científicos en el ramo de la Geología, y en especial en el estudio de la vida orgánica en las rocas.

El Director
El Secretario

La minería española en la Edad Moderna

Una aproximación a su estudio (1)

Por MARIA SOLEDAD RELANZON

III. LEGISLACION DE MINAS

1. LA EDAD MEDIA. PRIMERAS DISPOSICIONES

Según el Diccionario de la Real Academia de la Lengua, MINA es aquella excavación que se hace por pozos, galerías o socavones o a cielo abierto para extraer el mineral. Etimológicamente procede del latín mina-minae y significa metal en bruto.

En la actualidad está fuera de toda duda, por evidente, la importancia que a través de la historia han tenido la explotación y el aprovechamiento de los recursos minerales. En el subsuelo existen recursos minerales y geológicos cuya utilización ha debido ser regulada por la legislación de cada momento. Histórica y geográficamente las distintas legislaciones han tenido que tomar posición en relación a la regulación del derecho a la explotación y aprovechamiento de los minerales.

Tres son las teorías o sistemas principales sobre la materia:

- a) El sistema fundiario o de la accesión.
- b) El sistema industrial o de la ocupación.
- c) El sistema regaliano o feudal.

a) Sistema fundiario o de la accesión.—Esta teoría considerar al propietario de terreno —el dueño de la superficie —propietario en profundidad y, en consecuencia, también es el propietario de los minerales que se encuentran en el subsuelo de sus terrenos. El axioma «el propietario

(1) Memoria de Licenciatura presentada por María Soledad Relanzón López, en la Facultad de Geografía e Historia, Departamento de Historia Moderna de la Universidad Complutense de Madrid.

Capítulos I y II publicados en nuestro anterior número (T. XCVIII, Primer Fascículo, Enero-Febrero 1987).

del suelo lo es hasta el cielo y hasta el infierno» procede del derecho romano. Su apoyo jurídico es el de la accesión, considerando que lo principal es la superficie. Tiene tradiciones jurídicas anglosajonas. El Código de Napoleón lo recogió asimismo y, en la actualidad, se mantiene en muchos países, pero reducido sólo al aprovechamiento de las rocas. Sin embargo, es un sistema en desuso desde hace ya mucho tiempo en lo que se refiere a la explotación y aprovechamiento de los minerales propiamente dichos, ya que su explotación, investigación, evaluación y trabajos de desarrollo minero requieren inversiones extraordinariamente elevadas.

b) Sistema industrial o de la ocupación.—Considera esta teoría a los minerales como «res nullius», cosa de nadie, sin dueño, basándose en que es necesario descubrir los yacimientos. La ley otorga el derecho a su explotación al descubridor, quien se convierte en propietario de la misma por ocupación. El siglo XIX ha sido el gran propulsor de este sistema paralelamente a la iniciativa económica privada. En la actualidad, con correcciones, obligaciones y limitaciones, se encuentra vigente en muchos países.

c) Sistema regaliano o feudal.—Este es el sistema que considera que la propiedad de los terrenos se divide en el dominio real o útil y el dominio eminente o directo. El dominio real se reduce al suelo «hasta donde alcance el arado». El subsuelo se considera una regalía, un derecho del príncipe, que lo transfería por medio de concesiones o «regalías menores». Este sistema al evolucionar se ha transformado en el dominio eminente del Estado demanial. Atribuye las minas al Estado fundándose en el dominio eminente, así como en la importancia social que tiene la riqueza minera.

Si convenimos en que el Derecho minero es un Derecho destinado a regular el aprovechamiento de los recur-

sos geológicos, como dijo don Antonio del Valle en su discurso de ingreso en la Real Academia de Doctores, y que por tanto debe aplicarse a la exploración, investigación y beneficio de aquéllos hasta integrarlos en el tráfico de mercancías (en que ya entran en el Derecho mercantil) (1), debemos rastrear entre los diversos reglamentos para ver en qué momento este Derecho hace acto de presencia.

Desde los días del Imperio Romano y las Tablas de Aljustrel, no volvemos a hallar ninguna disposición legal que haga referencia a las minas hasta mediados del siglo XIII, en que Alfonso X dispone en las Partidas que «los tributos o rentas de las ferrerías y de los otros metales son de los emperadores y de los Reyes» (2), quedando así, desde tan temprana fecha, definida y adscrita la minería hispana dentro del sistema regalista, y que ha dado lugar a desenvolver la teoría de considerar bienes demaniales a las minas (3).

Es costumbre que viene desde la Antigüedad —Roma también se reservaba la posesión de las minas— el que los Gobiernos o los Estados se reserven los metales, sobre todo aquellos directamente relacionados con la moneda, como es el caso del oro y la plata. Ello está incluido entre las obligaciones que el soberano tiene para con su pueblo «e fueron les otorgadas todas estas cosas porque oviesen con que se mantoviesen onradamente en sus despensas, e con que podiessen amparar sus tierras e sus Reynados, e guerrear contra los enemigos de la Fe; e por qué podiessen escusar sus Pueblos de echarlos muchos pechos, o de facelles otros agravamientos» (4). Pueden, qué duda cabe, hacer donación o merced del usufructo de ellas, «non digesse que retenía el Rey estas cosas sobredichas para sí», mas se entiende que, en el caso concreto de las minas, es sólo por un período de tiempo determinado y que la ley marca en «la vida de aquel Rey que ge las otorgó, e del otro que ge las quisiera confirmar» (5) caso de haber prórroga.

(1) DEL VALLE MENÉNDEZ, Antonio: «Introducción al desarrollo histórico del Derecho Minero español». *Discurso de ingreso en la Real Academia de Doctores de Madrid*. Madrid, 1984.

(2) *Ley II, Título 28, Partida 3*: «Las Rentas de los Puertos, e las rentas de las Salinas e pesqueras, e de las Ferrerías, e de los otros metales, son de los Emperadores e de los Reyes; e fueronles otorgadas todas estas cosas, porque oviesen con que se mantoviesen onradamente en sus despensas, e con que podiessen amparar sus tierras e sus Reynados, e guerrear contra los enemigos de la Fe; e por qué podiessen escusar sus Pueblos de echarlos muchos pechos, o de facelles otros agravamientos.»

(3) PUYUELO, Carlos: «Derecho Minero». *Revista de Derecho Privado*. Madrid, 1954.

(4) *Ley II, Tit. 28, Part. 3*.

(5) *Ley V, Tit. 15, Part. 2*: «E mineras si y las oviere: e maguer en el privilegio de el donadio non digesse que

No cabe duda que estas leyes son la base y el origen de donde saldrán los posteriores ordenamientos que regulen la minería. Empieza a dibujarse el marco jurídico que encuadrará el Derecho Minero.

¿Qué ocurre con la minería a lo largo de la Edad Media? Su importancia va incrementándose lentamente, quizá debido a algún afortunado hallazgo o simplemente por las necesidades crecientes derivadas de las luchas internas y contra el Infiel. Lo cierto es que Alfonso XI, en el Ordenamiento de Alcalá de 1348, dedica una atención especial a este problema. Y así, mientras que las Partidas asignan a la Corona sólo las rentas y tributos, el ordenamiento de Montalvo es tajante: «Todas las mineras de plata e oro e plomo, e de otra guisa cualquiera que minera sea en el Sennorio del Rey pertenescen a Nos; por ende ninguno no sea osado de las labrar sin nuestra especial licencia y mandado...». También pertenecen a la Corona «las fuentes y pilas y pozos salados, que son para facer sal». Y a esta declaración rotunda y clara sobre a quién pertenecen las minas se añade el derecho sobre su explotación: «que ninguno sea osado de se entremeter en ellas, salvo aquellos a quien los Reyes pasados nuestros progenitores o Nos los hobiesemos dado por privilegio, o las hobiesen ganado por tiempo inmemorial» (6).

En estas Leyes queda bien claro que las minas son una regalía de la Corona y por tanto su permiso es requisito indispensable para poder explotarlas. Pero los problemas jurídicos e institucionales apenas están esbozados. ¿Cómo acoge la todopoderosa nobleza semejante declaración del rey? Es fácil suponer que habría algún tipo de oposición a, al menos, resistencia, puesto que ella es la realmente perjudicada al confiscarse una propiedad que de hecho, si no de derecho, era suya al ir unida a la propiedad territorial. Por otra parte, habría que diferenciar los casos de explotación directa, que no son muchos, de los de arrendamiento a censo, mucho más corrientes.

Pero aún hay más. Las explotaciones de las minas de hierro no siguen ese principio, pues su explotación pertenece a las ferrerías (los ferrones), ya sea por fuero o por costumbre. Entonces ¿estaban unidas a la propiedad del suelo o podían considerarse como regalías de la Corona o del señor territorial? ¿Se seguía el mismo régimen jurídico para la extracción del mineral de hierro que para su metalurgia? (7).

El beneficio de las minas nos lleva inmediatamente a otro problema: la madera. ¿Quién y cómo puede utilizar

retenía el Rey estas cosas sobredichas para si; non debe por esso entender aquel a quien lo da, que gana derecho en ellas: fueras ende si el Rey ge las otorgasse todas en el privilegio de el donadio; e aun estonces non las puede aver, si non solamente en la vida de aquel Rey que ge las otorgo, e del otro que ge las quisiere confirmar.»

(6) *Leyes 47 y 48, Título 32, Ordenamiento de Alcalá*.

(7) GUAL CAMARENA: *Op. cit.*, p. 278.

el bosque? ¿Bajo qué condiciones? Sabido es que las minas eran las grandes devoradoras de bosque. No es de extrañar pues la tenaz resistencia que les oponían los agricultores y ganaderos, ya que las talas abusivas ponían en peligro sembrados y pastizales. Y no olvidemos que decir ganaderos es decir Mesta, peligrosa enemiga.

La normativa jurídica existente es todavía muy incompleta. Hay muchos problemas que se le escapan y que no recibirán respuesta hasta que Felipe II dicte sus ordenanzas. Sin embargo, sería este Ordenamiento, al que se le añaden las precisiones hechas por Juan I en Briviesca en 1387 —«todos pueden buscar minas en las heredades propias y ajenas y beneficiarlas dejando dos tercios para la Corona después de deducir gastos» (8)— el llamado a ser la base de la legislación minera castellana hasta la Edad Moderna.

Cuando, en 1567, se proceda a la agrupación de todas las disposiciones de Castilla en lo que recibirá el nombre de Nueva Recopilación (4.000 leyes, divididas en nueve libros), estas leyes pasarán íntegramente, recogándose en el libro VI, título XIII: «Tesoros y mineros de Oro, Plata, o cualquier otro metal, i pozos de sal, i bienes mostrencos i hallados» junto con las pragmáticas promulgadas por Felipe II en 1559 y 1563.

Pero todas estas leyes recogidas pertenecen a Castilla. ¿Y los otros Reinos? No olvidemos que la unión de las Coronas había sido una unión puramente personal o dinástica; en ningún caso institucional. La de sus sistemas políticos y económicos, es decir, los pueblos, ni siquiera se había intentado. Cada cual seguía rigiéndose por su propio ordenamiento jurídico al que, además, se intentó mantener frente a la tendencia hegemónica del Derecho castellano, tendencia que, naturalmente, engendró una serie de conflictos.

En Navarra, Alava y Guipúzcoa se mantuvieron los Fueros, pero al no ser poblaciones de tradición minera, no hubo ningún tipo de problema. No así en Vizcaya, cuya economía descansaba sobre el hierro, por lo que la oposición fue fuerte.

El Fuero de 1527 dispone que todo pleito entre vizcaínos, independientemente del lugar en que se suscite, ha de resolverse a través de él, y sólo en los casos en que no sea válido se aplicará el Derecho castellano. En todos aquellos asuntos en que el poder de la Corona trató de alzarse, la norma legal que rigió fue el «obedézcase, pero no se cumpla».

La primera fuente de litigios se presentó con el mismo sistema de propiedad, ya que Vizcaya había adoptado el fundario —heredado del Derecho Romano—, sosteniendo que la propiedad de las sustancias minerales era del dueño del terreno, sin aceptar el sistema regalístico que propugnaba el Derecho castellano. Esta oposición se man-

tendrá durante toda la Edad Moderna, en la que podemos afirmar que existe una legislación minera específica vizcaína. «Así, la junta de Vizcaya aprueba, el 10 de julio de 1818, su Reglamento de Minas, con su propio derecho concesional y ajustado a las singularidades de sus explotaciones» (9). Estará vigente hasta la Ley de Minas de 1825.

El Reino de Aragón siguió fiel a sus Fueros y al Derecho consuetudinario aunque, poco a poco, fuera asimilando el Derecho castellano, sin que en ningún momento se produjeran los enfrentamientos que hubo en Vizcaya. Las diferencias fundamentales en el sistema concesional —que era el que regía en Aragón— que no reconocía la regalía de la Corona y la jurisdicción del Consejo de Aragón sobre los pleitos mineros (10). Todo ello acabaría con los Decretos de Nueva Planta impuestos por Felipe V.

2. ORDENANZAS DEL NUEVO CUADERNO. CONTENIDO Y DESARROLLO

Como ya hemos dicho anteriormente, el beneficio de los metales no férricos sufre durante la Edad Media un gran retraso en relación con el del hierro. Las técnicas de su laboreo evolucionan mucho más lentamente por lo que la producción parece quedar estancada. Pero el tirón que suponen las guerras modernas en cuanto a la demanda de bronce para la fundición de piezas de artillería, hace que el comercio de los metales, sobre todo del cobre, adquiera en toda Europa un dinamismo desconocido hasta ese momento.

Las minas van cobrando una importancia cada vez mayor. Esto unido a la angustiada situación económica padecida por Felipe II, debida al fabuloso monto de los empréstitos y a las siempre crecientes necesidades bélicas, hace que dedique una atención muy especial a todos los asuntos relacionados con la industria extractiva. Se trata por todos los medios de despertar el interés por las minas, y se hacen grandes esfuerzos por restablecer su beneficio. Ya Juan I había recordado que los reinos eran «abastados y ricos de mineros» y, fiel a esta idea, el Rey Prudente hará lo posible por alentar a sus súbditos a aplicarse a esta tarea. Se dan las Pragmáticas de Valladolid (10 de enero 1559), Madrid (18 de mayo 1563) y El Pardo (22 de agosto 1584). Pero los resultados no fueron satisfactorios en ningún caso, y la realidad fue que se adelantó muy poco en la empresa, ya fuese por falta de medios o quizá por exceso de impuestos. Ya los políticos de la época decían que los derechos que se cargaban a los beneficiadores de minas eran excesivos y no era posible soportarlos. Para paliar esto de alguna forma Felipe III, por Real Cédula de 5 de agosto de 1607, moderó los derechos

(9) DEL VALLE MENÉNDEZ, A.: *Op. cit.*

(10) *Ibidem.*

(8) *Ley II, Tit. 18, Libro IX, Novísima Recopilación.*

correspondientes a la Corona, suavizando algunas condiciones. A pesar de todo, hasta 1624 en que la Real Cédula de Felipe IV erija la Junta de Minas, no se adelantó gran cosa en este asunto.

Las leyes se suceden ajustándose a las circunstancias. Las Ordenanzas de Felipe II —con la reforma de algunos de sus capítulos por Felipe III— y la Real Cédula de Felipe IV serán las que den la normativa general por la que se desenvuelva la minería española a lo largo de toda la Edad Moderna. De hecho, las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno tendrán una vigencia singularmente larga, pues estarán en vigor hasta 1825.

Ciento setenta y cinco años después que Juan I dictase sus leyes sobre minas, se llega a la conclusión que nadie se interesa por su labor. ¿Razón? Varias, todas ellas incluidas en la Pragmática dada en Valladolid por Doña Juana en nombre de su hermano: «... Son pocas las minas que se han descubierto y labrado, y descubren y labran; y aún dizque algunos, que tienen noticia de mineras ricas y de provecho las tienen encubiertas y las no quieren descubrir ni manifestar; lo qual somos informados que entre otras causas ha procedido y procede de se haber hecho merced de la mayor parte de los dichos mineros a caballeros y a otras personas en este Reyno, dándoselas por obispados, arzobispados y provincias, de manera que en lo tocante a las dichas minas está distribuido y repartido casi todo el Reyno. Y visto que las minas están concedidas a personas particulares, no se quieren otros entremeter ni embarazar en el descubrimiento y labor dellas, principalmente que en muchas de las dichas mercedes les esta expresa y particularmente concedido que sin su licencia y consentimiento no pueda ninguno buscarlas y labrarlas; y los caballeros y personas que tienen las dichas mercedes, por excusar costa y trabajo, o por no atender a ello, han tenido y tienen poco cuidado y diligencia en el descubrimiento, beneficio y labor de las dichas minas». Se impide el beneficio que puedan reportar al reino y a sus naturales pues la ley de Juan I «es tan antigua y seido tan poco en uso y práctica» que no deja nada claro una serie de cuestiones, por lo que podría dar ocasión a pleitos. Por ello «se temen y revelan de gastar sus haciendas y poner su trabajo en el tal descubrimiento y labor...» (11).

En consecuencia se comienza a perfilar lo que va a constituir el primer gran marco jurídico del derecho minero. Primera medida: incorporar a la Corona «todos los mineros de oro, plata y azogue de estos Reynos» de cualquier lugar donse se hallen. Sólo se respeta la propiedad de aquéllos que en esos momentos las estuviesen labrando y las minas de otros metales. Para evitar perjuicios a los dueños se les da el plazo de un año para presentar sus títulos de mercedes y recibir la compensación estipulada. También dan facultad a cualquier natural del Reino para

(11) *Ley IV, Tit. 6, Lib. XIII, Nueva Recopilación.*

que «libremente y sin otra licencia» puedan catar, buscar y cavar minas en cualquier parte realenga, de señorío, abadengo, público, concejil o baldío, satisfaciendo el daño a los dueños. Unica salvedad: las minas de Guadalcanal con una legua alrededor de ellas y las minas ya descubiertas en los términos de Cazalla, Aracena y Galaroca, con un cuarto de legua alrededor.

En los capítulos siguientes se especifica la parte que habían de haber los beneficiadores y descubridores de minas; orden y forma de su descubrimiento y registro; facultades, derechos y obligaciones de los descubridores (12).

Una Pragmática posterior, dada en Madrid el 18 de mayo de 1563, dictará unas nuevas ordenanzas estableciendo las cantidades que se han de pagar a la Corona (13). Un año más tarde, el 10 de agosto de 1564, se le incorporan todas las salinas del reino. De los pleitos causados por la cuestión de límites en las salinas se derivan daños para los vecinos de las villas y lugares pues les obliga a ir lejos a comprar la sal. Por ello el Rey ordena que cada cual pueda comprar en el sitio más cercano. Y además manda que todas las salinas de propiedad particular se incorporen a la Corona sin perjuicio de sus dueños. Manda asimismo que haya alfolies y casas de Aduana donde se provea y traiga la sal. Prohíbe que nadie labre ni haga sal fuera de las salinas consignadas ni se saque fuera del reino (14). Sobre esta cuestión Felipe V dictará otra pragmática (El Pardo, 5 de febrero 1728) en la que marca las penas en que incurrir los defraudadores de la sal (15). Las salinas, así como el azufre y la pólvora, serán siempre bienes estancados de la Corona.

Por fin, el 22 de agosto de 1584, Felipe II da, en San Lorenzo de El Escorial, las «Nuevas Ordenanzas que se han de guardar en el descubrimiento, labor y beneficio de las minas de oro y plata, azogue y otros metales» u Ordenanzas del Nuevo Cuaderno. Por esta nueva disposición «revocamos, anulamos y damos por ningunas las Premáticas y Ordenamientos hechos en Valladolid, y en Madrid, que son la Ley quarta y quinta de este Título, y cualesquier Leyes de Ordenamiento, y Partida, y otros cualesquier Derechos, e Premáticas, e fueros e costumbres, en quanto fueren contrarios a lo dispuesto en esta Ley», no dejando en vigor más que la ley IV, título XIII, libro 6 de la Recopilación de Castilla que trata de la incorporación de las minas a la Corona.

Con estas Ordenanzas el Rey Prudente trata de acabar con un sistema de concesiones arbitrarias e injustas, declarando «la prioridad como fundamento del derecho de propiedad, a cuyo fin se estableció el registro por ante

(12) *Leyes de Valladolid de 10-1-1559.* Recogidas en la Novísima Rec., Ley III, Tit. 18, Lib. IX.

(13) *Ley V, Tit. 13, Lib. VI, Nueva Recopilación.*

(14) *Ley I, Tit. 19, Lib. IX, Nov. Rec.*

(15) *Ley II, Tit. 19, Lib. IX, Nov. Rec.*

la justicia de minas y escribano público» (16), principio que permanece inmutable hasta nuestros días. Después de dictadas las Ordenanzas —dice MESEGUER PARDO— se despertó en muchos lugares de la Península gran afición a la minería; más, desdichadamente, no se resolvió en explotaciones (17). ¿Fue quizá la escasez de auxilios? En numerosos escritos de la época vemos cómo, los políticos y los arbitristas decían que los derechos que se cargaban a los beneficiadores eran excesivos por lo que no era posible soportarlos. Quizá para paliar esto Felipe III, por Real Cédula de 5 de agosto de 1607, moderó estos derechos y algunas otras condiciones.

Las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno son muy extensas. Constan de 84 capítulos donde se toca todo lo relativo a minas sin omitir ningún detalle. Los puntos principales podemos resumirlos a los siguientes:

1. Por la concesión de minas autoriza a todos los habitantes del Reino, nacionales o extranjeros, a descubrir y sacar provecho de las minas, dándoles la posesión y la propiedad plena y entera, «pudiendo hacer en ellas y de ellas como cosa propia».
2. Ellas fijan un canon a pagar al Rey, que varía según la riqueza del mineral extraído y su valor en el mercado.
3. Autorizan las investigaciones en todo lugar y previenen una indemnización a los propietarios por los daños causados en sus propiedades.
4. Obligan al descubridor a hacer una inscripción en los veinte días siguientes al descubrimiento de la mina. La fecha de la inscripción fija el rango de la prioridad para la atribución de la mina.
5. Fijan las dimensiones de las concesiones.
6. Obligan a los propietarios de minas, bajo pena de caducidad, a emplear al menos cuatro personas por pertenencia. Estas deben ser hábiles en la explotación de minas.
7. Fijan el procedimiento a seguir por aquellos que quieran denunciar la mina como no explotada.

Responden estas Ordenanzas a una necesidad imperiosa de la Corona, consistente en obtener el beneficio económico derivado de la más importante fuente de riqueza entonces conocida, cuya importancia —habida cuenta de la existente en Indias— superaba a la agricultura, a la ganadería y al comercio con mucha ventaja. La Corona necesita de la riqueza minera pues «... el grande beneficio y utilidad que así a Nos como a nuestros súbditos y na-

(16) SÁNCHEZ OCAÑA, Ramón, y SÁNCHEZ OCAÑA, Máximo: «La legislación minera». *Revista de Derecho Internacional*. Madrid, 1890, p. 21 (B. N. 1/61025).

(17) MESEGUER PARDO, José: «Bosquejo histórico del desenvolvimiento de la minería hispana y su enseñanza técnica». *Minería y Metalurgia*, núm. 154. Madrid, 1954.

turales y bien público de estos nuestros Reynos se seguiría y tendría del descubrimiento, labor y beneficio de las dichas minas de oro, y plata, y azogue, y otros metales de que estos nuestros Reynos son muy ricos y abundantes. Y que nuestra voluntad ha sido, y es, que las dichas Minas y Mineros, se descubran, beneficien y labren continuamente» (18), y a tal fin debe proveerse en dos sentidos o caminos especialmente: a) Facilitar el descubrimiento de nuevas minas y su explotación, así como la de las ya existentes o descubiertas, e incluso la nueva puesta en explotación de las abandonadas; y b) Garantizar la participación real en el beneficio.

Si se sigue la letra de la Ley —que no responde a una cuidada sistemática legal, pero que tampoco es una amalgama desordenada de preceptos—, se va descubriendo el sentido de aquellas dos finalidades mediatas que sirven a la última del beneficio de la Corona.

Parte la Ley de que, por la Pragmática de 10 de enero de 1559, se han derogado todos los beneficios y concesiones que preexistieran sobre las minas —«los mineros» en la letra de la Ley— de oro, plata y azogue, que han sido incorporados al patrimonio real, porque la permanencia de privilegios y mercedes a particulares originarían «daños e impedimentos al beneficio público y al bien común», es decir, como en todo tiempo, se oponía el bien común a los privilegios particulares, para asumir por la Corona lo que estaba en otras manos. Sin embargo se reservaba la necesaria «recompensa» a quienes hasta entonces hubieran sido titulares de aquellas mercedes.

Sobre tal premisa se va a regular el descubrimiento, la pertenencia, la explotación, el abandono y la reexplotación de las minas. Se ocupa también la Ley de la vigilancia, iniciando lo que hoy podríamos llamar «Policía minera». Normas procesales civiles sobre los pleitos que traten de la propiedad de las minas, con el cuidado necesario para evitar que el litigio impida o suspenda la explotación del yacimiento «... porque por la experiencia se ha visto que por Pleytos y diferencias que se mueven sobre posesión de Minas, la labor y beneficio de ellas cesa, y se manda cerrar hasta tanto que se averigüe quién tiene mejor derecho, y muchas veces se están uno, y dos, y más años sin labrarse y beneficiarse: lo qual demás del daño, que las dichas minas no se dexen de labrar y beneficiar tanto tiempo...» (19); preceptos penales con tipificación de delitos agravados por tratarse de materia privilegiadamente defendida por la ley; también unas elementales normas de procedimiento criminal, que sin duda tienden a evitar dilaciones dañosas para la explotación; no se olvida tampoco de otorgar beneficios y privilegios para los mineros —«señores de las minas» en la terminología legal— con exención de cargas comunes tales como alojamiento, albergues, etc. A pesar de todo, se señala una contradicción

(18) *Ordenanzas del Nuevo Cuaderno*, art. 1.

(19) *Ibidem*, art. 63.

porque, pese a su manifestación de que deroga lo anteriormente dispuesto, sin embargo la verdadera cláusula derogatoria queda limitada a cuanto se opusiere a la nueva Ley. Como dice GAMBOA en su maravilloso libro «Comentarios a las Ordenanzas de Minas», «... de cuyas taxativas "solamente y no por otras", parece haberse revocado las demas Leyes y Ordenanzas: con todo, sólo recayó la revocación sobre aquello "en que fueren contrarias" y no en más, quedando por eso insertas en el cuerpo de la Recopilación unas y otras, para que en los casos omisos en las nuevas, se observasen las antiguas, por no ser opuestas ni contrarias a ellas» (20).

En cuanto a la propiedad de las minas se atribuye ésta a quienes las «beneficiaren y descubrieren», aunque sean extranjeros; dice GAMBOA: «para que sean suyas en posesión, y propiedad, y dispongan de ellas, como de cosa propia suya, guardando las disposiciones de la Pragmática...» (21) pero se declara una especial inhabilidad para tal titularidad respecto de los Funcionarios Públicos que enuncia, comenzando por el Administrador General del Rey, Justicias, escribanos, fieles, etc. Pero esta inhabilidad, que pudiera interpretarse como una elemental medida de «independencia judicial», más parece una cautela real tendente a evitar que intereses personales de sus funcionarios o mandatarios pongan en peligro los derechos del Erario real sobre la producción minera. De ahí que se les prohíba la titularidad, no sólo en el área donde ejercen sus funciones, sino «en ningún Partido del Reyno, por sí ni por interposita persona, directa, ni indirectamente en todo el tiempo que usaren los dichos oficios, so pena de privación perpetua dellos...» (22), lo que revela que, más que defender a los súbditos o a los administrados, se defendía a la Corona de las veleidades de quienes deben velar por sus intereses.

Lo que realmente interesa a la Corona es la promoción de la búsqueda, descubrimiento y explotación de los yacimientos, tareas que estaban muy retrasadas o abandonadas bajo la normativa anterior. Y ello se refleja en la absoluta libertad de búsqueda que se concede a todos «incluso extranjeros», como se ha dicho, de tal modo que ninguna persona, estado, clase o dignidad que sea, puede impedir el que se busquen en sus haciendas, dehesas, heredades u otros lugares, porque la potestad real los ha hecho comunes para la expresada finalidad de la búsqueda.

La titularidad se adquiere por el descubrimiento, sin que haya que someterla a la titularidad del fundo donde se encuentre todo ello, sin perjuicio de los derechos que se reservan al propietario de dicho fundo y que, siguiendo lo dispuesto en el capítulo IV, se puede resumir en:

(20) GAMBOA, Francisco Javier: *Comentarios a las Ordenanzas de Minas, dedicadas a S. M. Carlos III*. Madrid. Oficina de Joachim Ibarra. Año MDCCLXI, p. 3.

(21) *Ibidem*, p. 14.

(22) *Ordenanzas del Nuevo Cuaderno*, art. 67.

a) Garantías contra el mal uso o abuso que se pueda hacer de la facultad de búsqueda. Unas genéricas, como las consistentes en que se haga «con cuanto menos daño se pueda causar» y que sea la Justicia quien modere la libertad y el daño. Por ello a los dueños de las minas se les permite hacer «asiento, fundición y hornos» y otras obras consecuentes a la labor principal de las minas, así como a los Rescatadores que negocian el grueso de los metales; pero sin abuso alguno y sin extensión de ello a quienes no sean específicamente mineros.

b) Indemnizaciones y garantías de las mismas, por los perjuicios que se pudieran originar. Específicamente han de indemnizarse los perjuicios originados sobre fundos que se encontraran sembrados en la ocasión de la búsqueda.

La obtención de la titularidad de la mina sigue el Principio «prior tempore potior iure», es decir que quien primero acredita el descubrimiento de la mina es quien adquiere su titularidad. Se regula la inscripción y la determinación de la prioridad; pero la inscripción no es sólo determinante del derecho, sino que constituye también una obligación, y de tal naturaleza que su omisión acarrea la pérdida de la titularidad. Por eso la Ley viene a crear una especie de registro minero al que deben acceder no sólo los nuevos descubrimientos, sino también los que existían a su promulgación, los cuales caducan si no se inscriben o registran en el plazo de dos meses: «sean obligados dentro de dos meses a renovar, y tornar hacer los dichos registros... Y si así no lo hicieren, y cumplieren, y sacaren testimonio del dicho registro, tengan perdido y tengan el derecho que les pertenciere, y pretendieren tener a la dicha Mina, y que la haya la persona que hiciere las diligencias, conforme a esta nuestra Pragmática» (23). Pero la titularidad no es sólo registral; precisa también de una muestra exterior y física: las «estacas», cuya regulación pormenorizada responde al principio antes enunciado de la prioridad, unido al de publicidad, con una especie de edictos orales y escritos, consistentes en el «pregón público en un día de Fiesta, el primero que viniere... y el dicho pregón se fixe en la Puerta de la Iglesia de las dichas Minas, y no habiendo Iglesia en ellas, en la del Pueblo más cercano...» (24). En su minuciosidad las Ordenanzas determinan el tamaño de las estacas, del área del entorno que han de señalar, la angulación de su colocación, etc. Prevé los posibles fraudes, cuya comprobación originará la obligación por parte del defraudador de proporcionar al defraudado hasta los hoyos precisos para colocar las estacas.

También cuida la ley de amparar al primer descubridor de una veta, otorgándole el plazo de diez días para que pueda delimitar sus concesiones. Durante ese plazo nadie podrá denunciar ni registrar minas en ese territorio. Le corresponden además unas medidas de privilegio —160 va-

(23) *Ibidem*, art. 18.

(24) *Ibidem*, art. 24.

ras de largo por 80 de ancho, mientras que las minas que se registren después en el mismo lugar sólo tendrán 120 x 60 (las de oro serán menores: 80 x 40 y 60 x 30)—, y al estacar podrán tomar las medidas en la dirección que consideren más oportuna. ¿Qué quiere decir esto? Las concesiones mineras, y así lo indican las Ordenanzas en su artículo 26 como ya se ha dicho, deberán guardar líneas rectas y ángulos rectos. La estaca fija es el punto de partida del perímetro del rectángulo que compone la posesión del minero. Partiendo de la estaca fija, el primer descubridor podrá extender sus medidas en la dirección que él quiera, mientras que los que vengan después se verán obligados a adaptarse a este primer perímetro, siguiendo el mandato legal de conservar las líneas y los ángulos rectos. Esto se recogerá en la ley de Minas de 19 de julio de 1944, con ligeras variantes, pues otorga a la pertenencia minera una medida de 1.000 m. de lado «desde un punto de partida determinado y fijo, de un modo visible e indubitable».

Pero las pertenencias no tienen un lado común, pues el que «pide estacas» no está obligado más que a guardar la dirección que siguió el que primero estacó. De ello se deriva el que queden parcelas que no han sido registradas, sin dueño. Son las «demasías», cuya utilización también prevén las Ordenanzas. Estas demasías desaparecerán con la Ley de 21 de julio de 1973 que sustituyó la clásica «pertenencia minera» por la moderna «cuadrícula minera». Todo el territorio nacional ha sido dividido en unos cuadrados cuyos lados —que miden 20'— coinciden con los paralelos y los meridianos. De esta forma, iniciando la medición en un punto de partida —la vieja estaca fija— se traza una cuadrícula que evita las demasías, ya que sus medidas forzosamente tienen que coincidir en grados, minutos y segundos.

En cuanto a «las partes que ha de tener S. M. en lo que procediere de las minas», la principal es la referida al canon debido a la Corona por el titular de la Mina. Este canon, proporcional al producto obtenido sin tener en cuenta el costo de la producción, sí que tenía en cuenta la proporción entre mineral tratado y metal precioso sacado. De modo que si la mina sacara más de marco y medio de plata por quintal de plomo, se pagaría al Rey la quinta parte; si por cada quintal de plomo se sacaban de cuatro marcos para arriba, la parte del Rey sería la cuarta, y así progresivamente; es decir, que siendo proporcional al producto obtenido, la proporción aumentaba conforme fuera siendo superior el beneficio.

En las minas de oro, sin proporción alguna, la parte del Rey es la mitad.

Reflejo de la finalidad promotora de la explotación de minas es la disminución de la carga real respecto de las minas que, estando abandonadas y teniendo ya profundidad de al menos diez estados, se «ahondasen» más; supuesto en que la parte del Rey quedaba reducida a la dozava parte si no obtenían dos marcos por quintal de

plomo. Ahora bien, si superaban esta producción, entonces desde el primer momento estaban sometidas a la misma carga que las minas «nuevas».

Para evitar fraudes en el beneficio real se toman una serie de medidas. Una de las más importantes consiste en que la afinación sea una exclusiva de la Corona. Así esta operación, llevada a cabo por oficiales reales, permitía la detracción del canon de la Corona, y sólo los metales grabados con la marca real podían ser objeto de elaboración y de comercio, conminándose con graves penas el incumplimiento o transgresión de la exclusiva y de la necesidad de la grabación: cien azotes y tres años de galeras eran las penas establecidas en salvaguarda de estos preceptos.

Capítulo importante es el relativo a la explotación, en el que podemos recoger dos tipos de prevenciones legales. Unas constituyen reglas propias de la explotación, tendentes siempre a su promoción directa. Otras son beneficios indirectos de quienes se dedican a la explotación como titulares de las minas. Entre las primeras pueden señalarse la adjudicación del producto, en el supuesto de encuentro de dos minas, a quien ha ahondado más, lo que se justifica aludiendo a «la diligencia y cuidado que puso en ahondar más que su vecino» (25), la acumulación de minas por descubrimientos contiguos, y las reglas sobre posesión. También merece incluirse en esta protección de la explotación el precepto de mantener al menos cuatro personas por pertenencia —puesto que no se las va a tener inactivas— aunque en la Ley se justifica esta obligación con el necesario cuidado para no perjudicar a las contiguas. De esta medida volveremos a hablar al tratar de las elementales reglas de policía minera antes aludidas. La omisión del mantenimiento de estas cuatro personas está penalizada hasta con la pérdida de la titularidad, si se prolonga por más de cuatro meses. GAMBOA aclara que estos cuatro meses han de ser continuos para evitar el pueblo de tiempo en tiempo, por comodidad. Pero a veces se pueblan dos o tres días antes de acabar el cuatrimestre, con lo que burlan la ley (26). Se incentiva la denuncia de la situación con el ofrecimiento de la titularidad al denunciante, pero aunque no haya denunciador pierde la mina, incluso el que sigue trabajando en ella. Parece dura la ley pero «...la tolerancia contraria produce abusos, confusión y litigios con mayor agravio del público» (27). Sin embargo la ley es bastante progresiva cuando regula este supuesto, porque en primer lugar prevé que la denuncia se haga pública mediante el pregón oral y la publicación de la denuncia, otorgando al titular un plazo de cuarenta días para personarse y justificar su omisión. Además, y aquí es ejemplar, admite la posibilidad de que se acredite la concurrencia de causas que justifiquen aquella omisión, aludiendo expresamente a supuestos de lo que

(25) *Ibidem*, art. 30.

(26) GAMBOA: *Op. cit.*, p. 331.

(27) *Ibidem*, p. 333.

en técnica jurídica se denomina «caso fortuito» o «fuerza mayor», y en las Ordenanzas se nombra «justo impedimento», y entiende guerra, mortandad o hambre. Sólo estos tres casos y en ello la ley es taxativa pues el castigo va contra la negligencia «y atendida la naturaleza y la razón, por ningún otro caso puede dexar de aver gente para un pueblo tan corto como el de quatro personas» (28).

Otro aspecto importante en la explotación, dentro de la línea promotora de la ley es el referente al supuesto de la titularidad colectiva: «las Compañías». La minería es cara por su propia naturaleza, por tanto es frecuente el asociarse para su explotación, ya que hay pocos individuos capaces de sufrir los costos. La opinión de cualquiera de los socios sobre la conveniencia de tener ocupado un mayor número de personas tiene el favor de la ley, frente a los remisos, quienes son obligados a contribuir para proporcionar más mano de obra. También regula cómo han de hacerse los repartos entre los socios.

Entre las medidas protectoras pueden señalarse los beneficios y privilegios otorgados a las gentes que trabajan en las minas: suministros, viviendas, libertad de tener ganado y bestias como si fuesen vecinos del lugar, gozar de los pastos siempre que los abonen, derecho de caza y pesca en un entorno de tres leguas a la redonda del coto minero, no pagar herbajes, instalación de buitrones, casas, ingenios y fundiciones necesarios para la explotación, aunque se hallen en un fundo ajeno, así como la ya aludida exención de contribuciones a cargas comunes de alojamientos, etc.

En cuanto a la vigilancia de los cotos mineros —los reales de minas— encontramos que, atendido el momento histórico en que las Ordenanzas son promulgadas, son curiosas algunas de las medidas que se adoptan en orden a prevenir incidencias en las explotaciones. Pueden señalarse entre ellas las referidas a las inundaciones que origine la mina de menor profundidad, y que deben ser evitadas, incluso con la intervención de la autoridad para que «lo mande pagar de manera que el daño cese para se poder labrar, y beneficiar, y se desagrave a la persona que lo recibió» (29). También se regula cuál debe ser la situación de conservación y explotabilidad de una mina cuando sea objeto de compra-venta, el vertido de tierras para que «ninguna persona... pueda hechar en Mina, ni en pertenencia agena, la tierra que se sacare dela dicha su Mina...» (30), y los lavaderos «necesarios para labrar los metales de las dichas Minas». La Ley hace una decidida defensa del derecho de propiedad —«...que ninguna persona sea osada a entrar a buscar, ni sacar, ni beneficiar metal en terreno, ni labadero, ni escorial ageno, que tenga dueño conocido» (31)—, que también tiene un im-

(28) *Ibidem*, p. 333.

(29) *Ordenanzas del Nuevo Cuaderno*, art. 40.

(30) *Ibidem*, art. 46.

(31) *Ibidem*, art. 48.

portante reflejo en la prevención del castigo del copropietario o cotitular que injustamente tomare del común, a quien se condena a la devolución de lo detraído y a la pérdida de otro tanto en beneficio del denunciador.

La preocupación porque los litigios puedan influir negativamente en la explotación de las minas, retardándolas o disminuyendo su intensidad, se refleja en las prevenciones procesales y sobre la competencia jurisdiccional. Sobre todo se procura que se señale un titular provisional de la explotación, que la lleve adelante, si bien no se olvida la necesaria garantía del posible titular, por lo que se exige un afianzamiento, y se regula una anticipada «administración judicial» con la determinación de cuáles son los gastos que deben justificarse, de qué ingresos se detraerán y el destino de los beneficios que puedan obtenerse.

Se declara que son las Justicias del partido las competentes y se prevé que el único órgano al que se puede acudir en apelación sobre estos jueces de instancia es la Contaduría Mayor de Hacienda, verdadero «Tribunal» en materia minera, porque su exclusiva y excluyente competencia en apelación no alcanza sólo a los pleitos civiles, sino también a las sentencias recaídas en materia sancionadora o delictiva. Es otra muestra de las preocupaciones y medidas que se adoptan para obviar el peligro de que las dilaciones de procesos ordinarios dificulten las explotaciones mineras.

Estas Ordenanzas, que rigieron en un principio en todos los territorios de la Corona, «contribuyeron en gran manera al reglamento de las minas de el Perú (...) Para el Reyno de México, y sus Minas, son la principal norma y pauta...» (32). De su minuciosidad y avanzado estudio nos dará idea el pensar en su dilatadísimo periodo de vigencia. Y aún hoy día no podemos decir con plena convicción que estén derogadas del todo.

En el preámbulo de la Ley de Minas de 19 de julio de 1944 se decía que «Nuestro Derecho clásico, del que fueron exponente ejemplar las Ordenanzas de Felipe II de 22 de agosto de 1584, descansaba sobre los principios siguientes: el de Regalía, que atribuía la propiedad de las minas a la Corona, representante entonces del Estado y de la Nación; el de cesión de su aprovechamiento a particulares, con duración de las concesiones por tiempo indefinido mientras se cumplieran los preceptos esenciales; el de participación del Estado, como verdadero propietario de las minas, en los beneficios, regulado en forma de canon sobre la producción; la obligación de efectuar los trabajos de reconocimiento, según preceptos determinados, y de explotar las minas según determinadas condiciones y, finalmente, jurisdicción especial para los asuntos mineros y metalúrgicos.

Estos mismos postulados que informaron la legislación

(32) GAMBOA: *Op. cit.*, prólogo.

tradicional vinieron a estar vigentes en nuestro Imperio colonial, y a su amparo nacieron y tomaron importancia las explotaciones mineras en América.

La vigente Ley de Minas data de 21 de julio de 1973, modificada por otra de 5 de noviembre de 1980. En rigor, la legislación vigente no es más que una adaptación de los preceptos de la Ley de 1944 al cuadro general en que se desenvolvía la economía industrial del país, pero sin variar sus fundamentos, según se expresa en su preámbulo. En la presentación del PLAN NACIONAL DE LA MINERIA en el año 1970, en conferencia pronunciada por el Letrado don Miguel Angel Pérez Morales al presentar el anteproyecto de la nueva Ley de Minas, que dio lugar a la vigente de 1973, decía:

«La Ley de Minas de 19 de julio de 1944 ha cumplido ya veintiséis años de vigencia. Desde que se promulgó han sido muchos los avances de la ciencia y de la técnica.

Al abordar el estudio de su reforma se ha llegado a la conclusión que no era necesario reformarla. Únicamente se precisaba su actualización y corrección de algunos detalles que la experiencia de su aplicación aconsejan, más que modificar, aclarar. Es el mejor elogio que de la vigente Ley de Minas se puede hacer» (33).

Es decir que, si prescindimos de la forma para quedarnos sólo con el fondo de los sucesivos reglamentos que informan la legislación minera ya en nuestro siglo XX, podemos arriesgarnos a deducir que no dejan de ser una mera «puesta al día» de lo que Felipe II dispuso hace cuatro siglos.

Sí pasó por alto el Rey Prudente una materia que, andando el tiempo, iba a tener una importancia capital, aunque en el siglo XVI a nadie se le hubiese ocurrido pensar: nos estamos refiriendo al carbón.

Pasarán muchos años —habrá que esperar al último tercio del siglo XVIII— hasta que Carlos III, a causa de la importancia creciente del «carbón de piedra» y sus minas, se vea obligado a incluirlo en la legislación, bien que segregado de las otras minas. El 15 de agosto de 1780 se dicta la primera pragmática que hace referencia al beneficio de las minas de carbón de piedra, concesión de privilegios y gracias por un período de tiempo de veinte años a sus descubridores. Se trata de fomentar su búsqueda y explotación por tres razones principales: a) abundancia de carbón en el Reino; b) escasez de monte; c) aumento del consumo de leñas en fábricas y pueblos (hemos entrado en la sociedad pre-industrial). Para ello se ordena que:

— Se aplique a los descubridores las leyes y ordenan-

(33) PÉREZ MORALES, Miguel Angel: «Anteproyecto de la Ley de Minas». *Separata de la Revista Industria Minera*, números 118, 119 y 120. Dirección General de Minas. Madrid, 1970.

zas de minas, sin más diferencia que la de no estar sujetos al derecho de quinto, diezmo, treintena ni otros exigidos por la Real Hacienda en las minas de metales.

— El ganado necesario paste sin embarazo en dos leguas en contorno de ellas.

— Se les suministre pólvora, azufre y sal necesarios para las operaciones, pudiendo poner el escudo de las Armas Reales en las minas y almacenes con la inscripción «Reales Minas». Podrán tener para la custodia de las minas los soldados Inválidos precisos a las órdenes del Director.

— Podrán utilizar toda la madera, salvo la reservada al Real servicio de Marina.

— No serán molestados los correos con tal que lleven el sello con la inscripción de la mina (34).

Poco después se dictan las reglas para el beneficio de estas minas. La R. O. de Carlos III, sancionada por el Consejo por Cédula de 26 de diciembre de 1789, dice que, para allanar las dificultades surgidas sobre el uso del carbón y para simplificar el método de beneficiarlo, ordena:

1. Al no ser el carbón metal ni semimetal ni cosa alguna comprendida en las leyes que declaran las minas propiedad del Real Patrimonio, sea libre su beneficio y tráfico por mar y tierra para todo el Reino y no se impida su extracción para comerciar con él en el extranjero.

2. Las minas pertenecerán al dueño del terreno y no al arrendatario o al enfiteuta, sin que necesite permiso de ningún tribunal para beneficiarlas, arrendarlas o venderlas. Pero si, después de descubierta, se niega a usar su derecho en alguno de dichos modos para beneficio de todos, el Consejo, el Intendente de la Provincia o el Corregidor del partido tendrán facultad para adjudicar su beneficio al descubridor, dando éste al propietario la quinta parte del producto.

3. En los terrenos de Propios, sean de los pueblos y en los Comunes de los vecinos. Pero en ambos casos, si no se benefician, se adjudiquen al descubridor en los mismos términos que los particulares.

4. Nadie puede hacer catas ni calas en terreno ajeno sin permiso del dueño. El ser descubridor no le da derechos.

5. Deroga la R. C. de 15 de agosto de 1780 (Ley I) y cualquier otra anterior que no sea conforme.

Esta legislación se verá completada por los R. D. de 1790 y 1792 dados por Carlos IV y en los que, aunque mantiene la Ley de 1789 añade algunos puntos aclaratorios y, sobre todo, decreta el libre comercio del carbón y mantiene el libre aprovechamiento de estas minas pero «la Corona conservará la suprema Regalía de incorporar

(34) Ley I, Tit. 20, Lib. IV, Nov. Rec.

en sí las minas que necesite o conviniere para el uso de la Real Marina, fundiciones, máquinas y otro objeto del servicio público...» (35).

La unificación de la legislación minera está en marcha.

3. LOS TESOROS DE AMERICA. LEGISLACION DE INDIAS

No vamos a entrar aquí en la inagotable polémica de cuál fue el motor que impulsó la Conquista: si el oro o el Evangelio. Honradamente creemos que sin el señuelo del oro los españoles no se hubiesen aventurado a recorrer miles y miles de kilómetros de terreno inhóspito, selvas, ciénagas, desiertos, cordilleras aparentemente insalvables, peligros mil. Pero también estamos convencidos que, aun sin él, los Reyes Católicos hubiesen seguido en su empeño, muy en la mentalidad de la época, de evangelizar y ganar para el cielo a sus nuevos súbditos, al tiempo que ensanchaban las tierras de la Corona heredada de sus mayores. Pero no es ése el tema que nos ocupa. Colón llegó a América y allí se hallaron unos tesoros inconmesurables. Eso fue así y de eso vamos a partir.

Ya desde los primeros momentos de la Conquista aparece la figura del minero. En su segundo viaje Colón desembarca en La Española con «mucha parte de gente trabajadora... para sacar el oro de las minas» (36).

En 1494 se envía a los Reyes un memorial pidiendo que enviasen lavadores de oro y mineros de Almadén, aunque las explotaciones en las islas nunca dieron lo que de ellas se esperaba. Por ello se lanzarán a la conquista de la Tierra Firme. Al llegar Colón a las costas de Veragua, en su cuarto viaje, encuentra algunos yacimientos de oro que no fueron importantes, como no lo fueron ninguno de los hallados en el istmo. La conquista de la Nueva España y el descubrimiento de sus minas de plata será lo que marque el comienzo de la minería a gran escala en el Nuevo Mundo.

El insigne ingeniero mejicano don Carlos Prieto defiende la tesis de que la minería, la actividad minera, fue la creadora de los pueblos y naciones de Hispanoamérica: «El descubrimiento del Nuevo Mundo y el rápido conocimiento y ocupación de todo un continente en menos de sesenta años, fue debido al hecho de que desde el primer viaje de Colón se encontraron indicios de oro en forma de pepitas y joyas, lo que impulsó la búsqueda y la explotación de los yacimientos de metales preciosos, gracias a lo cual se formaron, sobre los nuevos territorios, pueblos y naciones con personalidad propia, de cultura helé-

(35) Ley IV, Tit. 20, Lib. IX, Nov. Rec.

(36) DE LAS CASAS, Bartolomé: *Historia de las Indias*. Libro I, cap. LXV.

nica, cristiana y europea, parte importantísima del mundo occidental» (37).

Si el proceso que determinó la profunda y rápida romanización de la Península Ibérica, quince siglos antes, fue resultado de la extensión de la minería, este proceso va a repetirse en las tierras americanas como una continua repetición de la Historia.

Los tesoros de Atahualpa y Moctezuma están en la mente de todos, desde el Rey hasta el último aventurero. Y la riqueza mineral de las nuevas Tierras se va haciendo realidad tangible. Bargallo (38) —a quien seguimos en aquellos asuntos relacionados con minas— cree que los primeros mineros estables fueron los que Cortés envió a extraer oro a Tustepeque y de los que Bernal Díaz del Castillo nos da la relación: el viejo Pizarro, el chocarrero Cervantes, Barrientos, el viejo Heredia, Escalona el Mozo y Alonso Hernández Carretero.

Hacia 1525 aparecen las primeras minas de plata en Morcillo (Jalisco) y las de Villa del Espíritu Santo (Compostela). Poco después, en 1530, las de Zacualpan y Sultepec en el estado de México y Zumpayo en el de Guerrero; en 1534, las de Tlalpujahuá en Michoacán, Amatepec en México y Taxco en el de Guerrero, donde antes que la plata se había explotado cobre y estaño.

El propio Cortés benefició plata en Taxco, levantando allí un poblado «con sus casas e yglesias y tres yngenios, uno de agua de moler metal con ocho mazos moliente y corriente, otro de lavar metal con sus tinajas y molientes, otro de repasar metales con su rueda y lo demás necesario» (39). La primera galería que excavarían los españoles en el Nuevo Mundo sería el «Socavón Cortés», en Tehuilotepic, cerca de Taxco, de unos 90 metros de largo y por el cual podía entrar un hombre a caballo (40).

Los Reales de minas se van multiplicando. Los de Zacatecas, en 1546; los de Guanajuato, en 1548, aunque hasta diez años más tarde no se descubriría la famosa «Veta Madre» que pondría a estas minas a la cabeza de la producción. En la misma época, los de Santa Bárbara, en Chihuahua. En 1552 se descubren las minas de Pachuca y Real del Monte, en el estado de Hidalgo y la extraordinaria mina de hierro del cerro de Mercado, cerca de Durango. En 1553, las de Fresnillo, Mazapil, Sombrerete y Chalchihuites en el estado de Zacatecas; y en 1555 las minas de Temascaltepec en el estado de México. Esto en lo que respecta al Virreinato de la Nueva España. Como

(37) PRIETO, Carlos: «La Minería en el Nuevo Mundo». *Revista de Occidente*. Madrid, 1968, p. 32.

(38) BARGALLO, Modesto: *La Minería y la Metalurgia en la América española durante la época colonial*. México, 1955.

(39) A. G. I. Manuscrito. Citado por C. PRIETO en *op. cit.*, p. 67.

(40) PRIETO, C.: *Op. cit.*, p. 68.

puede observarse, en un período de tiempo inverosímilmente corto, se ponen en explotación minas repartidas por los cuatro puntos cardinales del reino. A la par van fundándose poblaciones que irán creciendo y enriqueciéndose al amparo de ellas. Y así surgen Taxco, Guanajuato, Zacatecas, etc.

Si seguimos la ruta de Pizarro, tenemos algo semejante. La vista de los tesoros que encierran los templos y las casas reales del Cuzco reafirman en los conquistadores sueños y convicciones. Todos los que realizan alguna expedición regresan ponderando las riquezas auríferas que encierra el país.

Desde el principio de la Conquista se explotan los placeres de los ríos Cauca, Nechi y Magdalena, al tiempo que se van fundando poblados mineros. Entre 1536 y 1551 surgen las ciudades de Popayán, Caboto, Santander, Cali, Cartago, Santa Fe de Antioquia, Arma, Río Negro, Remedios, San Sebastián del Oro, Guadalajara de Buga, etc. En todas ellas se beneficia oro en mayor o menor cantidad. Hacia 1571 se empiezan a explotar los yacimientos de Pasto.

También se establecen explotaciones de oro en el área ecuatoriana en Zaruma, Loja y Jaén. Allí se fundan las ciudades de Medina, Sevilla, Logroño y Zamora. Pero su existencia fue efímera.

Las de la altiplanicie boliviano-peruana, mucho más ricas, se explotaron a gran escala. Desde 1542 los yacimientos de Carabaya, Oruro, Asillo y Asaugara están en pleno rendimiento. De este último salió, según la tradición, una pepita de cuatro arrobas y forma de cabeza de caballo, que se regaló al emperador Carlos (41).

También desde época temprana se conocen las minas de plata de Porco, en la provincia boliviana de Charcas, de las que Cieza dice que «fue antiguamente cosa riquísima y ahora lo es, y se cree que será siempre».

Pero será en 1545 cuando los descubrimientos alcancen su cénit. Un indio llamado Guallpa, al arrancar un matorral, deja al descubierto un hueco: la entrada de las minas del Cerro de Potosí. Guallpa querrá guardar el secreto, pero será descubierto por su compañero Guanca, quien lo denunciará a su amo Villarroel. La historia de Potosí, tan fantástica como sus propias minas, comienza aquí. Casi al mismo tiempo nace la ciudad y comienza su rápida ascensión. El censo de 1611 nos dice que ya ha alcanzado los 150.000 habitantes. Cuentan las crónicas y no paran de esta población, los gastos fastuosos, fabulosas fiestas y sobre todo el alto nivel de vida alcanzado, sus mercados únicos y singulares, donde se encuentra toda clase de objetos preciosos que llegan de Europa y Asia, etcétera. Su fama se extiende por el mundo entero, al igual que las ingentes cantidades de plata que salen de su Cerro.

(41) *Ibidem*, p. 81.

¿A quién pertenecen todas estas minas?

En el Perú pre-colombino las minas pertenecían al Inca, aunque las explotaban los Curacas o, en algunos casos, los particulares. En Méjico también pertenecían al emperador y eran explotadas, según el derecho consuetudinario azteca, por los propios vasallos mediante una institución que tenía muchos puntos en común con la Mita. Al producirse la anexión de todas estas tierras a la Corona de Castilla, comienzan a regirse por la ley castellana según la cual el Rey es el dueño de todos los yacimientos mineros, aunque la explotación pueda realizarla cualquier particular siempre que tenga la debida autorización y pague los tributos estipulados. Así vemos cómo, en fecha tan temprana como 1504, se da una Real Cédula en la que se señala que la Corona ha de haber el «derecho de quinto» —o sea, un 20 por 100— sobre el oro, la plata o cualquier metal que se obtuviere, sin deducir costos ni descuento alguno.

Pero los problemas que van a surgir en Indias nada tienen que ver con los de la Península. Hay que ir adecuándose a las realidades que salen al paso, y así irán apareciendo reales cédulas y autos acordados que tratarán de colmar los vacíos legales existentes. Así las Leyes de Burgos de 1512, primeras que tratan de regular las relaciones con los indios, procurando impedir abusos por parte de los españoles; o las de Valladolid de 1513, donde se exceptuó del trabajo minero a las mujeres. Pero no se trata de una legislación minera sistematizada, sino más bien de un estatuto que intenta regular y humanizar las relaciones del encomendero y los encomendados (42).

No vamos a entrar aquí en los pleitos y querellas más o menos jurídicos que surgieron como consecuencia del trato al indio y sus implicaciones morales, tema que ha hecho verter ríos de tinta y fuente inagotable de discusión, tanto ayer como hoy. El objeto de este estudio son las leyes referidas a la industria extractiva y a ellas vamos a atenernos.

Felipe II, como ya queda dicho más arriba, será el que se preocupe de dar una legislación minera completa y coherente. Primero serán las Ordenanzas Antiguas, dadas en Valladolid en 1559, a las que seguirán las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno de 1584, que en Castilla estarán en vigor, con ligeras variaciones, hasta 1825, y en Indias hasta 1680, en que se sanciona la «Recopilación de Indias», queriendo reunir en un solo cuerpo todas las leyes de organización de gobierno y régimen civil y económico de los Reinos de allá.

Las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno han sido comentadas en el apartado dedicado a la legislación peninsular. Aquí nos interesan las modificaciones y anexos introdu-

(42) MUÑOZ OREJÓN, Antonio: *Ordenanzas Reales sobre los Indios (Las Leyes de 1512-1513)*. Anuario de Estudios Americanos, XXIII. Sevilla, 1956.

cidos debido a la necesidad de solucionar los conflictos que surgen en las provincias de ultramar con respecto a los indios y su derecho a descubrir y beneficiar minas.

Cuatro son los hitos que marcan la legislación minera hispanoamericana:

- 1574 — Ordenanzas del Virrey Toledo
- 1584 — Ordenanzas del Nuevo Cuaderno
- 1680 — Recopilación de Indias
- 1783 — Ordenanzas de la Nueva España

La minería en las provincias hispanoamericanas formó un organismo particular que requería unas normas particulares. En un principio se trató de regirlo por las mismas Leyes de Castilla, pero la realidad era tan distinta en uno y otros Reinos que pronto hubo que intentar adecuarse a las necesidades reales. El primero que lo hizo fue el Virrey del Perú don Francisco de Toledo en las Ordenanzas que llevaron su nombre. Constaban en un primer momento de 10 Títulos que comprendían 90 ordenanzas:

- I. De los descubrimientos, registros y estacas.
- II. De las Demasías.
- III. De las medidas y amojonamientos.
- IV. De las cuadras.
- V. De las labores y reparos.
- VI. De las entradas de unas minas en otras.
- VII. De los despoblados.
- VIII. De los socavones.
- IX. Del Alcalde Mayor de Minas y orden que se ha de guardar en la determinación de los pleitos.
- X. De los desmontes, trabajo y pago de los indios (43).

Estas Ordenanzas, completadas más tarde con las dictadas por don García Hurtado de Mendoza en 1593, las del Virrey Velasco en 1602 y 1603 y otras posteriores, formaron las «Ordenanzas del Perú», compiladas por el Licenciado don Tomás de Ballesteros por orden del Virrey Melchor de Navarra y Rocaful. Dictadas en un momento de recesión económica, debida en parte a la baja de la producción minera —conocimientos técnicos muy limitados y en ocasiones arcaicos— y al descenso de la población, es natural que la atención preferente de estas ordenanzas fuese dirigida precisamente a regular las relaciones del español con el indígena, favoreciendo en lo posible a éste, y a intentar medidas que procurasen la recuperación y producción mineras. Modelo de legislación territorial, traspasó las fronteras del Perú y se aplicó al resto de los Reinos en aquellos casos en que las leyes locales no fueron suficientes.

En 1680 Felipe IV sanciona las «Leyes de Indias» o «Recopilación de Indias». No es sino un intento de adecuar las Ordenanzas del Nuevo Cuaderno reuniendo en

(43) LEVILLIER, Roberto: *Gobernantes del Perú. Cartas y papeles del siglo XVI*. Madrid, 1925, t. VIII.

un solo cuerpo las leyes de todos los Reinos, como ya hemos dicho.

Pero el espíritu de las viejas Ordenanzas en nada se ajustaba a las realidades americanas. Había que introducir innovaciones. Los avances científicos, jurídicos y sociales alcanzados en el siglo XVIII así lo requerían, y así lo propugnará el abogado criollo don Francisco Xavier Gamboa en sus «Comentarios a las Ordenanzas de Minas», que dedicó a Carlos III.

Comienza a perfilarse lo que será el gran monumento jurídico de la legislación hispana en sus territorios americanos: las Ordenanzas de Nueva España. Su gestación será larga, pero valdrá la pena, pues no sólo regirán en todos los Reinos hispanos de América y Filipinas, sino que además las legislaciones de los diversos países nacidos tras la emancipación, se inspirarán en ellas. Su fin inmediato: renovar la decaída industria minera en Méjico.

En carta de 24 de diciembre de 1771, el Virrey de Nueva España, don Martín de Mayorga, indica a S. M. la oportunidad de dar nuevas ordenanzas generales de minas con el fin de corregir el estado decadente de aquéllas y los abusos, fuente de continuas quejas. Reunido en consulta el Consejo Supremo de Indias el 12 de junio de 1773, resuelve mandar al Virrey —y se hace por R. C. de julio del mismo año— que inicie el estudio de nuevas ordenanzas, añadiendo a las existentes lo que conviniese al estado real de las cosas, así como todo aquello que solicitaba en su carta. Se inicia así la correspondencia entre el Virreinato y la Metrópoli sobre la conveniencia de revisar las leyes mineras.

Con fecha 26 de septiembre de 1774 el Virrey envía al Soberano la Representación impresa por la que los mineros de aquellos dominios pedían no sólo la formación de un Cuerpo como Consulado, sino también establecer un Banco de Avíos para fomento de las minas, crear un colegio metalúrgico para enseñanza práctica de la maquinaria y técnica y la formación de un nuevo Código de ordenanzas de minería.

En realidad, podemos retrasar el comienzo de la operación al año 1765, en que Carlos III ordenó a don José Gálvez que pasara a Nueva España con el fin de visitar el Virreinato, cosa que hizo durante siete largos años (1765-1772). En sus desplazamientos por todo el Reino le acompañó el matemático e ingeniero don Joaquín Velázquez y Cárdenas de León, Catedrático de la Real y Pontificia Universidad de Méjico, ilustre criollo muy interesado en el tema de la minería.

Vuelto Gálvez a la Península, Velázquez, que había quedado al frente del gremio minero, en unión de Juan Lucas de Lassaga fueron recopilando experiencias, críticas, necesidades, quejas y todo cuanto se relacionaba con la minería. Con ello formarán un grueso volumen, que envían al Rey en forma de proposición. Su título: «Repre-

sentación que a nombre de la Minería de esta Nueva España hacen al Rey Nuestro Señor los apoderados de ella D. Juan Lucas de Lassaga, Regidor de esta nobilísima Ciudad y Juez Contador de Menores y Albaceazgos, y D. Joaquín Velázquez de León, Abogado de esta Real Audiencia y Catedrático que ha sido de esta Real Universidad», que consta de 78 apartados, con unas notas añadidas por los propios autores. Ello será la base sobre la que se asienten las Ordenanzas de Nueva España.

Pero volvamos al nutrido epistolario que mantuvo el Virrey Mayorga con el Consejo de Indias. Nueva consulta el 7 de agosto de 1773, formada por cuatro ministros. Se acuerda, y así se comunica al Virrey por R. O. de 12 de noviembre, que debe «establecer un cuerpo formal y unido a imitación de los Consulados de Comercio, para que de este modo lograsen sus individuos la permanencia, fomento y apoyo de que carecían» (44).

Por fin se preparó un anteproyecto de las Reales Ordenanzas que fue enviado al Rey en agosto de 1779, acompañado de los documentos pertinentes: petición formal del Fiscal de la Real Audiencia y parecer del Asesor General del Reino. El 22 de mayo de 1783, S. M. Carlos III promulgó la Nueva Ley. Constaba de 18 Títulos:

I. Del Tribunal General de la Minería de Nueva España.

II. De los Jueces y Diputados de los Reales de Minas.

III. De la jurisdicción en las causas de minas y mineros y del modo de conocer, proceder, juzgar y sentenciar en ellas en primera, segunda y tercera instancia.

IV. Del orden con que se ha de proceder en la sustanciación y determinación de los juicios contenciosos en los casos de impedimento o vacante de algunos de los Jueces de Minería y de las recusaciones en la primera, segunda y tercera instancias.

V. Del dominio radical de las minas: de su concesión a los particulares; y de derechos que por éstos deben pagar.

VI. De los modos de adquirir las minas: de los nuevos descubrimientos, registros de vetas y denuncias de minas abandonadas o perdidas.

VII. De los sujetos que pueden o no descubrir, denunciar y trabajar minas.

VIII. De las pertenencias y demasías, y de las medidas que en adelante deben tener las minas.

IX. De cómo deben labrarse, fortificarse y ampararse las minas.

X. De las minas de desagüe.

XI. De las minas de Compañía.

XII. De las operaciones de minas, y de Haciendas o Ingenieros de beneficio.

XIII. Del surtimiento de aguas y provisiones de las minas.

XIV. De los Maquileros y compradores de metales.

XV. De los aviadores de minas, y de los mercaderes de Platas.

XVI. Del fondo y Banco de Avío de Minas.

XVII. De los Peritos en el Laborío de las Minas y en el beneficio de los metales.

XVIII. De la educación y enseñanza de la juventud destinada a las Minas y del adelantamiento de la Industria en ellas.

XIX. De los privilegios de los Mineros.

Todo queda minuciosamente estipulado, nada se deja al azar. La composición de las instituciones, las reglas para la elección de los cargos, su duración, condiciones requeridas y fórmulas para evitar fraudes y abusos. Así, los cargos serán renovados siempre por mitad o por tercios para evitar lagunas en el gobierno; su duración será por un tiempo predeterminado. Un cargo electo nunca podrá ser rehusado, so penas graves. Lugares y formas de votación. Multas y penas para quienes incurran en falta. Condiciones requeridas para ser candidato a cualquier empleo. Privilegios y exenciones. Modos de formar tribunales para cada caso. Nada escapa al legislador. Y aún añade una cláusula sobre asesorías: «En los puntos de Derecho y que no estuvieren claros en estas Ordenanzas se asesorará el Real Tribunal con Abogado de Ciencia y Conciencia a su libre elección» (45).

Las Ordenanzas dejan claro que las Minas son una regalía de la Corona, tanto «por su naturaleza y origen, como por su reunión dispuesta en la Ley quarta, Título trece, Libro sexto de la Nueva Recopilación» (46). Partiendo de este presupuesto, la Corona otorga a sus vasallos su propiedad y posesión en cualquier forma que la hubieren. Se señalan las contribuciones que han de pagar a la Real Hacienda, posesión de minas y forma de beneficiarlas según que fuesen nuevas, abandonadas, vetas nuevas en minas en explotación, misma veta en varias minas contiguas, etc. Se establecen los plazos para la inscripción, forma de hacerla, penas para el que incurra en falta. Se dan reglas para beneficiar placeres, desechadores, escoriales, minas de piedras preciosas y metales en general, calamina, sal gema, etc.

Regula las actividades mineras, exceptuando de ellas a los clérigos de ambos sexos, a cualquiera que ostente un cargo público, ya sea de los asientos o de los Reales de Minas. Tampoco podrán denunciar minas, ni directamente ni a través de criados.

El terreno otorgado a cada mina había sido medido siempre sobre la superficie. Ahora se va a hacer de una

forma más científica y justa: por el interior y variando las medidas de acuerdo con la inclinación y grosor de la veta. También queda reglado el caso del minero que, continuando sus labores, invada la mina contigua. Lo que han de hacer aquellos que han tenido excesivos gastos en las mejoras de las minas. Qué se ha de hacer con las abandonadas, contraminas, socavones y minas de desagüe. Formación de agrupaciones o Compañías de mineros; contratiempos surgidos por el fallecimiento de miembros de la Compañía. Todo está previsto y especificado, guardando siempre el espíritu que conformaba las leyes de Felipe II.

El problema social también está presente. Derechos de los jornaleros; horarios; salarios; pagos; deudas; raciones. Se estipula que cada cual ha de tener una libreta donde se han de asentar todas las operaciones: anticipos, préstamos, pagos... Se prohíbe a las Cofradías que pidan a los jornaleros ningún tipo de ayuda monetaria en concepto de limosnas, demandas o cornadillas. Los tequios —lo que ha de entregar el jornalero al dueño— ha de ser estipulado por las Justicias. Asimismo toma medidas en cuanto a los indios tanto libres como de repartimiento, de guatequil y de mita. El dueño de la mina tendrá entera libertad de contratación, así como los operarios de contratarse en los términos que acuerden.

Los negros, los vagabundos, los ociosos podían ser obligados a trabajar en las minas. Para evitar el abandono del trabajo, no se permitía contratar operarios que no llevaran referencias del anterior amo.

Los hurtos de metales constituyen delito que será castigado conforme a las circunstancias y cuantía de lo robado, teniendo muy en cuenta si es reincidente el ladrón. Los condenados por deudas a prisión podrán cumplir la condena dentro del recinto del Real, trabajando en la mina; por este procedimiento pueden ganar un jornal con que mantener a su familia y poder pagar las deudas.

Muy importante para las minas es el agua, tanto para beber como para las labores de la propia mina. A ella se dedican varios artículos de la ley ordenando que se mantenga limpia, cuidando de no contaminarla con los minerales. Las Justicias deben girar visitas periódicas de reconocimiento a los manantiales, ríos y arroyos, cuidando que conserven su caudal. También son muy necesarios, y de ellos se ocupan las ordenanzas, los pastos para los animales de tiro y carga de las minas; estos pastos deben estar a los aldeaños de los cotos mineros y ser comunales. El paso del ganado de las minas debe ser libre por todos los campos, prados y egidos públicos y comunes de cualquier Real de Minas o lugares, sin que por ello tengan que pagar costa alguna. También gozarán de exención en los de propiedad particular.

Con el fin de evitar abusos, se dictan normas sobre los precios de artículos de primera necesidad que han de venderse en los Reales. Los comerciantes de grano, ganado y otros artículos también se benefician de exencio-

nes de paso. En relación con los abastos y comercio está la especial atención que se dedica al estado de los caminos y a la construcción de puentes. La madera, de importancia primordial para el beneficio minero, es causa de preocupación por los montes y selvas de los alrededores: se regula la corta, venta y acarreo de la madera, repoblación de los lugares donde la corta ha sido excesiva, precios de la madera, leña, carbón, etc.

Los pozos de agua y sal gema, el azogue, las piedras preciosas: su compra-venta. Los costos, los beneficios y los fraudes.

Capítulo aparte merecen los Avíos (préstamos y utensilios). Con el suculento fondo dotado otorgado por S. M. al gremio de la Minería, se establece un primer Banco de Avíos. Se regulan los créditos, abonos, premio de la plata, inversiones, relaciones con los mercaderes, sistema de pesos y medidas, atribuciones de los aviadores con respecto al producto de las minas; fraudes con los préstamos destinados a las Minas o estafas y engaños en las solicitudes.

El nombramiento de los cargos administrativos del banco también está sujeto a riguroso control, así como las competencias de cada uno. Es decir, que no se deja ningún cabo suelto en todo aquello relacionado con el fomento de la minería.

En cuanto a las mercedes y privilegios concedidos a los mineros, también se hallan especificados. La «profesión científica de la Minería» (47) tiene privilegio de Nobleza; los dueños de minas y los que trabajan en ellas no podrán ser presos por deudas; en caso de embargo de minas, el dueño podrá ir cubriendo su deuda con el producto de ella. Podrán ser embargadas sus joyas, ropas y alhajas de valor, pero «se le reservará siempre un caballo enfrenado y ensillado, una mula de carga, las armas, la cama y la ropa de su uso y el de sus mujeres e hijos, en lo absolutamente dispensable para su precisa decencia...» (48). Se crea un fondo de pensiones para atender a los que en su profesión «hayan dejado sus caudales». Los hijos y nietos de mineros tendrán prioridad en los empleos políticos, militares y eclesiásticos. Pueden rehusar los cargos públicos que se les ofreciere sin que por ello puedan imponerles multa, siempre que su rechazo sea a causa de su trabajo en las minas. En la compra de bastimentos necesarios, tanto para la mina como para su uso particular, deben ser atendidos «como merece su útil profesión» (49). Podrán cazar y pescar, cortar leña, hacer carbón, etc., sin pagar tributo de ninguna clase en tierras comunes o de realengo, no así en las particulares. Podrán gozar de todos los beneficios, usos y aprovecha-

(44) Recogida en el *preámbulo* a las Ordenanzas de Nueva España.

(45) *Ordenanzas de Nueva España, Tit. III, art. 10.*

(46) *Ibidem, Tit. V, art. 1.*

(47) *Ibidem, Tit. XIX, art. 2.*

(48) *Ibidem, Tit. XIX, art. 5.*

(49) *Ibidem, Tit. XIX, art. 9.*

mientos reservados a los vecinos de cualquier lugar aunque ellos no lo sean.

No hay la menor duda de que la Minería es una profesión mimada por la Corona. Pero ésta también se preocupa de que se guarde incólume y sin contaminación. Para ello dictará severas medidas contra los gastos excesivos y viciosos de los mineros, con prohibición absoluta, dentro de los Reales, de los juegos de azar, de naipes, dados, tabas y peleas de gallos, así como diversiones escandalosas que hacen perder el tiempo y llevan a situaciones desordenadas. Todo ello bajo penas severísimas. El Monarca ejerce como padre y tutor de sus súbditos bienamados.

Podemos comprobar, pues, que las Ordenanzas de la Nueva España son una cuidada sistematización legal de todos los preceptos que conformaban las antiguas leyes, una modernización de las Viejas Ordenanzas, sin perder su espíritu, pero adaptándolas a las nuevas situaciones en que se desenvolvía la Minería novohispana en el siglo XVIII.

IV. EL CONTROL DE LA RIQUEZA MINERA

1. LA JUNTA DE MINAS. VICISITUDES, COMPOSICION Y FACULTADES

«Hasta el año de 1624 no hallamos noticia se hubiere formado tribunal privativo para el gobierno y conocimientos de tantas materias de Minas y Escoriales. Antes de aquel tiempo corría el Consejo de Hacienda en este negociado en lo general; bien es verdad que de tiempo en tiempo según lo exigía la necesidad, se solían formar unas Juntas interinas para efecto de evacuar con particular cuidado algún negocio de estos o para velar con especial cuidado en el beneficio de una o otra mina. Para el gobierno de este Ramo venía nombrando el Consejo un Administrador General abil en estas materias, que tenía dos mill escudos de salario. Además tenía el Consejo un Ensayador, Fundidor, Alguazil y Escrivanos destinados para este ramo y con sueldos menores que se cobraban del precio de los Azogues que se entregaban de la antiquísima Mina de Almadén» (1).

En las Ordenanzas de 1584 Felipe II establece el cargo de Administrador General de Minas, además de otros administradores territoriales «los cuales tengan el gobierno y Jurisdicción de todas las dichas Minas y cosas a ellas tocantes, y sean superiores a las demás personas que en ellas entendieren» (2). La intención de Felipe II es

(1) LARRUGA, Eugenio: *Op. cit.* Este manuscrito es la guía que me ha conducido en lo referente a esta Junta de Minas, de la que parece no existe ningún otro tipo de publicación.

(2) *Ordenanzas del Nuevo Cuaderno*, artículo 77.

que haya un organismo que entienda o se ocupe de los pleitos suscitados en las minas a fin de que los trabajos en ellas sufran la menor alteración posible y por ello «...mandamos a las nuestras Justicias así Ordinarias como de Hermandad, y de Comisión y otras cualesquier de estos nuestros Reynos, y a los de Señorío, que no se entremetan en el conocimiento de las dichas Causas tocantes y concernientes a las dichas Minas...» (3). Por encima de este Administrador General, sólo el Consejo de Hacienda.

El primer nombramiento como Administrador General recae en Carlos Jedler y se firma el 31 de diciembre de 1594 «confiando de vos don Carlos Xedler que bien y fielmente hareis lo que a esto toca por la noticia y experiencia que teneis de semejantes cosas, y otras buenas cualidades que en vos concurren...». Le da poder para hacer cualquier cosa que crea conveniente encaminada a aumentar el laboreo de las minas, así como para nombrar cargos y oficios con los sueldos correspondientes para lo cual «...podais traer vara alta de mi justicia como y cuando para el dicho efecto os pareciere conveniente». Le otorga también «los privilegios y exenciones y libertades que por razón del dicho oficio os deben pertenecer y ser guardadas» con un «salario en cada año de los que sirviéredes el dicho oficio de trescientos mil maravedís pagados donde Yo os los mandare librar...» (4).

Como es fácil sospechar, los del Consejo de Hacienda con su Presidente a la cabeza, a la sazón el marqués de Pozas, no debieron de ser muy partidarios de este nuevo cargo que a ellos les restaba una parte de poder, por lo que le pondrían todas las trabas posibles. Así se deduce de las insistentes quejas que Jedler eleva al Rey acerca de la no provisión de plazas, que él considera muy necesarias, de ensayador, alguacil, escribano y otros oficiales. Según él, han de ser gente de experiencia en «...este ministerio, porque muchas veces se ofrecerán ocasiones que yo no pueda ir a todas partes, y teniendo los que se nombren alguna noticia, puedan con más puntualidad hacer lo que yo les ordenare». Hay que ofrecer seguridades para que la gente se anime a descubrir, pues hasta ahora se muestran reacios, «también es mucho inconveniente para no beneficiar las dichas minas por ser muy grandes los jornales y otros gastos y mucho el derecho que se paga a V. A., y poca la ganancia que queda para los descubridores y beneficiadores de las dichas minas». Invierten sin seguridad de recuperar, y además han de pagar los derechos a la Corona, aunque pierdan su dinero. Jedler opina que hay que cambiar eso y «ponerles por delante mucha ganancia como lo hacían los que tenían por merced los mineros por Obispados antes que V. A. los incorporase en su Coronal Real». Consideraciones todas éstas en las que Jedler insiste una y otra vez en su correspondencia con el Rey (5).

(3) *Ibidem.*

(4) *Archivo General de Simancas*, Contadurías Generales, núm. 850.

(5) *Ibidem.*

currido poco más de un año desde que el duque de Lerma pase la orden de enviar todo lo relacionado con minas a la Junta.

Será el año 1624 aquél en el que se produzca la institución definitiva de la Junta de Minas. Un primer Real Decreto del 16 de enero establece, en estos breves términos, una Junta de Minas: «Para tratar de las Minas antiguas y Escorias que hay en estos Reynos, se junten con vos (se dirige a Olivares) el Marqués de Alanquer, los Licenciados Gilimon de la Mota, Gregorio López Madera, Juan de Gamboa, y Hernando de Salazar de la Compañía de Jesús, y habiendo oydo en la materia a D. Juan de Oñate se me consultara lo que pareciere sobre sus propuestas: en El Pardo a 16 de enero de 1624. Al Conde de Olivares» (9).

Una junta en la que, de momento, no hay otra misión que la de «tratar de las minas antiguas y escorias de estos Reynos». El Rey no habla de ningún tipo de atribución. Pero no tardará en colmar con creces esta laguna: el día 15 de mayo de ese mismo año (día de S. Isidro, Santo Patrón de la capital) se firma en Madrid una Real Cédula por la que se otorgan a la Junta de Minas amplias y generosas competencias. El Rey, después de las alusiones de rigor a la gran riqueza minera de España y la conveniencia del mejor beneficio para la ayuda tan necesaria a la Real Hacienda, confirma la Junta formada por los mismos miembros nombrados unos meses antes y declara que la dicha Junta ha de tener facultad y conocimiento de ver, disponer, ordenar y ejecutar todo lo que tocase al beneficio, labor y administración de cualesquier minas, escoriales, desmontes y echaderos de los Reinos, con la potestad de examinar las Leyes y Ordenanzas promulgadas sobre ello, añadir o quitar lo que juzgare conveniente, declarar los derechos que hayan de corresponder a la Corona, etc. Puede la Junta hacer asientos en nombre de Su Majestad, nombrar Ministros y Administradores señalándoles sus salarios correspondientes. Asimismo puede tener Consejos y Tribunales que decidirán sobre todas las cuestiones relacionadas con el ramo para lo que les dio entera jurisdicción privativa. Ni el Consejo de Hacienda, ni cualquier otro Consejo, Chancillería, Audiencias o Tribunales del Reino podían intervenir. El Rey es tajante: «es mi voluntad que lo uno y lo otro, y todo lo concerniente a la materia corra por esta Junta, y se despache por decretos suyos o por cédulas Mías, según la conveniencia de los casos». Las apelaciones irán a la misma Junta. En caso de ausencia o impedimento de algún ministro de ella, los que queden tendrán el mismo poder siempre que entre ellos se encuentre el conde de Olivares, el marqués de Alanquer o uno de los del Consejo y no sean menos de tres (10).

Comienza a funcionar, pues, la Junta. La inmensa can-

(9) *Ibidem.*

(10) *A. G. S., C. G.*, núm. 852.

A la muerte de Jedler se nombra como su sucesor, con fecha 8 de junio de 1597, a don Jerónimo de Ayanze, caballero del hábito de Calatrava y Comendador de la Encomienda de Ballesteros, según los documentos. Se le asigna un salario de «1.500 maravedís por cada un día de los que os ocupáredes en esta comisión». Se le ordena que haga lo posible por interesar a las gentes en los beneficios de las minas. Al que no tuviere posibles le hará ver el aprovechamiento que de las minas resultará para la Real Hacienda, les hará un préstamo y tratará de interesar a otros en calidad de socios (6). Recomendaciones todas ellas que, como de costumbre, van encaminadas a aumentar el beneficio de las minas.

Le sucederá como Administrador General don Juan López de Ugarte, cuyo nombramiento se firmó en El Pardo con fecha 28 de enero de 1608 (7).

Pero antes de ello nos encontramos con una orden de Felipe III para que todos los asuntos relacionados con la minería se remitan a la Junta y no al Consejo de Hacienda (8). La firma el duque de Lerma y va dirigida a don Juan de Acuña, presidente del Consejo y Contaduría Mayor de Hacienda, y dice así: «S. M. me ha mandado invie a V. S. la consulta inclusa de la Junta de Minas para que V. S. la vea y ordene al Consejo de Hacienda y al de la Contaduría que remitan todo lo que tocara a minas a la Junta que trata de ellas en que V. S. se halla, y avise V. S. como se habrá hecho volviendo a esta consulta. Dios guarde a V. S. En Palacio a 20 de febrero de 1606. El Duque.»

Podría tratarse de una Junta interina de las que LARRUGA afirma que se solían formar para «evacuar con particular cuidado algún negocio», pero por el tono de la Real Orden nos inclinamos a pensar que se trata de algo más institucional. Quizá se trate de una primera Junta, anterior a la de 1624, de la que LARRUGA haya desconocido la existencia. Es lo cierto que tampoco hemos hallado más documentación sobre ella. Si nos atenemos a la letra de la citada orden, vemos que está funcionando una Junta —no sabemos desde cuándo— a la que, a partir de este momento, se le han de enviar todos los asuntos relacionados con la minería, que antes se veían en el Consejo de Hacienda. Es decir, que entre el Administrador General de Minas y la Junta relevan al Consejo de sus funciones con respecto a la Minería. En cualquier caso no debió esta Junta tener una gran continuidad en el tiempo. En efecto, en la Cédula de Felipe III, por la que suspende las Ordenanzas de su padre, rebajando y moderando la parte correspondiente a la Corona, se dice que será el Consejo y Contaduría Mayor de Hacienda quien dirá cómo se ha de hacer —no habla de ninguna Junta— y esa Cédula tiene fecha de 5 de agosto de 1607, es decir, cuando ha trans-

(6) *Ibidem.*

(7) *Ibidem.*

(8) *A. G. S., C. G.*, núm. 854.

tividad de escritos conservados en Simancas nos da cuenta de los problemas y asuntos que se dirigen a este alto organismo. Se trata en su mayor parte de peticiones de permiso para poder buscar y beneficiar minas. También abundan las peticiones de privilegios y mercedes para mineros, o las quejas de estos mismos porque no se les guardan debidamente. Los pleitos, a veces larguísimos, como fue el caso de la duquesa de Powis con las minas de Guadalcanal, o los seguidos entre don Antonio de Alburquerque y la ciudad de Lorca, al oponerse ésta a que aquél instalase en su término una fábrica de salitre. También es de su competencia el examen de todos aquellos papeles procedentes de otros Tribunales acerca de las minas de España e Indias; para ello el Rey otorga una Real Determinación con fecha 4 de julio de 1624, por la que se obliga a todos los Archivos del Reino que entreguen a la Junta todos los documentos que ésta necesite examinar.

Desde su creación, la Junta tendrá como asesor, según lo dispuesto por S. M., al Adelantado Mayor de Méjico don Juan de Oñate «que hera cavallero de los más instruidos en este objeto de aquellos tiempos». Una de las primeras medidas que toma Oñate es la de intentar poner en explotación las escombreras y escoriales de minas antiguas. Para ello se ordena a los Virreyes, Gobernadores y Corregidores de Castilla, Aragón y Portugal que hagan una relación o inventario de las que se encuentren en su territorio y lo envíen a la Junta acompañando muestras de los minerales que hay en ellas a fin de analizarlos y conocer su ley. Pretende hacer asiento de ellos, pero no le es posible al no encontrar asentador interesado. De todas formas, él está convencido de la rentabilidad del proyecto, pues que las minas que descubrieron los cartagineses, romanos y godos «tienen plata por no haverlas cavado bien o por que han vuelto a criar». Apoya sus afirmaciones en unos ensayos que se han hecho y que han dado nueve, diez y doce onzas por quintal.

Para todas estas actividades se precisa personal competente, por lo que se van contratando nuevos funcionarios: además de los ministros, la Junta tiene ensayadores de metales y una secretaría con dos oficiales y un fiscal, cargo ocupado en primer lugar por don Tomás Cardona «que no era letrado, sino muy inteligente y estudioso en esta materia; pues en aquel tiempo se contemplaba que estos asuntos eran peculiares de ciertos hombres que, dedicados únicamente a ellos, adelantaban con precisión y sabían por sí si las leyes correspondían a la naturaleza de los objetivos que se ventilaban sin necesidad de especial informe» (12).

Además de los problemas directamente relacionados con las minas, la Junta resuelve «aquellos medios y proyectos que se presentaban para socorrer las necesidades de la Corona». Entre ellos hallamos múltiples inventos, intere-

santes unos y otros que no dudaríamos en calificar como curiosos. Así encontramos al capitán don Martín de Ocampo con su nuevo método de beneficiar metales de azogue. Se trata básicamente de un proceso de destilación a baja temperatura, lo que evitaría los óxidos y ahorraría combustible (los temidos accidentes por azogueo y las talas excesivas). Se llevaría a cabo en una olla con un respiradero para que saliese el vapor, donde se debía poner el metal con una mezcla de barro muy fino amasado con agua, miel y escoria de hierro (13). O a don Francisco Pablo Renty, un francés que trata de establecer en Madrid una fábrica de similar, metal usado en joyería. A cambio Renty se compromete a enseñar su arte a los «artífices españoles» con objeto de no tener que importar del extranjero unos productos que eran muy utilizados, con el ahorro consecuente. Aunque en un primer momento la Junta concede el permiso solicitado, Carlos III se lo retirará a causa de las medidas tomadas para prohibir la entrada en el país de productos extranjeros (14).

Un proyecto interesante que también se presentó a la Junta fue el de un ingenio para dulcificar el agua del mar. Se hicieron los ensayos y en efecto se logró potabilizar el agua salada, a la que dieron el visto bueno los médicos del Rey después de los correspondientes análisis. Felipe IV dio el permiso para fabricar varios de estos ingenios con destino a los navíos de ultramar. ¿Se llegaron a realizar? (15). LARRUGA dice que fue un invento que copiaron los extranjeros sin que aquí se aprovechara.

Todos estos innumerables proyectos e inventos suelen ir acompañados de un sinnúmero de peticiones de gracias y mercedes. En este sentido es significativo el caso, bien ilustrado por LARRUGA, del maestro de Campo don Julio Banfi. Este sujeto eleva a la Junta una proposición según la cual ha conseguido la transmutación del hierro en acero fino. Por ello pide que se le permita establecer una fábrica en la que llevar a cabo su invento. Esta fábrica debe construirse en un lugar bien elegido: cercano a las herrerías y con abundancia de bosques. Ofrece explicar su secreto a algunos de los naturales de estos Reinos para perpetuarlo a mayor gloria de la Corona. Pero a cambio pide: una plaza de Oidor en La Coruña para su hijo Juan Bautista Banfi, que era abogado de los Reales Consejos; el nombramiento, para sus futuros yernos, uno de Oficial de la Secretaría de Guerra con título de Secretario de S. M. (la primera que vacare de número) y para el otro de Relator en el Consejo de Castilla (también la primera que vacare). Además pide 1.000 ducados de plata para él y para sus hijos y herederos, situados sobre los derechos que causara y produjera el acero que saldría de sus fábricas, merced ésta que debía estar exenta de la media anata. ¡No hay duda que el señor Banfi era precavido y

(13) A. G. S., Contadurías Generales, núm. 852.

(14) *Ibidem*.

(15) *Ibidem*.

(11) LARRUGA: *Op. cit.*

(12) *Ibidem*.

su secreto caro! La Junta abandona el proyecto por considerar que Banfi pide demasiado y también por problemas surgidos a raíz del extravío de unos papeles por parte de Juan Ramírez Baguedano, Alcalde de Casa y Corte.

Pero las guerras hacen cada vez más necesario el acero. El tira y afloja entre Banfi y la Junta se prolonga durante cerca de veinticinco años. Por fin, en consulta de 17 de junio de 1709, la Junta se decide a otorgar las mercedes solicitadas, aunque hace unas reflexiones que hoy nos pueden parecer cuando menos jocosas:

a) En cuanto a la plaza de Oidor en La Coruña para su hijo, la Junta recuerda que ya se le había otorgado la de Cuestor Togado del Magistrado de Milán y otra equivalente en Castilla, así como plaza en la Universidad de Alcalá para poder proseguir sus estudios. También recuerda que en 1708 pidió para este mismo hijo plaza de Oidor en una de las Chancillerías de Castilla, Consejo de Pamplona o Audiencia de Galicia al haber recibido los grados necesarios. A pesar de todo, o quizá por ello, la Junta cree que Su Majestad puede conceder la plaza solicitada.

b) Con respecto a las hijas (Laura Polonia y Ursula Rosalía) la Junta dictamina que efectivamente están en edad de tomar estado, por lo que hay que casarlas, pues ya tienen veinticinco y veintisiete años. Máxime que dieciocho años antes, en 1691, el Rey les concedió dos mercedes de hábito. Se le concederán las plazas solicitadas para los yernos, pero la Junta hace hincapié en que éstos han de tener las cualidades necesarias para el desempeño del cargo. Sobre esta cuestión hubo un voto en contra, el de don Bernardo Tinajero, quien opinaba que para la plaza de Oficial de la Secretaría de Guerra se requería experiencia, además de ser un puesto al que optaban y por el que trabajaban muchos oficiales que se iban a ver defraudados.

c) Sobre la renta perpetua de mil ducados hubo grandes discusiones. La Junta se dividió. La mayoría fue de parecer de darle cien ducados por dos vidas solamente. Don Lorenzo Cardona, don Sebastián de Montujar y el conde de Torrehermosa propugnaban doscientos cincuenta ducados de renta perpetua, ya que el beneficio del invento sería perpetuo.

Se le conceden también unos terrenos baldíos de Su Majestad donde construir las fábricas —que durante veinte años estarían exentas de derechos— con el agua y la leña necesarios, derecho de paso, etc., «siempre que no se excediera en lo dispuesto por Ley y Ordenanzas destos Reynos, afin de evitar las talas de montes».

Una condición le era requerida: hacer «dos ornadas por su persona y a sus expensas en esta Corte» en presencia de los aprendices y los ministros de la Junta, quienes darían el certificado de haber cumplido. Con dicho certificado entraría a gozar de sus mercedes. Es decir, el momento cumbre de la revelación del secreto tan bien guar-

dado. Los aprendices habían de ser naturales de estos Reinos y designados por Su Majestad. Pero Banfi dice que primero le paguen los sueldos atrasados que le deben pues está necesitado de medios y las dos hornadas son caras.

La Junta, ¡qué remedio!, considera justa la reclamación. Tras el correspondiente panegírico a la mucha necesidad que hay de acero para labradores, artífices y armas, lo mucho que se paga al extranjero, a veces a los mismos enemigos de la nación, en concepto de compra de este material, el mucho beneficio que va a reportar a España el secreto de don Julio, y para que no se lo lleve a la tumba (a la cual va a bajar en cualquier momento, dada su crecida edad y continuos achaques) pide a Su Majestad que resuelva pronto esta cuestión, lo que Carlos II hace: «Vengo en conceder a don Julio Banfi sólo los 500 ducados de plata de renta que propone la Junta por su vida, y en los efectos que expresa; y que éstos pasen después de sus días a su hijo para que se mantenga y alimente a sus hermanas con calidad de que le ha de enseñar don Julio esta afinación de Yerro en Azero» (16).

La Junta tenía su sede en Madrid, celebrando sus reuniones en una sala del Consejo de Hacienda. En una ocasión, según consta en los documentos, el Rey sale de Madrid llevando consigo a algunos ministros de la Junta. Por el Real Decreto de 25 de febrero de 1626 manda que continúen las sesiones de la dicha Junta en Monzón. Simultáneamente (R. D. de 20 de marzo de 1626) habían de continuar en Madrid con los dos ministros que allí quedaron.

Todos los miembros de la Junta de Minas quedan incapacitados para tomar parte en otras ocupaciones referidas a Consejos, por declararse incompatibles. Los ministros no percibían salario ni emolumento alguno en un principio, hasta el año 1630 en que por resolución del Rey a propuesta de la Junta, se les asignó a cada uno 4.000 reales de vellón de los efectivos de la Corona de donde fuese el ministro (Castilla, Aragón, Portugal o Italia).

La existencia de la Junta de Minas está llena de altibajos. En algunos momentos se exagera su importancia y en otras ocasiones queda relegada. Por tres veces se extinguirá: en 1643, al reformarse el Consejo de Hacienda, aunque Carlos II la repondrá en 1672 para volver a suprimirla pocos meses después. Vista la importancia del ramo minero se otorga nuevo Real Decreto (1 de diciembre de 1677) estableciendo otra Junta, esta vez formada por don Luis Moreno Ponce de León, del Consejo de Hacienda; José Zaragoza, jesuita, y Antonio Fosure, fiscal de la Contaduría Mayor de Cuentas, aunque poco después se aumentó su número, encargándose especialmente al conde de Humanes que velase por ella. No consta en este decreto la jurisdicción y atribuciones de esta nueva Junta. Parece que fue privativa e independiente; al menos así se declara

(16) LARRUGA: *Op. cit.*

en el Real Decreto de 16 de julio de 1679, por el que se nombra a Ignacio Bautista de Rivas Secretario de la Junta. Pero esta Junta fue efímera, ya que en 1700 volvieron al Consejo de Hacienda todos los asuntos de su competencia, y allí quedaron hasta su incorporación a la Junta de Comercio.

¿Es éste el fin definitivo de la Junta de Minas? Podríamos pensar que sí. Pero entre los Decretos de Nueva Planta hallamos uno con fecha de 9 de octubre de 1742 por el que Felipe V ordena a don José del Campillo que forme una Junta particular compuesta por don Julián de Cañaveras, don Juan del Castillo de la Concha, don Gabriel de la Olmeda y don Diego Bustillo, a quienes acompañarán los fiscales don Pedro de Castilla y Caballero y don José García de Hinestrosa «para la más brebe expedición de los negocios de las Minas de Riotinto, Aracena, Guadalcanal, Cazalla, Galaroca y Puerto Blanco» (17). Tendría esta Junta el gobierno político y legal de estas minas con inhibición de cualquier otro tribunal, salvo el Consejo de Hacienda, al que se dirigirían las apelaciones.

Sería ésta la última Junta de Minas —en este caso Junta particular— hasta el 3 de abril de 1747, en que el Real Decreto de Fernando VI, dado en el Buen Retiro, agregó todo lo perteneciente a Minas a la Junta de Comercio y Moneda por la conexión que hay entre estos asuntos dejando «a su conocimiento quantos negocios fuesen respectivos a ellas y sus incidentes con inhibición de todo otro Tribunal y Justicias, y mando que así el Consejo de Hacienda como la Junta de Guadalcanal pasasen todos los papeles pertenecientes a Minas a la Junta de Comercio» quien a partir de ese momento pasa a denominarse Junta de Comercio, Moneda y Minas.

A partir de ese momento la historia de la Junta de Minas se diluye dentro del nuevo organismo hasta el punto de hacer difícil su seguimiento. MOLES RIBALTA escribe en su estudio sobre la Junta de Comercio y Moneda: «Existió una Junta de Minas que actuó esporádicamente a lo largo del siglo XVII y sobre la cual no dispongo de datos suficientes y significativos, salvo la pertenencia a la misma de dos religiosos: el jesuita Hernando de Salazar, consejero del Conde-Duque de Olivares y a fines de siglo, el P. Zaragoza, matemático y astrónomo notable, discípulo del polifacético Caramuel de Lobkowitz» (18).

En 1788 se crea la Dirección General de Minas del Reino, siendo designado para ocupar el cargo de Director el ingeniero don Francisco de Angulo. ¿Fue esta Dirección la sucesora directa de la antigua Junta de Minas? No es fácil decidirlo por falta de documentación. De esta primera Dirección General de Minas dice el prestigioso inge-

(17) *Ibidem*.

(18) MOLES RIBALTA, Pere: «La Junta General de Comercio y Moneda. La Institución y los Hombres». *Cuadernos para la Historia*. Anexos de la Rev. Hispania. Instituto Jerónimo Zurita. Madrid, 1978, IX, pp. 1-38 (p. 20).

niro de Minas J. M. LÓPEZ DE AZCONA que se conservaba amplia información en el Archivo General de Alcalá, pero desapareció en el incendio de 1939 (19). Por nuestra parte hemos tratado de hallar el archivo de dicha Dirección, pero hemos de confesar nuestro rotundo fracaso, sin duda debido a incapacidad personal (20).

Por otra parte, y ya entrando en la época contemporánea, siendo Ballesteros Secretario del Estado del Despacho Universal de Hacienda, se crea una Junta de Fomento de la Riqueza del Reino (R. D. de 5 de enero de 1824). En lo que respecta a minas, se nombra a Fausto de Elhuyar vocal encargado de los expedientes de minas y metalurgia cuya finalidad era la promoción de la minería (21), cosa que cumplió perfectamente al ser nombrado posteriormente Director General de Minas.

¿Existe una relación directa entre todos estos organismos? ¿Podemos decir que ha habido una continuidad de la Junta de Minas? Volvemos a chocar con la falta de documentación. Solamente, y tras una laboriosa búsqueda (22) pudimos hallar en el Archivo del Consejo Superior de Minas un libro de actas cuya primera página, correspondiente a la sesión del día primero de septiembre de 1849, trata de la creación por S. M. de la Junta Superior Facultativa de Minas, constituida por los siguientes miembros: El Rey ostenta la Presidencia; Rafael Cavanillas, vicepresidente; Rafael Aznar de la Torre, inspector general; Benito del Collado, ingeniero primero. En el orden de sustituciones, Guillermo Schulz y Joaquín Ezquerro como inspectores generales y Felipe Bauzá y Fernando Cútolí como ingenieros segundos.

2. EL REAL TRIBUNAL DE MINERÍA

Cuando Carlos III se ocupe de las Ordenanzas de Nueva España, capítulo muy importante será el que dedique al establecimiento del Real Tribunal de Minería. Este se llevó a cabo por bando virreinal fechado el 11 de agosto de 1777, firmado por Antonio Bucareli y Ursua a solicitud del Asesor General del Virreinato: «...me propusieron elec-

(19) LÓPEZ DE AZCONA, José Manuel: *Los hermanos Elhuyar*. Fundación Gómez-Pardo, Madrid, 1983, p. 82.

(20) En ninguno de los organismos más o menos vinculados con el tema que nos ocupa, Dirección General de Minas o Ministerios de Comercio e Industria, han sabido darnos noticias de él. Tampoco en el Instituto Geológico y Minero. En cuanto a la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, nos han confesado que los fondos antiguos están sin clasificar, siendo prácticamente imposible acceder a ellos.

(21) LÓPEZ DE AZCONA, J. M.: *Op. cit.*, p. 80.

(22) Quiero dejar aquí constancia de mi agradecimiento al personal de la Biblioteca del Consejo Superior de Minería por el tiempo empleado en la búsqueda de estos documentos.

tos y nombrados para componer el Tribunal y presidir el Cuerpo formal de la Minería, por Administrador General a D. Lucas de Lassaga, Regidor Perpetuo de esta Nobilísima Ciudad, Contador de Menores y Albaceazgos, Minero en el Real y Minas de Mazapil y Diputado extraordinario del de Bolaños. Para Director General, al Señor D. Joaquín Velázquez de León, del Consejo de S. M., Alcalde de Corte Honorario de esta Real Audiencia, Minero y Diputado extraordinario de los Reales de Minas de Temascaltepec y Sultepec. Para Diputados Generales a D. Tomás de Liceaga, Coronel y Comandante en jefe de las Milicias Provinciales y Legión del Príncipe de la Ciudad de Guanajuato, y Diputado extraordinario de aquella Minería; D. Marcelo de Anza, Minero y Diputado extraordinario de la Ciudad de Minas de Zacatecas; y D. Julián del Hierro, Minero y Diputado Ordinario del Real y Minas de Temascaltepec» (23).

Para la constitución de este organismo se aprovechará la experiencia adquirida durante la azarosa existencia de la vieja Junta de Minas peninsular. Así vemos cómo se le otorgan las mismas competencias que aquella tuvo en cuanto a jurisdicciones civil y penal en todos los asuntos relacionados con la minería. Jurisdicción privativa cuyas sentencias «se han de ejecutar breve y sumariamente» (24), y sin posible apelación en aquellas penas cuya cuantía no sobrepasase los 400 pesos. Para las que se admitiere la apelación se formará un Juzgado de Alzada «que se ha de establecer en Mexico y componerse de un Oydor de aquella Real Audiencia a nominación del Virrey... del Director General de Minería, y de otro Minero que para este fin en cada trienio deberá elegirse...» (25).

La composición de este Real Tribunal General del Importante Cuerpo de la Minería de la Nueva España, título con el que se creó, sería:

- Un Administrador General o Presidente.
- Un Director General.
- Tres Diputados Generales. Si el Tribunal lo consideraba conveniente, podían reducirse a dos, pero nunca aumentar su número.

Además de los cargos de Factor, Asesor, Escribano, Secretario, Oficiales y Porteros. Todos ellos habían de ser «mineros prácticos e inteligentes y expertos».

La elección de Administrador y Director General debía efectuarse cada tres años. Para ello se reunían en la ciudad de Méjico a primeros de diciembre los Diputados de los diferentes Reales de Minas o, caso de imposibilidad de asistencia, quien los represente, siempre que

(23) FRITZ, Otto: *Bicentenario de la erección del Real Tribunal de la Minería de Nueva España*. México, 1976. En esta obra se incluye un facsímil del Bando de Bucareli de 11 de agosto de 1777.

(24) *Ordenanzas de Nueva España*, Título III, artículo 6.

(25) *Ibidem*, Tít. III, art. 13.

fuese «sugeto residente en dicha capital, con tal que no sea Diputado ni Apoderado de otro real de minas, pero sí que haya de tener la calidad de ser dueño o Aviador de ellas» (26). En cuanto al número de votos, Guanajuato tendrá 6; Zacatecas, 4; Potosí, Pachuca y los reales de minas que tuvieren el título de Ciudad, 3; los que tuvieren el título de Villa o que en ellos hubiere cajas Reales, 2 votos.

El mandato del Administrador General sería por seis años y el del Director General por nueve, pues, según las Ordenanzas, «debe el Director tener la mayor instrucción en todos los intereses, negocios y resortes de su cuerpo, tocantes a lo industrial, y económico de la Minería, y en la teórica y práctica de las ciencias conducentes a ella, lo que no se puede adquirir en corto tiempo» (27).

Todos los empleos serán renovables por mitad cada tres años (salvo el de Director, como ya queda dicho) con el fin de no crear un vacío en el Tribunal y asegurar la continuidad.

¿Cómo se eligen los Diputados? Todos aquellos que hubieren trabajado durante más de un año en la minería han de matricularse como mineros, asentando su nombramiento en el Libro de Matrículas que ha de tener el Juez de las Minas. Los mineros así matriculados, aviadores, maquileros y dueños de minas serán los encargados de elegir a los Diputados: cada minero matriculado vale un voto; los demás, un voto cada dos personas. En los lugares con excesivo personal, se nombran antes unos electores. El Juez de Minas tendrá un voto que, en caso de discordia, será decisivo, entendiéndose que saldrá siempre elegido el candidato con mayor número de votos.

En cada real de minas habrá dos diputados que serán renovados cada 2 años, también siempre por mitad.

De todas sus actividades dará cuenta el Real Tribunal al Virrey, quien habrá de informar anualmente a Su Majestad acerca de la labor de las minas y del estado de todo aquello perteneciente a este ramo. También será el Virrey quien informe a S. M. de cualquier acontecimiento extraordinario que requiera la Real atención.

En cualquier caso podrá el Tribunal tener un Apoderado en la capital de España para seguir de cerca cualquier negocio que le atañe. También podrá enviar a alguien de su confianza para algún asunto grave, pero deberá previamente exponerlo ante el Virrey, que habrá de dar su aprobación.

La extensión que abarcaba la jurisdicción del Real Tribunal era enorme. Toda Nueva España —que entonces incluía los territorios de California, Nuevo Méjico y Tejas, hasta los ríos Rojo y Sabina—, la Capitanía de Guatemala —toda la América Central— y las Islas Filipinas, que tam-

(26) *Ibidem*, Tít. II, art. 6.

(27) *Ibidem*, Tít. I, art. 13.

bién estaban adscritas a su jurisdicción. Es decir, un territorio extensísimo. Además de los pleitos que se originaban en los reales de minas, el Tribunal tenía a su cargo la prospección y levantamiento topográfico de la Luisiana y Florida. También debía mantener una asesoría permanente con otros países mineros, sobre todo Perú y Bolivia; debía velar por que no se abandonase la búsqueda de nuevos yacimientos o se dejase de explotar los ya existentes, etc.

Con motivo de la crítica situación por la que atravesaba la minería en general y la peruana en particular «consecuencia del empirismo en las técnicas de explotación, carentes de criterio racional en la confección de los programas de trabajo, intereses encontrados, con daños y paralización de las labores, irregularidades administrativas, desde los abusos a la vacuidad, y carencia de una legislación minera adecuada» (28), se encomienda a Fausto de Elhuyar la contratación de mineros alemanes para instruir a los americanos. Se prepara la Comisión Mineralógica, que tanto entusiasmo despertó y a cuyo frente irán grandes personalidades del mundo de la minería: el Barón de Nordenflicht, Daniel Weber y Antonio Zacarías Helme encabezaron la expedición a Perú.

Pero el Real Tribunal tuvo una desgraciada actuación con respecto a esta comisión, a quien puso toda clase de trabas y dificultades, hasta el punto de pedir Nordenflicht a Elhuyar, en repetidas ocasiones, su intercesión cerca del Rey para que le dejasen continuar su misión, o regresar a la Península. El entusiasmo que había despertado la Expedición Mineralógica con vistas a la vitalización de la minería tropezó sistemáticamente con la oposición del Real Tribunal y el oscurantismo de sus miembros con el Virrey al frente.

En 1788 Fausto de Elhuyar es nombrado Director General de Minas de Nueva España y un año más tarde, vacante el cargo de Administrador General del Tribunal, entra a presidirlo como Director.

Será el momento más brillante de la Institución. Se inicia la redacción de informes sobre la situación real de las minas y se toman medidas para corregir defectos; se proporcionan fondos a aquellos mineros que carecen de medios para el laboreo y beneficio; se liberan de alcabalas las materias primas destinadas a las minas y se propone un plan de medidas eficaces para enmendar yerros (29). Será ahora también cuando la preocupación por la enseñanza culmine con la creación del Real Seminario de Minería.

Pero se acerca el momento de la emancipación. Cuando éste llegue, estas instituciones creadas en la época Virreinal darán origen a otras nuevas en las naciones recién creadas. De una forma u otra se continuará la trayectoria trazada por las Ordenanzas de la Nueva España.

(28) AZCONA, J. M.: *Op. cit.*, p. 57.

(29) *Ibidem*, p. 66.

V. CONCLUSIONES

Si nos remontamos a los primeros albores de la Historia y tomamos como fuente el Antiguo Testamento, hallamos ya las primeras referencias a la riqueza minera de nuestra Patria. El tan alabado oro de Tarsis y los tesoros de Gadir nos saltan ante los ojos una y otra vez. El problema está en saber si el Tarsis bíblico es realmente nuestro Tartesos, punto en el que no parecen ponerse muy de acuerdo los especialistas en la Historia Antigua.

Un poco más cerca de nuestra era, también hallamos gran profusión de referencias a los yacimientos ibéricos. Poseidonios, el mejor cantor que tuvo la minería hispana y cuyas loas nos han sido legadas por Diodoro; también Polibio, Artemidoro, Livio, Floro y otros muchos, sin olvidar por supuesto a Plinio, quien en su Historia Natural nos ofrece un completo estudio sobre los minerales que se encuentran en la Península. Dónde acaba la realidad para dar paso a la leyenda es una cuestión harto difícil de delimitar. Pero nos basta con comprobar cómo la Minería constituyó el señuelo que trajo a nuestro suelo a los sucesivos conquistadores, siendo la razón de su permanencia y, en consecuencia, de nuestra romanización.

Pero nuestro objetivo es conocer el estado de la minería en la Edad Moderna. Y hemos de reconocer que no es un objetivo fácil de alcanzar.

Entramos en los tiempos modernos con un país que trata de constituirse como nación moderna después de una etapa de lucha constante que ha durado ocho largos siglos. La economía maltrecha, prácticamente basada en la agricultura, no puede subvenir a unos gastos que van acrecentándose de día en día. Los recursos son escasos, y mucho más escasos todavía los metales que hagan posible la circulación de ese dinero tan necesario para sufragar dichos gastos. La solución está en buscarlos. Y en esa búsqueda de tesoros también «se gastaron tesoros de ingenio», diría BRAUDEL. Efectivamente el siglo XVI es el momento en que brillan con luz propia el ingenio de los inventores y la capacidad de los científicos. Gracias a todo ello comienza el auge de la minería a gran escala. La revalorización que experimenta ahora la plata servirá de estímulo para su laboreo. Así surgirán las grandes fortunas de los Welser y los Fugger, propietarios de las minas de plata de Bohemia y los Alpes, que es tanto como decir de Europa, desde donde extenderán sus tentáculos hasta alcanzar la minería hispana.

Pero los tesoros americanos, al hacer su aparición y derramarse por el mundo, trastocarán la economía. El aporte masivo de plata socavará la prosperidad de las minas alemanas, que ya no podrán recuperarse, al menos no del todo.

Y España, la gran suministradora de oro y plata, ve cómo esos recursos que aparentemente posee se le escapan

de las manos —sin dejar nada positivo al pasar por su suelo— para ir a parar a las arcas de los Banqueros extranjeros. La política europeísta de los Austrias es un monstruo que devora nuestra economía. Todo anuncia el estancamiento y crisis del XVII.

Mientras tanto, y quizá tratando de potenciar una fuente segura de ingresos para las exiguas arcas reales, se ampara a la Minería. Se le otorgan privilegios y mercedes; se declara «útil y honroso» su desempeño; se dictan leyes que la protejan. Todos los esfuerzos van encaminados a estimular el desarrollo de este sector. Efectivamente se piden múltiples permisos para beneficiar minas, pero los resultados parecen bastante pobres desgraciadamente.

A pesar de ello, la Corona no se arredra. Sigue dispensando su favor a la Minería de muy diversas maneras, siendo una de ellas, y no la menos importante, el apoyo a todos aquellos que tengan algo que proponer para aumentar los rendimientos. Publica a sus expensas diversas obras que no tienen gran difusión, aunque algunas alcanzan carácter internacional, como la de ALONSO BARBA. Fomenta el afán investigador potenciando la puesta en funcionamiento de todos aquellos inventos que puedan parecer útiles. Promueve —esto ya en el siglo XVIII— viajes de estudio, investigaciones y la enseñanza, que culminará con la creación de la Escuela de Minas en la Península y el Real Seminario de Minería en Méjico, siendo centros pioneros en el mundo, junto con los de Freiberg, Chemnitz, San Petersburgo y París.

Pero, a pesar de todo, las técnicas practicadas en la minería hispana van quedando rezagadas. Este retraso es un punto en el que coinciden todos los expertos extranjeros que llegan a nuestro suelo contratados por la Corona, tratando de solucionar el problema.

Avanzado el siglo XVIII la minería de metales preciosos se va a ver desplazada por el utilitario carbón. Los metales básicos van ganando terreno. La primera revolución industrial, aparecida en Inglaterra, incrementa la demanda de carbón, hierro y acero, que comienzan a ser utilizados sistemáticamente. La escasez de leña y la deforestación preocupante, que para entonces ya había sufrido la Península, hacen que se vuelva la mirada hacia el carbón de piedra, del que el subsuelo peninsular es muy rico. Los yacimientos asturianos pueden ser suficientes para servir la demanda interior. Sin embargo, y a pesar de los enormes esfuerzos realizados por Jovellanos, la ineficaz explotación, junto al transporte caro y difícil, hacen que nuestro carbón no pueda ser competitivo con el inglés.

A pesar de todo, la extracción del carbón mineral sigue adelante hasta que, poco a poco, entra en la economía y la gente se interesa por su búsqueda.

Todo ello bien amparado por unas leyes que, con una minuciosidad increíble, no dejan ningún resquicio a la

discrecionalidad. Leyes específicas para la Minería y dentro de ella, también leyes específicas para los países de un lado y otro del Atlántico. Las instituciones adecuadas para velar por todo ello serán creadas por la Corona: en la Península, la Junta de Minas se hará cargo por Real Orden de todos los asuntos relacionados con este sector. De forma más tardía, en el Nuevo Mundo, Carlos III instaurará el Real Tribunal con la misma finalidad.

De este sumario estudio se desprenden las siguientes conclusiones:

1. Se aprecia constantemente, de una forma insistente y repetida, una evidente preocupación por parte de la Corona, pero esta preocupación es, a nuestro juicio, única y exclusivamente utilitaria. No se trata de impulsar la industria con vistas a su modernización, sino simplemente de mantener y ampliar en lo posible las rentas reales. Podemos decir que se confunde el fomento de la Minería con el mero afán recaudatorio.

2. La minería peninsular queda ensombrecida e incluso olvidada ante la inmensidad de la riqueza de las minas americanas. Se continúan sucediendo las órdenes que la regulan, pero el interés por ella se ha desplazado al otro continente.

3. Dentro de la Península sólo las Minas de Almadén merecen una atención constante. Pero ello se debe a la producción de mercurio, tan necesaria para la amalgamación de la plata americana. Una vez más la minería americana merece la atención prioritaria de la Corona.

4. La época de mayor grandeza de España coincide con la de su mayor necesidad de tesorería. Ese será uno de los motivos por el que siempre se concede especial atención a la industria extractiva.

5. Ya en tiempos de Felipe II se toman las primeras medidas encaminadas a detener la deforestación. La minería fue, desde la Antigüedad, la gran destructora de bosques por las ingentes cantidades de carbón vegetal necesarias para el funcionamiento de las explotaciones. En las Ordenanzas se exponen las directrices para su conservación, obligando además a los responsables de las minas y autoridades locales a procurar la repoblación forestal de las zonas afectadas.

6. La Ilustración impone un criterio más racional en el aprovechamiento de los recursos naturales. Poco a poco los metales básicos se van imponiendo, desplazando en su avance a los metales preciosos. La incipiente revolución industrial hace imprescindible el carbón, el hierro, el acero...

7. Junto a todo esto, unos organismos que quieren ser fuertes y unas leyes que son, en muchos casos, avanzadas, por ejemplo en lo relativo a la protección del personal productivo.

8. Sin embargo, la presión fiscal ejercida de una forma disparatada hará que se obtengan unos resultados que serán justamente los contrarios de los apetecidos.

9. A lo largo de la Edad Moderna se aprecia que quien realmente se va a beneficiar del producto de las minas

españolas son los banqueros extranjeros. Nada cambia sustancialmente al llegar la Edad Contemporánea. Si nos adentráscmos en el siglo XIX veríamos cómo las grandes Compañías extranjeras (sobre todo inglesas y francesas) van apoderándose de los centros mineros peninsulares más importantes.

Noticias

NUEVO DIRECTOR DEL INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Por Real Decreto 513/1987, de 10 de abril, publicado en el «Boletín Oficial del Estado» de 14 de abril, se dispone el nombramiento de don Emilio Llorente Gómez como Director del Instituto Geológico y Minero de España, con categoría de Director general.

El señor Llorente Gómez es Dr. Ingeniero de Minas y Catedrático de la E. T. S. de Ingenieros de Minas de Madrid, de la que ha sido Director. Asimismo ha desempeñado, entre otros importantes puestos, la Subdirección General de Tecnología e Investigación de la Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa.

En el mismo «Boletín Oficial del Estado» se publica el Real Decreto 512/1987, de 10 de abril, por el que se dispone el cese de don Ramón Querol Müller como Director del Instituto Geológico y Minero de España.

INVESTIGACIONES DEL IGME EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS

Siete millones de pesetas invertirá durante el presente año el Instituto Geológico Minero en estudiar los depósitos sedimentarios, hasta 80 metros de profundidad de la plataforma continental asturiana, en busca de indicios o anomalías de oro. A la vez intentará con presupuesto de inversión, profundizar sus investigaciones sobre el carbón en los sectores de Cellón, Bonielles y Ferroñes.

Todo ello según acuerdo de la comisión mixta formada por dos representantes del Principado y dos de dicho organismo. Asimismo el estudio de aguas subterráneas, de vertidos, mineralizaciones de manganeso, exploraciones de caolín, azabache y pizarras serán los objetivos que complementarán el plan para 1987.

AUMENTO EN LA PRODUCCION DE ORO EN 1987

La producción mundial de oro podría alcanzar las 2.000 toneladas al año para finales de siglo. Esta cantidad sería la más alta producida en la historia por el mundo occidental, y se compara con las 1.375 toneladas para este año, y 700 en 1946.

En pocos años, estos resultados serán posibles gracias a las nuevas tecnologías mineras, que harán accesibles nuevos yacimientos a precios rentables. Los expertos comienzan a predecir que el riesgo para el mercado no se deriva de su escasez, sino en la posibilidad de una caída de los precios como consecuencia de que el metal amarillo ya no será tan raro.

Los bancos y los tenedores privados conservan oro porque su escasez le hará mantener su precio real. Este supuesto hace que el precio del oro se sitúe entre dos y cuatro veces por encima de los costes de producción en mina.

La mayor parte de los analistas sospecha que este año habrá excedentes, y que durante 1988 podría ocurrir lo mismo. África del Sur y la Unión Soviética continúan produciendo la mayor parte de oro del planeta, aunque hay nuevos suministradores que incrementan continuamente su producción. Parte de este incremento puede explicarse por la caída en los metales básicos. Las grandes compañías mineras están prestando cada vez más atención al metal amarillo.

EL IGME REALIZA 82 INVESTIGACIONES EN CANTABRIA

El Instituto Geológico y Minero de España (IGME) ha realizado 54 proyectos de investigación minera y geológica en Cantabria durante los últimos años y prevé llevar a cabo otros 28 en 1987. El presupuesto para la ejecución de los 82 proyectos es de trescientos millones de pesetas.

Esta serie de investigaciones es fruto del Convenio Marco de Asistencia Técnica suscrito por la Diputación General de Cantabria y el IGME hace tres años con el fin de realizar un estudio minero y geológico de la región.

ESTUDIO PARA LA RESTAURACION DEL ESPACIO NATURAL EN LAS EXPLOTACIONES MINERAS DE PALENCIA

El Instituto Geológico y Minero de España acaba de publicar un «Estudio geoambiental para la restauración del espacio natural afectado por las explotaciones de carbón en las cuencas palentinas».

El trabajo se ha realizado y financiado dentro del Convenio del Instituto Geológico y Minero de España y la Consejería de Industria y Energía de la Junta de Castilla y León.

El estudio se inicia con una exposición del medio natural en las cuencas carboníferas palentinas y las producciones, recursos y características de las explotaciones. Continúa con una valoración de los impactos medioambientales mineros, tanto en la minería a cielo abierto como en la formación de escombreras y la incidencia en las aguas superficiales.

En el último apartado, se estudian las características de restauración en la minería a cielo abierto en Palencia, referida tanto a suelos y vegetación como a la calidad paisajística y a la contaminación de las aguas.

El estudio termina con una serie de conclusiones y recomendaciones y unos anexos con fichas y análisis.

Como complemento del trabajo se incluye una carpeta con trece planos.

EL IGME INICIA LOS ESTUDIOS SOBRE LA CUEVA DE CASTAÑAR DE IBOR

El Instituto Geológico y Minero de España ha comenzado ya los trabajos de exploración, investigación y estudios, para un posible aprovechamiento turístico de las cuevas de Castañar de Ibor, consideradas por técnicos, en una primera visita, como de incalculable valor y belleza.

Este trabajo, que se desarrollará en once meses, supone una inversión por parte de la Diputación Provincial de Cáceres de siete millones y medio de pesetas.

El plan de trabajo propuesto constará de las siguientes fases:

1.ª fase: exploración, topografía interior, estudio geológico previo y fotografía; 2.ª fase: estudio geotécnico y estudio termohigrométrico; 3.ª fase: diseño de acceso, itinerarios, puntos de acondicionamiento interior y exterior; 4.ª fase: estudios complementarios, elaboración del dossier definitivo.

Cada una de estas fases tendrá una duración aproximada de tres meses, salvo la última, que únicamente durará dos meses.

El equipo del IGME espera lograr, tras la primera fase, una idea precisa de las dimensiones y localización especial de la cueva. Con posterioridad, tras la segunda fase, se conocerán las características geotécnicas y climatológicas; en la tercera se decidirá el tipo de explotación con-

veniente y su diseño y acondicionamiento; la cuarta y última ofrecerá los aspectos socio-económicos sobre la viabilidad de su explotación, así como las repercusiones en la comarca a corto, medio y largo plazo.

«MAPA GEMOLOGICO Y PREVISOR DE ESPAÑA». NUEVA PUBLICACION DEL IGME

Publicado por el Instituto Geológico y Minero de España y el Instituto Gemológico Español ha aparecido la primera edición del Mapa Gemológico y Previsor de España a E. 1:1.000.000 que incluye los principales puntos de localización de minerales gema en nuestro país. Es autor de dicha publicación don Javier García Guinea, siendo la misma una síntesis de su tesis doctoral dirigida y revisada por el catedrático de Cristalografía y Mineralogía de la Universidad de Sevilla doctor Galán Huertas.

«GEOGACETA». NUEVA REVISTA DE LA SOCIEDAD GEOLOGICA DE ESPAÑA

Creada por la Sociedad Geológica de España, y con aparición semestral, tiene por objetivo principal recoger los resúmenes de las comunicaciones presentadas en las Sesiones Científicas de la Sociedad, así como informar de las actividades que realiza o patrocina la misma.

Con una excelente presentación, su primer número, diciembre 1986, está dedicado a las comunicaciones presentadas en la segunda Sesión Científica celebrada en Barcelona durante los pasados 18 y 19 de septiembre de 1986 y que hacen un total de 19 trabajos. Incluye además los Estatutos de la S. G. de E., un Reglamento de Régimen Interior y una relación alfabética de sus miembros tanto individuales como colectivos. En la parte dedicada a Información se recogen además de 8 reseñas bibliográficas diversas noticias, especialmente sobre próximos Congresos y Reuniones Científicas.

OTRAS NUEVAS REVISTAS DE INTERES

«Nuestro Río», revista bimestral de la Confederación Hidrográfica del Tajo, de carácter económico, ecológico y ambiental, ha editado hasta la fecha dos números.

«Hidrogeología», revista semestral que edita la Asociación Española de Hidrología Subterránea y que recoge tanto estudios regionales como del ámbito estrictamente científico.

Notas bibliográficas

GEOLOGIA GENERAL

861482. **Darwin, geólogo.** HERBERT, S.

Invest. cienc., núm. 118, 80-86, esp., bibl. IGME.

* Geología, Bibliografía personal, Histórico, Arrecife, Génesis.

GEOLOGIA REGIONAL

861358. **Memoria sobre la organización, desarrollo y trabajos realizados en el XXXI Campamento para Prácticas de Geología. «Torla 1985».** RIOS, L. M.; GALERA, J. M., y BODEGA, F.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 124-127, esp., bibl. IGME.

* Enseñanza, Geología regional, Excursión, Manto, Gavarnie, Torla, Pirineos españoles, Provincia Huesca.

861361. **Proyecto núm. 5: Correlación de los acontecimientos pre-variscos y variscos en las cordilleras mediterráneo-alpinas.** JULIVERT, M.

Bol. inf. PICG, núm. 10, 16-17, esp., bibl. IGME.

* PICG, Geotransversal, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Fauna, Bioestratigrafía, Deformación, Orogenia alpina, Grado metamorfismo, Informe actividad, Cadena costero catalana, Zona Bética.

ESTRATIGRAFIA

861367. **Proyecto núm. 203: Acontecimientos geológicos durante el Permo-Trías en el sector oriental del Tethys y su correlación a nivel intercontinental.** SOPENA, A.

Bol. inf. PICG, núm. 10, 97-100, 15 ref., esp., bibl. IGME.

* PICG, Informe anual, Pérmico, Trías, Palinomorfía, Correlación, Tethys, España.

861392. **El Neógeno del Valle de los Guájares (Cordillera Bética, Granada).** ESTEVEZ, A. GONZALEZ DONOSO, J. M.; LINARES, D.; LOPEZ GARRIDO, A. C.; RODRIGUEZ, FERNANDEZ, J.; SANZ DE GALDEANO Y SERRANO, F.

Mediterranea Ser. Geol., núm. 4, 33-54, 23 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Neógeno, Bioestratigrafía, Fauna foraminíferos, Asociación fósil, Fosa tectónica, Litofacies, Fracturación, Falla, Zona Bética, Provincia Granada.

861463. **El manganeso de La Fuensanta (Lorca, Murcia): Ejemplo de mineralización volcánogeno-sedimentaria en el Paleozoico del Complejo Maláguide (Cordilleras Béticas).** LEYVA, F.; MATAS, J., y RUIZ MONTES, M.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 165-193, 63 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Manganeso sustancia, Volcanosedimentario, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Control tectónico, Falla, Cabalgamiento, Control litológico, Roca silicatada, Lidita, Primario, Corte geológico, Paragénesis, Provincia Murcia, Zona Bética.

861469. **¿Un error de nomenclatura en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales?** QUINTERO, I.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 252-256, esp., bibl. IGME.

* Primario, Nomenclatura, España.

861477. **El precámbrico del NNE de «Ossa-Morena»: PlanTEAMIENTO y estado de la cuestión, unidades, bases para su correlación y esquema evolutivo.** HERRANZ ARAUJO, P.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 119-211, 73 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Infracámbrico, Síntesis bibliográfica, Unidad estratigráfica, Ciclo sedimentario, Control tectónico, Litofacies, Corte geológico, Discontinuidad, Correlación, Provincia Badajoz, Hercínico Centro.

GEOMORFOLOGIA

861348. **Deformaciones recientes de los depósitos cuaternarios de la Puebla de Alfindén, Zaragoza.** RODRIGUEZ VIDAL, J.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 3-8, 11 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Neotectónica, Domo, Micropliegue, Fractura, Terraza, Abanicos fluviales, Corte geológico, Holoceno, Cuenca del Ebro, Provincia Zaragoza.

861380. **Marco geológico y geomorfológico del yacimiento prehistórico de Caracena.** LATORRE, F. J.

Excav. arqueol. Esp., núm. 134, 311-320, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* Secundario, Mioceno, Laguna estratigráfica, Falla, Roca carbonatada, Cañón, Valle, Glacis, Yacimiento arqueológico, Provincia Soria.

861386. **Estudio geológico de los yacimientos de la Maya.** PEREZ-GONZALEZ, A.; SANTONJA, M., y GALLARDO, J.

Excav. arqueol. Esp., núm. 135, 195-214, esp., bibl. IGME.

* Terraza, Aluvión, Coluvión, Arcosa, Composición mineralógica, Granulometría, Textura, Neógeno, Cuaternario, Mapa geomorfológico, Provincia Salamanca.

861424. **Geomorfología de las Sierras Oscenses y su piedemonte.** RODRIGUEZ VIDAL, J.

Inst. estud. altoaragoneses, Huesca (1986), 172 pp., 168 ref., esp., bibl. IGME.

* Macizo montañoso, Superficie erosión, Karst, Erosión fluvial, Ladera, Terraza, Glacis, Piedemonte, Mapa geomorfológico, Plioceno, Cuaternario, Provincia Huesca, Pirineos españoles.

CUATERNARIO

861366. **Proyecto núm. 200: Variaciones del nivel del mar a final del Cuaternario. Medidas, correlaciones y aplicaciones prospectivas.** ZAZO, C.

Bol. inf. PICG, núm. 10, 90-96, 4 ref., esp., bibl. IGME.

* PICG, Informe actividad, Programa, Variación nivel, Cuaternario.

861384. **Las industrias paleolíticas de la Maya I en su ámbito regional.** SANTONJA, M.; PEREZ-GONZALEZ, A.

Excav. arqueol. Esp., núm. 135, 347 pp., 97 ref., esp., bibl. IGME.

* Paleolítico, Util prehistórico, Yacimiento arqueológico, Terraza, Provincia Salamanca.

861385. **El Paleolítico Inferior regional.** SANTONJA, M., y PEREZ-GONZALEZ, A.

Excav. arqueol. Esp., núm. 135, 15-194, esp., bibl. IGME.

* Paleolítico, Acheliense, Util prehistórico, Yacimiento arqueológico, Terraza, Mapa geomorfológico, Provincias Valladolid, Zamora, Salamanca.

861387. **Descripción estratigráfica del yacimiento arqueológico Papa Uvas I.** MARTIN DE LA CRUZ, J. C.

Excav. arqueol. Esp., núm. 136, 35-51, esp., bibl. IGME.

* Estratigrafía, Yacimiento arqueológico, Corte geológico, Provincia Huelva.

GEOLOGIA MARINA

861372. **Estructura geológica de la plataforma continental frente al Mar Menor.** DIAZ DEL RIO, V., y REY, J.

Bol. Inst. Esp. Oceanogr. (1986), vol. 3, núm. 1, 1-6, 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Off shore, Levantamiento sísmico, Sísmica reflexión, Plataforma continental, Fosa tectónica, Fractura, Basamento, Manto, Mar Mediterráneo oeste, Provincia Alicante, Provincia Murcia.

GEOLOGIA EXTRATERRESTRE

861481. **El clima de Marte.** HABERLE, R. M.

Invest. cienc., núm. 118, 26-35, esp., bibl. IGME.

* Planeta Marte, Clima, Comparación Tierra.

GEOLOGIA DEL INGENIERO

861013. **Utilización de Lemna gibba en depuración de aguas residuales por lagunado.** BASANTA, A., y MARTIN MONTANO, A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 249-260, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Depuración, Agua residual, Bacteria, Calidad agua, Propiedad físico-química, Provincia Sevilla.

861016. **Variaciones estacionales de las características físico-químicas y de la calidad biológica de las aguas del río Guadalfeo (Granada).** ALBA, J.; GUIASOLA, I., y SANCHEZ-ORTEGA, A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 235-247, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Río, Calidad agua, Propiedad físico-química, Contaminación, Biotas, Invertebrado, Ecología, Provincia Granada.

861017. **Potabilización del agua en función de sus caracteres físico-químicos.** COCA, C.; PEREZ LOPEZ, J. A.; ESPIGARES, M., y GALVEZ, R.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 291-303, 4 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Depuración, Suministro agua, Potabilidad, Calidad agua, Dureza agua, Propiedad físico-química.

861019. **Eliminación de pesticidas mediante la acción del cloro.** ESPIGARES, M.; PEREZ LOPEZ, J. A., y GALVEZ, R.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 319-330, 5 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Agua contaminada, Pesticida, Depuración, Cloro.

861020. **Efectos de la potabilización del agua en diversos parámetros.** COCA, C.; PEREZ LOPEZ, J. A.; ESPIGARES, M., y GALVEZ, R.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 279-289, 5 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Agua contaminada, Depuración, Dureza agua, Bacteria,

Metodología análisis, Análisis cuantitativo, Provincia Granada.

861023. **Zooplankton del estuario del río Guadalquivir.** GUISANDE, C.; LOPEZ, T., y TOJA, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 361-372, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estuario, Entropización, Zooplankton, Inventario, Distribución espacial, Cuenca Guadalquivir.

861024. **Sobre las técnicas químicas de restauración de ecosistemas acuáticos sometidos a stress orgánico.** LOPEZ FERNANDEZ, A.; BELLIDO, E., y ANCHIA, E.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 373-381, 5 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Protección medio ambiente, Contaminación, Agua superficie, Río, Microorganismo, Ecosistema, Análisis elemento traza.

861027. **Estudio comparativo del ciclo diario de las características del agua de un río en dos puntos sometidos a diferente presión orgánica.** LOPEZ FERNANDEZ, A., y BELLIDO, E.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 383-392, 8 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Río, Agua, Contaminación, Residuo líquido, Ion, Amonio, Nitrito, Fosfato, Oxígeno, Metodología análisis, Análisis químico, Cuenca Guadalquivir, Provincia Córdoba.

861033. **Determinación automática de contaminantes en aguas mediante análisis por inyección de flujo.** RIOS, A.; LUQUE DE CASTRO, M. D., y VALCARCEL, M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 463-476, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Metodología análisis, Hidroquímica, Agua, Contaminación, Inyección en flujo.

861037. **Ecología del estuario del río Guadalquivir.** TOJA, J.; LOPEZ, T.; GUISANDE, C., y BRIEVA, C.

I Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 523-532, 13 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Estuario, Ecología, Agua superficie, Propiedad físico-química, Entropización, Contaminación, Materia orgánica, Cuenca Guadalquivir.

861356. **Emisión acústica-actividad microsísmica generada bajo ciclos térmicos en una roca granítica.** RUIZ DE ARGANDOÑA, V. G.; CALLEJA, L.; SUAREZ DEL RIO, L. M., y MONTOTO, M.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 96-102, 16 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Mecánica roca, Granodiorita, Análisis térmico, Dilatación, Microfisura, Textura, Onda acústica, Microsísmica, Provincia Pontevedra.

861374. **Empuje de tubos con máquinas de corte total en condiciones geológicas muy variables.** CONRAD, E. J., y SPOTKA, J.

Cant. Explot. (1986), núm. 229, 88-93, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Túnel, Sondeo mecánico, Tecnología, Roca, Arena, Agua subterránea, República Federal Alemana.

861423. **Ecosistemas vegetales del litoral mediterráneo español.** COSTA, M.; PERIS, J. B., y STUBING, G.

Dirección General Medio Ambiente (1986), 270 pp., 18 ref., bibl. IGME.

* Ecosistema, Medio litoral, Línea costa, Conservación, Erosión litoral, Sedimentación litoral, España, Mar Mediterráneo Oeste.

861425. **Manual para el diseño y construcción de escombros y presas de residuos mineros.** AYALA CARCEDO, F. J., y RODRIGUEZ ORTIZ, J. M.

IGME (1986), 182 pp., 83 ref., esp. SPIGME.

* Vertedero, Residuo industrial, Mina, Escombrera, Estabilidad ladera, Protección medio ambiente.

861471. **Alteraciones en el medio ambiente producidas por explotaciones de recursos minerales.** LOPEZ GIMENO, C.

Cant. explot., núm. 230, 19-29, 3 ref., esp., bibl. IGME.

* Mina, Cielo abierto, Estudio impacto medio, Protección medio ambiente, Planificación, España.

861484. **El cánón de vertidos en la Ley de Aguas. Quien contamina, paga.** COLMENAR, E.

Rev. MOPU, núm. 333, 16-21, esp., bibl. IGME.

* Agua de superficie, Contaminación, Legislación, Fiscalidad, Calidad agua, Protección medio ambiente, España.

861485. **Los movimientos del terreno. En tierra nada firme.** GRAINO, S.

Rev. MOPU, núm. 333, 56-60, esp., bibl. IGME.

* Estabilidad ladera, Movimiento masa, Previsión, Obras públicas, Planificación regional, España.

PALEONTOLOGIA: VERTEBRADOS

861350. **Nota preliminar sobre una pluma penna del yacimiento eocretácico de la Pedrera de Melá, Lérda.** GOMEZ PALLEROLA, J. E.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 22-24, 14 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Aves, Caliza, Cretácico Inf., Montsech, Provincia Lérida.

861381. **Estudio paleontológico del yacimiento prehistórico de Caracena.** SOTO RODRIGUEZ, E.

Excav. arqueol. Esp., núm. 134, 321-333, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Hipomorfa, Equus, Ruminantia, Sniformes, Fissipedia, Osteología, Biometría, Yacimiento arqueológico, Provincia Soria.

861383. **Estudio antropológico del yacimiento prehistórico de Caracena.** GARRALDA, M. D., y GALERA, V.

Excav. arqueol. Esp., núm. 134, 339-350, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Antropología, Homo sapiens, Cráneo, Mandíbula, Anatomía esqueleto, Biometría, Yacimiento arqueológico, Provincia Soria.

861389. **Informe sobre los restos óseos hallados en el poblado de La Muela de Cástalo (Linares-Jaén).** MOLE-RO, G.

Excav. arqueol. Esp., núm. 140, 305-314, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Ruminantia, Capra, Equus, Canis, Hipomorfa, Fissipedia, Osamenta, Biometría, Holoceno, Actual, Provincia Jaén.

861403. **Problemas taxonómicos y significación biológica de Homo Habilis.** ALCAZAR, J.

Rev. Acad. Cienc. exactas, fis.-quím. Nat. Zaragoza, vol. 2, núm. 40, 73-78, 39 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Hombre fósil, Homo habilis, Taxinomia, Evolución biológica, Filogenia.

861426. **Quelonios fósiles de Salamanca.** JIMENEZ FUENTES, E.

Caja de Ahorros, Salamanca, 205 pp., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Chelonia, Crocodilia, Teleostei, Inventario, Yacimiento fosilífero, Atlas, Eoceno, Oligoceno, Provincia Salamanca, Provincia Zamora.

PALEONTOLOGIA: INVERTEBRADOS

861478. **Bioestratigrafía de los Arqueoclastos en España.** PEREJON, A.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 213-265, 110 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Arqueoclastos, Síntesis bibliográfica, Bioestratigrafía, Cámbrico, Distribución temporal, Distribución espacial, Taxinomia, Asociación fósil, España.

861479. **Trilobites ordovícicos del macizo Hespérico español: Una visión bioestratigráfica.** RABANO, I.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 267-287, 71 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Trilobites, Síntesis bibliográfica, Ordovícico, Inventario, Bioestratigrafía, Paleogeografía, Hercínico Centro, Hercínico Sur.

861480. **Estudio bioestratigráfico del Llanvirn y Llandello (Dobrotivense) en la parte meridional de la zona Centro Ibérica (España).** PRIETO, M.; MARTIN, J.; RABANO, I., y GUTIERREZ-MARCO, J. C.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 289-321, 57 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Bioestratigrafía, Ordovícico, Llanvirniense, Llandelliense, Graptolitina, Trilobites, Braquiópodo, Molusco, Equinodermata, Inventario, Hercínico Centro.

PALEOBOTANICA

861382. **Estudio palinológico del yacimiento prehistórico de Caracena.** LOPEZ GARCIA, P.

Excav. arqueol. Esp., núm. 134, 335-338, 1 ref., esp., bibl. IGME.

* Palinomorfa, Polen, Análisis polínico, Palinodiagrama, Yacimiento arqueológico, Provincia Soria.

861462. **Revisión paleoecológica y estudio de las biofacies de la cuenca carbonífera de Henarejos, Cuenca.** DIEGUEZ, M. C.; TALENS, J., y FONOLLA, F.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 160-164, 19 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Paleoecología, Asociación fósil, Flora, Biofacies, Medio lacustre, Medio fluvial, Cuenca hullera, Estefaniense, Provincia Cuenca.

TECTONICA

861349. **Algunos aspectos de la tectónica neógena y cuaternaria en el sector central de la depresión del Ebro.** GUTIERREZ, M.; SIMON, J. L., y SORIANO, M. A.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 9-21, 19 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Neotectónica, Tectónica cobertera, Tectónica superpuesta, Falla, Falla normal, Microtectónica, Microfisura, Neógeno, Cuaternario, Cuenca del Ebro, Provincia Zaragoza.

861369. **Proyecto núm. 233: Materiales de los orógenos paleozoicos circumatlánticos.** MARTINEZ GARCIA, E.

Bol. inf. PICG, núm. 10, 134-135, esp., bibl. IGME.

* PICG, Informe anual, Orogénesis, Roca, Primario, Programa.

861391. **Los Alpujarrides al Sur de Sierra Nevada. Una revisión de su estructura.** ESTEVEZ, A.; DELGADO, F.; SANZ DE GALDEANO, C., y MARTIN ALGARRA, A.

Mediterranea Ser. Geol., núm. 4, 5-32, 33 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Manto, Unidad tectónica, Tectónica superpuesta, Pliegue, Deformación, Ventana tectónica, Fracturación, Zona Bética, Provincias Granada, Almería.

861475. **El complejo esquisto-grauwáckico en el área de las Hurdes y Sierra de Gata, provincias de Salamanca y Cáceres, España.** RODRIGUEZ ALONSO, M. D.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 37-80, 109 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Antecámbrico, Cámbrico, Roca clástica, Pizarra, Abanico fluvial, Sedimentación mar profundo, Orogenia caledoniana, Deformación, Orogenia hercínica, Pliegue, Esquistosidad, Provincias Cáceres, Salamanca.

861476. **Los materiales anteordovícicos del anticlinal de Navalpino (Provincias de Badajoz y Ciudad Real, España Central).** SAN JOSE, M. A.

Cuad. geol. Iber., vol. 9, 81-117, 103 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Pliegue, Anticlinal, Corte geológico, Cámbrico, Infrecámbrico, Grauwacka, Pizarra, Conglomerado, Roca clástica, Discordancia, Provincias Ciudad Real, Badajoz.

HIDROGEOLOGIA

861012. **Componentes del balance hídrico en la provincia de Sevilla al sur de Sierra Morena.** TEMINO, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 221-231, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Metodología, Balance agua, Evapotranspiración, Precipitación atmosférica, Agua lluvia, Agua disponible, Gestión recurso agua, Provincia Sevilla.

861014. **Balances hídricos de los ríos Cantril y Guardal.** ROMERO, M. A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 209-220, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Río, Divisoria de aguas, Balance agua superficie, Clima, Provincia Granada.

861015. **Estimación de la aportación salina al río Guadalhorce en el sector de Bobadilla-Gobantes, provincia de Málaga.** CARRASCO, F., y BENAVENTE, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 273-277, 8 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Agua superficie, Río, Salinidad, Conductividad eléctrica, Contaminación, Marga, Evaporita, Keuper, Provincia Málaga.

861018. **Los factores antrópicos en la contaminación de los acuíferos de la provincia de Cádiz.** MARTIN MACHUCA, M.; BATLLE, A.; MANTELON, R., y NAVARRO, R.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 261-271, 4 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Agua subterránea, Contaminación, Acción hombre, Protección medio ambiente, Provincia Cádiz.

861021. **Estudio hidroquímico preliminar de la Cuenca Alta del río Guadalete.** GONZALEZ ANTON, M. A.; TERNERO, M.; USERO, J., y GRACIA, I.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 347-359, 4 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Río, Manantial, pH, Conductividad eléctrica, Análisis mayores, Análisis elemento traza, Calidad agua, Potabilidad, Variación temporal, Keuper, Provincia Cádiz.

861022. **Hidroquímica de los manantiales de las sierras del Pinar (Cádiz).** DIAZ HERNANDEZ, J. L., y GARRIDO, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 305-317, 3 ref., esp., res. fr., ing., bibl. IGME.

* Agua subterránea, Manantial, Roca magnésiana, Roca carbonatada, Jurásico Inf., Acuífero, Hidroquímica, Modelo, Hidrograma, Clasificación, Provincia Cádiz.

861026. **Lagunas de alta montaña en Sierra Nevada: algunas características físicas y químicas.** MORALFS, R.; CRUZ-PIZARRO, L., y CARRILLO, P.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 413-424, 39 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Agua superficie, Lago, Macizo montañoso, Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Oxígeno, Coeficiente correlación, Variación temporal, Sierra Nevada, Zona Bética, Cordillera Bética, Provincia Granada.

861028. **Programas para elaboración y tratamiento de datos físico-químicos de interés en hidrogeología.** PADILLA, A.; PULIDO, A., y BENAVENTE, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 437-448, 4 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Programa ordenador, FORTRAN, Microordenador, Tratamiento dato, Hidroquímica, Método estadístico, Dendrograma.

861029. **Salinidad del agua de los pozos de Majaneque y Las Golondrinas (Córdoba).** MARIN, R.; MERINO, E.; DE LA FUENTE, M., y AGUILAR, J. M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 403-412, 3 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Pozos agua, Agua subterránea, Manto aluvial, Salinidad, Clasificación, Dureza agua, Hidrograma, Provincia Córdoba.

861030. **Caracterización físico-química preliminar de las aguas superficiales de la Cuenca del Alto Genil.** SANCHEZ CABALLERO, M. A.; FERNANDEZ GUTIERREZ, A., y CASTILLO, A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 511-521, esp., res. fr., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Agua superficie, Río, Temperatura, pH, Conductividad eléctrica, Provincia Granada.

861031. **Avance sobre las características físico-químicas de las aguas en las zonas húmedas del sur de la provincia de Córdoba.** RECIO, J. M., y MOYA, J. L.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 425-435, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Medio húmedo, Agua superficie, Agua subterránea, Propiedad físico-química, Clasificación, Salinidad, Análisis menores, Ión, Sodio, Ión cloruro, Hidrograma, Provincia Córdoba.

861032. **Termalismo y aguas minero-medicinales en Andalucía.** TORTOSA, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 533-538, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Inventario, Manantial, Agua termomineral, Propiedad química, Andalucía.

861038. **El agua en Andalucía. Volumen 2.**

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), 670 pp. esp., bibl. IGME.

* Reunión, Agua, Andalucía.

861039. **Evolución hidroquímica en el acuífero aluvial de la rambla de Albuñol, Granada.** ALMECIJA, C.; BENAVENTE, J., y FERNANDEZ-RUBIO, R.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 3-12, 16 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Hidroquímica, Agua subterránea, Acuífero, Aluvión, Roca carbonatada, Análisis grupo, Conductividad eléctrica, Temperatura, Provincia Granada.

861040. **Análisis preliminar del contenido de O-18 de los acuíferos costeros de Granada.** LOPEZ VERA, F., y BENAVENTE, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 13-24, 25 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Medio litoral, Agua subterránea, O-18, Temperatura, Altitud, Alimentación natural, Infiltración, Escoorrentía, Provincia Granada.

861047. **Salinización de depósitos deltaicos: aplicación**

al delta de Llobregat. IRIBAR, V.; MANZANO, M.; CUSTODIO, E., y PELAEZ, M. D.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 103-112, 18 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Intrusión agua salada, Acuífero, Delta, Medio litoral, Agua subterránea, Cuenca Llobregat, Provincia Barcelona.

861050. Posible génesis de las anomalías salinas en un área de la zona alta del aluvial del río Vélez (Málaga). NAVARRETE, P.; MARIN, A. A.; ESCOLANO, A., y ALBERT, J. F.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 135-150, 2 ref., esp., res. ing., fr., bibl. IGME.

* Manto aluvial, Geometría, Agua subterránea, Dureza agua, Salinidad, O-18, Tritio, Ión, Sulfato, Carbonato, Ión cloruro, Informe químico, Provincia Málaga.

861052. Evaluación de recursos en los acuíferos de la rambla de Albuñol (Granada). FERNANDEZ-RUBIO, R.; ALMECIJA, C., y BENAVENTE, J.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 155-165, 14 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Manto aluvial, Roca magnesiana, Roca carbonatada, Recurso agua, Precipitación atmosférica, Provincia Granada.

861053. Estudio hidrogeológico del acuífero Arahal-Paradas-Morón de la Frontera, Sevilla. BATLLE, A.; MANTECON, R., y MARTIN MACHUCA, M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 167-177, 6 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Recurso agua, Manto libre, Piezometría, Hidráulica, Calidad agua, Andalucense, Plioceno, Cuaternario, Provincia Sevilla.

861054. Hidrogeología de la unidad Montejaque-Cortes (Cádiz-Málaga). MARTIN MACHUCA, M.; MANTECON, R., y BATLLE, A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 179-189, 6 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Geometría, Roca carbonatada, Karst, Morfología disolución, Balance agua, Recursos agua, Demandas, Provincias Cádiz, Málaga.

861055. Las aguas subterráneas en la provincia de Cádiz. BATLLE, A.; MANTECON, R.; NAVARRO, R.; ROSADO, J. A., y MARTIN MACHUCA, M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 191-202, 9 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Aluvión, Roca clástica, Roca carbonatada, Jurásico, Mioceno, Plioceno, Cuaternario, Recursos agua, Calidad agua, Provincia Cádiz.

861056. Recarga de acuíferos detríticos pliocuaternarios desde basamentos preneógenos en la provincia de Almería. CARULLA, N.; CUEVAS, F., y SUBIRANA, J. M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 203-213, 3 ref., esp., res. fr., bibl. IGME.

* Acuífero, Roca clástica, Plioceno, Cuaternario, Alimentación natural, Balance agua, Calidad agua, Provincia Almería.

861057. Características hidrogeológicas de los acuíferos carbonatados de la Serranía de Grazalema, Cádiz. Su relación con el río Guadalete. CASTILLO, E. I.; GOLLONET, F. J., y MARTIN MACHUCA, M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 215-229, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Acuífero, Roca carbonatada, Recursos agua, Alimentación natural, Recarga acuífero, Hidrología superficie, Río, Provincia Cádiz.

861058. Características hidrogeológicas del sistema acuífero Sierra de las Estancias-Sector meridional (Almería). CASTILLO, E. I.; HIDALGO, J., y LUPIANI, E.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 231-243, 4 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Acuífero, Caliza, Dolomía, Geometría, Superficie piezométrica, Conductividad hidráulica, Recursos agua, Hidrodinámica, Provincia Almería.

861060. Hidrogeología y utilización del agua del sistema acuífero de Sierra Blanca, Sierra de Mijas. ARENAS, M.; LINARES, L., y DEL VALLE, M.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 2, 257-265, 5 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Acuífero, Roca carbonatada, Recursos agua, Demanda, Superficie piezométrica, Balance agua, Calidad agua, Residuo doméstico, Contaminación, Protección medio ambiente, Programa, Provincia Málaga.

861352. Aplicación del modelo Símero al manantial de Vozmediano. SANZ PEREZ, E.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 1, 42-64, 5 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Modelo matemático, Acuífero, Karst, Manantial, Balance agua, Caudal, Hidrograma, Infiltración, Regresión estadística, Provincia Soria.

861373. Problemas del agua en la minería del carbón en España. FERNANDEZ RUBIO, R.

Cant. explot. (1986), núm. 229, 27-34, 19 ref., esp., bibl. IGME.

* Carbón, Mina, Agua subterránea, Desagüe mina, Bombeo, Caudal, España.

861390. Hidrodinámica e hidroquímica del macizo de Oiz. ANTIGÜEDAD, I.; AGUAYO, J.; GARCIA DE CORTAZAR, A.; MARTINEZ LOPEZ, J., y ORTEGA, A.

Lurralde, núm. 9, 85-104, esp., res. ing., baq., bibl. IGME.

* Reserva hidrográfica, Aforo, Agua subterránea, Hidrodinámica, Método estadístico, Análisis componente principal, Terciario, Provincia Vizcaya.

861464. El Karst del sur y oeste del Moncayo. SANZ PEREZ, E.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 194-213, 21 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Karst, Acuífero, Balance agua, Infiltración, Recarga manto, Caudal, Agotamiento, Modelo matemático, Jurásico, Provincia Soria.

MINERALOGIA. GENERALIDADES

861465. Determinación espectrofotométrica del wolframio en muestras minerales con contenidos comprendidos entre 0.005 y 0.15 por 100. CAMARA, A., y ZATO, J.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 214-216, esp., res. ing., bibl. IGME.

* Wolframio, Análisis cuantitativo, Espectrometría UV, Metodología.

PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

861355. Análisis clúster de datos de composición química de rocas arcillosas de la Cordillera Ibérica Sudoriental. AMIGO, J. M.; BASTIDA, J.; BOSCH, F.; GIMENO, J. V., y PERIS, V.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 88-95, 17 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Análisis mayores, Análisis grupo, Pizarra, Marga, Composición arcillosa, Tratamiento dato, Dendrograma, Keuper, Cretácico, Terciario, Provincias Teruel, Valencia, Castellón, Macizo Ibérico.

861368. Proyecto núm. 219: Sedimentología comparada de sucesiones lacustres a través del espacio y el tiempo. CABRERA, LL.

Bol. inf. PICG, núm. 10, 101-106, 5 ref., esp., bibl. IGME.

* Sedimentación lacustre, Medio lacustre, Paleoambiente, PICG, Informe anual, España.

861388. Estudio petrográfico de los mosaicos. MINGARRO, F.

Excav. arqueol. Esp., núm. 138, 227-234, esp., bibl. IGME.

* Material ornamentación, Roca carbonatada, Propiedad física, Provincia Madrid.

861393. Interpretación sedimentaria de las calizas de crinoides del Carixense Subbético. DABRIO, C. J.; POLO, D.

Mediterranea Serv. Geol., núm. 4, 55-77, 31 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Caliza bioclástica, Crinoide, Estructura sedimentaria, Megaripples, Onda arena, Sedimentación marina, Medio agua poco profunda, Corriente marea, Jurásico Inf., Zona Bética, Zona Subbética, Provincia Granada.

861466. Estudio del efecto de matriz en la determinación de elementos pesados por fluorescencia de Rayos X. VERGARA PARDEIRO, A., y MARTIN RUBI, J. A.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 217-221, 14 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Método análisis mineros, Fluorescencia RX, Matriz roca, Arena, Galicia.

PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

861357. Mineralogía y evolución de las pegmatitas graníticas de La Cabrera. Sistema Central Español. GONZALEZ DEL TANAGO, J.; BELLIDO, F., y GARCIA CACHO, L.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 103-121, 23 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Pegmatita, Composición mineralógica, Análisis modal, Cuarzo, Axinita, Zeolita, Prehnita, Zoisita, Diagrama equilibrio, Alteración hidrotermal, Condición pneumatolítica, Metasomatosis, Provincia Madrid.

861406. Estudio petrológico de los granitoides y rocas asociadas en el Pirineo Central. ORTIGA, M.; LAPUENTE, M. T., y HERNANDEZ, M. J.

Rev. Acad. Cien. exactas, fis.-quím. Nat. Zaragoza, vol. 2, núm. 40, 113-127, 55 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Roca ígnea, Composición granítica, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Metamorfismo de contacto, Primario, Trias, Pirineos españoles.

861407. Petrología de las rocas volcánicas del Paleozoico Superior al W de Sallent (Huesca). LAPUENTE, M. P.; HERNANDEZ, M. J., y ORTIGA, M.

Rev. Acad. Cien. exactas, fis.-quím. Nat. Zaragoza, vol. 2, núm. 40, 129-141, 18 ref., esp., bibl. IGME.

* Roca volcánica, Estefaniense, Pérmico, Textura, Composición mineralógica, Pirineos españoles, Provincia Huesca.

861408. Mecanismos eruptivos y estructuras profundas de volcanes españoles e italianos. ARAÑA, V.

Reunión científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 149 pp., esp., bibl. IGME.

* Reunión, Vulcanología, España, Italia.

861409. Mecanismos de interacción explosiva del magma con acuíferos subterráneos. BARBERI, F.

Reunión científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 13-23, esp., bibl. IGME.

* Magma, Acuífero, Explosión, Erupción, Manifestación volcánica, Suceso, Estudio caso, Grecia.

861410. Episodios eruptivos violentos y sus depósitos en Canarias. HERNAN, F.; ALONSO, J. J., y RODRIGUEZ, J. A.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 24-37, 9 ref., esp., bibl. IGME.

* Afloramiento, Aglomerante, Piroclástico, Ignimbrita, Composición calcoalcalina, Textura, Explosión, Plioceno, Canarias, Tenerife, Gran Canaria.

861411. Evolución y mezcla de magmas en las Cañadas del Teide. ARAÑA, V.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 38-46, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Estratovolcán, Caldera, Cámara magmática, Basalto, Magmatismo, Magma, Cristalización fraccionada, Asimilación magmática, Canarias.

861418. Bandas del Sur, Tenerife. HERNAN, F.; ALONSO, J. J.; CUBAS, C. R.; DE LA NUEZ, J., y RODRIGUEZ, J. A.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 116-119, esp., bibl. IGME.

* Excursión, Piroclástico, Ignimbrita, Canarias, Tenerife.

861419. Teide-Pico Viejo y Caldera de las Cañadas (Tenerife). COELLO, J., y QUESADA, M. L.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 120-131, esp., bibl. IGME.

* Excursión, Volcán, Caldera, Estratovolcán, Cráter, Basalto, Canarias, Tenerife.

861420. **Aglomerado Roque Nublo, Gran Canaria y La Palma.** GARCIA CACHO, L.; SBRANA, A., y APARICIO, A. *Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias.* 132-135, esp., bibl. IGME.

* Excursión, Aglomerado, Ignimbrita, Roca volcánica, Gran Canaria, Canarias.

861421. **La Caldera y el Pico de Vandama.** HANSEN, A. *Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias.* 136-141, esp., bibl. IGME.

* Excursión, Caldera, Lapilli, Holoceno, Canarias, Gran Canaria.

861467. **Resistencia a la tracción en rocas sometidas a ciclos térmicos.** CALLEJA, L.; RUIZ DE ARGANDOÑA, J. G.; SUAREZ DEL RIO, L. M., y MONTOTO, M.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 222-231, 11 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Ensayo laboratorio, Granodiorita, Diorita, Serpentinita, Tracción, Temperatura, Porosidad, Microfisura.

861468. **Estudio de los ocelos en las camptonitas de la Sierra de Gredos, España central.** PASCUAL CARVAJAL, M. M., y BEA BARREDO, F.

Bol. geol. min., vol. 97, núm. 2, 232-248, 27 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Fenocristal, Lamprófiro, Camptonita, Dique, Textura, Análisis mayores, Norma petrográfica, Zonalita, Génesis, Sierra de Gredos, Hercínico Centro.

YACIMENTOLOGIA: METALES

861351. **Mineralogía y génesis de las concentraciones metálicas de Co-(Ni-Cu) de la mina de San Juan de Plan, Valle de Gistáin, en el Pirineo de Huesca.** CASTROVIEJO, R.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 25-41, 12 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Cobalto sustancia, Níquel sustancia, Cobre sustancia, Yacimiento hidrotermal, Yacimiento estratoide, Sulfuro, Paragénesis, Textura, Brecha, Ankerita, Génesis yacimiento, Análisis químico, Control estratigráfico, Silúrico, Provincia Huesca, Pirineos españoles.

861379. **Metalurgia extractiva del litio.** JOSA, J. M., y MERINO, J. L.

Energ. nucl. (Madrid), vol. 29, núm. 157, 375-380, 11 ref., esp., bibl. IGME.

* Litio sustancia, Yacimentología, Roca ígnea, Composición granítica, Agua mar, Potasa, Prospección, Programa, Metalurgia, España.

861938. **Mineralizaciones de Celestina en el prebético de Alicante (Nota preliminar).** PINA, J. A.; ESTEVEZ, A., y AVERNHEIMER, C.

Mediterranea Serv. Geol., núm. 4, 147-154, 10 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Sulfato, Estroncio, Celestina, Filón, Génesis, Provincia Alicante.

YACIMENTOLOGIA: SUSTANCIAS NO METALICAS

861472. **Evolución del sector de pizarra y presencia de equipos Carterpillar en estas explotaciones.**

Cant. explot., núm. 230, 36-37, esp., bibl. IGME.

* Pizarra, Histórico, Explotación, Tecnología, Provincias León, Orense.

861473. **Evaluación de reservas en una cantera de materias primas.**

Cant. explot., núm. 230, 41-45, esp., bibl. IGME.

* Materia prima, Cantera, Reserva, Evolución yacimiento, Metodología.

GEOQUIMICA

861354. **Método de determinación de pesticidas organoclorados en agua.** DE LA FUENTE, M. P., y LLAMAS, J. F.

Bol. geol. min. (1986), vol. 97, núm. 1, 77-87, 3 ref., esp., res. ing. bibl. IGME.

* Método análisis elemento traza, Análisis cualitativo, Cromatografía fase gaseosa, Agua, Manantial, Pesticida, Cromatograma, Provincia Cáceres.

861413. **Estudio geoquímico de las emanaciones volcánicas del Teide (Tenerife) y Timarfaya (Lanzarote).** VALENTIN, A.; CIONI, R.; FERRARA, G., y ARAÑA, V.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 69-79, 7 ref., esp., bibl. IGME.

* Fumarola, Gas, Temperatura, Análisis cuantitativo, Metodología, Cromatografía fase gaseosa, Canarias, Tenerife, Lanzarote.

GEOFISICA

861025. **Anomalía geotérmica en Sierra Almagrera, Almería.** MALDONADO, A., y ROZYCKI, A.

II Simposio sobre el Agua en Andalucía. Granada (1986), vol. 1, 393-402, 5 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Levantamiento geofísico, Sondeo geofísico, Gradiente geotérmico, Diagrafía, Flujo geotérmico, Campo geotérmico, Provincia Almería.

861353. **La geofísica aplicada en hidrogeología. Algo más que el SEV.** GRANDA SANZ, A.

Bol. geol. min. (1968), vol. 97, núm. 1, 65-76, 7 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Hidrogeología, Método eléctrico, Sondeo eléctrico, Método gravimétrico, Método electromagnético, Polarización provocada, Diagrafía.

861402. **Propagación de medios Love en medios homogéneos lateralmente por elementos finitos.** BADAL, J., y SERON, F. J.

Rev. Acad. Cienc. exactas, fis.-quím. Nat. Zaragoza, vol. 2, núm. 40, 37-50, 25 ref., esp., res. ing., bibl. IGME.

* Onda Love, Propagación onda, Medio homogéneo, Análisis elemento finito, Modelo, Corteza oceánica, Corteza continental, España.

FISICA DEL GLOBO

861378. **Los científicos discuten el riesgo volcánico en Canarias.** GONZALEZ GARCIA, J. L.

Cuad. protec. civil (1986), núm. 11, 10-11, esp., bibl. IGME.

* Reunión, Volcán, Erupción, Previsión, Planificación, Canarias.

861412. **Geoquímica de emanaciones volcánicas en Vulcano y Campos Felgrosos.** CIONI, R.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 47-68, 8 ref., esp., bibl. IGME.

* Geoquímica, Fumarola, Termodinámica, Actividad magmática, Microsísmica, Geotermometría, Modelo, Variación temporal, Isla Vulcano, Campaniense, Italia.

861415. **Aplicación de métodos magnetotélúricos en Tenerife, Lanzarote, Flegrosos y Vulcano.** ORTIZ, R.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 85-97, 6 ref., esp., bibl. IGME.

* Vulcanología, Método magnetotélúrico, Metodología, Canarias, Italia.

861416. **Aplicación de técnicas geodésicas de precisión en las Islas Canarias.** VIEIRA, R., y VELASCO, J.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias 98-104, 11 ref., esp., bibl. IGME.

* Geodesia, Red geodésica, Volcán, Levantamiento gravimétrico, Anomalía de Bouguer, Canarias, Tenerife, Gran Canaria.

861417. **Centro geofísico de Canarias.** GARCIA COLLOGOR, A.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 105-114, esp., bibl. IGME.

* Institución, Geofísica, Programa, Informe actividad, Canarias.

861422. **Anomalías geotérmicas de Timanfaya, Lanzarote.** ORTIZ, R.

Reunión Científica CSIC (España) y CNR (Italia). Islas Canarias. 142-145, esp., bibl. IGME.

* Excursión, Geotermia, Gradiente geotérmico, Canarias, Lanzarote.

ENERGIA

861347. **Boletín estadístico de CARBUNION.**

Bol. estad.-Carbunión (1985), núm. 43, 44 pp., esp., bibl. IGME.

* Dato, Estadística, Carbón, Antracita, Lignito, Producción, Productividad, Mano de obra, Importación, Coste, España.

861359. **El año 1985 en cifras.**

Bol. inf. HUNOSA (1986), núm. 19, 3-6, esp., bibl. IGME.

* Producción, Cielo abierto, Mano de obra, Carbón, Sociedad del Estado, España.

861375. **La energía en el mundo.**

Carbunión (1986), 15-124, esp., bibl. IGME.

* Energía, Carbón, Petróleo, Gas natural, Energía nuclear, Reserva, Demanda, Consumo, Mundo.

861376. **El carbón en la Europa Occidental.**

Carbunión (1986), 125-150, esp., bibl. IGME.

* Carbón, Reserva, Utilización sustancia, Demanda, Consumo, Importación, CEE.

861377. **El carbón en España.**

Carbunión (1986), 151-219, esp., bibl. IGME.

* Carbón, Reserva, Consumo, Demanda, Utilización sustancia, Producción, Mundo, España.

861401. **Yacimientos nacionales de gas natural. Situación actual y proyección a futuro.** ASCANIO TOGORES, F.

Quím. Ind. (Madrid), vol. 32, núm. 4, 324-327, esp., bibl. IGME.

* Campo hidrocarburo, Gas natural, Inventario, España.

861470. **Resultados mundiales de 1985 a excepción del COMECON. La producción eléctrica de origen nuclear mantiene su crecimiento.**

Bol. inf. UNESA, vol. 16, núm. 177, 11-16, esp., bibl. IGME.

* Central nuclear, Producción, Mundo, Inventario.

ECONOMIA MINERA

861400. **Panorama Minero 1983.** IGME.

Panorama Minero, 151 pp., esp., bibl. IGME.

* Panorama minero, Metal sustancia, Sustancia no metálica, Materia prima, Producción, Reserva, Importación, Exportación, Valor producción, Valor importación, Valor exportación, 1979-1983, España, Mundo.

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.

Boletín Geológico y Minero

Revista bimestral de geología económica
Industrias extractivas y de su beneficio

DIRECCION, REDACCION Y PUBLICACION

Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23 - 28003-Madrid, España

ADMINISTRACION, DISTRIBUCION Y SUSCRIPCION

Centro de Publicaciones del
Ministerio de Industria y Energía

Doctor Fleming, 7, 2.º

Teléfono: 250 02 03 28036-Madrid

Suscripción anual (6 números)

España: 2.500 ptas. (IVA incluido)

Iberoamérica: 2.500 ptas.+gastos de envío

Demás países: 3.000 ptas.+gastos de envío

Nombre, Organismo o Empresa

Profesión

Dirección Teléfono

Ciudad (provincia) D. P.

País FIRMA

Fecha

BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

ACUSE DE RECIBO

HEMOS RECIBIDO
WE HAVE RECEIVED
NOUS AVONS RECU

NOS FALTA
WE ARE IN WANT OF
IL NOUS MANQUE

FECHA
DATE

FIRMA
SIGNATURE

NOMBRE
NAME
NOM

DIRECCION
ADDRESS
ADRESSE

ROGAMOS DEVUELVAN ESTE ACUSE DE RECIBO, NECESARIO PARA NUESTRO CONTROL, Y DIRIGIDO EXCLUSIVAMENTE A AQUELLOS CENTROS QUE RECIBEN ESTA PUBLICACION CON CARACTER GRATUITO EN REGIMEN DE INTERCAMBIO.

Toda la correspondencia referente a las publicaciones
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio. Instituto Geológico y Minero de España

Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

3 ... 1987



INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Ríos Rosas, 23 - 28003 Madrid