

Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**boletín**

**geológico**

**y minero**

VOLUMEN 100

Marzo - Abril 1989

NUMERO 2



El Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE, que incluye, entre otras, las atribuciones esenciales de un «Geological Survey of Spain», es un Organismo autónomo de la Administración del Estado, adscrito al Ministerio de Industria y Energía, a través de la Secretaría General de la Energía y Recursos Minerales (R. D. 1.270/1988, de 28 de octubre). Al mismo tiempo, la Ley de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica le reconoce como Organismo Público de Investigación. El ITGE fue creado en 1849.

Volumen 100  
Número 2  
Marzo - Abril 1989

# Boletín Geológico y Minero

*Salas I, 54-9*

revista bimestral de geología, minería y ciencias conexas fundada en 1874 - 5.ª serie

## SUMARIO

<b>Geología</b>	D. MARTIN HERRERO: Los materiales Precámbrico-Cámbricos al O y S de Ciudad Rodrigo (Salamanca): Series, discordancias y correlaciones. ...	3
	K. LUDWIG, H. HAUDE, K. FUCHS, B. AZANZA, M. J. BLANCO y G. CUENCA: Los materiales lacustres del Mioceno de la Cuenca de Teruel-Ademuz en el Barranco del Pozuelo: Edafología y Paleontología ...	12
	X. MARTINEZ-DELCLOS: <i>Ilerdaegomphus</i> nom. nov. para el odonato adulto <i>Palaeaeschna pallerolae</i> del Cretácico Inferior del Montsec (Catalunya, España) ...	21
	J. ROSELL y E. ELIZAGA: Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la isla de Menorca ...	27
<b>Minería</b>	J. MARTINEZ FRIAS, R. LUNAR y E. VINDEL: Características geológicas y metalogénicas de la mineralización de Cu-Zn-Pb-Ag de Congostrina, Sistema Central ...	39
	D. ARIAS PRIETO, L. FERNANDEZ-JARDON CASTRO y F. L. PEREZ CERDAN: Texturas de reemplazamiento y relleno en el yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo - España) ...	49
<b>Aguas subterráneas</b>	B. ABALOS VILLARO: Estudio hidrogeológico preliminar del Cuaternario de Vitoria ...	61
	F. LOPEZ VERA y J. MARTINEZ GOYTRE: Formación travertínica de Puente San Pedro (Guadalajara). Edad, ambiente de formación y evolución ...	82
<b>Rocas industriales y ornamentales</b>	H. A. DESTEFANIS, V. ARAÑA y J. G. VIRAMONTE: Aptitud de perlitas riolíticas y pómez fonolíticas como soporte de especies químicas ...	93
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	J. POBLET y X. SOLANS: Evolución químico-termodinámica de la zonación mineralógica en el contacto de un cuerpo intrusivo básico (Trías de la Dorsal Bética) ...	99
<b>Información</b>	E. RUIZ DE SOMAVIA CABELLO: La industria minera española durante 1988: Avance ...	105
	J. M. LOPEZ DE AZCONA: La enseñanza de la minería en el mundo hispano durante el reinado de Carlos III (1759-1788) ...	111
	J. PELAEZ: El proceso de Bartolomé de Medina y su desarrollo en Potosí. Noticias y Notas bibliográficas ...	117 128

### 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 TECNOLÓGICO  
GEOMINERO DE ESPAÑA**

**GENTRO DE PUBLICACIONES  
MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA**

El Instituto Tecnológico GeoMinero 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 Tecnológico GeoMinero de España.  
Queda hecho el depósito que marca la Ley.

#### PORTADA

*Punta de Na Bal.là (Playa de Binimel.là, margen oriental). Turbiditas en capas delgadas, muy replegadas, incluidas en la masa olistostrómica.*

Foto: J. Rosell

Depósito legal: M. 3.279 - 1958  
ISSN 0366 - 0176  
NIPO 232 - 89 - 002 - 5

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

## Los materiales Precámbrico-Cámbricos al O y S de Ciudad Rodrigo (Salamanca): Series, discordancias y correlaciones.

Por D. MARTIN HERRERO (\*)

#### RESUMEN

Al O de Ciudad Rodrigo se encuentran materiales del Precámbrico-Cámbrico representados por tres Series (Inferior, Intermedia y Superior) discordantes entre sí. Dichas series, con anterioridad, fueron reconocidas para el área de Fuenteguinaldo-Pastores, al S de la que nos ocupa, por ROBLES CASAS, R., y ALVAREZ-NAVA DE OÑATE, H. (1988).

Este trabajo incluye un esquema geológico con dichas series localizadas al O y S de Ciudad Rodrigo, cortes y columnas esquemáticas y las representaciones gráficas de las lineaciones de intersección de la Fase I hercínica, medidas en cada una de ellas.

Palabras clave: Cámbrico, Precámbrico, Discordancia, Deformación polifásica, Microtectónica, Ciudad Rodrigo (Provincia Salamanca).

#### ABSTRACT

West of Ciudad Rodrigo city there are metasediments of Precambrian-Cambrian age represented by three angular unconformity sequences (Lower, Middle and Upper).

These sequences have been described a few months ago by ROBLES CASAS, R., and ALVAREZ-NAVA DE OÑATE, H. (1988) in the Fuenteguinaldo-Pastores area, to the S of Ciudad Rodrigo.

This paper provides a geological map showing the Precambrian-Cambrian sequences located to the W and S of Ciudad Rodrigo. It also encloses vertical and cross sections as well as the polar projection of the intersection lineations of the First Hercynian phase measured in each sequence.

Key words: Cambrian, Precambrian, Unconformities, Polyphase processes, Structural analysis, Ciudad Rodrigo (Salamanca Province).

#### 1. INTRODUCCION

El marco geológico se encuadra dentro de la zona Centro Ibérica del Macizo Hespérico, en la terminación suroccidental de la Fosa de Ciudad Rodrigo.

Los antecedentes más recientes corresponden a los trabajos realizados por CORRETGE, L. G. et al. (1977), RODA, J. (1981) y ARRIBAS, A. et al. (1983) para la zona O de C. Rodrigo, y RODRIGUEZ ALONSO, M.ª D. (1985), VALLADARES, I. et al. (1988), ROBLES CASAS, R. et al. (1988) y ALVAREZ NAVA, H. et al. (1988) para la zona S.

El presente trabajo se ha realizado con parte de los datos obtenidos en la elaboración de la

(\*) INTECSA. Orense, 70. 28020 Madrid.

Hoja núm. 525 (Ciudad Rodrigo) del Plan MAGNA, por lo que queremos expresar nuestro agradecimiento al ITGE por las facilidades prestadas para la publicación de esta nota, así como a las Dras. Isabel Valladares y M.ª Antonia Díez Balda, de los Departamentos de Estratigrafía y Geología Estructural, respectivamente, de la Universidad de Salamanca, por la lectura y comentarios al texto.

#### 2. ESTRATIGRAFIA

Los materiales Precámbrico-Cámbricos aquí incluidos están situados al O y S de C. Rodrigo, separados ambos por los sedimentos terciarios y cuaternarios que constituyen, en esta zona, el relleno de la denominada Fosa de C. Rodrigo (figura 1).

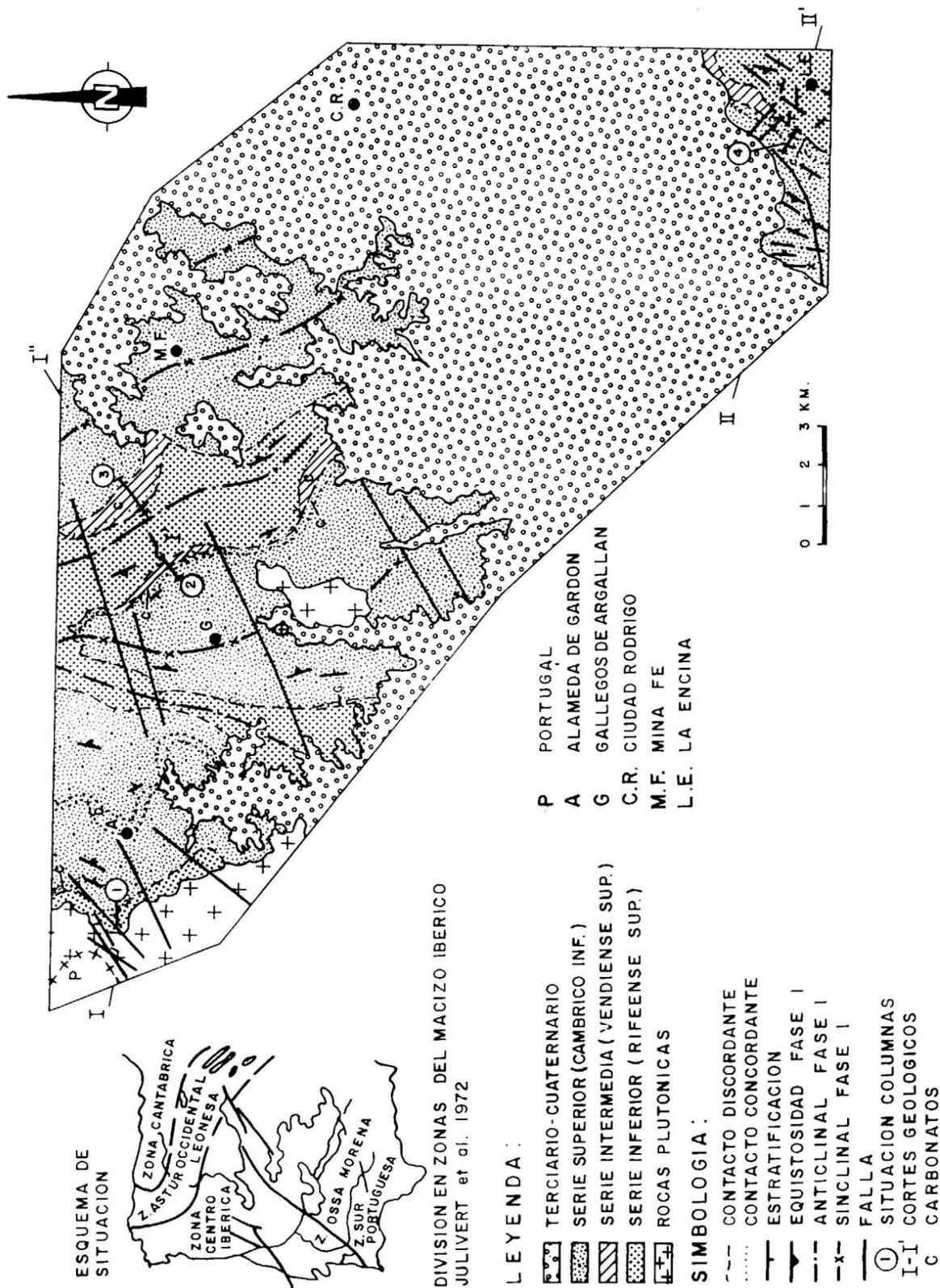


Figura 1.—Esquema geológico de los materiales Precámbrico-Cámbricos al O y S de Ciudad Rodrigo (Salamanca).

El Precámbrico-Cámbrico viene representado por tres Series (Inferior, Intermedia y Superior) que tienen distinta entidad cartográfica. Las tres se identifican al O de C. Rodrigo mientras que al S (área de La Encina) sólo aparecen completas la Inferior y Superior y parte de la Intermedia, aunque tenemos constancia de toda ella en distintos puntos de la banda Fuenteguinaldo-Pastores (ROBLES CASAS, R., et al., op. cit.).

Las características litológicas de estas series son:

#### SERIE INFERIOR

Los materiales de esta serie corresponden a pelitas arenosas y pelitas en disposición alternante, que llevan intercalados niveles de areniscas, areniscas conglomeráticas y conglomerados en paquetes que alcanzan en ocasiones 1 m. de potencia.

Estas intercalaciones indican los cambios sufridos por la cuenca en régimen general turbidítico.

La Serie Inferior se observa con claridad en los alrededores de La Encina y en ambos flancos del Sinclinal de Gallegos de Argañán. Si admitimos la correlación de esta serie con el Grupo Domo Extremeño, podemos atribuirle una edad Rifeense Superior (ROBLES CASAS, R. et al., op. cit.).

#### SERIE INTERMEDIA

En discordancia sobre la serie anterior, aparecen unas pelitas negras laminadas sobre las que se sitúa un tramo eminentemente calcáreo para terminar, en esta zona, con unas pizarras negras.

El tramo calcáreo está constituido por calizas slumpizadas que intercalan brechas calcáreas constituidas por cantos calizas angulosos, de muy diversos tamaños, de calizas sedimentadas por distintos tipos de flujo por gravedad. Todo este conjunto corresponde a una sedimentación de talud.

Esta Serie Intermedia se encuentra aflorante al E de Gallegos de Argañán y queda reflejada esquemáticamente en las columnas 2 y 3 de la figura 2. En el área de La Encina sólo aparecen las pizarras negras de la base.

La similitud entre esta serie en el área O de C. Rodrigo y la establecida por ALVAREZ NAVA, H. et al. (op. cit.) en la zona de Fuenteguinaldo-Pastores, nos permite establecer a su vez la correlación de estos materiales con los del Grupo Ibor, de edad Vendiense Superior.

#### SERIE SUPERIOR

Culmina la sedimentación de los materiales Precámbrico-Cámbricos del área, con la denominada Serie Superior en discordancia sobre la Intermedia.

En general la serie se encuentra representada de muro a techo por: areniscas calcáreas de grano fino con ripples, que pasan a conglomerados calcáreos, calizas, pizarras negras y grauvacas con intercalaciones microconglomeráticas y conglomeráticas de naturaleza silíceas.

Los cantos de los conglomerados de la base de la unidad corresponden en su mayoría a calizas, aunque son frecuentes los de cuarzo y arenisca. Todos aparecen redondeados, aplanados y con tamaño variable que va de centimétrico a decimétrico, dentro de una matriz calcárea, bien organizados según planos de estratificación y en donde a nivel puntual se observan imbricaciones de cantos.

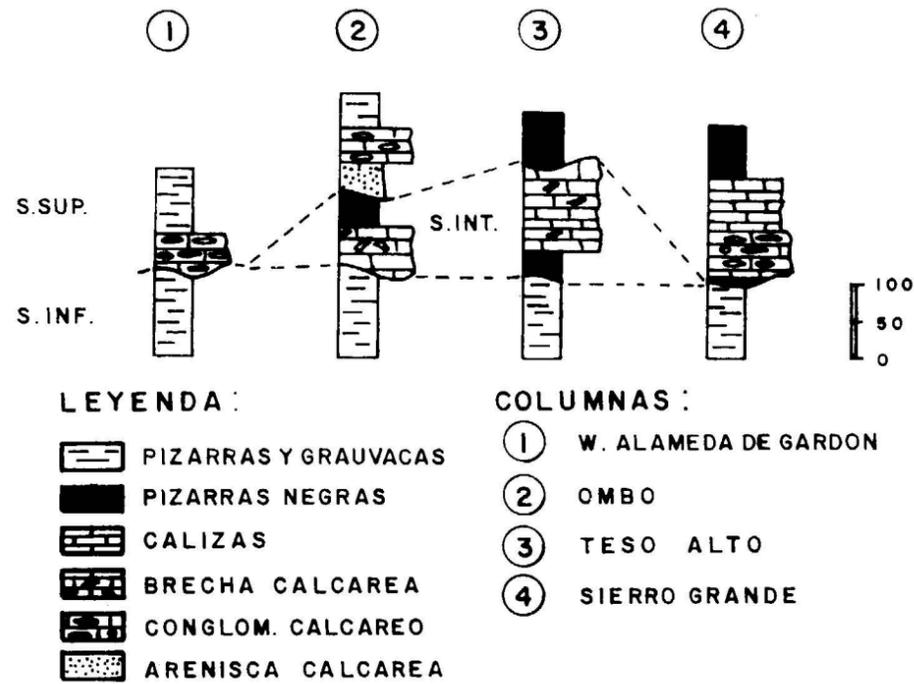
La cartografía refleja que esta serie es la que ocupa en todo el área una mayor extensión superficial.

Hay que hacer constar que la base de la serie no es uniforme en todos los puntos, ya que el conjunto areniscas-conglomerados calcáreos-calizas puede no encontrarse en algunos de sus tramos e incluso desaparecer, como es el caso del área O del Sinclinal de Gallegos de Argañán, en donde se ponen en contacto directo pizarras de la Serie Inferior y Superior.

En las columnas esquemáticas de la figura 2 pueden observarse a nivel puntual la existencia o no de los tramos basales antedichos y su ubicación geográfica.

Atendiendo a las características reseñadas, podemos incluir estos sedimentos dentro de un medio de plataforma en sentido amplio.

Para ALVAREZ NAVA, H. et al. (op. cit.) esta serie es correlacionable con el Grupo Valdela-



CORTES GEOLOGICOS

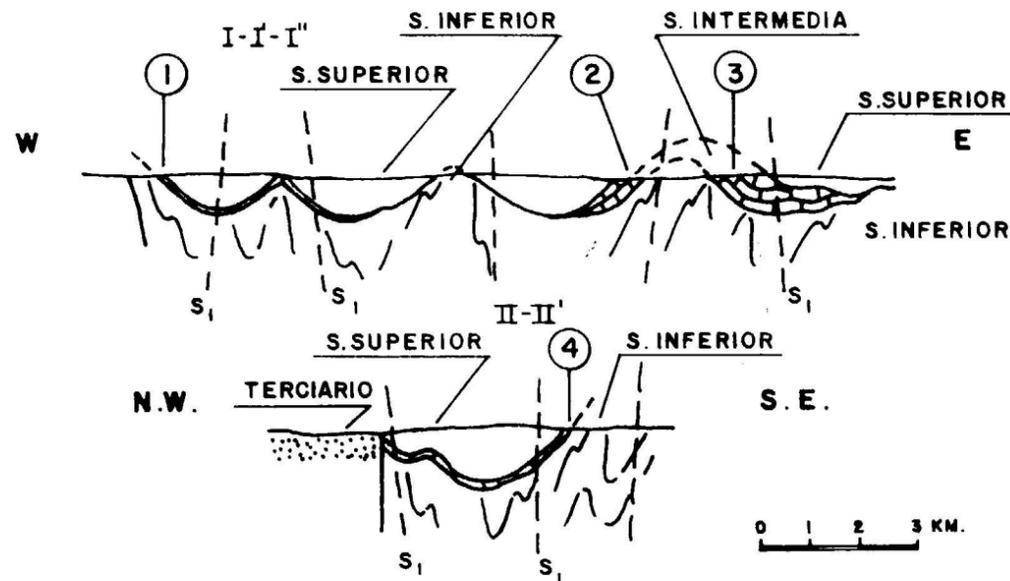


Figura 2.—Columnas esquemáticas y cortes geológicos al O y S de Ciudad Rodrigo.

casa de los Montes de Toledo. Por ello, en el área O de C. Rodrigo, mantenemos también dicha correlación y la asignamos una edad Cámbrico Inferior.

DISCORDANCIAS

Las tres series descritas se encuentran separadas entre sí por dos discordancias que condicionan la representación cartográfica de los materiales que las constituyen.

- A) La discordancia angular intraprecámbrica corresponde a la existente entre las series Inferior e Intermedia. Esta discordancia, presente en toda la región, aparece al O de Ciudad Rodrigo, donde se ve cartográficamente un choque de capas que indica su existencia. También ha sido cartografiada al E de El Bodón (ROBLES CASAS, R. et al., op. cit.) y la hemos observado en distintos puntos de la banda Fuenteguinaldo-Pastores. La Serie Inferior tiene variaciones muy acusadas en las trazas de las capas, en todo el área de La Encina, mientras que en el resto las direcciones NNO-SSE son mucho más constantes. Por ello la observación directa de esta discordancia se encuentra sujeta a las variaciones lógicas que presentan entre sí las direcciones y buzamientos de las capas de esta serie con la suprayacente.
- B) Las Series Intermedia y Superior se encuentran separadas por una discordancia que podría corresponder con el paso Precámbrico Superior al Cámbrico Inferior.

Esta discordancia viene marcada por la presencia de un tramo basal perteneciente a la Serie Superior, fundamentalmente conglomerático, que está sujeto a variaciones en cuanto a potencia y características litoestratigráficas que las diferencian de las brechas calcáreas de la Serie Intermedia.

A su vez, la cartografía de ambas series nos indica la existencia de esta discordancia, dado que la Serie Superior erosiona parcial o totalmente a la Intermedia. Esto se puede observar en el área O de C. Rodrigo a lo largo de todo el flanco este del Sinclinal de Gallegos de Argañán, y en la superficie ocupada por la explotación de uranio de Mina Fe, en donde no quedan restos de Serie Intermedia.

A su vez, en La Encina, la ausencia de Serie Intermedia coloca también por superposición de dos discordancias a la Serie Superior sobre la Inferior.

- C) En la figura 1 no se han incluido los sedimentos del Ordovícico, que se localizan al N de C. Rodrigo, a escasos kilómetros de los primeros afloramientos de la Serie Superior, y que se encuentran en discordancia (Sárdica) sobre ellos.

CORRELACIONES

- Como hemos indicado más arriba, correlacionamos la Serie Inferior con el Grupo Domo Extremeño, la Serie Intermedia con el Grupo Ibor y la Serie Superior con el Grupo Valdeacasa de los Montes de Toledo, de acuerdo con ALVAREZ NAVA, H. et al. (op. cit.) y NOZAL, F. et al. (1988).
- Con respecto a la denominación de Unidad Inferior y Unidad Superior de RODRIGUEZ ALONSO, M.<sup>a</sup> D. (op. cit.), consideramos que nuestra división aporta datos que permiten clarificar y comprender mejor la distribución cartográfica de las Unidades descritas al SO de Salamanca.
- La Serie Inferior se corresponde con la Unidad Inferior de RODRIGUEZ ALONSO, M.<sup>a</sup> D. (op. cit.) y la Serie Intermedia, junto con la Serie Superior, se corresponde con la Unidad Superior descrita por dicha autora.

— Con respecto a la correlación con unidades descritas más al N, en el S de Salamanca DIEZ BALDA, M.<sup>a</sup> A. (1982) estableció la existencia de las Formaciones Monterrubio y Aldeatejada correlacionables a su vez con las Pizarras del Pusa en los Montes de Toledo, sobre las que se sitúan en concordancia las Areniscas y Calizas de Tamames, del Cámbrico Inferior.

— En nuestra opinión, la Serie Superior aquí existente se puede correlacionar en su conjunto y por similitud de facies, con la Formación Monterrubio y parte de Aldeatejada, por lo que la ausencia del resto de la serie Cámbrica deberá su origen a la no sedimentación o a la erosión producida por la Fase Sárdica anteordovícica.

3. ESTRUCTURA

Las discordancias descritas en este trabajo y la correlación de las series con otras de edad Precámbrico Superior o Cámbrico Inferior, nos permiten hablar de deformación intraprecámbrica. Por otra parte la estructura de la región puede explicarse con la intervención de las Deformaciones Sárdica y Hercínica además de algunas deformaciones más tardías.

En este apartado nos limitaremos a comentar la deformación prehercínica y las características de las lineaciones de intersección  $L_1$  producidas por la Primera Fase de deformación hercínica en las tres series establecidas.

— *Deformación precámbrica.*—Corresponde con la discordancia que separa las Serie Inferior e Intermedia.

La deformación queda claramente representada en la Serie Inferior por la presencia de pliegues de dirección general E-O, fácilmente identificables en los alrededores de La Encina y en diversos puntos de la banda Fuenteguinaldo-Pastores. Estos pliegues no llevan esquistosidad asociada.

— *Deformación precámbrica-cámbrica.*—Origina la discordancia existente entre la Serie Intermedia y la Superior.

Esta discordancia se manifiesta en la cartografía por la desaparición parcial o total de la Serie Intermedia, lo que origina una superposición de las dos discordancias anticámbricas descritas.

El mejor ejemplo cartográfico lo encontramos en La Encina, en donde las trazas de los pliegues precámbricos de dirección general E-O chocan contra los materiales no deformados de la Serie Superior, este choque de capas probablemente se debe a la discordancia inferior.

Esta deformación no hemos visto que lleve asociada pliegues ni esquistosidad, pero ALVAREZ NAVA, H. et al. (1988), en la banda Fuenteguinaldo-Pastores, describen algunos afloramientos con pliegues prehercínicos que llevan asociado una esquistosidad y atribuyen a esta deformación al Vendense Superior-Cámbrico Inferior por correlación con las

series de los Grupos de Ibor y Valdelacasa, respectivamente.

— *Deformación sárdica.*—Fuera del área de estudio se reconoce en numerosos puntos la discordancia Sárdica localizada en la base del Ordovícico. Esta deformación origina pliegues suaves de amplio radio con direcciones E-O y NE-SO, según las zonas, que no llevan asociada esquistosidad.

— *Deformación hercínica (Fase 1).*—La primera fase de deformación hercínica origina pliegues subverticales de longitud de onda y amplitud kilométrica de dirección N-S y NNE-SSE, que están presentes en la zona y algunos de ellos representados en la figura 1 y que tienen sus mejores ejemplos en los sinclinales de Gallegos de Argañán y El Bodón (fig. 2).

Esta fase lleva asociada una esquistosidad penetrativa, subvertical, del tipo «slaty cleavage», presente en toda la región, y bien representada en los niveles pelíticos.

La intersección de los planos de estratificación,  $S_0$ , y de esquistosidad,  $S_1$ , da lugar a una lineación de intersección  $L_1$ . Tomando como base las medidas obtenidas en los afloramientos correspondientes a las tres series precámbrico-cámbricas establecidas, se han representado sobre una Falsilla de Schmit (hemisferio inferior) las proyecciones de los polos de lineaciones obtenidas en cada una de las series. Utilizando un programa que proyecta líneas perpendiculares a la lineación y realiza diagramas de frecuencias, podemos interpretar los máximos obtenidos (figuras 3 y 4) como correspondientes a los siguientes planges más frecuentes de la lineación:

	O C. Rodrigo	La Encina - S. Grande
Serie Superior	N 172° E/25° S	N-S/10° N y 25° N; N 10° E/10° S
Serie Intermedia	N 98° a 138° E/10° N	N-S/30° N
Serie Inferior	N 125° a 130° E/85° S	N-S/80° N

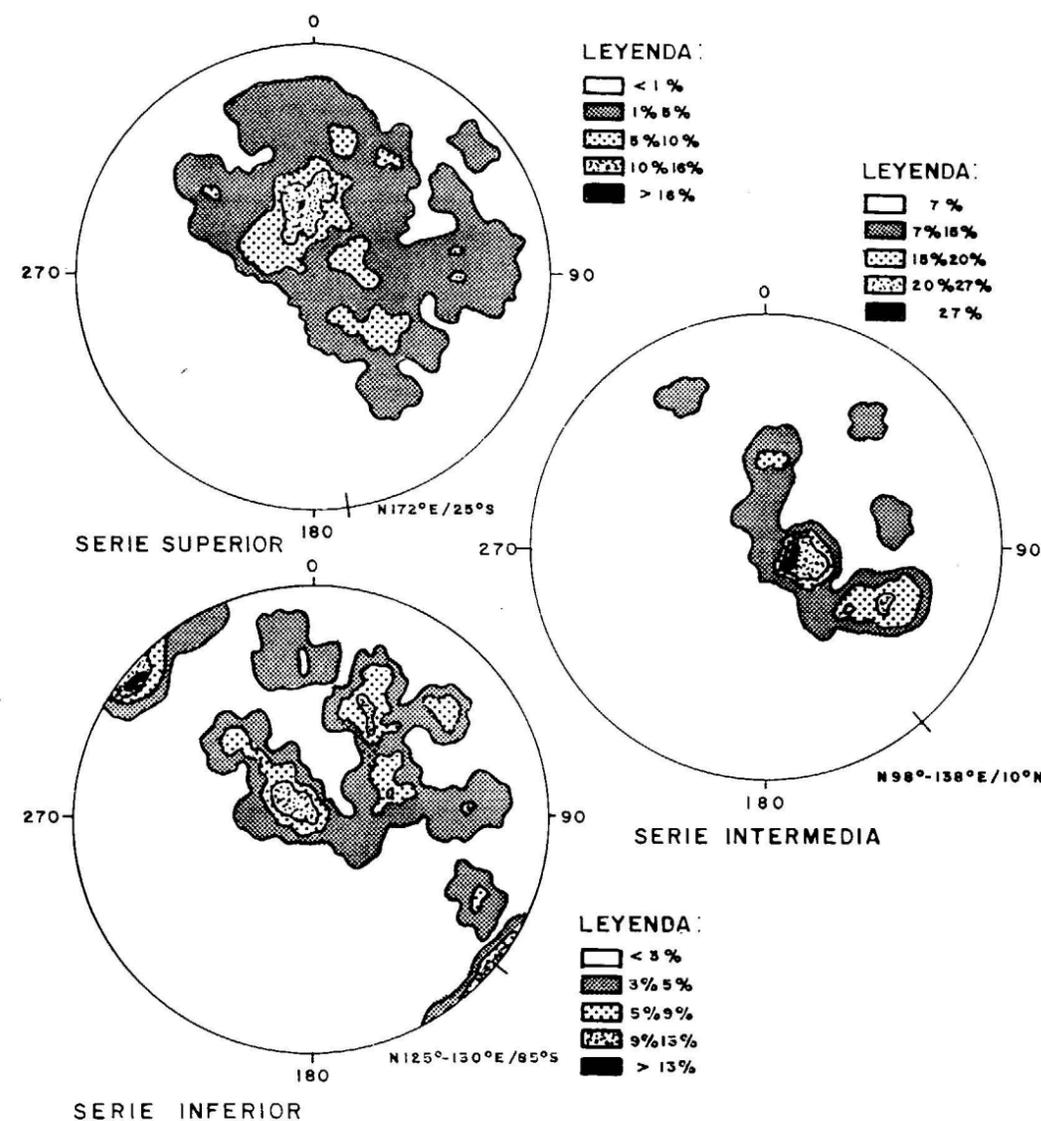


Figura 3.—Proyección de polos de la lineación de intersección  $L_1$ . Falsilla de Schmidt (Hemisferio Inferior). O de Ciudad Rodrigo.

Los resultados son equivalentes con planges mucho más acusados en la Serie Inferior que en las otras dos, en ambos lados de la Fosa de Ciudad Rodrigo.

Parece, pues, evidente, que la inclinación de las capas antes de la primera fase hercínica era diferente entre estas tres series. Al menos esta diferencia es notable entre la Serie Inferior y la

Intermedia que se puede explicar por un plegamiento precámbrico que habría verticalizado las capas de la Serie Inferior antes de la sedimentación de la Serie Intermedia.

En cuanto la discordancia entre la Serie Intermedia y la Superior, el estudio de las lineaciones sólo nos permite afirmar que ésta sería de ángulo bajo.

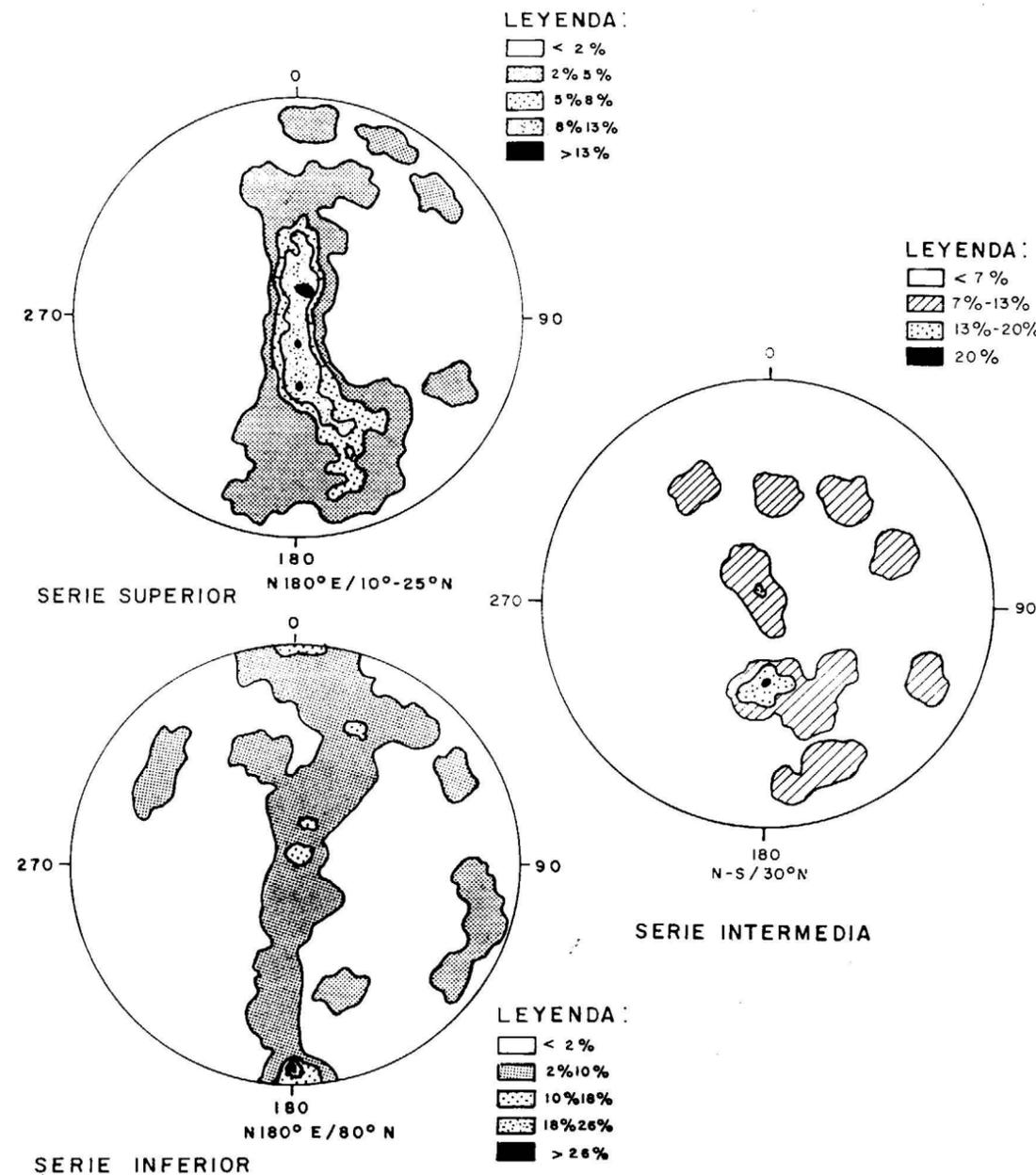


Figura 4.—Proyección de polos de la lineación de intersección  $L_1$ . Falsilla de Schmidt (Hemisferio Inferior). S de Ciudad Rodrigo.

#### 4. CONCLUSIONES

A la vista de lo expuesto se pueden extraer las siguientes conclusiones:

— Se confirma la existencia en la zona S de C. Rodrigo (La Encina) de las Series Infe-

rior y Superior, y parte de la Intermedia que quedan incluidas dentro de la banda Fuenteguinaldo-Pastores estudiada por ROBLES CASAS, R. et al. (op. cit.).

— Se confirma la existencia de las tres Series

(Inferior, Intermedia y Superior) para el área O de C. Rodrigo.

- Se establece la correlación entre ambas zonas pertenecientes a su vez a los sedimentos más antiguos (Precámbrico Superior-Cámbrico Inferior) de los bloques N y S de la Fosa de C. Rodrigo, en su terminación más occidental.
- Se confirma la existencia en ambas zonas de discordancias entre las tres series descritas.
- Se establecen las deformaciones prehercínicas en el área y se correlacionan con las existentes en los Montes de Toledo.
- Del estudio estadístico de las lineaciones de intersección entre la estratificación y la primera esquistosidad hercínica, se deduce un cambio notable en el plunge de éstas entre la Serie Inferior a la Intermedia y menos manifiesta entre la Intermedia y la Superior.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALVAREZ NAVA, H., y ROBLES CASAS, R. (1988): *Sobre la existencia de una esquistosidad prehercínica en la zona de Fuenteguinaldo-Pastores, SO de Salamanca (Zona Centro Ibérica)*. Congreso Geológico de España. Sociedad Geológica de España, vol. 2, pp. 99-102.
- ARRIBAS, A.; MARTIN IZARD, A., y MONTES, J. (1983): *Las mineralizaciones de uranio de la zona de Alameda de*

*Gardón y su posición en el contexto geotectónico y metalogénico de las pizarras del Oeste de la provincia de Salamanca*. VIII Reunión de Geología del Oeste peninsular. Studia Geologica, t. XVIII, p. 201. Salamanca.

CORRETGE CASTAÑON, L. G., y LOPEZ-PLAZA, M. (1977): *Geología del área granítica al oeste de Ciudad Rodrigo (Salamanca): I. El Complejo Esquisto Grauváquico*. Estratigrafía, Metamorfismo y Deformación. Studia Geologica, t. X (Salamanca).

DIEZ BALDA, M.ª A. (1982): *El Complejo Esquisto-Grauváquico, las series Paleozoicas y la estructura Hercínica al S de Salamanca*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.

NOZAL MARTIN, F., y ROBLES CASAS, R. (1988): *Series y correlaciones de los materiales anteordovícicos en los Montes de Toledo y el sur de Salamanca*. Congreso Geológico de España. Sociedad Geológica de España, vol. 1, pp. 139-143.

ROBLES CASAS, R., y ALVAREZ NAVA, H. (1988): *Los materiales Precámbrico-Cámbrico del Domo de las Hurdes. Existencia de tres series sedimentarias separadas por discordancia. SO de Salamanca (Zona Centro Ibérica)*. Congreso Geológico de España. Sociedad Geológica de España, vol. 1, pp. 185-188.

RODA, J. (1981): *Investigaciones sobre el «Complejo Esquisto Grauváquico anteordovícico» al NO de Ciudad Rodrigo*. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca.

RODRIGUEZ ALONSO, M.ª D. (1985): *El Complejo Esquisto Grauváquico y el Paleozoico en el Centro Oeste*. Acta Salmanticensis 51. Salamanca.

VALLADARES, I., y RODRIGUEZ ALONSO, M.ª D. (1988): *Depositional processes of channel of channel fill carbonate (late Precambrian, Salamanca, Spain)*. Revista de la Sociedad Geológica de España, vol. 1 (1-2).

Original recibido: Diciembre de 1988.

Original aceptado: Febrero de 1989.

# Los materiales lacustres del Mioceno de la Cuenca de Teruel-Ademuz en el Barranco del Pozuelo: Edafología y Paleontología.

Por K. LUDWIG (\*),  
H. HAUDE (\*), K. FUCHS (\*), B. AZANZA (\*\*), M. J. BLANCO (\*\*), y G. CUENCA (\*\*)

## RESUMEN

Los sedimentos lacustres de la Cuenca de Teruel-Ademuz presentan diferentes niveles de paleosuelos. En los alrededores de Conclud estos niveles están bien diferenciados y presentan buenos afloramientos. Una comparación de la morfología de las raíces fósiles con las de floras actuales vivientes permite establecer una analogía con plantas subacuáticas actuales. Las raíces fosilizadas serían plantas desarrolladas sobre un substrato de lodo o arena fina que posiblemente quedaría inundado con relativa frecuencia bajo aguas poco profundas (hasta 3 metros de profundidad).

Uno de los niveles presenta una gran riqueza en huesos de mamíferos fósiles, constituye el yacimiento de Conclud; «Barranco de las Calaveras», lo que permite datar estos materiales como Turoliense.

Palabras clave: Sedimentación lacustre, Biomicrita, Paleosuelo, Flora, Fauna vertebrado, Turoliense, Provincia Teruel.

## ABSTRACT

Upper Miocene sediments from the Basin of Teruel-Ademuz (NE-Spain) have been interpreted as deposits of shallow water, lacustrine environment. Especially near Conclud a paleosol is developed in the Turolian (Upper Miocene). Comparison of rootmorphology with modern analogs points towards a subhydric community of reed plants, which grew on a substrat of mud to fine grained sand in shallow water up to three meters deep.

Key words: Lacustrine sedimentation, Biomicrite, Paleosols, Flora, Vertebrates, Turolian, Teruel province.

## INTRODUCCION

Lo expuesto en el presente trabajo es parte de los estudios que el equipo mixto formado por el área de Paleontología de la Universidad de Zaragoza y el Instituto de Geología de Heidelberg de Alemania vienen realizando en los últimos tres años dentro del proyecto de análisis de la Cuenca de Teruel-Ademuz.

El área estudiada está situada en el Barranco de Pozuelo, conocido también como «Barranco de las Calaveras», en el Turoliense de los alrededores de Conclud (Fosa de Alfambra-Teruel-

Ademuz), citado numerosas veces en la literatura por constituir un importante yacimiento de vertebrados. Sin embargo, la descripción sedimentológica de los materiales que afloran en el Barranco de Pozuelo y los procesos edáficos observables en los mismos ha sido, hasta el presente, un tanto olvidada.

Geográficamente, el Barranco de Pozuelo se encuentra a 3 kilómetros al noreste del pueblo de Conclud y a 10 kilómetros al noroeste de Teruel capital (Hoja núm. 567, Teruel, E. 1:50.000), como se indica en la figura 1.

El objetivo de este trabajo es la descripción de los sedimentos lacustres que afloran en el Barranco de Pozuelo y reconocer los posibles procesos edafológicos, así como la situación del nivel fosilífero clásico del «Barranco de las Calaveras» en las columnas litológicas.

(\*) Geologisch-Palaontologisches Institut der Universität Heidelberg. Im Neuenheimer Feld 234, 6900 Heidelberg, West-Germany.

(\*\*) Paleontología. Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza. 50009 Zaragoza, España.

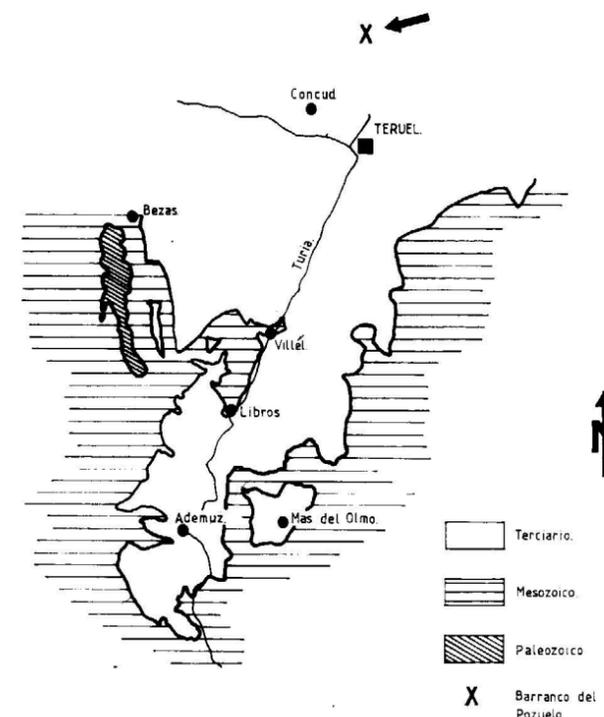


Figura 1.—Situación del área estudiada (modificado según LUDWIG, 1986).

## LITOLOGIA

Se han levantado 6 columnas litológicas de 4 a 10 m. de potencia. Pueden dividirse en cuatro unidades litológicas que, de muro a techo, son: Unidad E 1: Base Roja Inferior; Unidad E 2: Horizonte Blanqueado; Unidad E 3: Horizonte de Raíces; Unidad E 4: Calizas de Algas.

### UNIDAD E 1: BASE ROJA INFERIOR

Margas de color rojo o marrón rojizo a rosa claro, entre las que se intercalan conglomerados y arenas canaliformes. Su potencia, variable en las 6 columnas estudiadas, es de 0,25 a 1,25 m.

### UNIDAD E 2: HORIZONTE BLANQUEADO

Está constituida por areniscas, margas y calizas arenosas de color claro amarillo-verdoso. Su

potencia varía de 0,35 (en la columna C<sub>III</sub>) a 0,55 m. (en la columna C<sub>C</sub>) llegando incluso a desaparecer en la columna C<sub>A</sub>.

En las columnas C<sub>B</sub> (lám. 1, fig. 1), C<sub>C</sub> y C<sub>I</sub> el horizonte blanqueado presenta restos de raíces, huesos de vertebrados, ostrácodos y gasterópodos hacia techo. Los restos fósiles de vertebrados, invertebrados y plantas constituyen los niveles fosilíferos del yacimiento de Conclud: «Barranco de las Calaveras». El color blanco de la Unidad E 2 se atribuye a la movilización y lavado del hierro en condiciones alternantes de oxidación-reducción.

### UNIDAD E 3: HORIZONTES DE RAICES

Está constituida por calizas, margas calcáreas y margas de color gris claro intercaladas con arcillas margosas de color gris oscuro y arenas de grano fino, margosas, de color gris verdoso. La potencia varía de 0,50 (columna C<sub>I</sub> y C<sub>III</sub>) a 1 m. (columna C<sub>III</sub>). Esta unidad se encuentra alterada por paleosuelos reconocibles por el entretrejido de raíces que se desarrollaron en ambientes ricos en vegetación con inundaciones periódicas.

La comparación de la morfología de las raíces con las de especies vegetales actuales permite suponer un paleobiotopo compuesto principalmente por plantas Ciperáceas con especies subacuáticas: *Phragmites*, *Typha*, *Carex* y *Juncus*.

Si se comparan las exigencias del suelo y el lugar de asiento de los representantes actuales de estas especies con las características litológico-paleobiológicas de los horizontes de raíces fósiles, se puede comprobar que tiene que haberse tratado en ambos casos de zonas de vegetación muy similares, esto es, suelos de lodo o arena fina a una profundidad de 0-3 metros (FUCHS y HAUDE, 1987).

Los numerosos planos de pequeñas fallas, presentes en esta unidad, son indicios adicionales de que se trata de suelos con inundaciones periódicas más o menos contumaces (lám. 1, figura 2). Estas pequeñas fracturas corresponderían a los movimientos de desecación e hinchamiento que tienen lugar en suelos con inundaciones estacionales y exposiciones subaéreas

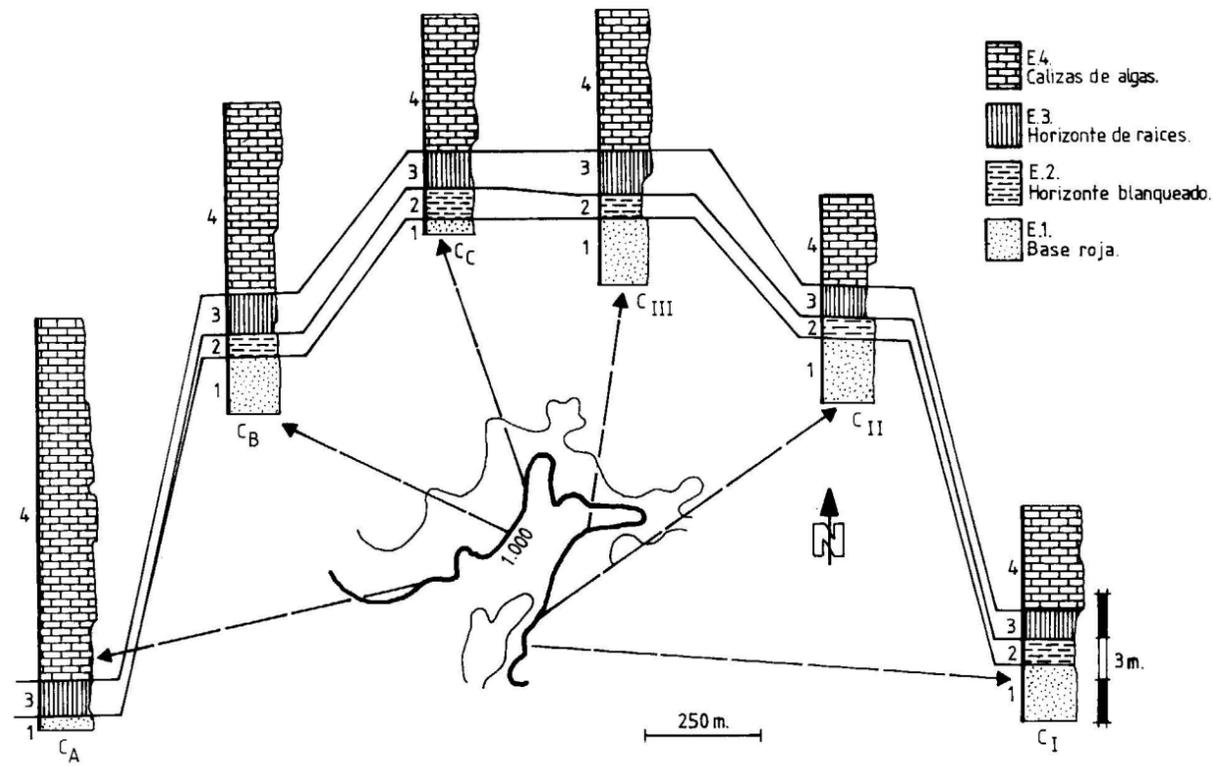


Figura 2.—Situación de los perfiles estudiados en Barranco del Pozuelo (E1=Unidad Roja inferior; E2=Unidad Horizonte blanqueado; E3=Unidad Horizonte de raíces; E4=Unidad Calizas de algas).

alternantes como es el caso de los vertisoles.

En las columnas CA, CB, CI y CIII se encuentran gasterópodos en gran abundancia, con fragmentos óseos, restos vegetales y ostrácodos. Especialmente las margas arcillosas enraizadas de las columnas CI y CA presentan gran cantidad de materia orgánica, que puede interpretarse como restos de turba.

En las columnas CB y CC el horizonte de raíces está atravesado por dos capas de carbón cuyas bases muestran un enriquecimiento en gasterópodos. Las frecuentes fluctuaciones del nivel de agua ocasionaron la aniquilación repetida de la vegetación, lo que llevó a la acumulación de los restos vegetales. Las raíces fueron enterradas en el sedimento *in situ* en forma de restos fibrosos de lignina y celulosa. Exteriormente presentan un color marrón de limonita (fig. 3). Se pueden reconocer ramificaciones laterales hasta en las raíces de tercer orden. El material de los restos de raíces contrasta a causa de su

color más oscuro con los sedimentos circundantes, circunstancia descrita también por ORTLAM (1980) (lám. 1, figs. 3, 4). Además, aparecen restos orgánicos en forma de hojitas de algunos milímetros de tamaño no clasificables.

Litológicamente, el horizonte de raíces en las 6 columnas se caracteriza por:

Columna CA: 40 cm. de margas calcáreas de color claro, débilmente enraizadas, con restos de gasterópodos.

10 cm. de margas arcillosas, en forma de pequeñas bandas, rica en restos orgánicos y partículas de turba.

5-20 cm. de calizas, relativamente duras, de color blanco a gris claro, con restos de algas y escasas raíces.

Columna CB: 35 cm. de calizas, de color claro,

LAMINA 1

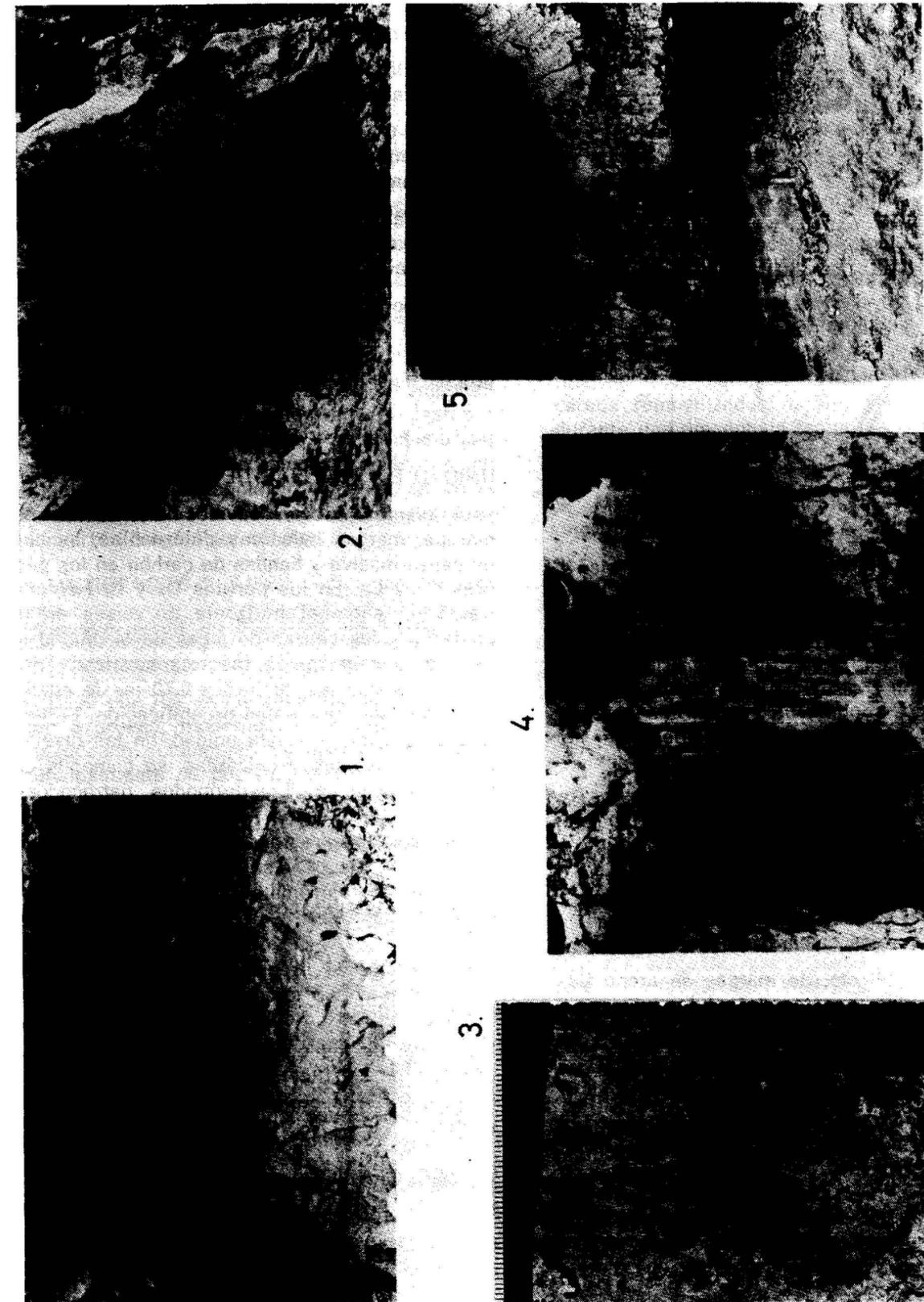


Figura 1.—Horizonte blanqueado, perfil CB con restos de vertebrados («Bonebed»). Escala 1:11.

Figura 2.—Planos de falla característicos de suelos subacuáticos. Escala 1:5.3.

Figura 3.—Raíces de Phragmites, conservadas como restos de lignina y ramificadas hasta el tercer orden en un sustrato de margas calcáreas del perfil CB. Escala 1:1.2.

Figura 4.—Detalle parcial del horizonte de raíces del perfil CB con restos de raíces, «in situ». Escala 1:4.5.

Figura 5.—Perfil CB mostrando la transición del horizonte blanqueado al horizonte de raíces y las calizas de algas.

LAMINA 1

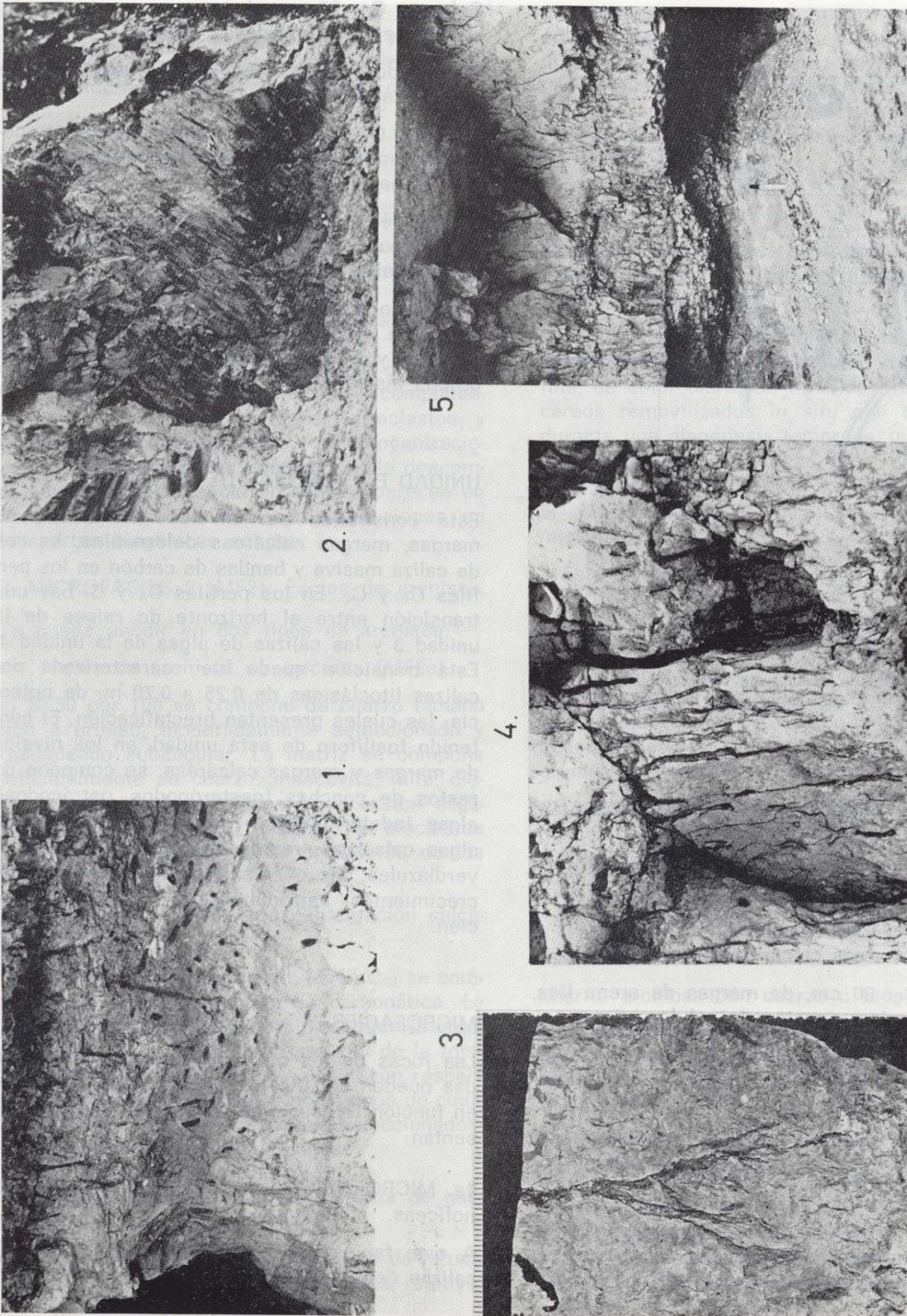


Figura 1.—Horizonte blanqueado, perfil C<sub>B</sub> con restos de vertebrados («Bonebed»). Escala 1:11.  
 Figura 2.—Planos de falla característicos de suelos subacuáticos. Escala 1:5.3.

Figura 3.—Raíces de *Phragmites*, conservadas hasta el tercer orden en un substrato de margas calcáreas del perfil C<sub>C</sub>. Escala 1:1.2.

Figura 4.—Detalle parcial del horizonte de raíces del perfil C<sub>B</sub> con restos de raíces, «in situ». Escala 1:4.5.

Figura 5.—Perfil C<sub>B</sub> mostrando la transición del horizonte blanqueado al horizonte de raíces y las calizas de algas.

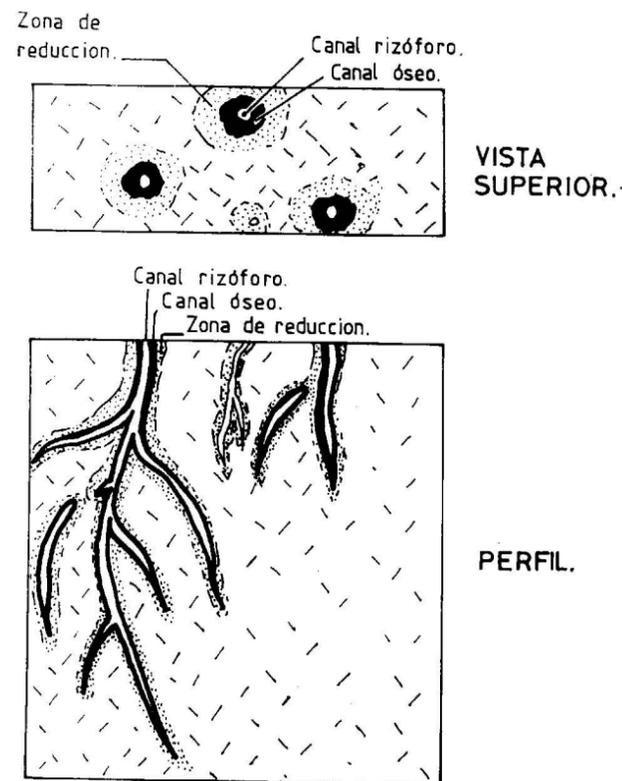


Figura 3.—Detalle de cánulas de raíces fósiles y recipientes en perfil y vista superior (en ORTLAM, 1980).

débilmente enraizadas, con algunos restos orgánicos.

20 cm. de calizas micríticas con restos de plantas subacuáticas en forma de travertino (probablemente brotes de *Phragmites*).

15 cm. de margas calcáreas (lám. 1, fig. 5).

Columna C<sub>C</sub>: 30 cm. de margas de arena fina, ricas en lignina y restos de celulosa.

30 cm. de margas arcillosas, porosas, de color oscuro, intensamente enraizadas y ricas en restos de gasterópodos.

Columna C<sub>I</sub>: 20 cm. de margas arcillosas débilmente enraizadas, restos óseos y lumaquelas de gasterópodos.

30 cm. de margas arcillosas intensamente enraizadas, abundantes gasterópodos, así como restos vegetales, con restos óseos en la base.

Columna C<sub>II</sub>: 25 cm. de margas muy arenosas intensamente enraizadas y areniscas.

25 cm. de margas arenosas de color claro y margas calcáreas.

Columna C<sub>III</sub>: 30 cm. de margas calcáreas, débilmente enraizadas, con fragmentos óseos y de conchas.

20 cm. de margas calcáreas de arena fina, débilmente enraizadas, restos de gasterópodos y de vegetales.

25 cm. de margas arenosas manchadas, de color verde grisáceo a marrón, restos de gasterópodos y fragmentos óseos concentrados en grupos aislados.

#### UNIDAD E 4: CALIZAS DE ALGAS

Está constituida por niveles alternantes de margas, margas calcáreas deleznales, bancos de caliza masiva y bandas de carbón en los perfiles C<sub>B</sub> y C<sub>C</sub>. En los perfiles C<sub>A</sub> y C<sub>I</sub> hay una transición entre el horizonte de raíces de la unidad 3 y las calizas de algas de la unidad 4. Esta transición queda bien caracterizada por calizas litoclásticas de 0,25 a 0,70 m. de potencia, las cuales presentan brechificación. El contenido fosilífero de esta unidad, en los niveles de margas y margas calcáreas, se compone de restos de conchas (gasterópodos, ostrácodos), algas indeterminables, girogonitos y talos de algas calcáreas, restos de algas cianofíceas o verdiazules, las cuales presentan parcialmente crecimientos estromatolíticos o de incrustación.

#### MICROFACIES

Las rocas de las columnas litológicas estudiadas pueden clasificarse en 6 grupos diferentes en función de los tipos de microfacies que presentan:

1a. MICROFACIES 1a (MFa): Biomicrita de cianofíceas.

A esta facies pertenecen, litológicamente, las calizas de la unidad E 4. Está compuesta prin-

cialmente por más de 60 por 100 de algas verdiazules. Restos de gasterópodos y ostrácodos representan la fauna accesoria. Se trata de una biomicrita de algas verdiazules muy compacta.

1b. MICROFACIES 1b (MF1b): Biomicrita de caráceas.

Esta subfacies es semejante a la MF1a. Junto a las algas verdiazules aparecen girogonitos y talos de carofitas en pequeñas agrupaciones. Estos restos de algas constituyen el 20-50 por 100 de la roca. Los restos de conchas de gasterópodos, a menudo recristalizadas, y los ostrácodos representan el 1-3 por 100 del contenido biogénico. En cuanto a otros componentes minoritarios, se encuentran litoclastos y diminutos fragmentos óseos. Las concentraciones de hierro están en relación con la descomposición de la sustancia orgánica. Aparecen en forma de estrías o como impregnaciones en las partes biogénicas sólidas.

2. MICROFACIES 2 (MF2): Facies de arenisca.

Se puede dividir en dos tipos de arenisca:

a) Facies de arenisca no calcárea (MF2a).

El 30-50 por 100 se compone de cuarzo tamaño fino a grueso, moderadamente seleccionado y redondeado subangular. La matriz se compone principalmente de cuarzo, moscovita, illita, clorita, sustancia opaca dispersa y restos orgánicos. Los litoclastos (rodados) y bioclastos forman aproximadamente un 1 por 100 de los componentes.

b) Facies de arenisca con cementación calcárea (MF2b).

El horizonte blanqueado del perfil C<sub>III</sub> se compone de areniscas con matriz carbonática. La pasta micrítica es rica en arcilla y materia orgánica y puede alcanzar un 75 por 100 de la totalidad. La arena (en un 10-25 por 100 con respecto al cemento) está formada por granos de cuarzo de tamaño medio a fino, poco seleccionados. No se observan restos biogénicos.

3. MICROFACIES 3 (MF3): Biomicrita de gasterópodos.

Esta microfacies domina en las capas de la unidad E 4. La matriz es oscura, micrítica, relativa-

mente compacta y rica en materia orgánica y arcilla. Interesante es también la impregnación de limonita de muchos de los fragmentos de fósiles, que también puede encontrarse puntualmente diseminada en la matriz. Otros componentes minoritarios son ostrácodos, restos óseos, girogonitos y talos de caráceas.

4. MICROFACIES 4 (MF4): Facies intramicrítica.

La facies intramicrítica se forma solamente en los perfiles C<sub>I</sub> y C<sub>A</sub> y marca la transición de la unidad E 3 a la E 4.

Se trata de micritas con litoclastos de textura heterogénea. Los clastos flotan en la micrita, fina, de color claro. Se trata de litoclastos calcáreos removilizados *in situ* que se formaron durante una diagénesis temprana, quizá a causa de movimientos tectónicos.

5. MICROFACIES 5 (MF5): Facies travertino-micrítica.

Esta facies está desarrollada solamente en el perfil C<sub>B</sub> en la parte central del horizonte de raíces (Unidad E 3). Está formada por micritas compactas de una matriz micrítica muy fina. El color oscuro de la masa de fondo indica un alto contenido de materia orgánica y restos arcillosos. Las concentraciones de limonita y la sustancia opaca dispersa se pueden presentar en forma de grumos redondeados y regularmente distribuidos.

Este tipo de roca es una micrita con restos de plantas subacuáticas incrustadas en forma de travertino (especies de *Juncus* y *Phragmites*, FUCHS y HAUDE, 1987).

6. MICROFACIES 6 (MF6): Facies Wackestone micrítica.

Micrita arcillosa con cuarzo o biógena.

En los perfiles C<sub>I</sub>, C<sub>II</sub> y C<sub>C</sub> el horizonte de raíces está formado por la facies MF6. Se trata de wackestones relativamente ricas en cuarzo (perfil C<sub>I</sub>, 1-10 por 100).

El cemento es micrítico muy rico en arcilla y materia orgánica. El contenido de limonita y sustancia opaca puede ser considerable. Algunas láminas delgadas del perfil C<sub>C</sub> muestran grandes concentraciones puntuales y diseminadas de limonita. La limonita precipitó en torno al micro-medio reductor de los restos de raíces e impreg-

nó el suelo detrítico. Los restos de conchas, restos vegetales y fragmentos óseos, tienen carácter accesorio.

## PALEONTOLOGIA

### Restos de vertebrados

Los restos óseos de vertebrados fósiles se encuentran en el horizonte blanqueado (Unidad E 2), presente en todas las columnas estudiadas, a excepción de la C<sub>A</sub>. Constituyen, como ya se ha mencionado anteriormente, el yacimiento de vertebrados de Concud «Barranco de las Calaveras», conocido desde el siglo XVIII y estudiado por numerosos autores desde mediados del siglo pasado hasta la actualidad.

Una recopilación sobre la literatura reciente relativa a la fauna de vertebrados de «los yacimientos de Concud» nos ha permitido elaborar la lista faunística que exponemos a continuación. El yacimiento «Barranco de las Calaveras» o «Barranco de las Maravillas», situado en el Barranco del Pozuelo, ha sido considerado en la mayoría de los casos como «Yacimiento de Concud» sin diferenciarlo de los otros yacimientos de Concud a los cuales se les ha dado el mismo tratamiento; éstos son el «Cerro de la Garita», «Concud 2» o «Las Pedrizas» y «Concud 3».

En la lista señalaremos con un uno (1) las especies reconocidas exclusivamente en el «Barranco de las Calaveras» y con un asterisco (\*) las descritas en los yacimientos de Concud, en sentido amplio.

### Anfibios (en SANCHIZ, 1977).

*Rana* sp. (\*)  
*Bufo* aff. *calamita* (\*)  
*Bufo* cf. *bufo* (\*)

### Lagomorfos (en LOPEZ, 1978).

*Alilepus turolensis* (\*)  
*Prolagus michauxi* (\*)  
(en ADROVER, 1975)  
*Prolagus oeningensis* (1)

### Roedores (en WEERD, 1976).

*Parapodemus gaudryi barbara* (1)  
*Valerymys turolensis* (1)  
*Occitanomys adroveri* (1)

*Kowalskia fahlbuschi* (1)  
*Eliomys truci* (1)  
(en ADROVER, 1975)  
*Valerymys turolensis* (1)  
*Parapodemus lugdunensis* (1)  
*Occitanomys adroveri* (1)  
*Ruscinomys schaubi* (1)  
*Atlantoxerus adroveri* (1)

### Insectívoros (en ADROVER, 1975).

*Proscapanus* sp. (1)  
*Galerix (Parasorex)* sp. (1)

### Carnívoros (en MORALES y SORIA, 1979).

*Paramachairodus orientalis* (\*)  
*Amphimachairodus giganteus* (\*)  
*Metailurus major* (\*)  
*Canis cipio* (\*)  
*Enhydrion lluecai* (\*)  
*Indarctos atticus* (\*)  
*Percrocuta minor* (\*)  
*Plioviverrops guerini* (\*)

### Perisodáctilos (en ALBERDI, 1974).

*Hipparion concudense concudense* (1)  
(en GUERIN, 1980, y SANTAFE y CASANOVAS, 1983-1984).  
*Aceratherium incisivum* (\*)  
*Dicerorhinus schleiermacheri* (\*)

### Artiodáctilos (en HERNANDEZ-PACHECO, 1930).

«*Capreolus*» *concudensis* (\*)  
(en CRUSAFONT, 1952)  
*Birgerbohlina* sp. (\*)  
(en HERNANDEZ-PACHECO, 1930, y HUNERMANN, 1966).  
*Microstonyx erymanthius* (\*)  
(en PILGRIM y HOPWOOD, 1928).  
*Gazella deperdita* (\*)  
(en MORALES, 1984)  
*Protoryx* (\*)  
*Pachytragus crassicornis* (\*)  
(en MOYA, 1983)  
*Tragoportax gaudryi gaudryi* (\*)  
(en THOMAS, MORALES y HEINTZ, 1982)  
*Hispanodorcas torrubiae* (\*)

### Proboscídeos (en MAZO, 1981).

*Tetralophodon longirostris* (\*)  
cf. *Anancus arvernensis* (\*)  
*Zygalophodon turicensis* (\*)

## CONCLUSIONES

Los sedimentos de la Base Roja (Unidad E 1) pueden contemplarse como resultado de un lavado superficial del cono de deyección en el borde de la cuenca. El material clástico fino fue transportado hasta el lago en que se depositó en forma de suspensión.

Con la disminución del relieve en el área fuente y el considerable relleno de la cuenca se da una etapa de transición entre la serie clástica roja y la facies carbonática que la recubre, se trata del horizonte blanqueado. La incipiente colonización acuática queda señalada por la presen-

cia por primera vez de restos de raíces y ostrácodos. El estancamiento de las aguas y la producción de material orgánico se traducen en un medio reductor, en que los restos óseos no son descompuestos sino que se acumulan en el lecho en forma de «bonebeds».

En el techo, las margas y margas calcáreas con gran profusión de raíces y su fauna acompañante documentan una continua mejora de las condiciones vitales. Los compactos restos de especies de *Juncus* y *Phragmites* representan condiciones de oxigenación de las aguas en una profundidad máxima de 2-3 m. (fig. 4). A causa de cambios de corrientes, el detrito vegetal fue

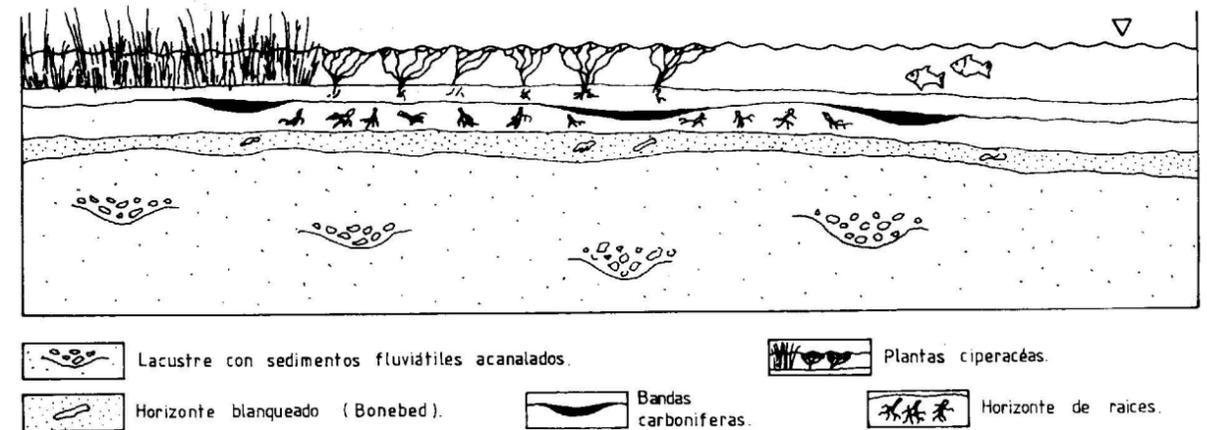


Figura 4.—Modelo esquemático de los horizontes de raíces.

transportado a zonas de aguas mansas, donde su acumulación llevó a la formación de bandas de lignito. Las calizas de algas representan la unidad litológica más reciente y documentan un nuevo cambio de facies.

La fauna de los yacimientos de Concud permite datar los materiales del Barranco del Pozuelo como Turolense Medio (MN 12).

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Fundación Volkswagen y a la «Deutsche Forschungsgemeinschaft» su generoso apoyo económico, y a los doctores L. Greiling y E. Molina por la dirección del trabajo.

Agradecen también al Dr. J. Gisbert, Profesor de la Universidad de Zaragoza, por la lectura crítica del manuscrito.

Los dibujos han sido realizados por Juan José Gregorio Cisneros.

## BIBLIOGRAFIA

- ADROVER, R. (1975): *Principales yacimientos paleomastológicos de la provincia de Teruel y su posición estratigráfica relativa*. Trabajos Neog. Cuat., 4, 31-48.
- ALBERDI, M. T. (1974): *Las faunas de Hipparion de los yacimientos españoles*. Estudios geol., 30, 189-212.
- CRUSAFONT PAIRO, M. (1952): *Los Jiráfidos fósiles de España*. Mem. y Comunic. del Inst. Geol. de la Dip. Prov. de Barcelona, t. VIII, Barcelona.

FUCHS, K., y HAUDE, H. (1987): *Root-Bioturbated Paleosols in the Miocene of the Basin of Teruel-Ademuz (North-eastern Spain)*. *Facies*, 17, 91-98.

GUERIN, C. (1980): *Les rhinocéros (Mammalia, Perissodactyla) du Miocène terminal au Pleistocène supérieur en Europe occidentale. Comparaison avec les espèces actuelles*. *Docum. Lab. Géol. Lyon*, 79, 1-1182.

HERNANDEZ-PACHECO, E. (1930): *Un suido y un nuevo Cérvido del yacimiento paleontológico de Concud (Teruel)*. *Bol. R. Soc. esp. Hist. Nat.*, 30, 331-344.

HUNERMANN, K. A. (1966): *Die Suidae aus dem Dinosaurien-Rheinens. Schweiz. Palaont. Abh.*, 86, 1-96.

LOPEZ MARTINEZ, N. (1977): *Revisión sistemática y bioestratigráfica de los Lagomorpha (Mammalia) del Terciario y Cuaternario de España*. Tesis inédita. Universidad Complutense de Madrid, 470 pp.

MAZO, A. (1981): *Estudio taxonómico de los mastodontes (Proboscidea, Mammalia) de la provincia de Teruel (España)*. *Teruel*, 65, 169-194.

MORALES, J. (1984): *Venta del Moro: su macrofauna de mamíferos y bioestratigrafía continental de Mioceno terminal mediterráneo*. Tesis Doctoral. Univ. Complutense, Madrid, 1-340.

MORALES, J., y SORIA, D. (1979): *Nuevos datos sobre los carnívoros del área de Teruel. Síntesis y bioestratigrafía*. *Estudios geol.*, 35, 497-504.

MOYA SOLAS, S. (1983): *Los Boselaphini (Bovidae, Mammalia) del Neógeno de la Península Ibérica*. *Publ. Geol. Univ. Autónoma, Barcelona*, 18, 1-236.

ORTLAM, D. (1980): *Erkennung und Bedeutung fossiler Bodenkomplexe in Locker- und Festgesteinen*. *Geol. Rundsch.*, 69/2, 581-593.

PILGRIM, G. E., y HOPWOOD, A. T. (1928): *Catalogue of the Pontian Bovidae of Europe*. BMNH.

SANCHIZ, F. B. (1977): *Catálogo de los Anfibios fósiles de España (Noviembre, 1977)*. *Acta Geol. Hispánica*, 12 (4-6), 103-107.

SANTAFE, J. V., y CASANOVAS, L. (1983-84): *Elementos del esqueleto postcraneal de Dicerorhinus schleiermacheri y Aceratherium incisivum (Perissodactyla, Rhinocerotidae) de la localidad turolense de Concud (Teruel)*. *Pal. i Evol.*, 18, 95-103.

THOMAS, H.; MORALES, J., y HEINTZ, E. (1982): *Bull. Mus. natn. Hist. nat.*, 4, 209-222.

WEERD, A. VAN DE (1976): *Rodent faunas of the Miocene continental sediments of the Teruel-Alfambra region, Spain*. *Utrecht Micropal. Bull.*, Sp. Publ., 2, 1-217.

Original Recibido: Abril de 1988.

Original aceptado: Septiembre de 1988.

## Ilerdaegomphus nom. nov. para el odonato adulto *Palaeaeschna pallerolae* del Cretácico Inferior del Montsec (Catalunya, España).

Por X. MARTINEZ-DELCLOS (\*)

### RESUMEN

Se propone una nueva nominación genérica *Ilerdaegomphus* para la especie del Cretácico Inferior del Montsec (La Noguera, provincia de Lérida) *Palaeaeschna pallerolae* creada por GOMEZ en 1979.

Se describe, se emplaza en su grupo sistemático y se compara con diferentes individuos fósiles de la misma familia. Palabras clave: Revisión, Nuevo taxón, Insecta, Odonata, Paleoecología, Cretácico Inferior, Provincia Lérida, Montsec.

### ABSTRACT

A new generic nomination *Ilerdaegomphus* from the early Cretaceous of La Noguera (Lérida province) species *Palaeaeschna pallerolae* GOMEZ (1979) is proposed.

Description, systematic emplacement and comparison with different fossil individuals of the same family was made. Key words: Revision, New taxa, Insecta, Odonata, Paleoecology, Lower Cretaceous, Lérida, Montsec.

### INTRODUCCION

MEUNIER crea en 1914 el género *Palaeaeschna* para una larva de odonato que denomina *Palaeaeschna vidali*. Este género en la actualidad se adscribe dentro de la familia Aeschnidae (MARTINEZ-DELCLOS, 1987 e id., en prensa).

En 1976 GOMEZ crea la especie *Palaeaeschna pallerolae* para un odonato adulto que interpreta como el estadio maduro de *P. vidali*, pero omite su descripción y su relación con otros odonatos. Con posterioridad GOMEZ (1986) comenta de este ejemplar: «Este insecto posee la impresión de las alas muy tenue e incompleta, por lo que su comparación con los anisópteros actuales no es posible. Es preferible, pues, colocar este ejemplar como un anisóptero, sin precisar género ni especie.»

En 1987 el autor realiza una revisión de este género y es el motivo del presente trabajo.

(\*) Dept. Geologia Dinàmica, Geofísica i Paleontologia. Fac. Geologia, Univ. Barcelona.

### SISTEMATICA

Orden: ODONATA Fabricius, 1792  
Suborden: ANISOPTERA Selys, 1840  
Superfamilia: AESCHNIDEA Tillyard, 1926  
Familia: Gomphidae Brauer, 1856  
Género: *Ilerdaegomphus* n. gen.

### Diagnosis

Anisóptero macho de pequeño tamaño (35.23 milímetros). Alas anteriores de 24.65 mm. de longitud, con un pterostigma reducido, un número mínimo de 8 antenodales y con la R1 intersectando antes del ápex alar. Cabeza con ojos separados y abdomen de 25.35 mm. de largo.

### Derivatio nominis

Ilerdae+gomphus; Ilerda: nombre romano de la ciudad de Lleida; gomphus: género actual de anisóptero de la familia Gomphidae.

### Especie tipo

*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ).



Foto 1.—*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ) n. gen. Holotipo.

*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ)

Fig. 1, A-C

1979 *Palaeoeschna pallerolae* GOMEZ, 339, fig. 4.  
1986 *Palaeoeschna pallerolae* GOMEZ, 719, fig. 11.

**Diagnosis**

La misma que para el género.

**Material**

Para la descripción se ha contado con el único ejemplar hasta ahora aparecido, el holotipo, cedido por el Sr. J. E. Gómez, y que fue encontrado en las calizas litográficas de «La Pedrera de Rubies». El ejemplar sólo presenta una de las dos impresiones y su preservación, sobre todo en lo que concierne a las alas, es deficiente. En la actualidad el holotipo está depositado en la colección particular del Sr. J. E. Gómez Pallerola (Lleida).

**Descripción**

La descripción se ha basado en los trabajos de AGUESSE (1968) y WESTFALL (1979).

Este odonato presenta una longitud total de 35.23 milímetros y una envergadura alar de aproximadamente 50 mm. (foto 1).

**Cabeza.**—Es grande y bien desarrollada (3.8 mm. de longitud y 4.3 mm. de anchura). Presenta ojos muy voluminosos localizados lateralmente, no tocándose ambos por encima de la cabeza (típico de los gómphidos).

Se puede observar el occiput y el vértex en contacto, que en el resto de los anisópteros se encuentran separados por los ojos. El frons y el postclípeo están muy desarrollados, ocupando gran parte de la cápsula cefálica. El labro y el anteclípeo se observan, pero con dificultad debido a la posición que ocupan las patas en el fósil. No se observan ni las antenas ni los ocelos (fig. 1 C).

**Tórax.**—Se puede diferenciar un pronoto poco desarrollado. Le sigue un desarrollo mesotórax, donde se observa un episternum y un epimérito. El mesotórax y el metatórax aparecen no diferenciados formando el sintórax, completamente aplastado y deformado debido a la fosildiagénesis, en el que se articulan las alas (fig. 1 C).

**Patatas.**—La base de las patas no es observable en el fósil. Sólo se aprecia, por su posición, que aumentan en longitud de las proto- a las metatorácicas. En alguna de ellas puede verse el fémur y las tibias altamente armados de espinas cortas y juntas. El fémur es la pieza de mayor desarrollo; la tibia es de menor longitud y más delgada que el fémur. En el tarso no se diferencian los tarsómetros, pero termina en un par de uñas, cada una de las cuales parece poseer un diente.

**Alas.**—Este ejemplar posee las cuatro alas, de las cuales las derechas no están completas. En su unión con el sintórax se puede observar el «axilar plate» y el «humeral plate» de SNODGRASS (1935).

**A. anteriores**

El ala anterior izquierda no es pedunculada, mide 24.65 mm. de largo, siendo su anchura máxima

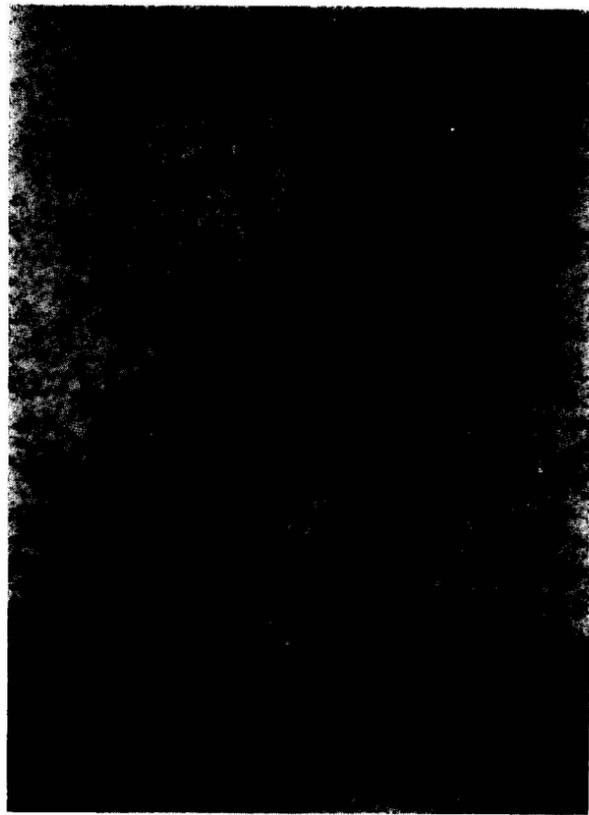


Foto 1.—*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ) n. gen. Holotipo.

*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ)  
Fig. 1, A, Ç

1979 *Palaeoeschna pallerolae* GOMEZ, 339, fig. 4.  
1986 *Palaeoeschna pallerolae* GOMEZ, 719, fig. 11.

**Diagnosis**

La misma que para el género.

**Material**

Para la descripción se ha contado con el único ejemplar hasta ahora aparecido, el holotipo, cedido por el Sr. J. E. Gómez, y que fue encontrado en las calizas litográficas de «La Pedrera de Rubies». El ejemplar sólo presenta una de las dos impresiones y su preservación, sobre todo en lo que concierne a las alas, es deficiente. En la actualidad el holotipo está depositado en la colección particular del Sr. J. E. Gómez Pallerola (Lleida).

**Descripción**

La descripción se ha basado en los trabajos de AGUESSE (1968) y WESTFALL (1979).

Este odonato presenta una longitud total de 35.23 milímetros y una envergadura alar de aproximadamente 50 mm. (foto 1).

**Cabeza.**—Es grande y bien desarrollada (3.8 mm. de longitud y 4.3 mm. de anchura). Presenta ojos muy voluminosos localizados lateralmente, no tocándose ambos por encima de la cabeza (típico de los gómphidos).

Se puede observar el occiput y el vértex en contacto, que en el resto de los anisópteros se encuentran separados por los ojos. El frons y el postclípeo están muy desarrollados, ocupando gran parte de la cápsula cefálica. El labro y el anteclípeo se observan, pero con dificultad debido a la posición que ocupan las patas en el fósil. No se observan ni las antenas ni los ocelos (fig. 1 C).

**Tórax.**—Se puede diferenciar un pronoto poco desarrollado. Le sigue un desarrollo mesotórax, donde se observa un episternum y un epimérito. El mesotórax y el metatórax aparecen no diferenciados formando el sintórax, completamente aplastado y deformado debido a la fosildiagénesis, en el que se articulan las alas (fig. 1 C).

**Patatas.**—La base de las patas no es observable en el fósil. Sólo se aprecia, por su posición, que aumentan en longitud de las proto- a las metatorácicas. En alguna de ellas puede verse el fémur y las tibias altamente armados de espinas cortas y juntas. El fémur es la pieza de mayor desarrollo; la tibia es de menor longitud y más delgada que el fémur. En el tarso no se diferencian los tarsómetros, pero termina en un par de uñas, cada una de las cuales parece poseer un diente.

**Alas.**—Este ejemplar posee las cuatro alas, de las cuales las derechas no están completas. En su unión con el sintórax se puede observar el «axilar plate» y el «humeral plate» de SNODGRASS (1935).

**A. anteriores**

El ala anterior izquierda no es pedunculada, mide 24.65 mm. de largo, siendo su anchura máxima

de 5.12 mm. La parte costal se observa más o menos bien conservada, pero la parte distal y anal posee una mala preservación. El número de venaciones antenodales es como mínimo de 8, sólo una presenta simetría a un lado y otro de la subcosta. Se observan 8 antenodales en la zona suprasubcostal y 7 en la zona infrasubcostal (fig. 1 A).



Figura 1A.—*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ) n. gen. Holotipo. Ala anterior izquierda. (Ar) árculo, (CuP) cubital posterior, (IR3) nerviación intercalar, (MA) medial anterior (n) nodo, (Pts) pterostigma, (Rs) sector radial, (Sc) subcostal, (sn) subnodo, (Subt) subtriángulo, (Supt) supratrígulo, (tr) triángulo, (An1) anal, (R1-R4) radiales 1 a 4.

El nodo, que no es perpendicular al borde alar, se encuentra a 12.22 mm. de la base del ala. El subnodo está inclinado orientado hacia el ápex del ala, contrariamente al nodo.

La Sc, en todo su recorrido, pasa por la zona media entre la C y la R+M. La R1, que disminuye paulatinamente el espacio entre ésta y el margen costal, intersecta con el margen del ala poco antes de llegar al ápex.

El triángulo, el supratrígulo y el subtriángulo claramente diferenciados forman, los dos primeros, la celda discoidal. El ángulo apical superior del triángulo es de 51 grados. El subtriángulo presenta cuatro lados y el supratrígulo posee el lado mayor cóncavo. Las dimensiones del subtriángulo son algo superiores a las del triángulo, en el interior del cual parece observarse una cierta subdivisión (fig. 1 A).

El campo anal no se observa con facilidad debido a su mala preservación. La An1 transcurre paralela a Cu2 hasta la altura del árculo donde se curva fuertemente hacia el margen anal.

La R4 nace más cerca del nodo que del árculo (aproximadamente a 0.5 mm. de ésta). La IR3, que en su parte distal no es observable, nace entre la R4 y el nodo, pero más cerca de la

primera. La R3 nace debajo del subnodo y se mantiene paralela a R2 en la parte visible.

Entre la MA y Cu2 hay dos rangos de celdas.

El pterostigma es romboidal, estrecho, corto (0.23 mm.) y curvado hacia el ápex.

**A. posteriores**

El ala posterior es algo menor que la anterior. Tiene una longitud de 23.8 mm. y una anchura máxima de 7.12 mm. El número de venas antenodales es como mínimo de 8, de las cuales al menos 3 se presentan antes del árculo (fig. 1 B).

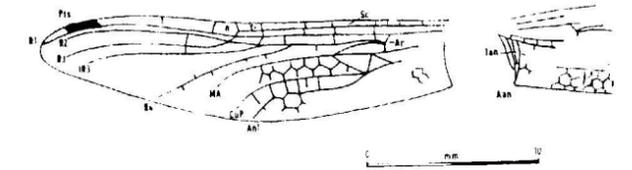


Figura 1B.—*I. pallerolae* (GOMEZ) n. gen. Holotipo. Ala posterior izquierda (fig. derecha). Base del ala posterior derecha (fig. izquierda). (Aan) ángulo anal, (Tan) triángulo anal. Las notaciones de las venas son equivalentes a las de la figura 1A.

El nodo, que intersecta tangencialmente con el margen costal, se localiza a 11.55 mm. de la base. El subnodo se presenta con la misma inclinación que la parte basal del nodo.

La Sc se emplaza en la zona media entre la C y la R+M, ofreciendo una breve inclinación hacia la base del ala, justo antes de intersectar con el nodo.

La R1, que inicia su recorrido muy separada del margen costal, se va paralelizando a éste hasta contactarlo de una manera brusca antes del ápex. El pterostigma es romboidal, corto (0.23 mm.), estrecho y curvado hacia la punta del ala como en la anterior.

El triángulo, el supratrígulo y el subtriángulo están diferenciados (fig. 1 B). El ángulo apical superior del primero es aproximadamente de 30 grados. El subtriángulo presenta tres lados iguales y el supratrígulo se comporta como el del ala anterior.

El campo anal está bien desarrollado con numerosas venas formando polígonos más o menos regulares (ala posterior derecha). No es observable el nacimiento de la vena anal, aunque una vez sobrepasado el vértice apical del subtriángulo sigue casi paralela a CuP, haciéndose convexa en dirección al margen anal, a la altura del nacimiento de la R4. Esta, como en el ala anterior, nace más próxima del nodo que del árculo y se inflexiona rápidamente hacia el margen inferior. La IR3 nace a media distancia entre el nodo y la R4.

Entre R4 y MA y entre CuP y An1 aparece sólo un rango de venas transversas en la parte visible del ala. Entre la MA y CuP el rango es dos. El ángulo anal, a diferencia del del ala anterior, es muy pronunciado, de casi 90 grados (fig. 1 B). El triángulo anal (o basal) es alargado y parece dividido en tres sectores merced a una división venular. Se puede diferenciar también la membránula y el tornus.

**Abdomen.**—Es alargado (25.35 mm.) y estrecho, haciéndose algo más grueso hacia el final (figura 1 C).

Se observan 10 segmentos bien diferenciados, de longitud variable, siendo el primero muy corto. El segundo, un poco más largo, presenta dos piezas copulatrices accesorias, por lo que unido a la forma del ángulo anal del ala posterior deducimos que se trata de un macho. En este segmento no se observa ningún tipo de «orejetas laterales». Los segmentos del tres al siete son los más largos; el octavo y el noveno son relativamente cortos y el décimo es el más corto de todos.

Por estar fosilizado lateralmente la parte distal del abdomen no es observable en este ejemplar. La diferente pigmentación a franjas que presenta el abdomen hace pensar en un color alternante claroscuro en vida (fig. 1 C).

#### Discusión

El género *Palaeaeschna* fue creado por MEUNIER en 1914 para una larva de odonato anisóptero de la familia Aeschnidae *P. vidali*, encontrada por el momento sólo en el Montsec.

En 1979 GOMEZ creó la especie *pallerolae* para el odonato adulto aquí tratado, y la adscribió al

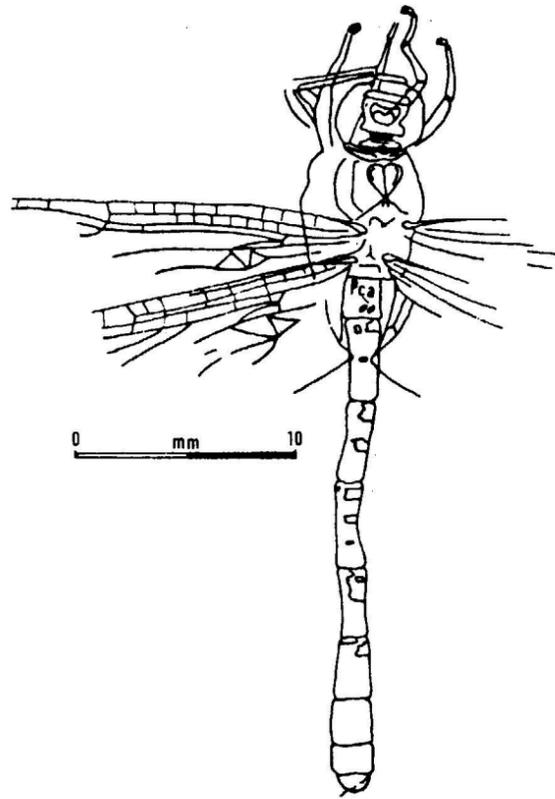


Figura 1C.—*I. pallerolae* (GOMEZ) n. gen. Holotipo. Reconstrucción general. (Pca) placas copulatrices accesorias.

género *Palaeaeschna*, creyendo que era la forma adulta de *P. vidali* omitiendo su descripción.

En el apartado de descripción se exponen las características peculiares del individuo estudiado, las cuales permiten atribuirlo a la familia Gomphidae. Se observa, pues, que *Palaeaeschna vidali* y *P. pallerolae* no pertenecen a la misma familia.

Por todo lo expuesto se cree necesario cambiar la posición genérica de la especie *pallerolae* proponiendo la creación del género *Ilerdaegomphus*.

*Ilerdaegomphus pallerolae* (GOMEZ) es similar a la especie actual *Lanthus parbulus* SELYS (en ROHDENDORF, 1962), en el arquetipo general pero se diferencian principalmente en que la última posee un mayor tamaño, un número menor de antenodales y en que R1 intersecta con el borde alar más abajo del ápex.

El género *Priscogomphus* del Plioceno alemán (SCHUMANN, 1967) posee alas de mayor tamaño (34.7 mm. de longitud para el ala anterior y 32.6 mm. para la posterior), el número de antenodales es muy superior (al menos 17), un subtriángulo más reducido y un campo suprasubcostal más ancho que en *Ilerdaegomphus*.

SCHLÜTER (1981) nos presenta un ejemplar del Jurásico Superior-Cretácico Inferior de Egipto que atribuye como perteneciente a la familia Gomphidae. Es algo más pequeño que *Ilerdaegomphus* (20 mm. del ala anterior y 18 mm. la posterior), posee proporcionalmente un subtriángulo y triángulo bastante más reducidos, el número de antenodales es menor e IR3 y R4 nacen más juntas que en el ejemplar leridano.

*Nannogomphus bavaricus* HANDLIRSCH, del Malm germano, de tamaño similar a *I. pallerolae* (24 mm. de longitud del ala anterior), se diferencia de ésta en que posee un mayor número de antenodales y postnodales y en la distancia existente (menor) entre el nacimiento de la IR3 y de la R4.

El ala anterior de *Protolindenia aktassica* PRITYKINA del Jurásico Superior de Karatau (Rusia) presenta una mayor longitud (46 mm.), un menor número de antenodales y un campo suprasubcostal más desarrollado que *I. pallerolae*. *Protolindenia deichmuelleri* PRITYKINA, también del Jurásico de Karatau, es bastante más grande (52 mm.) y presenta más antenodales y postnodales en el ala posterior.

El género *Gomphites*, parecido a *Protolindenia*, en su zona suprasubcostal, presenta varias especies en el Lías germano. El ala anterior de *Gomphites propingus* BODE es casi el doble de larga que el ejemplar que tratamos (41 mm.), posee al menos 18 antenodales y un supatriángulo bastante reducido. El pterostigma está muy desarrollado en comparación con *I. pallerolae*. Al Lías germano también pertenece el género *Prainogomphus* con varias especies. *P. aequalicellatus* BODE, el ala posterior del cual mide 45 mm. de longitud, se diferencia del leridano por poseer 12 antenodales, un supatriángulo reducido, que la R1 intersecta con el margen alar por debajo del ápex y porque proporcionalmente es más estrecha.

#### DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CRONOESTRATIGRAFICA DEL GENERO

— Rubies (Catalunya, España): Cretácico Inferior.

#### PALEOECOLOGIA

La vida de los imagos de los odonatos podemos dividirla en dos partes: un período de inmadurez sexual seguido de uno de madurez en el curso del cual tiene lugar la reproducción de la especie.

El acoplamiento es de tipo muy particular en los odonatos, precisando una operación preliminar a la cópula (AGUESSE, 1968). En ella se utilizan las piezas copulatrices accesorias situadas en la parte ventral del segundo segmento abdominal de los machos.

Los gómphidos, a diferencia de otros grupos de odonatos, guardan a lo largo de su vida la misma coloración. *Ilerdaegomphus* presenta el abdomen listado en claroscuro que respondería a una coloración en vida.

Las patas de *Ilerdaegomphus* están adaptadas a prender (espinas y uñas), por lo que, como los actuales, debió ser carnívoro, nutriéndose de otros insectos pertenecientes a zonas húmedas (dípteros, efemerópteros, etc.) (COLBET, 1962), también encontrados en el yacimiento.

Aunque en grado variable, todos los odonatos adultos tienen la noción de territorialidad, causando numerosos combates entre imagos. En estos territorios particulares cazan y buscan pareja (MOORE, 1952). Si la hembra sale del territorio, el macho puede seguirla incluso muy lejos de éste, no volviendo a él después de la cópula. Esta es una de las causas de su dispersión y de la colonización de nuevos medios (MOORE, 1964).

El registro fósil de gómphidos es escaso, una de las causas podría ser que los imagos se alejen de los alrededores de las aguas, desplazándose a centenares de metros de éstas, hábito que se observa en los actuales.

## AGRADECIMIENTOS

Al Sr. Josep Enric Gómez Pallerola por poner a mi disposición el holotipo de la especie que aquí se trata y por dejar consultar parte de su colección.

A la Dra. Alicia Masriera, Directora del Museo de Geología de Barcelona, y a Julio Gómez-Alba y Jaume Gallemí, conservadores de Paleontología de este Museo, por su amabilidad y disponibilidad a la hora de consultar el holotipo de *Palaeoschna vidali*.

Al Dr. Jordi Martinell, de la Universidad de Barcelona, por sus apreciaciones y correcciones del trabajo.

## BIBLIOGRAFIA

- AGUESSE, P. (1968): *Les Odonates de l'Europe Occidentale, du nord de l'Afrique et des Iles Atlantiques*. Masson et Cie, 1-258, Paris.
- BODE, A. (1953): *Die Insektenfauna des Ostniedersachsen oberen Lias*, Palaeontographica Abt. A, 103, 1-375, Stuttgart.
- CARPENTER, F. M. (1931-1933): *Jurassic insects from Solenhofen in the Carnegie Museum and the Museum of Comparative Zoology*. Ann. Carnegie Museum, v. XXI, W. J. Holland Ed., 97-129, Pittsburgh.
- COLBET, D. S. (1962): *A Biology of Dragonflies*. Witherby Ed., 1-247, London.
- GOMEZ, J. E. (1979): *Un ave y otras especies fósiles nuevas de la biofacies de Santa María de Mayá (Lérida)*. Bol. Geológico y Minero, t. XC-IV, 333-346, Madrid.
- GOMEZ, J. E. (1986): *Nuevos insectos fósiles de las calizas litográficas del Cretácico Inferior del Montsec (Lérida)*. Bol. Geológico y Minero, t. XCVII-VI, 717-736, Madrid.

HANLIRSCH, A. (1906-1908): *Die fossilen insekten und die phylogenie dezenten formen. Hand. fur Palaontologen und Zoologen*, 1-1430, Leipzig.

MARTINEZ-DELCLOS, X. (1987): *Insectos fósiles del Cretácico Inferior del Montsec*. Tesis de Licenciatura (inédita). Univ. Barcelona, 1-241.

MARTINEZ-DELCLOS, X. (en prensa): *Insectos del Cretácico Inferior de Santa María de Meià (Lérida)*. Colección Luis Mariano Vidal i Carreras.

MEUNIER, F. (1914): *Un blátido y una larva de Odonato del kimeridgense de la Sierra del Montsec (Lérida)*. Mem. Real Acad. Cien. Art. Barcelona, v. XI, núm. 9, 121-126, Barcelona.

MOORE, N. W. (1952): *On the so-called «territories» of dragonflies*. Behaviour, núm. 4, 85-100.

MOORE, N. W. (1964): *Intra- and interspecific competition among dragonflies (Odonata)*. J. Animal Ecol., núm. 33, 49-71.

PRITYKINA, L. N. (1968): *Otryad Odonata*. In: *Yurskie nasekomye Karatau* (ROHDENDORF, B. B., Ed.). Akademii Nauk SSSR, 26-54, Moscow.

ROHDENDORF, B. B. (1962): *Otryad Odonata*. In: *Osnovy Paleontologii (Chlenistonogie, Trakheinye i Khelitserovy)* (ROHDENDORF, B. B., Ed.). Akademii Nauk SSSR, 73-85, Moscow.

SCHLÜTER, T. (1981): *Fossile Insekten aus dem Jura/Kreide Grenzgebiet Sudwest-Agypteus*. Berliner Geowiss. Abh., A, 38, 33-61, Berlin.

SCHUMANN, von H. (1967): *Fossile libellen (Odonata) aus dem Oberpliozän am westlichen Harzrand*. Ber. Naturhist. Ges., 111, 31-45, Hannover.

SNODGRASS, R. E. (1935): *The structure of the wings in Principles of Insect Morphology*. McGraw-Hill Book Comp., 215-245, New York & London.

WESTFALL, M. J. (1979): *Odonata in: An introduction to the Aquatic Insects of North America*. (Merritt, R. W. & Cummins, K. W. Eds.). Kendall/Hunt Publishing Comp., 81-98, Dubuque, Iowa.

Original recibido: Diciembre de 1988.

Original aceptado: Enero de 1989.

# Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la Isla de Menorca.

Por J. ROSELL (\*) y E. ELIZAGA (\*\*)

## RESUMEN

Se describe la serie del Paleozoico de la isla de Menorca y se da una interpretación tectosedimentaria de la misma. En ella se distinguen tres unidades, todas ellas constituidas por turbiditas: una inferior «pre-tectónica» (Devónico), una intermedia «sintectónica» (Carbonífero Inferior) y una superior «post-tectónica» (Carbonífero Superior). La primera está formada por turbiditas diluidas, distales en un sentido clásico. La segunda la componen facies canalizadas y de desbordamiento, turbiditas calcáreas y una masa olistostromica de considerables dimensiones con «debris flow» de elementos del Devónico Superior, radiolaritas, calizas y pizarras viseenses y olistolitos de rocas volcánicas básicas (basaltos doleríticos) y ácidas (cuarzoqueratofidos). Y, finalmente, la tercera, formada por cuerpos canaliformes de turbiditas densas entre facies finas interpretadas como de desbordamiento.

**Palabras clave:** Baleares, Menorca, Paleozoico, Tectosedimentación, Devónico, Carbonífero, Turbiditas.

## ABSTRACT

In this paper, a description of the Menorca Islands Paleozoic sequence as well as its tectosedimentary interpretation is provided. Three main turbidite units can be recognized in this section. The lower one is a «pre-tectonic» unit (Devonian), the middle one is a «sintectonic» unit (Lower Carboniferous) and the upper one is a «post-tectonic» unit (Lower Carboniferous).

The first one is formed by a dilute turbidites, distal facies in a classic sense.

The second unit comprises channelized and overbank facies, calcareous turbidites and huge olistostromic masses containing Upper Devonian elements, Visean radiolarites, limestones and schists as well as basic volcanic rock olistolites (doleritic basalts) and acid rock olistolites (quartz-keratophires).

Finally, the third unit is constituted by thick, coarse-grained turbidite channels intercalated in thin-bedded fine-grained turbidites which are interpreted as overbank facies.

Key words: Baleares Islands, Menorca Island, Paleozoic, Tectosedimentation, Devonian, Carboniferous, Turbidite.

## 1. INTRODUCCION

Dada la posición de la isla de Menorca en el marco del Mediterráneo occidental, su investigación geológica es de gran interés, especialmente para interpretar la geología del subsuelo marino. Dentro del archipiélago balear, a excepción de un pequeño afloramiento en la Sierra Norte de la isla de Mallorca, la serie del Paleozoico tan sólo aflora bien en la de Menorca. Aún así, en esta isla la monotonía de las facies de los materiales paleozoicos, el grado de tectonización de algunos tramos y la falta de fósiles *in situ*,

dificultan la realización de un análisis estratigráfico detallado.

El Paleozoico de Menorca ha sido motivo de estudio por parte de diferentes autores y en épocas distintas, que pueden ser divididas en tres etapas: una primera que marca el intento de reconocer materiales y fósiles y, por tanto, la caracterización de edades, y otra segunda en que se intenta reconstruir la serie estratigráfica. Corresponden a la primera etapa los trabajos de HERMITE (1879), FALLOT (1923), HOLLISTER (1934) y SCHINDELWOLF (1951 y 1958). La segunda tiene tres estados: la tesis de BOURROUILH (1973), que desemboca en la obtención de una serie estratigráfica tipo, correlacionable con otras áreas circummediterráneas (BOURROUILH et al., 1980); los trabajos paleontológi-

(\*) Estratigrafía. Universidad Autónoma de Barcelona. Bellaterra.

(\*\*) División de Geología. ITGE. Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid.

cos y de petrología sedimentaria de E. y H. FLÜGEL (1979), STATTEGGER (1979), BUCHROITHNER et al. (1980), HENNINGSEN (1982, 1984) y HERBI (1985), y, por último, una tercera en la que ya se realiza la primera síntesis de la serie estratigráfica del Paleozoico menorquín de LLOMPART et al. (1979).

Recientemente, durante la realización de la cartografía MAGNA (1:50.000) del IGME, cuyo mapa base se ha confeccionado a 1:12.500, se han realizado multitud de cortes y de columnas estratigráficas generales y de facies. Ello ha permitido, no sólo analizar con detalle la serie estratigráfica del Paleozoico de la isla, sino hipotetizar sobre el mecanismo tectosedimentario que la origina. El planteamiento de estas hipótesis constituyen el objetivo de este trabajo.

2. EL MARCO GEOLOGICO

La isla está dividida en dos sectores por una línea estructural sensiblemente E-O, que funcionó durante el Mioceno Inferior. Estos sectores son el de Tramuntana al N, formado por materiales del Paleozoico y Mesozoico fundamentalmente, y el de Migjorn al S, correspondiente a una amplia plataforma calcarenítica neógena.

Los materiales paleozoicos afloran, dentro del sector de Tramuntana, en tres zonas (fig. 1): la más oriental o de Maó, la central situada al S de Fornells y la occidental o de Tirant-Binimellà.

La base de la serie paleozoica aflorada es, probablemente, fini-silúrica (Pridoliense) y el techo lo constituyen los materiales discordantes de la serie roja del Pérmico - Triásico Inferior.

En conjunto, el Paleozoico de Menorca debe considerarse como una serie devónica (alóctona) que cabalga sinsedimentariamente a una carbonífera (autóctona). Por ello, la estratigrafía, al estar estrechamente ligada al momento tectónico, era mal conocida. Sin embargo, realizar el análisis tectónico junto al de facies, durante el desarrollo de la cartografía, ha permitido modelizar la evolución sedimentológica de la pequeña parte de la cuenca sedimentaria paleozoica del Mediterráneo occidental que aflora en Menorca.

3. LA SERIE ESTRATIGRAFICA

La serie paleozoica está formada en su totalidad

por turbiditas y facies asociadas a estos depósitos clásticos de profundidad. Por ello, la datación de estos materiales se fundamenta en fósiles que, en su mayoría, han sido reelaborados, es decir, han sufrido un transporte desde las áreas de plataforma donde vivieron, a áreas más profundas donde se sedimentaron. Su utilidad estriba tan sólo en conocer la edad de las plataformas que se destruyeron y que, por resedimentación, dieron lugar a estas series turbidíticas.

Las faunas y las floras que presentan pertenecen al Devónico Inferior y Superior (falta el Devónico Medio) y al Carbonífero Inferior. Tanto las dataciones realizadas por BOURROUILH (1973) como las realizadas en el proyecto MAGNA hablan en este sentido.

La concepción moderna sobre el momento de evolución sedimentaria de una cuenca en que se depositan las series turbidíticas, hace pensar que, en la columna estratigráfica el tiempo representado debe ser muy corto, esto es, el proceso de erosión o destrucción y de resedimentación de los materiales es muy rápido, lo cual ha implicado la existencia de prolongadas lagunas estratigráficas en esta zona.

La serie estratigráfica del Paleozoico menorquín (fig. 2), puede dividirse en tres unidades, atendiendo a sus características litológicas, sobre todo sedimentológicas, y al momento tectónico en el cual se depositaron: A) una inferior, turbidítica, posiblemente pretectónica. B) una intermedia, turbidítica y olistostromática «sintectónica», y C) una superior, asimismo turbidítica, posiblemente postectónica (figs. 2 y 3).

A) Unidad Inferior (Devónico)

Constituye una unidad alóctona formada por una serie turbidítica en la que dominan las pelitas y areniscas de grano fino como producto de sedimentación a partir de suspensiones turbulentas diluidas (fotografía núm. 1). Las pelitas grises oscuras con pátinas amarillentas, ocre y a veces verdosas, predominan en toda la serie. Las areniscas de grano fino a muy fino y raramente medio, se presentan en capas, en su mayoría delgadas, que siempre pueden definirse mediante la secuencia de Bouma (secuencias dominantes de tipo Tc-e). Se les intercalan esporádicas capas de calizas con estructuras sedimentarias

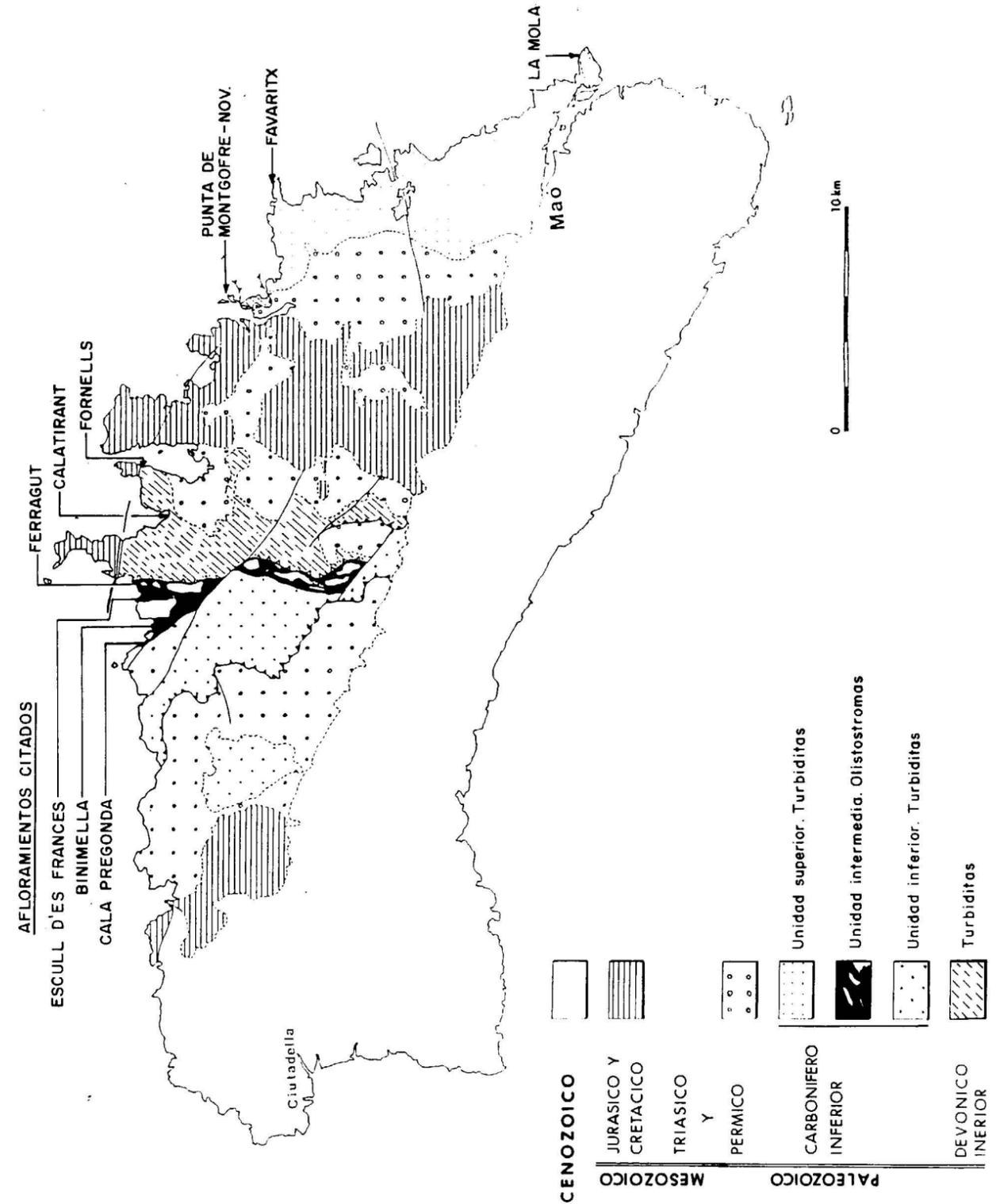


Figura 1.—Esquema geológico de la isla de Menorca.

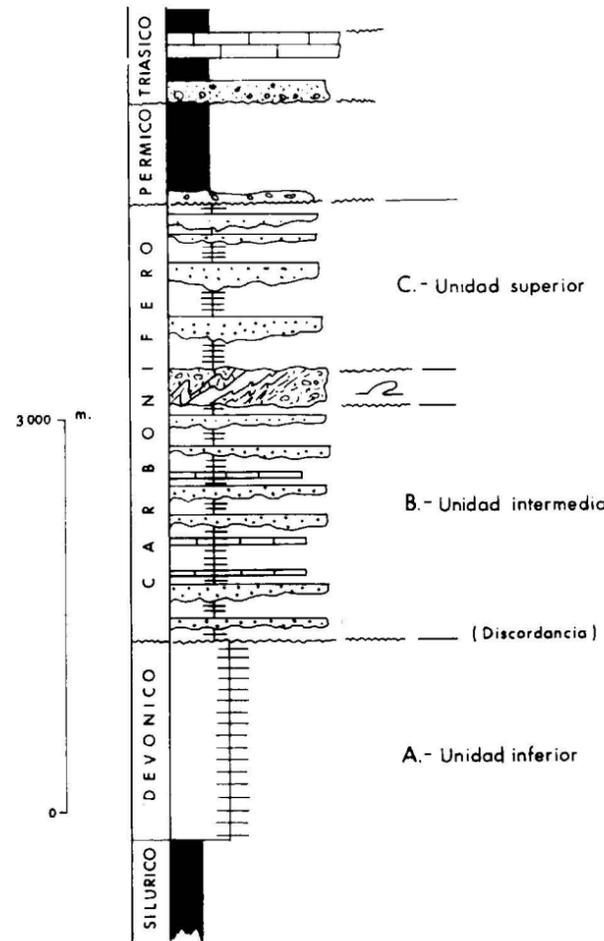


Figura 2.—Columna estratigráfica general del Paleozoico menorquín. Explicación en el texto.

primarias preservadas que son testimonio de su resedimentación. Estas calizas deben proceder de un área fuente (plataforma carbonática) distinta de la que ha originado los estratos siliciclásticos (plataforma deltaica).

Las asociaciones de facies pueden compararse a las que caracterizan las partes distales de los lóbulos (extremo SE de Cala Tirant, ROSELL et al., 1969), a las de franja de lóbulo (margen oriental de Cala Tirant) y, en algunos casos, a las de «basin plain» (margen centro occidental de Cala Tirant).

Incluyen fauna de la base del Devónico. BOURROUILH (1973) cita fauna perteneciente, con reservas, al Silúrico terminal (Pridoliense) y a

todo el Devónico Inferior (Gediniense, Siegeniense y probablemente Emsiense).

Si tenemos en cuenta el origen y evolución de una cuenca turbidítica, tal como se ha expuesto, esta serie difícilmente puede abarcar todo el lapso de tiempo que se le atribuye. Por otro lado, el carácter resedimentado de los materiales, explicaría el hecho de encontrar faunas de diferentes edades. La sedimentación de esta serie, a falta de localizar contactos paraconformes que indiquen lagunas estratigráficas, es consecuencia de un solo descenso del nivel del mar, el cual habría tenido lugar después del Siegeniense, como mínimo.

Dentro de la cuenca turbidítica, el Devónico Medio, parcial o totalmente, correspondería a una laguna estratigráfica, momentos en los que, probablemente, se reconstruía la plataforma. Parte de la serie Devónico Superior y los niveles

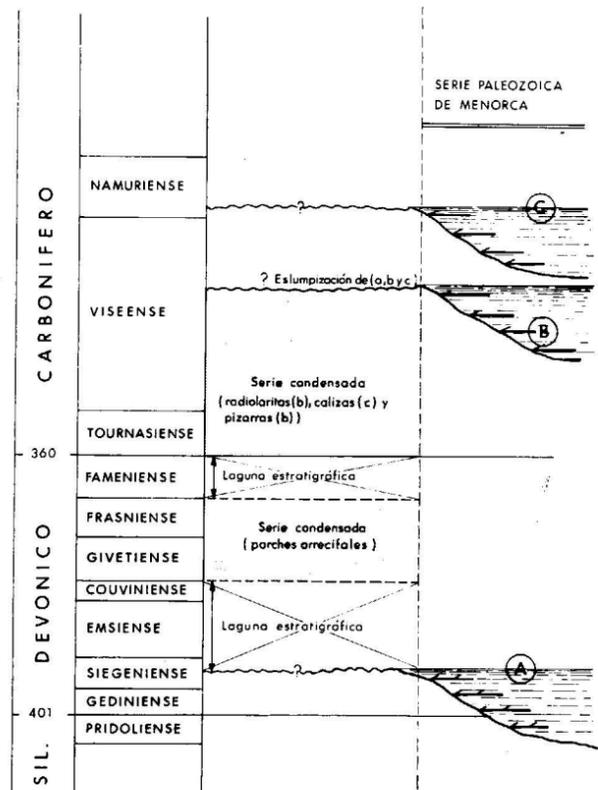


Figura 3.—Análisis de la serie estratigráfica del Paleozoico de Menorca.

pertenecientes a la base del Carbonífero se encuentran aflorando, tan sólo, como parte de una masa olistostrómica incluida en las turbiditas del Carbonífero Inferior.

Estos materiales están afectados por un apretado sistema de pliegues que, en su mayoría, se alinean sensiblemente de N a S. Esta misma dirección es, por otro lado, similar a la que presenta el frente de cabalgamiento de esta serie sobre la carbonífera.

### B. Unidad Intermedia (Carbonífero)

Se consideran como pertenecientes a esta unidad todos los materiales del Carbonífero aflorados en la parte occidental de la isla. Corresponde al tramo más inferior del Carbonífero aflorado y su posición con respecto al Devónico es autóctona (relativamente).

Posee una edad Viseense a juzgar por la composición palinológica de las muestras estudiadas.

Litológicamente está formado por capas de areniscas y de calizas (fotografía núm. 2). La característica más importante es que estos materiales se hallan fuertemente «eslumpizados», lo que demuestra la gran movilidad de la cuenca durante la sedimentación. Este hecho dificulta, cuando no imposibilita, la obtención de una serie estratigráfica detallada.

Las areniscas están organizadas en conjuntos de capas gruesas, generalmente de orden métrico, con granulometría gruesa, *coarse tail grading*, y a veces con laminaciones paralelas y raramente de *ripples*. Estos conjuntos de capas alternan con capas delgadas (TBT) de granulometría fina a muy fina y definibles con la secuencia de Bouma (dominan las secuencias tipo Tc-e). Mientras las capas gruesas se han interpretado como derivadas de suspensiones turbulentas densas, sedimentadas en canales, las delgadas como el producto del desbordamiento de éstos cuando funcionaban como tales.

A diferencia del tramo superior carbonífero, en éste nunca aparecen conglomerados, raramente se encuentran facies B2 y las capas calizas, intercaladas en los depósitos siliciclásticos finos, son muy abundantes, llegando, en algunos casos, a predominar.

Las capas calizas, que se intercalan indistinta-

mente en unas u otras, aunque son más frecuentes en las delgadas, están formadas generalmente por micritas negras que a veces presentan laminaciones paralelas o un sólo grupo de láminas cruzadas a pequeña escala. Por lo general, tienen forma lenticular con la base plana y el techo laxamente ondulado. Estas facies, en ROSELL et al. (1984), se han interpretado como producto de resedimentación a partir de suspensiones turbulentas de materiales erosionados en una plataforma carbonática, es decir, procedentes de un área fuente distinta a la siliciclástica y retocados en superficie en momentos de grandes temporales.

Intercalada en esta serie turbidítica carbonífera existe una enorme masa caótica, *nivel olistostrómico*, que dada la variedad de facies y la relativamente abundante fauna que presenta permiten la reconstrucción de la serie estratigráfica autóctona.

Los únicos afloramientos *in situ*, con grandes reservas, existentes en la isla, son el de un solar situado en el extremo meridional del pueblo de Fornells, más cercano al mar, y el pequeño y tectonizado afloramiento situado al N de Montgofre Nou, junto a la entrada del puerto de Addaia.

Este tramo, hasta el momento presente, se había considerado como sedimentado *in situ*, sin tener en cuenta la relación que en vertical guarda con los otros materiales ni su génesis sedimentológica. En realidad posee una edad anterior a la de su yacente y techo.

La serie estratigráfica más probable de este *nivel olistostrómico* es la aflorada en las inmediaciones de S'Escull d'es Frances (fotografía núm. 3). Esta serie se halla siempre intercalada estratigráficamente entre materiales carboníferos, aunque está, por lo general, cabalgada por la serie devónica. Las turbiditas asociadas a esta masa olistostrómica se hallan profundamente replegadas. El carácter totalmente «eslumpizado» del nivel dificulta la reconstrucción exacta de la serie estratigráfica. En el área de Binimel.là, cerca de S'Escull d'es Frances, es donde puede realizarse el corte más completo; sin embargo, la serie que aquí se describe es la recopilación y síntesis de gran cantidad de cortes de detalle.

De abajo a arriba estaría compuesta por los siguientes niveles y edades:

a.—Dentro de este nivel caótico, los materiales más antiguos datados corresponden al Devónico Superior. A esta edad pertenecen los elementos de los *debris flow*, entre los que abundan los corales, en su gran mayoría rodados, pudiéndose considerar siempre como cantos (fotografía núm. 4). Estos cantos presentan una pátina rojiza, lo cual llevaría a interpretar el *debris flow* como derivado de un conglomerado residual, formado a partir de un parche arrecifal con poco desarrollo sedimentario y muy degradado por la erosión. La edad de los fósiles que se han podido clasificar abarca probablemente el Givetiense y, con seguridad, el Frasnense. Por ello las pátinas, que los cantos de este conglomerado presentan, se habrían originado en un paro sedimentario que tuvo lugar, como mínimo, durante el Fameniense.

Este *debris flow* es muy discontinuo a lo largo de los afloramientos de la masa olistostromica. Debido a su carácter pelítico, sobre él se asientan campos de cultivo, lo que dificulta la localización de los afloramientos, sobre todo los de dimensiones reducidas.

b.—Las radiolaritas, por su difícil erosionabilidad, resaltan fuertemente en el relieve. Se encuentran profundamente replegadas debido a la «eslumpización» (fotografía núm. 5). Los espesores máximos medidos nunca rebasan los 50 m. Están formados por capas silíceas

de hasta 10 cm. de espesor, aunque lo más frecuente es que tengan alrededor de 5 cm. Presentan diversidad de colores, entre los que predominan los tonos verdes y los negruzcos. Entre las capas de radiolaritas existen capas de pelitas, a veces verdaderas juntas de estratificación, de orden centimétrico. Asimismo, en algunos afloramientos, entre las capas radiolaríticas se intercalan capas delgadas de turbiditas siliciclásticas de granulometría muy fina. El color negruzco que algunos tramos presentan es debido a concentraciones de óxidos de manganeso. A veces se les intercalan niveles formados por nódulos fosfatados.

Las pelitas intercaladas en las radiolaritas, sobre todo hacia la base y el techo, son ya de color negruzco, ya rojo violáceo y, más raramente, verdoso. Las pelitas negruzcas incluyen abundantes nódulos redondeados y aplanados de marcasita. Las pelitas de la parte alta presentan, a menudo, capas intercaladas, en su mayoría delgadas, de calizas micríticas. Estas capas de calizas localmente se hallan tapizadas por óxidos de hierro, proporcionándoles una coloración superficial rojiza, en forma de pátina, y, además, en algunos casos, presentan fragmentos diseminados de tallos de crinoideos. Localmente estas costrificaciones pueden asimilarse a verdaderos *hardgrounds* que implicarían un paro sedimentario considerable.

c.—Los niveles de calizas, micríticas, algo dolo-

Foto 1.—Margen oriental de Cala Tirant (Es Ciprer).—Turbiditas devónicas. Alternancia de capas de areniscas de grano fino y muy fino, con otras de pelitas. (La vara mide 1,5 m.).

Foto 2.—Margen oriental de S'Enderrossall Mal (extremo nororiental del macizo de Binimel.là.—Serie turbidítica de la Unidad inferior del Carbonífero. Potentes estratos de areniscas de granulometría mediana o gruesa. La pelita es muy escasa entre los estratos o ausentes.

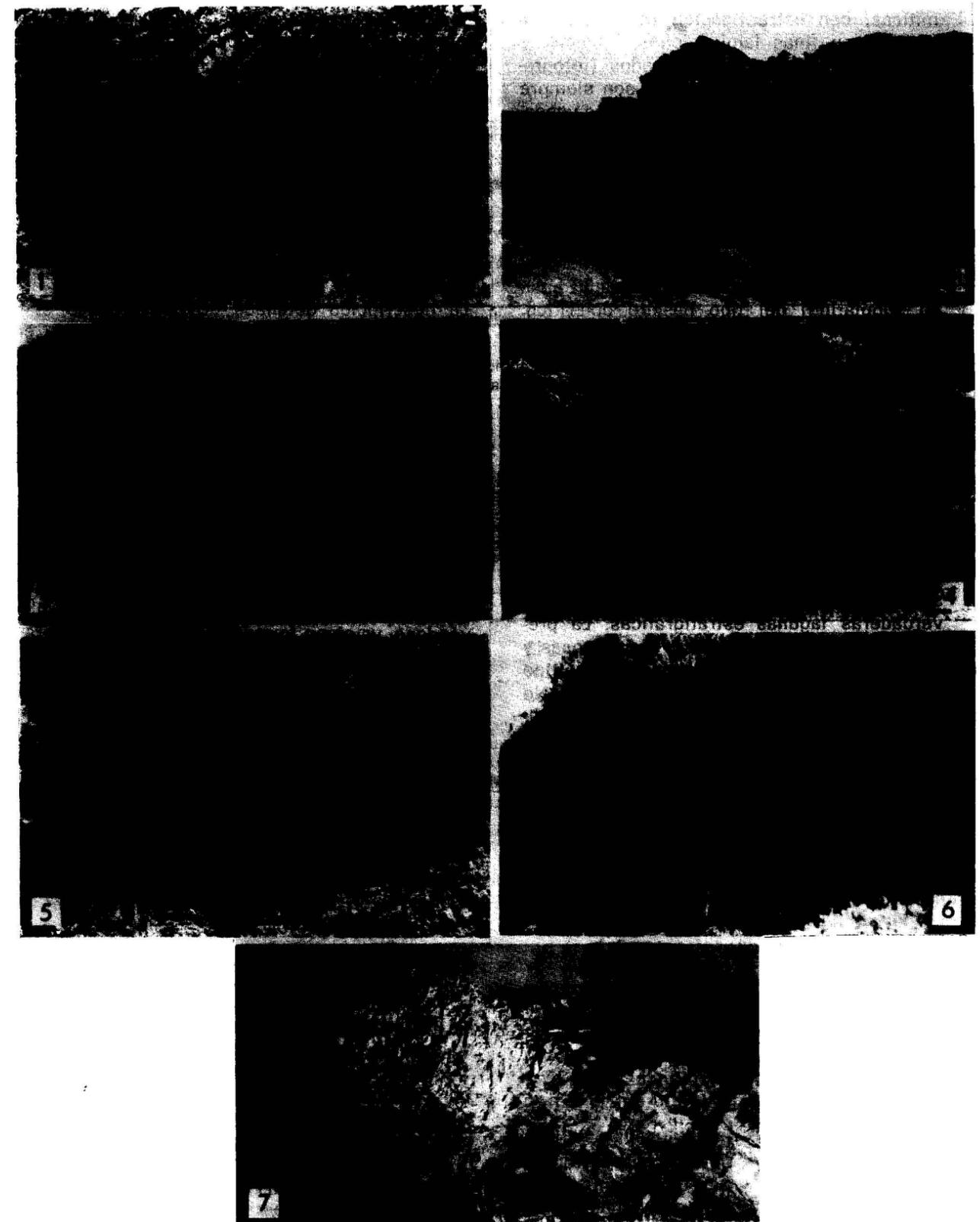
Foto 3.—Punta de Na Bal.là (Playa de Binimel.là, margen oriental).—Turbiditas en capas delgadas, muy replegadas, incluidas en la masa olistostromica. (La vara mide 1,5 m.).

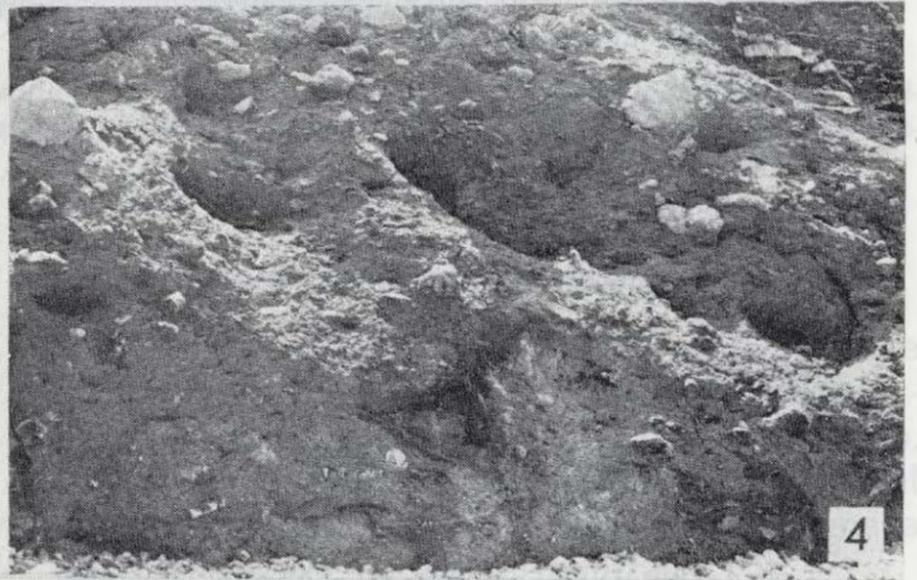
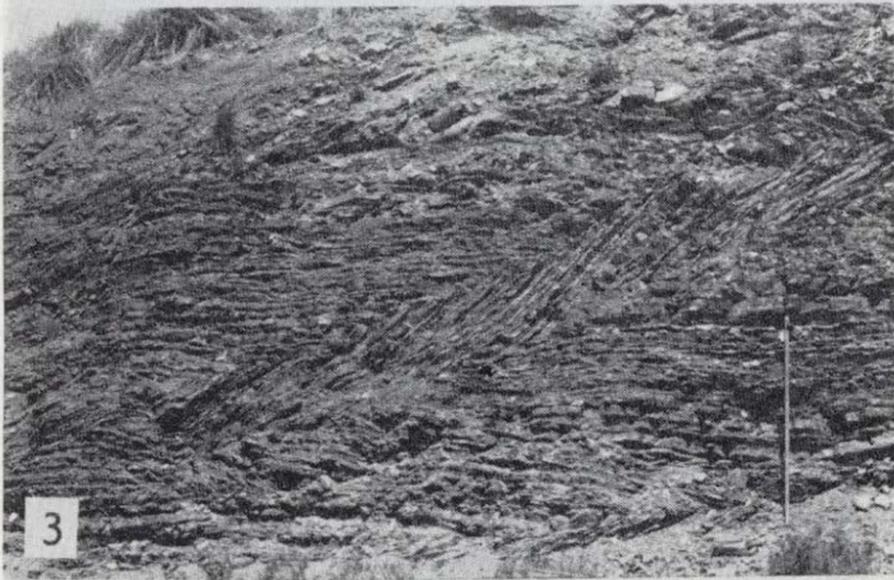
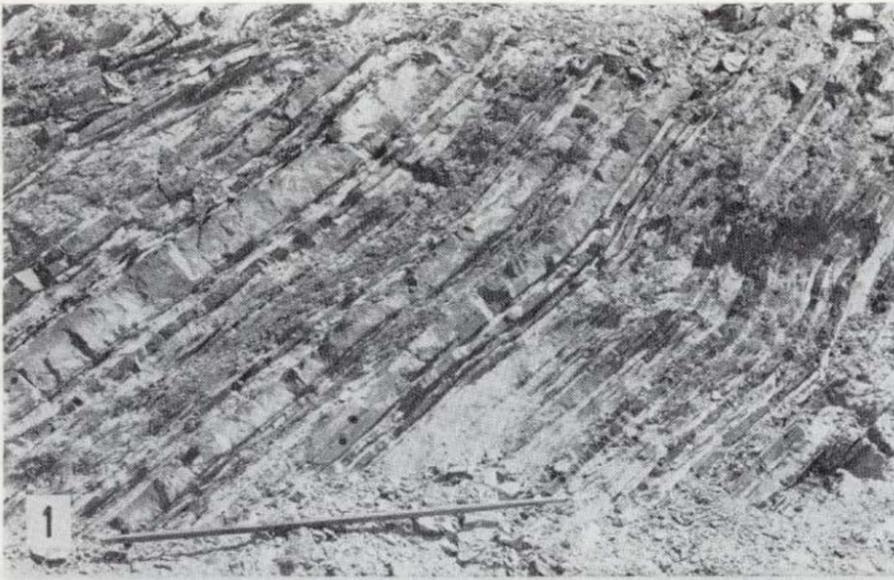
Foto 4.—S'Enderrossall Mal (Escollo del Francés, Playa de Binimel.là, margen oriental).—Conglomerado correspondiente a la colada fangosa.

Foto 5.—Margen oriental de la urbanización de Binimel.là. Talud de una calle. Radiolaritas muy replegadas.

Foto 6.—Extremo oriental de las calles de la urbanización de Binimel.là en dirección a Cala Mica.—Calizas micríticas grises muy replegadas. (La vara mide 1,5 m.).

Foto 7.—Na Bunyalons, extremo N de Cala Pregonda (en segundo término les Illes Bledes).—Aspecto general de las masas rocosas blanco amarillentas formadas por cuarzoqueratófiro.





míticas, con estratificación de mediana a fina, y con finas laminaciones, localmente se hallan fuertemente replegados (fotografía núm. 6). Sus afloramientos son siempre muy discontinuos. Estas calizas son, a veces, algo margosas y, en la parte alta de los niveles están, frecuentemente, bioturbadas. Incluyen, especialmente hacia la base, abundantes nódulos arriñonados de sílex.

d.—En raras ocasiones (Ferragut) existen, dentro de la masa olistostrómica, verdaderos olistones de rocas volcánicas (vulcanismo básico submarino) del tipo basalto dolerítico. Asimismo, cabe destacar por su frecuencia, y resaltar fuertemente en el relieve, en el área de Cala Pregonda, la existencia de olistones de rocas blanco amarillentas del tipo cuarzoqueratófidos (fotografía núm. 7).

La fauna que presentan estos materiales (*b* y *c*) indican una edad Viseense y quizá, parcial o totalmente, Tournaniense. Es evidente, no obstante, que la sedimentación es muy lenta, que existen abundantes paros sedimentarios y que éstos, en algunos casos, por su longevidad, pueden considerarse como verdaderas lagunas estratigráficas. La presencia de abundantes costras ferruginosas y los repetidos y bruscos cambios en el tipo de sedimentación hablan en este sentido. No obstante, es de suponer que el área de sedimentación siempre estuvo bajo las aguas, en zonas de plataforma distal (litoral en los conglomerados coralinos finidevónicos), pudiéndose calificar la serie de condensada, la cual implicaría lagunas estratigráficas que abarcarían, probablemente, el Fameniense y en parte el Tournasiense.

### C. Unidad Superior (Carbonífero)

Esta unidad tan sólo aflora en el extremo oriental de la isla. Su posición estratigráfica y estructural en relación al resto de la serie paleozoica es imposible de observar en el campo. No obstante, su grado de tectonización y especialmente el tipo de facies que presenta, la diferencia ostensiblemente.

Aparte de estructuras debidas a una tectónica sinsedimentaria, causada por movimientos distensivos que origina variaciones bruscas, de

potencia y facies, y discordancias intraformacionales, la serie buza monoclinalmente al S y está tan sólo afectada por accidentes alpinos, los más importantes miocenos. A diferencia del nivel carbonífero infrayacente, los niveles «eslumpizados» y las capas intercaladas de caliza son rarísimos. Estas últimas están sólo presentes con relativa poca frecuencia en las inmediaciones de la base. Además en esta serie, en los tramos de facies finas, son muy abundantes las intercalaciones de capas de granulometría gruesa originadas por corrientes tractivas (B<sub>2</sub>).

La descripción detallada de estas facies será objeto de una próxima publicación (ROSELL, en preparación). En conjunto, la serie puede considerarse formada por grandes cuerpos canaliformes de areniscas gruesas y microconglomeráticas, en capas de potentes a masivas, producto de la sedimentación de turbiditas densas. Estos cuerpos de areniscas groseras se hallan intercalados en tramos de capas delgadas de turbiditas diluídas con granulometría de fina a muy fina (fotografía núm. 8). Esporádicamente, relacionados con las capas canalizadas, existen conglomerados ya como parte residual decantada de parte de corrientes densas que han ido diluyéndose, ya como formando parte de verdaderas coladas fangosas.

Esta unidad, la más alta de la serie paleozoica de la isla, cubierta por la serie pérmica en clara discordancia angular, ha sido datada como perteneciente al Namuriense. A juzgar por su grado de deformación con respecto a la unidad intermedia (Carbonífero) y a la unidad inferior (Devónico), esta unidad, con un grado mucho menor de deformación, es discordante sobre las anteriormente descritas.

### 4. EVOLUCION TECTOSEDIMENTARIA

El análisis sedimentológico de la serie paleozoica de Menorca obliga a considerar la existencia de lagunas estratigráficas importantes distribuidas entre la base del Devónico y el techo del Carbonífero Inferior. Esta serie paleozoica posee en su totalidad facies turbidíticas, es decir, depositadas en momentos de bajadas relativas del nivel del mar y *lowstand* relativos que impliquen una erosión subaérea y al mismo tiempo submarina (fig. 3). En esta serie, pues, quedarían repre-

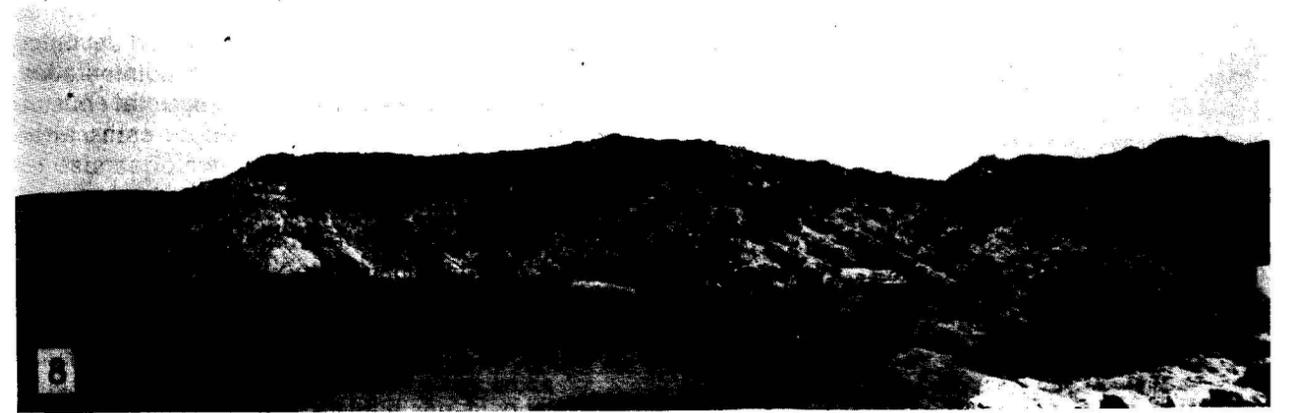


Foto 8.—Cala Vellana (extremo oriental de Es Grao).—Turbiditas de facies «Culm». Canales de gruesas capas de turbiditas de granulometría grosera (parte izquierda del afloramiento), intercalados en turbiditas en capas delgadas de areniscas de grano fino y pelitas, interpretadas como de desbordamiento (parte derecha del afloramiento).

sentados momentos de relativos ascensos del nivel del mar con fuerte tasa de sedimentación. En uno de estos momentos, sin apreciable depósito en plataforma, habría tenido lugar la sedimentación de la serie condensada de transición Devónico-Carbonífero con importantes paros sedimentarios. Esta serie radiolarítica, caliza y pelítica, durante la sedimentación del Carbonífero Inferior «eslumpiza» dentro de la cuenca a causa del movimiento del cabalgamiento devónico-carbonífero y da lugar a un enorme nivel olistostrómico.

La serie paleozoica, dividida en tres unidades turbidíticas separadas por sendas discordancias: una del Devónico Inferior y dos del Carbonífero Inferior, se podría considerar también como pre-tectónica la unidad inferior, la intermedia como sintectónica y la superior como postectónica; la sedimentación pérmica coronaría el ciclo herciniano en la isla.

El Paleozoico de Menorca debe considerarse como afectado por un movimiento del E al O, produciendo el cabalgamiento o corrimiento de una unidad oriental (causante del apretado sistema de pliegues de Fornells) sobre una occidental. El conjunto de materiales que forman la masa olistostrómica deslizó durante la sedimentación de esta unidad turbidítica del Carbonífero Inferior (intraviseense). Su colocación (*mise en place*) está ligada al corrimiento del Devónico sobre el Carbonífero (fase tectónica intraviseense). Los

materiales que la forman proceden de la parte frontal del manto donde se produjeron megadeslizamientos, probablemente de origen sísmico, que dieron lugar a megaturbiditas. Cuando el movimiento del manto sobrepasa la gran masa olistostrómica ésta queda fosilizada.

El movimiento del manto, no obstante, queda ya reflejado en la serie carbonífera, ya que la cuenca sería muy inestable, con gran cantidad de materiales «eslumpizados» anteriores a la *mise en place* de la masa olistostrómica.

El resumen de la evolución tectosedimentaria (fig. 4) puede describirse como sigue:

- 1.—Sedimentación en el Devónico Inferior, por bajada del nivel del mar, de la primera unidad turbidítica. A juzgar por sus facies correspondería a una parte distal de un sistema turbidítico, aunque cabe la posibilidad de que el área fuente de donde procedían los sedimentos estuviera formada únicamente por materiales de granulometría fina. Al mismo tiempo, se iniciaba la destrucción de una plataforma carbonatada, ajena a la plataforma siliciclástica principal y posiblemente de distinta edad, y que daba lugar a las esporádicas capas de calizas resedimentadas intercaladas en la serie turbidítica, indicio de una inestabilidad tectónica de la cuenca.
- 2.—Discordancia con una laguna estratigráfica que abarca todo el Devónico Medio.

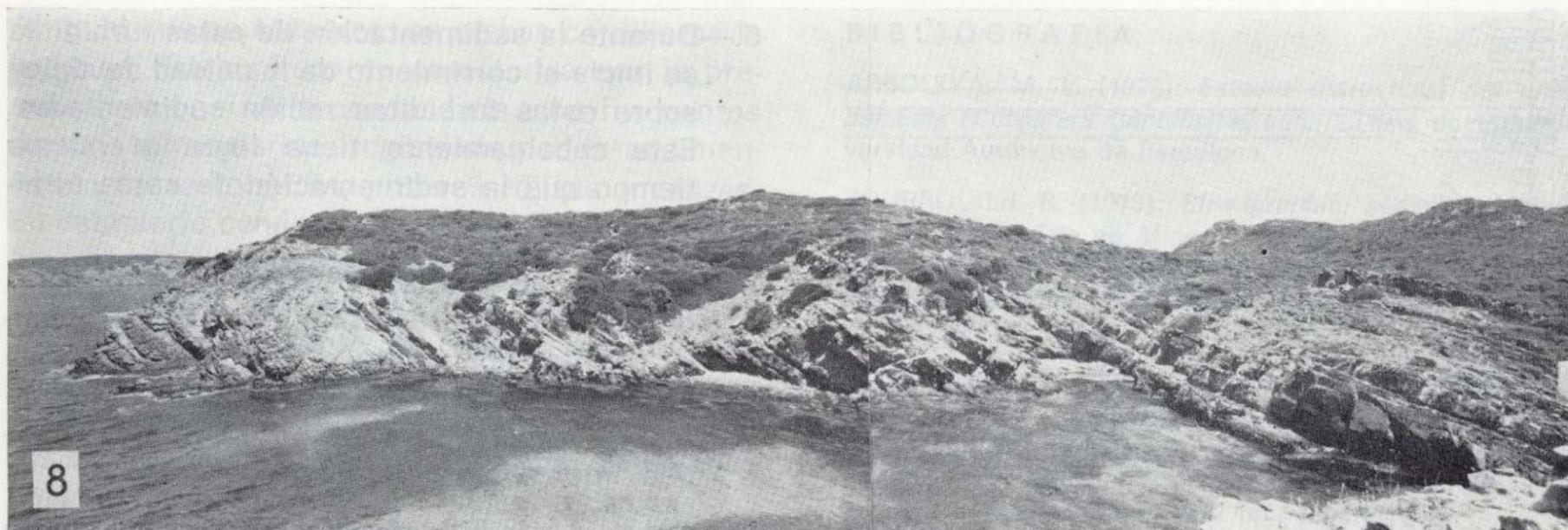


Foto 8.—Cala Vellana (extremo oriental de Es Grao).—Turbiditas de facies «Culm». Canales de gruesas capas de turbiditas de granulometría grosera (parte izquierda del afloramiento), intercalados en turbiditas en capas delgadas de areniscas de grano fino y pelitas, interpretadas como de desbordamiento (parte derecha del afloramiento).

sentados momentos de relativos ascensos del nivel del mar con fuerte tasa de sedimentación. En uno de estos momentos, sin apreciable depósito en plataforma, habría tenido lugar la sedimentación de la serie condensada de transición Devónico-Carbonífero con importantes paros sedimentarios. Esta serie radiolarítica, caliza y pelítica, durante la sedimentación del Carbonífero Inferior «eslumpiza» dentro de la cuenca a causa del movimiento del cabalgamiento devónico-carbonífero y da lugar a un enorme nivel olistostrómico.

La serie paleozoica, dividida en tres unidades turbidíticas separadas por sendas discordancias: una del Devónico Inferior y dos del Carbonífero Inferior, se podría considerar también como pre-tectónica la unidad inferior, la intermedia como sintectónica y la superior como postectónica; la sedimentación pérmica coronaría el ciclo herciniano en la isla.

El Paleozoico de Menorca debe considerarse como afectado por un movimiento del E al O, produciendo el cabalgamiento o corrimiento de una unidad oriental (causante del apretado sistema de pliegues de Fornells) sobre una occidental. El conjunto de materiales que forman la masa olistostrómica deslizó durante la sedimentación de esta unidad turbidítica del Carbonífero Inferior (intraviseense). Su colocación (*mise en place*) está ligada al corrimiento del Devónico sobre el Carbonífero (fase tectónica intraviseense). Los

materiales que la forman proceden de la parte frontal del manto donde se produjeron megadeslizamientos, probablemente de origen sísmico, que dieron lugar a megaturbiditas. Cuando el movimiento del manto sobrepasa la gran masa olistostrómica ésta queda fosilizada.

El movimiento del manto, no obstante, queda ya reflejado en la serie carbonífera, ya que la cuenca sería muy inestable, con gran cantidad de materiales «eslumpizados» anteriores a la *mise en place* de la masa olistostrómica.

El resumen de la evolución tectosedimentaria (fig. 4) puede describirse como sigue:

- 1.—Sedimentación en el Devónico Inferior, por bajada del nivel del mar, de la primera unidad turbidítica. A juzgar por sus facies correspondería a una parte distal de un sistema turbidítico, aunque cabe la posibilidad de que el área fuente de donde procedían los sedimentos estuviera formada únicamente por materiales de granulometría fina. Al mismo tiempo, se iniciaba la destrucción de una plataforma carbonatada, ajena a la plataforma siliciclástica principal y posiblemente de distinta edad, y que daba lugar a las esporádicas capas de calizas resedimentadas intercaladas en la serie turbidítica, indicio de una inestabilidad tectónica de la cuenca.
- 2.—Discordancia con una laguna estratigráfica que abarca todo el Devónico Medio.

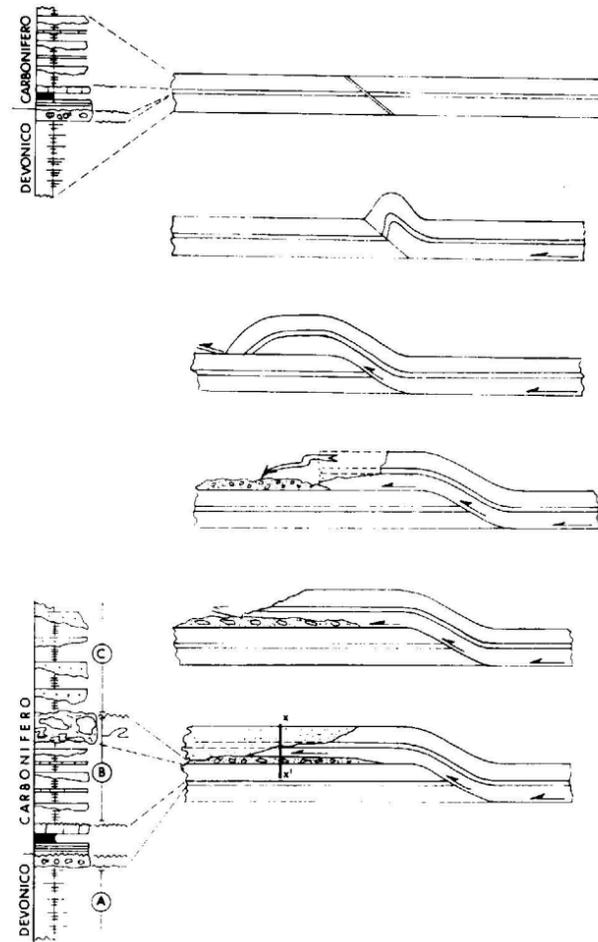


Figura 4.—Evolución tecto-sedimentaria del Paleozoico de Menorca (X-X', parte del conjunto que aflora en Menorca).

3.—En la plataforma, lejos del fragmento de cuenca abarcado por la isla, se origina una sedimentación lenta e intermitente, dando lugar a una serie condensada durante el Devónico Superior y la parte basal del Carbonífero. En la cuenca menorquina este tiempo queda, pues, incluido en la laguna estratigráfica de 2.

4.—Sedimentación de plataformas deltaicas (Viseense) con resedimentación de las mismas originadas por una caída del nivel del mar que causa su destrucción. Al mismo tiempo se intensifica la resedimentación de carbonatos que en la cuenca se mezclan con las capas turbidíticas siliciclásticas.

5.—Durante la sedimentación de estas turbiditas se inicia el corrimiento de la unidad devónica sobre estas turbiditas recién sedimentadas. Este cabalgamiento tiene lugar al mismo tiempo que la sedimentación de estas turbiditas.

6.—Mientras se produce este corrimiento, parte del alóctono (parte frontal del manto) desliza gravitacionalmente al interior de la cuenca, dando lugar a una gran masa olistostromica intercalada en las turbiditas de la unidad intermedia carbonífera.

Cabe la posibilidad, aunque remota, que la *mise en place* de las masas olistostromicas intraviseenses sea anterior al cabalgamiento y, a su vez, multievento, producto de impulsos tectónicos, causantes de repetidos movimientos sísmicos. El cabalgamiento en este caso habría aprovechado la plasticidad de la superficie superior de la masa olistostromica como base del corrimiento.

Por la calidad de los afloramientos es difícil decantarse por una u otra hipótesis. No obstante, a juzgar por los datos de campo y por la sencillez del mecanismo sedimentológico, la primera parece mucho más verosímil.

7.—Sobrepaso del alóctono sobre la masa olistostromica originando su fosilización.

8.—Cese del movimiento tectónico. Regeneración de los sistemas deltaicos en plataforma que implican una laguna estratigráfica en la cuenca. Caída del nivel del mar y destrucción y resedimentación de la misma (Unidad Superior del Carbonífero).

9.—Ligera deformación en el Carbonífero (probablemente Inferior). Arrasado del relieve y posterior sedimentación de la serie roja del Pérmico Superior.

#### 5. COMPARACION CON EL CARBONIFERO DE LOS CATALANIDES Y LA CORDILLERA CANTABRICA

La serie estratigráfica del Carbonífero Inferior de la isla de Menorca es muy similar a la existente en los Catalánides y en la Cordillera Cantábrica.

Al igual que en Menorca, en ambas cordilleras la base del Carbonífero se caracteriza por la presencia de una serie condensada, con frecuentes paros sedimentarios, registrada por la sedimentación de radiolaritas, pizarras rojizas y calizas. En esta serie condensada estarían representados lapsos de tiempo pertenecientes al Tournasiense y al Viseense Inferior. Se halla, por lo general, resedimentada durante el Namuriense. En Menorca, junto a la serie Tournasiense-Viseense resedimentada, existen materiales pertenecientes al Devónico Superior en forma de coladas fangosas y olistoslitos de rocas volcánicas.

El yacente del tramo inferior del Carbonífero, en el Paleozoico de Menorca, está formado por turbiditas del Devónico Inferior. En los Catalánides y la Cordillera Cantábrica, la serie del Carbonífero Inferior, por lo general, descansa, aunque de edad similar, discordantemente sobre materiales de plataforma.

Las series turbidíticas carboníferas se inician en Menorca a comienzos del Viseense, en los Catalánides a finales del Viseense y en la Cordillera Cantábrica coincide con el inicio del Namuriense (JULIVERT, 1978). Tanto la serie inferior turbidítica del Carbonífero de la Cordillera Cantábrica como la de Menorca, presentan abundantes capas carbonatadas intercaladas como producto de la resedimentación por medio de flujos gravitatorios procedentes de un área fuente de carbonatos.

El resto de la serie paleozoica pre-pérmica aflorada en Menorca, calificada de «Culm», es Namuriense. En los Catalánides y Cordillera Cantábrica los materiales de edad namuriense corresponden, asimismo, a sistemas turbidíticos, aunque de facies distintas en función, sobre todo, de la composición litológica del área fuente y de la posición del nivel del mar, relativamente bajo, para engendrar los flujos gravitatorios.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a D. Juan José Gómez, D. Cecilio Quesada y D. Antonio Lendínez las críticas y sugerencias realizadas a este trabajo.

#### BIBLIOGRAFIA

ARBOLEYA, M. L. (1978): *Estudio estructural del manto del Esla (Cordillera Cantábrica, León)*. Tesis doctoral Universidad Autónoma de Barcelona.

BOURROUILH, R. (1973): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Balears)*. La terminaison nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale. Thèse d'Etat, 2 vols., 822 pp., Paris.

BOURROUILH, R. (1983): *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del noroeste de Mallorca (Balears)*. La terminación nororiental de las Cordilleras Béticas en el Mediterráneo occidental. Mem. ITGE, t. 99, 2 vol. (1 texto, 2 láms.), 672 pp., Madrid.

BOURROUILH, R.; COCOZZA, T.; DEMANGE, M.; DURAND-DELGA, M.; GUEIRARD, S.; GUITARD, G.; JULIVERT, M.; MARTINEZ, F. J.; MASSA, D.; MIROUSE, R., et ORSINI, J. B. (1980): *Essai sur l'évolution paléogéographique, structurale et métamorphique du Paléozoïque du Sud de la France et de l'Ouest de la Méditerranée*. Coll. C. Géologie de l'Europe, 26 Congr. Géol. Intern. Paris, pp. 159-188, Paris.

BUCHROITHNER, M. F.; FLÜGEL, E.; FLÜGEL, H. W., y STATTEGGER, K. (1980): *Die Devongerölle des paläozoischen Flysch von Menorca und ihre paläogeographische Bedeutung*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 152/2, pp. 172-224, Stuttgart.

FALLOT, P. (1923): *Le problème de l'île de Minorque*. Bull. Soc. Géol. Fr., 4.<sup>e</sup> sér., t. XXIII, pp. 3-44, Paris.

FLÜGEL, E., y FLÜGEL, H. W. (1979): *Tabulata, Sclerospongia und Stromatopora aus dem Devon von Menorca*. Mitt. österr. Geol. Ges., 70 (1977), pp. 49-73, Wien.

HENNINGSEN, D. (1982): *Zusammensetzung und Herkunft der sandigen Gesteine des Devons und Karbons von Menorca (Balearn, Mittelmeer)*. N. Jb. Geol. Paläont. Mh., 12, pp. 736-746, Stuttgart.

HENNINGSEN, D. (1984): *The Upper Devonian conglomerates of Menorca (Balearic Islands, Mediterranean)*. N. Jb. Paläontol. Mh., vol. 9, pp. 539-548, Stuttgart.

HERBIG, H. G. (1985): *An Upper Devonian limestone slide block near Marbella (Betic Cordillera, Southern Spain) and the palaeogeographic relations between Malaguides and Menorca*. Acta Geol. Hisp., vol. 20, núm. 2, pp. 155-178, Barcelona.

HERMITE, H. (1879): *Etudes géologiques sur les îles Balears. Première partie Majorque et Minorque*, vol. 362 pp., Paris. Traducido en: Bol. Com. Mapa Geol. Esp. (1888), t. XV, 233 pp., Madrid.

HOLLISTER, J. S. (1934): *Zur Stellung der Balearen im variscischen und alpinen Orogen*. Abh. Ges. Wiss. Göttingen, vol. III, p. 10, pp. 122-154. Berlin. Traducido en: Publ. Alem. Geol. Esp. (1942): t. 1, pp. 71-102, Madrid.

JULIVERT, M. (1978): *Hercinian Orogeny and Carboniferous Paleogeography in Northwestern Spain: A model of de-*

formation - sedimentation relationships. 2 dt. Geol. Ges., 129, pp. 565-592.

LLOMPART, C.; OBRADOR, A., y ROSSELL, J. (1979): *Geología de Menorca*. En: *Enciclopedia de Menorca*, t. 1, pp. 1-83. Obra Cultural Balear de Menorca. Maó.

ROSELL, J.; OBRADOR, A., y MERCADAL, B. (1969): *Sobre la presencia de flysch en los sedimentos paleozoicos de la Isla de Menorca*. Acta Geol. Hisp., t. IV, núm. 1, pp. 1-4, Barcelona.

SCHINDEWOLF, O. H. (1951): *Glaziale Erscheinungen im Oberdevon von Menorca*. Akad. Wissen. Lit. Abh. Math. Nat. Kl., núm. 13, 21 pp. Mainz. Traducido en Publ. Extr. Geol. Esp., t. IX, pp. 3-24, Madrid.

SCHINDEWOLF, O. H. (1958): *Über eine Namur-Fauna von Menorca*. N. Jb. F. Geol. Pal. Math., t. 1, pp. 1-8, Stuttgart.

STATTEGGER, K. (1979): *Schwermineraluntersuchungen im Devon und Karbon von Menorca (Spain)*. Mitt. österr. geol. Ges., 70, pp. 43-48, Wien.

Original recibido: Diciembre de 1988.

Original aceptado: Enero de 1989.

## Características geológicas y metalogénicas de la mineralización de Cu-Zn-Pb-Ag de Congostrina, Sistema Central.

Por J. MARTINEZ FRIAS (\*), R. LUNAR (\*) y E. VINDEL (\*)

### RESUMEN

Las investigaciones realizadas en la zona de Congostrina han consistido en la descripción de las características morfológicas de la mineralización y su encuadre dentro del contexto de la metalogénica de la plata del Sistema Central. Asimismo se han estudiado los aspectos mineralógicos y texturales de los principales minerales de plata, estableciéndose la paragénesis y sucesión mineral del yacimiento.

Palabras clave: Plata, Yacimiento hidrotermal, Paragénesis, Textura, Análisis químico, Congostrina (Provincia Guadalupe).

### ABSTRACT

The characteristics of veins at Congostrina ore deposit, are studied. The research of this zone aims at defining the metallogenesis of silver in the Central System.

The mineralogical and textural aspects of the sulphides and silver sulphosalts are analyzed and the paragenesis and mineral sequences, are described.

Key words: Silver ores, Hydrothermal processes, Paragenesis, Textures, Chemical composition, Congostrina (Guadalupe Province).

### INTRODUCCION

Dentro del contexto de la Metalogénica de la plata del Sistema Central, la zona de Congostrina presenta una serie de características mineralógicas y geoquímicas, similares en cierta medida con las de las restantes zonas argentíferas del Guadarrama Oriental.

Los filones que existen en esta zona podrían concordar con la prolongación suroriental de los de Hiendelaencina. La comparación de la mineralogía que presentan, con la del yacimiento principal y las restantes mineralizaciones, es fundamental para la elaboración de un modelo metalogénico común, de todo el distrito argentífero.

### SITUACION GEOGRAFICA - GEOLOGICA

La zona de Congostrina se encuentra situada en el Sector Oriental del Sistema Central, al sur

(\*) Dpto. de Cristalografía y Mineralogía. Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense de Madrid.

de Hiendelaencina (fig. 1), junto al arroyo donde afloran los gneises correspondientes a la formación «Congostrina» (gneis «Antoñita»). Su acceso se lleva a cabo por un camino, que parte de la carretera que va de Cogolludo a Hiendelaencina y que llega justamente a esta zona, donde se produce el contacto entre los materiales triásicos con los gneises glandulares preordovícicos (fig. 2).

### ESTUDIO DE LA MINERALIZACION

#### DESCRIPCION DEL YACIMIENTO

Las observaciones realizadas para determinar la morfología y disposición de la mineralización, únicamente se han podido hacer en superficie, pues las antiguas explotaciones son actualmente inaccesibles (fig. 3).

Los indicios que se han estudiado siguen una red de fracturación paralela de dirección general N 45° E (fig. 2), lo que pone de manifiesto un claro control estructural.

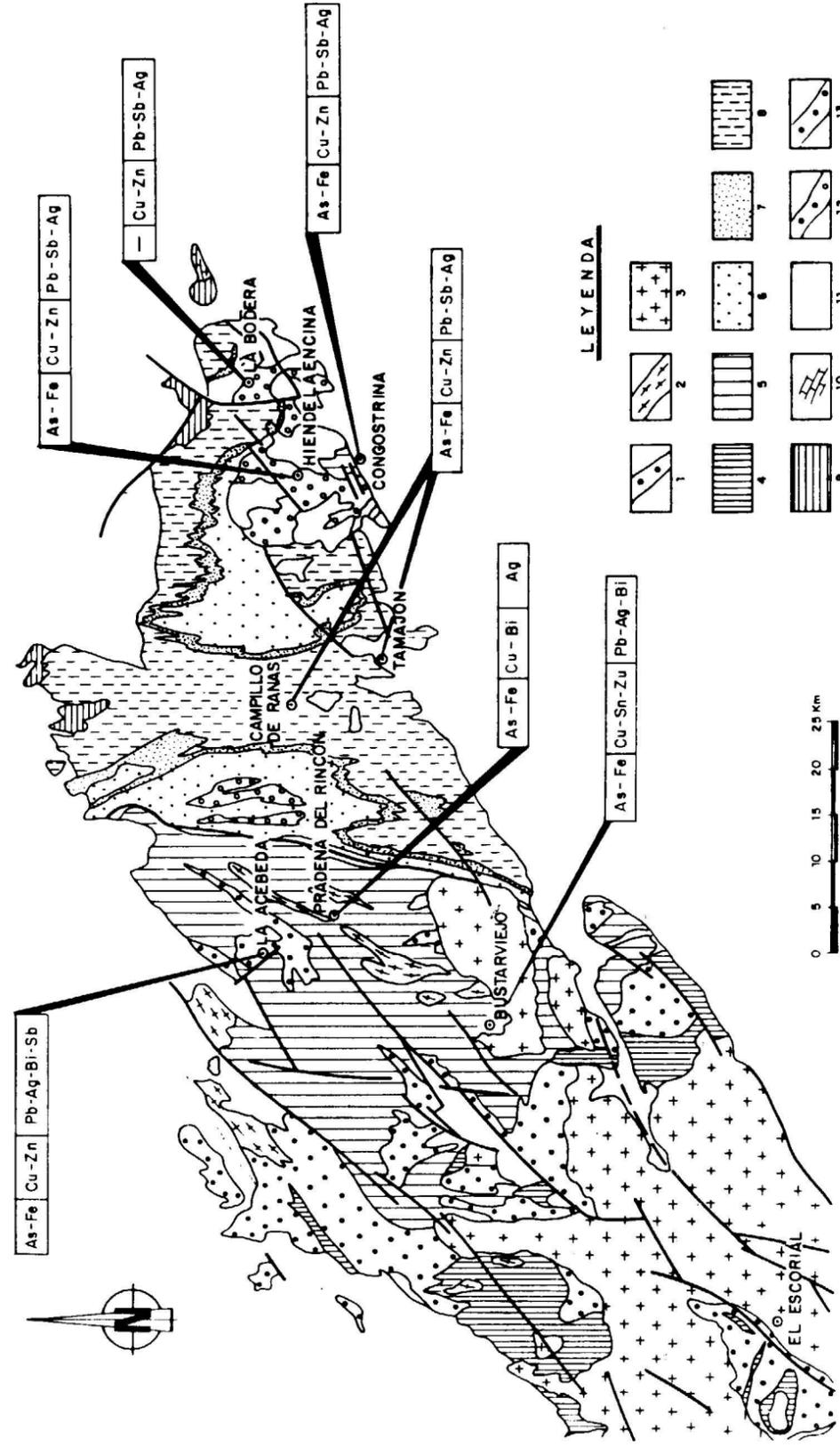


Figura 1.—Esquema geológico-estructural del Sistema Central mostrando la situación de las zonas argentíferas.  
 1. Gneises glandulares.—2. Leucogneises.—3. Granitoides tardihercínicos.—4. Serie férmica.—5. Metasedimentos.—6. Tremadoc.—7. Skiddaviense.—8. Liandello.—9. Silúrico.—10. Carbonífero.—11. Sedimentos postpaleozoicos.—12. «Ollo de Sapo».—13. Gneis de Riaza - Nazaret.

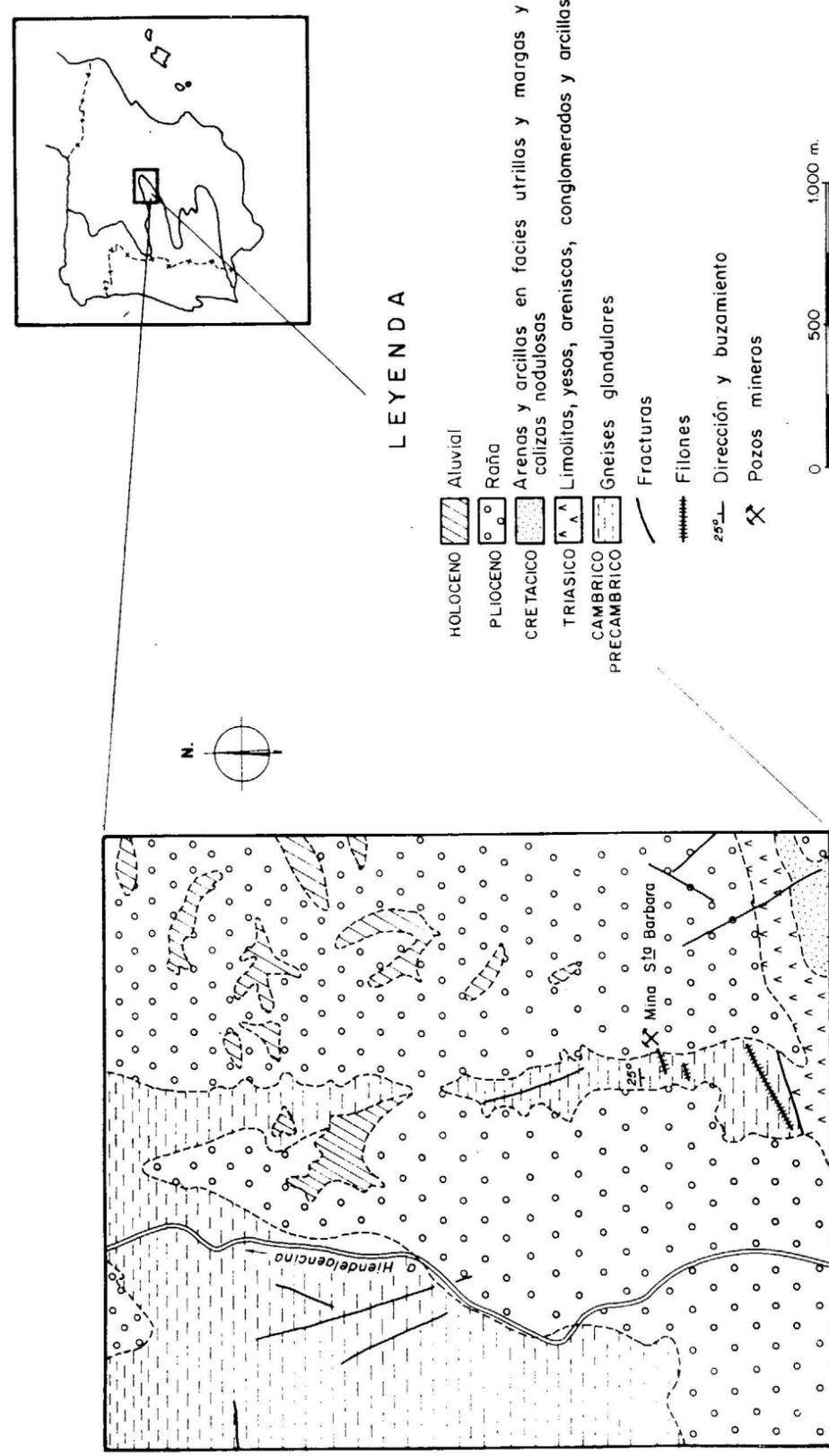


Figura 2.—Esquema geológico de la zona de Congostrina.

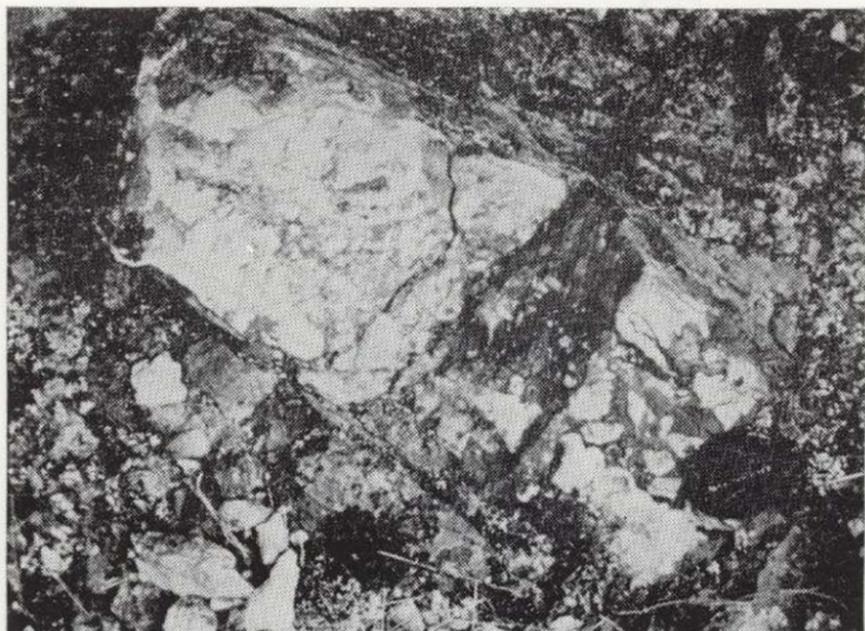


Figura 3.—Aspecto de uno de los filones aflorantes, correspondientes a la zona de Congostrina.

A escala mesoscópica las muestras tomadas presentan estructuras características de brechas filonianas, que engloban pequeños fragmentos de la roca encajante (fig. 4), y pequeñas estructuras de filones paralelos de aproximadamente 1 cm. de espesor.

En resumen, se puede decir que la morfología y disposición de la mineralización refleja una actividad hidrotermal tardía, siguiendo fracturas tardihercínicas.

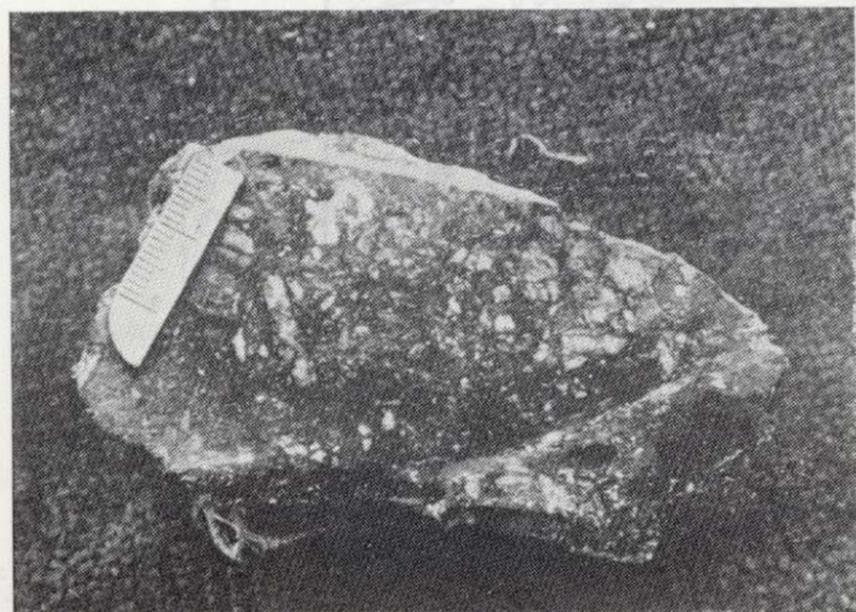


Figura 4.—Brecha filoniana de la mineralización de Congostrina.

## EL MEDIO ENCAJANTE

Las formaciones que constituyen el ámbito encajante de la mineralización de Congostrina son los gneises denominados por SHAFER (1969) «Antoñita gneis» o formación «Congostrina» (NAVIDAD, 1975). Asimismo, aparecen otros materiales intercalados entre la formación gneílica que son fundamentalmente niveles de esquistos. A grandes rasgos se distinguen tres tipos distintos de materiales, gneises micáceos, esquistos moscovíticos y moscovítico-biotíticos.

### Gneises micáceos

Constituyen la base de todo el complejo gneíscico correspondiente al macizo de Hiendelaencina. Están constituidos por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa como fenocristales, y moscovita y biotita como constituyentes de la foliación. Esporádicamente se observan granos irregulares de clorita asociados siempre a opacos.

Las plagioclasas presentan una alteración sericítica incipiente y sus maclas aparecen fundamentalmente deformadas.

### Esquistos moscovíticos

Aparecen como niveles lentejonares intercalados entre los gneises (fig. 5). Están constituidos por cuarzo y plagioclasa intensamente alteradas

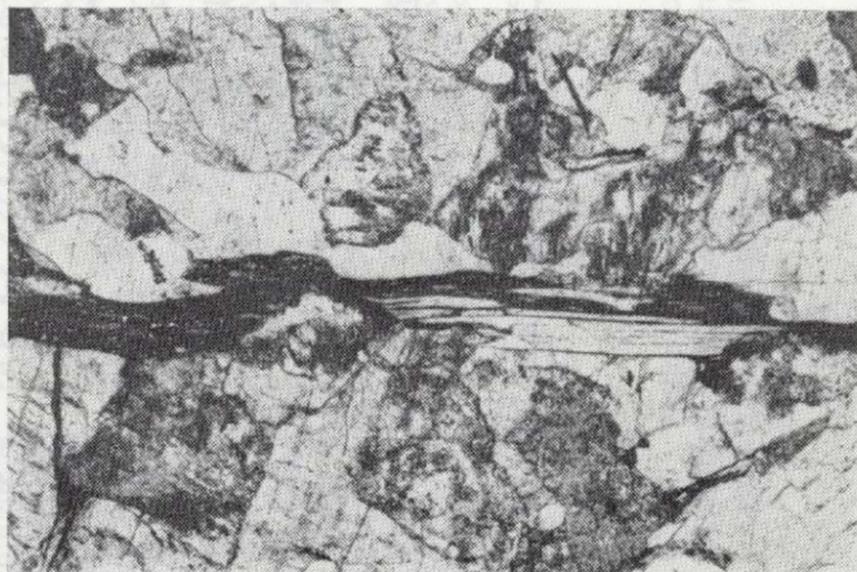


Figura 5.—Fotomicrografía correspondiente a los esquistos moscovíticos intercalados entre la «Formación Congostrina» (Gneis Antoñita).



Figura 3.—Aspecto de uno de los filones aflorantes, correspondientes a la zona de Congostrina.

A escala mesoscópica las muestras tomadas presentan estructuras características de brechas filonianas, que engloban pequeños fragmentos de la roca encajante (fig. 4), y pequeñas estructuras de filones paralelos de aproximadamente 1 cm. de espesor.

En resumen, se puede decir que la morfología y disposición de la mineralización refleja una actividad hidrotermal tardía, siguiendo fracturas tardihercínicas.

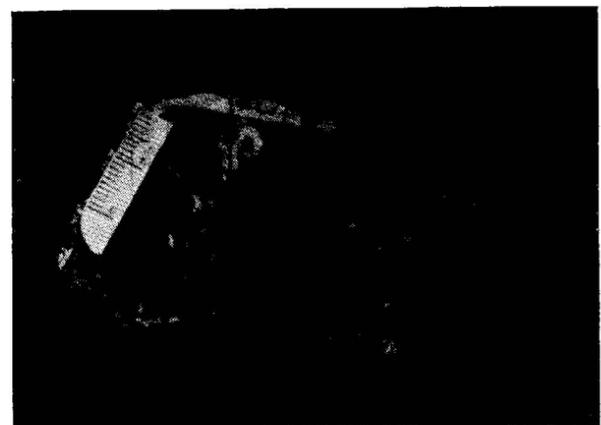


Figura 4.—Brecha filoniana de la mineralización de Congostrina.

## EL MEDIO ENCAJANTE

Las formaciones que constituyen el ámbito encajante de la mineralización de Congostrina son los gneises denominados por SHAFFER (1969) «Antoñita gneis» o formación «Congostrina» (NAVIDAD, 1975). Asimismo, aparecen otros materiales intercalados entre la formación gneílica que son fundamentalmente niveles de esquistos. A grandes rasgos se distinguen tres tipos distintos de materiales, gneises micáceos, esquistos moscovíticos y moscovítico-biotíticos.

### Gneises micáceos

Constituyen la base de todo el complejo gneíco correspondiente al macizo de Hiendelaencina. Están constituidos por cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa como fenocristales, y moscovita y biotita como constituyentes de la foliación. Esporádicamente se observan granos irregulares de clorita asociados siempre a opacos.

Las plagioclasas presentan una alteración sericítica incipiente y sus maclas aparecen fundamentalmente deformadas.

### Esquistos moscovíticos

Aparecen como niveles lenticulares intercalados entre los gneises (fig. 5). Están constituidos por cuarzo y plagioclasa intensamente alteradas

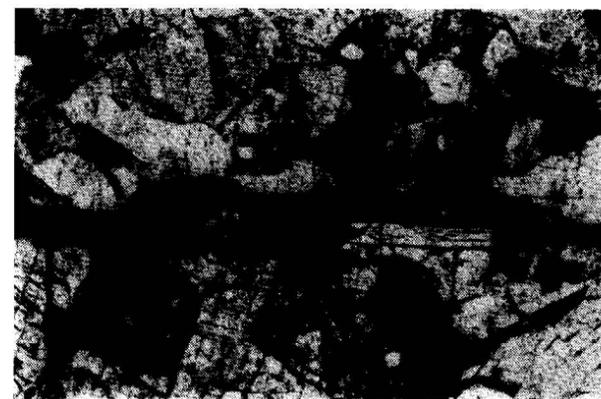


Figura 5.—Fotomicrografía correspondiente a los esquistos moscovíticos intercalados entre la «Formación Congostrina» (Gneis Antoñita).

a sericita como fenocristales y moscovita, en cristales tabulares alargados, como constituyente principal de la esquistosidad.

Son frecuentes las impregnaciones de sulfuros que se presentan sobre todo asociadas a la moscovita.

### Esquistos moscovítico-biotíticos

Aparecen también como lenticiones intercalados entre la formación gneílica. En algunas ocasiones se observan grandes cristales de microclima, junto con el cuarzo y las plagioclasas como fenocristales, sin alteración sericítica evidente. Como accesorios, aparecen granates esqueléticos y clorita asociada siempre a opacos.

## CARACTERÍSTICAS MINERALOGICAS

La mineralización de Congostrina posee un especial interés, tanto desde el punto de vista mineralógico como textural. La aparición de fases minerales complejas, como veremos más adelante, y la amplia variedad de texturas que aparecen, hacen de ella una zona en la cual existe una gran cantidad de información adicional, que se complementa, con los datos obtenidos, en los otros dos sectores argentíferos.

### Minerales metálicos

La paragénesis del yacimiento de Congostrina está constituida por los siguientes minerales:

- Minerales hipogénicos: Calcopirita, galena, pirita, freibergita, arsenopirita, esfalerita, aramayoita y sakharovaita.
- Minerales supergénicos: Goethita, hematites.

#### A) Minerales hipogénicos

##### *Arsenopirita*

Los cristales de arsenopirita aparecen siempre asociados al cuarzo. Se presentan como agregados de cristales idiomorfos, a veces de muy pequeño tamaño, y no parecen estar relacionados con la pirita (fig. 6 A).

##### *Galena*

La galena es un mineral poco abundante en esta zona. Aparece rellenando huecos y es especialmente importante, puesto que a ella se asocian los minerales argentíferos, aramayoita, freibergita y sakharovaita.

##### *Calcopirita*

Junto con la esfalerita es el mineral más abundante de la paragénesis.

Se presenta en cristales subidiomorfos, generalmente de gran tamaño, con exsoluciones de esfalerita y como desmezcla sobre freibergita.

Suele aparecer maclada y parcialmente pseudomorfizada por goethita.

##### *Esfalerita*

La esfalerita se presenta o bien masiva o asociada a esfalerita como exsolución sobre la calcopirita. Los cuerpos de desmezcla poseen un hábito variable, apareciendo tanto gotas, como cristales subidiomorfos

Muy aisladamente se presentan en forma de granos subidiomorfos de pequeño tamaño, no relacionados con procesos de desmezcla.

##### *Pirita*

La pirita es muy escasa. Se encuentra en forma de cristales alotriomorfos incluidos en la ganga, y claramente tardía rellenando grietas en la calcopirita. La goethita la sustituye parcialmente.

##### *Freibergita*

Es el principal mineral de plata de la paragénesis. Se presenta de tres formas distintas (figuras 6 B, C y D), como cristales subidiomorfos de gran tamaño asociados a calcopirita, galena y esfalerita, aislada como exsolución sobre galena (fig. 6 E) y asociada en textura zonal a sakharovaita (fig. 6 F). En el primer caso suele presentar exsoluciones aisladas de calcopirita.

##### *Aramayoita*

Es muy poco frecuente. Únicamente se presenta en forma de cuerpos de desmezcla irregulares sobre la galena.

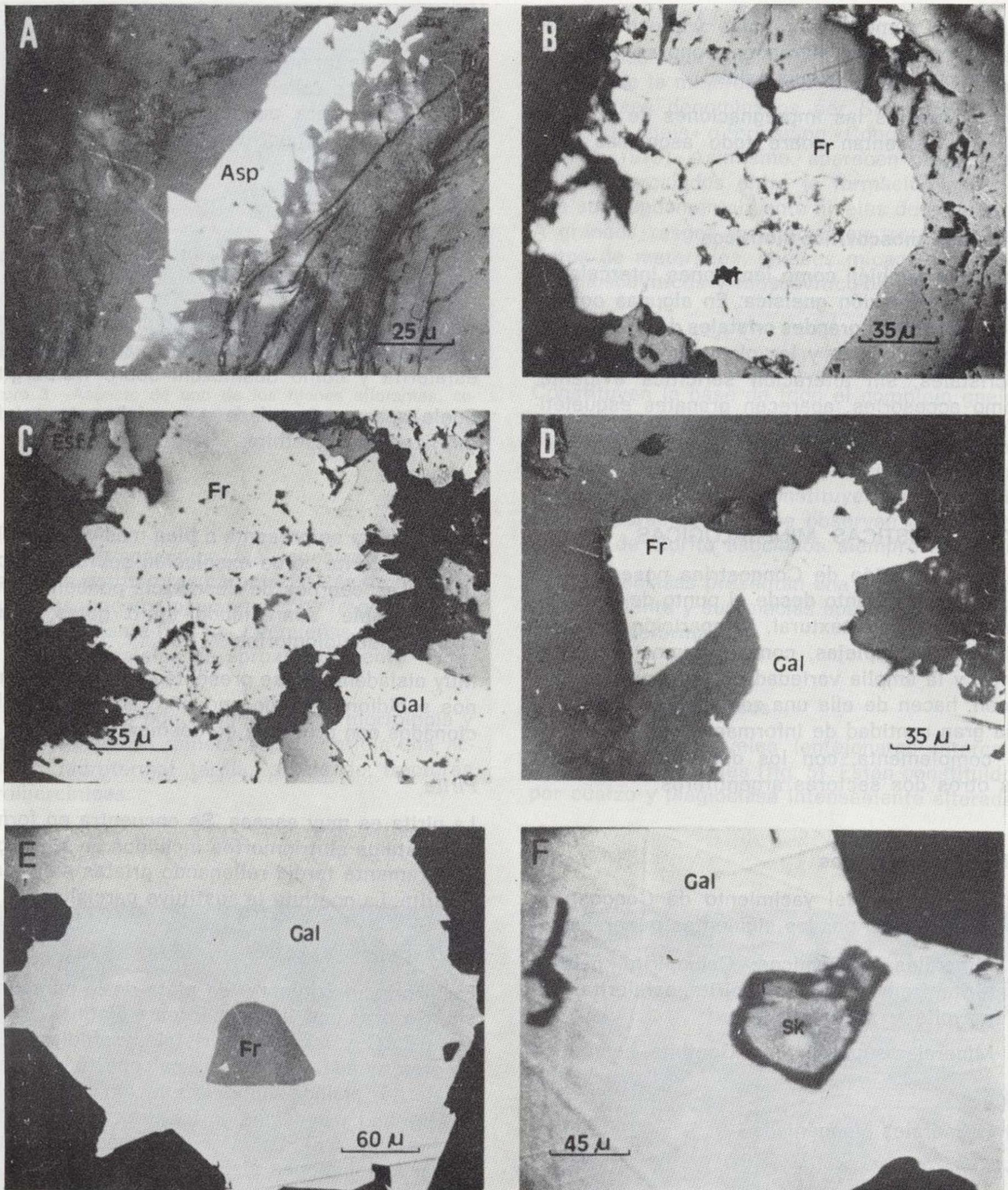


Figura 6

- A) Agregado de cristales idiomorfos de arsenopirita (ASP) incluidos en la ganga. L.R.  
 B) Freibergita (Fr) relleno de un hueco en la esfalerita (gris oscuro). L.R.  
 C) Asociación freibergita (Fr) - galena (Gal). L.R.  
 D) Grano subidiomorfo de freibergita (Fr) marcando una zona de borde de grano de la galena (Gal). L.R.  
 E) Exsolución de freibergita (Fr) sobre galena (Gal). Microsonda electrónica.  
 F) Grano zonado de sakharovaita - freibergita como productos de desmezcla en galena (Gal). Microsonda electrónica.

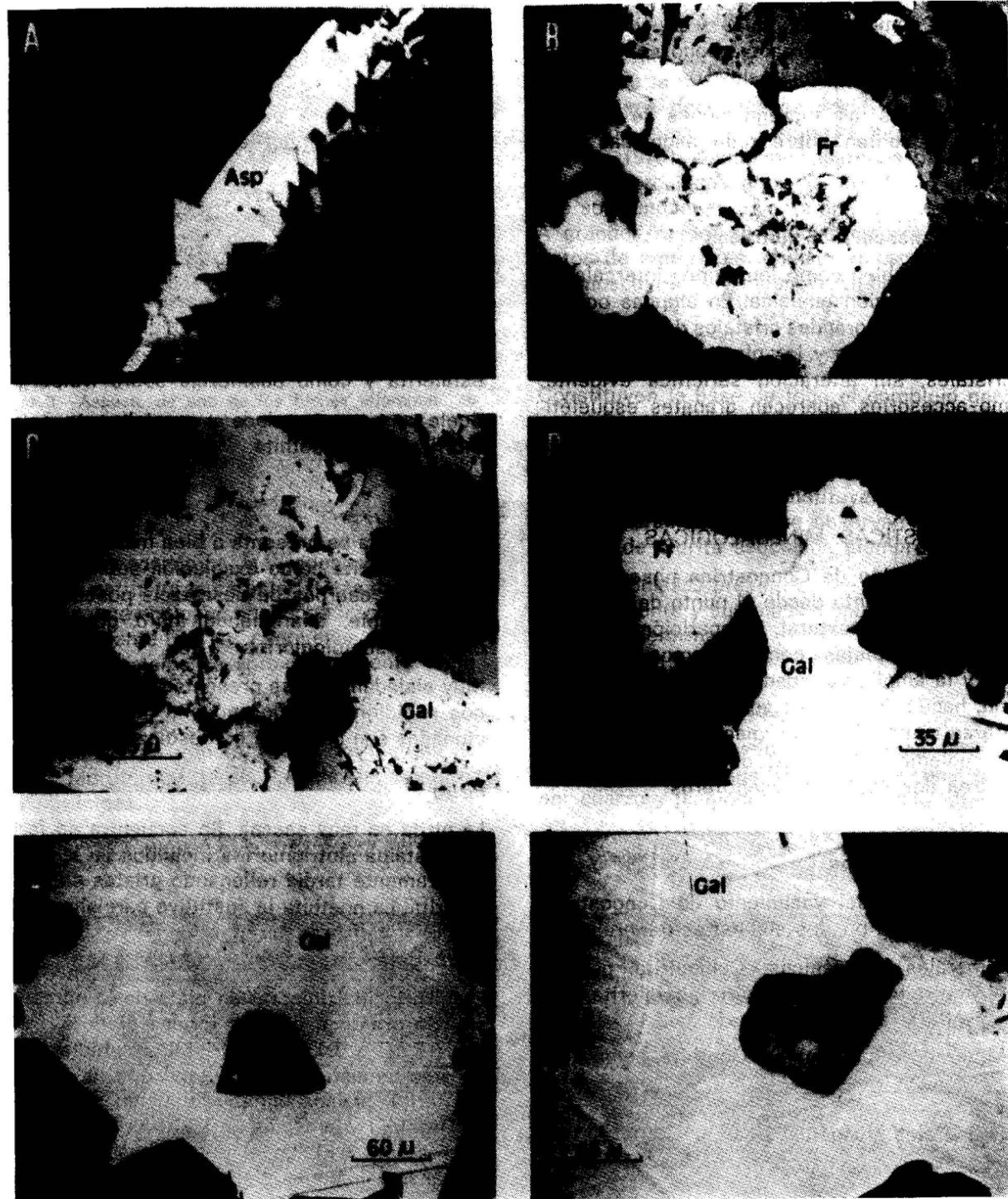


Figura 6

- A) Agregado de cristales idiomorfos de arsenopirita (ASP) incluidos en la ganga. L.R.
- B) Freibergita (Fr) rellenando un hueco en la esfalerita (gris oscuro). L.R.
- C) Asociación freibergita (Fr) - galena (Gal). L.R.
- D) Grano subidiomorfo de freibergita (Fr) marcando una zona de borde de grano de la galena (Gal). L.R.
- E) Exsolución de freibergita (Fr) sobre galena (Gal). Microsonda electrónica.
- F) Grano zonado de sakharovaita - freibergita como productos de desmezcla en galena (Gal). Microsonda electrónica.

**Sakharovaita**

Aparece siempre como exsoluciones aisladas sobre la galena rodeada por una película de material freibergítico en textura zonal (fig. 6 F).

**B) Minerales supergénicos**

Como minerales supergénicos aparecen únicamente: malaquita, goethita y hematites.

La goethita y la malaquita son los más frecuen-

tes y pseudomorfizan parcialmente a la calcopirita y esfalerita.

**Análisis químico-mineralógico**

En esta zona se realizaron análisis químico-mineralógicos mediante microsonda electrónica, distribuidos en los siguientes minerales (tabla I):

- freibergita
- aramayoita
- galena
- esfalerita
- arsenopirita
- calcopirita
- sakharovaita

**TABLA I**

**Porcentajes en peso**

FREIBERGITA										
	Fe	Co	Ni	CU	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	4.14	0.09	0.11	19.34	3.97	0.29	27.57	23.19	21.29	99.99
2	5.03	0.10	—	20.36	3.65	0.78	26.77	22.07	21.23	99.99
3	5.23	0.03	—	17.68	0.64	0.46	27.22	27.75	20.95	99.96
4	5.13	—	0.07	13.81	0.42	—	27.34	34.18	19.02	99.97
5	5.37	—	0.76	13.82	0.20	0.19	26.81	33.40	19.42	99.97
6	5.64	0.03	—	13.64	0.19	0.38	27.51	33.36	19.41	100.16

ARSENOPIRITA										
	Fe	Co	Ni	CU	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	35.41	—	—	0.10	0.03	38.34	3.40	0.37	22.23	99.88
2	34.84	0.09	—	—	0.09	40.54	1.82	0.30	32.18	99.83
3	34.95	—	0.13	0.06	—	39.91	3.06	0.19	21.74	100.04
4	34.96	0.31	0.05	0.02	—	40.06	3.14	—	22.08	100.62
5	35.17	0.02	—	0.31	0.17	38.33	3.54	0.33	22.53	100.40

CALCOPIRITA										
	Fe	Co	Ni	CU	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	30.44	0.05	—	35.20	—	—	—	—	34.29	99.98
2	30.17	0.05	—	34.86	0.31	0.03	—	—	34.54	99.96

ESFALERITA										
	Fe	Co	Ni	CU	Zn	As	Sb	Ag	S	Total
1	5.99	0.44	0.06	1.71	59.20	0.08	—	0.09	33.73	100.89

GALENA						ARAMAYOITA							
	Ag	Sb	Pb	Bi	S	Total		Ag	Sb	Pb	Bi	S	Total
1	—	0.24	86.95	—	12.80	99.99	1	32.96	24.48	2.78	19.97	19.78	99.97
2	—	0.25	86.22	—	13.52	99.99	2	33.78	24.61	2.01	22.10	17.46	99.96
3	—	—	86.65	0.08	13.26	99.99							

SAKHAROVAITA						
	Ag	Sb	Pb	Bi	S	Total
1	10.44	21.96	25.64	24.62	17.31	99.97

## A) Sulfuros

## S - Pb

## Galena

Los resultados obtenidos concuerdan perfectamente con la fórmula ideal.

## S - Cu - Fe

## Calcopirita

En Congostrina los contenidos en Cu y Fe de las calcopiritas son elevados (máximos atómicos de 25,5% y 25,12%, respectivamente).

## S - Zn - Fe

## Esfalerita

En esta zona el único análisis realizado refleja un contenido en Fe muy bajo, 5,99%, sobresaliendo, por el contrario, valores minoritarios relativamente elevados de Cu, 1,71.

## S - As - Fe

## Arsenopirita

Es un mineral muy frecuente en Congostrina. Los resultados analíticos indican que no existen variación de contenidos en relación con el tamaño de los cristales.

Destacan especialmente los altos contenidos en Sb, hasta 3,54%, así como importantes valores de Ag (0,37%). También existen pequeñas proporciones de Co, Zn y Cu (máximos de 0,31%, 0,17% y 0,31%, respectivamente).

## B) Sulfosales

## S - Ag - Sb - Cu

## Freibergita

En esta zona todos los datos analíticos reflejan valores atómicos relativamente elevados de Cu, 43,022%, y muy bajos de plata, 27,466%.

Los contenidos en elementos menores dan valores de As que oscilan entre 0,29% y 0,78%. Los altos contenidos en Fe serán tratados dentro del sistema S-Ag-Sb-Cu-Fe.

## S - Ag - Sb - Bi

Congostrina es la única zona donde se han encontrado sulfoantimoniuros de este tipo.

## Aramayoita

Los dos únicos análisis obtenidos reflejan una composición prácticamente pura, sin contenidos apreciables en elementos menores. Se adaptan casi a la perfección a la fórmula ideal, con un valor máximo en plata del 33,78%.

## S - Sb - Fe - (Ag + Cu)

Este sistema se considera una prolongación de S-Ag-Sb-Cu, siendo posiblemente términos freibergíticos con una cierta cantidad de Fe en su composición.

Únicamente se han encontrado freibergitas ricas en Fe en esta zona, con valores máximos atómicos de Fe del 11,890%.

La plata y el cobre presentan una gran variación, existiendo una relación de contenidos inversa entre ambos. La plata oscila entre un 27,74% y un 33,63% y el cobre entre un 13,05% y 17,72%.

En cuanto a los elementos menores, son de destacar los altos valores en Zn y As (máximos de 0,65% y 0,47%, respectivamente).

## S - Ag - Pb - (Sb + Bi)

Al igual que el anterior sistema, sólo se ha reconocido en esta zona argentífera.

La única fase mineral de composición similar a la que podría corresponder es la sakharovaita.

Los resultados analíticos reflejan la existencia de un 10,46% de Ag, probablemente como impureza, y una disminución en los contenidos de Pb y Bi en relación con la fórmula ideal.

La impureza de Ag podría indicar una sustitución parcial en la cual este elemento entraría a formar parte de la sakharovaita en los lugares atómicos correspondientes al Pb y al Bi.

## Caracteres texturales

En los minerales que aparecen en la zona de

Congostrina pueden definirse los siguientes tipos texturales:

- 1) Texturas de exsolución.
- 2) Zonados
- 3) Maclas

## Texturas de exsolución

Dentro de este grupo se pueden distinguir las siguientes asociaciones mineralógicas:

Huésped	Patrón
Aramayoita	galena
sakharovaita-freibergita	galena
freibergita	galena
esfalerita	calcopirita
calcopirita	freibergita

Todos los cuerpos huéspedes son generalmente irregulares, excepto en la asociación sakharovaita-freibergita-galena, en la cual, como veremos más adelante, los cuerpos de desmezcla son idiomorfos, dando lugar a una textura de carácter zonal.

## Zonados

Es frecuente la aparición de granos zonados (figura 6 F) como cuerpos huéspedes sobre la galena, en los que se pueden diferenciar:

- Un núcleo de sakharovaita.
- Una zona de borde de freibergita.

Esta zonación es muy importante, puesto que nos permite establecer la secuencia de cristalización que tuvo lugar como consecuencia del proceso de desmezcla: primeramente se exsuelve el Pb, el Bi y parte de Ag (formación de sakharovaita), y en segundo término se separan el Cu, Sb y Ag (formación de freibergita). Este proceso es muy frecuente en la mineralización de Congostrina.

## Maclas

El único mineral que aparece maclado es la calcopirita, presentando las típicas maclas polisintéticas.

## Geotermometría

Se han reconocido las siguientes temperaturas que se detallan en la tabla II.

TABLA II

Temperaturas de desmezcla correspondientes a las fases minerales utilizadas como geotermómetros

Fase mineral	Temperatura	Autor
Ag (Bi, Sb)S <sub>2</sub> + Ag (Sb, Bi)S <sub>2</sub> Aramayoita (*)	380° C (M.E.T.)	CHEN Y CHAN (1971)
Freibergita	280°-300° C	SAWKINS (1974)
Esfalerita-calcopirita	500 ± 1° C	MOH (1975 A)

(\*) La temperatura correspondiente a la aramayoita se refiere al máximo de estabilidad térmica, a diferencia de la temperatura de la asociación esfalerita-calcopirita, que corresponde al rango térmico de desmezcla.

La estabilidad aproximada de la freibergita se ha tomado del estudio realizado por SAWKINS (1974), mediante inclusiones fluidas en el yacimiento de Casapalca, Perú. A partir de este estudio diferenció tres etapas metalogénicas, correspondiendo la freibergita a la tercera de menor temperatura.

SAWKINS indica que las temperaturas de formación de minerales durante los tres estadios oscilan entre 370° y 280° C.

## Minerales de la ganga

Los minerales de la ganga que acompañan a la mineralización de Congostrina son: cuarzo y baritina. El cuarzo se presenta casi siempre en forma masiva, aunque en algunas ocasiones se observan cristales bien desarrollados dando lugar a texturas en peine. La baritina es mucho más escasa y generalmente aparece sin hábito definido.

## Paragénesis y sucesión mineral

La paragénesis de Congostrina corresponde al tipo q Ba (Pb-Ag-Sb).

Según se ha indicado en el esquema de paragénesis y sucesión mineral (fig. 7), se han reconocido tres etapas metalogénicas, una primera de As-Fe de más alta temperatura, una etapa intermedia de Cu-Zn-Fe, y finalmente una etapa de Pb-Ag-Sb-Bi de temperatura más baja.

El primer mineral en depositarse fue la arsenopirita. La freibergita marca la transición entre la etapa Cu-Zn-Fe y la Pb-Ag-Sb-Bi.

En la última etapa metalogénica el principal mineral es la galena. Simultáneamente a éste, se producen las desmezclas de minerales de plata (freibergita, aramayoita y sakharovaita).

También se reconoce una pirita tardía, alterada parcialmente por goethita.

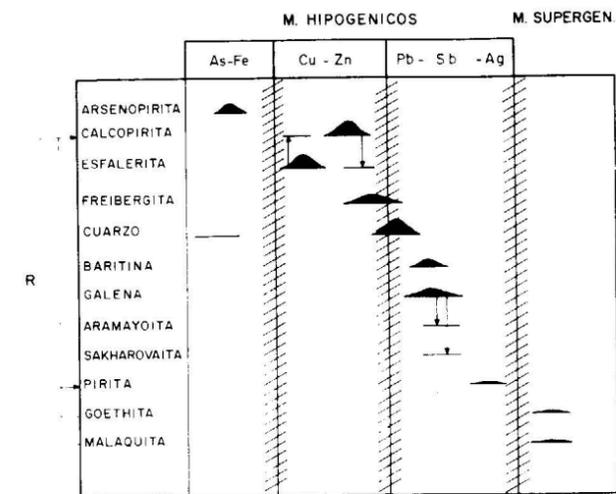


Figura 7.—Esquema de paragénesis y sucesión mineral de la zona de Congostrina.

- El espesor del trazo es aproximadamente proporcional a la abundancia del mineral en el yacimiento.
- Las flechas verticales indican procesos de exsolución.
- R=reemplazamientos.

## CONCLUSIONES

Los filones de Congostrina se consideran, al igual que los de Hiendelaencina y La Bodega, de tipo hidrotermal, de edad tardihercínica, con predominio de la etapa metalogénica rica en Cu, Zn, de temperatura intermedia.

Las texturas que presentan los sulfuros y sulfosales indican que el enfriamiento se produjo rápidamente, como se desprende de la escasa aparición de cuerpos de desmezcla y de su irregularidad morfológica. La presencia de cuerpos huéspedes zonados de freibergita-sakharovaita sobre la galena plantea, sin embargo, un decrecimiento de la velocidad de enfriamiento en la etapa metalogénica de menor temperatura.

Se considera, por tanto, que la mineralización de Congostrina se formó como consecuencia de una actividad fundamentalmente mesotermal y una epitermal poco desarrollada.

## BIBLIOGRAFIA

CHEN, T. T., y CHENG, L. L. (1971): *Phases relations in the systems  $Ag_2S - Bi_2S_3 - Sb_2S_3$  and  $Cu_2S - Bi_2S_3 - Sb_2S_3$*  (abst.). Geol. Soc. Abs., Prog. Abst., 3524 pp.

MOH (1975a): En BARNES, H. L. (ed.) (1979): *Geochemistry of hydro thermal ore deposits*. 2nd. ed. John Wiley. New York.

NAVIDAD, M. (1975): *Caracterización petrológica de los gneises glandulares del macizo de Hiendelaencina (Guadarrama Oriental)* Est. Geol., vol. XXXI, pp. 343-350.

SAWKINS (1974), en HACKBARTH y PETERSON (1984): *A fractional crystallization model for the deposition of argentian tetraedrite*. Ec. Geol., vol. 79, pp. 448-460.

SHAFFER, G. (1969): *Geologie und Petrographie in ostlichen kastilischen Hantscheidegebirge (Sierra de Guadarrama, Spain)*. Munster Forsch. Geol. Palont., 10, 207 pp.

Original recibido: Febrero de 1988.

Original aceptado: Noviembre de 1988.

# Texturas de reemplazamiento y relleno en el yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo, España).

Por D. ARIAS PRIETO (\*), L. FERNANDEZ-JARDON CASTRO (\*\*\*) y F. L. PEREZ CERDAN (\*)

## RESUMEN

La Mina de Rubiales se localiza en el sureste de la provincia de Lugo (NO de España), siendo una de las principales productoras de zinc y plomo del país. El depósito fue descubierto por la compañía EXMINESA a finales de la década de los sesenta, obteniéndose los primeros concentrados en el año 1977.

El yacimiento se encuentra emplazado en la Serie de Transición, del Cámbrico Inferior, habiéndose desarrollado en la intersección de una zona de cizalla de  $F_2$  con un sistema de fallas normales longitudinales, correspondientes a la interfase  $F_2-F_3$ .

En la génesis del depósito, los procesos de reemplazamiento han sido los principales responsables, tanto de la alteración hidrotermal, como del depósito de los sulfuros, pudiendo verse cómo el 90 por 100 del zinc y el 75 por 100 del plomo aparecen en los jasperoides. Como texturas que denotan este fenómeno, se pueden observar: frentes de silicificación, microtexturas «en espiga», parches de blenda, frentes de mineralización, islas y cristales esqueléticos de ankerita y albita y reemplazamientos de ankerita por galena a lo largo de sus planos de exfoliación.

El relleno de espacios abiertos también se manifiesta con carácter local en Rubiales, restringiéndose casi exclusivamente a las pizarras, cuarcitas y dolomías, pudiendo verse: venas o filoncillos de sulfuros siguiendo superficies de estratificación y/o esquistosidad, brechas con sulfuros entre los cantos brechoides, sulfuros en superficies de fractura y rellenos en «saddle reef».

Palabras clave: Yacimiento plomo zinc, Silicificación, Textura, Control litológico, Control tectónico, Cámbrico Inferior, Rubiales (Provincia Lugo).

## ABSTRACT

The RUBIALES MINE, sited in the SE of Lugo Province (NW Spain), is one of the main Spanish zinc and lead producers. EXMINESA discovered the Rubiales orebody by the end of the sixties and produced its first lead and zinc concentrates in June, 1977.

The orebody is located in the Lower Cambrian Transition Series. It developed in the intersection of an  $F_2$  shear zone with a longitudinal fault system belonging to interphases  $F_2-F_3$ .

The replacement processes have been the main cause of the genesis of the deposit, both hydrothermal alteration and the deposits of sulphides. It can be observed that 90 per 100 of the zinc and 75 per 100 of the lead occur within the jasperoids. The textures that indicate this phenomenon are: fronts of silicification, «spike» shape microtextures, sphalerite patches, fronts of mineralization, ankerite and albite islands and skeletal crystals, and, finally, replacements of ankerite by galena along its exfoliation planes.

The filling of the open spaces is also manifest at Rubiales, with local character and is almost exclusive to the slates, quartzites and dolomies. It is possible to observe big and small veins of sulphides following the stratification and/or schistosity surfaces, breccia with sulphides inside the fragmentals, sulphides in fracture surfaces and filled in «saddle reef».

Key words: Lead zinc deposits, Silicification, Textures, Lithologic controls, Structural controls, Lower Cambrian, Rubiales (Lugo province).

(\*) Instituto Tecnológico GeoMinero de España. Ríos Rosas, 23 - 28003 Madrid.

(\*\*\*) EXMINESA. Mina de Rubiales. 27670 Piedrafita del Cebero (Lugo).

## I. INTRODUCCION

El yacimiento de Rubiales se encuentra situado en el noroeste de la Península Ibérica, al sureste de la provincia de Lugo, en las inmediaciones de la localidad de Rubiales que le da nombre.

El depósito fue descubierto por la compañía Ex-minesa a finales de la década de los sesenta, obteniéndose los primeros concentrados en el año 1977.

De acuerdo con la división de la Cadena hercínica en la Península Ibérica establecida por JULIVERT et al. (1972), basada en la división de LOTZE (1945), el yacimiento se localiza en la zona Asturoccidental-leonesa, y dentro de ella, el Dominio del Manto de Mondoñedo, de acuerdo con la división de MARCOS (1973) (fig. 1).

## II. GEOLOGIA DEL DEPOSITO

El yacimiento se encuentra emplazado en la Serie de Transición de edad Cámbrico Inferior,

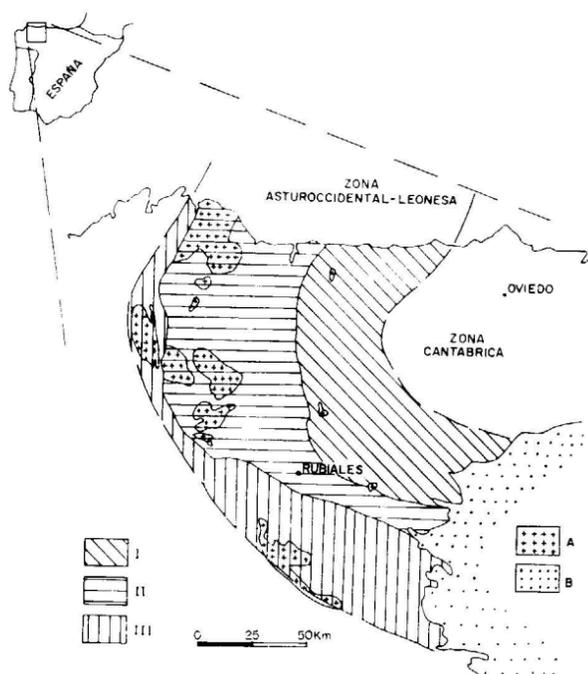


Figura 1.—Situación geográfica y marco geológico del yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo, España). Dominios de la Zona Asturoccidental-leonesa según MARCOS (1973): I. Dominio del Navia y alto Sil; II. Dominio del manto de Mondoñedo; III. Dominio de la Sierra del Caurel-Truchas. A, rocas graníticas. B, Terciario.

que en el área de la mina se presenta como una potente unidad con 810 m. de espesor que puede dividirse en tres miembros con características litológicas claramente diferenciables: un miembro inferior pizarroso, un miembro medio calcáreo-pizarroso y un miembro superior calcáreo-dolomítico.

a) Transición inferior (300 m). Está constituido predominantemente por pizarras verde oscuro, generalmente arenosas, con escasas intercalaciones de cuarcitas y calizas en bancos decimétricos a métricos.

b) Transición medio (385 m.). Está formado por bancos métricos a decamétricos de calizas azules, alternando con pizarras verdes.

c) Transición superior (125 m.). Está constituido por calizas azules, dolomías primarias grises a cremas y pizarras dolomíticas verde claro, con algunas intercalaciones cuarcíticas.

A muro de la Serie de Transición aparece la Serie de Cándana (Cámbrico Inferior), mientras que a techo tenemos la Caliza de Vegadeo (Cámbrico Inferior-Medio).

Desde un punto de vista megascópico el yacimiento aparece como una mesa lenticular dispuesta verticalmente, con unas dimensiones aproximadas de 1.200 m. N-S, por 600 m. en vertical y 30 m. de potencia media, siendo su dirección N 29° O. En conjunto la mineralización aparece inclinada unos 10° al sur siguiendo el «plunge» de los pliegues (fig. 2).

Esta gran lente mineralizada está cortada transversalmente por el sistema de fallas radiales al arco asturiano, desarrolladas durante los últimos episodios hercínicos.

El depósito es el resultado de la conjunción de dos factores que controlan la precipitación de los sulfuros y de la ganga cuarzo-anquerítica que los acompaña:

a) Control estructural.—El yacimiento se desarrolla en la intersección de una zona de cizalla de fase 2 con un sistema de fallas normales longitudinales desarrolladas en la interfase F<sub>2</sub>-F<sub>3</sub>. Esto viene puesto de manifiesto por la existencia de dos ejes que se corresponden con las zonas de mayores potencias y leyes del depósito; el primer eje corresponde a la intersección de la falla «G» con la superficie del cabalgamiento del «ZW», es el más importante,

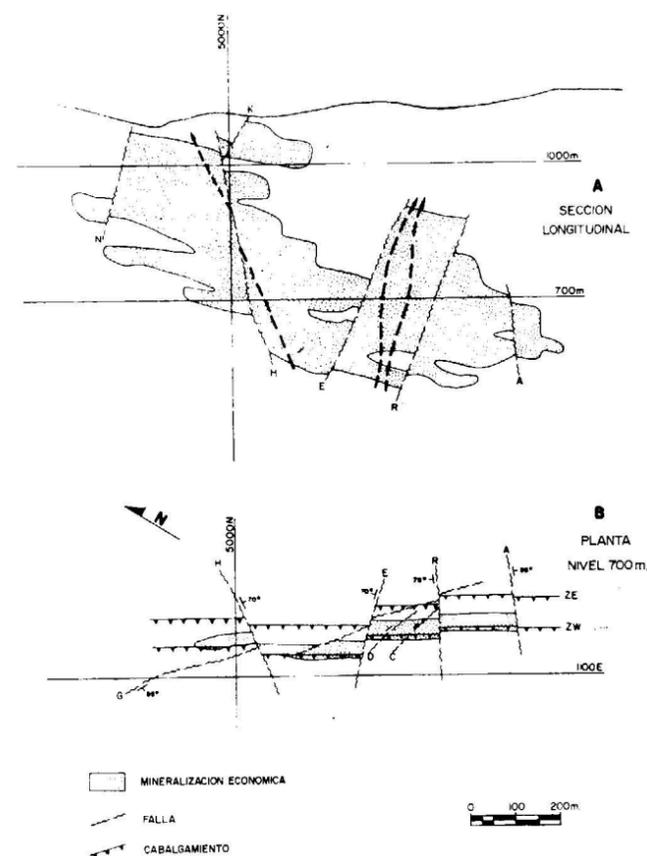


Figura 2.—Yacimiento de Rubiales en sección longitudinal (A) y en planta a la cota 700 m. (B).

alcanzando en su entorno potencias de 30-40 m. y leyes medias superiores al 3 por 100 Pb y 15 por 100 Zn; el segundo eje se sitúa en la confluencia de las fallas «D» y «C» con el «ZW», presentando en esta zona la mineralización potencias de 40-50 m. y leyes superiores al 1 por 100 Pb y 11 por 100 Zn. Estos dos ejes constituirían los canales principales por los cuales ascendieron las soluciones mineralizantes y se depositaron los sulfuros; a partir de los mismos, los fluidos se distribuyeron en dirección N-S siguiendo el plunge de los pliegues, dentro de los límites de la zona de cizalla preexistente, zona que presentaría unas condiciones de porosidad y permeabilidad favorables a la circulación y depósito de los metales.

Como controles estructurales secundarios que han favorecido el proceso de infiltración y depósito de los sulfuros tenemos:

- a.1.) Superficies de estratificación (S<sub>0</sub>).
- a.2.) Superficies de esquistosidad (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>).
- a.3.) Lineaciones de intersección estratificación-esquistosidad.
- a.4.) Grietas de tensión escalonadas F<sub>2</sub>.
- a.5.) Zonas brechificadas asociadas a las superficies de cabalgamiento del «ZW» y a las fallas longitudinales «G», «D» y «C».
- a.6.) Fallas inversas de flanco F<sub>3</sub>.
- a.7.) Cuellos de «boundins» subverticales y subhorizontales de F<sub>3</sub>.

b) Control litológico.—La petrografía de la Serie de Transición ha sido el segundo factor determinante en el desarrollo del yacimiento de Rubiales. La existencia de niveles calcáreos, permeables y reactivos con los fluidos mineralizantes, situados entre niveles pizarrosos impermeables y estables, condicionaron la morfología y volumen del depósito. Así, puede verse cómo el 90 por 100 del zinc y el 75 por 100 del plomo aparecen en los jasperoides, originados a partir de la alteración hidrotermal de las calizas, distribuyéndose el 10 por 100 del Zn y 25 por 100 del Pb restantes en las pizarras, cuarcitas y dolomías.

El yacimiento presenta una mineralogía muy sencilla, apareciendo constituido esencialmente por blenda y galena, con pirita, calcopirita y pirrotina como accesorios. En cuanto a la roca de caja, los estudios petrográficos y geoquímicos ponen de manifiesto la existencia de tres procesos de alteración sucesivos en el tiempo:

a) Sericitización + anqueritización.—En un primer episodio las pizarras sufren un proceso de sericitización que se manifiesta por una disminución modal en el contenido de clorita y la desaparición total de biotita, mientras se produce un aumento relativo en el porcentaje de sericita. Simultáneamente, las calizas sufren un proceso de anqueritización prácticamente total, parcial en zonas de borde, que supone el reemplazamiento de la calcita original por anquerita.

b) Silicificación + sulfuros.—En una segunda etapa tiene lugar la silicificación de las rocas anqueríticas que se habían formado en los primeros estadios a partir de la alteración de las calizas. Este proceso se manifiesta por el reemplazamiento total o parcial de la anquerita por sílice microcristalina, originándose jasperoides. Junto con el proceso de silicificación tiene lugar en Rubiales el depósito de los sulfuros.

c) Cloritización.—En una tercera etapa se produce un proceso de cloritización que se restringe a la base del depósito y a la superficie de fractura de las fallas longitudinales «G», «D» y «C». Se manifiesta esencialmente por una brechificación de las rocas, situándose la clorita como relleno entre los cantos brechoides.

Estas tres etapas de alteración, más el depósito de los sulfuros simultáneamente al proceso de silicificación, marcan el carácter petrogenético del depósito de Rubiales (ARIAS, 1988).

### III. TEXTURAS DE REEMPLAZAMIENTO

En la génesis del yacimiento los procesos de reemplazamiento han sido los principales responsables tanto de la alteración hidrotermal como del depósito de los sulfuros, pudiendo verse

cómo el 90 por 100 del Zn y el 75 por 100 del Pb aparecen en los jasperioides. Como texturas que denotan este fenómeno se pueden observar:

a) Frentes de silicificación.—Aparecen generalmente en los jasperioides oscuros, pudiendo observarse una acumulación de materia carbonosa, en ocasiones con cantidades menores de opacos y sericita, que forman una barrera muy irregular entre una zona constituida esencialmente por cuarzo microcristalino, al que pueden acompañar los sulfuros, y otra zona formada por un mosaico granoblástico equigranular de composición prácticamente monominerálica de anquerita, con materia carbonosa ocupando los huecos intercristalinos (fig. 3).

b) Microtexturas «en espiga».—El reemplazamiento de anquerita por cuarzo suele mostrar, en las zonas en las que la deformación posterior

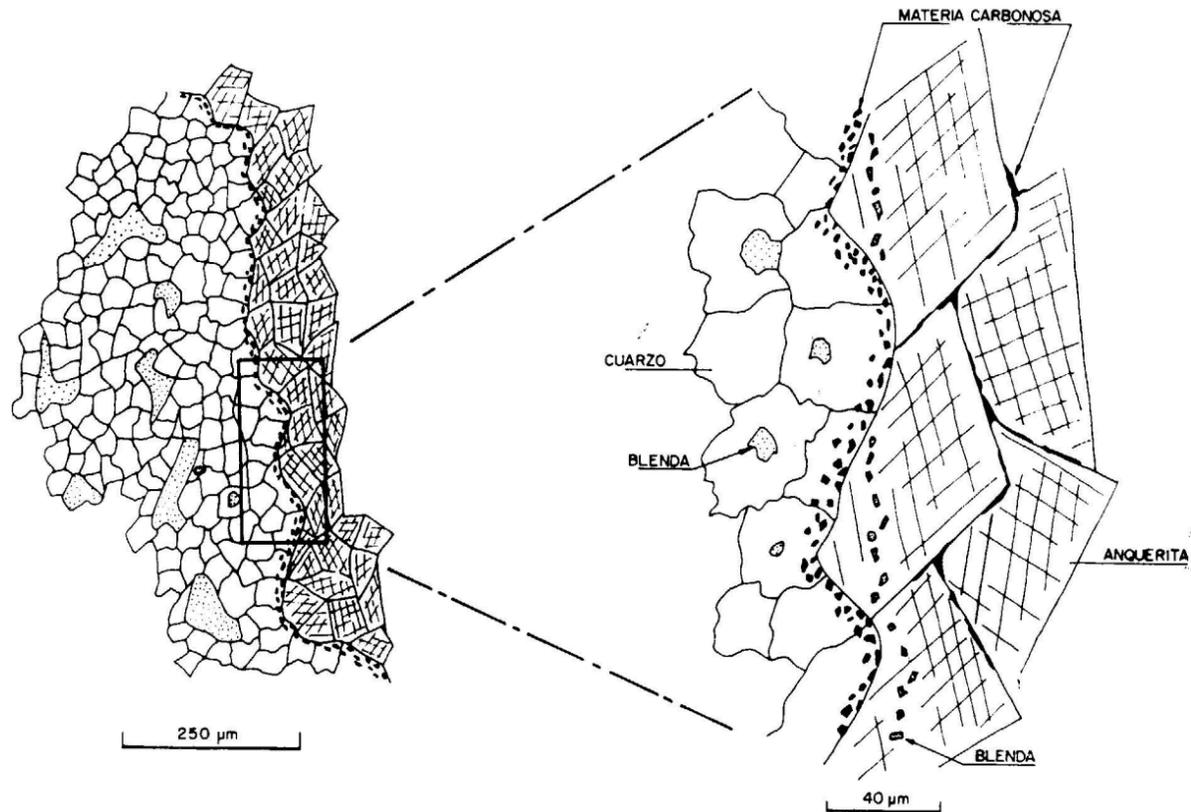


Figura 3.—Frente de silicificación: reemplazamiento de anquerita por cuarzo microcristalino y sulfuros, quedando restos de materia carbonosa irreemplazada en la zona de contacto que se extiende entre la roca ankerítica y el jasperiode.

no ha sido muy intensa, una disposición peculiar, pudiendo verse cómo los cristales de cuarzo crecen con formas alargadas según el eje c y relación paramétrica 3:1, formando un ángulo de 35°-45° con la esquistosidad S<sub>3</sub> (fig. 4).

c) Parches de blenda.—Constituyen el tipo más común de mineralización en los jasperioides. Aparecen formados por cristales individuales o agregados cristalinos con formas irre-

gulares y bordes muy sinuosos, de tamaños milimétricos a decimétricos, repartidos por toda la roca. En ocasiones aparecen con formas elongadas según la dirección de la S<sub>3</sub>, desarrollando colas de presión constituidas esencialmente por cuarzo, al que puede acompañar sericita y anquerita. Estos parches deben corresponder a núcleos de reemplazamiento a partir de los cuales ha progresado la mineralización (fig. 5).

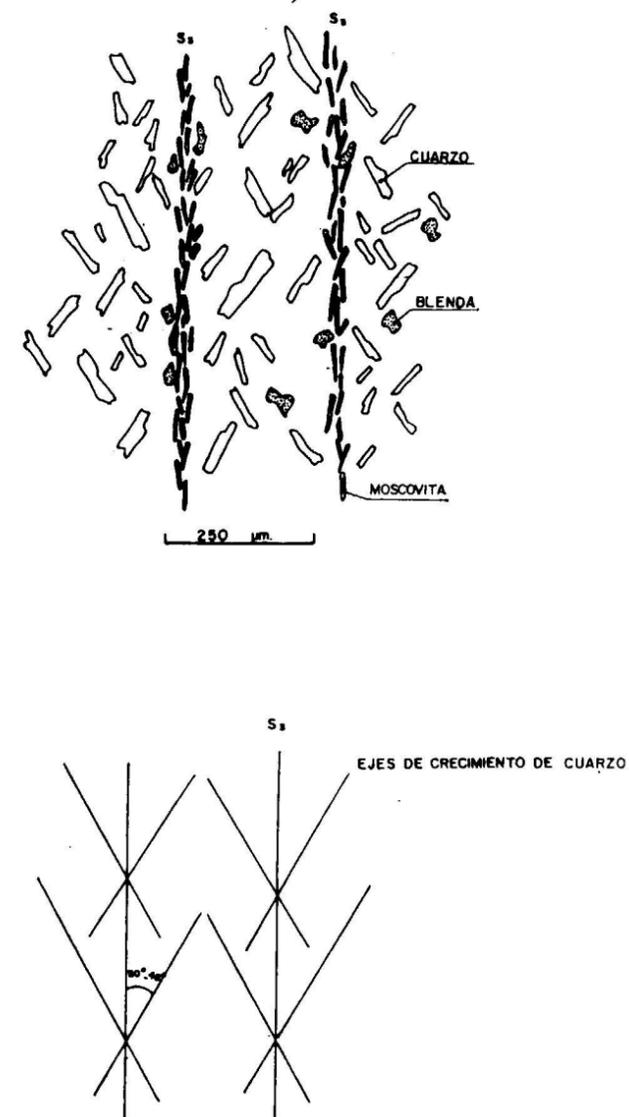


Figura 4.—Microtexturas en espiga: crecimiento de cristales alargados de cuarzo según dos direcciones preferentes que forman ángulos de 60-90°.

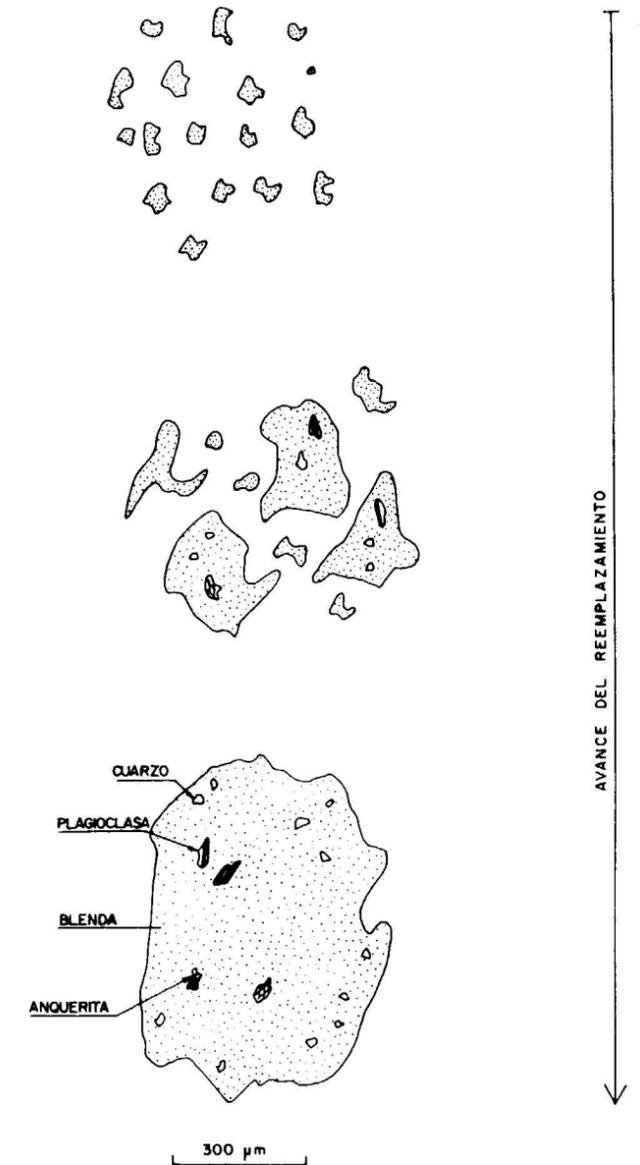


Figura 5.—Parches de blenda: nucleación y desarrollo en los jasperioides de cristales de blenda o agregados cristalinos reemplazando a la anquerita original.

d) Frentes de mineralización.—Corresponden a las zonas de borde de masas o bandas centimétricas de blenda que aparecen en los jasperoides con límites muy irregulares con la roca anquerítica encajante. En estas zonas la anquerita aparece recristalizada y muy limpia formando una corona alrededor de la esfalerita; en el contacto entre la anquerita recristalizada y el resto de la masa anquerítica aparecen frecuentemente finísimas inclusiones constituidas por blenda (fig. 6).

Estos frentes de mineralización pueden estar en contacto con zonas silicificadas que han limitado y detenido su avance, ya que nunca se han observado texturas que denoten el reemplazamiento de blenda por cuarzo.

e) Islas y cristales esqueléticos.—En ocasiones puede verse la existencia de pequeños gra-

nos de anquerita incluidos en cuarzo o blenda que muestran las mismas características ópticas, debiendo corresponder a un único cristal original. Menos frecuentemente pueden verse texturas semejantes en cristales de albita reemplazados por cuarzo, blenda o galena.

f) Reemplazamiento preferente según direcciones cristalográficas.—Se observa frecuentemente cómo la galena aparece reemplazando cristales de anquerita a lo largo de sus planos de exfoliación (fig. 7).

#### IV. TEXTURAS DE RELLENO

El relleno de espacios abiertos también se manifiesta con carácter local en el yacimiento de Rubiales, restringiéndose casi exclusivamente

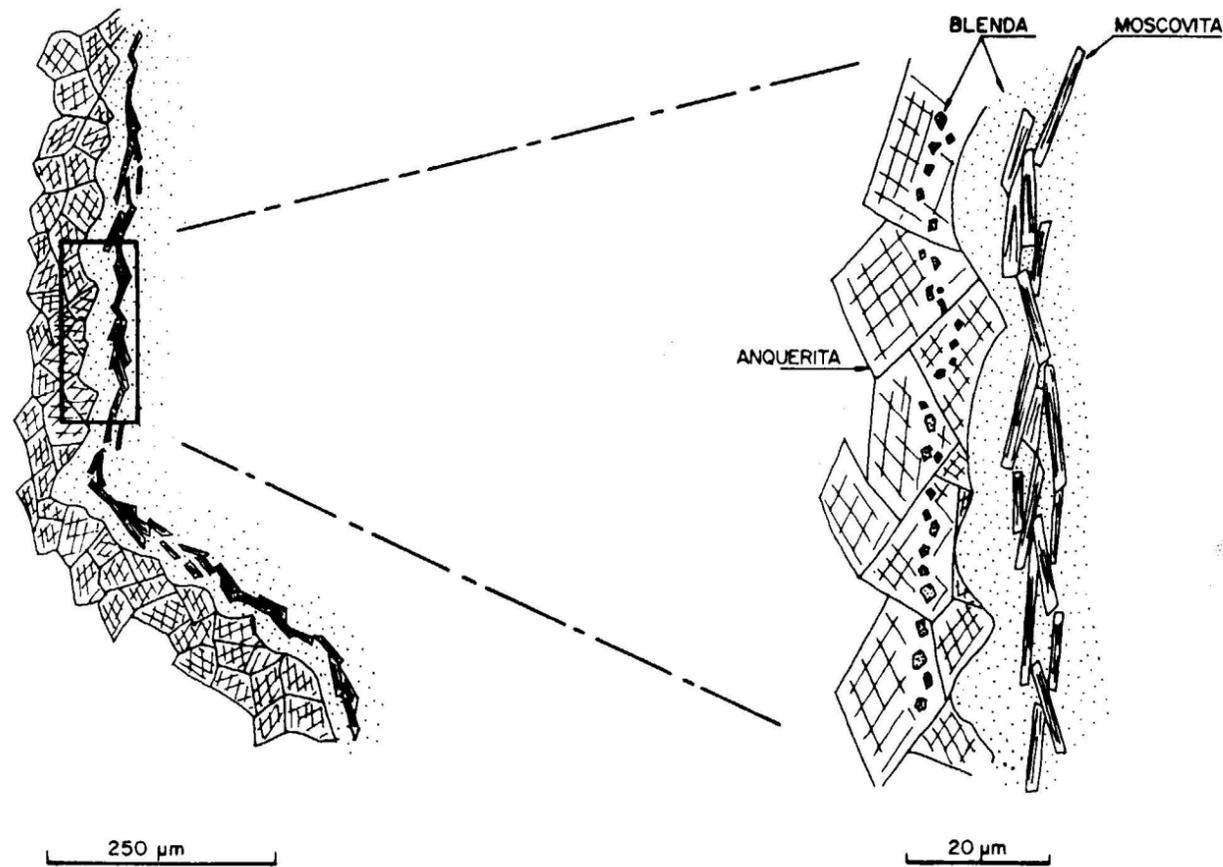


Figura 6.—Frente de mineralización: reemplazamiento de anquerita por blenda según direcciones preferentes.

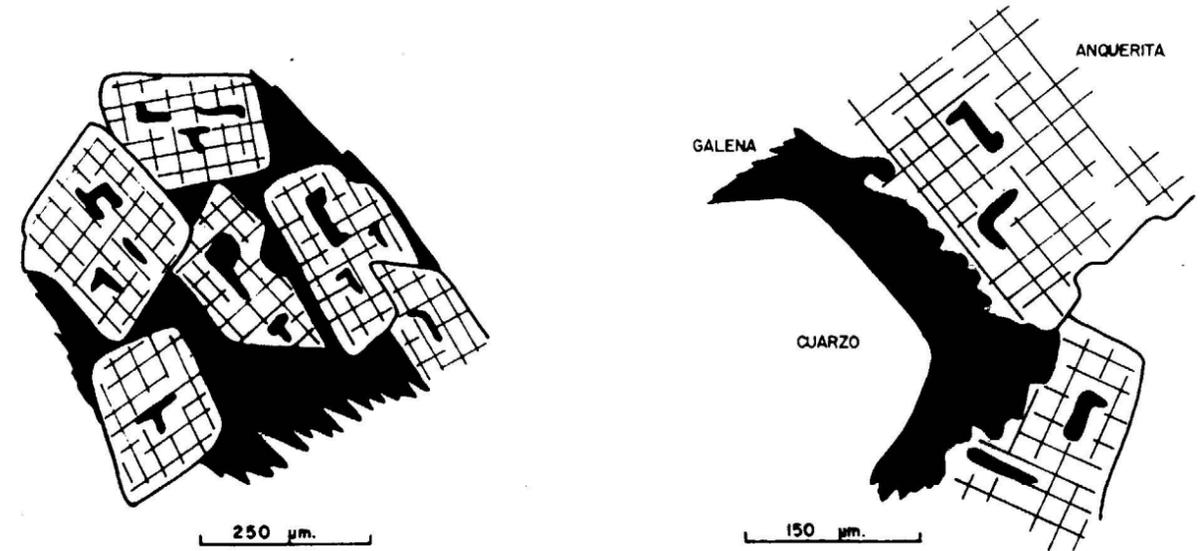


Figura 7.—Reemplazamiento de anquerita por galena preferentemente a lo largo de los planos de exfoliación.

a las pizarras, cuarcitas y dolomías, que contienen el 10 por 100 de Zn y el 25 por 100 de Pb, pudiendo verse:

a) Venas o filoncillos siguiendo las superficies de estratificación y/o esquistosidad, con potencias milimétricas a decimétricas y recorridos centimétricos a métricos. Al microscopio muestran en la mayoría de los casos la misma textura, pudiendo observarse del exterior al interior de la vena tres zonas (fig. 8).

I) Zona externa.—En contacto directo con la pizarra o cuarcita encajante, está constituida por finos cristales de moscovita crecidos perpendicularmente a la pared de la vena, con carácter discontinuo, sin llegar nunca a cubrirla totalmente.

II) Zona media.—Está constituida esencialmente por cuarzo dispuesto perpendicularmente a las paredes de vena, al que suelen acompañar, con carácter accesorio, carbonatos (anquerita, dolomita y calcita) y moscovita (escasa); asimismo, ocupando huecos, pueden aparecer pequeños cristales de blenda y galena (escasa). Esta zona suele mostrar una gran continuidad, tapizando toda la pared de la vena o filoncillo.

III) Zona interna.—Está formada en la mayoría de los casos por blenda con inclusiones de

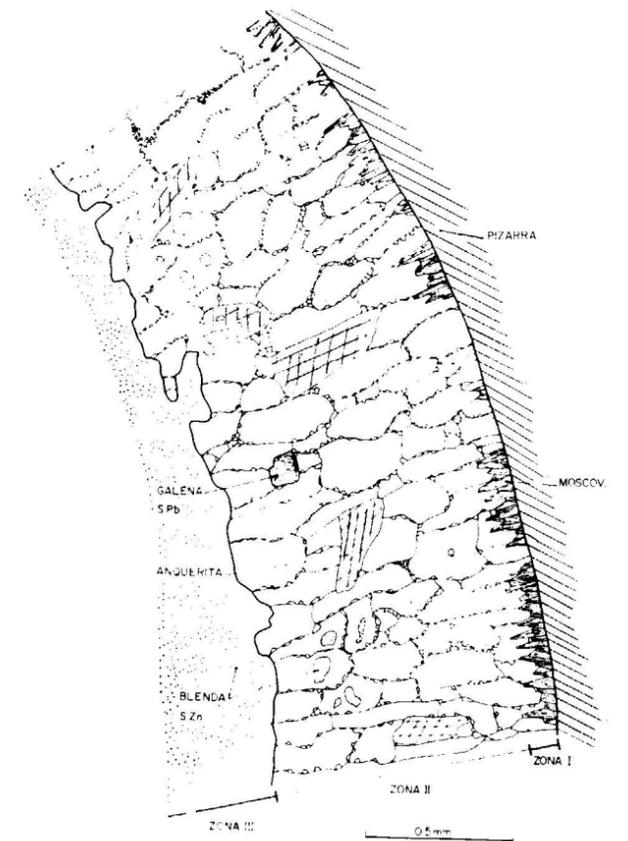


Figura 8.—Texturas de las venas de sulfuros en pizarras y cuarcitas.

cuarzo, carbonato y moscovita-sericita (escasa); en ocasiones también aparece galena, siendo muy raras las venas con este mineral como único sulfuro.

En cuanto a su distribución y disposición a lo largo del depósito aparecen con los siguientes tipos morfológicos:

a.1) En «enrejado». Se forman por la interconexión de venas dispuestas a lo largo de los planos de estratificación con venas que siguen la  $S_3$ , cuando ambos sistemas forman ángulos de  $30^\circ$ - $45^\circ$  (fig. 9).

a.2) Plegadas. Se forman a partir del plegamiento por la fase 3 de venas dispuestas a lo largo de planos de estratificación o de la  $S_1$  (fig. 10).

a.3) Boudinadas. Aparecen dispuestas subverticalmente siguiendo planos de estratificación o esquistosidad ( $S_1$  y  $S_3$ ), pudiendo distinguirse (fig. 11):

a.3.1) «Pinch-and-swell». Así pueden observarse venas constituidas esencialmente por blenda, con galena y cuarzo ocupando las zonas adelgazadas.

a.3.2) «Boudins» lenticulares. Están constituidos esencialmente por blenda con galena y cuarzo, ocupando localmente las zonas de cuello. Corresponden a un estado más avanzado de los «pinch-and-swell».

a.3.3) «Boudins» romboidales. Son los más frecuentes, desarrollándose a partir de venas originalmente anqueríticas que sufrieron un intenso «boudinage» al que acompañó la entrada de cuarzo y sulfuros; así pueden verse «boudins» con sección romboidal que están constituidos por anquerita y que presentan cuarzo y blenda (en ocasiones galena) rellenando las zonas de cuello.

a.3.4) «Boudins» rectangulares. Presentan las mismas características texturales y composicionales que los romboidales, pero con una morfología rectangular. Son muy poco frecuentes.

a.4) Brechificadas. Se originan a partir de venas anqueríticas que han sido fracturadas, pre-

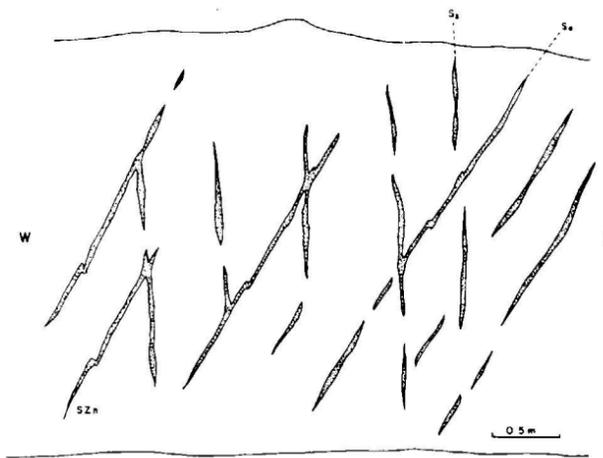


Figura 9.—Venas en «enrejado»: se desarrollan por la interconexión de venas de sulfuros dispuestas a lo largo de la estratificación y de la esquistosidad  $S_3$ .

sentando blenda y cuarzo entre los fragmentos brechoides de anquerita (fig. 12).

a.5) Deformadas por «flexural-slip». Son frecuentes en las rocas cuarcíticas y filíticas, pudiendo verse venas constituidas por cuarzo, anquerita y blenda desplazadas por la estratificación (fig. 13).

b) Brechas.—De acuerdo con su composición y distribución se pueden distinguir dos tipos:

b.1) Brechas anqueríticas. Están constituidas por cantos de anquerita cementados por cuarzo y/o sulfuros. Se pueden observar en todo el depósito, si bien son más abundantes y están mejor desarrolladas en las zonas más profundas del yacimiento y a lo largo de las superficies de fractura de las fallas longitudinales.

b.2) Brechas pizarrosas o cuarcíticas. En éstas los cantos brechoides son de cuarcita o de pizarra cementados por galena y blenda más cuarzo. Son poco abundantes y se concentran en las zonas próximas a los ejes estructurales constituidos por las fallas longitudinales y el cabalgamiento «ZW».

c) Venas de blenda y cuarzo en planos de fallas inversas.—Localmente las fallas inversas de flanco de  $F_3$  aparecen mineralizadas por blen-

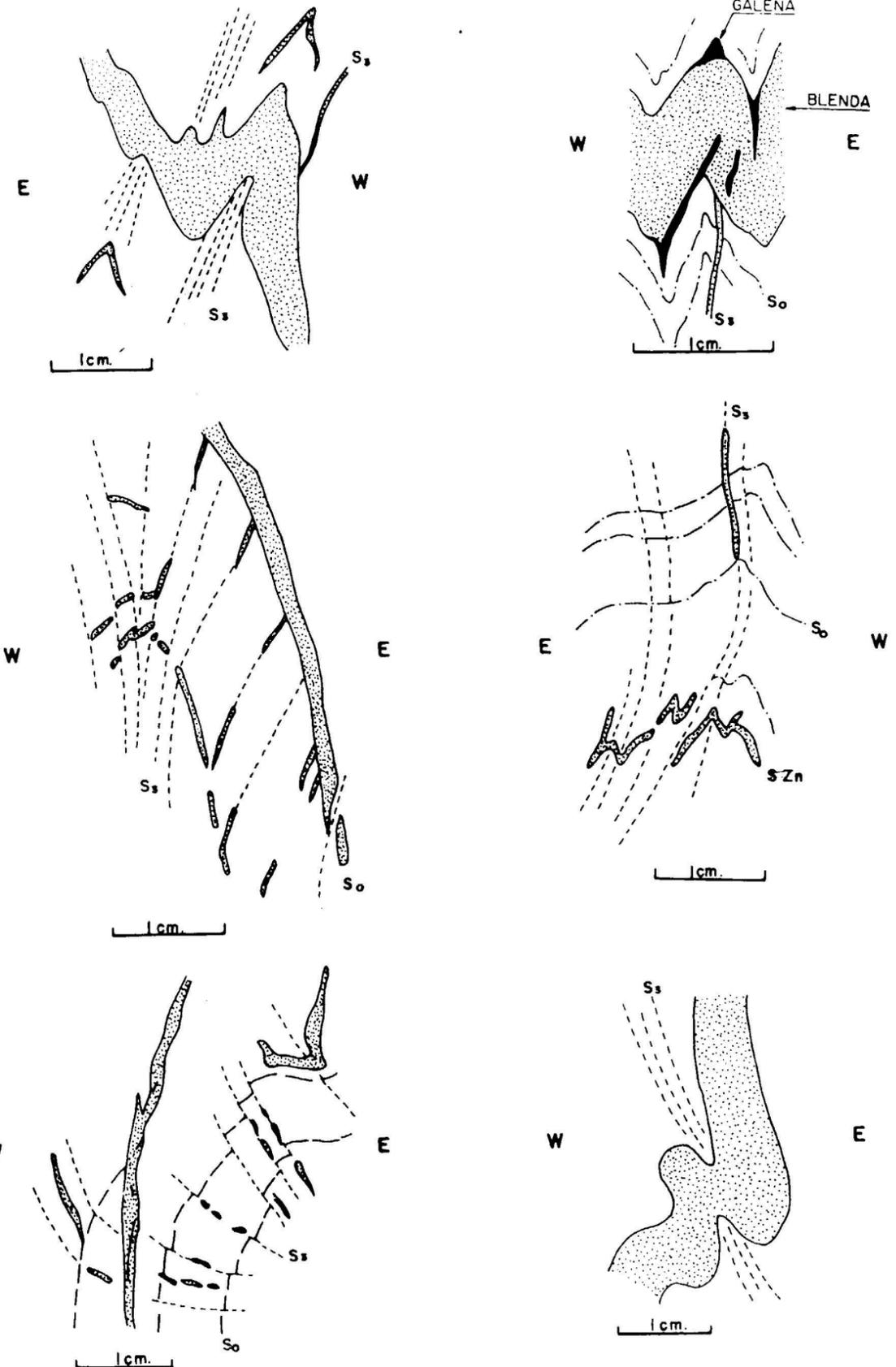


Figura 10.—Morfología de venas de sulfuros plegadas por la  $F_3$ .

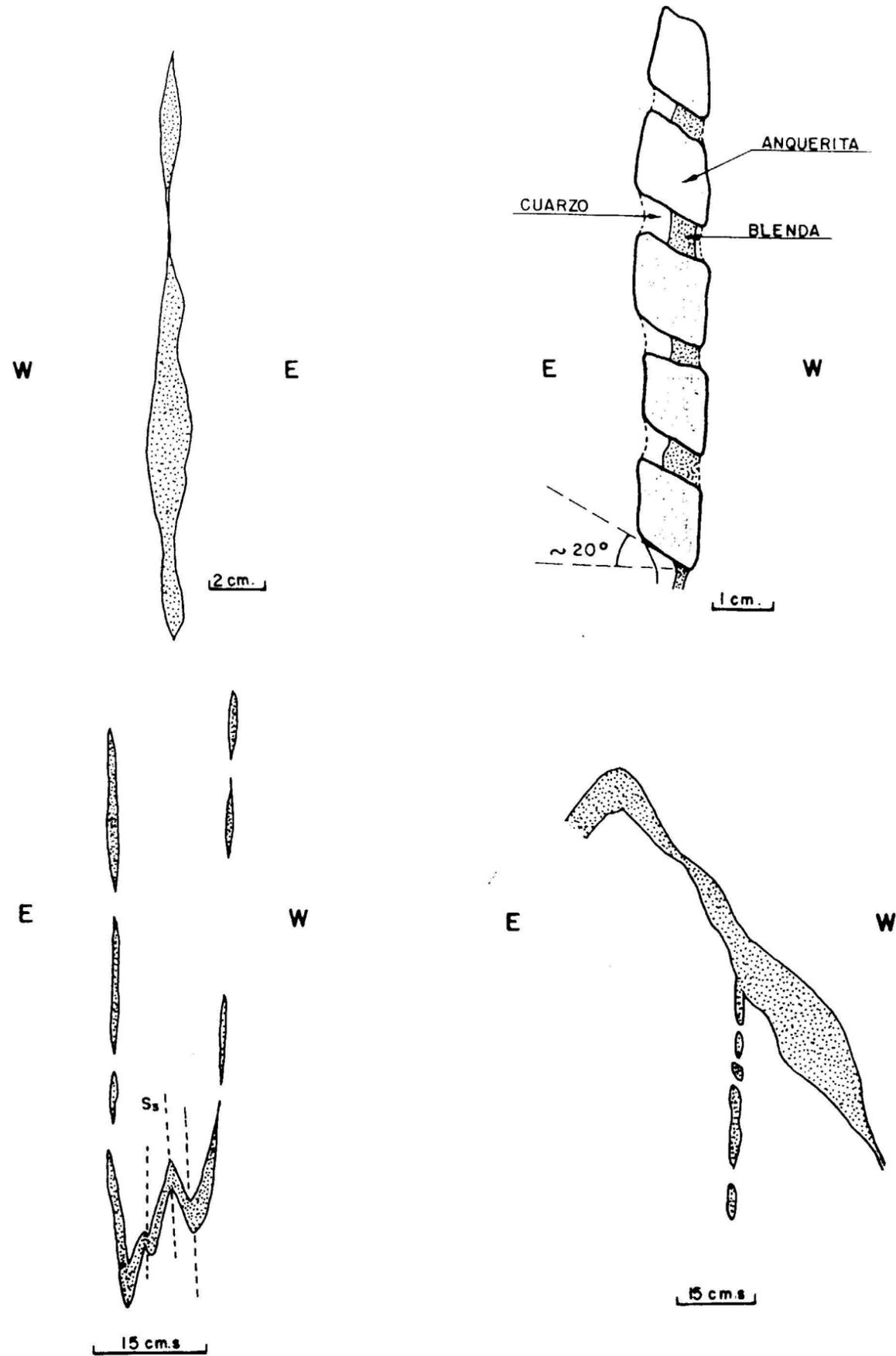


Figura 11.—Morfología de venas de sulfuros aboudinadas por la  $F_3$ .

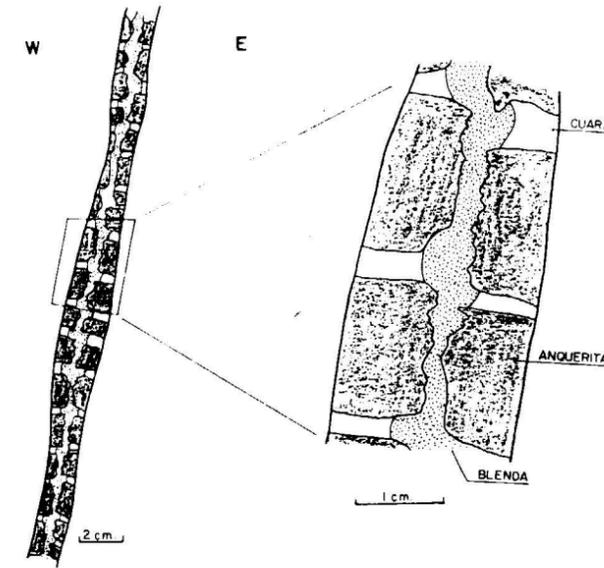


Figura 12.—Vena de anquerita brechificada durante el depósito de cuarzo y sulfuros.

da con ganga de cuarzo cuando intersectan materiales cuarcíticos o cuarzo-fíliticos; estas mismas fracturas desplazan a otras venas mineralizadas (fig. 14).

d) «Saddle reefs».—Aparecen rellenos de blenda, en ocasiones con cuarzo, en zonas de charnela de anticlinales  $F_3$ .

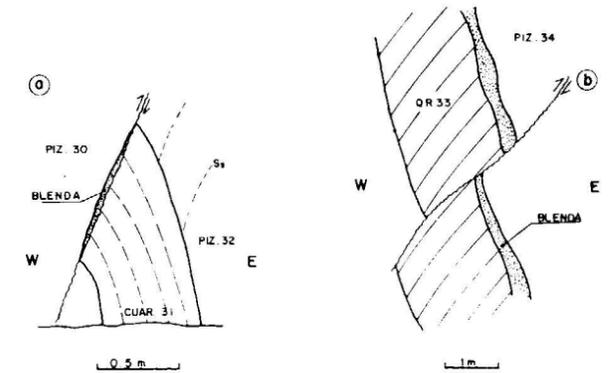


Figura 14.—Disposición espacial de las venas de sulfuro en relación con las fallas inversas de  $F_3$ . (A) Vena de blenda relleno una fractura  $F_3$ . (B) Vena de blenda dispuesta según la  $S_0$  desplazada por una falla  $F_3$ .

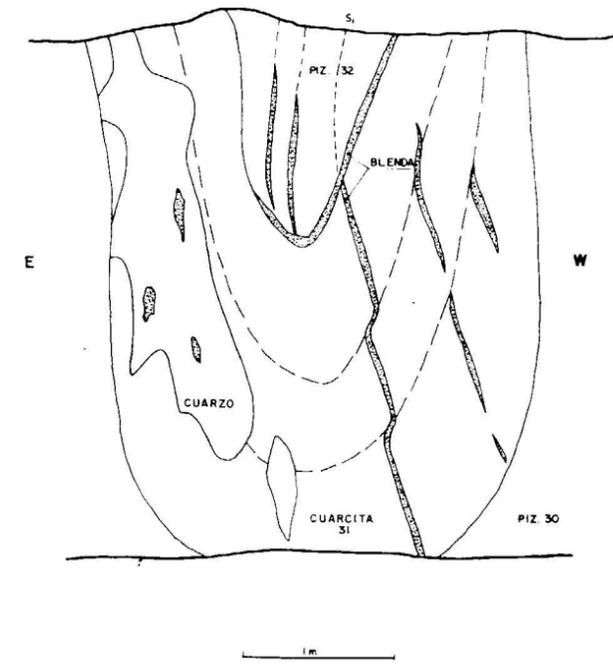


Figura 13.—Venas de blenda dispuestas a lo largo de los planos de  $S_1$  que posteriormente han sido afectadas por un proceso de «flexural-slip» desarrollado durante la  $F_3$ .

V. CONCLUSIONES

El estudio textural nos permite concluir como en la génesis del depósito los procesos de reemplazamiento han sido los principales responsables tanto de la alteración hidrotermal como del depósito de los sulfuros, encontrándose un 90 por 100 del Zn y un 75 por 100 del Pb en los jasperoides.

El mecanismo principal en los procesos de reemplazamiento debió ser la infiltración que permitió el movimiento de las soluciones mineralizantes a grandes distancias, predominantemente en una dirección, pudiendo verse en Rubiales cómo el depósito aparece como una lente aplanada dispuesta subverticalmente con su máxima dimensión con dirección N 29° W; asimismo, los procesos de alteración, ankeritización + sericitización y silicificación, tienden a dar zonas de composición monominerálica con límites abruptos entre las mismas.

El segundo mecanismo responsable del reemplazamiento, la difusión, debió tener lugar con

carácter secundario habiéndose descrito texturas típicas de este proceso tales como parches de blanda, islas y cristales esqueléticos y reemplazamientos preferentes según direcciones cristalográficas.

El relleno de espacios abiertos ha tenido un papel accesorio en la génesis del yacimiento y de su aureola de alteración como lo demuestran las texturas descritas.

La génesis del yacimiento de Rubiales parece estar en relación directa con el desarrollo de la Orogenia Hercínica, habiendo sido clasificado por ARIAS (1988) como un depósito hidrotermal de segregación tectónica en una zona de cizalla, que en relación con la deformación sería pre-fase 3 a sin-fase 3.

## VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren expresar su agradecimiento a la dirección de Exminesa

por permitir su realización y difusión; asimismo, deseamos reconocer el trabajo de delineación a Pilar Corral y Manuel Gómez y la mecanografía a José Fernández Aira.

## BIBLIOGRAFIA

ARIAS, D. (1988): *La caracterización geoquímica y mineralógica del yacimiento de Pb-Zn de Rubiales (Lugo, España)*. Tesis Doctoral. Univ. de Oviedo, 246 pp.

JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A., y CONDE, L. (1972): *Mapa tectónico de la Península Ibérica y Baleares E. 1:1.000.000*. ITGE.

LOTZE, F. (1945): *Einige probleme der Iberischem meseta*. Geotek. Forsch. H. G., 1-12 pp.

LOTZE, F. (1945): *Zur gleiderung der varisziden der Iberischen meseta*. Geotek. Forsch. 6, 78-92 pp.

MARCOS, A. (1973): *Las series del Paleozoico Inferior y la estructura hercínica del Occidente de Asturias (NO de España)*. Trab. Geol. Univ. de Oviedo, 6, 113 pp.

Original recibido: Septiembre de 1988.

Original aceptado: Noviembre de 1988.

# Estudio hidrogeológico preliminar del cuaternario de Vitoria.

Por B. ABALOS VILLARO (\*)

## RESUMEN

En el presente trabajo se aporta un estudio hidrogeológico de un acuífero aluvial situado en las proximidades de Vitoria (País Vasco). El estudio pretende ser una toma de contacto con la problemática de las aguas subterráneas asociadas a esta unidad. Se trata de establecer una infraestructura que sirva de base para la realización de estudios posteriores. Esta infraestructura pasa por la adquisición de un conocimiento lo más detallado posible de la geología del aluvial y de su funcionamiento general.

Se aportan algunos datos referidos a las disponibilidades de agua, recursos y reservas del acuífero y a las necesidades de agua para la agricultura. Finalmente, se sugieren algunos aspectos a tener en cuenta para la conservación y gestión racional de los recursos hídricos.

Palabras clave: Manto aluvial, Cuaternario, Piezometría, Gestión recursos agua, Provincia Alava.

## ABSTRACT

In the present work and hydrogeological study referred to an alluvial aquifer, located around Vitoria (Basque Country) and here called «Cuaternario de Vitoria» is made. The study tries to be a first approach to the groundwater problematic aspects related to this hydrogeological unit. The main wish is the establishment of a non-flying structure which support the development of future works. This non-flying structure is supported by the knowledge, as detailed as possible, about the alluvial geology and its general running.

Some data referred to the water availability are given, and in the same way those related to the resources and aquifer reserves and to the agriculture requires. Finally, some aspects to bear in mind in order to preserve and reasonably administrate the groundwater resources are suggested.

Key words: Alluvial aquifers, Quaternary, Piezometry, Water management, Alava province.

## 1. INTRODUCCION

### 1.1. CARACTERES GEOGRAFICOS E HIDROECONOMICOS DEL AREA

El aluvial cuaternario de Vitoria se sitúa ocupando aproximadamente el centro de la provincia de Alava, en la zona que se ha dado en llamar la Llanada Alavesa. Esta unidad geográfica, geológica e hidrogeológica, está limitada al Norte por las estribaciones de los Montes Vascos (flanco SSO del Anticlinorio Vizcaíno), al Sur por los Montes de Vitoria y su prolongación oriental, al O por la Sierra de Badaya y al E por La Barranca.

La población actual en esta área es del orden de 250.000 habitantes, concentrados principalmente en la capital, Vitoria-Gasteiz. En el resto de la zona se ubican unas 60 poblaciones de pequeño tamaño en general. El abastecimiento de agua para el consumo humano se realiza, sobre todo, a partir de los recursos hidráulicos superficiales almacenados en los embalses del Zadorra, situados a 10-15 km al N de Vitoria. Sin embargo, en los pueblos de la Llanada Alavesa el abastecimiento de agua para diversos usos se realiza en muchos casos a partir de las aguas subterráneas almacenadas en el aluvial. Esto último ocurre, sobre todo, al E de Vitoria.

La riqueza de la Llanada, dejando fuera de consideración la asociada al núcleo urbano, es esencialmente agrícola. Se desarrollan cuatro

(\*) Dpto. de Estratigrafía, Geodinámica y Paleontología. Fac. Ciencias Univ. del País Vasco. Aptdo. 644. 48080 Bilbao.

tipos principales de cultivos: trigo, cebada, patata y remolacha. Estas explotaciones constituyen una de las principales riquezas agrarias a nivel de toda la provincia. El trigo y la cebada se cultivan casi exclusivamente en terrenos de secano. Sin embargo, en el caso de la patata y la remolacha se ha planteado una demanda importante de agua como consecuencia del desarrollo de regadíos. Estas necesidades han sido satisfechas mediante la construcción de pozos en el aluvial, a veces con redes de canalización entibadas, pozos-almacén (los más frecuentes) y maquinaria extractiva. Como se verá más adelante, las explotaciones con estas características se sitúan casi con exclusividad al E de Vitoria.

El aprovechamiento hidrogeológico de este acuífero se remonta a la época de los romanos. En las construcciones de esta civilización desenterradas en Arcaya (a escasos km. al E de Vitoria) se han descubierto pozos convencionales de algunos metros de profundidad a los que se asocia una red de distribución para uso doméstico y para el funcionamiento de unas termas.

La construcción de los pozos a los que se ha hecho referencia en un párrafo anterior ha sido relativamente reciente; la mayoría tienen menos de 10 años y se siguen abriendo en la actualidad. El bombeo exhaustivo de las aguas subterráneas para el riego de las plantaciones de patatas y remolacha ha provocado un descenso general del nivel piezométrico, de modo que se han establecido unas relaciones especiales con los cursos de aguas superficiales encajados en la formación aluvial cuaternaria.

La alteración del equilibrio natural ha desembocado en la pérdida de los recursos superficiales en algunas zonas en la época de estiaje, de manera que se acentúa en ellas aún más la explotación de las aguas subterráneas.

## 1.2. OBJETIVOS Y METODOLOGIA

El presente estudio pretende ser una primera aproximación al conocimiento hidrogeológico del aluvial cuaternario de Vitoria. Este aluvial plantea una problemática especial como consecuencia de su laxa extensión y de la promiscuidad de los puntos de agua susceptibles de estudios

de tipo cuantitativo. Estos hechos, y el importante tiempo de dedicación que requeriría un estudio detallado, determinan que la metodología de trabajo se reduzca al establecimiento de los caracteres geológicos del acuífero, de su geometría, establecimiento de una piezometría (que ayude a la comprensión del funcionamiento hidrogeológico) y al tratamiento de los datos hidrológicos e hidrometeorológicos disponibles a partir de otras fuentes.

La finalidad principal que se persigue consiste en el establecimiento de una primera aproximación al balance hídrico del aluvial y su repercusión en la evaluación de los recursos, las reservas, así como su gestión racional para los diversos usos, humanos o agrícolas.

## 2. GEOLOGIA DEL ACUIFERO

### 2.1. INTRODUCCION. ANTECEDENTES

El acuífero objeto de nuestra atención consiste en un conjunto de materiales detríticos de granulometría diversa dispuestos en forma de un manto aluvial de contornos más o menos irregulares. Estos materiales cubren las áreas topográficamente más deprimidas de la Llanada. El aluvial presenta caracteres realmente variables y está atravesado por una red hidrográfica bien organizada. La composición litológica de los terrígenos que conforman el aluvial es un reflejo de las litologías presentes en las áreas madre que los alimentan, las cuales pueden estar físicamente en contacto con el aluvial o relacionadas con él por medio de la red hidrográfica actual.

La primera referencia al Cuaternario de Vitoria se debe a MORA y VILLANUEVA (1968), quienes hablan de un cuaternario generalmente margo-arcilloso con algunos tramos muy localizados de graveras. Como se verá más adelante, esta concepción no se adapta a la realidad.

RAMIREZ DEL POZO (1973) lo delimita geológicamente de una manera precisa y aporta una cartografía a escala 1:200.000. Este autor se refiere al Cuaternario de Vitoria como un conjunto de materiales modernos de 5 a 10 m. de espesor que recubren los materiales del Cre-

tácico Superior rellenando depresiones en la Llanada Alavesa, estando compuestos por arcillas, arenas y gravas.

GARCIA RODRIGO y FERNANDEZ ALVAREZ (1973) hacen cierto hincapié sobre el tema de la datación de estos materiales cuaternarios, que asocian a depósitos de llanura aluvial. Estos mismos autores tratan al Cuaternario desde la óptica de los materiales y terrenos Post-Mioceno, por la inexistencia de datos suficientes para establecer una clara distinción entre los materiales depositados durante el Plioceno y aquellos que lo han sido posteriormente durante el Cuaternario.

RAMIREZ DEL POZO et al. (1978) consideran un cuaternario aluvial constituido por gravas muy heterogéneas con abundante matriz arenarcillosa y, localmente, con lentejones de arenas. Esta concepción se mantiene en las hojas del Plan MAGNA correspondientes al área de extensión del Cuaternario de Vitoria (PORTERO et al., 1978, y MARTIN ALAFONT et al., 1978).

En un estudio anterior (ABALOS, 1984b) se establece una subdivisión del Cuaternario en dos tipos de facies fluviales: la meandriforme y la trenzada (braided). En la Llanada, al E de Vitoria, predominan los materiales asociados a ríos trezados, mientras que al O predominan los asociados a ríos meandriformes. También aquí se establece la posibilidad de pertenencia de estos materiales a una edad muy reciente, a causa de su relación con las construcciones romanas a las que recubren.

Por lo que se refiere a la Geología Económica, la primera cita se debe a MORA y VILLANUEVA (1968), los cuales citan textualmente: «...carece de importancia en cuanto a una explotación masiva de las aguas contenidas en estos tramos» (se refieren a los gravelosos). También se refieren a un proyecto de estudio detallado del Cuaternario para resolver el problema de las cimentaciones mediante un posible sistema de drenajes (por estos años, década de los 60, Vitoria experimentaba una gran expansión urbanística).

RAMIREZ DEL POZO (1973) habla de la posibilidad de captación de aguas en las formaciones modernas del Cuaternario de la Llanada. RAMIREZ DEL POZO et al. (1978) señalan que las aguas de escorrentía se concentran en los sue-

los aluviales poco potentes de los alrededores de Vitoria, en donde el nivel freático está prácticamente en la superficie del terreno. También señalan que estos suelos empapados en agua no son susceptibles de captaciones importantes debido a su escasa potencia y a su contaminación.

## 2.2. ESTRATIGRAFIA

En la figura 1 se puede obtener una visión general de la geología del área sobre la que se ubica el aluvial cuaternario. Dicha figura corresponde a una composición de las Hojas núm. 112, «Vitoria»; 113, «Salvatierra», y 138, «La Puebla de Arganzón», a escala 1:50.000 del MAGNA.

### 2.2.1. Los materiales del sustrato

Estos materiales tienen interés en dos vertientes: en primer lugar, en cuanto a su permeabilidad o impermeabilidad (en relación con la posibilidad de retención de las aguas subterráneas almacenadas en ellos); y, en segundo lugar, en cuanto a los rasgos litológicos de las áreas fuente de los materiales cuyos fragmentos han construido el aluvial propiamente dicho.

La información bibliográfica disponible en relación con este tema es amplia y, de ella, nos referiremos principalmente a los estudios de RAMIREZ DEL POZO (1973), GARCIA RODRIGO y FERNANDEZ ALVAREZ (1973), RAMIREZ DEL POZO et al. (1978), PORTERO et al. (1978), MARTIN ALAFONT et al. (1978), AMIOT (1982) y ABALOS (1984a, b y 1987).

Los materiales del sustrato corresponden a las formaciones de Vitoria, del Zadorra (región al E de Vitoria), de las Losas y del Valle de Mena (región occidental), según la nomenclatura formal introducida por AMIOT (1982). Las dos primeras son de edad Santoniense Superior a Campaniense Medio y constan de margas y margocalizas muy monótonas con potencias superiores a los 1.000 m. e impermeables. Al O de Vitoria el carácter litológico es similar, aunque más carbonatado, lo que permite el establecimiento de unas relaciones especiales entre la Tectónica, la litología y la permeabilidad del sustrato, todo ello en relación con el funciona-

miento hidrogeológico del aluvial situado inmediatamente encima.

El área fuente de los terrígenos del material acuífero presenta una mayor variabilidad litológica y areal. En la región al E de Vitoria, y también al S, su composición está controlada por los materiales que afloran en los Montes de Vitoria, que se levantan al S. Estos materiales son calcáreos o arenosos y han proporcionado tanto los clastos de tamaño grava (litologías resistentes) como la matriz arenoso-arcillosa (litologías deleznales). La edad de todos estos materiales abarca desde el Campaniense Medio hasta el Paleoceno Superior. Estos materiales han alimentado tanto a la Cuenca de Miranda-Treviño (post-orogénica) durante el Terciario (ABALOS, 1987) como al aluvial de Vitoria durante el Cuaternario.

El recubrimiento terciario post-orogénico tiene un tramo conglomerático basal que solapa una paleogeografía pre-existente, de modo que algo al O del meridiano de Vitoria llega a solapar a los materiales margosos y margocalizos del Santoniense y Campaniense Medio (que constituyen el sustrato impermeable del acuífero). De esta manera, al O de Vitoria no van a estar disponibles materiales arenosos para el aluvial, y los tramos gravelosos van a tener una aparición limitada. Como al N de este sector occidental ocurre algo parecido, los materiales del acuífero van a ser de tipo limolítico (lutíticos en un sentido amplio) y los terrígenos más groseros se van a asociar a los cauces de los ríos actuales o a los paleocauces.

**2.2.2. El material acuífero**

El aluvial cuaternario de Vitoria está constituido por gravas, arenas y lutitas en disposición y asociación variable. Anteriormente se señaló la existencia de dos dominios diferentes determinados por las litologías disponibles en el área madre. Esta aparición de dominios coincide, aproximadamente, con la presencia de dos regiones en las que la dinámica fluvial tiene, o ha tenido, un carácter distinto. En la región al E de Vitoria la litología del área madre, el clima y los condicionantes topográficos han permitido el desarrollo de cursos de agua trezados (braided), los cuales han depositado un manto

de materiales esencialmente gravelosos que se disponen en forma de bajada, una superficie muy suavemente inclinada hacia el N. Esta unidad sedimentaria contiene facies clásticas de diverso tipo: Gp, Gm, Sh y Sp (según la nomenclatura de MIALL, 1978). Todas estas facies clásticas indican corrientes tractivas de cierta importancia y suelen estar asociadas a abanicos aluviales o, como en nuestro caso, a ríos braided.

Tanto las paleocorrientes como la granulometría de los clastos muestran la presencia de una polaridad sedimentaria S-N, con el área madre en la posición meridional y un desarrollo progresivo de las facies distales hacia el N. Precisamente en esta última zona se produce una interdigitación con las facies de ríos meandri-formes asociadas a los cursos de los ríos Zadorra y Alegría, que drenan este dominio oriental.

El sector situado al E de Vitoria, así como el que se ha mencionado en último lugar en el párrafo anterior, está compuesto principalmente por lutitas. Las facies sedimentarias son de desbordamiento o de llanura de inundación (facies clástica L de MIALL, 1978) asociadas a ríos meandri-formes. En la base se encuentran en ocasiones tramos gravelosos con cantos irregulares de calizas arcillosas (procedentes de las inmediaciones del aluvial) y algunos cantos bien redondeados de arenisca (procedentes de localidades alejadas situadas en las faldas del Monte Gorbea). La potencia de este tramo graveloso basal es casi siempre inferior a 1 m. Es preciso señalar que este tramo no siempre está presente, aparece en relación con los cursos fluviales actuales o con paleocauces (se trata de facies de canal). Las facies de llanura de inundación son expansivas sobre las de canal y por ello se pueden encontrar directamente encima del sustrato rocoso.

El por qué del tipo de dinámica fluvial aquí presente hay que buscarlo en el área madre, que prácticamente proporciona sólo detríticos finos (provenientes de la disolución de materiales carbonatados), y probablemente en una pequeña proporción por el clima (algo más cálido y favorable a la meteorización física de carbonatos o materiales con componente carbonático al E del meridiano de Vitoria).

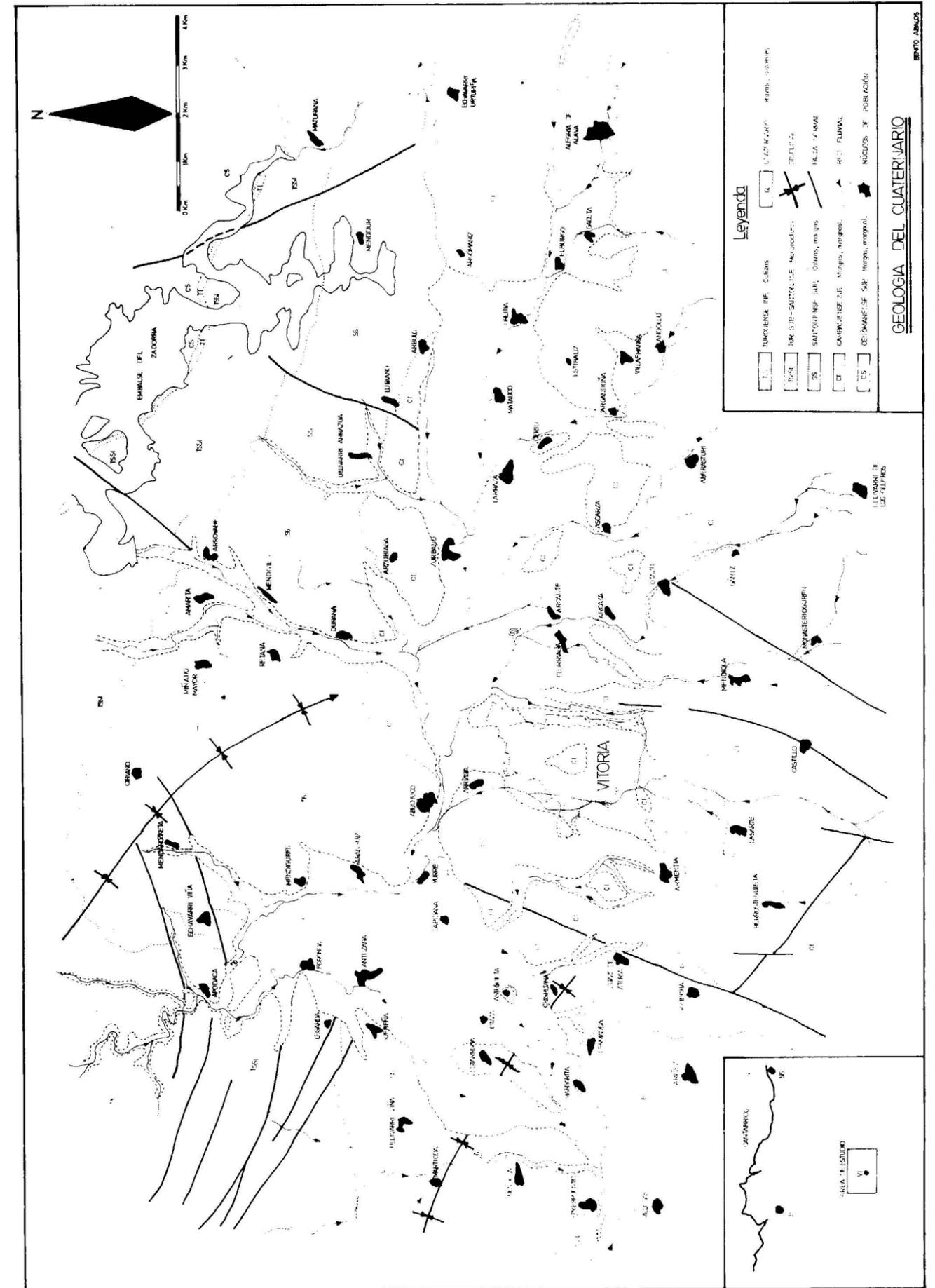


Figura 1.

Esquema estratigráfico

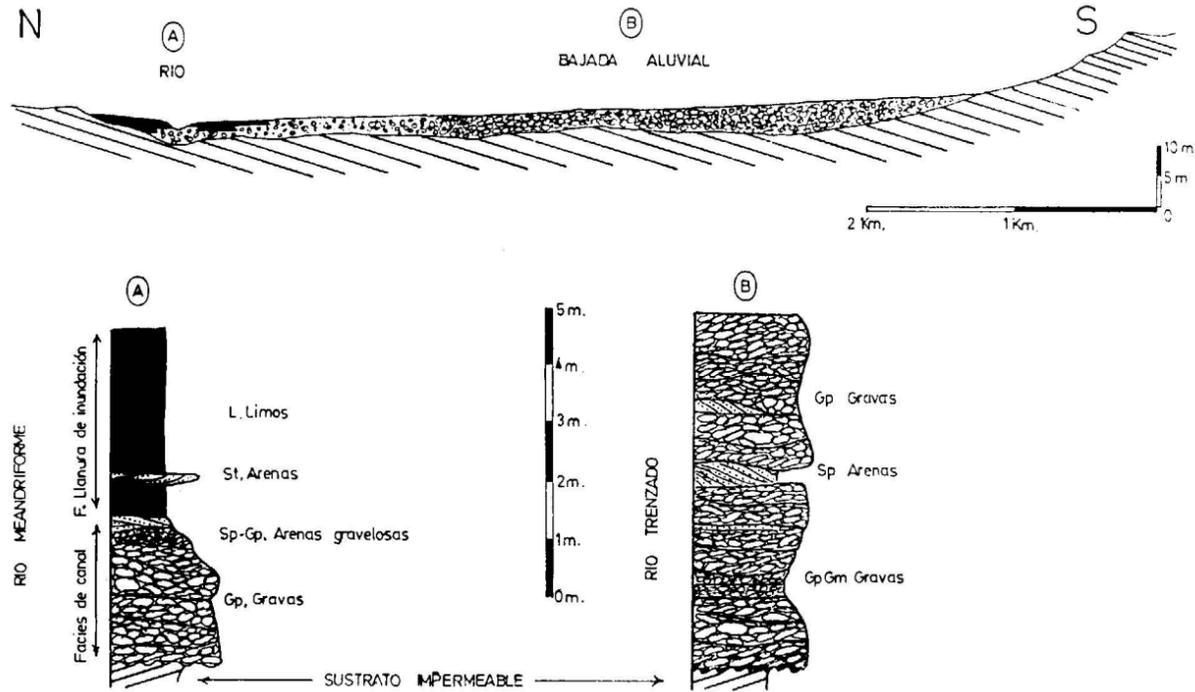


Figura 2.—Modelos de facies fluviales en el Cuaternario de Vitoria.

2.2.3. Geometría del acuífero

El «Cuaternario de Vitoria» es el relleno parcial de una depresión topográfica asociada a una superficie de erosión pre-cuaternaria. Este relleno se pone en evidencia por la existencia de numerosos tramos en los que el aluvial rellena, sin colmatarlos, los valles de los ríos y por la presencia de retazos de Cretácico que aún no han sido solapados por las facies aluviales. El contorno que presenta este relleno es, en consecuencia, irregular, estando controlado por la red hidrográfica actual y por la geometría de la superficie de erosión a la que recubre.

El espesor del aluvial es, como máximo, de 10-12 m. En la figura 3 se presenta un mapa de isopacas de esta formación. En él cabe señalar que insinúa una red hidrográfica antigua actualmente sellada. La inexistencia de una distribución homogénea de puntos de observación de la superficie de discordancia, su escasez y la carencia de la metodología de trabajo más

efectiva han hecho que la interpolación de los puntos de muestreo haya resultado en un mapa de isopacas que, si bien es objetivo, no se ajusta con la exactitud deseada a la realidad subyacente a la superficie topográfica actual. Por esta razón, la antigua red hidrográfica no se refleja con suficiente detalle. De todas formas, ha sido posible el establecimiento de algunos umbrales o altos en el sustrato. Estos umbrales tendrían la misma significación que los retazos de Cretácico no solapados por el aluvial, con la diferencia de que su nivel inferior ha permitido que fuesen totalmente enterrados.

El relleno aluvial al O de Vitoria es muy poco potente, a pesar de que resulte en una topografía casi igual a la observable al E de Vitoria. Este hecho, unido al carácter del relleno (lutítico) van a determinar la poca importancia de este sector occidental desde el punto de vista de su explotación.

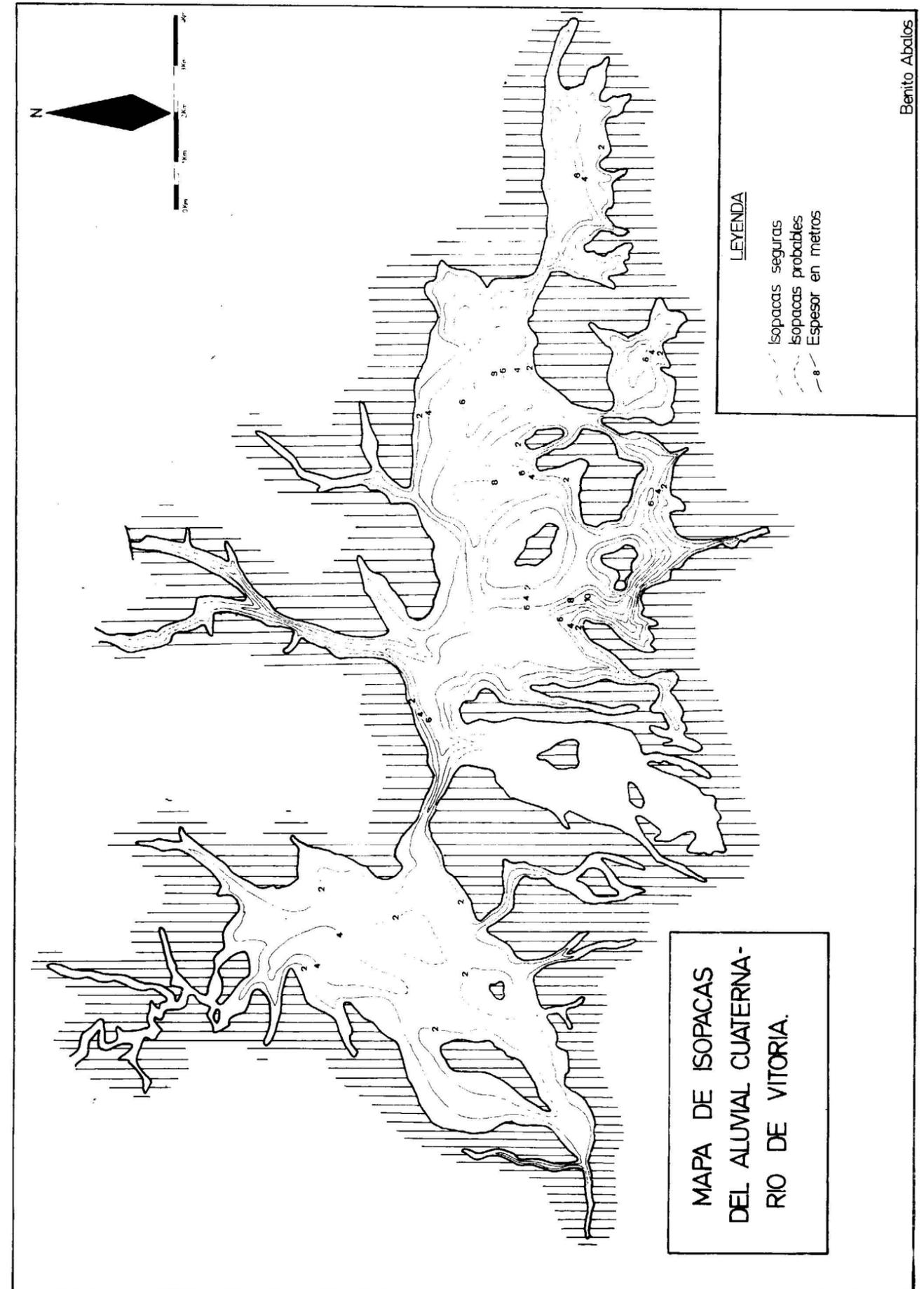


Figura 3.—Mapa de isopacas del Cuaternario de Vitoria.

La red hidrográfica actual está más o menos encajada en los terrígenos cuaternarios (hasta 4 ó 5 m. como máximo). En general, no coincide con la red excavada sobre el sustrato cretácico. Este hecho, como se verá más adelante, va a determinar algunas de las peculiaridades del funcionamiento hidrogeológico del sistema aluvial.

### 2.3. GEOLOGIA ESTRUCTURAL

La estructuración geológica del ámbito del Cuaternario es debida a la fase pirenaica de la Orogenia Alpina, ocurrida entre el Eoceno Inferior y el Oligoceno en las inmediaciones del área. Como consecuencia de este proceso se produjeron pliegues y fallas. Los pliegues son de gran longitud de onda y de escasa amplitud y su importancia radica en que han provocado una fracturación generalizada, diaclasado y fallamiento, en los materiales componentes del Coniaciense y Santiense Inferior sobre los que se apoya parcialmente el aluvial en su borde occidental. Las fallas son de importancia vertical y longitudinal variable y sólo afectan a los materiales del sustrato, tanto si las litologías son resistentes como si son blandas. Las fallas adquieren importancia en la región NO del acuífero, en la cercanías de Apodaca, donde son el condicionante geométrico principal de la red hidrográfica y, por tanto, de la geometría del material acuífero. Sin embargo, estas fallas nunca muestran relaciones de corte respecto al citado material, siempre se trata de estructuras selladas por el Cuaternario.

En el borde occidental del acuífero el diaclasado de los materiales competentes del Coniaciense ha desembocado en una relación especial entre el acuífero ligado al karst de la Sierra de Badaya, situado al E, y el acuífero objeto de este estudio, ya que ambos son drenados por la misma red hidrográfica. Por otro lado, no es improbable que el acuífero aluvial sea alimentado subsuperficialmente por el acuífero kárstico, especialmente en aquellas zonas en las que los materiales coniacenses son solapados de manera expansiva por los terrígenos cuaternarios.

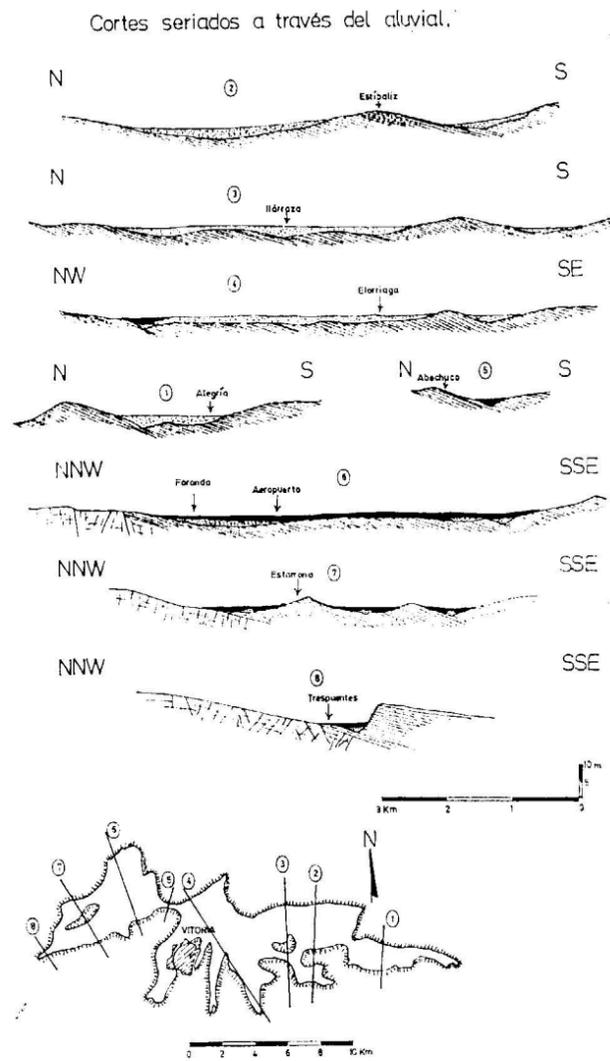


Figura 4.—Cortes seriados del aluvial de Vitoria.

### 2.4. GEOMORFOLOGIA

La Llanada Alavesa es una superficie planar muy ligeramente inclinada hacia el N al E de Vitoria y hacia el S al O. Corresponde al relleno de una depresión pre-existente producto de un proceso erosivo previo. Este relleno ha quedado prácticamente intacto. La citada superficie se ve alterada de cuando en cuando por muy suaves morfologías constituidas por el material del sustrato cretácico. Estos cerros y colinas tienen vertientes regularizadas que son el vestigio de

un ciclo de erosión anterior que llegó a presentar cierta madurez en lo relativo a la relación entre erosión lineal de los cauces y areal de las vertientes.

El relleno cuaternario se produjo en condiciones diferentes a las actuales. El cambio de los condicionamientos desembocó en un encajamiento de la red fluvial, fenómeno de relativa rapidez que no ha permitido el mantenimiento de un equilibrio con la erosión areal en las vertientes empinadas adyacentes a los actuales cauces. Este proceso ha ocurrido en los últimos dos milenios.

La red fluvial tiene una baja densidad de drenaje, con una textura grosera. La causa de este hecho hay que buscarla en los condicionantes litológicos del medio aluvial, ya que como consecuencia de su elevada permeabilidad la erosión fluvial ha sido y es difícil. De hecho, es muy poca el agua que se mantiene en superficie para alimentar a los cauces directamente o por escorrentía superficial. Consecuencia de todo ello es el establecimiento de una red de drenaje de baja densidad.

## 3. HIDROMETEOROLOGIA E HIDROLOGIA SUPERFICIAL

### 3.1. TEMPERATURA Y PRECIPITACION

Para la realización de este apartado se han utilizado los datos de temperatura y precipitación del Instituto Nacional de Meteorología, obtenidos a través del Servicio Meteorológico del Aeropuerto de Foronda-Vitoria. En el citado servicio se dispone de las temperaturas medias mensuales correspondientes al período 1950-86. Hay que destacar que todos los datos no han sido registrados en la misma estación. Entre los años 1950-79 los datos se refieren al Aeródromo de Vitoria, adyacente a la ciudad en su límite oriental. Entre 1980 y 1985 los datos se obtuvieron en el Aeropuerto de Foronda-Vitoria, situado unos 7 km. al NO de la ciudad. Por lo que se refiere a las precipitaciones, se dispone de datos de precipitaciones mensuales absolutas para el mismo período y presentan la misma problemática planteada por la temperatura. De todas maneras, y por razones de im-

precisión en las medidas, se utilizan aquí los datos del año 1970 y posteriores, considerándolos como pertenecientes a dos estaciones distintas.

Se han calculado las temperaturas y precipitaciones (T y P, respectivamente) medias mensuales en cada estación para su período representativo: 1970-79 en la estación de Vitoria (Aeródromo), y 1980-85 en la de Foronda (Aeropuerto). La representación de estos datos en un diagrama de termoyetas ha permitido determinar el régimen climático, que ha resultado ser intermedio entre el templado-lluvioso y el frío-lluvioso, aunque más próximo al primero.

En la figura 5 se aportan dos mapas de isoyetas

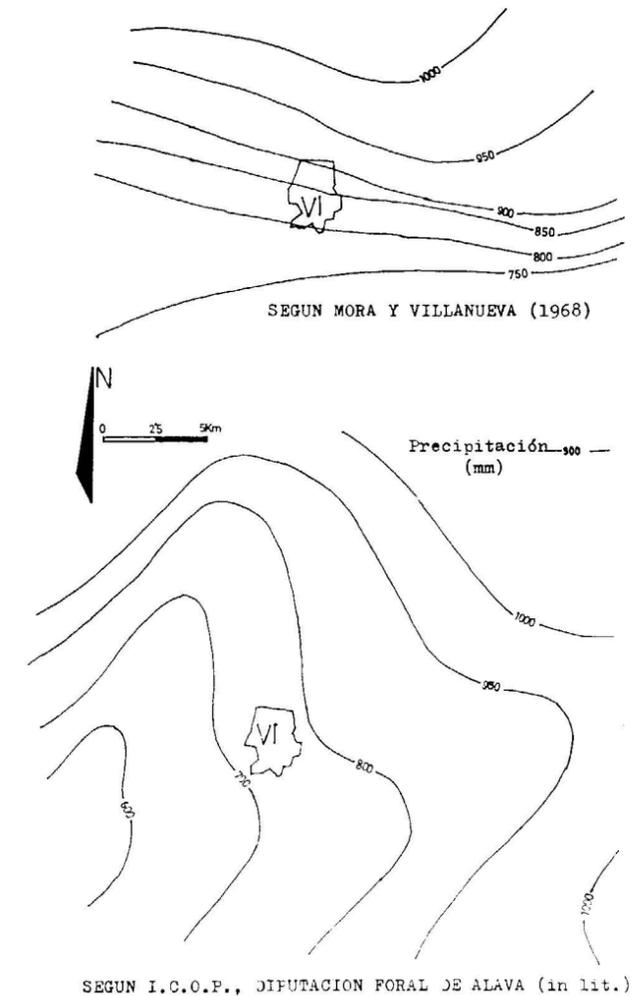


Figura 5.

tomados de MORA y VILLANUEVA (1968) e I. C. O. P. (in litt.), donde se puede observar la distribución areal de la precipitación en las cercanías de Vitoria. En el gráfico de los primeros autores resulta para la zona del Cuaternario de Vitoria una precipitación entre 800 y 950 mm., constante de E a O e incrementante de S a N. En el diagrama del ICOP la distribución es distinta y, probablemente, más fiable, ya que utiliza los datos de un período mayor de tiempo (1950-79). En este segundo caso destaca la precipitación cercana a 850 mm. en la región al E de Vitoria y del orden de 700 al O, entendidas ambas en el marco de extensión del aluvial cuaternario.

MORA Y VILLANUEVA (1968) aportan datos de precipitaciones medias anuales y las medias correspondientes para las estaciones de Vitoria (845 mm. entre 1943 y 1961), Estíbaliz (774 mm. entre 1955 y 1965) y de Alegría de Alava (920 mm. entre 1940 y 1962). Las tres estaciones están ubicadas en el interior del aluvial de Vitoria.

### 3.2. EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (ETP) Y REAL (ETR)

Se ha calculado la ETP para las estaciones de Vitoria y Foronda siguiendo el método de Thornthwaite. Los valores obtenidos son de 670 mm. en la estación de Vitoria y 660 mm. en el Aeropuerto. En la tabla I se aportan los valores mensuales del balance hídrico como consecuencia de su interés en las necesidades agrícolas de regadío. El cálculo de la ETP según el método de Turc ofrece resultados que se diferencian en menos del 8 por 100 de los obtenidos siguiendo el método del balance del agua en el suelo (600 mm. en Vitoria y 530 mm. en el Aeropuerto).

Merece recabar una atención especial el método de Thornthwaite. En la estación de Vitoria se ha elegido una capacidad de campo de 75 mm. debido a que en esta zona predominan los materiales arenoso-gravelosos, con una capacidad de campo menor que la de los predominante-

TABLA I

Evapotranspiración real en la estación de Vitoria (1970-79)

	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
A ... ..	99	91	95	107	99	76	34	66	56	80	105	75
B ... ..	15	20	44	52	66	94	114	107	79	51	25	16
C ... ..	84	71	51	55	33	-18	-80	-41	-23	29	80	59
D ... ..	75	75	75	75	75	57	0	0	0	29	75	75
E ... ..	15	20	44	52	66	94	91	66	56	51	25	16
F ... ..	84	71	51	55	33	0	0	0	0	0	34	59

Evapotranspiración real en la estación del Aeropuerto de Foronda - Vitoria (1980-85)

	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
A ... ..	77	77	79	55	79	39	50	61	24	89	92	140
B ... ..	13	16	26	46	62	95	118	103	84	54	27	15
C ... ..	64	61	53	11	17	-46	-68	-42	-60	35	45	125
D ... ..	100	100	100	100	100	54	0	0	0	35	80	100
E ... ..	13	16	26	46	62	95	96	61	24	54	27	15
F ... ..	64	61	53	11	17	0	0	0	0	0	0	105

A: Precipitación en mm. (P).

B: Evapotranspiración potencial en mm. (ETP).

C: P - ETP.

D: Capacidad de campo en mm.

E: Evapotranspiración real en mm.

F: Excedentes en mm.

mente limosos representativos del acuífero en su mitad occidental, para los que se ha tomado un valor de 100 mm.

En el caso de la región al E de Vitoria hay que destacar los hechos siguientes:

- Existen tres meses al año durante los cuales el suelo está totalmente exento de agua y dos meses más en los que la saturación es parcial.
- Existen cinco meses al año durante los cuales son nulos los excedentes del agua de precipitación.
- Existe un déficit de agua necesario para satisfacer las necesidades de la ETP durante tres meses al año: el déficit se cifra en 90 mm.
- Existe un déficit de 230 mm. necesario para mantener durante todo el año un grado de saturación igual a la capacidad de campo.
- Los excedentes son de 390 mm.

En la estación del Aeropuerto de Foronda la situación es parecida:

- Durante tres meses al año el suelo está seco, y dos meses más parcialmente húmedo, cifrándose el déficit de agua en 410 mm.
- La cantidad de agua necesaria para mantener una ETR=ETP se cifra en 130 mm.
- Durante seis meses al año no hay excedentes en el agua de precipitación.
- Los excedentes anuales son del orden de 300 mm.

Los datos hasta aquí referidos serán tratados más adelante en relación con los gastos de agua para satisfacer las necesidades de riego.

### 3.3. ESCORRENTIA E INFILTRACION

La determinación cuantitativa de cada uno de estos factores del balance hídrico es un tema difícil si lo que se trata es de hacer un cálculo preciso. La razón fundamental que determina este hecho es que la formación aluvial de Vitoria no coincide con una cuenca hidrológica superficial. Existen numerosos cauces fluviales de diversa

importancia, todos ellos afluentes del Zadorra, que entran en el ámbito del aluvial con caudales que pueden infiltrarse o que pueden ser alimentados por el propio aluvial.

Por contra, el acuífero es drenado en un solo exutorio, el Zadorra, en las proximidades de Trespuentes. La evolución y evaluación de los caudales aportados (o en su caso drenados) por los afluentes, así como los expelidos en el exutorio de Trespuentes, requerirían medidas muy numerosas tanto en el espacio (debido al gran número de cursos superficiales susceptibles de control) como en el tiempo.

Sin embargo, existen criterios que pueden arrojar alguna luz sobre la importancia relativa de la Escorrentía (E) y la Infiltración (I). La baja densidad de la red superficial (resultado de una infiltración importante) y la cuasi-horizontalidad de la superficie superior del acuífero, coincidente con la topografía, inducen a suponer que prácticamente todos los excedentes de las aguas de precipitación se infiltran. Las pérdidas serían referibles a las aguas de lluvia caídas directamente sobre los cursos de agua o a la porción que después de caer sobre las vertientes de estos cauces son llevadas a los mismos en forma de escorrentía superficial. La importancia cuantitativa de estos dos tipos de pérdidas se puede considerar despreciable.

Admitiendo como válidos los supuestos anteriores, y utilizando la ecuación del balance hídrico, podemos hacer un cálculo de la infiltración teniendo en cuenta las siguientes aproximaciones:

- La escorrentía superficial es despreciable.
- En el período de años considerados en las estaciones de Vitoria (10 años) y Foronda (6 años) la variación del grado de saturación del suelo (dV) no afecta a los demás componentes del balance y se puede ignorar.

En función de todos los supuestos anteriores:

$$P = I + E + ETR + dV$$

pasa a ser:

$$P = I + ETR \quad \text{ó} \quad I = P - ETR$$

En la estación de Vitoria:

$$I = 984 \text{ mm.} - 956 \text{ mm.} = 387 \text{ mm.}$$

Y en la estación del Aeropuerto:

$$I = 861 \text{ mm.} - 535 \text{ mm.} = 326 \text{ mm.}$$

En consecuencia, algo menos de 400 mm. de agua se infiltran en la zona representada por la estación de Vitoria (región al E de Vitoria) y algo más de 300 mm. lo hacen en la región al O de Vitoria, representada por la estación del Aeropuerto.

#### 4. HIDROGEOLOGIA

##### 4.1. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Para la realización del presente estudio se han inventariado un total de 139 puntos de agua. De ellos, el 47,9 por 100 corresponde a cursos superficiales de agua; el 46,3 por 100 a pozos excavados para satisfacer las necesidades de regadío; el resto corresponde a cimientos de obras públicas, canales, canteras, etc.

La distribución de los puntos de observación no es todo lo homogénea que sería de desear. Los cursos superficiales soportan un peso relativo importante, lo cual es hasta cierto punto provechoso, puesto que representan de hecho puntos de observación del Nivel Piezométrico (NP). Las áreas contenidas entre los cursos superficiales suelen contener pozos para regadío, sobre todo como consecuencia de que en esas zonas es costoso y poco factible extraer el agua para riego desde los ríos. Estos pozos se concentran en áreas preferenciales (zona de Junguitu, Matauco, Arbulo, etc.), mientras que en otras áreas están prácticamente ausentes. Este hecho es problemático a la hora de trazar curvas isopiezas en la cartografía del NP. Sin embargo, puede ser una guía importante a la hora de circunscribir las zonas del acuífero con mayor aptitud para aportar agua.

El número de pozos de riego varía cada año en el sentido de aumentar con el paso del tiempo. En el momento de la redacción del presente informe se han contabilizado 65 pozos, pero este número puede aumentar fácilmente en un 5-10 por 100 durante el próximo año agrícola.

En algunas localidades existen pozos construidos para satisfacer necesidades humanas. Todos ellos se ubican en fincas particulares y su boca está protegida, de manera que ha sido imposible realizar observaciones en los citados casos.

En la zona ocupada por el casco urbano de Vi-

toria ha sido imposible cartografiar puntos de agua. Es preciso señalar que el casco urbano de Vitoria tiene un radio unas dos veces mayor que el representado en la figura 1.

En la región al O de Vitoria los pozos son muy escasos. Además, no es posible el acceso a la zona ocupada por el Aeropuerto (5×1 km.). Por estas razones, en esta región el inventario está sostenido sobre todo por los cursos superficiales.

##### 4.2. PIEZOMETRIA Y FUNCIONAMIENTO DEL ACUIFERO

La base sobre la que se fundamenta este apartado consiste en dos mapas de isopiezas y en el establecimiento de algunos perfiles de depresión (figs. 6 y 7). Los mapas de isopiezas se han levantado: el primero después de un largo período de estiaje (entre el 26 de octubre y el 3 de noviembre de 1985; y el segundo coincidiendo, aproximadamente, con la época de máxima recarga del acuífero (15 al 20 de febrero de 1986). La base cartográfica de estos mapas ha sido una composición de varias Hojas 1:50.000 del MAGNA y la información sobre cotas y curvas de nivel de la Hoja de Vitoria del Mapa Geográfico y Catastral. Los errores en las medidas han sido de 6-17 por 100 en la época de estiaje y menores del 15 por 100 en la de máxima recarga; sin embargo, estos errores se disipan como consecuencia de la pequeña escala de la representación.

###### 4.2.1. Funcionamiento en época de estiaje

Para la comprensión de la distribución de las isopiezas en el mapa de la figura 6 hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- El verano de 1985 se caracterizó por un estiaje acentuado, lo cual repercute en la existencia de un período de agotamiento de larga duración.
- Por razón de ese mismo fenómeno, las necesidades de agua para la agricultura han sido importantes y ello ha provocado un descenso local importante de los niveles.

En líneas generales, se ha encontrado que la circulación se realiza, a grosso modo, de ma-

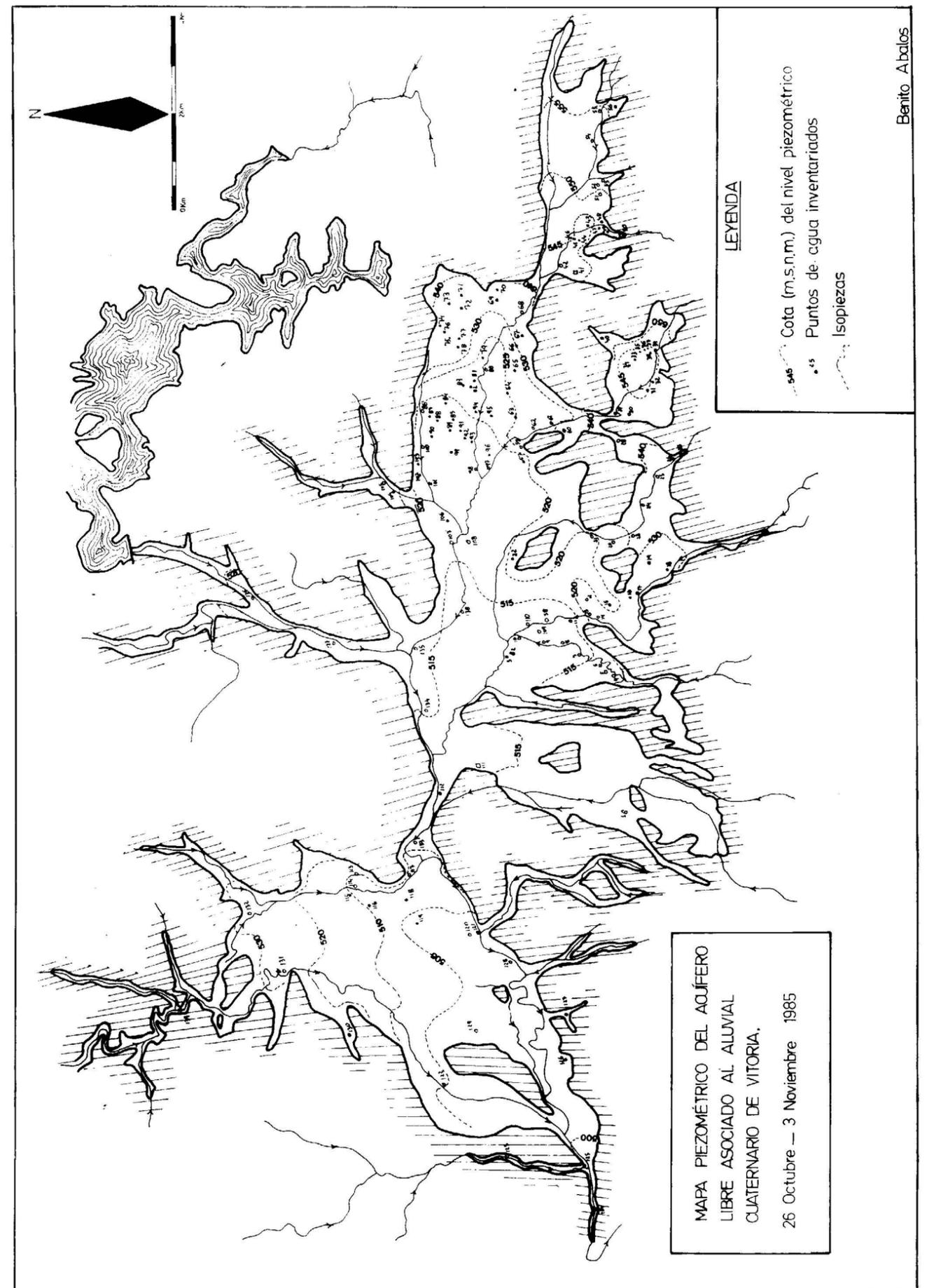


Figura 6.—Ubicación de los puntos de agua inventariados y mapa de isopiezas del Cuaternario de Vitoria en la época de estiaje.

nera congruente con la circulación hídrica superficial, que en esta época se ve prácticamente reducida al curso del río Zadorra y a sus afluentes de mayor entidad. Los ríos de menor entidad, en especial los que nacen en los Montes de Vitoria, se infiltran en su totalidad al internarse en el aluvial (el acuífero se alimenta de los cursos superficiales). Como norma general, se puede establecer una circulación subterránea de S a N en la mitad meridional de la región al E de Vitoria; de E a O en la mitad septentrional, y NE-SO en la región al O de Vitoria.

Existen algunos aspectos relacionados con el regadío dignos de mención, sobre todo en las zonas donde la densidad de distribución de pozos es mayor. En la zona de Villafranca, al sur del Monasterio de Estibáliz, se ha creado una distribución concéntrica de curvas isopiezas cerradas, con una circulación subterránea endorreica. Al N del citado monasterio se observa una distribución asimétrica de las isopiezas, de tal manera que hacia el Este los gradientes son relativamente acusados y muy débiles hacia el O. Esta distribución de las isopiezas correspondería al efecto de una depresión localizada que tiene lugar sobre un manto freático inicialmente inclinado, de tal manera que la extracción no es tan intensa como para crear un conoide de depresión que se manifieste en cartografía bajo la forma de isopiezas cerradas. Un efecto similar sobre la distribución de las isopiezas se encontraría en la zona de Arcaya.

En la región al O de Vitoria no se observan distribuciones anómalas de las isopiezas; parece ser que estamos ante un manto de hilos convergentes o divergentes (según los casos), con circulación general hacia el Sur.

Los gradientes hidráulicos en la región al O de Vitoria son del orden de  $4$  a  $5 \times 10^{-5}$ , y pueden considerarse como representativos de la circulación subterránea natural en régimen no influenciado. Por el contrario, al E de Vitoria se dejan notar los efectos de la extracción, de modo que aparecen gradientes mínimos del orden de  $10^{-3}$  y máximos de  $10^{-2}$ , siendo la media de  $3 \times 10^{-3}$ . Dada la homogeneidad de la distribución litológica dentro del acuífero, y dada la obvia relación entre las anomalías en la distribución de los gradientes y las máximas concentraciones de pozos de riego, no es necesario invocar a variaciones laterales en la permeabilidad del material

acuífero para explicar la distribución general de las isopiezas.

El mapa de isopiezas de la figura 6 arroja alguna luz sobre el origen de la recarga en época de estiaje. Se realiza en su gran mayoría a partir de los aluviales asociados a los cursos superficiales que convergen hacia la Llanada Alavesa en la región al E de Vitoria. En la región occidental la recarga parece efectuarse en una parte importante a partir de los sistemas kársticos de Apodaca (al Norte) y de la Sierra de Badaya (al O). La aportación de la subunidad oriental se verifica a través de un estrecho conducto o canal (zona de Abechuco), de forma que las aportaciones subterráneas no deben ser demasiado importantes, verificándose la aportación en forma de escorrentías superficiales.

#### 4.2.2. Funcionamiento en época de máxima recarga

En la época en que se realizó la cartografía hidrogeológica que se presenta en la figura 7 el acuífero había recibido ya el 70 por 100 de la recarga total anual por infiltración directa a partir de la precipitación. Se ha tomado este punto como representativo de la máxima recarga aceptando la hipótesis simplificadora de que los aportes que se registren a partir de este momento se contrarrestan de manera aproximada con las pérdidas hacia los cursos superficiales por escorrentías directas. De hecho, esta época coincide con los máximos de escorrentía superficial en los cursos superficiales de menor entidad y con la circulación en los aliviaderos artificiales construidos en las zonas de cultivo para evitar que la zona de saturación alcance la superficie topográfica. La mayoría de estos cursos superficiales y la totalidad de los aliviaderos sólo presentan circulación superficial durante esta época del año. De acuerdo con todo esto, el mapa de la figura 7 puede tomarse como representativo de las condiciones de la circulación subterránea no influenciada durante el período de recarga, ya que no se realizan extracciones en ningún punto.

Al igual que en el mapa de la figura 6, destaca la circulación S-N, ahora más patente, en la mitad meridional de la región al E de Vitoria. En la región al O de Vitoria la circulación continúa

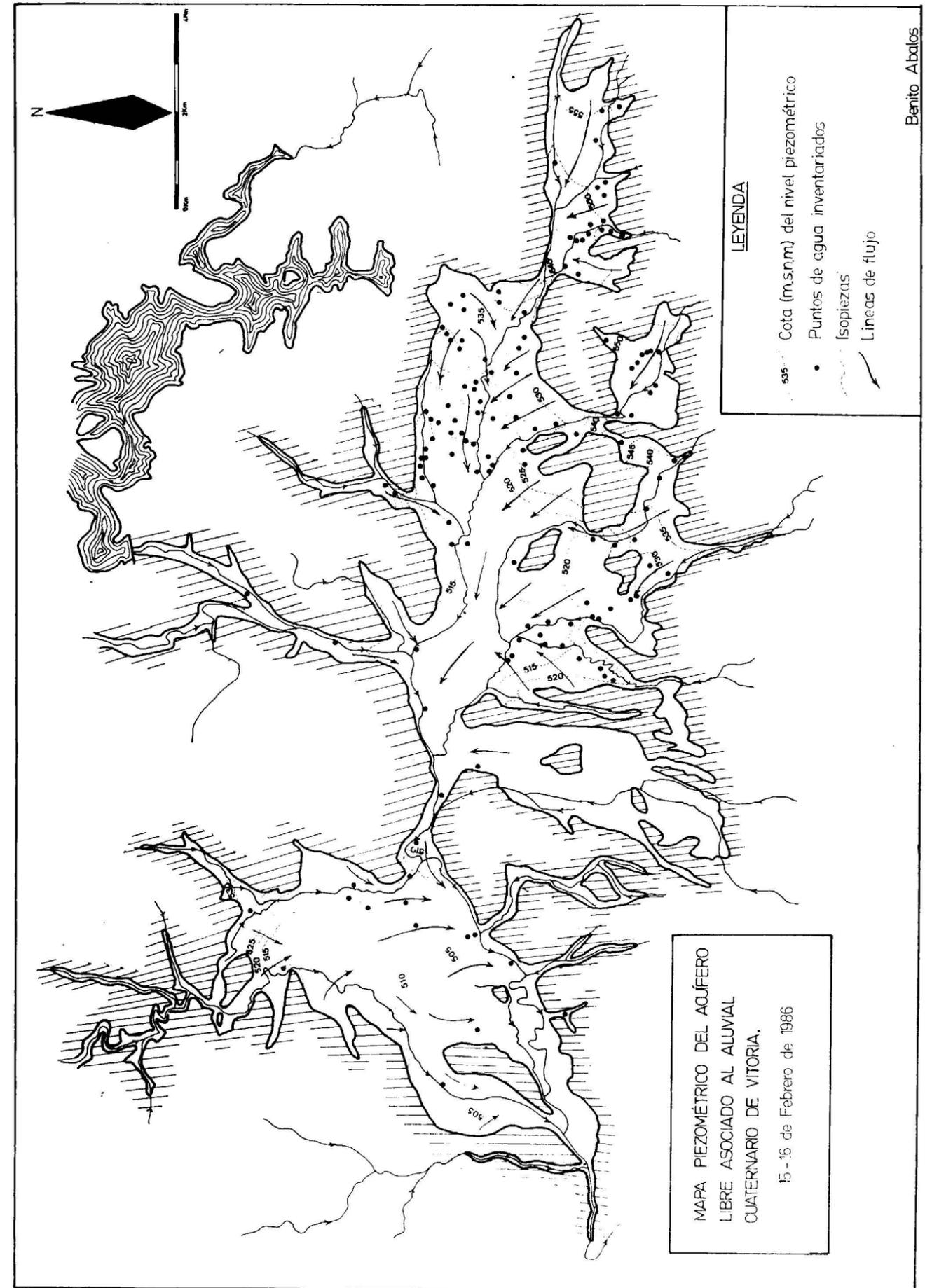


Figura 7.—Mapa de isopiezas del aluvial cuaternario de Vitoria en la época de máxima recarga con indicación de la posición de los puntos inventariados.

siendo preferentemente N-S, con una componente NE-SO en su parte más meridional. En esta área, las variaciones máximas del nivel piezométrico se han detectado en el borde occidental. Mientras que en el resto de este sector las oscilaciones verticales son del orden de 0,5 m., en la zona de Foronda, Mendoza y Trespuentes éstos son del orden de 2 m. Este hecho está en clara relación con la recarga a partir de los acuíferos kársticos de Apodaca y de la Sierra de Badaya. Concretamente en Trespuentes, en las canteras de calizas explotadas por Canteras Bengoa, S. A., se utilizan durante esta época bombas para extraer el agua de las instalaciones, agua que es vertida al Zadorra con el fin de provocar un descenso del NP por debajo de las cotas de maniobrabilidad de las labores. La cubeta de la subunidad acuífera de Villafranca ha desaparecido y se ha suavizado el escalón de Arbulo-Junguitu, de forma que ahora se obtiene una distribución más homogéneamente espaciada de las isopiezas (aunque sin llegar a una estabilización total). En la región al O de Vitoria se mantienen gradientes del orden de  $4$  a  $5 \times 10^{-3}$ . En la región oriental los gradientes máximos son de  $7,5 \times 10^{-3}$  y los mínimos de  $2 \times 10^{-3}$ .

Las condiciones de recarga están más claras que en el mapa de la figura 6. En la región oriental predomina la recarga a partir de los ríos y vertientes relacionados con los Montes de Vitoria, la cual se superpone a la recarga verificada por la precipitación caída directamente sobre el acuífero. En la zona occidental se suman también los efectos de dos componentes: la componente de la infiltración directa y la que se verifica a partir de los acuíferos kársticos ya mencionados. En la zona oriental, la aportación debida a los cursos superficiales procedentes del N es escasa por dos razones: por el escaso desarrollo de los sistemas aluviales asociados a ellos y porque los caudales aportados por el sistema aluvial principal (en el río Zadorra) están sometidos a regulación por la existencia de los embalses del Zadorra.

#### 4.2.3. Funcionamiento general

El manto acuífero de la región al O de Vitoria puede asimilarse a un manto cilíndrico el cual es de hilos convergentes en las proximidades de los cursos superficiales, por medio de los cuales

se realiza su drenaje. Esta situación se mantiene con escasas variaciones durante todo el año.

La región oriental presenta una complejidad mayor. Su mitad meridional corresponde a la yuxtaposición lateral de una serie de mantos de hilos convergentes cuya circulación se realiza hacia el N durante todo el año. Las diferencias más importantes se refieren a las relaciones del nivel piezométrico con los cursos superficiales, los cuales alimentan al acuífero en la época de estiaje, y lo drenan en la de recarga. La mitad septentrional es la que drena al acuífero durante todo el año de dos formas: por una circulación subterránea de E a O y alimentando a los cursos superficiales que lo drenan y que no se secan en todo el año. De la distribución de las isopiezas se deriva que este drenaje es tanto más importante cuanto más nos acercamos a Vitoria, en sentido hacia el O. Este hecho coincide con la formación de una zona empantanada de relativa extensión en las proximidades de Vitoria, exactamente en las campas de Salburúa, en la época de recarga.

La existencia de las unidades acuíferas O y E y su conexión mediante un estrecho canal (en las cercanías de Abechuco) hace que la aportación de la subunidad oriental a la occidental se verifique predominantemente en forma de escorrentía superficial, exactamente por medio del río Zadorra.

En la terminación occidental del aluvial, en el éxutorio de Trespuentes, debe ocurrir algo parecido, de manera que en este punto toda la aportación subterránea debe ser recogida por el Zadorra, y, por tanto, finalmente expelida del acuífero y drenada río abajo en forma de escorrentía superficial exclusivamente.

#### 4.3. RECARGA DEL ACUIFERO

En este apartado se aborda la relación entre los niveles piezométricos y la precipitación tomando como base los datos obtenidos en una cantera de gravas situada en las proximidades de Vitoria, entre el Barrio de Santa Lucía y la localidad de Arcaya. Los niveles se han controlado con una periodicidad media de una semana. Los datos obtenidos se han tomado, en primera aproximación, como representativos de todo el aluvial, al

menos desde un punto de vista cualitativo. La representación se puede encontrar en la figura 8.

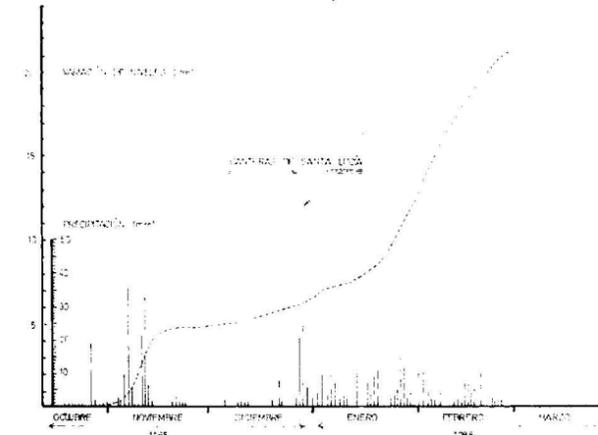


Figura 8.

En la curva de variación de niveles hay varios aspectos que convendría destacar. En primer lugar, la relación directa entre precipitación y niveles, de modo que aquella es la causante directa de la variación de los segundos. Parece existir un retardo del orden de una semana entre los máximos de precipitación y las variaciones máximas de niveles. En el paso de noviembre a diciembre no se dan precipitaciones apreciables; sin embargo, se constata un lento aumento de los niveles que podría interpretarse como debido a la recarga del acuífero a partir de la precipitación recogida en puntos de la red fluvial externos respecto al acuífero propiamente dicho. El inicio de nuevas precipitaciones a finales de diciembre provoca un aumento de la pendiente de la curva el cual se superpone al gradiente general con un retardo del orden de una semana. A partir de este momento, los efectos de la precipitación y de la recarga lateral se superponen sin solución para su discernimiento, todo ello como consecuencia de la homogeneidad en la distribución de las precipitaciones.

Las conclusiones generales que se obtienen son dos: la respuesta relativamente rápida de los niveles piezométricos ante las precipitaciones de cierta intensidad, y la recarga más lenta, pero

más constante y cuantitativamente de importancia a partir de otros orígenes del agua distintos a una precipitación directa.

#### 4.4. EVALUACION DE LOS RECURSOS Y RESERVAS

En este apartado se pretende dar una idea cuantitativa de los parámetros volumétricos relacionados con el acuífero en curso de estudio. Los datos que se presentan son aproximativos, sólo pretenden dar una idea del orden de magnitud. Para algunos de los cálculos se han tomado los datos de porosidad eficaz de CASTANY (1976) para aluviones gravelosos recientes ( $m_e=0.1$ ) y en parte limosos ( $m_e=0.05$ ). Estos valores se han asignado, respectivamente, a las regiones al E y O de Vitoria.

La región al O de Vitoria tiene una superficie de  $25 \text{ km}^2$ . El espesor medio del aluvial es de  $3 \text{ m}$ ., lo cual supone un volumen de acuífero de  $75 \text{ Hm}^3$ . La infiltración anual media era de unos  $300 \text{ mm}$ ., cantidad que sugiere que a nivel de toda esta subunidad se infiltra directamente a partir de la infiltración un volumen de agua de  $0.75 \text{ Hm}^3$ . La variación anual de los niveles piezométricos es de aproximadamente  $1 \text{ m}$ ., lo que unido con una  $m_e$  de  $0.05$  arroja un volumen dinámico de  $1.25 \text{ Hm}^3$ . A la vista de este resultado cabe señalar que la recarga del acuífero en este área se debe en un  $60$  por  $100$  a la precipitación que cae directamente sobre él, y en un  $40$  por  $100$  a las aportaciones de los cursos superficiales que podríamos denominar «alóctonos», de las vertientes y de los sistemas kársticos de Apodaca y de la Sierra de Badaya. El volumen total de reservas es de  $2.5 \text{ Hm}^3$  en la época de máxima recarga.

En la región al E de Vitoria el aluvial tiene una superficie de  $50 \text{ km}^2$  y un espesor medio de  $6 \text{ m}$ ., con lo que el volumen de material acuífero resulta ser de  $300 \text{ Hm}^3$ . La aportación debida a la precipitación directa es de  $2 \text{ Hm}^3$  (calculada en base a los excedentes de ETR). La variación anual media de los niveles es de  $2.5 \text{ m}$ .; si la porosidad eficaz es de  $0.1$ , el volumen dinámico resulta ser de  $12.5 \text{ Hm}^3$ . En este caso, la aportación debida a la precipitación es del orden del  $20$  por  $100$ ; el  $80$  por  $100$  restante sería debido a la recarga lateral a partir de los ríos que nacen al

Sur, en los Montes de Vitoria, y se infiltran parcial o totalmente al penetrar en el acuífero, y también se debería a la aportación de los márgenes y las vertientes del acuífero. Las reservas totales en la época de máxima recarga se cifran en unos 40 Hm<sup>3</sup>.

En su conjunto, el «Cuaternario de Vitoria» tiene una extensión de 75 km<sup>2</sup>, un volumen de material acuífero de 375 Hm<sup>3</sup>, unos recursos anuales medios de 14 Hm<sup>3</sup> y unas reservas totales, cuando el aluvial está prácticamente lleno, de unos 40 Hm<sup>3</sup>. La distribución de los recursos y las reservas, como se ha podido apreciar, no es homogénea, existiendo una subunidad oriental claramente favorecida.

#### 4.5. CONSERVACION Y GESTION DE LOS RECURSOS

En la actualidad, los recursos de aguas subterráneas asociados al Cuaternario de Vitoria se emplean sólo para satisfacer las necesidades agrícolas. Sin embargo, hubo una época, especialmente hasta los años 60, en que pueblos enteros se abastecían de ellos para satisfacer también las necesidades humanas. Hoy en día, este abastecimiento se realiza, fundamentalmente, a partir de recursos hídricos superficiales. Las obras de captación que se utilizaban sólo hace unas pocas décadas se siguen utilizando, pero ahora con otra finalidad: el regadío.

En los años 60 la calidad del agua era buena incluso para el consumo humano. En el presente estudio no se aportan datos hidrogeoquímicos propios, pero se dispone de los datos de MORA y VILLANUEVA (1968), quienes señalan que al E de Vitoria las aguas son sulfatadas sódicas, y cloruradas magnésicas en el resto (según la clasificación de Souline); señalan también que su potabilidad es buena (17 a 30°) y que son aguas de mineralización débil (0.25 a 0.50).

En la actualidad la calidad de estas aguas no las hace aptas para el consumo humano, al menos localmente. En este sentido, cabe señalar que son muchos los desagües que van a parar a los cursos superficiales que atraviesan el aluvial y que se infiltran en él durante la mayor parte del año. De hecho, se ha constatado en Aberáuri la existencia de pozos contaminados

como consecuencia de la infiltración de las sustancias vertidas por los desagües, pozos que un día abastecieron a toda la población.

A todo esto habría que añadir los efectos de la infiltración asociada a los cursos superficiales que atraviesan zonas industriales. Esta contaminación se centraría, sobre todo, en las cercanías de Vitoria y quizá no sea demasiado importante, ya que en esta área los cursos superficiales drenan al acuífero en vez de alimentarlo. De todos modos, y en relación con lo que pudiera ocurrir aguas abajo, cabe decir que en la localidad de Crispijana existe una depuradora que probablemente elimina esta problemática para los recursos hídricos situados aguas abajo de su ubicación.

La utilización de los recursos hídricos subterráneos para usos distintos a los agrícolas parece poco probable, incluso considerando el futuro a corto y medio plazo, ya que parece ser que se intenta realizar el abastecimiento a partir de recursos superficiales exclusivamente. En este sentido, la situación contrasta fuertemente con la que se presenta en el Sur (ver, por ejemplo, la problemática asociada a la vega de Almuñécar en BENAVENTE Y FERNANDEZ RUBIO, 1983; la del acuífero asociado al delta del río Guadalfeo en BENAVENTE y GALVACHE, 1982, y la de las sierras de María y del Maimón en MORENO, PULIDO BOSCH y FERNANDEZ RUBIO, 1983).

Por otra parte, las dimensiones y características del Cuaternario de Vitoria hace que su utilización como embalse subterráneo en relación con la satisfacción conjunta de las necesidades de agua según la filosofía del modelo REGA (IGLESIAS, 1985) sea bastante limitada, aunque de hecho sea posible y quizá un día este aluvial llegue a ser de utilidad para garantizar y/o regular las aportaciones superficiales.

El hecho de que este acuífero pueda ser de utilidad en un futuro no lejano para usos que hoy son insospechados requiere que se realice sobre él cierta regulación y cierto control en cuanto a la calidad y la gestión de sus recursos.

##### 4.5.1. Necesidades de regadío

El uso principal, el único prácticamente, de los recursos hídricos asociados al Cuaternario de

Vitoria, es para satisfacer las necesidades agrícolas, de ahí que se dedique un apartado especial a este aspecto.

El uso del agua para la agricultura admite grados de contaminación que desbordan los límites establecidos para el consumo humano. Por esta razón, en el caso que nos ocupa, las aguas subterráneas no plantean problemas demasiado importantes. MORA Y VILLANUEVA (1968) clasifican las aguas del aluvial en relación con el riego utilizando los índices de SAR y de conductividad concluyendo que son aptas en todos los suelos excepto en los de muy baja permeabilidad.

El efecto del regadío en nuestra zona es el de provocar descensos que a veces son importantes. En general, la explotación no tiene efectos negativos para el acuífero, sobre todo si se comparan éstos con los efectos provocados sobre las propias obras de captación cuando la explotación es exagerada, lo cual parece ser norma más que excepción entre los agricultores. Se ha encontrado que, en algunos casos, especialmente en los pozos construidos en las condiciones hidrogeológicas menos favorables, sólo ha sido posible un riego en todo el verano, sin reestablecimiento de los niveles en los pozos, los cuales han sido explotados hasta su vaciado. Esto no ha ocurrido en todos los casos como consecuencia de las excelentes cualidades y aptitudes del acuífero en aquellos puntos hidrogeológicamente más favorables. Los agricultores parecen limitarse a montar la instalación para el bombeo y la distribución del agua, y a hacerla funcionar, pero sin tener en cuenta la problemática que plantea una extracción mayor que la correspondiente al punto crítico, problemática sobre la que nadie les ha informado y que, en general, se desestima. Las consecuencias son negativas en un porcentaje importante de casos, ya que los niveles descienden hasta el punto de que ya no se produce recarga. La práctica se repite cada año a pesar de que se conocen las consecuencias.

La problemática a la que se hace referencia ha provocado que se haya desviado la atención de los recursos hídricos en favor de los de tipo superficial y que se hayan construido importantes obras hidráulicas, embalses superficiales, a través de la Diputación Foral de Alava, desestimando unos recursos que, bien utilizados, podrían ser de mucho mayor provecho.

La razón entre el agua consumida por los cultivos frente al agua que se les aplica es muy alta, pero también muy variable. Las necesidades de los cultivos suelen ser fijas y determinables en función de parámetros climáticos y del suelo (tal y como se tiene en cuenta en las determinaciones de la ETP y ETR). Sin embargo, los diferentes sistemas de riego y drenaje del suelo pueden permitir aplicaciones del agua muy superiores a los consumos reales y producir retornos importantes que se incorporan al sistema de recursos hidráulicos mediante acequias colectoras o se infiltra en el acuífero a través del suelo.

La eficiencia del riego, considerada como la relación entre el agua consumida y la aplicada, varía entre ciertos márgenes ya establecidos, entre 0.6 y 0.8 como cifras más generales (IGLESIAS, 1985). Las mayores eficiencias (0.8) se consiguen con los riegos por aspersión, que son los de uso generalizado en nuestro área.

La dotación necesaria para satisfacer las necesidades de los cultivos se ha evaluado en 90 mm. en la región al E de Vitoria y en 130 mm. al O, considerada como diferencia entre las ETP y ETR respectivas. El riego se efectúa principalmente en la región oriental, y tomando el valor de m.=0.1 para esta zona, supondría un descenso del nivel piezométrico en toda esta subunidad acuífera de unos 9 m. si se regase el 100 por 100 de su superficie. Estos descensos se sumarían a los provocados por el agotamiento de los recursos en los períodos de estiaje.

A la vista de este último resultado, es obvio que si aumenta de manera desmedida la superficie del terreno a regar, los descensos pueden ser serios y llegar a ser generalizados. Dado que el espesor medio del aluvial es en esta subunidad de 6 m., resulta claro que el acuífero sería capaz de garantizar el regadío de una superficie teórica máxima del 65 por 100, de modo que en este punto se agotarían totalmente todos los recursos y todas las reservas. La superficie regable utilizando estas aguas subterráneas necesariamente ha de ser menor. La regulación de la superficie de cultivos susceptible de regadío, y que de hecho se suele regar, se realiza a partir de las necesidades de la demanda de los productos agrícolas en cuestión, sin tener en cuenta las posibilidades del acuífero, que al parecer se consideran ilimitadas. Este hecho puede ser fuente de problemas de tipo económico de difi-

cil evaluación, aunque probablemente de cierta importancia.

Una vez más, resulta patente la necesidad del establecimiento de una regulación, por parte de quien corresponda, de la utilización de los recursos hídricos subterráneos teniendo en cuenta la magnitud de su disponibilidad juntamente con los factores que se consideran de una manera convencional.

De las líneas anteriores puede inferirse cierta desviación de la línea original de estudio científico del Cuaternario de Vitoria. Sin embargo, se ha incluido este apartado porque, tal y como señala IGLESIAS (1985):

«Los usos del agua son parte prioritaria de cualquier estudio hidrológico. Pueden considerarse, además, el punto de partida de los planes hidrológicos y de cualquier intento de ordenación territorial.»

## 5. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se desprenden del presente estudio son las siguientes:

- El acuífero que aquí se ha denominado Cuaternario de Vitoria consta de dos subunidades con caracteres sedimentológicos, hidrogeológicos y geológicos en general, distintos.
- La geometría del acuífero corresponde al sellado parcial de una superficie de erosión previa con su correspondiente red fluvial. El espesor medio del acuífero es de 6 m. en la subunidad oriental y de 2-3 m. en la occidental.
- En la zona de estudio existe un período de varios meses al año en el que los excedentes del agua de precipitación son nulos, de forma que existe un déficit de agua para satisfacer las necesidades de la ETP de unos 100 mm. anuales.
- La infiltración directa a partir de la precipitación es del orden de 350 mm. anuales.
- El acuífero está perforado por un número relativamente grande de pozos de riego. Estos pozos tienden a ubicarse en áreas preferentes, de modo que su distribución es inhomogénea. El número de pozos aumenta cada año.

- Existe una circulación subterránea general hacia los principales cursos superficiales: de S a N y E a O en la subunidad oriental y de N a S y NE a SO en la occidental.
- La recarga del acuífero se realiza en parte a través de la precipitación que cae sobre él, y en parte a través de otros recursos de la cuenca del Zadorra (recursos que pueden ser superficiales o subterráneos).
- Las extracciones para el riego en la época de estiaje provocan la formación de distribuciones peculiares de las curvas isopiezas del manto acuífero.
- En su conjunto, el acuífero presenta unos recursos hídricos de unos 14 Hm<sup>3</sup> y unas reservas totales de unos 40 Hm<sup>3</sup>.
- La contaminación de las aguas hace necesario el establecimiento de un control con el fin de conservar las utilidades potenciales del acuífero con vistas a un futuro no lejano.
- Es necesario un control de la superficie de regadío en la Llanada Alavesa, teniendo en cuenta las posibilidades de la formación aluvial; de este modo se evitarían males económicos que pudieran no ser desdeñables y que no por ser hoy ajenos pueden serlo siempre.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a los profesores Hilario Llanos, de la Escuela de Magisterio de Vitoria, y J. J. Cruz Sanjulián, actualmente de la Facultad de Ciencias de Granada, por su lectura y comentarios al original. A Natalia, por su ayuda en el trabajo mecanográfico.

## BIBLIOGRAFIA

- ABALOS VILLARO, B. (1984 a): *Estudio geológico del flanco pasivo de la discordancia sin-tectónica de Miranda de Ebro en los Montes de Vitoria*. Memoria inédita, Dpto. de Geología UPV, 38 pp.
- ABALOS VILLARO, B. (1984): *Geología Histórica de la transversal Anticlinal de Ocio-Montes de Vitoria-Diapiro de Murguía (Alava)*. Memoria inédita, Dpto. de Geología UPV, 60 pp.

ABALOS VILLARO, B. (1987): *Controles, facies y relación con el tectonismo de los abanicos aluviales. Estudio tectono-estratigráfico de los materiales aluviales oligocénicos de los Montes de Vitoria Occidentales*. Estudios del Instituto Alavés de la Naturaleza, 2, 91-137.

AMIOT, M. (1982): *El Cretácico Superior de la región Navarro-Cántabra*. In: *El Cretácico de España*, U. C. M., pp. 88-111.

BASTIDA, F. (1967): *Nuevas aportaciones al estudio espeleológico de la Sierra de Badaya*. Estudios del Grupo Espeleológico Alavés, t. IV (1966-67, 1967-68). Consejo de Cultura de la Diputación Foral de Alava, pp. 9-45.

BENAVENTE HERRERA, J., CALVACHE QUESADA, A., y FERNANDEZ GUTIERREZ, R. (1982): *Evolución hidrogeológica de un acuífero costero (Delta del río Guadalfeo, Granada)*. Boletín del ITGE, t. 93, fasc. II, pp. 1-16.

BENAVENTE HERRERA, J., y FERNANDEZ RUBIO, R. (1983): *Hidrogeología del acuífero de la Vega de Almuñécar (Granada)*. Bol. del ITGE, t. 94, fasc. 3, pp. 32-43.

CASTANY, G. (1971): *Tratado práctico de las aguas subterráneas*. Ed. Omega, 672 pp., Barcelona.

CASTANY, G. (1975): *Prospección y explotación de las aguas subterráneas*. Ed. Omega, 738 pp., Barcelona.

CUSTODIO, E., y LLAMAS, M. (1976): *Hidrogeología subterránea*, vol. II, Barcelona.

DAVIS, S. N. & DE WIEST, R. (1971): *Hidrogeología*. Ed. Ariel, 563 pp., Barcelona.

ERASO, A., y LLANOS, A. (1961): *El karst subyacente de Apodaca y otras zonas próximas*. Bol. de la Institución Sancho el Sabio, Vitoria.

GARCIA RODRIGO y FERNANDEZ ALVAREZ (1972): *Estudio geológico de la provincia de Alava*. Mem. del ITGE, t. 83, Madrid.

IGLESIAS LOPEZ, A. (1985): *Filosofía de los modelos para la satisfacción conjunta de las necesidades de agua. Modelos de regulación-garantía (REGA)*. Bol. del ITGE, t. 96, fasc. 2, pp. 44-50.

IGLESIAS LOPEZ, (A.) (1985): *Usos y aplicaciones del agua en España*. Bol. del ITGE, t. 96, fasc. 5, pp. 44-72.

MARTIN, RAMIREZ DEL POZO, PORTERO, AGUILAR y LEAL (1978): *Plan MAGNA, Hoja 138: «La Puebla de Arganzón», y memoria*. Publ. del ITGE, Madrid.

MIALL, A. D. (1978): *Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary*. In: A. D. MIALL (Ed.): *Fluvial Sedimentology*, pp. 597-604. Can. So. Petrol. Geol. Mem., 5.

MORA HURTADO, P., y VILLANUEVA, M. (1968): *Estudio hidrogeológico general de la provincia de Alava*. División de aguas subterráneas del ITGE, Madrid.

MORENO CALVILLO, I.; PULIDO BOSCH, A., y FERNANDEZ RUBIO, R. (1983): *Hidrogeología de las sierras de María y del Maimón (Provincia de Almería)*. Bol. del ITGE, t. 94, fasc. 4, pp. 43-60.

PORTERO, J. M.; CARRERAS SUAREZ, F.; DEL OLMO, P.; RAMIREZ DEL POZO, J.; AGUILAR, M. J., y LEAL, M. C. (1978): *Plan MAGNA, Hoja 113: «Salvaterra», y Memoria*. Publ. del ITGE.

RAMIREZ DEL POZO, J. (1973): *Síntesis geológica de la Provincia de Alava*. Institución Sancho el Sabio, 66 pp. Vitoria.

RAMIREZ DEL POZO, J.; DEL OLMO, P.; AGUILAR, M. J., y LEAL, M. C. (1978): *Plan MAGNA, Hoja 112: «Vitoria» y Memoria*. Publ. del ITGE, Madrid.

STRAHLER, A. N. (1981): *Geografía física*. Ed. Omega, 767 pp., Barcelona.

Original recibido: Febrero de 1988.

Original aceptado: Diciembre de 1988.

## AGUAS SUBTERRANEAS

# Formación travertínica de Puente San Pedro (Guadalajara).

## Edad, ambiente de formación y evolución.

Por F. LOPEZ VERA y J. MARTINEZ GOYTRE (\*)

## RESUMEN

En los valles fluviales del borde entre la Ibérica y la Fosa del Tajo, son frecuentes las formaciones travertínicas, cuyo significado geológico ha sido interpretado hasta ahora de muy diversas formas. Mediante radiocarbono y relación de desequilibrio de uranio, se han datado en Puente San Pedro dos episodios principales de crecimiento de los travertinos y un tercer episodio probable, con edades de hasta 200.000 años. Se relacionan los períodos de crecimiento de los travertinos con cambios climáticos y la evolución geomorfológica de los valles fluviales con apoyo de datos isotópicos de oxígeno-18 y carbono-13.

Palabras clave: Sedimentación fluvial, Holoceno, Travertino, Terraza, Datación, Provincia Guadalajara, Río Tajo.

## ABSTRACT

In the rivers valleys on the border, is usual former the travertine, between the Iberian Range and the Tagus Basin. We studied this travertine layer, building in Puente San Pedro. Radiocarbon dating was used to determine the age of the younger layers, while uranium disequilibrium was used to date the older ones. We identified two episodes of growth from 200000 years ago. We linked this episodes growth with climatic changes and geomorphological valley evolutions using isotopic measurements of O-18 and C-13.

Key words: Fluvial sedimentation, Holocene, Travertine, Terraces, absolute age, Guadalajara province, Tagus river.

## INTRODUCCION

Los estudios sobre geología del Cuaternario tienen como uno de sus principales problemas la variabilidad y dificultad de interpretación de sus sedimentos, la gran mayoría continentales. Por ello, no es de extrañar que, para el estudio de temas concretos, como la paleoclimatología, se haya recurrido al análisis de sedimentos marinos profundos y la estratigrafía isotópica de microfósiles, de donde han surgido los principales progresos en este campo de los últimos veinte años (SHACKLETON y OPDYKE, 1973).

Algunos investigadores del Cuaternario han querido encontrar en el estudio de espeleotemas las respuestas a múltiples cuestiones. En efecto, el análisis de secciones de crecimiento de espeleotemas bien conservados e inalterados en el interior de las cavernas, han permitido el establecimiento de reconstrucciones paleoclimáticas pre-

cisas o el de las fluctuaciones eustáticas en el caso de Karts costeros (BRADLEY, R. S., 1985).

Otros autores pretenden ver en las formaciones travertínicas los depósitos cuaternarios continentales idóneos. Las formaciones travertínicas son acumulaciones minerales, comúnmente de carbonatos, bioconstruidas por plantas inferiores y superiores (por lo que a veces se habla de edificios), que encierran información geológica, paleopolínica, paleobotánica, paleofaunística..., y que las modernas técnicas geoquímicas e isotópicas permiten datar y analizar con relativa facilidad.

Algunos autores denominan estas formaciones «tobas», aunque nosotros reservamos esta denominación sólo para los depósitos volcánicos. Los travertinos presentan diversas facies sedimentarias y estructuras, aunque la composición mineralógica suele ser constante.

Los depósitos travertínicos son, en su mayoría, del Cuaternario, aparecen básicamente en ver-

tientes y fondos de valle. Su formación depende de factores geológicos, hidrológicos, geoquímicos y climáticos. Los factores geológicos los constituyen la existencia de formaciones calcáreas o yesíferas próximas, el diastrófismo y la evolución geomorfológica. Los factores hidrológicos más influyentes son el régimen fluvial y la evolución del nivel de base y freático en los acuíferos kársticos. Los factores geoquímicos principales son los que determinan la movilización y precipitación del carbonato cálcico y de ciertos elementos traza, como el uranio. Por último, en cuanto a los factores climáticos, se suele interpretar que el cese de construcción de travertinos en áreas geográficas extensas, es debida a cambios climáticos, mientras que perturbaciones locales son debidas a cambios geológicos o hidrológicos.

Aparte de los métodos estratigráficos para establecer la edad relativa de los edificios travertínicos, los métodos usuales de datación son mediante el radiocarbono, en la materia orgánica incluida en el depósito, con un límite fiable de da-

tación de hasta 35.000 años B. P. o mediante la serie de relaciones de actividades de uranio/thorio, mejor conocida como de desequilibrio de uranio, cuyo límite de datación es diez veces mayor que el del carbono-14, esto es, 350.000 años.

Es una constante, por lo menos en el suroeste de Europa, el que se hayan reconocido sólo tres episodios fundamentales de crecimiento de travertinos, de edades inferiores a 320.000 años, si bien numerosos autores «intuyen» la existencia de depósitos más antiguos, actualmente desmantelados y otros suelen incluir un cuarto nivel que se forma en la actualidad.

De las diversas formaciones travertínicas identificadas en la península, aquí nos ocupamos de los afloramientos estudiados en el borde norte de la fosa del Tajo, en el contacto con la Cordillera Ibérica, donde hemos estudiado y datado los afloramientos de Puente de San Pedro en la confluencia del río Gallo con el Tajo, comparando estos afloramientos con los estudiados por otros autores, en la cuenca del río Tajuña, río Cifuentes, o en la cuenca del río Guadiela (fig. 1).

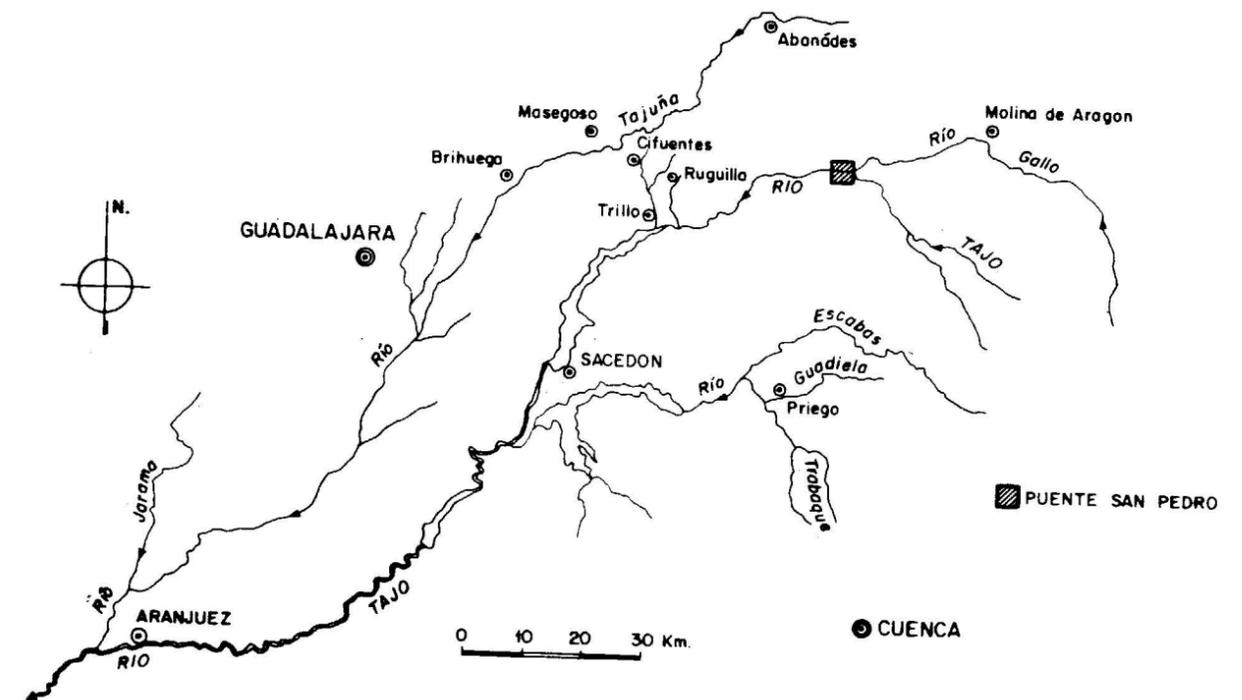


Figura 1.—Esquema de situación de los afloramientos citados.

(\*) Cátedra de Geodinámica. C-VI. Universidad Autónoma de Madrid. 28049 Madrid.

### FORMACIONES TRAVERTINICAS DEL BORDE NORTE DE LA CUENCA DEL TAJO

A pesar de lo espectaculares que resultan los edificios travertínicos, son pocos los autores dedicados a su estudio. De forma específica, lo estudiaron en 1970 VIRGILI, C., y PEREZ GONZALEZ, citando los afloramientos de Cifuentes, Priego y Alcantud. En este trabajo, generalizan la existencia de dos «terrazas» travertínicas bien diferenciadas, morfológica y litológicamente, situando la base del travertino superior de 20 a 30 metros sobre el nivel actual de los ríos y el techo de 60 a 70 metros. Mientras que el nivel inferior lo sitúan desde el nivel del río hasta 25 metros por encima de él. Estos autores interpretan los depósitos travertínicos como debidos a un cambio climático, destacando en ellos fenómenos de gelivación y rubefacción. Asimismo, intentan correlacionar estos niveles con las terrazas fluviales.

En otro trabajo, PEREZ GONZALEZ, A., y VIRGILI, C. (1975) hacen un estudio más detallado de los afloramientos de Priego, insistiendo en el significado paleoclimático de los depósitos, su génesis lacustre, correlacionándolas con los niveles de terrazas entonces conocidos y estableciendo la siguiente secuencia de acontecimientos:

- Depósito del Travertino Superior (proceso de crioturación, solifluxión y gelivación de las gravas basales). Würm antiguo (o Riss?).
- Proceso de karstificación y rubefacción. Deformación del travertino superior. Flora de regiones con clima templado cálido.
- Desarrollo de coluviones de origen local.
- Formación del travertino inferior. Clima frío y seco. Würm reciente.
- Depósito de la terraza baja. Holoceno.

Para obtener estas conclusiones se apoyan tanto en su análisis como en las determinaciones paleobotánicas de FERNANDEZ MARRON, M. T. (1975) y de MELENDEZ AMOR, J. (1970), esta última incluye una datación mediante radiocarbono de los travertinos de Esteras de Medinaceli, de 10.000 años B. P. (edad sin corregir mediante C-13), correlacionable con el nivel inferior de PEREZ GONZALEZ y VIRGILI (op. cit.).

ORDOÑEZ, S., y GONZALEZ, J. A. (1979) estudian los travertinos existentes en la margen de-

recha del río Tajuña, situados entre Brihuega y Masegoso (fig. 1), su estudio se centra en la génesis de los travertinos de cascada y su composición mineralógica, descartando cualquier significado paleoclimático de los mismos y relacionándolos exclusivamente con la evolución del nivel freático de los acuíferos. Posteriormente, ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ, J. A., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1981) continúan su estudio aguas arriba, entre Masegoso y Abánades (fig. 1), esta vez estudiando génesis y petrología de los travertinos fluviales, vinculados a su lecho de inundación. En este trabajo diferencian diversas facies por el tipo de moldes de plantas o sus partes, que integran el travertino, igualmente, aportan datos de  $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$  de los travertinos. Es de destacar que estos autores, aparte del nivel de travertino más bajo, fluviales, en los ocho afloramientos de travertinos de cascada situados en las vertientes, encuentran entre uno y cuatro niveles diferentes de difícil correlación, situados entre +12 metros en Civica a +110 metros en Villaviciosa de Tajuña.

Los mismos autores, ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ MARTIN, J. A., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1987), estudian los edificios travertínicos del río Cifuentes, entre Cifuentes y Trillo, y el Ruguilla, entre Ruguilla y Santa María de Ovila. En esta zona reconocen tres episodios de crecimiento. El más antiguo en la cuenca del río Ruguilla, con predominio de travertinos de origen fluvial y situado a +130 metros sobre el río Tajo. El episodio travertínico intermedio lo localizan a lo largo del río Cifuentes, entre Cifuentes y Trillo, donde predominan los travertinos de cascada. Y, por último, un episodio de crecimiento travertínico que se dispone a lo largo de los ríos Cifuentes y Tajo, de origen fluvial predominantemente. Estos tres episodios lo relacionan con cambios climáticos, asignándolos a períodos de «mayor humedad».

### LAS FORMACIONES TRAVERTINICAS DE PUENTE SAN PEDRO

Situados en el área cercana al eje de la rama castellana de la Cadena Ibérica, los afloramientos travertínicos aparecen conectados con las series carbonatadas mesozoicas, bien representadas en este área.

Aunque la serie estratigráfica en esta zona abarca materiales comprendidos entre el Paleozoico y el Cenozoico, es en los valles profundamente encajados en materiales carbonatados mesozoicos donde se instalan edificios tobáceos asociados a surgencias kársticas y fondos de valle.

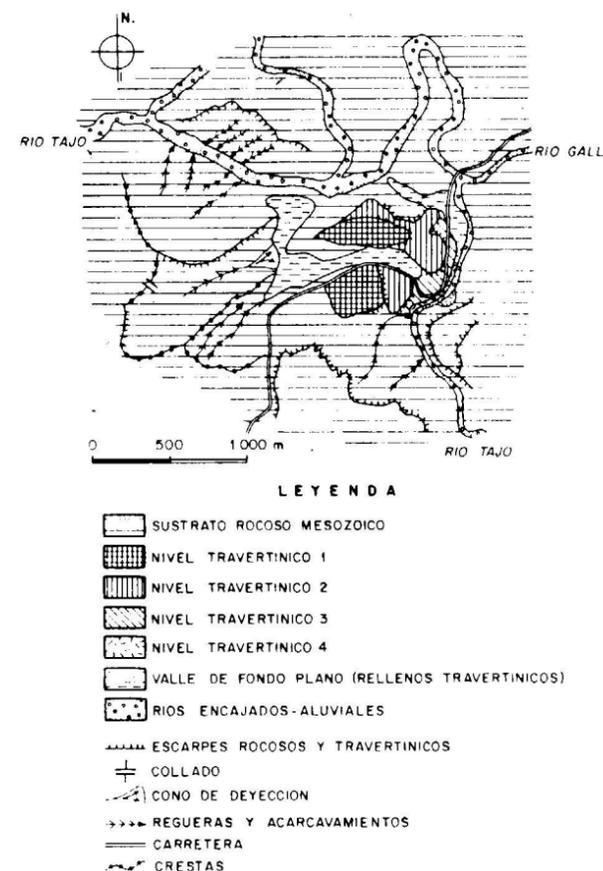


Figura 2.—Esquema geomorfológico de Puente San Pedro.

Los materiales jurásicos en esta zona corresponden al Lías y al Dogger, tratándose de depósitos margosós y calcáreos. El Cretácico está representado en su base por materiales detríticos pertenecientes al Albense (arenas en «facies Utrilla») que descansan discordantemente sobre el Jurásico. Sobre ellas se dispone una serie calcolomítica muy potente.

Los depósitos cuaternarios en esta zona se describen, además de aluviones y coluviones, como terrazas, ya sean fluviales o travertínicas.

En la confluencia del río Tajo con el río Gallo (fig. 1), al SO de Molina de Aragón, y siguiendo el curso del río Tajo aguas arriba a lo largo del valle, encajado unos 300 metros, aparecen una serie de masas travertínicas de extensión y potencia variables, «colgadas», en las márgenes del valle a diferentes alturas sobre el nivel actual del río.

En la margen izquierda del río la disposición de los travertinos se adapta a un sistema de «terrazas» escalonadas, mientras que en la margen derecha la presencia de travertinos es menor y, además, no se dan estos escalonamientos, pues únicamente aparecen en pequeñas manchas o retazos cercanos al nivel actual del río.

Siguiendo la carretera de Torrecilla del Pinar a Zaorejas, pasado Puente San Pedro en dirección a esta última localidad, la carretera corta un gran edificio travertínico sobre el que se labran diversas superficies, no siendo visible la base excepto junto al río.

Litológicamente aparecen en un orden aparentemente confuso junto a travertinos de cascada, las más abundantes en los niveles altos con claudas láminas de 8 a 10 cm. de espesor, relacionados con surgencias kársticas, travertinos fluviales con diversas facies de tubos verticales, cruzados, detríticos con aspecto coluvionar e incluso verdaderas lutitas.

Morfológicamente, los travertinos aparecen escalonados mostrando en su techo superficies con gradientes muy bajos, pero no coincidentes en todos ellos. Por similitud con las terrazas fluviales consideramos la superficie más alta o nivel 1 (figs. 2 y 3), como el más antiguo, situado a +130 metros sobre el cauce actual, el nivel 2 muestra dos superficies con un escalón o salto de unos 4 ó 5 metros, se sitúa a +90 metros sobre el nivel del río, mientras que el nivel 3 está a +50 metros. El substrato no aflora entre estos edificios travertínicos. En su masa se encuentran intensamente karstificados con profusión de desarrollo de conductos y espeleotemas; sin embargo, son raras las formas exocársticas. Ello es debido a la gran porosidad de su superficie.

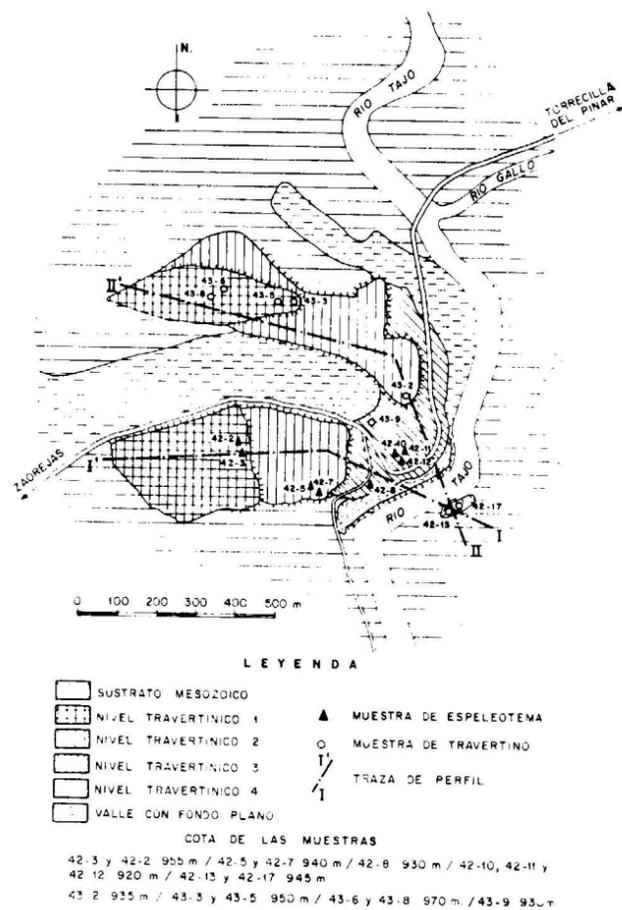


Figura 3.—Situación de las muestras estudiadas.

El nivel +4 sólo aparece en retazos discontinuos de mucho menor entidad que los anteriores de +3 a +10 metros, y en él predominan claramente los travertinos fluviales y no se observa karstificación.

Tal como se muestra en las figuras 3 y 4 se realizó un muestreo continuo teniendo en cuenta la morfología y la cota, tanto de los materiales travertínicos como de los espeleotemas.

#### EDAD DE LAS FORMACIONES TRAVERTINICAS DE PUENTE SAN PEDRO

Las muestras de travertinos de Puente San Pedro se han datado mediante el método de dese-

quilibrio en la serie de desintegración del uranio, también conocido como método  $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$ .

El método se basa en que la desintegración espontánea de U-238 y U-234 producen Th-230. En un sistema que contenga uranio y que no sea perturbado como el de las calizas cretácicas marinas, durante un período largo de tiempo, más de 500.000 años, se establece un equilibrio dinámico, de manera que los isótopos hijos se desintegran en la misma relación que los isótopos padres, en nuestro caso la relación de actividades Th-230/U-234 se mantiene constante con el tiempo. Si el medio es perturbado, la proporción relativa cambia, LALOV, C. (1985), HENTZCH et al. (1987). Durante la disolución de las calizas, los isótopos de uranio y thorio incluidos, se separan debido a su diferente comportamiento geoquímico. El uranio es relativamente soluble en forma de complejo en el agua, mientras que el Th es rápidamente adsorbido por los minerales de la arcilla y la materia orgánica, por lo que la solución queda libre de thorio. En el travertino, precipitado a partir de esta solución, se produce por desintegración radiactiva nuevamente Th-230 en desequilibrio, hasta que éste sea alcanzado de nuevo después de aproximadamente 500.000 años. Con la precipitación del travertino es como si se pusiese a cero el reloj geocronológico, que en nuestro caso tiene «cuerda» para 350.000 años.

El método de análisis radioquímico, así como su proceso e interpretación, se puede ver con más detalle en MARTINEZ GOYTRE, J., et al. (1988). El límite inferior de datación por el método de desequilibrio de uranio es de 10.000 años, por lo que para las muestras presumiblemente más jóvenes, del nivel 4 y 3, las datamos también con radiocarbono corrigiéndose la edad mediante carbono-13. El límite máximo de datación por éste método es de 35.000 años, haciéndose notar que en el margen de solape cronológico de ambos métodos no se suele obtener coincidencia, bien por exceso o por defecto.

Las muestras se tomaron con especial cuidado, para evitar pérdida de uranio o contaminación por thorio, por redisolución y reprecipitación de carbonatos. Se tomaron sólo las partes más puras y densas, eliminándose mecánicamente las partes meteorizadas.

Los resultados obtenidos se exponen en la ta-

TABLA I

Datos radioquímicos y edad de las muestras de Puente San Pedro

Número muestra	Observaciones	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U} \pm \sigma$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U} \pm \sigma$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	Edad (Ka) $\pm \sigma$	Edad (Ka) Detr. correc. $\pm \sigma$
42-2	NT1	$1.11 \pm 0.02$	$0.94 \pm 0.05$	1.93	257 $^{+74}_{-43}$	194 $^{+18}_{-3}$ (??)
42-3	NT1	$1.40 \pm 0.13$	$0.73 \pm 0.06$	14.51	128 $^{+24}_{-19}$	
42-5	NT2	$1.23 \pm 0.02$	$0.48 \pm 0.01$	2.78	70 $^{+2}_{-2}$	50 $^{+6}_{-1}$
42-7	NT2	$1.12 \pm 0.06$	$0.71 \pm 0.04$	1.80	130 $^{+19}_{-15}$	78 $^{+10}_{-9}$
42-8	NT3	$1.54 \pm 0.04$	$0.07 \pm 0.002$	8.64	<10	
42-10	NT3	$1.43 \pm 0.04$	$0.09 \pm 0.01$	9.88	<10	
42-11	NT3	$1.45 \pm 0.03$	$0.07 \pm 0.005$	7.86	<10	
42-12	NT3	$1.42 \pm 0.04$	$0.09 \pm 0.01$	4.24	<10	
42-13	NT3	$1.43 \pm 0.06$	$0.10 \pm 0.01$	5.64	<10	
43-2	NT2	$1.32 \pm 0.05$	$0.54 \pm 0.03$	23.91	80 $^{+6}_{-6}$	
43-3	NT2	$1.44 \pm 0.32$	$0.57 \pm 0.10$	9.92	88 $^{+22}_{-21}$	82 $^{+20}_{-17}$
43-5	NT2	$1.87 \pm 0.21$	$0.64 \pm 0.06$	27.31	99 $^{+16}_{-14}$	
43-6	NT1	$1.22 \pm 0.06$	$0.66 \pm 0.05$	9.45	110 $^{+15}_{-13}$	103 $^{+8}_{-4}$
43-8	NT1	$1.19 \pm 0.03$	$0.77 \pm 0.03$	8.69	151 $^{+17}_{-14}$	141 $^{+7}_{-5}$ (?)

bla I, donde, junto a la denominación de la muestra, se incluye una indicación de su procedencia, la medida de la relación de actividades de U-234/U-238 y de Th-230/Th-234 sirve como indicador de la existencia de thorio detrítico, si ésta es menor de 10 debe realizarse la corrección de detríticos, tal como aparece en la última columna de la tabla I, a no ser que la edad sin corregir sea menor de 10.000 años, caso de las muestras 42-8 a 42-13.

La muestra 42-2 del nivel 1, que es la de edad más antigua, era relativamente porosa, lo que la hace sospechosa de que exista pérdida de

uranio, por lo que de ser así la edad obtenida sería superior a la real.

La tabla II muestra los resultados de las dataciones mediante radiocarbono, siendo de destacar lo relativamente reciente que son las muestras 42-12, 42-13 y 42-17.

De estos datos se distinguen tres poblaciones diferentes:

- a) Muestras con edades inferiores a los 10.000 años, todas ellas pertenecientes al nivel 3 y 4.

TABLA II

Datos de edad de radiocarbono de travertinos y espeleotemas de Puente San Pedro

Número muestra	Observaciones	Actividad p.c.m.	Edad B.P.	<sup>13</sup> C P.D.B.	<sup>18</sup> O P.D.B.
43 - 9	Techo Nivel 3 (Dep. Lacustre)	3,9±0,6	23.100±1.000	-7,47	-6,92
42 - 10	Espeleotema N-3	57,0±0,7	4.514± 100	-6,80	-6,20
42 - 12	Travertino N-4	93,1±0,9	570± 80	-5,25	-6,03
42 - 13	Travertino N-4	87,7±1,0	1.050± 90	-6,96	-6,43
42 - 17	Travertino N-4	79,9±0,7	1.800± 65	-5,22	-5,67
42 - 8	Espeleotema N-3	1,6±0,4	33.200±2.000	-9,53	-6,69

- b) Muestras con edades comprendidas entre 80.000 y 100.000 años, pertenecientes a los niveles 1 y 2.
- c) Muestras individualizadas más antiguas 43-2 y 43-8 del nivel 1.

Esto pone en evidencia el que, aunque morfológicamente hayamos diferenciado cuatro niveles, éstos se corresponden sólo con dos períodos de crecimiento. El primero de edad entre 80 y 100 Ka, se corresponde con los niveles 1 y 2, que de hecho constituyen un depósito continuo, aunque presente tres superficies diferentes (figuras 2 y 3).

El segundo, menor, de 10 Ka, se corresponde con los niveles 3 y 4 separados en algunos lugares por un breve episodio erosivo, que deja al descubierto el sustrato (fig. 4 a y b).

Las muestras del grupo c) dejan abierta la hipótesis de un tercer episodio de crecimiento del travertino, cuyo edificio ha sido parcialmente demantelado por la erosión.

La muestra 41-5, correspondiente a un espeleotema en una caverna del nivel 2, nos señalan una fase de karstificación hace unos 50 Ka, al igual que sobre el nivel 3 se señala una fase de karstificación hace 4,5 Ka (muestra 42-10, tabla II).

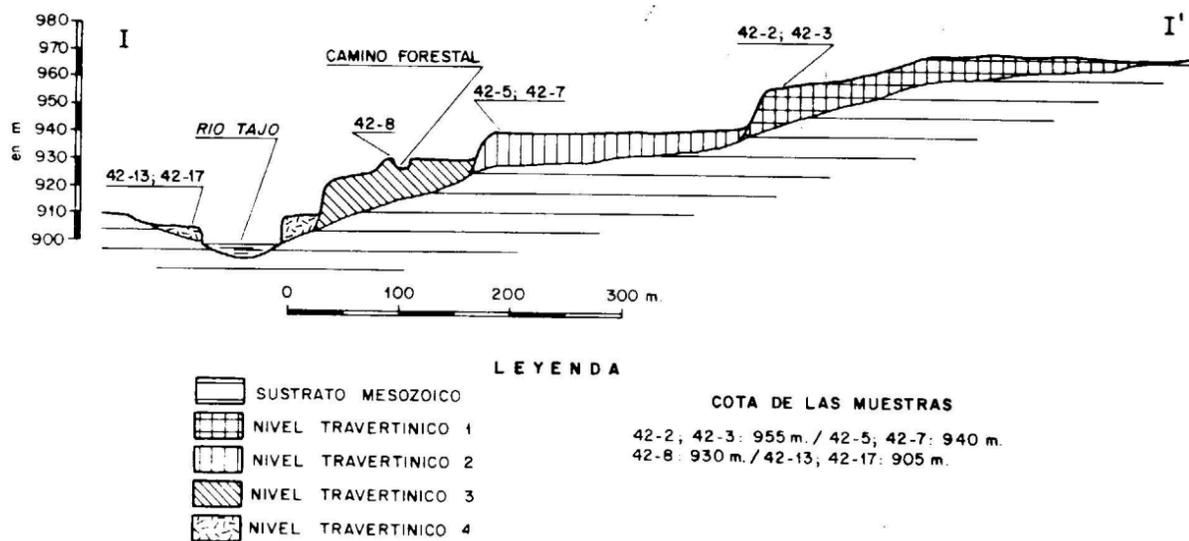


Figura 4a.—Perfiles de los edificios travertínicos con la situación de las muestras.

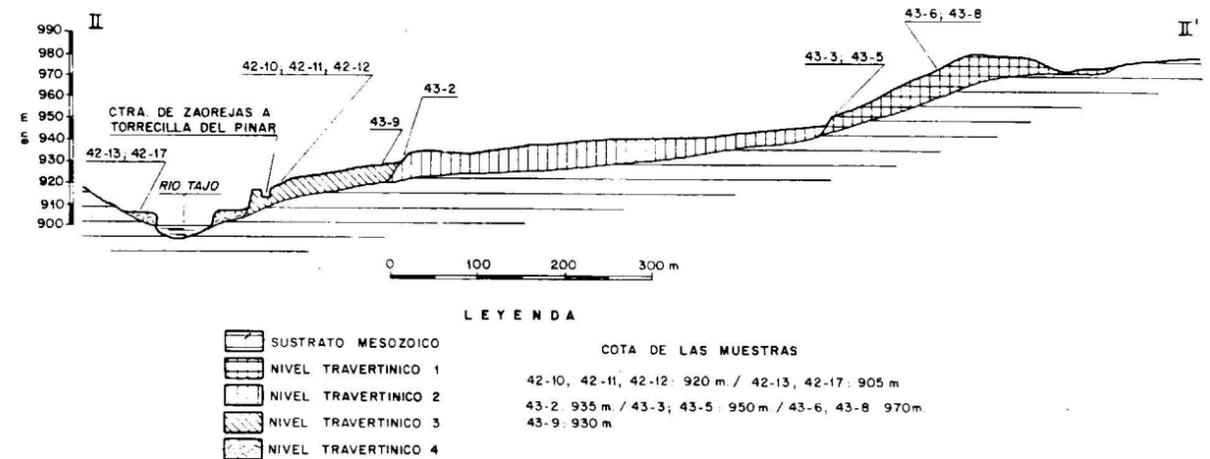


Figura 4b.—Perfiles de los edificios travertínicos con la situación de las muestras.

La muestra 43-9, correspondiente a depósitos lacustre de materia orgánica, bajo el nivel 3, nos señala la existencia de condiciones claramente lacustres antes del crecimiento de este edificio, hace 23 Ka.

Por último queda señalar la discrepancia de edad obtenida por el método de desequilibrio de uranio y de radiocarbono para la muestra 42-8, apareciendo tres veces más antigua la edad obtenida por radiocarbono.

AMBIENTE DE FORMACION Y EVOLUCION

En la figura 5 se han representado los principales eventos identificados en Puente San Pedro, en relación con la escala cronoestratigráfica y estratigrafía isotópica, según SHAKLETON et al. (1973) y los estadios de avance y retroceso de los glaciares alpinos. De dicho gráfico se destaca que los dos períodos de crecimiento bien identificados coinciden con períodos de retroceso de los glaciares y estadios isotópicos pares definidos por EMILIANI, coincidiendo con la generalización ya establecida por HENNING, G. J. et al. (1983), y con los resultados que obtuvimos en las lagunas de Ruidera, MARTINEZ GOITRE, J., et al. (1988). El tercer episodio de crecimiento, y más antiguo es incierto y coincidiría con el final de un avance glaciar. También es de

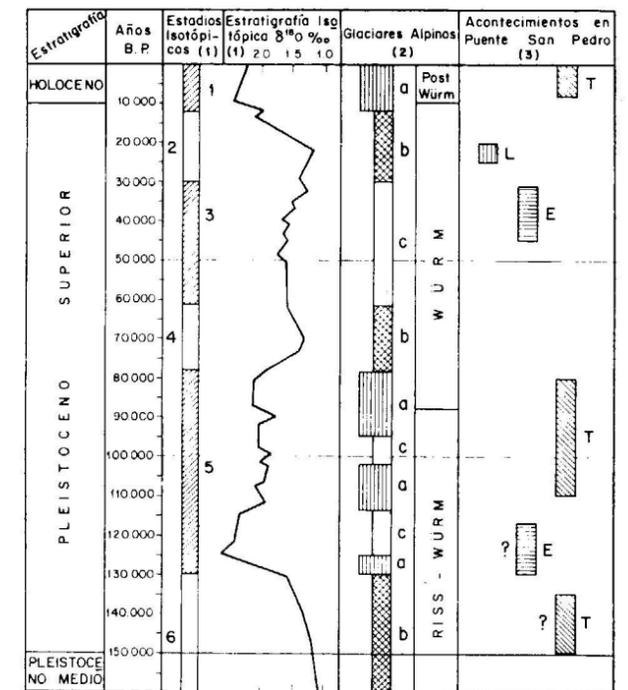


Figura 5.—Ambiente de formación de los travertinos de Puente San Pedro.

destacar la existencia de períodos de karstificación y crecimiento de espeleotemas, coincidiendo con episodios de interestadio y alternando con los de crecimiento de travertinos.

La estratigrafía isotópica nos permite caracterizar algo más el ambiente, los valores  $\delta^{18}\text{O}$  menores corresponde con períodos más fríos. Para el área mediterránea la mayoría de los autores aceptan como principal factor climático los cambios de humedad con pequeñas inflexiones de temperatura. Desde el punto de vista isotópico, cada estadio lo podemos subdividir en dos períodos, uno seco y otro húmedo, teniendo en cuenta el control que ejerce la humedad sobre el  $\delta^{18}\text{O}$ , produciéndose estas variaciones en el mismo sentido que la temperatura.

Llama la atención la alternancia de períodos de crecimiento de travertinos y espeleotemas, ambos en estadios isotópicos impares, o sea en períodos interestadiales o de retroceso glaciario, pero en períodos de contenido isotópico diferente, de acuerdo con MARTINEZ TUDELA, A., et al. El crecimiento de travertinos coincide con los períodos interglaciares húmedos y más frescos, si bien esto no se cumple para el estadio isotópico 3, pero hay un elemento diferenciador de éste en relación con los estadios 1 y 5, y es que en el estadio 3 no hubo un calentamiento tan fuerte que produjera importantes retrocesos glaciares y por tanto liberación de grandes volúmenes de agua (fig. 5). En general, con estos depósitos se cumple la ley general de acreción y erosión de sedimentos fluviales con las pulsa-

ciones climáticas. Y éstas con la evolución morfológica de los valles. Períodos de excavación del fondo del valle que provocan el descenso del nivel de base kárstico y el vaciado de los acuíferos y la descarga por sugerencias antiguas situadas a cotas diferentes y más altas, lo que daría lugar a la construcción de edificios travertínicos de cascadas asociadas, a diferentes alturas y con la misma edad, como ocurre en Puente San Pedro y mucho más evidentemente en el valle del río Tajuña, entre Brihuega y Masegoso. Mientras, que las facies de travertinos fluviales están ligados al nivel fluvial y los episodios lacustres.

Los episodios climáticos generales pueden quedar parcialmente enmascarados por las condiciones locales del valle, hecho que queda mucho mejor puesto en evidencia por la flora y la fauna contenida en los travertinos, como ponen de manifiesto MENENDEZ AMOR, J. (1970), FERNANDEZ MARRON, M. T. (1975) y MARTINEZ-TUDELA, A., et al. (1986).

Los datos isotópicos disponibles de los travertinos de Puente San Pedro (tabla II) y los ríos Tajuña y Dulce (tabla III), no son concordantes en cuanto a C-13, lo que nos indica condiciones florísticas diferentes, pero en cuanto al O-18 son mucho más concordantes. Los contenidos isotópicos de los travertinos de cascada del río Tajuña y de Puente San Pedro, son comparables isotópicamente. Los valores más negativos obtenidos en los travertinos fluviales del Tajuña y río Dulce, quizá sea debido al efecto cinético en

TABLA III

Datos de isótopos estables en materiales de tres facies diferentes, según ORDOÑEZ, S., et al. (1981)

Número muestra		$\delta^{13}\text{C}$ P.D.B.	$\delta^{18}\text{O}$ P.D.B.	
1	Tallos verticales	-9,1	-7,4	} Travertinos fluviales Tajuña
2	Tallos cruzados	-8,5	-7,1	
3	Facies con hojas	-8,9	-7,3	
4	Tobas de cascata de Tajuña	-8,4	-6,9	} Travertinos cascadas Tajuña
5	Tobas de cascata de Tajuña	-8,8	-7,5	
6	Tobas de cascata de Tajuña	-6,4	-6,9	
7	Tobas terciarias	-8,0	-6,4	Terciario Madrid
8	Carbonatos actuales del Río Dulce	-7,4	-7,6	} Río Dulce
9	Estromablites Oncolitos	-8,3	-8,1	

el fraccionamiento, al evaporarse las aguas superficiales en condiciones de no equilibrio. La interpretación de estos datos de O-18 y C-13 es compleja, por lo que se aborda con mayor extensión en otro trabajo, LOPEZ VERA, F. (1988).

## CONCLUSIONES

- En Puente San Pedro se han identificado dos episodios generalizados de crecimiento de travertinos, uno de menos de 10.000 años, y otro entre 80 a 110 Ka, coincidentes con los datos a escala hemisférica para el sur de Europa de HENNING, G. J. et al. (1983), y que son correlacionables con los depósitos del río Trabaque, en los alrededores de Priego, y del Tajuña, entre Brihuega y Abánades. Así como con los de la misma edad de las lagunas de Ruidera, Beceite (Teruel) o los identificados por CRUZ SAN JULIAN (1981) en los afloramientos de Serrato y Río de la Venta. En Puente San Pedro no existe coincidencia entre el nivel morfológico y la edad del edificio, al igual que pensamos ocurre en el valle del río Tajuña para los travertinos de las vertientes. Pero sí existe esta relación en el nivel más bajo, constituido fundamentalmente por travertinos fluviales.
- En Puente San Pedro no se ha identificado con seguridad un tercer episodio más antiguo, por encima de los 130 m., al igual que tampoco lo pudimos identificar con seguridad en las lagunas de Ruidera, pero sí identificado por MARTINEZ-TUDELA, A. et al., en la cuenca del río Matarraña (Beceite - Teruel) y al cual podrían pertenecer los travertinos del río Ruguilla, descritos por ORDOÑEZ et al. (1987).
- Parece existir una alternancia entre fases de construcción de edificios travertínicos y de karstificación y crecimiento de espeleotemas, alternantes en el tiempo y no coincidentes, aunque ambos en estadios interglaciares, pero en condiciones del espectro de la estratigrafía isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  diferentes.
- Las condiciones locales de cada valle introducen factores climáticos de control orográfico propios, lo que puede enmascarar las condiciones climáticas generales. Esto hace

que el registro de construcción de travertinos no sea completo ni continuo en todas las localidades. Así, por ejemplo, en Puente San Pedro no se ha identificado ningún crecimiento de travertinos correspondiente al estadio isotópico 3 (30.000 a 60.000 años), como cabría esperar.

NOTA.—Este trabajo forma parte del Proyecto de Investigación núm. PR83-3494-C05-01, «Paleoclimatología de la Meseta Sur», subvencionado por la CAICYT.

## BIBLIOGRAFIA

- BRADLEY, R. S. (1985): *Quaternary Paleoclimatology*. Ed. Allen and Unwin. London, ps. 472.
- CRUZ-SAN JULIAN, J. (1981): *Evolución geomorfológica e hidrogeológica reciente en el sector Teba-Cañete la Real (Málaga) a la luz de la datación de formaciones travertínicas*. Rev. Bol. Geol. y Min., t. 92, IV, pp. 39-50. Madrid.
- FERNANDEZ MARRON, M. T. (1975): *Nota sobre la flora cuaternaria de las terrazas travertínicas de Priego (Cuenca)*. I Centenario de la Real Soc. Española de Historia Nat., t. I, pp. 135-138, CSIC.
- HENNING, G. J.; GRUN, R., and BRUNNACKER, K. (1983): *Speleothems, Travertines and Paleoclimates*. Rev. Quaternary Research, 20, pp. 1-19.
- LALOV, C. (1985): *Les méthodes de datation par les déséquilibres dans les familles de l'uranium*. En: *Méthodes de datation par les phénomènes nucléaires naturels applications*. Ed. Roth, E., et Poty, B., pp. 107-202. Ed. Masson. Paris.
- LOPEZ VERA, F. (1988): *Significado paleoambiental de los isótopos estables de oxígeno y carbono en espeleotemas y travertinos de la Meseta Sur española*. Bol. Geol. Min. (en prensa).
- LOPEZ VERA, F., y MARTINEZ GOYTRE, J. (1988): *Edad radiogénica y estratigráfica isotópica de los edificios travertínicos del Puente de San Pedro (Guadalajara)*. Mem. II Congreso Nacional de Geología. Granada.
- MARTINEZ GOYTRE, J.; HENTZSCH, B.; LOPEZ-VERA, F., y MARTINEZ FRIAS, J. (1987): *Edad de las terrazas y diques travertínicos de las Lagunas de Ruidera y sus implicaciones paleoclimáticas*. Rev. Estudios Geológicos (en prensa).
- MARTINEZ-TUDELA, A.; ROBLES CUENCA, F.; SANTISTEBAN BOVE, C.; GRUN, R., y HENTZSCH, B. (1986): *Los travertinos del río Matarraña, Beceite (Teruel) como indicadores paleoclimáticos del Cuaternario*. In: *Quaternary Climate in Western Mediterranean*. Edit. F. López Vera. UAM. pp. 307-324. Madrid.
- MELENDEZ AMOR, J. (1970): *Estudio paleobotánico de algunos travertinos españoles*. Estudios Geológ., XXVI.1, pp. 25-28, CSIC. Madrid.

ORDOÑEZ, S., y GONZALEZ, J. A. (1979): *Formaciones tobáceas del valle del río Tajuña entre Brihuega-Masegordo (prov. de Guadalajara)*. Rev. Estudios Geol., 35, pp. 205-212.

ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ, J. A., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1981): *Carbonatos fluviales paractuales en el valle del río Tajuña*. V. R. Grupo de Trabajo del Cuaternario. Memorias, pp. 280-293.

ORDOÑEZ, S.; GONZALEZ MARTIN, J. A., y GARCIA DEL CURA, M. A. (1987): *Formaciones travertínicas y tobáceas en el valle del Tajo (Sector Cifuentes-Trillo): Estudio geomorfológico, petrológico y sedimentológico*. Rev. Cuaternario y Geomorfología, vol. 1, pp. 231-245. Public. Asoc.

Esp. para estudio Cuaternario y Soc. Esp. de Geomorfología. Zaragoza.

PEREZ GONZALEZ, A., y VIRGILI, C. (1975): *Las terrazas travertínicas de Priego (Cuenca)*. Tomo Memom. Primer Centenario de la Real Soc. Esp. de Hist. Nat., t. I. Trabajos científicos de Geología, pp. 347-356, CSIC. Madrid.

SCHACKLETON, N. J., y OPDYKE, N. D. (1973): *Oxygen Isotope and Paleomagnetic Stratigraphy of Equatorial Pacific Cone. V. 28-238. Oxygen Temperatures and Ice, volumes on a 10<sup>5</sup> and 10<sup>6</sup> year scale*. Quat. Res. núm. 3, pp. 39-55. Seattle. U.S.A.

VIRGILI, C., y PEREZ-GONZALEZ, A. (1970): *Quelques travertins du rebord nord-est du bassin tertiaire du Tage*. Bull. Ass. de Geographes Franc., 377-378, 53-55.

Original recibido: Septiembre de 1988.

Original aceptado: Noviembre de 1988.

## Aptitud de perlitas riolíticas y pómez fonolíticas como soporte de especies químicas.

Por H. A. DESTEFANIS (1), V. ARAÑA (2) y J. G. VIRAMONTE (3)

### RESUMEN

Las perlitas riolíticas de La Puna (prov. de Salta, República Argentina) y las pómez fonolíticas de Tenerife (Islas Canarias, España) tienen propiedades físico-químicas que permiten su aplicación como soporte para especies químicas. Estos materiales aparecen ventajosos con respecto a otros soportes clásicos de catalizadores utilizados en la industria petroquímica. Esta ventaja es mayor en las pómez, porque las propiedades físico-químicas (porosidad adecuada, alta resistencia mecánica, superficie específica y grupos ilanoles-OH), necesarias para su aplicación, son características naturales del material, a diferencia de las perlitas que necesitan para adquirir estas propiedades tratamientos térmicos e hidrotérmicos.

Palabras clave: Perlita, Piedra pómez, Propiedad físico-química, Utilización sustancia, Salta (Argentina), Isla de Tenerife.

### ABSTRACT

Both, the rhyolitic perlites from La Puna (Salta Province, Republic of Argentina) and the phonolitic pumice from Tenerife (Canary Islands-Spain), have physico-chemical properties that enable them to be used as support for chemical products. These materials seem to have an advantage over other classical catalyst support used in the petrochemical industry. This advantage is higher as far as the pumice is concerned because the physico-chemical properties (adequate porosity, high mechanical resistance, specific surface and hydroxyl groups-OH), necessary for its use are natural characteristics of the material. On the contrary, perlites need thermal and hydrothermal processing to acquire such properties.

Key words: Perlite, Pumice, Physicochemical properties, Utilization, Salta (Argentina), Tenerife.

### INTRODUCCION

Es bien conocido que los catalizadores comerciales utilizados por la industria petroquímica, en cierto tipo de reacciones (MCMAHON, 1963) presentan serios problemas de rentabilidad y eficacia debido a la naturaleza del soporte. Estos problemas se originan por la baja calidad de parámetros tales como resistencia mecánica, superficie específica y el tamaño de poros, así como también la elevada compacidad que adquieren con la humedad. Entre los posibles sustitutos de estos soportes se encuentran determinados vidrios volcánicos (perlitas riolíticas y pómez fonolíticas), cuyos parámetros físico-químicos los hacen en principio aptos para

su utilización como soporte de especies químicas.

Las perlitas estudiadas constituyen coladas y domos, asociados principalmente al complejo volcánico Quevar, localizado en las cercanías de San Antonio de Los Cobres, en La Puna (Argentina). Constituyen un clásico distrito de perlitas del NO argentino denominado «Distrito Quirón», que produce la denominada «Perlita Verde».

Por su parte, las pómez estudiadas proceden de potentes mantos piroclásticos de proyección aérea, asociados a otros depósitos piroclásticos de flujo e ignimbríticos. Estos materiales cubren gran parte del sur de Tenerife en el Archipiélago Canario. La emisión de estas pómez está relacionada con las violentas explosiones que hace unos 0.2 m.a. culminaron la formación de la Caldera de Las Cañadas en las cumbres centrales de la isla (ARAÑA, 1971).

(1) INIQUI-UNSa-CONICET. Buenos Aires, 177. 4400 SALTA (Argentina).

(2) Dpto. de Geología. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. José Gutiérrez Abascal, 2. MADRID.

(3) Fac. Ciencias Naturales-UNSa-CONICET. Buenos Aires, 177. 4400 SALTA (Argentina).

PARAMETROS FISICO-QUIMICOS DE PERLITAS Y POMEZ

En el cuadro 1 se presentan los análisis químicos de los tipos litológicos representativos. Como puede observarse (fig. 1), las muestras analizadas corresponden a dos términos evolucionados de series volcánicas distintas, una de ellas saturada en SiO<sub>2</sub> (riolitas) y otra subsaturada en SiO<sub>2</sub> (fonolitas). El carácter peralcalino y peraluminico de estos magmas en uno y otro caso debe tenerse en cuenta por su posible inciden-

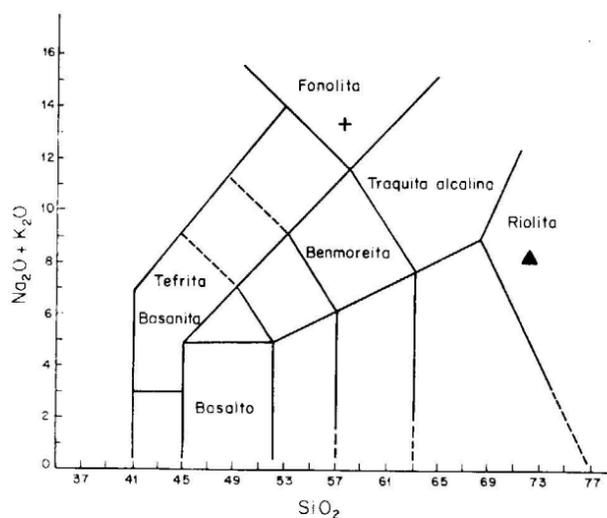


Figura 1.—Clasificación geoquímica de los materiales estudiados en el diagrama TAS de álcalis/silice (ZANETTINI, 1984). Pómez fonolítica de Tenerife (+). Perlita verde de La Puna, Argentina (▲).

cia en determinados parámetros físicos, así como en su volumen (ARAÑA et al., 1985). Las pómez corresponden a los términos más evolucionados de la diferenciación magmática en una serie basáltica alcalina (ARAÑA y BRANDLE, 1969), mientras que las riolitas en cambio aparecen como los términos finales de la evolución de magmas de la serie calcoalcalina rica en K (VIRAMONTE et al., 1984).

Petrográficamente, ambas rocas son vítreas, si bien engloban algunos minerales, casi siempre idiomorfos, aunque de pequeño tamaño. Las pómez incluyen cristales de plagioclasa, anortoclasa, anfíbol, clinopiroxeno, biotita y opacos. Asi-

CUADRO 1  
Análisis químico de los vidrios volcánicos.  
a) Pómez de Tenerife.  
b) Perlita verde de La Puna (Argentina).

	a	b
SiO <sub>2</sub> ... ..	56.73	74.14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	18.12	13.49
TiO <sub>2</sub> ... ..	0.39	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	1.65	0.66
FeO ... ..	1.22	—
MnO ... ..	0.23	0.10
MgO ... ..	0.39	0.13
CaO ... ..	0.61	0.59
Na <sub>2</sub> O ... ..	7.14	4.14
K <sub>2</sub> O ... ..	6.50	4.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ... ..	0.05	0.04
H <sub>2</sub> O ... ..	6.73	2.11
TOTAL ... ..	99.76	99.84

Anal. M. Vallejo. Dpto. de Geología. MNCN.

mismo, como accesorios están presentes esfena romboidal y apatito acicular. Las riolitas tienen como principal característica mineralógica la cristalización de escasos cristales de biotita, cuarzo y plagioclasa.

La estructura de estos materiales se estudió mediante espectroscopía de infrarrojo (I.R.), realizándose los espectros con la muestra diluida al 3:por 100 en peso en BrK y empastillado a una presión de 4,5 Tm.

En la figura 2 se muestra un espectro I.R. de los materiales. Del mismo se puede inferir que se trata de silicatos amorfos con un elevado grado de hidratación.

Se observa en el espectro una banda entre los 3.700 a 3.600 cm<sup>-1</sup>, correspondiente a grupos OH ligados al Si y OH por puente hidrógeno. A 1.640 cm<sup>-1</sup> aparece la banda correspondiente al agua de hidratación. Muestran también las absorciones correspondientes a los vidrios silíceos fundidos, cuya estructura consiste básicamente en una red desordenada de tetraedros no distorsionados de SiO<sub>4</sub>, a 800 cm<sup>-1</sup>, estrechamiento Si-O-Si intertetraedros y a 460 cm<sup>-1</sup> las deformaciones Si-O-Si. Las características morfológicas de los materiales fueron determinadas usando como técnica porosimetría de intrusión de Hg.

CUADRO 2  
Expresiones matemáticas y valores de los parámetros para cada propiedad. Pómez de Canarias

<b>Superficie específica</b>		
$Sg = Sg^0 + m \bar{Dp}$	Sg (m <sup>2</sup> /g); $\bar{Dp}$ (mm);	$Sg^0 = 4.57$ $m = 2.55$
<b>Radio medio de poro</b>		
$\bar{r} = \bar{r}_0 / (\bar{Dp})^n$	r (m); $\bar{Dp}$ (mm);	$\ln r_0 = -1.235$ $n = -0.556$
<b>Volumen específico</b>		
$Vg = Vg^0 / (\bar{Dp})^\alpha$	Vg (cm <sup>3</sup> /g); $\bar{Dp}$ (mm);	$\ln Vg^0 = 0.0976$ $\alpha = -0.264$
<b>Densidad aparente</b>		
$a = a^0 \cdot (\bar{Dp})^\beta$	$\rho_a$ (g/cm <sup>3</sup> ); $\bar{Dp}$ (mm);	$\ln \rho_a^0 = -0.458$ $\beta = 0.2$

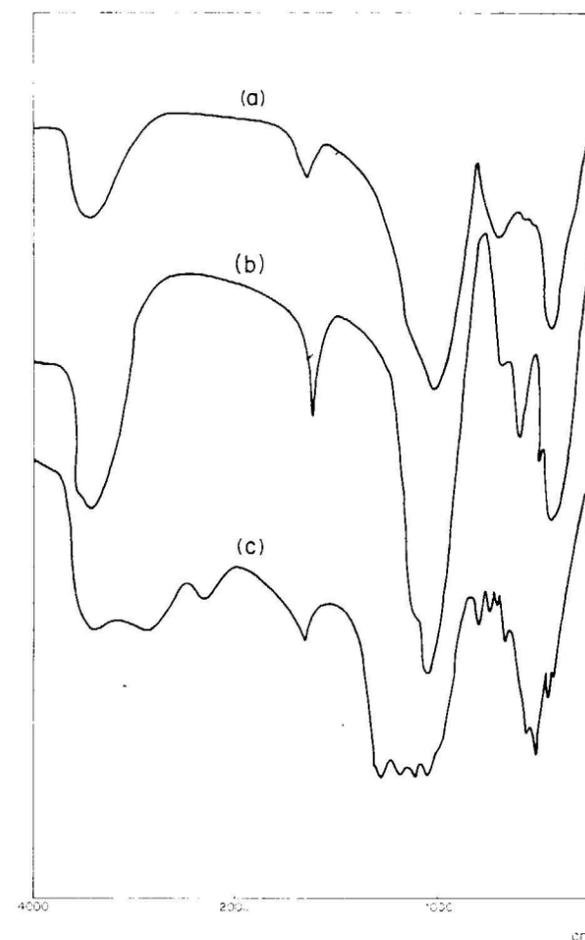


Figura 2.—Espectro de I.R.

- a) Pómez.
- b) Perlita deshidratada.
- c) PO<sub>4</sub>H<sub>3</sub> soportado sobre la pómez.

En la curva (b) se aprecia el ensanchamiento de la banda correspondiente a los grupos OH por superposición de los OH del fosfórico y las absorciones debidas a la formación de enlaces Si - O - P, P=O, P - O - P.

RESULTADOS Y DISCUSION

Las pómez poseen una estructura alveolar, por lo que no necesitan tratamiento térmico para obtener una estructura porosa y los materiales con morfología adecuada se obtienen por fractura y selección de tamaño de partícula.

A fin de determinar la aptitud morfológica de las pómez, se estudió la variación de estas propiedades en función del diámetro medio de partícula. En las figuras 3 a 7 se dan los resultados obtenidos, apreciándose una correlación entre pro-

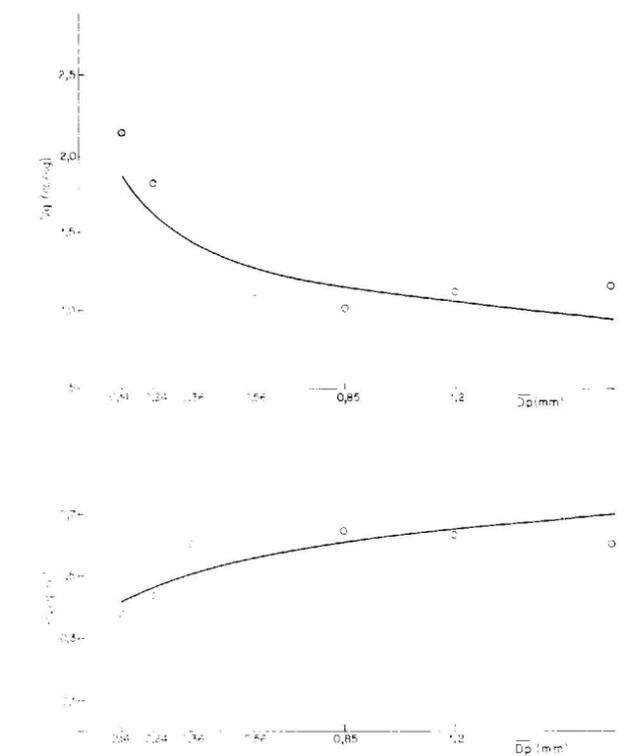


Figura 3.—Volumen específico/diámetro medio de partícula. En pómez fonolíticas de Tenerife.

Figura 4.—Densidad aparente/diámetro medio de partícula. En pómez fonolíticas de Tenerife.

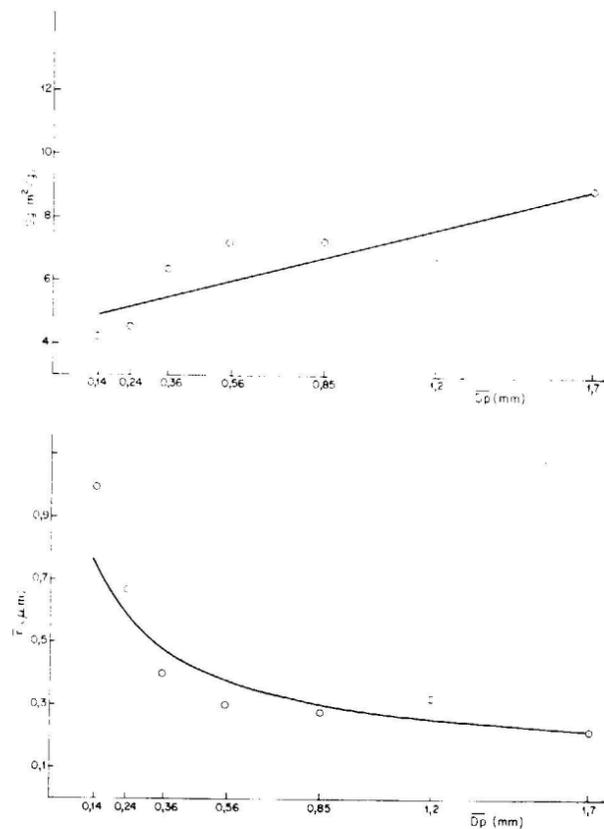


Figura 5.—Superficie específica/diámetro medio de partícula. En pómez fonolíticas de Tenerife.

Figura 6.—Radio medio de poro/diámetro medio de partícula. En pómez fonolíticas de Tenerife.

propiedades y diámetro medio de partícula que puede expresarse mediante expresiones fenomenológicas. El cuadro 2 muestra las expresiones matemáticas de las correlaciones y los valores de los parámetros para cada propiedad. En la figura 7 se da una curva característica de distribución de poros para una fracción determinada (10/14). Para las demás fracciones las curvas son similares, modificándose únicamente el radio medio, como se observa en la figura 6.

En el caso de las perlitas, la morfología del material depende de la variedad de rocas y de las condiciones en que se conduce el proceso térmico de expansión (DESTEFANIS et al., 1985). En las figuras 8 y 9 se muestran las caracterís-

ticas morfológicas que se obtienen a partir de la variedad verde de perlita mediante calentamiento en mufla a distintas temperaturas durante un tiempo de tratamiento de 15 minutos. La expansión de la perlita implica la pérdida de los grupos OH de los ilanoles, que son los que permiten la fijación de las especies activas. En consecuencia, para poder ser utilizadas como soporte deben ser rehidroxiladas. En la figura 2b se muestra el espectro I.R. del material tratado hidrotérmicamente, que es prácticamente igual al del material crudo.

Sobre ambos vidrios volcánicos se efectuó la impregnación con soluciones de ácido ortofosfórico y el tratamiento térmico para formar los enlaces de los grupos OH del fosfórico y los ilanoles del soporte. Los productos obtenidos tienen características químicas similares en cuanto a acidez libre, acidez total y especies formadas en la superficie, como se observa en los espectros de I.R. en la figura 2c.

### CONCLUSIONES

En vista de los parámetros físico-químicos de las pómez canarias y las perlitas argentinas, parece oportuno resaltar su gran similitud siendo, asimismo, comparables los parámetros morfológicos y estructurales (con superior resistencia mecánica en las pómez).

El principal rasgo diferencial es que las perlitas, una vez expandidas, pierden su hidratación primaria (grupos OH), con lo que se reduce su capacidad para interactuar en superficie con otras especies químicas. Esto exige realizar un proceso de rehidratación de las perlitas para su utilización como soporte de especies químicas.

Este proceso de rehidratación no es necesario con las pómez canarias, por lo que a su igualdad con las perlitas en cuanto a parámetros físico-químicos (composición, superficie específica y porosidad, principalmente) y su ventaja en cuanto a resistencia mecánica, se suma el ahorro de una fase importante (rehidratación) en la cadena industrial de su utilización como soporte.

Finalmente, los datos expuestos permiten supo-

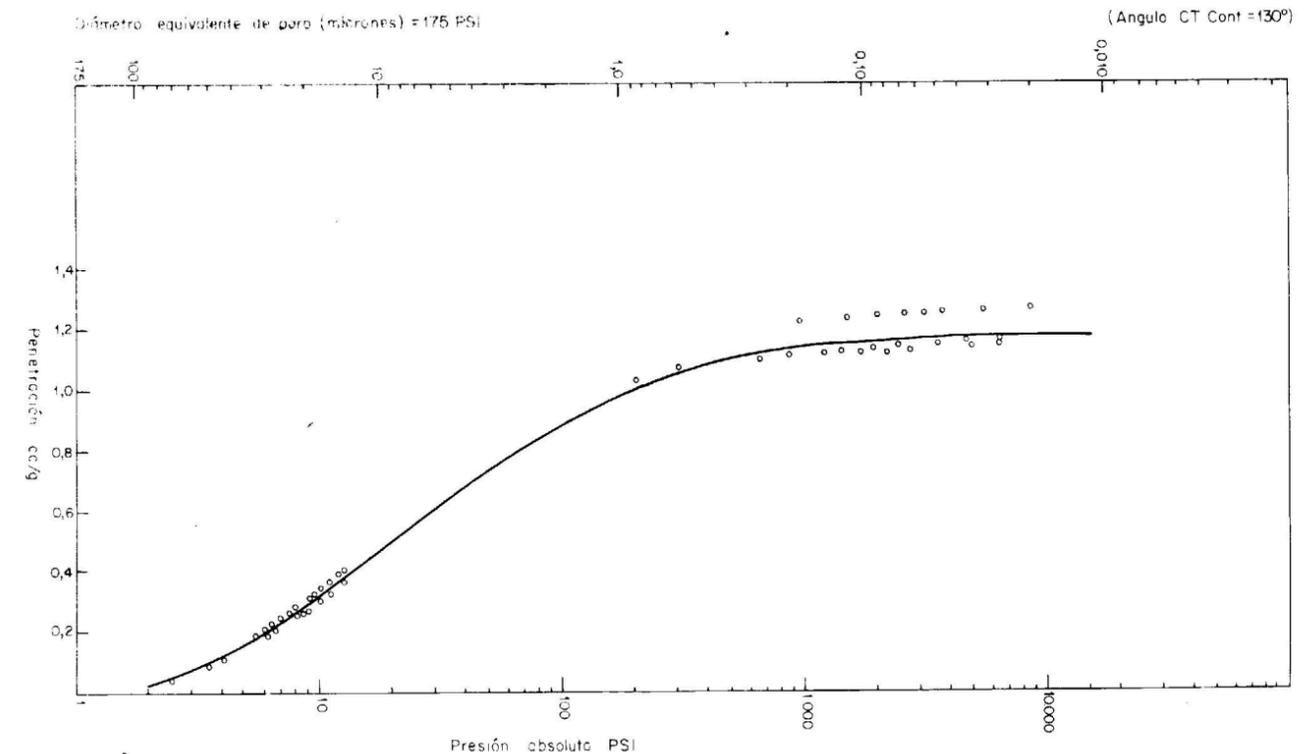


Figura 7.—Porosidad de la pómez fonolítica de Tenerife (fracción 10/14).

ner que la utilización de estos vidrios volcánicos, especialmente las pómez, como soporte de especies químicas —especialmente fosfórico (ver figura 2c)— tendría un alto interés económico, ya que resolvería ventajosamente el problema mecánico del soporte utilizado comercialmente (tierra de diatomeas), conservando las aptitudes catalíticas.

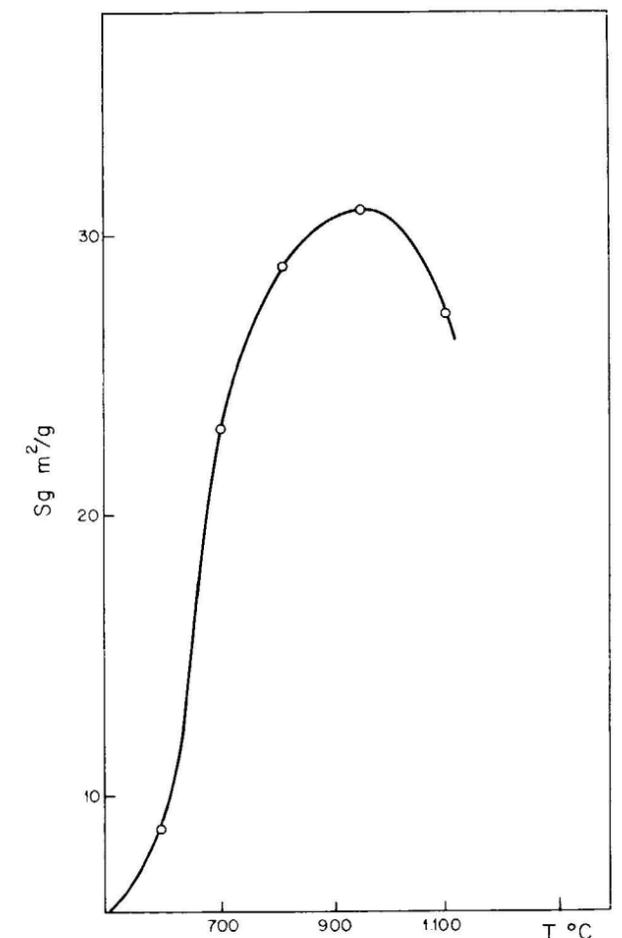


Figura 8.—Superficie específica versus temperatura en perlitas verdes de La Puna (t=15 minutos).

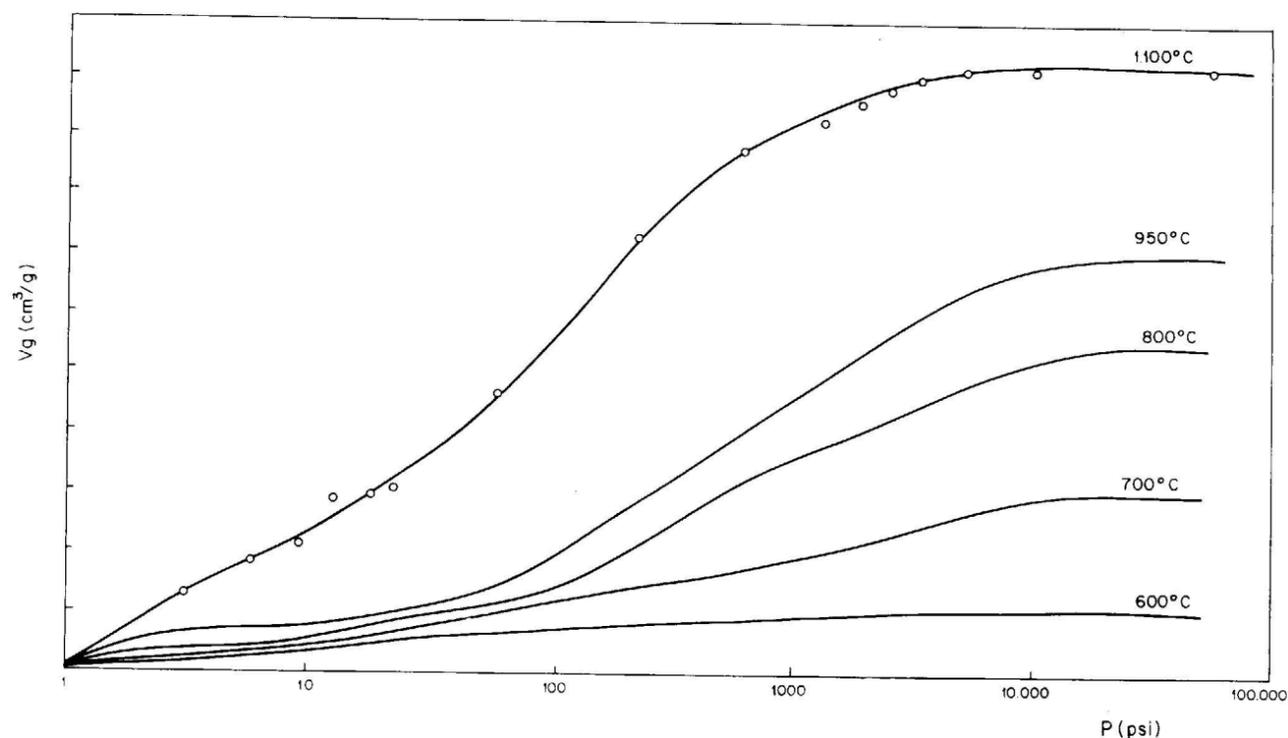


Figura 9.—Curvas de distribución de poros para distintas temperaturas de tratamiento en perlitas verdes de La Puna (t=15 minutos).

#### BIBLIOGRAFIA

ARAÑA, V. (1971): *Litología y estructura del Edificio Cañadas, Tenerife*. Estudios Geol., 27:95-135.

ARAÑA, V., & BRANDLE, J. L. (1969): *Variation trends in the alkaline silic rocks of Tenerife*. Bull. Volcanol., 33: 1145-1165.

ARAÑA, V.; BARBERI, F. & FERRARA, G. (1985): *Petrology and Geochemistry of Teide-Pico Viejo Volcanic Complex*. IAVCEI Sym. Sicilia, 1985. Vol. Abstracts.

DESTEFANIS, H. A.; ERDMAN, E. & VIRAMONTE, J. G. (1987): *Characterization of Expansive Volcanic Material (per-*

*lites) by I.R. spectroscopy and thermic analysis (T6 and DTA) Techniques*. Latin American Journal of Chemical Engineering and applied chemistry, 18(2):(in press).

MCMAHON, J. (1963): *Polymerization of olefins as a Refinery Process*. Advan. Petrol. Chem. Retining., 7:285-321.

VIRAMONTE, J. G.; OMARINI, R. H.; ARAÑA, V.; APARICIO, A.; GARCIA CACHO, L. & PARICA, P. (1984): *Edad, génesis y mecanismos eruptivos de las riolitas granatíferas de San Antonio de Los Cobres*. X Congr. Geol. Arg., 3:216-233.

ZANETTINI, B. (1984): *Proposed New chemical classification of volcanic rocks*. Episodes, 7:19-20.

Original recibido: Enero de 1989.

Original aceptado: Febrero de 1989.

## Evolución químico-termodinámica de la zonación mineralógica en el contacto de un cuerpo intrusivo básico (Trías de la Dorsal Bética).

Por J. POBLET y X. SOLANS (\*)

#### RESUMEN

Una evaluación Químico-Termodinámica ha sido efectuada sobre las fases producidas en la roca encajante por un pequeño cuerpo intrusivo de rocas básicas (ofitas) en el Trías de la Dorsal Bética.

El resultado de este estudio nos induce a considerar que la zonación mineralógica observada es producida por un proceso de metamorfismo, con una presión de 0.5 Kb y una temperatura desde el cuerpo intrusivo de 640 a 772.5 °K.

Aparece una zona alterada intermedia, con fases diferentes producidas por la presencia de agua.

Palabras clave: Metamorfismo contacto, Asociación mineral, Termodinámica, Metasomatismo, Arenisca, Ofita, Trías, Provincia Málaga.

#### ABSTRACT

A chemical-thermodynamic evaluation on the produced phases in a lutitic sandstones by a small intrusive body of basic rocks (ophites) in triassic materials of «Dorsal Bética» has been carried out.

From the obtained result, we assume that the mineralogical zonation is due by a contact metamorphism, with a pressure about 0.5 Kb and a temperature about 640-772.5 °K from the igneous body.

An altered intermediate zonation is explained by the presence of water in the process.

Key words: Contact metamorphism, Mineral assemblage, Thermodynamic properties, Metasomatism, Sandstone, Ophite, Triassic, Malaga Province.

#### INTRODUCCION

RUIZ-CRUZ y BARCELO (1984) han estudiado las mineralizaciones producidas sobre rocas triásicas (fundamentalmente arcillosas) por los episodios ígneos básicos («ofitas»), tan frecuentes en la cordillera Subbética. En un afloramiento localizado en el Km. 544.5 de la carretera que une los pueblos de Villanueva de Cauche a Colmenar (Málaga, España) encuentran en el contacto entre la roca ígnea y las areniscas que se han desarrollado una zona de alteración de potencia variable (inferior a 2 metros). Esta zona corresponde al límite E del sector occidental de las

Cordilleras Béticas y se encuentra en la denominada «Dorsal Bética» (DURAND-DELGA y FOUCAULT, 1967). El estudio de las mineralizaciones lo efectuaron por microscopía de lámina delgada, difracción de rayos X y por análisis químico. El resultado encontrado por RUIZ-CRUZ y BARCELO (1984) se muestra en la tabla 1.

El proceso, a partir de datos estratigráficos (SERRANO, 1975) se considera que no excede a la presión de 0.5 Kb, y es asignado por los anteriores autores a un metamorfismo de contacto seguido por un proceso de metasomatismo. La falta de concreción del proceso de metamorfismo, así como la total ambigüedad del subsiguiente proceso de metasomatismo, y la observación de la zona II, no explicada, en el precedente trabajo, ha suscitado a éste.

(\*) Dep. Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales. Universidad de Barcelona. Gran Vía, 585. 08007-Barcelona.

Mineralizaciones en la zona de contacto

TABLA 1

Roca Ignea	Zona I 0 m I	Zona II 1 m I	Zona III	Roca Inalterada 2 m I
Calcita	Calcita Clorita Cuarzo	Calcita Clorita	Calcita Clorita Cuarzo Albita Micas	Calcita Clorita Cuarzo Albita Micas
Albita	Cordierita Microclina Talco Epidota	Epidota Caolinita Serpentina Magnesita	Cordierita Microclina Talco Epidota	
Ortosa Anortita Olivino Magnetita Illita				

ESTUDIO TERMODINAMICO

Las fases que han sido consideradas son listadas en la tabla 2, con los valores de la entalpía, entropía y volumen molar utilizado; estos valores han sido tomados de HELGESON et al. (1978), HELGESON (1969) o han sido calculados a partir

de los trabajos de DEER et al. (1962) y DONNAY y ONDIK (1973).

El potencial químico standard de reacción que se ha considerado es igual a:

$$\delta\mu^* = \delta H - T \delta S + P \delta V + n_{H_2O} F_{H_2O} + n_{CO_2} F_{CO_2} \quad [1]$$

Fases mineralógicas consideradas con sus valores termodinámicos (I) en Kj · mol<sup>-1</sup>. (II) En Kj · mol<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>. (III) En Kj · mol<sup>-1</sup>Kb<sup>-1</sup>

TABLA 2

Fase	Fórmula	H (I)	S × 10 <sup>3</sup> (II)	V (III)
Cuarzo (Q)	SiO <sub>2</sub>	- 910.648	41.338	2.269
Albita (Ab)	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	-3931.621	207.150	10.025
Anortita (An)	CaAl <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	-4216.518	205.434	10.079
Microclina (Mi)	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	-3971.402	213.928	10.874
Muscovita (Mu)	KAl <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-5972.275	287.859	14.071
Biotita (Bi)	KFe <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-5155.504	398.317	15.432
Flogopita (Fl)	KMg <sub>3</sub> AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-6226.072	318.402	14.966
Clorita (Cl)	Mg <sub>5</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>3</sub>	-8841.616	445.596	21.150
Caolinita (Co)	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	-4109.613	203.050	9.952
Serpentina (Cr)	Mg <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	-4364.427	221.334	10.850
Talco (Ta)	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>	-5903.289	260.831	13.625
Diópsido (Di)	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	-3203.262	143.093	6.609
Hedenbergita (He)	CaFeSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	-2838.827	170.289	6.827
Epidota (Ep)	CaFeAl <sub>2</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH)	-6461.903	314.637	13.920
Clinozoisita (Cz)	Ca <sub>2</sub> Al <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH)	-6879.421	295.558	13.620
Cordierita (Cd)	Mg <sub>2</sub> Al <sub>4</sub> Si <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	-9134.505	407.229	23.322
Calcita (Cc)	CaCO <sub>3</sub>	-1208.222	92.676	3.693
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	- 393.505	213.635	
H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	- 241.818	188.698	

luego la hipótesis de que  $\delta C_p = 0$  ha sido tenida en cuenta, mientras que la expresión de  $F_{H_2O}$  y  $F_{CO_2}$  está listada para las presiones de 2, 4 y 6 Kbar en POWELL (1978), pero para la presión de 0.5 Kbar las hemos deducido a partir de la expresión:

$$F = r [T - 298 - T \ln (T/298)] + \int V(P, T) dP = r [T - 298 - T \ln (T/298)] + R T \ln f \quad [2]$$

siendo r para el H<sub>2</sub>O igual a -0.013 Kj y para el CO<sub>2</sub> -0.009 Kj (POWELL, 1978), y f la fugacidad, que para el caso del agua se han tomado los valores tabulados por HELGESON (1974) y para el CO<sub>2</sub> de MEL'NIK (1972) y SKIPPEN (1971). Obtenidos los valores de F, hemos efectuado la regresión para diferentes intervalos de temperatura para determinar los coeficientes a' y b', de modo que:

$$F_{fluido} = a' + b' T \quad [3]$$

Los diferentes valores determinados han sido listados en la tabla 3.

En una primera aproximación, y a fin de determinar las posibles transformaciones entre las distintas fases, hemos considerado las fases sólidas como puras, luego el coeficiente de actividad ha sido considerado unitario, mientras que las fases fluidas se ha considerado

$$R T \ln X_i = (20.8 - 0.015 T) (1 - X_i)^2 \quad [4]$$

(POWELL, 1978). Las reacciones consideradas

son listadas en la tabla 4, obteniéndose el diagrama de la figura 1. A fin de clarificar esta figura, se representa en la figura 2 un fragmento de ella.

TABLA 3

Coefficientes a' y b' de la expresión  $F = a' + b' T$ , para la presión de 0.5 Kb

Intervalo de temperaturas (grados K)	a'	b'
a) F <sub>H2O</sub>		
273- 373 ... ..	-42.2641	0.1161
373- 473 ... ..	-39.8459	0.1097
473- 573 ... ..	-36.8776	0.1034
573- 673 ... ..	-33.0424	0.0967
673- 773 ... ..	-25.3892	0.0854
773- 873 ... ..	-17.4752	0.0751
873- 973 ... ..	-14.9241	0.0722
973-1.073 ... ..	-14.1930	0.0714
1.073-1.173 ... ..	-14.2599	0.0715
b) F <sub>CO2</sub>		
273- 373 ... ..	-10.4016	0.0735
373- 473 ... ..	- 8.5244	0.0686
473- 573 ... ..	- 7.0221	0.0654
573- 673 ... ..	- 6.2134	0.0640
673- 773 ... ..	-22.9244	0.0883
773- 873 ... ..	-11.7626	0.0446
873- 973 ... ..	- 0.3962	0.0577
973-1.073 ... ..	- 6.9454	0.0646
1.073-1.173 ... ..	- 7.6079	0.0652

TABLA 4

Reacciones consideradas para elaborar la figura 1

- (1) 29 Q + 6 Cl = 8 Ta + 3 Cd + 16 H<sub>2</sub>O
- (2) 2 Cz + CO<sub>2</sub> = 3 An + 1 Cc + H<sub>2</sub>O
- (3) 7 Q + 5 Mu + 3 Cl + 8 Cc = 8 an + 5 Fl + 8 CO<sub>2</sub> + 12 H<sub>2</sub>O
- (4) 3 Co + 4 Cc = 2 Cz + 4 CO<sub>2</sub> + 5 H<sub>2</sub>O
- (5) 7 Q + 5 Mu + 3 Cl + 16 Cz = 32 An + 5 Fl + 20 H<sub>2</sub>O
- (6) 6 Q + 3 Mu + 4 Cc = 3 Mi + 2 Cz + 4 CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O
- (7) 2 Q + Mu + Cc = An + Mi + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O
- (8) 2 Q + Ta + 3 Cc = 3 Di + 3 CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O
- (9) 6 Q + Fl + 3 Cc = Mi + 3 Di + 3 CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O
- (A) 6 Q + Bi + 3 Cc = Mi + 3 He + 3 CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O
- (B) 2 Q + Mu + Cz = 4 An + Mi + 2 H<sub>2</sub>O
- (C) 2 Q + Mu + Cl = Fl + Cd + 4 H<sub>2</sub>O
- (D) 15 Q + 6 Mu + 2 Fl = 8 Mi + 3 Cd + 8 H<sub>2</sub>O
- (E) 4 Q + Fl = Mi + Ta



llas consideradas en la zona I. Ello nos hace concluir que en la zona II preexistía agua o proviene del agua producido en las reacciones, con lo que la zona III ha estado sometida a temperaturas inferiores a 618 °K o que filtraciones por la porosidad de la arenisca lutítica de un fluido hidrotermal coetáneo a la presencia del cuerpo intrusivo dio lugar a la zona II.

Finalmente, el estudio de las soluciones sólidas nos permite observar que las mineralizaciones en la zona I son más ricas en Mg que Fe, proporción que desciende a medida que nos alejamos del cuerpo intrusivo.

Un hipotético posterior proceso de metasomatismo como ha sido propuesto por RUIZ-CRUZ y BARCELO (1984), implicaría un medio difusor de iones en las tres zonas, lo cual no concuerda con la temperatura elevada del proceso, así como no es preciso para efectuar las mineralizaciones observadas, por ello preferimos desechar esta hipótesis.

#### BIBLIOGRAFIA

DEER, W. A.; HOWIE, R. A., y ZUSSMAN, J. (1962): *Rock forming minerals*, vols. 1, 2 y 3. Ortho and ring silicates. Ed. Longman, London.

DONNAY, J., and ONDIK, W. (1973): *Crystal data, deter-*

*minatives tables*, vol. II, U.S. Department of commerce, National bureau of standards. Committee on Powder Diffraction standards, New York.

DURAND-DELGA, M., y FOUCAULT, A. (1967): *La Dorsal Betique, nouvel element paleogeographique et structural des Cordilleres Betiques au sud de la Sierra Arana (prov. Granada, Espagne)*. Bull. Soc., Geol., France, t. IX.

HELGESON, H. C. (1969): *Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures*. Am. J. of Science, 267, 729-04.

HELGESON, H. C., and KIRKHAM, W. (1974): *Theoretical prediction of the thermodynamic behaviour of aqueous electrolytes at high pressures and temperatures. I Summary of the thermodynamic electrostatic properties of the solvent*. Am. J. of Science, 274, 10, 1089-1198.

HELGENSON, H. C., and KIRKHAM, W. (1978): *Summary and critique of the thermodynamic properties of the rock forming minerals*. Am. J. of Science, 278A, 1-229.

MEL'NIK, M. M. (1972): *Experimental data for reactions in silicates*. J. of Geol., 80, 436-478.

POWELL, R. (1978): *Equilibrium thermodynamics in petrology. An Introduction*, Harper and Row, Ltd. London.

RUIZ-CRUZ, M. D., and BARCELO, G. (1984): *Zonación mineralógica en el contacto de un cuerpo intrusivo básico (Tras de la Dorsal Bética)*. Bol. Inst. Geol. Min., t. XCV-III, 255-267.

SERRANO, F. (1975): *Estudio geológico del sector Colmenar-Villanueva del Rosario*. Tesis de licenciatura. Univ. de Granada.

SKIPPEN, R. (1971): *Experimental data for reactions in siliceous marbles*. J. of Geol., 79, 457-481.

Original recibido: Septiembre de 1988.

Original aceptado: Diciembre de 1988.

## INFORMACION

### La Industria Minera Española durante 1988: Avance.

Por E. RUIZ DE SOMAVIA CABELLO (\*)

El Producto Interior Bruto (PIB) español a precios de mercado creció durante 1988 un 5,0 por 100 en términos reales respecto al año anterior, alcanzando una cifra nominal de 39,6 billones de pesetas ( $39,6 \times 10^{12}$  pesetas), o lo que es lo mismo, 340.098 millones de dólares (\*\*). El crecimiento de los distintos sectores productivos fue bastante equilibrado, repartiéndose de la siguiente manera: el sector agrario y pesquero se incrementó un 3,7 por 100 respecto al año anterior, la industria tuvo un crecimiento real del 4,2 por 100, la construcción experimentó un importante aumento del 10,5 por 100, y el sector servicios creció un 4,6 por 100. Parece, pues, que se confirma la recuperación económica española, ya iniciada en 1986.

La composición sectorial del PIB a finales de 1988 se estructuró de la siguiente manera: sector agrario y pesquero, 5,3 por 100; industria, 30,2 por 100; construcción, 9,0 por 100; servicios, 60,1 por 100, y ajuste por impuestos a la importación, 1,6 por 100. De este porcentaje total hay que descontar el 6,2 por 100 correspondiente al ajuste por servicios bancarios.

(\*) Ingeniero de Minas. ENADIMSA.

(\*\*) 1 dólar de 1988 = 116,49 Pts. (media anual).

La tasa de inflación durante 1988, medida a través del índice de precios al consumo, fue del 5,8 por 100, lo cual supuso un importante incremento del 26,1 por 100 respecto al 4,6 por 100 registrado en el año anterior. Dicha tasa se situó en 2,8 puntos por encima del objetivo marcado por el Gobierno.

Midiendo la inflación en medias anuales, resulta que España —con un crecimiento del 4,8 por 100 durante 1988— logró reducir la tasa de 1987 (5,2 por 100), mejorando el diferencial español en un 1 por 100 respecto a los países de la OCDE y en un 1,4 por 100 respecto a la CEE.

La balanza comercial española registró en 1988 un déficit de unos 17.555 millones de dólares, lo cual supuso un incremento del 36,7 por 100 respecto al año anterior, pese a la reducción de 1.520 millones de dólares que se produjo en las adquisiciones petrolíferas.

Aun cuando en 1988 se ha vuelto a frenar, por cuarto año consecutivo, el proceso de destrucción de empleo, lo cierto es que el paro sigue siendo uno de los problemas más acuciantes con que se enfrenta la economía española. El número de desempleados durante 1986 fue de 2,86 millones de parados, siendo la tasa del paro del 18,5 por 100 de la población activa, frente al 20,5 por 100

de 1987. A pesar de que dicha tasa de paro es la primera vez que desciende del 20 por 100 desde hace cuatro años, lo cierto es que sigue siendo la más elevada de la Comunidad y muy por encima del 11,2 por 100 del conjunto de la CEE y del 7 por 100 de la OCDE.

#### ASPECTOS GENERALES DEL SECTOR MINERO ESPAÑOL

El valor estimado de la producción minera española durante 1988, si no se incluyen los hidrocarburos y el uranio, ascendió a unos 346.502 millones de pesetas (unos 2.975 millones de dólares de 1988), lo cual representó el 0,9 por 100 del PIB. Incluyendo hidrocarburos y uranio, el valor de la producción minera durante 1988 se elevó a

395.697 millones de pesetas (3.397 millones de dólares), lo que significó el 1,0 por 100 del PIB.

El valor de la producción minera española durante 1988 se incrementó un 3,6 por 100 respecto al año anterior, si se incluyen hidrocarburos y uranio, y experimentó un aumento de sólo el 1,6 por 100 si se descartan dichos productos.

Puede afirmarse, por otra parte, que la crisis que afecta al sector minero mundial ha tenido una clara repercusión en la minería española, habiéndose producido durante 1986 y 1987 un determinado número de conflictos que ha afectado de manera especial a la minería metálica, hecho que, en cierto modo, se ha suavizado algo durante 1988.

El resumen del valor de la producción minera durante 1988 y su comparación con el año anterior se recoge en el siguiente cuadro:

#### VALOR DE LA PRODUCCION MINERA ESPAÑOLA

	1987	1988 p	Variación (%)
Productos energéticos	226.471.531*	223.597.998*	- 1,3
Minerales metálicos	(185.583.823)**	(174.403.044)**	- 6,0
Minerales no metálicos	47.937.330	55.292.483	+ 15,3
Rocas industriales	42.036.322	40.354.869	- 4,0
	65.343.154	76.451.490	+ 17,0
TOTAL	381.788.337*	395.696.840*	+ 3,6
	(340.900.629)**	(346.501.886)**	+ 1,6

UNIDAD: 10<sup>3</sup> Pts.

FUENTE: Estadística Minera de España: Ministerio de Industria y Energía.

\* Incluidos hidrocarburos y uranio.

\*\* Sin incluir hidrocarburos y uranio.

p: Datos provisionales de la Dirección General de Minas (Ministerio de Industria y Energía)

NOTA:

El valor de los minerales no metálicos y de las rocas industriales se ha estimado.

La población ocupada en el sector minero durante 1987 —último dato conocido— y su comparación con la de 1986 se distribuyó de la siguiente manera:

	1986	1987	Variación (%)
Productos energéticos	55.484	51.094	- 2,6
Minerales metálicos	7.767	7.256	- 6,6
Minerales no metálicos	6.414	6.145	- 4,2
Rocas industriales	14.416	15.075	+ 4,6
TOTAL	81.081	79.570	- 1,9

El número de explotaciones del sector minero durante 1987 —último dato conocido— y su comparación con el del año anterior se distribuyó de la siguiente manera:

	1986	1987	Variación (%)
Productos energéticos	260	243	- 6,5
Minerales metálicos	56	45	- 19,6
Minerales no metálicos	256	245	- 4,3
Rocas industriales	3.515	2.963	- 15,7
TOTAL	4.087	3.496	- 14,5

El déficit del comercio exterior de materias primas minerales durante 1988 —sin incluir hidrocarburos— se situó, según datos provisionales, en torno a los 82.754 millones

de pesetas (710 millones de dólares), lo cual significó un incremento del 9,8 por 100 respecto al año anterior (ver cuadro adjunto).

#### COMERCIO EXTERIOR DE MINERALES

CONCEPTO	MILLONES DE PESETAS					
	IMPORTACIONES		EXPORTACIONES		SALDO	
	1987	1988*	1987	1988*	1987	1988*
Minerales energéticos **	43.372	45.558	4.561	1.899	-38.811	-43.659
Minerales metálicos	54.417	63.416	9.344	8.974	-45.073	-54.432
Minerales no metálicos	35.881	32.692	25.630	21.685	-10.251	-11.007
Rocas industriales	8.540	11.045	27.335	37.389	18.795	26.344
TOTAL MINERIA	142.210	152.701	66.870	69.947	-75.340	-82.754

FUENTE: Comercio Exterior de España: Dirección General de Aduanas.

(\*) Datos provisionales.

(\*\*) Incluye uranio, pero no hidrocarburos.

Nota.—No se incluyen las cenizas y residuos de minerales.

#### PRODUCTOS ENERGETICOS

La producción española de productos energéticos durante 1988 y su comparación con la de años anteriores, figura en el cuadro adjunto.

La producción de carbones durante 1988 se elevó a 31,96 millones de toneladas, lo que supuso un descenso del 7,6 por 100 respecto al año anterior. Los mayores descensos se produjeron en la extracción de lignito pardo (17,1 por 100 de disminución), hulla sub-bituminosa (3,7 por 100) y antracita (1,8 por 100). La producción de hulla experimentó, sin embargo, un incremento del 3,6 por 100.

El valor de la producción de carbones durante 1988 se elevó a unos 174.403 millones de pesetas (1.497 millones de dólares), lo que significó un descenso del 6,0 por 100 respecto al año anterior.

La producción española de carbón se ha multiplicado por 3 en la década 1974-1984, gracias al espectacular crecimiento habido en la extracción de lignito, es decir, hulla sub-bituminosa y lignito pardo, que, en el período citado, se elevó de 2,9 millones de toneladas a 24,5 millones de toneladas, experimentándose posteriormente un descenso en 1985 (23,57 millones de toneladas), en 1986 (22,42 millones de toneladas), en 1987 (20,49 millones de toneladas) y en 1988 (17,64 millones de toneladas). Una gran parte de la hulla se extrae en la Cuenca Central Asturiana y los mayores desarrollos en el campo de la antracita se han producido en las regiones de El Bierzo y Villablino, en la provincia de León. La casi totalidad del lignito pardo se obtiene en Puentes de García Rodríguez y en Meirama, en la provincia de La Coruña, y una proporción importante de la hulla sub-bituminosa se extrae en la provincia de Teruel.

## PRODUCTOS ENERGETICOS

	Unidad	1985	1986	1987	1988 p	Variación 1988/1987 (%)
Hulla ... ..	Toneladas	10.280.905	10.285.924	8.739.565	9.054.952	+ 3,6
Antracita ... ..	Toneladas	5.810.392	5.609.873	5.361.395	5.263.209	- 1,8
Hulla sub-bituminosa ... ..	Toneladas	6.279.524	5.897.535	4.863.039	4.683.111	- 3,7
Lignito pardo ... ..	Toneladas	17.292.434	16.527.183	15.626.963	12.960.217	-17,1
<b>TOTAL CARBONES</b> ... ..		<b>39.663.255</b>	<b>38.320.515</b>	<b>34.590.962</b>	<b>31.961.489</b>	<b>- 7,6</b>
Crudos de petróleo ... ..	Toneladas	2.088.248	1.805.115	1.639.994	1.468.307	-10,5
Gas natural ... ..	10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup>	272.596	383.807	750.344	948.041	+26,3
Uranio (concentrado) ... ..	Kg. de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	274.422	293.277	302.595	301.720	- 0,3
Otros productos energéticos ... ..	Toneladas	318.940	262.864	176.257	(e) 116.000	-34,2

FUENTE: «Panorama Minero 1987» (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE).

p: Datos provisionales de la Dirección General de Minas (Ministerio de Industria y Energía).

(e) Estimado.

La producción de crudos de petróleo durante 1988 se elevó a 1,47 millones de toneladas, lo cual significó un descenso del 10,5 por 100 respecto al año anterior. Su valor fue de unos 31.958 millones de pesetas (274 millones de dólares).

La producción de gas natural durante 1988 fue de 948 millones de metros cúbicos, lo cual supuso un incremento del 26,3 por 100 respecto al año anterior. Su valor fue de unos 15.705 millones de pesetas (135 millones de dólares).

La producción de concentrados de uranio durante 1988

alcanzó 301.720 kg. de un mineral con un contenido en U del 75,6 por 100, lo cual supuso una ligerísima disminución del 0,3 por 100 respecto al año anterior. Su valor ascendió a unos 693 millones de pesetas (6 millones de dólares).

## MINERALES METALICOS

La producción española de minerales metálicos durante 1988 y su comparación con la de años anteriores se recoge en el cuadro adjunto.

## MINERALES METALICOS

	Contenido	1985	1986	1987	1988 p	Variación 1988/1987 (%)
Hierro ... .. (1)	Fe	2.925.848	2.760.856	2.109.250	1.930.790	- 8,5
Pirita ... .. (1)	S	1.231.302	1.191.975	1.010.528	1.053.885	+ 4,3
Cobre ... .. (1)	Cu	60.960	51.084	16.213	13.830	-14,7
Plomo ... .. (1)	Pb	85.636	82.057	81.629	72.670	-1,0
Cinc ... .. (1)	Zn	234.695	233.307	272.556	274.711	+ 0,8
Estaño ... .. (1)	Sn	637	296	77	59	-23,4
Wolframio ... .. (1)	WO <sub>3</sub>	578	624	101	101	-
Mercurio ... .. (2)	Hg	45.045	42.657	45.575	37.975	-16,7
Oro ... .. (3)	Au	4.769	4.092	5.505	5.600	+ 1,7
Plata ... .. (3)	Ag	194.096	172.955	214.467	227.000	+ 5,8
Tántalo ... .. (3)	Ta <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.490	3.750	-	-	-
Otros minerales metálicos * ... .. (1)	-	6.009	5.596	4.767	(e) 5.000	+ 4,9

UNIDADES: (1) Toneladas (2) Frascos (1 frasco=34,47 kg.) (3) Kilogramos.

FUENTE: «Panorama Minero 1987» (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE).

p: Datos provisionales de la Dirección General de Minas (Ministerio de Industria y Energía).

\* Minerales brutos o preconcentrados tratados en otras explotaciones mineras.

(e) Estimado.

Como puede observarse, se ha producido durante 1988 un descenso en tonelaje respecto al año anterior en la producción de las siguientes sustancias: estaño (23,4 por 100 de disminución), mercurio (16,7 por 100), cobre (14,7 por 100), plomo (11,0 por 100) y mineral de hierro (8,5 por 100).

Experimentaron aumentos durante 1988 respecto al año anterior los siguientes productos: plata (5,8 por 100 de incremento), pirita (4,3 por 100), oro (1,7 por 100) y cinc (0,8 por 100).

La producción de wolframio durante 1988 se mantuvo al mismo nivel que el año anterior.

El valor de la producción de minerales metálicos durante 1988 se elevó a unos 55.292 millones de pesetas (475 millones de dólares), lo cual supuso un incremento del 15,3 por 100 respecto al año anterior.

La comparación del valor de la producción de minerales metálicos de 1988 respecto al año anterior arroja los siguientes resultados: se incrementaron el cinc (47,1 por 100 de aumento), el cobre (19,5 por 100), el conjunto de oro-plata (5,7 por 100) y la pirita (5,7 por 100), y disminuyeron el mercurio (16,7 por 100), plomo (5,5 por 100) y mineral de hierro (3,7 por 100). El estaño y el wolframio mantuvieron prácticamente su valoración.

## MINERALES NO METALICOS

Las principales producciones de minerales no metálicos durante 1988 y su comparación con la de años anteriores figura en cuadro adjunto.

La producción de potasas durante 1988 ascendió a 747.000 toneladas de K<sub>2</sub>O, lo cual supuso un incremento del 0,8

## PRINCIPALES MINERALES NO METALICOS

	Contenido	1985	1986	1987	1988 p	Variación 1988/1987 (%)
Potasas ... ..	K <sub>2</sub> O	658.863	701.953	741.242	747.000	+ 0,8
Cloruro sódico (1) ... ..	Mineral	2.693.508	2.582.133	2.651.267	3.124.000	+17,8
Arcillas especiales (2) ... ..	Mineral	491.129	667.986	627.022	715.000	+14,0
Magnesita calcinada ... ..	Mineral	173.927	177.681	127.375	142.000	+11,5
Espato-flúor ácido y metalúrgico ... ..	F <sub>2</sub> Ca	289.701	272.778	147.178	150.000	+ 1,9
Sulfato sódico (3) ... ..	SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub>	395.571	450.911	401.243	479.000	+19,4
Caolín lavado ... ..	Mineral	317.186	314.094	433.077	427.000	- 1,4
Feldespatos ... ..	Mineral	136.190	135.526	161.631	204.000	+26,2

UNIDAD: Toneladas.

FUENTES: «Panorama Minero 1987» (Instituto Tecnológico GeoMinero de España, ITGE).

p: Datos provisionales de la Dirección General de Minas (Ministerio de Industria y Energía).

(1) Sal gema, sal marina y sal manantial.

(2) Sepiolita, bentonita y attapulgita.

(3) Glauberita y thenardita.

por 100 respecto al año anterior; la de cloruro sódico —sal gema, sal marina y sal manantial— alcanzó 3.124.000 toneladas, con un aumento del 17,8 por 100 respecto a 1987; la de arcillas especiales —sepiolita, bentonita y attapulgita— se cifró en 715.000 toneladas (14,0 por 100 de incremento); la de magnesita calcinada fue de 142.000 toneladas (11,5 por 100 de aumento); la producción conjunta de espato-flúor ácido y metalúrgico ascendió a 150.000 toneladas de F<sub>2</sub>Ca (1,9 por 100 de incremento); la de sulfato sódico —glauberita y thenardita— se elevó a 479.000 toneladas (19,4 por 100 de incremento); la de caolín lavado ascendió a 427.000 toneladas (1,4 por 100 de disminución), y la de feldespatos a 204.000 toneladas (26,2 por 100 de incremento).

España produce, además, una larga serie de minerales no metálicos, de los que todavía no se dispone de los datos correspondientes a 1988. Entre estos minerales pueden citarse los siguientes: cuarzo (523.604 toneladas en 1987); esteatita (75.307 toneladas); arcilla refractaria (184.575 toneladas); piedra pómez (1.503.914 toneladas); estroncio (26.558 toneladas); ocre (6.323 toneladas); tripoli (44.864 toneladas); turba (67.401 toneladas) y barita (7.383 toneladas), entre los más destacados. Todos estos datos se refieren a 1987.

El valor estimado de la producción de minerales no metálicos durante 1988 se situó en torno a 40.355 millones de pesetas (346 millones de dólares), lo cual supuso una disminución del 4,0 por 100 respecto al año anterior.

**ROCAS INDUSTRIALES**

La producción española de rocas industriales es muy variada. Las explotaciones son, en general, de pequeña magnitud y se encuentran distribuidas por todo el territorio español para atender las necesidades locales. El valor estimado de la producción de 1988 se situó en torno a 76.451 millones de pesetas (656 millones de dólares), lo cual supuso un incremento del 17,0 por 100 respecto al año anterior.

Por sus posibilidades de exportación pueden destacarse las rocas ornamentales: pizarra, granito y mármol. Hay que subrayar el hecho de que las pizarras españolas ocuparon el primer lugar entre las sustancias minerales que se exportaron durante 1988, el granito ocupó el segundo lugar y el mármol el tercero.

**COMERCIO EXTERIOR**

Aunque ya se recogió en los aspectos generales de nuestro sector minero el comercio exterior de minerales a

nivel global, distribuido según los grandes subsectores mineros, se ofrecen ahora las importaciones y exportaciones españolas de los principales minerales.

Entre las principales sustancias que importó España durante 1988, figuran las siguientes: hulla, 45.529 millones de pesetas (391 millones de dólares); mineral de cobre, 22.489 millones de pesetas (193 millones de dólares); mineral de hierro, 16.185 millones de pesetas (139 millones de dólares); fosfatos, 15.956 millones de pesetas (137 millones de dólares), y bauxita, 6.678 millones de pesetas (57 millones de dólares). Estas cinco sustancias significaron en dicho año el 70,0 por 100, en valor, del total de las importaciones españolas de minerales.

Los principales productos minerales exportados durante 1988 fueron los siguientes: pizarras, 14.797 millones de pesetas (127 millones de dólares); granito, 9.137 millones de pesetas (78 millones de dólares); mármol, 8.245 millones de pesetas (71 millones de dólares); sales potásicas, 6.545 millones de pesetas (56 millones de dólares), y sepiolita-attapulgita, 6.366 millones de pesetas (55 millones de dólares). Estas cinco sustancias significaron en dicho año el 64,5 por 100, en valor, del total de las exportaciones españolas de minerales.

## La enseñanza de la minería en el mundo hispano durante el reinado de Carlos III (1759-1788) (\*).

Por J. M. LOPEZ DE AZCONA (\*\*)

**1. ANTECEDENTES**

La minería está considerada como una de las actividades más antiguas de la Humanidad. Fue fundamental en el desarrollo de los pueblos. Donde existían yacimientos importantes, se crearon núcleos de población para su explotación, imponiéndose los medios peculiares de ser y de vivir del minero, incrementando la población y prosperidad de las ciudades, con los derivados de los productos metalúrgicos, llegando a formar en algunas ocasiones núcleos de los más importantes, entre los de sus comarcas naturales, dando lugar a la creación de escuelas mineras y metalúrgicas, patrocinadas por nuestros monarcas, como las de Almadén, Vergara, Potosí, Guanajuato, Arica, Santa Fe, Tasco, etc.

**2. DEFINICIONES**

Debemos considerar lo que en la época de Carlos I (1516-1556) se admitía como minería. Refiriéndonos a una de las definiciones más antiguas, la del minero y metalúrgico Georgius Agricola (1499-1555), en el prólogo de su obra póstuma, «De remetallica libri» (1556), cuando era sinónimo «Re metálica» y «Metalurgia», la consideraba como la ciencia que trata de «la industria de los metales en su conjunto...», «la extracción de los minerales y la obtención de los metales», y trata «de las vetas, las herramien-

tas, los recipientes, los lavaderos, las máquinas y los hornos».

Estos conceptos se fueron actualizando y agrupando en diversas disciplinas, pudiendo compendiar las definiciones del reinado de Carlos III (1759-1788).

«Geometría subterránea» (1777). Según Enrique Cristóbal Storr (17...-1802), comprende «todas las actividades encaminadas al mejor conocimiento de una formación y su explotación más completa y económica». Consideraba la «metalurgia» como el conjunto de conocimientos químicos y geológicos para el beneficio de los metales.

«Mineralogía» (1788). Según el Conde de Peñaflorida, comprende «la ciencia de las minas, la dirección de sus ramificaciones, sus variedades, graduación de sus calidades, los medios de desahogar y ventilar los subterráneos, el arte de asegurar las excavaciones, para precaver todo riesgo a los mineros, facilitar el hallazgo de los tesoros escondidos en las entrañas de la tierra, su extracción y aprovechamiento, con la mayor seguridad, utilidad y economía».

«Minería». Según Fausto de Elhuyar y de Súbice, comprende «el aprovechamiento de las producciones inorgánicas, que presenta la naturaleza, en la superficie y entrañas de nuestro globo».

«Arquitectura subterránea» (1792). Juan Daniel Weber dice que enseña «la seguridad y arreglo de los trabajos subterráneos, con cambios y pozos, correspondientes en el alto y ancho, para que por este medio se puedan perseguir las vetas a la profundidad y aprovechar, con la economía posible, los productos que contienen».

(\*) Presentado en el XVI Simposio Internacional I.C.O.H.T.E.C. Madrid, 5-9 de septiembre de 1988, sesión del 6 de septiembre.

(\*\*) Miembro fundador de INHIGEO.

### 3. NECESIDAD DE LA ENSEÑANZA

La ordenación minera fue una de las preferencias de nuestros monarcas, por considerar la minería, más como una fuente de ingresos para el Real Erario, que como una industria, que mejorase el nivel de vida de los pueblos. Con esta orientación, se dio un trato preferencial a la industria minera, y promulgaron las Reales Ordenanzas sancionadas por Felipe II (22 de agosto de 1584), en San Lorenzo, prácticamente en vigor en su totalidad, hasta la Ordenanza Minera aprobada (1852) por Fernando VII.

Para el buen cumplimiento de las ordenanzas, se apreció la carencia de personal formado, causa del abandono o fracaso de muchas minas. Una de las preocupaciones fundamentales en el siglo XVIII era la carencia de geómetras subterráneos, capaces de estacar en el exterior y en el interior, estableciendo las correspondientes correlaciones. En la geometría práctica española más antigua (1720) destaca su autor, Francisco Guzmán de Lara y Luzón, refiriéndose a los geómetras, «los daños que de su ignorancia resultan».

Los dueños de los reales de minas se quejaban de que los peritos en el arte de las minas y los mineros de profesión desconociesen el uso del «aguñón», causando el malogro de crecidos caudales, viviendo sólo de sus derechos. Lo justo sería conociesen todas las operaciones de tan noble e importante arte, debiendo exigírseles también el conocimiento de vetas y metales, velar por la seguridad de las minas, aumentar los caudales de las mismas, en una palabra, tener una formación propia de una escuela práctica de minería. Establecía el mexicano Francisco Javier de Gamboa (1771), como conocimientos indispensables de los geómetras, «saber manejar con utilidad y provecho los instrumentos de la época, que eran: cadena mensura, barrena, demostrador de ángulos, nivel, semicírculo, compás de pendientes, compás tendido, círculo horario, instrumentos de delinear». También pedían que la autoridad competente en temas de minería debía conocer «el laboreo de las minas en sus diferentes dependencias, la maquinaria de las minas, los ensayos de los minerales y los diversos modos de su beneficio, considerando todo esto reducido a aplicaciones de matemáticas, física, origtognosia y geognosia». También era deseo de las personas instruidas que las visitas se extendiesen a los talleres de beneficio, para corregir sus deficiencias.

La falta de honor de los sujetos empleados en el servicio de las minas empobrecía a los mineros y enriquecía a otras personas. La falta de competencia ocasionaba muertes e inundaciones, por los derrumbamientos, a causa de la insuficiencia de los pilares de sustentación. Era criterio general que los operarios fuesen prácticos en el ejercicio, aptos para observar las reglas de seguridad y cumplir lo ordenado por los encargados del Gobierno. Estos deben dar consejos y persuadir e ilustrar sobre el verdadero interés de las prescripciones. El personal aludido, tanto el que actúa en nombre del Gobierno, como el que actúa por cuenta de los propietarios de minas, necesita una formación, en una palabra, es necesaria la creación de centros de enseñanza adecuados.

Logró los frutos deseados, la enseñanza de re metálica, iniciada por afición hacia el año 1588, en el Reino del

Perú, por el misionero de Lepe Alvaro Alonso Barba y Toscano (1569-1658), en su doble faceta evangelizadora y colonizadora, para mejora del plan de vida espiritual y moral de los indios.

### 4. PRIMEROS PASOS DE LA ENSEÑANZA

Existen múltiples indicios en la Península Ibérica del progresivo perfeccionamiento de las técnicas mineralúrgicas. En las explotaciones preromanas se observa el continuo progreso, pero las verdaderas manifestaciones fehacientes de la existencia de centros de formación datan de la dominación árabe.

En Hispanoamérica, los primeros pasos postcolombinos los dio Barba, pero la formalización de la enseñanza tuvo un promotor, un eminente científico, oficial de la Real Armada, Antonio de Ulloa de la Torre y Giral (1716-1795), descubridor del platino (1748) y gobernador del Real de Minas de Huancavelica (1757-1765). Interesado en poner fin a la falta de formación de los cultivadores de las minas, llevó al ánimo de S. M. Fernando VI la necesidad de actualizar los servicios de minas y promover la enseñanza en una Real Academia, donde se profesasen disciplinas basadas en las ciencias naturales. Con la debida autorización, estableció contacto con el irlandés, fallecido en Madrid, Guillermo Bowles (1714-1780). Consecuencia de este contacto fue el contrato establecido con Henning Carl Koehler (1700-1757), estipulado por R. O. (22 de diciembre de 1755). En las bases (6 de julio de 1756) figura en su artículo 6.º el nombramiento como Director de las Minas de Almadén, con la obligación de enseñar la minería y la metalurgia del azogue. Desgraciadamente, su pronto fallecimiento (8 de julio de 1757) impidió lograr el fruto deseado.

La promoción de estas enseñanzas coincide con el movimiento filosófico europeo y americano de la Ilustración, caracterizado por la extrema confianza del hombre en la capacidad de su razón, desarrollado en España y sus virreinos durante los reinados de Felipe V (1700-1746), Fernando VI (1746-1759) y Carlos III (1759-1788). Rejuvenecido con la aparición de la Enciclopedia (1751-1772), dio lugar a acalorados comentarios de estas teorías, recopiladas en 28 volúmenes, en las Cortes de los monarcas europeos, así como en las reuniones de los salones elegantes y en los círculos ilustrados. La peculiaridad del movimiento ilustrado y enciclopedista, era no sólo el fomento, sino la exaltación de las artes y los oficios, como medios de realzar la técnica y en último término la ciencia. En todo momento dominó el dar excesivo valor a lo científico, creándose tanto en la metrópoli como en Hispanoamérica varias asociaciones, denominadas de Amigos del País, cultivadoras de estas ideas, base, en muchos casos, de la promoción, durante los siglos XVIII y XIX, de centros de enseñanza minera.

### 5. PROMOCION DE DIVERSOS CENTROS MINERALURGICOS DE ENSEÑANZA

Consideramos en este capítulo dos series de centros, los correspondientes a la España peninsular y los correspondientes a la España ultramarina.

### 5.1. ESPAÑA

#### 5.1.1. Almadén

Resultado de la intervención de Bowles, fue el contrato establecido en Clausthall con Enrique Cristóbal Storr (17...-1802), para trabajar en Almadén; figuraba, además de las obligaciones y asignaciones, incrementos de las mismas y dotación para el sustento de su esposa, mientras permaneciese en Alemania. Fallecido Koehler, comienzan las intrigas de Storr tras la plaza de director. Salta el escalón administrativo del Gobernador de Almadén, para lograr sus deseos, e incluso se desplaza a la Corte (1758) con este fin. Insiste sobre los adelantos alcanzados en Almadén, donde logró extraer crecidas cantidades de azogue, de lo cual se informó a la superioridad por conducto de Bowles, quien permanecía como asesor de Almadén (1759).

Prepara Storr (1759) unas instrucciones destinadas a la mejor formación de capataces mineros, mérito alegado en sus pretensiones para la designación en la plaza de Director. Por los documentos del antiguo archivo de Almadén, hoy incorporados al A. H. N., en la Sección de Hacienda, se aprecia un hombre inteligente, con carácter recto y duro. No consiente intromisiones en las atribuciones consideradas como propias del cargo de director, desempeñado sin nombramiento, motivo de continuas discordias con los oficiales mineros y el oficial de contaduría. Alzado en queja, se recibe una orden comunicada del Gobernador, donde establece una tolerancia con los alemanes, mal vistos por su carácter dominante y ser luteranos. El carácter absolutista de Storr impide toda relación directa del Superintendente con los oficiales mineros, maestros, veedores y capataces, sosteniendo (julio de 1763) ser sus asuntos de su única competencia. Por Carlos III se promulgan dos Reales Ordenes (13 de septiembre de 1763 y 4 de octubre del mismo año) delineando las facultades del Gobernador y del Director, las cuales no fueron acatadas por el Gobernador, solucionando el conflicto el Superintendente con un Decreto (12 de noviembre de 1763), destacando a Storr como figura principal, quien haría presente directamente al Superintendente cuanto juzgue y tenga por conveniente para la mejor dirección de los trabajos, con utilidad para el disfrute de las minas de las que estaba encargado.

La dirección de Almadén llevaba aneja la formación del personal e incluso se trataba con el Tribunal de Minería de México, sobre la conveniencia de que mandasen sujetos nativos, para el estudio de la metalurgia.

La Junta Suprema de Azogues experimentó una reorganización (4 de diciembre de 1774) con el establecimiento de tres puestos directivos —Superintendente general de azogues, Superintendente de las minas de Almadén, Director de las minas de Almadén—. Promulgada esta disposición, insiste Storr sobre su nombramiento para la plaza de Director, con función docente, como su antecesor Koehler, y disfrute de los mismos sueldos y agregados. Preparada la oportuna disposición, en la que se destaca como punto esencial del nombramiento, la necesidad de instruir a los jóvenes en Mineralogía y Geometría subterránea. La propuesta la remite el Superintendente General de azogues, Gaspar Soler (16 de junio de 1777), indicando que en aquellos momentos ostentaba el candidato la ca-

tegoría de delineador, en funciones de Director. Considera Carlos III la propuesta como justa, necesaria y oportuna, y por R. C. (Madrid, 14 de julio de 1777) le concede a Storr el empleo de Director de las minas «con la obligación de enseñar a los jóvenes profesores de matemáticas que se remitan de estos Reynos y los de América, para que se destinen e instruyan en Theorica y práctica en la Geometría Subterránea y Mineralogía».

La formación matemática debía adquirirse en los centros importantes de Madrid, Barcelona, Vascongadas, etc. Inmediatamente, se abre en Madrid una academia preparatoria para los matemáticos promovida por Pedro Hery. Su anuncio lo publica el número 13 de la «Gaceta de Madrid» (1 de abril de 1777), ubicándola en la Plazuela de Antón Martín.

El anuncio de la convocatoria de la enseñanza en Almadén encuentra respuesta en dos ciudades, Madrid y Barcelona, integrando la primera promoción seis matemáticos, a quienes se les concedió una asignación de 12 reales diarios (R. O. El Pardo de 12 de marzo de 1778). Muchas fueron las dificultades para poner en marcha este centro de enseñanza, con internado, como fueron locales, profesores, material docente, libros, etc. Con el tesón de Storr todo se logra y formaliza la enseñanza de una manera regular. Por sus aulas, durante el reinado de Carlos III, pasaron destacados ingenieros, varios de ellos destinados a Ultramar, donde tuvieron una actuación brillante, figurando entre ellos el madrileño Andrés Manuel del Río y Fernández, perteneciente a la promoción de 1782, nombrado cadete como premio a su brillante expediente escolar en matemáticas y en física en San Isidro el Real de la Corte, según nombramiento firmado por Joseph de Gálvez en Madrid (13 de junio de 1782), de O. de S. M., para imponerse en el Arte de Mineralogía y Geometría Subterráneas.

Jubilado forzoso (R. O. de 21 de julio de 1785) el primer Director a causa de su edad avanzada y achaques, se designa, por R. O., Director de las minas de Almadén a Juan Martín Hoppensack (1783-1792), quien desempeñaba la plaza al fallecimiento de Carlos III.

#### 5.1.2. La Cavada

La demanda de cañones fundidos durante el siglo XVIII era obligada en España, para mantener la hegemonía de los mares y conservar el comercio de ultramar, fundándose con este objetivo la fábrica de artillería de La Cavada (1622). Los expertos operarios flamencos, trasladados a España de acuerdo con los planes de Felipe III (1598-1621) y Felipe IV (1621-1665), estaban obligados a enseñar, tanto el arte de fundir, como la búsqueda y tratamiento de minerales. La fábrica estaba ubicada en Riotuerto, sobre el río Mera. Paralizada la actividad de esta fábrica, pasa de ser de propiedad particular a la intervención técnica por R. C. de Carlos III (30 de agosto de 1760); posteriormente a gestión directa (1763) y, por último, a expropiación, consumada en 1769. Otro intento de promover las actividades fue obra de Carlos III, con la reanudación de la enseñanza de minerales y metalurgia, la que tenía lugar en los salones del Palacio de la factoría, concedien-

do a los maestros el pleno privilegio de hidalguía (1784), con derecho a uniforme militar.

### 5.1.3. Vergara

En la Villa de Vergara se acuerda (24 de diciembre de 1764) fundar la «Sociedad Bascongada de Amigos del País», para fomentar la enseñanza de las ciencias matemáticas y los fenómenos naturales. En la sesión celebrada en la Villa de Vergara (5 de febrero de 1765) figura entre sus acuerdos el establecimiento de lecciones impartidas por maestros para que instruyesen a los «Jóvenes Caballeritos del País», conocidos por «Caballeritos de Azcoitia». Recibida la autorización real (2 de abril de 1765), convocan una junta extraordinaria (18 de abril de 1765) para dar las gracias a S. M. Carlos III y remitirle el «reglamento de los Caballeros Alumnos» y la correspondiente instrucción de enseñanza, conocida por «Real Seminario de Vergara».

Tanto los profesores como los alumnos del Real Seminario contaron con grandes personalidades en el mundo del saber, destacando entre los maestros a los hermanos riojanos Juan José (1754-1796) y Fausto Fermín (1755-1833) de Elhuyar y de Súbice, descubridores del volframio (1782-1783) en los laboratorios del Real Seminario de Vergara.

### 5.1.4. Barcelona

El profesor del Colegio de Cordells, P. Tehomas Cerdá (1715-1791) promueve una reunión (18 de enero de 1764) en la rebotica de Francisco Sala, para constituir la «Conferencia Fisicomatemática experimental». Gran aficionado a las Ciencias naturales y a todo movimiento científico. Sus actividades continuaron (18 de mayo de 1764) en el piso 2.º de la casa del escribano José María Avellá. Solicitada reiteradamente la gracia de Real, se la concede Carlos III (R. C. de 17 de diciembre de 1765) con la denominación de «Real Conferencia Físico-Experimental». En ella se organizó un Gabinete de Historia Natural. Esta entidad académica, en la que colaboraron las más destacadas personalidades catalanas, fue sostenida por el peculio propio de sus componentes. Creó un clima de cultura. A ella pertenecieron destacados cultivadores de las ciencias de la tierra y brillantes alumnos de la Real Academia de Almadén.

## 5.2. ULTRAMAR

Las enseñanzas iniciadas por Alonso Barba fueron fructíferas, logró incorporar en el Reyno del Perú las técnicas conocidas en Europa en el siglo XVI en el campo de «re metálica».

### 5.2.1. Perú

Es natural que en los primeros lugares donde se sintiese la necesidad de la enseñanza de la mineralurgia fuese en el Reino del Perú, tanto por la labor de Barba, como por

las importantes riquezas, unas conocidas como precolombinas y otras descubiertas por los españoles. También contribuyó a este auge de la mineralurgia la participación por decisión de Felipe V, de Jorge Juan Santa Cilla (1712-1773) y de Antonio de Ulloa (1716-1795) en la medición en el Reino del Perú de un grado del arco de meridiano terrestre entre Quito y Guayaquil, iniciada en 1736.

Designa Fernando VI a Ulloa (R. C. Buen Retiro de 14 de agosto de 1757) como Gobernador y Superintendente de Huancavelica; se ocupa de la saca de azogues y del fomento de la enseñanza de la mineralogía. Consecuencia de este ambiente fue el coloquio mantenido en la Universidad de San Marcos (21 de junio de 1768) por el catedrático de Prima de Matemáticas y Cosmógrafo Mayor de las Indias, Cosme Bueno, y los militares Manuel Martínez de la Rúa, Pedro Ruiz, Diego Machado, quienes destacan la «importancia de las matemáticas para una mejor explotación de las riquezas mineras, de las que depende la opulencia de este Reyno». «Con las luces que darán las Matemáticas, llegarán a trabajarse como las de Sajonia y Bohemia.» Llegada la información a Madrid, comunica el Ministro de Indias al Virrey (R. O. Madrid de 4 de marzo de 1769) la aprobación de la promoción de la mencionada cátedra.

También se solicita de la Corona (enero de 1773) por el Licenciado Pedro Jiménez Morales el envío de peritos en el arte de fundir metales, procedentes de Hungría o de Sajonia, para enseñar a los azogueros las técnicas modernas. La petición fue reiterada (20 de septiembre de 1776). El Gobernador de Huancavelica, Juan Fernández de Palazuelos (3 de septiembre de 1776) pide al Ministro Gálvez el establecimiento de un laboratorio químico-metalúrgico con el fin primordial de formar personal. Fue reiterada la petición (15 de septiembre de 1776).

Las peticiones de establecer centros de enseñanza de la mineralogía en Perú fueron atendidas indirectamente por Carlos III (1785), al extender al Perú las ordenanzas mineras de Nueva España. Entrega (Cádiz, 13 de octubre de 1786) José de Lages al marqués de Seoane el proyecto de erección de un Colegio de Metalurgia en Lima, sumamente interesante.

### 5.2.1.A. Lipes

La provincia de Lipes fue la primera de América donde se profesó la mineralogía, enseñanzas iniciadas durante el último cuarto del siglo XVI, durante el reinado de Felipe II de España y Portugal.

Un corregidor de la Villa de Lipes, Juan Gregorio Piñeiro y Sarmiento, promueve (22 de septiembre de 1776) un expediente por vía reservada. «Persuadidos de la gran importancia que hai en aquellos dominios del establecimiento de una Real Academia de Arte Metálica, Mineralurgia y Física experimental» ... «en cuyo beneficio se logrará la mejor labor de las minas, el aumento de los metales, el destierro de los errores autorizados por la ignorancia y se evitaren las abundantes pérdidas que anualmente ascienden a muchos millones, se lograran los aumentos de la Real Hacienda y la autoridad en común del Estado».

### 5.2.1.B. Potosí

Un vecino de Lima, Antonio de Olier, escribe un discurso (principios de 1779) a favor del establecimiento en la Villa imperial de Potosí de una Escuela donde los indios podrán adelantar y perfeccionar en el beneficio de los minerales. La idea fue favorablemente aceptada por el Gobernador Jorge Escobedo y Alarcón. Pronto se inauguran las enseñanzas (10 de febrero de 1779) bajo la presidencia del activo gobernador y minero Escobedo y la dirección del eminente Dr. José de Suero y González, denominándose el centro «Academia y Escuela teórico-práctica de Metalurgia o Arte de beneficio de los metales», la cual fue creada oficialmente por R. C. de Carlos III (14 de enero de 1780). Esta fue la primera escuela de ingeniería de América.

Insiste Oliver, ahora vecino de Potosí, en replantear el proyecto de Escobedo y logra una R. O. (San Ildefonso, 27 de julio de 1785) por mediación del ministro Gálvez, para el envío a Perú de personas verdaderamente sabias, para ocuparse de los ministerios interesados.

### 5.2.1.C. Tarma

Oficia el Intendente de Tarma (20 de junio de 1786), Juan María de Gálvez, al ministro de Indias, Marqués de Seoane; el haber puesto en ejecución en dicha provincia un establecimiento de minería, de acuerdo con la R. O. (8 de diciembre de 1785) donde se disponía diesen a la minería de Perú igual protección y auxilio que a la de Nueva España, lo cual lleva implícito el establecimiento de un Real Seminario.

### 5.2.1.D. Cuzco

El Tribunal de visita le entrega (Lima, 4 de octubre de 1784) a Benito de la Mata Linares, Gobernador interino de Cuzco, una instrucción, en cuyo artículo 47 dice: «Para el fomento del gremio de los mineros, como parte más principal, es la creación de un Colegio para que en esa capital se instruyan los jóvenes de cada mineral, elija, envíe y costee en todo lo perteneciente al laboreo de minas y beneficio de metales, especialmente de fundición bajo los Maestros y Reglas que se pondrán para su enseñanza, tanto en las conductas de vida cristiana y política como en la parte que abarca este ejercicio y recomendable profesión».

### 5.2.2. Guatemala

Según los documentos consultados en el Archivo General de Indias, el más antiguo referente a la enseñanza de la minería, pertenece a Guatemala.

Fue enviado al Reyno de Guatemala el Padre José Eustaquio de León para fundar la Real Casa de la Moneda. Dice en un escrito: «Desde que vine por mi particular servicio a S. Majestad y del común, pensé en poner en este Reyno una escuela de Re Metálica, donde con perfección se enseñase el modo de sacar y beneficiar por fuego y azogue los metales, dando sus títulos a quienes la apren-

dieran» (27 de abril de 1745). Por la dirección de la Casa de la Moneda, se reconoce esta necesidad (30 de diciembre de 1746). Después de varias incidencias, por Real Disposición (Buen Retiro, 27 de agosto de 1748) de Fernando VI queda creada la Escuela en que se enseñará el modo de beneficiar los metales. La disposición no llegó a cumplirse, por fallecimiento del promotor. Legalmente es la escuela más antigua de América.

### 5.2.3. Nueva España

Uno de los virreinos donde la minería alcanzó mayor preponderancia fue el de Nueva España, con explotaciones de plata, asombro de muchos países.

#### 5.2.3.A. Guanajuato

El «Real de Minas de Santa Fe», de Guanajuato, fue famoso por sus enormes riquezas y la audacia de los mineros que las explotaron. El título anterior, expedido por el Virrey Luis de Velasco (1554), corresponde a la zona minera donde se ubica la célebre «Veta Madre», una de las más famosas del mundo. Con el deseo de lograr un laboratorio más científico, consigue Fermín Regadas sea solicitado del Virrey la creación de un Colegio, con posibilidad legal desde 1783, para la enseñanza de la minería.

#### 5.2.3.B. México

Durante el mandato del Virrey Carlos Francisco de Croix se plantea la necesidad de formar unas ordenanzas mineras nuevas, elevadas a S. M. Carlos III (24 de diciembre de 1771) por el Virrey Antonio María de Bucareli y Ursúa. Llegada la petición, ordena el monarca (R. C. San Lorenzo, 12 de noviembre de 1773) la preparación de unas ordenanzas de formación de la Minería en Cuerpo Formal y Unico. Entre las consideraciones de los ilustres aborígenes, se llega a la conclusión de crear un «Seminario Metálico». Llega a México la noticia de que el Rey de España expidió en Madrid (1 de julio de 1776) una R. C. de creación del importante Gremio de la Minería en Nueva España. Convocada una junta por el Virrey (20 de diciembre de 1776), se acuerda cumplirla con toda urgencia, redactando la nueva ordenanza. El Real Tribunal de Minería se funda (24 de mayo de 1777) aprobando el Virrey en nombre del soberano su creación (20 de julio de 1777); terminada su redacción (21 de marzo de 1778), en ella queda detallada la creación de un Seminario para la educación y cultura de la juventud, destinada a las minas y el adelanto de la industria en ellas. La R. C. de Carlos III (Aranjuez, 22 de mayo de 1783) aprueba estas ordenanzas, denominadas «Reales Ordenanzas para la Dirección, Régimen y Gobierno del importante Cuerpo de Minería de Nueva España y de su Real Tribunal General». Fue motivo de satisfacción por sus promotores la R. O. (10 de abril de 1784) de ampliación de la enseñanza de este Colegio a los jóvenes de las islas Filipinas.

Se designa a Fausto Fermín de Elhuyar (R. O. de 18 de julio de 1786) Director General del Cuerpo de Minería de México y profesor de Mineralogía, puesto desempeñado hasta la mayoría de edad de México (22 de octubre de

1821). No podemos olvidar que en la cochera de este Colegio, transformada en un modesto laboratorio, descubrió el profesor Andrés Manuel del Río el eritronio o rionio (1802), conocido actualmente con el nombre de vanadio.

#### 5.2.3.C. Chile

La ordenanza minera de Chile fue una adaptación de la de Nueva España (22 de mayo de 1783). Después de largos trámites se promulga la Ordenanza por el Presidente de la Audiencia de Chile, Tomás Álvarez Acevedo (22 de diciembre de 1787). Consideró Elhuyar la necesidad de que parte de los mineros contratados por Carlos III fuesen destinados a Chile, propuesta hecha en Madrid (3 de febrero de 1788), para colaborar en la formación del personal de las minas, la cual fue aprobada (Aranjuez, 1 de abril de 1788).

#### 5.2.3.D. Nuevo Reino de Granada

Establecida la adaptación de la Real Ordenanza de Nueva España, propuso Fausto de Elhuyar al Rey el envío de su hermano José y de parte de los mineros sajones contratados (3 de febrero de 1788) al Reino de Nueva Granada, para la enseñanza de la minería.

#### 5.2.4. Filipinas

Difícil era lograr durante el último cuarto del siglo XVIII maestros para la erección en las Islas Filipinas de un Colegio de Minería. Dispone Carlos III por R. O. (10 de abril de 1784) que en el Colegio de Minería de México se admitiese anualmente seis jóvenes, hijos de naturales o de mestizos del archipiélago, con el fin de instruirlos en la minería.

### 6. BIBLIOGRAFIA

FUENTES, J. M.: *Documentos existentes en el Archivo General de Indias. Sección Guatemala*. León, 1970, 300 pp.

GARCIA MORALES, J.: *Bibliografía minera*. León, 1970, 362 pp.

LOPEZ DE AZCONA, J. M.: *La enseñanza de la minería en el mundo hispánico*. Madrid, 1979, 200 pp.

LOPEZ DE AZCONA, J. M.: *Los hermanos Elhuyar, descubridores del volframio. 1782-1783*. Madrid, 1983, 124 pp.

MAFFEI Y RAMOS, E.: *Centenario de la Escuela de Minas de España, 1777-1877*. Madrid, 1877, 300 pp.

MAFFEI Y RAMOS, E., y RUA FIGUEROA Y FRAGA, R.: *Apuntes para una Biblioteca Española*. Madrid, t. 1, 1871, 530 pp.; t. 2, 1872, 700 pp.

MUÑOZ PEREZ, J.: *Documentos existentes en el Archivo General de Indias*. León, 1974, 956 pp.

PRIETO, C.: *La minería en el Nuevo Mundo*. Madrid, 1968, 194 pp.

REPRESA, A.: *Archivo General de Simancas. Índice de documentación sobre minería (1316-1832)*. León, 1970, 198 pp.

*Extractos de las Juntas Generales celebradas por la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País*, 23 t., 1771 a 1793.

*Archivo Histórico Nacional de Madrid. Sección Hacienda. Documentos Almadén*.

*Archivo Real del Jardín Botánico. Colección Juan Celestino Mutis y Bossio*.

## El proceso de Bartolomé de Medina y su desarrollo en Potosí.

Por J. PELAEZ (\*)

### INTRODUCCION

En 1555 Bartolomé de Medina encontró un proceso para la recuperación de la plata de las menas de la zona de oxidación de los yacimientos argentíferos de la mina Purísima Grande en Pachuca (México). Estas menas, llamadas poco tiempo después minerales pacos o colorados, tenían cantidades variables de plata nativa (Ag), cerargirita (ClAg) y argentita (SAg<sub>2</sub>). El proceso era el siguiente: *Se prepara con la mena molida un barro con agua a la que se agrega mucha sal (ClNa) y luego mercurio (Hg)*.

En una carta de Medina dirigida al Virrey don Luis de Velasco fechada el 29 de diciembre de 1555 se indican las circunstancias en las que se hizo el descubrimiento:

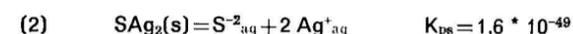
«Digo yo, Bartolomé de Medina: que por cuanto yo tuve noticia en España, de platicas con un alemán que se podía sacar la plata de los metales sin fundición, ni afinaciones y sin grandes costas; y con esta noticia determiné venir a esta Nueva España dejando en España mi casa e mi muger e hijos, y vine a probarlo por tener entendido que saliendo con ello, haría gran servicio a Nuestro Señor e a su Majestad e bien a toda esta tierra y venido que fui a ella, lo probé muchas y diversas veces y habiendo gastado mucho tiempo, dineros y trabajo de espíritu y viendo que no podía salir con ello, me encomende a Nuestra Señora y le suplique me alumbrase y encaminase para que pudiese salir con ello e... plugo a Nuestra Señora de alumbrarme y encaminarme a que saliese con ello e visto por el ilustrísimo señor don Luis

de Velasco el gran servicio que de ello redundaba a la hacienda real de su Majestad, y generalmente a toda esta tierra, me hizo merced en nombre de su Majestad de que nadie dentro de seis años no lo pudiese usar, si no fuese pagandomelo con un tanto...» (BARGALLO, 1955, p. 117).

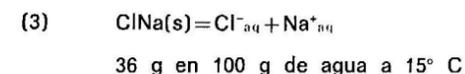
Por su misma sencillez el proceso de Medina no es fácil de interpretar y los esfuerzos en este sentido constituyen un buen ejemplo de la relación entre tecnología y ciencia.

#### 1.0. Análisis del proceso de Bartolomé de Medina

Para empezar el análisis del problema indicáramos que tanto el ClAg como el SAg<sub>2</sub> son bastante insolubles en agua:



Esto contrasta con la solubilidad de la sal:



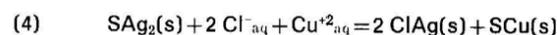
Con esto la presencia del ión Cl<sup>-</sup><sub>aq</sub> es abundante y la cantidad de ClAg(s) disuelta es aún menor por el efecto

(\*) Casilla 45, Potosí, Bolivia.

de ión común. Ignacio DOMEYKO en su *Tratado de ensayos tanto por la vía seca como por la vía húmeda*, cuya primera edición es de 1844, cita, en la quinta edición de 1903, p. 267, una memoria de DUROCHER y MALAGUTI, publicada en *Anales de Minas*, París, 1851. DUROCHER y MALAGUTI hallaron que el  $\text{ClAg(s)}$  en agua saturada de sal tenía los siguientes valores de solubilidad:

temp. en ° C	0	10	18	100
solubilidad en %	nula	0,17	0,24	0,68

En cuanto a la argentita se daría la siguiente reacción:



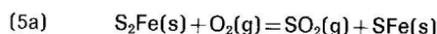
Esta reacción es exotérmica con  $\Delta H_{25^\circ\text{C}} = -64$  cal, además hay un aumento de entropía  $\Delta S = +24,3$  cal/K, con lo cual la energía libre de GIBBS,  $\Delta G$ , sólo puede ser negativa, según:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

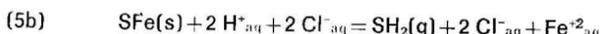
donde:

$\Delta G$	energía libre de Gibbs en cal
$\Delta H$	entalpía en cal
$\Delta S$	entropía en cal/K
T	temperatura absoluta en K

El valor de  $\Delta G_{25^\circ\text{C}} = -7.350$  cal, negativa, indica que la reacción es espontánea. El origen de los iones  $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$  sería la propia mena, lo cual es posible con muchas menas metalíferas. Mucho más común es la pirita, la cual en la zona oxidante del yacimiento reacciona, entre otras reacciones, según:



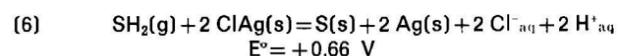
A  $25^\circ\text{C}$  esta reacción tiene una entalpía de  $\Delta H = -51.240$  cal, entropía  $\Delta S = 13,8$  cal/K, y energía libre de Gibbs de  $\Delta G = -55.350$  cal. Se tendría que la descomposición parcial de las piritas, in situ, producirían sulfuro ferroso, el cual en estado natural, se conoce como pirrotina. El sulfuro ferroso en un ambiente ácido reacciona con facilidad:



Esta reacción es enérgica y se emplea para la preparación de sulfuro de hidrógeno en un aparato Kipp. A  $25^\circ\text{C}$  tiene  $\Delta H = -3.020$  cal,  $\Delta S = 6$  cal/K, y  $\Delta G = -4.800$  cal.

Como se ve el  $\text{SAg}_2(\text{s})$  pasa a  $\text{ClAg(s)}$  por acción de la sal e iones  $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$ ; además el sulfuro de hierro produce sulfuro de hidrógeno en un ambiente ácido. Este gas es

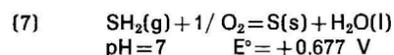
moderadamente soluble en agua. También es un buen reductor y, por tanto, reacciona con la cerargirita:



La reacción es exotérmica a  $25^\circ\text{C}$  con  $\Delta H = -14.511$  cal, entropía  $= -40,71$  cal/K y  $\Delta G = -2.379$  cal, además el potencial electroquímico de esta reacción es positivo, razones por las que es espontánea. Como se regenera  $(\text{HCl})_{\text{aq}}$  entonces la reacción (5b) puede continuar.

Las reacciones (4), (5) y (6) son respaldadas por el análisis de termodinámica química de varias posibilidades que se presentan en la tabla I.

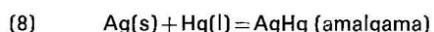
El gas  $\text{SH}_2$  disuelto en el agua podría reaccionar con el  $\text{O}_2(\text{g})$ , también disuelto en el agua y proveniente de la atmósfera:



Afortunadamente, el oxígeno es mucho menos soluble en agua que el sulfuro de hidrógeno. Sin embargo, el potencial electroquímico de la reacción (7) aumenta fuertemente en un ambiente altamente ácido, haciendo más favorable esta reacción que la reacción (6).

Resumiendo, se tendría que el sulfuro de hidrógeno reduciría el  $\text{ClAg(s)}$  a  $\text{Ag(s)}$  en un ambiente moderadamente ácido, ya que caso contrario predominaría la reacción (7).

Finalmente, el mercurio líquido formaría la amalgama con la plata metálica:



Lo que pudo saber Bartolomé de Medina sobre el proceso al comenzar los dos largos años que le tomó desarrollarlo no se conoce con exactitud, pero se le puede dar ciertos límites. El códice de Medina indica, en sus propias palabras, que él supo «de pláticas con un alemán que se podía sacar la plata de los metales». Modesto BARGALLO ha presentado, sin embargo, argumentos muy convincentes como para atribuir el proceso a don Bartolomé de Medina y no hay duda alguna que mientras el proceso se usaba intensamente en América en Europa se lo ignoraba y hasta despreciaba (BARGALLO, 1973, pp. 389; 473, 483) (BARGALLO, 1955, pp. 115-120). El alemán pudo avisar que la plata metálica se amalgama con el mercurio —asunto ya conocido por los romanos— o tal vez platicarían del contenido del capítulo XI, libro IX de *De la Pirotechnia* (1540), de BIRINGUCCIO, donde se informa:

«Idea útil y muy ingeniosa es seguramente la del inventor de un modo breve de extraer oro y plata de los desperdicios, como de todas aquellas artes que con ellos se relacionan, así como las partículas que pueden contener las escorias de los fundidores de menas y también de algunas de sus propias menas. Esto se logra sin necesidad de recurrir a la pesada labor de la fusión, sino sólo al exclusivo uso y virtud del mercurio. Primero se cons-

TABLA I

Entalpía, entropía y energía libre de Gibbs de varias posibles reacciones en el proceso de Medina, a  $25^\circ\text{C}$

REACCION	$\Delta H$ en cal	$\Delta S$ en cal/K	$\Delta G$ en cal
$\text{SAg}_2(\text{s}) + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + 2 \text{H}^+_{\text{aq}} = 2 \text{ClAg(s)} + \text{SH}^-_{\text{aq}}$	22.706	- 0,6	22.885
$\text{SAg}_2(\text{s}) + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + 2 \text{H}^+_{\text{aq}} = 2 \text{ClAg(s)} + \text{SH}_2(\text{g})$	22.111	+ 33,95	11.994
$\text{SAg}_2(\text{s}) + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + 2 \text{Na}^+_{\text{aq}} = 2 \text{ClAg(s)} + \text{S}^{2-}_{\text{aq}} + 2 \text{Na}^+$	21.724	- 9,9	24.674
$\text{SAg}_2(\text{s}) + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + \text{Cu}^{2+}_{\text{aq}} = 2 \text{ClAg(s)} + \text{SCu(s)}$	- 64	+ 24,3	- 7.350
$\text{SCu(s)} + 2 \text{H}^+_{\text{aq}} = \text{Cu}^{2+}_{\text{aq}} + \text{SH}_2(\text{g})$	22.175	+ 9,65	22.415
$\text{S}_2\text{Fe(s)} + 4 \text{H}^+_{\text{aq}} = \text{Fe}^{2+}_{\text{aq}} + 2 \text{SH}_2(\text{g})$	11.890	+ 58,5	- 5.543
$\text{SAg}_2(\text{s}) + \text{SH}_2(\text{g}) = \text{Ag(s)} + \text{S(s)} + \text{SH}^-_{\text{aq}} + \text{H}^+_{\text{aq}}$	8.191	- 41,3	20.522
$2 \text{SAg}_2(\text{s}) + \text{Fe(s)} = \text{S}_2\text{Fe(s)} + 4 \text{Ag(s)}$	- 27.320	- 22,6	- 20.600
$\text{SAg}_2(\text{s}) + \text{Pb(s)} = \text{SPb(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 14.940	- 8,1	- 12.530
$\text{SAg}_2(\text{s}) + \text{Sn(s)} = \text{SSn(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 11.000	- 3,1	- 10.080
$\text{SAg}_2(\text{s}) + \text{Cu(s)} = \text{SCu(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 4.000	- 6,4	- 2.080
$2 \text{ClAg(s)} + \text{SH}_2(\text{g}) = \text{S(s)} + 2 \text{Ag(s)} + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + 2 \text{H}^+_{\text{aq}}$	- 14.511	- 40,7	- 2.379
$2 \text{ClAg(s)} + \text{Fe(s)} = \text{Cl}_2\text{Fe(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 20.780	- 3,4	- 19.760
$2 \text{ClAg(s)} + \text{Pb(s)} = \text{Cl}_2\text{Pb(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 25.130	- 8,4	- 22.600
$2 \text{ClAg(s)} + \text{Sn(s)} = \text{Cl}_2\text{Sn(s)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 22.880	-	-
$2 \text{ClAg(s)} + \text{Cu(s)} = \text{Cl}_2\text{Cu(aq)} + 2 \text{Ag(s)}$	- 3.936	- 14,82	480
$\text{ClAg(s)} + \text{Fe}^{2+}_{\text{aq}} + 2 \text{Cl}^-_{\text{aq}} = \text{Fe}^{2+}_{\text{aq}} + 3 \text{Cl}^-_{\text{aq}} + \text{Ag(s)}$	- 63	- 42,6	12.650
$2 \text{ClAg(s)} + 2 \text{Hg(l)} = \text{Cl}_2\text{Hg}_2(\text{s}) + 2 \text{Ag(s)}$	- 2.600	- 15,7	2.090
$\text{SH}_2(\text{g}) + 1/2 \text{O}_2 = \text{S(s)} + \text{H}_2\text{O(l)}$	- 63.505	- 49,3	- 48.798

truye una amplia tina de piedra o madera, enladrillada, y se adapta a su parte interna una muela de piedra capaz de girar en el hueco de la tina, como en un molino de harina. Se introduce en la tina el material que contiene oro; previamente triturado en un mortero, lavado y secado. Mientras se muele en dicho molino, se humedece el material con vinagre, o agua en la cual se haya disuelto sublimado, verdete y sal común. Se salpican dichos materiales con mercurio suficiente para cubrirlos: se agita durante una o dos horas, dando vueltas a la muela a mano o con caballerías, según el sistema aplicado. No se olvide que cuanto más se restrieguen, más absorberá el mercurio la sustancia que los materiales contienen. Finalmente, hecho lo que se indica, se separa el mercurio de los residuos térreos, con un tamiz o por lavado, y se procede a la recuperación del mercurio. Este se libera con una pequeña cucúrbita, o bien se le obliga a pasar a través de una bolsa; y todo lo que quede en el fondo, oro, plata, cobre y otro metal, se echa en la tina para pulverizarlo bajo la muela.» (BARGALLO, 1955, p. 109).

Este documento delata su influencia alquimista al sugerir el uso de sublimado (azufre, óxido de arsénico), verdete (acetato de cobre), vinagre y sal común, como también el empleo de una cucúrbita. Una receta alquimista de la época, para la transmutación en oro y plata, indica «calear mercurio con sal, vinagre y verdete en un plato

de hierro» (HOLMYARD, p. 127). En una palabra, las ideas que sirvieron de base para el proceso de amalgamación de Medina eran parte del ambiente alquimista y técnico del siglo XVI y casi con seguridad Bartolomé de Medina estaba al tanto de ellas. La mejor evidencia podría ser la *Instrucción* dada el 30 de octubre de 1557 a don Francisco de Mendosa, en ese momento administrador de las minas de Guadalcanal (España) y al que se ordenaba «informaros heis bien de como en ella (Nueva España) se hace» la amalgamación (BARGALLO, 1955, p. 121), para lo cual, después de un fracaso inicial, llegó «un indiano [alguien radicado en América] que se llamaba Mosén Boteller». Este, según un auto de don Francisco de Mendoza, gastó 4.962 maravedís en comprar cedazos, tinajas, desazogadoras, estopa para mangas, vinagre, sal y otros efectos. En cuanto al proceso éste se hacía con el metal metido dentro de una tina dentro del cual estaba un molino, el cual se levantaba después de varios días para proceder a sacar la «masa del azogue con la plata» (BARGALLO, 1955, pp. 122, 124). BARGALLO hace notar la semejanza con la descripción dada por BIRINGUCCIO, como también de que ningún otro documento de la época menciona la presencia de un molino en la tina o el uso de reactivos aparte de la sal y el mercurio.

¿Cuál fue la modalidad inicial del proceso de Medina? Según BARGALLO:

«Medina no utilizó magistral alguno: hizo el milagro de la amalgamación sólo con mercurio y sal. El éxito grandioso del beneficio de Medina en todas las minas de Nueva España, aun sin el uso del magistral, se debió a que casi todas ellas eran aún recientes, especialmente las de Zacatecas, Guanajuato, Pachuca y Real del Monte. Los minerales que en ellas se explotaban eran colorados o bien sulfuros o cloruros dóciles a la amalgamación» (BARGALLO, 1973, p. 392).

Lo más probable es que el proceso se llevaba a cabo en artozas, cajones o tinajas, que la duración era de varios días, no había un molino en la tina, tal vez se usó de vinagre y acetato de cobre en algunas pruebas observadas por BOTELLER en su estadía en México, pero luego se desechó su uso. De acuerdo al estudio de química termodinámica que hemos hecho, como por los documentos consultados, el proceso de Medina tendría las siguientes características:

A. Si la mena contiene  $\text{SAg}_2(\text{s})$  éste pasará a  $\text{ClAg}(\text{s})$  en presencia de sal e iones  $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$ . Estos iones provendrían del propio yacimiento, pero no son necesarios si la mena es predominantemente  $\text{ClAg}(\text{s})$ .

B. Para la reducción de  $\text{ClAg}(\text{s})$  a  $\text{Ag}(\text{s})$  es necesaria la presencia de pirrotina en ambiente ácido para producir el reductor. Este reductor es el gas sulfídrico. La pirrotina provendría de piritas medio descompuestas del yacimiento.

C. Si la acidez es demasiado alta el sulfuro de hidrógeno gaseoso deja de reaccionar con el  $\text{ClAg}(\text{s})$ . Si el pH es neutro o básico no se forma sulfuro de hidrógeno de la pirrotina y los iones  $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$  se precipitan como  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ .

D. Para iniciar el proceso se necesita de cierto calor externo, pero luego las reacciones se pueden autoabastecer.

El hallazgo de PACHUCA en 1555 abrió las puertas al tratamiento de las menas de plata y planteó una incógnita a sus practicantes sobre los mecanismos íntimos del proceso. El esquema propuesto aquí se ajusta mejor que otros a los hechos observados. Del mismo se desprende lo frágil que era el proceso, ya que dependía de la presencia de iones  $\text{Cu}$  y piritas descompuestas en pirrotina de la propia mena, lo cual, con seguridad, no siempre se daba.

## 2. ANALISIS DE LOS DESARROLLOS POSTERIORES DEL PROCESO

De los diferentes desarrollos del proceso de Medina algunos se usaron sólo por algún tiempo, para luego ser desechados por su costo u otras razones. Otros, los mejores, llegaron a ser parte del proceso y varios se hicieron en Potosí/Bolivia.

### 2.1. Aplicación del calor

Uno de los primeros en hacer una descripción del proceso de Medina fue el padre ACOSTA en su *Historia Na-*

*tural y Moral de las Indias*, publicado en 1590. El llegó al Nuevo Mundo por el mes de abril de 1572 y visitó Potosí en 1574. En el capítulo 12 de su obra indica que «hallaron que para abreviar tiempo, el fuego ayudaba mucho... y así trazaron los buitrones (de fuego), donde ponen unos cajones grandes en que echan el metal con sal y azogue y por debajo dan fuego manso en ciertas bóvedas hechas a propósito». A lo mismo se llegó en México, ya que en 1599 Gonzalo GÓMEZ DE CERVANTES describe el método de «canoas y estufas» (BARGALLO, 1955, p. 157). El calor reducía considerablemente el tiempo del proceso de veinte o más días a sólo cinco o seis, según ACOSTA. Como es bien conocido el aumento de temperatura con frecuencia acelera la cinética química. Se usó del calor por mucho tiempo en la zona de Pachuca, pero en Potosí para 1590 el alto costo del combustible (un arbusto conocido como ichu, taquia y otros) y la urgente necesidad de un proceso más eficiente desembocó en el descubrimiento del uso del magistral y en el de los hermanos CORZO del empleo del hierro, que, a su vez, determinó el abandono de los buitrones de fuego por un proceso en frío en patios que, sin embargo, siguieron llamándose, en Potosí, buitrones o buitrón.

### 2.2. Aplicación de los magistrales: primera etapa

El uso del magistral es originario de Potosí/Bolivia, aunque este nombre probablemente se le dio en México posteriormente. Se trata de la adición de materiales adicionales en el proceso de Medina que se fueron probando en el corto espacio de aproximadamente diez años, entre 1580 hasta 1590. Por ejemplo, Gaspar ORTIZ PICON/Potosí, en un manuscrito fechado en 1586 (BARGALLO, 1955, p. 145) proponía el retratamiento de colas antiguas a las cuales se debía agregar además de sal y mercurio «cinco quintales e medio o seis de tierra» clasificada. En 1588 GARCÍ SANCHEZ/Potosí, en otro manuscrito (BARGALLO, 1955, p. 154), al dar cuenta de un beneficio con azufre, indicaba que «siempre se an de echar arena o relaves en cualquier género de metales como no sea metal negro de marcaxita, porque éste sólo el azogue aderezado le basta». Una mención más clara es la de FERNANDEZ MONTANO (1588)/Potosí (BARGALLO, 1955, p. 156), que sugiere añadir «veynete o veynte dos onzas de piedra azul de los lizep... o copapiri» (ambos  $\text{SO}_4\text{Cu}$ ), estiércol de caballo seco, y «cisco de las Guayras», siendo esta última «la basura que desechan los indios de Guayra». De estos documentos queda claro que los mineros potosinos aprendieron a suplir la falta de iones  $\text{Cu}^{2+}_{\text{aq}}$  y de pirrotina mediante el uso de varios recursos como la adición de relaves, escorias y calcantita ( $\text{SO}_4\text{Cu} \cdot n \text{H}_2\text{O}$ ).

### 2.3. Aplicación de metales: hierro, cobre, plomo y estaño

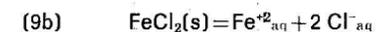
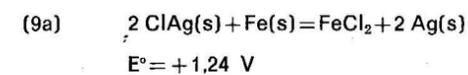
En la «Relación y testimonio del nuevo beneficio de metal de Carlos CORZO y Juan Andrea CORZO», fechado en 6 de noviembre de 1587 en la ciudad de Potosí (BARGALLO, p. 148), se da la descripción de una serie de ensayos con hierro metálico en su ingenio de Tarapaya (cerca a Potosí). Veintidós años más tarde, en 1609, don

Alvaro ALONSO BARBA, el cura párroco de Tarabuco/Bolivia, descubrió el uso del cobre metálico. El padre COBO, en su *Historia del Nuevo Mundo* (1.ª parte, XXXIX), que residió en Oruro en 1618, informó que en Potosí añadían hierro o cobre en la amalgamación, y en Oruro estaño (BARGALLO, 1955, p. 154). Para 1640, cuando se publica *El Arte de los Metales* de BARBA, él decía que ya se empleaban además de estos metales el plomo (Libro segundo, capítulo X). Si vemos la serie de potenciales de oxidación, normales, en la tabla II podemos analizar al base química de su empleo. Cualquiera de estos metales puede reducir el ión  $\text{Ag}^{+}_{\text{aq}}$  a plata metálica,  $\text{Ag}(\text{s})$ ; simultáneamente, estos metales pasan a su estado iónico.

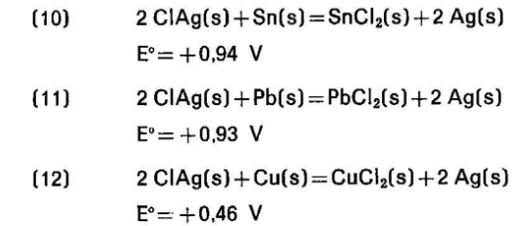
TABLA II  
Potenciales de oxidación normales en agua a 25° C

SEMIRREACCION	E° en voltios
$\text{Zn} = 2 \text{e}^- + \text{Zn}^{2+}$ ... ..	0,76
$2 \text{Ag} + \text{S}^{-2} = 2 \text{e}^- + \text{Ag}_2\text{S}$ ... ..	0,69
$\text{Fe} = 2 \text{e}^- + \text{Fe}^{2+}$ ... ..	0,44
$\text{Sn} = 2 \text{e}^- + \text{Sn}^{2+}$ ... ..	0,14
$\text{Pb} = 2 \text{e}^- + \text{Pb}^{2+}$ ... ..	0,13
$\text{H}_2\text{S}(\text{g}) = 2 \text{e}^- + \text{S} + \text{H}^+$ ... ..	-0,14
$\text{Sn}^{2+} = 2 \text{e}^- + \text{Sn}^{4+}$ ... ..	-0,15
$\text{Cu}^+ = \text{e}^- + \text{Cu}^{2+}$ ... ..	-0,15
$\text{SO}_2(\text{g}) + 2 \text{H}_2\text{O} = 2 \text{e}^- + \text{SO}_4^{-2} + 4 \text{H}^+$ ... ..	-0,17
$\text{Cu} = 2 \text{e}^- + \text{Cu}^{2+}$ ... ..	-0,34
$\text{Cu} = \text{e}^- + \text{Cu}^+$ ... ..	-0,52
$\text{Fe}^{2+} = \text{e}^- + \text{Fe}^{3+}$ ... ..	-0,77
$\text{Hg}(\text{l}) = \text{e}^- + 1/2 \text{Hg}_2^{2+}$ ... ..	-0,7961
$\text{Ag} = \text{e}^- + \text{Ag}^+$ ... ..	-0,7996
pH=7	
$\text{H}_2\text{O} = 2 \text{e}^- + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}^+$ ... ..	-0,817
muy ácido	
$\text{H}_2\text{O} = 2 \text{e}^- + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) + 2 \text{H}^+$ ... ..	-1,23
$2 \text{Cl}^- = 2 \text{e}^- + \text{Cl}_2(\text{g})$ ... ..	-1,36

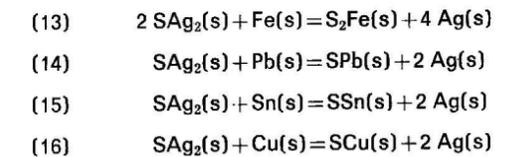
Por ejemplo, para el hierro:



Los otros metales, con diferentes potenciales, tienen reacciones similares:



Estos metales pueden incluso llegar a reducir la argentita:



Estas reacciones son exotérmicas y su energía libre de Gibbs es negativa y son, por tanto, espontáneas (ver tabla I. DUROCHER y MALAGUTI indican que el hierro o el cobre «pueden reducir el sulfuro de plata a la temperatura de 100° C en presencia de sulfato de cobre» (DOMEYKO, p. 269). En consecuencia, las ecuaciones (13-16) no serían efectivas a temperatura ambiente. El uso de estos metales como reductores permitió mejorar el proceso al aumentar su rapidez, control y recuperación de la plata. El pH podía, ahora, ser menos ácido, lo cual tenía varias ventajas. Sobre todo liberan al proceso de Medina de las limitaciones sobre el tipo de mena, la cual ya no necesita de iones  $\text{Cu}$  y pirrotina o piritas medio descompuestas en su constitución. El plomo y el estaño, por su menor costo, llegaron con el tiempo a reemplazar al hierro, y se usaron hasta mediados del siglo XIX. El proceso de cazo y cocimiento del padre BARBA, basado en el uso del cobre metálico como reductor, en diferentes variantes, se empleó hasta finales del siglo XIX. El descubrimiento de Carlos CORZO en 1587 fue significativo y cambió la práctica del proceso de Medina al introducir un nuevo grupo de reductores. Las ventajas pronto se hicieron notar en Potosí. En una carta del licenciado CEPEDA al Rey desde La Plata el 28 de febrero de 1590 se dice:

«Manda Vuestra Magestad que se le de quenta de la nueva imbenición que para beneficiar los metales carlos corso y Juan andrea y nventaron en potosy el año de 87 de cuyo buen effecto e hecho relación y de los útiles que deste beneficio del hierro se siguen, a la hazienda rreal, y a la de vuestros vassallos y vezinos de potosy respeto de poder por esta lavor beneficiar qualesquier metales, lo que no se podía hazer por el beneficio antiguo, que usabam, por el mucho azogue que por él se perdía, que no lo podían sufrir los beneficiadores ni pagar los metales con las demás costas que hazían» (LEVILLIER, p. 30).

En otra carta de Cepeda desde La Plata el 2 de julio de 1590 se decía que «por esta causa a llegado a valer un quintal de hierro cinquenta pessos ensayados y ahora vale de contado quarenta pessos ensayados que es prue-

va de la vondad del beneficio y que se pueden labrar metales de todo género y ley, lo que no se hacía antes que del hierro se usara» (LEVILLIER, p. 87). El Virrey conde del Villar se alarmó de que por este motivo disminuya el consumo de azogue y «resultava algún perjuicio o daño a la renta que su Magestad tenía asentada con los dichos azogues» (BARGALLO, 1955, p. 151) y mando que se prohíba su uso. Este no era el único inconveniente con el que tropezaron los CORSO, ya que en la misma carta del 2 de julio de 1590 CEPEDA decía «traen pleyto con esta villa». CEPEDA defendió la posición de los CORSO y de los mineros potosinos en una carta al Rey desde La Plata el 12 de marzo de 1593:

«Los grandes prouechos que se an seguido del beneficio del hierro que yo faouescí y defendí con el conde del Villar que lo contradecía como pareció por lo que sobre ello escriuió a la villa de potosí, manifiestos son por el grande aumento en que an subido los quintos reales que sin el hierro no se podían labrar por sus excesivas costas y gastos que eran más quel prouecho en que se perdían todos los que los beneficiaban por mis cartas para ese real consejo se achara de uer lo que yo en ello seruí a Vuestra Magestad y Carlos Corso Vincentello su inuenteor es buen testigo lo que le anime para que no le dexase por uerse desfauorescido de todos como agora lo está, yo le animo a que saque a luz otro nueuo beneficio que tiene forjado para beneficiar un género de metales llamado negrilla de que ay grandísima copia en el cerro de potosí, la mala paga que los metaleros y dueños de minas que por el beneficio del hierro le hizieron y no auerle ayudado en cosa alguna los que gouiernan le tiene tan desanimado que a sido nescesario hacerle yo grandes ofertas y darle buenas esperansas para que manifieste su nueuo beneficio en especial haziéndole merced vuestro Virrey destos reynos de que solos los que con él se compusieren puedan vsar del por el orden y modo que se lo tengo escrito en nombre de Carlos corso cuya copia va con ésta para que a Vuestra Magestad conste de lo que ofresce y pide, yo he suplicado al Virrey venga en lo que carlos corso le suplica, pues no es contra derecho y es razón que cada vno sea premiado de su trabaxo porque si en este beneficio de metal negrilla acierta como él verifica que azertará mediante dios por lo mucho que en él a trabajado, gastado y perdido haziendo ensayes es de esperar gran riqueza por la copiosa cantidad de metales negrillos con demostraciones de tener plata que hasta oy no se a acertado a sacársela por muchas prueuas y ensayes que otros an hecho, yo pondré cuydado que este beneficio se manifieste y vsen del los de potosí» (LEVILLIER, p. 170).

Por su parte, recién llegado a La Plata, el nuevo fiscal de Charcas, don Jerónimo de Tovar y Montalvo, el 28 de marzo de 1593, escribió al Rey diciendo:

«diré sumariamente el estado y sustancia de quatro o cinco negocios —uno es de un diego sánchez que pretende ser primer ymbentor del beneficio del hierro con que se saca metales en la villa de potosí el qual pretende que la villa y beneficiadores de los metales le an de dar por rrazón del descubrimiento de la dicha ymbención

quarenta mill pesos ensayados que se han mandado dar a carlo y andrea corso, hermanos, so color de llamarse primeros ymbentores del dicho beneficio, no lo siendo, y el fiscal de vuestra Magestad en esta audiencia a salido a este negocio quadjubanado el derecho del dicho diego sánchez como ynteresado en este derecho por una donación que hizo a vuestra magestad de la mitad de todo lo que del dicho pleito sacase y se le adjudicase en el qual pleito an pretendido los dichos carlo y andrea corso que como a primeros que ymbentaron y descubrieron el dicho beneficio la villa de potosí y dueños de yngenios y minas y beneficiadores le an de dar client mill pesos ensayados por esta rrazón en conformidad de una capitulación que parece hauer hecho la dicha villa con ellos y la villa a pretendido que así es verdad que hizieron la dicha capitulación, pero que los dichos carlo y andrea no cumplieron con ella ni la utilidad que se auía seguido a la República con el dicho beneficio here tanta ni de tanta consideración que mereciese lo dicho al qual pleito salió el dicho diego sánchez pretendiendo que él hera primero ymbentor del dicho beneficio y que así a él se deuía el dicho premio y no a los dichos carlo y andrea corso sobre lo qual por todas las partes se hicieron probansas y por sentencias de vista y reuista fue condenada la villa y los dichos dueños de yngenios y minas y beneficiadores a que diesen y pagasen por premio de la dicha ymbención quarenta mill pesos ensayados a los dichos carlo y andrea corso y al dicho diego sánchez por razón de la pretensión que a ello tenía cinco mill pesos ensayados destas sentencias se a suplicado segunda vez ante vuestra persona Real y el proceso se a sacado para que lleue conforme a la cédula rreal con citación de las partes y auiendo yo visto con atención el proceso desta causa me parece que el dicho diego sánchez es el primer ymbentor del dicho beneficio y a él se le deve el premio y no a los dichos carlo y andrea corso, y porque esto se a de ber en vuestro rreal consejo más exactamente no hago más de significar el ynterese e ymportancia del negocio, que si en esta audiencia se pidiese por algún camino mejorar la causa y derecho de diego sánchez en ello porne toda mi diligencia» (LEVILLIER, p. 198).

A pesar de la opinión del Dr. Tovar y Montalvo el consenso fue que Carlos CORSO y su hermano Andrea fueron los inventores del beneficio del hierro. El 10 de diciembre de 1607 desde Madrid se envió una Real Cédula al Presidente de la Audiencia de La Plata con algunos datos muy importantes:

«Licenciado Alonso Maldonado de Torres, nuestro Presidente de nuestra Audiencia Real de la ciudad de La Plata, de la provincia de los Charcas.

Por parte de Carlos Corso de Leca, vecino de la Villa Imperial de Potosí, se me ha hecho relación que de más de haber descubierto el beneficio de hierro para sacar la plata de los metales con menos pérdida de azogues de la que solía haber y haberme servido en otras muchas cosas y gastado mucha parte de su hacienda en ello el año pasado de 1605 os descubrió y manifestó un ingenio y modelo de molino para moler los relaves de los metales que

se sacan del cerro de Potosí y que vos hicistes hacer la averiguación y comprobación de dicho modelo a tres maestros de hacer ingenios, los cuales declararon ser muy útil y que poniéndose en ejecución procederían de aumento cada año más de 600.000 pesos de plata ensayada de que procederían para mis quintos más de 100.000 pesos.

Y que por haber venido él, en aquella ocasión, a estos reinos no se había puesto en ejecución el dicho modelo e ingenio y que, asimismo, a causa de llover y helar mucho en Potosí no se enjugaban en mucho tiempo los ladrillos que se hacen de los metales negrillos que se sacan del dicho cerro y se perdían y deshacían muchos y mucho metal y plata que de ellos se había de sacar. Y estando cautivo en las Indias de Holanda vio y descubrió en casa de un alfarero un artificio donde en poco sitio había hornos y casas en que todo el tiempo del año, aunque llueva, hiele y nieve se hacen y pueden hacer curar y enjugar los dichos ladrillos sin perder tiempo y que lo mismo se podría hacer en la Villa Imperial de Potosí y que dándole ley y licencia para ello, en llegando a ella, pondrá en ejecución, corriente y moliente, el dicho ingenio y molino para moler los dichos relaves dando corriente al agua por parte más alta.

Y para dicha casa y hornos para hacer y enjugar los dichos ladrillos y que ambos edificios le costaran más de 20.000 pesos, suplicándome atento a ello, fuese servido de que para ponerlo en ejecución le mandase repartir y que se le diesen para ello 300 indios al jornal de los que se reparten en Potosí para las labores de minas y ingenios.

Y porque quiero saber de vos qué ingenio y modelo fue el que os manifestó el dicho Carlos Corso para moler los metales y si se ha puesto en ejecución y usado de él y si convendrá usarse de él y de los hornos que dice para curar los ladrillos y lo que costará poner estos ingenios en orden para que sean de efecto y qué utilidades resultan de ello, os mando que habiéndoo enterado muy bien de todo me envíes relación particular sobre ello, con vuestro parecer» (OVANDO, p. 71)\*.

Terminamos estas breves noticias de la vida de Carlos CORSO con esta nota extraída del *Repartimiento de los indios de mita ... el 3 de septiembre de 1633*, hecha por don Juan de Carvajal y Sande:

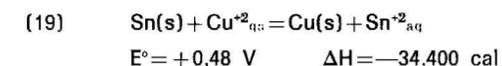
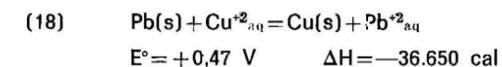
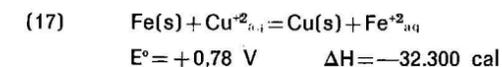
«Herederós de Carlos Corso de Leca. A los herederos de Carlos Corso de Leca para una cabeza de ingenio que tienen en el valle de Tarapaya, compañera de la de arriba, del todo despoblada muchos años ha, no se le reparten indios» (RODRIGUEZ, p. 231).

Para el uso del plomo y del estaño se llegó a preparar una amalgama seca, especial. Se fundía una cierta cantidad de plomo, o de estaño, a lo fundido, y en caliente se le pone la misma cantidad de mercurio, «reunido se saca del fuego, y con poco de sal o ceniza se muele, hasta formar como una tierra impalpable, lo que se conoce por afrechillo» (TELLEZ, p. 88).

Por su tendencia a amalgamarse el exceso de uno de

\* Noticias Políticas de Indias, Lic. Aguilar, p. 133. Se confirma el viaje y prisión de Carlos Corso acompañado de un sirviente indio.

estos metales afectaba físicamente al mercurio. Al respecto BARBA indica en el libro segundo, capítulo XVIII: «Si el azogue está muy tocado, que es tener más material, plomo, estaño, hierro o cal, de lo que ha menester, se muestra abatido, no redondo, sino antes más bien prolongado como gusano... está como amortiguado e impedido para recoger la plata». El remedio «brevisimo y más eficaz es la caparrosa», es decir, el sulfato de cobre. Las reacciones:



eliminaban con rapidez el exceso de metal, o como se solía decir «lo destocaban».

#### 2.4. Aplicación de los magistrales: segunda etapa

Los magistrales hacia 1640 se preparaban de diversas maneras, pero todos tenían contenidos de sulfato de cobre. BARBA hace hincapié en esto y presenta varias formas de preparación. Un ejemplo (libro segundo, capítulo XVIII):

«Quemase metal de cobre, y después de molido se incorpore y amasa con otra tanta sal, hácense panes y vuelven a quemarse...».

El magistral (como sulfato de cobre o cloruro de cobre) se usaba con diversos objetivos. Sin embargo, el exceso era muy perjudicial, ya que el ión  $\text{Cu}^{2+}_{aq}$  tiene un efecto físico-químico sobre el mercurio líquido, probablemente cambiando su tensión superficial, debido al cual el mercurio se desmenuza en pequeñísimas gotas. En las palabras de BARBA, «Las caparrosas... son enemigos del azogue y lo desbaratan... y más si se mezcla con sal» (libro segundo, capítulo V). «Quien quisiera» observar «mezcle con caparrosa azogue y sal y lo verá... desdecho y perdido». Para reconocer la presencia de caparrosa BARBA sugería «que se puede usar un hierro limpio, el cual se cubre de cobre si hay caparrosa disuelta en el agua». El cura de Lepe recomendaba limpiar las menas de sulfato de cobre lavándolas con agua antes de empezar el proceso de Medina.

En su libro *Nueva teórica y práctica del beneficio de los metales de oro y plata* (1802), José GARCÉS Y EGUIA describe la preparación del magistral:

«El nombre de magistral se da al mineral de cobre piritoso: éste, molido en polvo grosero, se quema en hornos de reverbero o solo, o ligado con solo sal, o con sal o piritas sulfúreas sacadas de los residuos del metal piritoso (marcasita,  $\text{S}_2\text{Fe}$ )» (BARGALLO, 1955, p. 180).

Desde el momento que Carlos CORZO y su hermano Juan Andrea introducen el uso de hierro el magistral se usaría principalmente para «destocar» y para clorurar el sulfuro de plata.

### 2.5. El uso de la cal

La cal se empleaba para controlar el pH de la mezcla de mena, sal y agua. Se evitaban, como ya se dijo, los ambientes muy ácidos o básicos. Antes del empleo de metales como reductores el pH debía ser moderadamente ácido, posteriormente se pudo emplear ambientes ligeramente ácidos o neutros. La cal también tenía sobre el mercurio el mismo efecto que el exceso de metal plomo o estaño. La cal, asimismo, precipitaba los excesos de  $\text{Cu}^{2+}$  y de otros iones.

### 2.6. Tostación

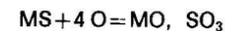
Una carta del licenciado Antonio Gutiérrez de Ulloa dirigida al Rey desde Potosí, el 12 de marzo de 1597, da cuenta de la introducción de la tostación en la Villa Imperial en conjunción de la aparición de la mena «negrillos»:

«los metales rubios de este Cerro, cuyo beneficio hasta aquí se ha entendido y usado va ya en tanta disminución que se sacan pocos y pobres porque las minas están muy hondas y otros que se descubren más altas son vetillas delgadas y de poca ley y aunque se ha entendido que unos metales negros que ay en el cerro... es (son) rico(s), nunca se ha hallado beneficio para el(ellos) y cuando yo llegué a esta villa (1595) escribí a Vuestra Magestad que Carlo Corzo decía que dentro de quince días manifestaría un beneficio provechoso nunca salió con él y de poco tiempo a esta parte otras personas tratan de perfeccionalle quemándolo...» (LEVILLIER, p. 498).

Para 1640 BARBA, en los capítulos VII, VIII, IX, X, XI y XIII del libro segundo de su obra daba recomendaciones completas sobre la forma de tostación. Esta se hacía sin sal común. En 1831 TELLEZ describe la tostación de los negrillos tal como se la llegó a realizar en Potosí. Ya cerca de finalizar la tostación se añadía sal común para la formación de  $\text{ClAg(s)}$ , evitando de esta manera su volatilización. Una descripción de la tostación a finales del siglo XIX nos ha dejado don Luis Soux, inmigrante francés, minero potosino, en un manuscrito inédito:

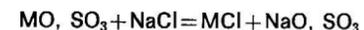
«Calcinación.—Esta operación es la más difícil e importante del beneficio. Los beneficiadores de Potosí suelen decir que "todo el beneficio depende de la quema del mineral". Los hornos que se usan con preferencia son los de reverbero de una sola solera, hechos de piedra

traquita con bóveda de ladrillo. La solera mide 2,50 metros X 2,80 metros y puede recibir 5 quintales de mineral molido. Este se deposita primero sobre la bóveda del horno, donde principia a calentarse mientras se hace otra quema adentro, y cuando la solera está ya libre se deja caer sobre ella el mineral por una abertura de 0,20 metros X 0,20 metros dispuesta al centro de la bóveda. El mineral, repartido en una capa delgada sobre la solera, recibe la acción del fuego activo durante una hora, y el azufre principia a encenderse. En este estado, se deja de atizar el fogón, habiendo bastante azufre del mismo mineral para producir el calor suficiente, que es el rojo oscuro. Sigue el azufre despidiendo ácido sulfuroso, y se nota en el mineral la llamarada azul. El hornero remueve el «quemadillo» para poner todas sus partes en contacto con el aire que entra por el fogón y por la puerta de trabajo, y tiene el cuidado de acercar al fogón sucesivamente todas las partículas de mineral que quedan en las partes frías del horno. A las 5,5 horas de principiada la operación el azufre ha desaparecido casi completamente y han principiado a formarse sulfatos de hierro, cobre, plomo y plata, según la reacción siguiente:



Es fácil verificar la existencia de los sulfatos en el quemadillo, cuando éste tiene cierta cantidad de cobre, con la reacción siguiente: se remueve en agua un poco del quemadillo; se filtra, y en la disolución clara se ponen algunas gotas de amoníaco: si la operación es completa se ve pronto aparecer la coloración azul de la sal de cobre.

Cloruración.—Cuando han principiado a formarse los sulfatos es el momento de agregar la sal para clorurar. Se mezcla con el mineral dentro del horno 15 a 20 por 100 de su peso de sal molida. Inmediatamente se desprenden algunos vapores blancos, y se ve el mineral aumentar de volumen. La reacción que se produce es la siguiente:



La sal clorura los minerales y hay formación de sulfato de soda. Esta última parte de la operación dura de 15 a 30 minutos. Los cloruros son muy volátiles, y si se dejara el mineral en este estado demasiado tiempo en el horno habría una gran pérdida de plata. El «quemadillo» se retira del horno al «enfriadero», donde se acaba la cloruración, y se guarda en un lugar oscuro, para que la luz no lo descomponga» (inédito, CAYARA/Potosí).

Con la misma precisión de aquel que ha practicado el arte, don Luis Soux nos ha dejado el dibujo de un horno de reverbero que damos en la figura 1. Después de la tostación, y ya en el siglo XIX, el «quemadillo» era posteriormente tratado por «fondos», un método más perfeccionado del beneficio de cazo y cocimiento del padre BARBA.

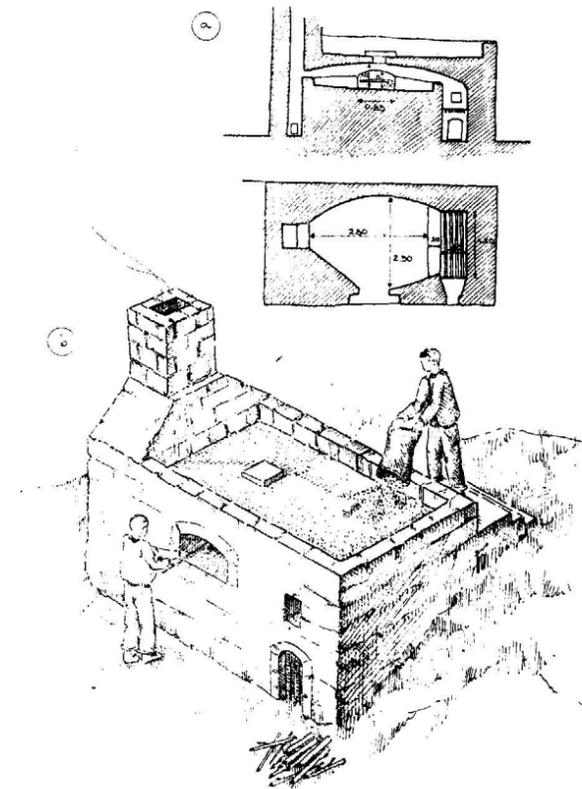


Figura 1.—Horno de tostación a fines del siglo XIX. a) Dibujo de don Luis Soux. b) Dibujo de Erlend Ovando según el anterior.

### 2.7. El ensayo por menor

BARBA recomendaba que el beneficiador, antes de aplicar el proceso de Medina, tomara una muestra de la mena y realizase dos ensayos por fundición para conocer «la plata que el cajón tiene y la que debe sacarle». A continuación se debía hacer un ensayo por menor con una libra de mena «por azogue». BARBA da muchos detalles útiles al respecto (libro segundo, capítulo XII). El lugar para estos ensayos era cualquier dependencia del ingenio o incluso una «ramada» como indicaba ARZANS ORSUA y VELA hacia 1730 (ARZANS, p. 168). TELLEZ presenta en su obra *Principios físico-químicos prácticos...*, publicado en Bolivia en 1831, indicaciones detalladas para el ensayo según el tipo de mena. El ensayo empezaba con la adición de sal común y la formación de un barro para que el azogue se mantenga distribuido en toda la masa. A continuación se añadía algo de azogue con amalgama de estaño o plomo. Si el azogue ennegrecía se añadía sulfato de cobre, si se lo veía azulado se añadía más estaño o plomo. Si se puso sulfato de cobre en exceso se añadía agua de cal. Se repetían las dosis hasta amalgamar toda la plata. El éxito de la práctica del proceso de Medina dependía de la habilidad y conocimientos del beneficiador para hacer estos ensayos. Establecidas las cantidades de plata, mercurio, reductor, sulfato de cobre y cal se pro-

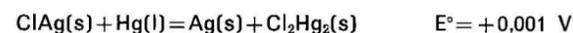
cedía «por mayor» al tratamiento de la mena. Para la correcta tostación de los negrillos también se hacía un ensayo por menor. TELLEZ describe así los útiles empleados: «Un fogón en que quepan tres ollas de barro, y les dé el fuego con igualdad y seguida llama por combustibles, secos o un hornito proporcionado de ámbito para dos libras, una paleta de hierro concaba a que llaman *cuchara* para los volteos meneos o *moyas* como dicen vulgarmente el platillo o chua y agua para hacer los borneos o *aitición* se deben tener dispuestos cuidando del mejor sitio...» (TELLEZ, pp. 96, 97). En cada olla se hacía un ensayo con la misma cantidad de mena, pero variando los materiales adicionales (pirita, cal, relabes, ceniza). Perdido el brillo se añadía sal común al final de la tostación. BARBA en 1640 y TELLEZ en 1831 se lamentaban de que muchos fueran ignorantes de estos procedimientos.

### 3. AVANCE TEORICO DEL PROCESO DE MEDINA

Los conceptos más antiguos se los debemos al padre BARBA. Este desarrolló el concepto de frío y calor basándose, entre otras cosas, en la observación empírica de reacciones endotérmicas y exotérmicas. Por ejemplo las reacciones (17), (18) y (19) son todas exotérmicas. BARBA describe así el fenómeno: «la caparrosa deshecha en agua, convierte visible y verdaderamente en cobre los metales viles, y así la calidad fría que antes tenían con que entorpecían el azogue, mudada en caliente propiedad del cobre, es causa de avivarlo» (libro segundo, capítulo XVIII). BARBA asignaba a ciertos materiales una propiedad de frío y a otros de calor y más o menos sugiere el equilibrio entre ambos extremos. Aquí se puede reconocer las teorías de ARISTOTELES sobre la materia y que fueron recogidas y ampliadas por los alquimistas. Reconociendo que la plata no se encontraba libre para amalgamarse con el mercurio, BARBA pensaba que la función de la sal marina era la de quitar la «tela o velo» que los recubría. Tuvieron que pasar casi 200 años para que se empiecen a cuestionar seriamente estas ideas. En 1831 el minero potosino Inocente Agustín TELLEZ manifestaba que «aunque leía a BARBA, TORRE y muchos manuscritos, no adelantaba un paso, porque mis ideas adquiriendo insignificantes, opuestos términos, como de frío y calor, calor y frío tocaban el embarazo...» (TELLEZ, p. 5). Aunque TELLEZ rechazaba los viejos conceptos tampoco adelantaba con los nuevos. Los químicos también tenían sus dificultades. En el congreso de Glashutte en junio de 1786, al que asistió Fausto de ELHUYAR, las opiniones estaban divididas, unos pensaban que la plata se encontraba en estado metálico dentro de los minerales y que la calcinación y la fragmentación sólo servían para liberarla. Otros admitían que podía hallarse, como los otros metales, en algún estado alterado, por ejemplo como una cal (óxido). Esta corriente pensaba que durante la tostación con sal marina estas sales pasaban a sales solubles de plata que luego eran precipitadas por el mercurio. El disolvente era el ácido clorhídrico. ELHUYAR apoyaba esta última posición (BARGALLO, 1955, p. 190). Para mediados del siglo XIX se habían dado algunos pasos importantes. En el *Tratado teórico-práctico de metalurgia*, de Constantino SAEZ DE MONTOYA, publicado en 1856 en Madrid se puede leer:

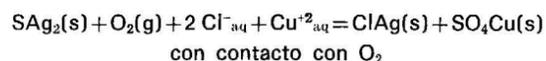
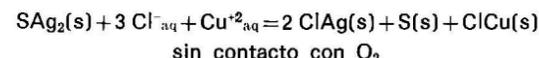
«En la mayor parte de los minerales de América (yacimientos) la plata se encuentra en el estado nativo, en el de cloruro y en el de sulfuro simple o múltiple. El magistral... ejerce su acción sobre la sal marina produciendo sulfato de sosa (SO<sub>4</sub>Na<sub>2</sub>), deuto-cloruro de cobre (CuCl<sub>2</sub>), que obra a su vez como clorurante enérgico sobre el sulfuro de plata transformándolo en cloruro y reduciéndose al estado de proto-cloruro (CuCl); el cloruro de plata se reduce por una parte del mercurio añadido que se transforma en protocloruro, al paso que otra parte forma la amalgama..., el cloruro de sodio... tiene también la misión de servir de disolvente al cloruro de plata» (SAEZ DE MONTOYA, cap. V, art. XI, p. 468).

Como se ve, para esta época los minerales de plata más importantes ya se habían identificado, como asimismo la función del CuCl<sub>2</sub> sobre el SAg<sub>2</sub>, aunque sólo parcialmente. Como reductor del cloruro de plata se proponía al mercurio:



Esta reacción tiene un potencial de oxidación insignificante, y la energía libre de Gibbs es positiva; dicho de otra manera, el mercurio es tan noble como la plata y no puede reducirla y termodinámicamente la reacción no es posible.

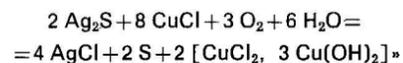
DUROCHER y MALAGUTI (1851), en la memoria ya citada, proponen las siguientes reacciones:



Lamentablemente, la primera reacción no es termodinámicamente posible, y tampoco está muy bien balanceado el equilibrio de cargas del lado izquierdo. Pero sigamos a estos autores, «si se hace obrar sobre el sulfuro de plata el cloruro de cobre y la sal común, se ha de formar primero el subcloruro de cobre (ClCu) y la plata clorurada, en seguida el subcloruro, disolviéndose en la sal, obrará sobre otra cantidad de sulfuro de plata y dará origen a la producción de plata metálica, cloruro y sulfuro de cobre»:

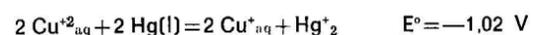


Si bien esta última reacción es posible la formación de ClCu(s) no puede explicarse. En 1880 J. PERCY publica en Londres *Metallurgy of Silver and Gold*. Citando a este autor, J. R. PARTINGTON, en 1944, decía: «los minerales que contienen plata metálica, cloruro y sulfuro de plata y una gran cantidad de roca se trituran... en bocartes... mezclado con un poco de sal..., se pisotea... en un... patio. Se añade mercurio con piritas un poco tostadas, que contienen sulfatos cúprico y férrico..., se forma primero cloruro cuproso (CuCl) y luego:



(PARTINGTON, p. 424)

Finalmente, el mercurio reducía al ClAg a plata metálica. I. DOMEYKO, en un artículo presentado en la Exposición de Minería y Metalurgia en Santiago/Chile, en 1894, titulado «La amalgamación de la plata», nos da otra teoría sobre la formación del cloruro cuproso (subcloruro de cobre o proto-cloruro de cobre): «el cloruro de cobre produce con una parte del azogue subcloruro de cobre..., el cual descompone el sulfuro de plata». Sin embargo, este esquema no es convincente, ya que la reacción:



al tener un potencial negativo elevado indica que no es posible. Es decir, el Hg(l) es más noble que el cobre. Todos estos autores tanteaban la búsqueda de un reductor apropiado para el ClAg(s) ignorando o rechazando la conocida práctica americana de usar hierro, plomo, estaño y cobre metálicos. La evidencia industrial también estaba en contra del mercurio como reductor. I. DOMEYKO, por ejemplo, observaba, en el artículo ya citado: «Los minerales que contengan mucho cloruro de plata se aprovechan... por medio de la amalgamación en fondos (cobre metálico) porque es difícil descomponer el cloruro de plata por medio del azogue». BARBA, con su agudo sentido de observación, decía: «Groseramente han errado los que se han persuadido que... se consume verdaderamente el azogue..., pues en las lamas y relaves se ha quedado el azogue» (libro segundo, capítulo XXI).

Aquí, a principios del siglo XX, terminó prácticamente toda la investigación teórica del proceso de Medina al aparecer los procesos de lixiviación, que desplazaron definitivamente al proceso de Bartolomé de Medina, dejando de esta manera el problema a medias.

#### CONCLUSION

En 1555 Bartolomé de Medina desarrolló un proceso original que permitió el tratamiento de menas de plata. En Potosí/Bolivia, hombres como Carlos CORZO y Alvaro ALONSO BARBA hicieron desarrollos fundamentales al introducir un nuevo grupo de reductores: hierro, plomo, estaño y cobre, y el empleo de sulfato de cobre. Su uso produjo cambios perdurables en la técnica del proceso. Comenzando con BARBA se empezó el análisis teórico del proceso de Medina, pero éste se truncó a principios del siglo XX y no se lo ha vuelto a retomar desde entonces.

#### BIBLIOGRAFIA

ACOSTA, José de: *Historia natural y moral de las Indias*. Madrid (1590)<sup>1</sup>, México (1940), Ed. Fondo de Cultura Económica.

ARZANS ORSUA Y VELA, Bartolomé: *Historia de la Villa Imperial de Potosí*, aprox. 1736, t. 1, Providence Rhode Island (1965), Ed. G. Mendoza y L. Hanke, Brown University Press.

BARGALLO, Modesto: *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*. México (1955)<sup>1</sup>, Ed. Fondo de Cultura Económica.

BARGALLO, Modesto: *Trabajos, artículos y apuntes, 1940-1972*. México (1973)<sup>1</sup>. Ed. propia del autor.

BARBA, Alvaro Alonso: *El arte de los metales*. Madrid (1640)<sup>1</sup>, Potosí (1967). Ed. «Potosí».

DOMEYKO, Ignacio: *Tratado de ensayos tanto por la vía seca como por la vía húmeda* (1844)<sup>1</sup>, París (1903). Ed. Librería de Ch. Bouret.

HOLMYARD, E. J.: *Alchemy*, Edinburgh (1957)<sup>1</sup>. Ed. Penguin Books.

LEVILLIER, Roberto: *Audiencia de Charcas. Correspondencia de Presidentes y Oidores, 1590-1600*, t. III, Madrid (1922). Ed. Colección de Publicaciones Históricas de la Biblioteca del Congreso Argentino.

OVANDO-SANZ, G.: *La academia de minas de Potosí, 1757-1970*, La Paz (1975). Ed. Banco Central de Bolivia.

PARTINGTON, J. R.: *Química general e inorgánica*. Madrid (1950) (1944)<sup>1</sup>. Ed. Dossat, S. A.

RODRIGUEZ MOLAS, R.: *Mitayos, ingenios y propietarios en Potosí, 1633*. Runa, Buenos Aires (1986), vol. XVI.

SAEZ DE MONTOYA, C.: *Tratado teórico-práctico de metalurgia*. Madrid (1856). Ed. Imprenta de Gaspar y Roig.

SOUX, L.: Sin título, documento inédito. Cayara, Potosí, Bolivia.

TELLEZ, I. A.: *Principios fisico-químico-prácticos en memorias, para extraer la plata que contengan los minerales*. Sucre (1831), Ed. Imprenta Boliviana.

## Noticias

### VOLUMEN CENTENARIO DEL BOLETIN GEOLOGICO Y MINERO

El Boletín Geológico y Minero, revista bimestral fundada en 1874, que edita el Instituto Tecnológico GeoMinero de España, llega en este año de 1989 a su Volumen 100.

Ha coincidido este hecho con el cambio de denominación del organismo editor, por lo que se ha considerado oportuno el introducir algunas modificaciones que afectan a su presentación, como es el cambio de color en la portada y reestructuración de su cabecera.

Asimismo, para una mayor difusión de su contenido, al

facilitar su recogida por las bases de datos internacionales, se incluyen al final de los correspondientes resúmenes de cada colaboración los descriptores que, basándose en el Thesaurus Multilingüe de Ciencias de la Tierra, sintetizan el contenido de cada artículo.

Todo ello unido a un incremento considerable en el número de páginas de cada número, justifica se inicie la 5.ª serie de esta publicación, que esperamos sea del agrado del lector.

Las áreas de la región y la evaluación del riesgo sísmico ocuparon un buen número de ponencias.

Como conclusiones del simposio se insistió en la necesidad de una mayor colaboración entre las instituciones científicas de la región que trabajan en estos temas y el intercambio de información en reuniones periódicas, la instalación y modernización de las redes sismológicas nacionales, el incremento en los estudios geofísicos destinados a un mejor conocimiento de la estructura de la corteza terrestre y la investigación de la sismicidad histórica.

### SIMPOSIO SOBRE IMPACTO AMBIENTAL

La Asociación Profesional Internacional de Asuntos Ambientales ha celebrado su XXXIX Simposio sobre Evaluación del Impacto Ambiental, celebrada en Bruselas los días 13 y 14 de abril de 1989.

En él se presentaron casos concretos, tales como el túnel del Canal, los terminales petroleros del mar del Norte, autopistas, centrales nucleares y explotaciones de lignito.

Información: International Professional Association for Environmental Affairs (IPRE), 25 Rue de la Science, Boîte 18, B 1040 BRUXELLES, Bélgica.

### SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE «SISMICIDAD, SISMOTECTONICA Y RIESGO SISMICO DE LA REGION IBERO-MOGREBI»

La región Ibero-Mogrebí incluye España, Portugal, Marruecos, Argelia y Túnez y constituye una unidad desde el punto de vista geotectónico y de la ocurrencia de terremotos.

Para estudiar las características sísmicas de esta región se reunieron en Madrid, del 12 al 14 de abril, un centenar de científicos de los países implicados, así como expertos de Francia y Estados Unidos. El simposio, organizado por el Instituto Geográfico Nacional y la Universidad Complutense, contó con la colaboración del U. S. Geological Survey y la subvención del Comité Conjunto Hispano-Norteamericano y la Dirección General de Investigación Científica y Técnica. Entre las ponencias presentadas destacan las que se refieren a las nuevas redes sismológicas de los países de la Península Ibérica y el Mogreb, a los estudios de la distribución de terremotos en las distintas regiones, las situaciones sismotectónicas y los estudios de riesgo sísmico. Algunos terremotos destructores de la zona como el de Agadir de 1960 y el de Asnam de 1980 fueron estudiados en detalle. Los estudios de terremotos históricos ocuparon una parte importante del simposio, ya que dada la sismicidad de la región, sólo se producen terremotos destructores en períodos largos de tiempo. Las características tectónicas de diver-

### UNIVERSIDAD DE VERANO DE TERUEL

La Universidad de Verano de Teruel, en su V edición, a celebrar entre julio y septiembre próximos, organiza 15 interesantes cursos, de los que destacamos los dos siguientes:

XXIII Curso de Geología Práctica (5-14 de Julio).

Director: D. Mateo Gutiérrez Elorza, Catedrático de Geología de la Universidad de Zaragoza.

IV Curso de Geografía Física (4-8 de septiembre).

Director: D. José Luis Peña Monné, Profesor Titular de Geografía Física de la Universidad de Zaragoza.

Información: Universidad de Verano de Teruel. Calle de Miguel Servet. 2. 42002 - TERUEL. Tfno.: (974) 60 00 04.

### SEMINARIO SOBRE ACCIDENTES EN REACTORES NUCLEARES

Patrocinado por la UNESCO, la Agencia Internacional de Energía Atómica y otras instituciones, tendrá lugar en Dubrovnik (Yugoslavia), del 22 al 26 de mayo de 1989, el Seminario Internacional de Procesos de Transporte sobre Productos de Fisión en Accidentes de Reactores (Fission Product Transport Processes in Reactor Accidents), cuyo objeto es examinar el papel de la transferencia de calor y de masa en el comportamiento de los productos de fisión cuando el reactor se halla en situación de accidente.

Información: International Centre for Heat and Mass Transfer, P.O. Box 552, 1101 Belgrade, Yugoslavia.

### II ENCUENTRO DE CAMPO SOBRE GEOMORFOLOGIA, NEOTECTONICO Y CUATERNARIO

Durante los días 10 a 15 de julio de 1989 se celebrará en Málaga este II Encuentro como continuación del I celebrado en Granada en 1988.

Está organizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España a través de la División de Ingeniería Geoambiental.

El itinerario se desarrollará por la Serranía de Ronda, Sierra de Mijas y costa oriental de la provincia de Málaga. Información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, División de Ingeniería Geoambiental, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

### III CURSO DE RIESGOS GEOLOGICOS

A celebrar en Madrid del 2 al 6 de octubre de 1989 y or-

ganizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

Curso de carácter introductorio, está dirigido a los profesionales relacionados con riesgos, preferentemente de las Administraciones Públicas, Centro de Investigación, Compañías de Seguros, etc.

Información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, División de Ingeniería Geoambiental, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

### CONFERENCIA EUROPEA DE CERAMICA

Durante los días 18 a 23 de junio de 1989 tendrá lugar en Maastricht (Holanda) la Primera Conferencia de la Sociedad Europea de Cerámica, entidad de la que forman parte asociaciones de Alemania Occidental, Bélgica, España, Francia, Italia, Países Bajos, Portugal, Reino Unido, Suecia y Yugoslavia.

En esta Conferencia, que habrá de repetirse con periodicidad bianual, se estudiará todo el amplio campo de la cerámica, desde los materiales tradicionales de arcilla hasta los materiales más avanzados con aplicaciones en ingeniería, electrotecnia, magnetismo y biotecnología y se darán a conocer los más recientes progresos en estos campos.

Simultáneamente tendrá lugar una exposición en la que se mostrarán equipos, productos y servicios relacionados con la industria cerámica.

Información: Maastricht Exhibition & Congress Central, Congress Organizing Dept., P.O. Box 1630, 6201 BP Maastricht, Holanda, Teléfono 07: (31043) 83 83 83, Télex 56 682 MECC NL, Fax 07: (31043) 83 83 00.

### CURSO SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Organizado por el International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE), bajo el patrocinio de la Comisión de las Comunidades Europeas, se desarrollará en las ciudades holandesas de Delft y Wageningen, del 19 de junio al 11 de agosto de 1989, el Curso Internacional sobre Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales.

En él se estudiarán, tanto los principios básicos de biotecnología ambiental y de microbiología, y las técnicas de tratamiento biológico del agua residual y sus reactores anaeróbicos, como la selección de procesos con arreglo al tipo de residuos y los aspectos socioeconómicos del tratamiento.

Información: Registrar IHE, Course on Anaerobic Waste Water Treatment, P.O. Box 3015, 2601 DA Delft, Holanda.

### EXCURSION PRACTICA DE CAMPO DE GEOLOGIA AMBIENTAL Y RIESGOS GEOLOGICOS

Organizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España y como complemento práctico a las enseñanzas impartidas en los cursos de Geología Aplicada al Medio Ambiente y Riesgos Geológicos.

Se celebrará del 16 al 20 de octubre y su ámbito geográfico será el mediodía peninsular.

Información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, División de Ingeniería Geoambiental, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

### SIMPOSIO SOBRE TECNOLOGIA DEL TRANSPORTE EN MINERIA

Este Simposio tendrá lugar en Düsseldorf (Alemania Occidental), los días 24 y 25 de mayo de 1989, organizado por la Verein Deutscher Ingenieure (VDI) y en él se darán a conocer los más recientes progresos en materia de manutención y transporte en minería.

Los trabajos se agruparán en dos temas principales: *Minería subterránea* y *Minería a cielo abierto* y *manipulación* y *almacenamiento*. El primero comprende todo lo relativo a extracción por pozo vertical o inclinado, transporte ferroviario interior, transporte hidráulico y transporte de personal; y en el segundo se incluirán las materias relacionadas con excavadoras hidráulicas, cadenas de cangilones, cintas transportadoras, camiones y dispositivos de mezcla.

Información: Symposium on Conveying and Transportation Technologies in Mining, VDI, Gesellschaft Energietechnik, P.O. Box 1139, D-4000 Düsseldorf 1, Alemania, Teléfono 07: (49211) 6214.

### XII CONGRESO ESPAÑOL DE SEDIMENTOLOGIA

Lo organiza el Grupo Español de Sedimentología y tendrá lugar durante los días 16 y 23 de septiembre de 1989 en el Campus Universitario de Leioa (Vizcaya), situado a 15 kilómetros de Bilbao.

Los trabajos objeto de este Congreso se agruparán en tres temas:

1. Sistemas sedimentarios urgonianos.
2. Sistemas sedimentarios turbidíticos.
3. Sedimentología aplicada a la investigación de recursos naturales, medio ambiente y prevención de riesgos geológicos.

Información: Secretaría del XII Congreso Español de Sedimentología, Departamento de Estratigrafía, Geodinámica y Paleontología, Facultad de Ciencias, Universidad del País Vasco, Apartado 644, 48080 Bilbao

### INTERACTION 89

Durante los días 18 a 22 de septiembre de 1989 tendrá lugar en el Centro Nacional de Exposiciones de Birmingham (Inglaterra) la muestra denominada INTERACTION 89, consistente en seis exposiciones que ofrecen los equipos y servicios correspondientes a todo el proceso de producción, desde la extracción de materias primas hasta la distribución de productos acabados, pasando por la construcción de edificios industriales.

Dichas exposiciones son las siguientes:

- SITE HANDLING 89: Manutención en obras y solares.
- POWER TRANSMISSION 89: Generación, transmisión y control de energía.
- HANDLING & STORAGE 89: Manutención y almacenamiento.
- INTERBULK 89: Manutención y procesado de materias sólidas.
- DISTRIBUTION 89: Servicios y equipos de transportes.
- INDUSTRIAL BUILDINGS 89: Construcción y equipamiento de edificios.

Información: Lorna Wells, Inter-Action Information Officer, The Trinity Group, Trinity House, Hercies Road, Hillingdon, Middlesex UB10 9 NA, Inglaterra, Teléfono 07: (44895) 58431, Télex 881 3047 TRINITY, Fax 07: (44895) 71946.

### XIV CONGRESO DE LA CONFERENCIA MUNDIAL DE LA ENERGIA

Durante los días 17 a 22 de septiembre de 1989 tendrá lugar en Montreal (Canadá) el XIV Congreso de la Conferencia Mundial de la Energía, cuyo tema general será: *Energía para mañana*.

Los trabajos objeto de este Congreso se agruparán en cuatro divisiones:

- Energía y sociedad.
- Energía y ambiente.
- Energía y economía.
- Energía y tecnología.

Habrán además varias mesas redondas y una sesión especial sobre estrategia energética a largo plazo, en la que participarán personalidades de relieve en el mundo de la energía.

Simultáneamente con el Congreso se celebrará una Exposición relativa a equipos y servicios energéticos y los congresistas podrán participar en visitas técnicas y excursiones post-congreso.

Información: Comité Español de la Conferencia Mundial de la Energía, Avenida del Brasil, 7, 9.º izda., 28020 Madrid, Teléfono (91) 456 76 63 y 450 90 02, Télex 44399 COBR E, Fax (91) 234 27 77.

### II CURSO DE GEOLOGIA APLICADA AL MEDIO AMBIENTE

A celebrar del 23 al 27 de octubre de 1989 en Madrid, organizado por el Instituto Tecnológico GeoMinero de España.

La complejidad de los problemas ambientales, de naturaleza generalmente interdisciplinar precisa, sin embargo, de aproximaciones globales y estructurales.

Información: Instituto Tecnológico GeoMinero de España, sección de Ingeniería Geoambiental, Ríos Rosas, 23, 28003 Madrid.

### SIMPOSIO INTERNACIONAL SOBRE INGENIERIA SUBTERRANEA

Durante los días 9 a 12 de abril de 1990 tendrá lugar en Tokio el Primer Simposio Internacional con Exposición sobre Desarrollo e Ingeniería del Espacio Subterráneo (The First International Underground Space Development & Engineering Exhibition and Symposium), GEOTECH'90.

En él se estudiarán materias relativas a investigación y explotación de recursos minerales y energéticos, tecnología de excavación y perforación, tecnología de construcción y equipamiento de espacios subterráneos, etc.

Del mismo modo, en la Exposición se dará a conocer una extensa gama de máquinas y equipos relacionados con dichas actividades.

Información: World Import Mart Co. Ltd. 3-1-3, Higashi-Ikebukuro, Toshima -u, Tokyo 170, Japón.

### COLOQUIO INTERNACIONAL SOBRE EL ENLACE EUROPA-AFRICA

Del 16 al 18 de mayo de 1990 tendrá lugar en Marraqués (Marruecos) el Tercer Coloquio Internacional sobre el Enlace Fijo Europa-Africa a través del Estrecho de Gibraltar, organizado por el Comité Mixto Hispano-Marroquí que estudia dicho enlace.

Los trabajos de este proyecto se iniciaron en 1981, sobre la base de un acuerdo de cooperación entre Marruecos y España y se han orientado hacia la recogida y explotación de los datos locales y hacia la realización de estudios técnicos, económicos y jurídicos, que han permitido formular soluciones al alcance de la tecnología actual,

mediante puente sobre apoyos fijos o mediante túnel excavado.

Se espera que este Tercer Coloquio pueda contribuir al análisis de los problemas específicos relacionados con los aspectos más relevantes del proyecto.

Información: Comité de Organización, Société Nationale d'Etudes du Detroit, 31, Charia al Alaouyine, Rabat, Marruecos.

### III CONGRESO DE GEOQUIMICA DE ESPAÑA

Organizado por el Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas y por los Colegios Oficiales de Geólogos y de Químicos, tendrá lugar en Soria, durante los días 17 a 22 de septiembre de 1989, el III Congreso de Geoquímica de España, en el que se estudiarán las siguientes materias:

- 1.—Geoquímica de los materiales y procesos geológicos.
- 2.—Métodos matemáticos en Geoquímica.
- 3.—Prospección geoquímica.
- 4.—Geoquímica isotópica.
- 5.—Cosmoquímica.
- 6.—Hidrogeoquímica.
- 7.—Teledetección.
- 8.—Métodos de análisis en Geoquímica.
- 9.—Geoquímica ambiental.
- 10.—Geoquímica orgánica.

Información: Consejo Superior de Colegios de Ingenieros de Minas, Ríos Rosas, 19 bis, 28003 Madrid.

### SIMPOSIO SOBRE ROCAS INDUSTRIALES Y ORNAMENTALES

Lo organizan el Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo, el Instituto Tecnológico GeoMinero de España y la Dirección Regional de Minería y Energía de Asturias, y tendrá lugar en Mieres del Camino los días 21 a 23 de junio de 1989, coincidiendo con la V Feria de la Minería.

En el temario de este Simposio figuran las siguientes materias: Rocas industriales y ornamentales en España y en Asturias, Arranque y tratamiento de rocas ornamentales en la Construcción, Pizarras, Mármoles y granitos, Nuevos materiales.

Información: Departamento de Explotación y Prospección de Minas, E. T. S. de Ingenieros de Minas, Independencia, 13, 33004 Oviedo.

## Notas bibliográficas

### GEOLOGIA GENERAL

881277. **El Programa Internacional de Correlación Geológica (PICG): Situación actual y perspectivas futuras en España.** REGUANT, S., y ZAMARREÑO, I.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 437-444, esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* PICG, Informe actividad, Programa, España.

### GEOLOGIA REGIONAL

881242. **El anticlinal de Ibor: estratigrafía, sedimentología, tectónica y ciclos sedimentarios.** GARCIA-HIDALGO, J. F.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 101-110, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Anticlinal, Infracámbrico, Discordancia, Orogenia hercínica, Litofacies, Ciclo sedimentario, Transgresión, Regresión, Paleogeografía, Provincia Cáceres, Hercínico Centro.
881396. **II Congreso Geológico de España. Granada, 1988. Comunicaciones.**  
458 pp., esp., bibl. ITGE.  
\* Reunión, Geología.

### ESTRATIGRAFIA

881240. **Distribución paleogeográfica y control estructural de los materiales anteordovícicos en la parte suroriental del autóctono de la zona centroibérica.** ORTEGA, E.; HERNANDEZ URROZ, J., y GONZALEZ LODEIRO, F.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 85-89, 11 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Paleogeografía, Vendense, Cámbrico, Tectónica de frac-

tura, Tectónica de zócalo, Falla de extensión, Orogenia hercínica, Margen continental pasivo, Autoctonía, Hercínico Centro, Provincia Ciudad Real.

881241. **Presencia y caracterización del «Alcudiense Superior» (Vendense) en el entronque de La Serena y el Valle de Alcudia (Este de la Provincia de Badajoz).** PIÉREN, A. P., y HERRANZ, P.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 91-100, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Vendense, Pliegue, Anticlinal, Corte geológico, Roca clástica, Grauvacka, Pizarra, Ciclo sedimentario, Deformación polifásica, Esquistosidad, Metamorfismo regional, Provincia Badajoz.

881250. **Medidas de paleotemperatura a partir de los isótopos estables en foraminíferos planctónicos. Aplicación al Eoceno Subbético.** JIMENEZ DE CISNEROS, C.; LINARES, J.; MARTINEZ GALLEGU, J.; O'DOHERTY, L.; REYES, E.; CABALLERO, E., y VERA, J. A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 185-194, 27 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Paleotemperatura, Eoceno, Fauna foraminíferos, Taxón planctónico, Isótopo estable, O18-O16, Enrollamiento concha, Paleoclima, Variación nivel, Zona Bética, Zona Subbética.

881251. **Bioestratigrafía integrada del Barremiense-Aptiense del sector de Campillo de Arenas (Subbético Medio). Ejemplo de aplicación al análisis de cuencas.** AGUADO, R.; COMPANY, M.; MARTINEZ PEREZ, J. A., et al.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 195-204, 18 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Barremiense, Aptiense, Bioestratigrafía, Fauna ammonites, Fauna foraminíferos, Medio agua poco profunda, Plancton, Nanofósil, Biocenosis, Provincia Jaén.

881252. **Análisis litoestratigráfico y secuencial del Cretácico de dos sondeos de la Cordillera Ibérica meridional.** ARACIL, E., y VILAS, L.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 205-212, 15 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Cretácico, Escala estratigráfica, Diagrafía, Sondeo, Macizo Ibérico, Provincias Albacete, Cuenca, Valencia.

881254. **Análisis mediante ordenador de superficies de discontinuidad. El contacto Buntsandstein-Muschelkalk en la zona de enlace entre la Cordillera Ibérica y el Sistema Central.** GARCIA GIL, S., y SOPEÑA, A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 223-230, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Discordancia angular, Buntsandstein, Límite estratigráfico, Muschelkalk, Geometría, Programa ordenador, Transgresión, Variación nivel, Roca clástica, Roca carbonatada, Isopaca, Paleogeografía, Macizo Ibérico, Provincia Soria, Guadalajara.

881261. **Posición estratigráfica, relaciones de facies y control tectónico del abanico de Villanueva. Mioceno terminal. Depresión de Guadix.** FERNANDEZ, J., y SORIA, J.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 291-298, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Sedimentación continental, Mioceno Sup., Corte geológico, Conglomerado, Abanicos fluviales, Roca carbonatada, Sedimentación lacustre, Medio agua poco profunda, Cronoestratigrafía, Provincia Granada.

881278. **IGPC Project 73/1/25. Stratigraphic correlation Tethys Paratethys Neogene.** ALBERDI, M. T.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 445-454, ing., res. esp., bibl. ITGE.  
\* PICG, Neógeno, Paratethys, Tethys, Informe actividad, España.

881283. **Acontecimientos extraordinarios en Geología.** LAMOLDA, M. A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 483-490, 23 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* PICG, Informe actividad, Límite estratigráfico, Jurásico Medio, Jurásico Sup., Cretácico Sup., Terciario Inf., Macizo Ibérico, Provincias Vascas.

881400. **Unidades litoestratigráficas de los materiales Precámbrico-Cámbrico en la mitad suroriental de la zona Centro-Ibérica.** GARCIA CASQUERO, J. L.; ALVAREZ NAVIA, H.; GIL TOJA, A., et al.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 19-22, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Infracámbrico, Cámbrico, Corte geológico, Unidad estratigráfica, Litofacies, Hercínico Centro.

881404. **Caracteres generales de la sucesión Albiense Superior del Flysch negro entre Elantxobe y Deba (Vizcaya y Guipúzcoa).** BADILLO, J. M.; AGUIRREZABALA, L. M., y GARCIA MONDEJAR, J.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 35-38, esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Albiense, Flysch, Fauna, Unidad estratigráfica, Corte geológico, Provincias Vizcaya, Guipúzcoa.

881412. **El Cretácico Inferior del sector de Jubera (Norte de la Sierra de los Cameros, La Rioja): Relación entre tectónica y sedimentación.** DÍAZ MARTINEZ, E.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 67-70, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Cretácico Inf., Wealdense, Pliegue, Sinclinal, Unidad estratigráfica, Corte geológico, Tectónica sinsedimentaria, Provincia Logroño.

881414. **Shelf facies of the Middle-Upper Jurassic, Arta Caves («Serres de Llevant», Mallorca, Spain).** SABAT, F.; FORNOS, J. J., y RODRIGUEZ PEREA, A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 75-78, 4 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.  
\* Margen continental, Caliza, Dolomía, Jurásico, Corte geológico, Isla Mallorca, Baleares.

881418. **Datos bioestratigráficos sobre los materiales si-**

**liceos del subsuelo de El Centenillo (Jaén).** GUTIERREZ MARCO, J. C., y PINEDA, A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 91-94, 15 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Silúrico, Testigo, Nuevo dato, Unidad estratigráfica, Pizarra, Cuarzita, Pizarra no metamórfica, Fauna graptolites, Ampelita, Bioestratigrafía, Provincia Jaén.

881424. **La discordancia intraprecámbrica y la estratigrafía del Precámbrico Superior en el sector suroriental del anticlinal de Abenojar-Tirteafuera.** SOLE, J., y LORENZO ALVAREZ, S.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 115-118, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Infracámbrico, Discordancia angular, Orogenia hercínica, Pliegue, Anticlinal, Corte geológico, Hercínico Sur.

### GEOMORFOLOGIA

881481. **Sobre la localización de los glaciares pleistocenos en el Sistema Central Español.** ACASO, E.; CENTENO, J. D.; PEDRAZA, J., y RUBIO, J. C.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 347-350, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Circo glaciar, Pleistoceno, Orientación, Microtectónica, Hercínico Centro, Sierra de Guadarrama, Sierra de Gredos.

881483. **Análisis morfológico de la Sierra de Baza y sus piedemontes.** ALONSO, M. A.; HOYOS, M., y MARTIN, C.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 355-358, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Piedemonte, Geomorfología cuantitativa, Macizo montañoso, Abanico fluvial, Ladera, Baza, Provincia Granada.

881484. **Validación a escala temporal de tasas de erosión en áreas de Badlands, Prepirineo Catalán.** BALASCH, J. C.; CLOTET-PERARNAN, N., y GALLART, F.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 359-362, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Badlands, Tasa erosión, Erosión fluvial, Erosión suelo, Variación temporal, Maestrichtiense, Daniense, Montienense, Garumniense, Cataluña, Cuenca Llobregat, Prepirineo, Pirineos españoles.

881487. **Estudio de los estados erosivos en la provincia de Palencia.** CABRERA, M. P.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 371-374, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Tasa erosión, Erosión suelo, Ladera, Roca sedimentaria, Roca ígnea, Provincia Palencia.

881493. **Sobre la transición Neógeno-Cuaternario en la Meseta. El papel morfodinámico de la raña.** MARTIN-SERRANO GARCIA, A.  
2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 395-398, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.  
\* Glacis, Piedemonte, Raña, Sedimentación continental, Erosión fluvial, Neógeno, Cuaternario, Cuenca del Duero.

881495. **El Valle del Manzanares y su relación con la depresión Prados-Guaten durante el Pleistoceno Inferior, Madrid, España.** SILVA, P. G.; GOY, J. L.; ZAZO, C.; HOYOS, M., y ALBERDI, M. T.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 403-406, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Valle fosilizado, Captura curso agua, Terraza, Fauna mamíferos, Neotectónica, Pleistoceno Inf., Provincia Madrid.

881497. **Identificación de rasas litorales en el litoral vasco.** ORTEGA, L. I.; CENDRERO, A., y DIAZ DE TERAN, J. R.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 411-413, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Terraza marina, Medio litoral, Provincia Vizcaya, Provincia Guipúzcoa.

## CUATERNARIO

881265. **Correlación cronoestratigráfica entre deltas marginales y complejos turbidíticos en el margen continental del Ebro (Mediterráneo noroccidental).** FERRAN, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 327-331, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuaternario, Plataforma continental, Margen continental, Sedimentación deltáica, Correlación, Levantamiento geofísico, Sísmica reflexión, Mar Mediterráneo Oeste, España.

881279. **Late quaternary sea level changes: Measurement, correlation and future applications (IGPC. Project 200).** ZAZO, C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 455-462, 16 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

\* PICG, Informe actividad, Variación nivel, Cuaternario, Mar Mediterráneo, Oeste, España.

881477. **Análisis polínico de dos turberas localizadas en el macizo de Peñalara (Sierra de Guadarrama, Madrid).** RUIZ ZAPATA, M. B.; GARCIA ANTON, R.; GIL GARCIA, M. J., y ANDRADE, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 329-332, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Turba, Palinomorfo, Análisis polínico, Holoceno, Provincia Madrid, Sierra de Guadarrama.

881485. **Sedimentación actual en el estuario del río Odiel, Huelva.** BORREGO, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 363-366, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Medio estuario, Sedimentación estuario, Actual, Ciénaga salada, Slikke, Provincia Huelva.

881488. **Deformaciones cuaternarias debidas a procesos diapíricos en la depresión del Ebro, Provincias de Zaragoza, Navarra y La Rioja.** CASAS, A., y BENITO, G.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 375-378, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Diapirismo, Terraza, Glacis, Marga, Terciario, Cuaternario, Cuenca Ebro, Provincia Logroño, Provincia Zaragoza, Provincia Navarra.

881489. **La cueva de Valdegoba, Huérmeces, Burgos: Estratigrafía, industria lítica y fauna.** DIEZ, C., y SANCHEZ, B.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 379-382, 2 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Caverna, Relleno kárstico, Util prehistórico, Pleistoceno Sup., Paleolítico, Neanderthal, Provincia Burgos.

881490. **Aportación al conocimiento geocronológico de espeleotermas y travertinos al conocimiento paleoclimático del cuaternario en la Península y Baleares.** DURAN, J. J.; GRUN, R., y SORIA, J. M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 383-386, 19 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Paleoclima, Cuaternario, Geocronología, Espeleoterma, Travertino, Histograma, España, Baleares.

881494. **Dinámica glaciar cuaternaria en la vertiente norte de Castro-Valnera, Cantabria.** MOÑINO, M.; CENDRERO, A., y DIAZ DE TERAN, J. R.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 399-402, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Glaciación, Morfología glaciar, Pleistoceno Sup., Provincia Santander.

881496. **Sedimentación en cueva Horá, Sierra Harana, Granada: implicaciones neotectónicas y significado regional.** SORIA, J. M., y DURAN, J. J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 407-410, esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Relleno kárstico, Caverna, Neotectónica, Pleistoceno Sup., Provincia Granada.

## PALEONTOLOGIA: GENERALIDADES

881452. **Actualismo, Uniformismo y Paleontología: Hacia un mejor entendimiento entre paleontólogos y sedimentólogos.** DE RENZI, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 228-232, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Actualismo, Teoría, Paleontología, Sedimentología.

881456. **Biostratigrafía de las faunas de mamíferos de la Cuenca de Guadix-Baza (Granada).** ALBERDI, M. T.; ALONSO-DIAGO, M. A.; CERDEÑO, E.; MAZO, A. V.; MORALES, J., y SESE, C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 245-248, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Plioceno Medio, Plioceno Superior, Pleistoceno, Fauna mamíferos, Biocenosis, Biostratigrafía, Provincia Granada.

881458. **Protección y conservación de yacimientos paleontológicos españoles.** ALCALA, L., y PARICIO, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 253-256, 1 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Yacimiento fosilífero, Daño, Previsión, Legislación, España.

881462. **Influencia de la temperatura sobre el crecimiento por acreción en *Melanopsis dufouri* (Ferussae) y sus consecuencias paleobiológicas.** BRITO, J., y DE RENZI, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 269-272, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Gastropoda, Fósil viviente, Concha, Acreción, Experiencia, Temperatura.

881464. **¿Sirven los tubérculos de los gasterópodos para caracterizar poblaciones?** GARNICA, M., y MORENO PEREZ, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 277-280, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Gastropoda, Tubérculo, Concha, Morfología, Tratamiento dato, Análisis armónico.

881472. **Determinación del punto crítico de muestreo.** MARTIN SUAREZ, E.; RIVAS, P.; AGUSTI, J., y CASTILLO, C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 309-312, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Yacimiento fosilífero, Muestreo, Metodología, Método estadístico.

## PALEONTOLOGIA: VERTEBRADOS

881476. **Presencia de caracteres Mimomianos en «Arvicola Morbachensis» Schmidtgen 1911, del yacimiento de Cuéllar-Baza. I. Consideraciones sobre su origen.** RUIZ BASTOS, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 325-328, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Myomorpha, Arvicolidae, Diente, Filogenia, Provincia Granada.

## PALEONTOLOGIA: INVERTEBRADOS

881461. **Reconocimiento del Pleistoceno mediante foraminíferos en el Golfo de Cádiz.** BENOT, C., y PARRA, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 265-268, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Off shore, Pozo de reconocimiento, Testigo, Fauna foraminíferos, Biostratigrafía, Biocenosis, Cronoestratigrafía, Pleistoceno, Atlántico Noreste, Provincia Cádiz.

881463. **Biocronología con foraminíferos planctónicos de la secuencia deposicional de Jaca (Pirineo Aragonés): Eoceno Medio y Superior.** CANUDO, J. I., y MOLINA, E.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Co-

municaciones, 273-276, 14 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

881465. **Afinidades entre los Trilobites del Cámbrico Inferior del SO de Ossa Morena y los del Anti-Atlas.** GIL CID, M. D., y BERNAL, G. M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 281-284, 14 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cámbrico Inf., Trilobites, Biofacies, Correlación, Hercínico Sur, Atlas.

881466. **Distribución ecológica de las Rudistas (Bivalvia) en Les Collades de Basturs.** GILLI, E., y PONS, J. M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 285-288, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Rudistas, Cretácico Sup., Distribución espacial, Plataforma continental, Medio agua poco profunda, Paleoeología, Pirineos españoles, Cataluña.

881473. **Las bivalvas de las facies con Lithotis en el sector central de la Cordillera Bética. Morfología y adaptación.** MARTINEZ GARRIDO, J. C., y RIVAS CARRERA, P.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 313-316, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Bivalvia, Pteriina, Mytilus, Gervilleioperna, Lithioperna, Morfología, Medio marea, Caliza, Jurásico Inf., Zona Bética.

881474. **Las calizas con Lithotis de la Cordillera Bética. Sector Central. Interpretación paleoambiental.** MARTINEZ GARRIDO, J. C., y RIVAS CARRERA, P.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 317-320, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Bivalvia, Pteriina, Mytilus, Gervilleioperna, Lithioperna, Caliza, Jurásico Inf., Medio marea, Biocenosis, Bioherma, Zona Bética.

881475. **Paleoecología de algunos epizooos (Foraminifera: Cibicides; Planorbulinidae) sobre bivalvia (Ostreidae: pectinidae) de la formación Arenas de Huelva (Plioceno Inferior) en la cuenca del Bajo Guadalquivir.** MAYORAL, E., y DIAZ-ESTEVEZ, M. G.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 321-324, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Foraminífero, Cibicides, Planorbis, Bryozoa, Epibiotismo, Ostracea, Plioceno Inf., Medio bentónico, Cuenca Guadalquivir, Provincia Huelva.

881478. **Estado actual del conocimiento del Calloviense (Jurásico Medio) de España. Aspectos paleontológicos.** SANDOVAL, J.; MELENDEZ, G., y SEQUEIROS, L.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 333-336, 14 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Calloviense, Fauna, España.

## TECTONICA

881231. **Corte geológico cortical del Pirineo Central (Per-**

**fil Ecoris): Evolución geodinámica de la Cordillera Pirenaica.** LOSANTOS, M.; BERASTEGUI, X.; MUÑOZ, J. A., y PUIG-DEFABREGAS, C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 7-16, 24 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Geodinámica, Geotransversal, Choque placas, Zona subducción, Cabalgamiento, Pliegue, Anticlinal, Orogenia alpina, Levantamiento sísmico, Perfil geofísico, Paleogeografía, Modelo, Pirineos.

881232. **Los Nevado-Filábrides, una pila de pliegues-mantos separados por zonas de cizalla.** GARCIA-DUENAS, V.; MARTINEZ MARTINEZ, J. M., y SOTO, J. I.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 17-26, 33 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Zona cizalla, Manto, Falla transformante, Cabalgamiento, Roca metamórfica, Geometría, Microtectónica, Zona Bética, Sierra de los Filabres, Provincia Almería, Provincia Granada.

881233. **La estructuración de componente norte de los Mantos Alpujarrides en el sector central de la Cordillera Bética.** SIMANCAS, J. F., y CAMPOS, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 27-33, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Manto, Pliegue, Pliegue tumbado, Cizalla, Foliación, Deformación polifásica, Metamorfismo, Zona Bética, Provincia Granada.

881234. **El cabalgamiento cortical de Gibraltar y la tectónica de Béticas y Rif.** BALANYA, J. C., y GARCIA-DUENAS, V.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 35-44, 40 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cabalgamiento, Tectónica imbricada, Tectónica de cobertura, Pliegue tumbado, Despegue, Choque placas, Mioceno, Zona Bética, Gibraltar, Dominio Rif.

881238. **Evolución tectosedimentaria de una cuenca de antepaís ligada a una cadena arqueada: el ejemplo de la unidad del Pisuerga-Carrión, zona Cantábrica, NO de España.** RODRIGUEZ FERNANDEZ, L. R., y HEREDIA, N.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 65-74, 11 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Unidad tectónica, Tectónica sinsedimentaria, Tectónica tangencial, Cabalgamiento, Manto, Pliegue, Falla, Aloctonía, Namuriense, Westfalliense, Estefaniense, Discordancia, Arco astórico, Provincia Palencia.

881239. **Características geológicas y significado de los dominios que componen la zona de Galicia - Tras Os Montes.** ARENAS, R.; FARIAS, P.; GALLASTEGUI, G., et al.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 75-84, 42 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Orogenia hercínica, Deformación polifásica, Metamorfismo, Aloctonía, Antecámbrico, Primario, Tectonofísica, Galicia, Portugal.

881243. **La cuenca terciaria de As Pontes (Galicia): Su desarrollo asociado a inflexiones contractivas de una falla direccional.** CABRERA, LL.; BACELAR, J.; ALONSO, M.; KAISER, C., et al.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 113-121, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuenca sedimentaria, Terciario, Sedimentación fluvial, Sedimentación lacustre, Roca clástica, Lignito, Corte geo-

lógico, Control tectónico, Falla, Escama, Cabalgamiento, Subsistencia, Provincia La Coruña.

881244. **Cuencas terciarias gallegas relacionadas con corredores de fallas direccionales.** SANTANACH, P.; BALTUILLE, J. M.; CARRERA, L.; MONGE, C.; SAEZ, A., y VIDAL-ROMANI, J. R.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 123-133, 21 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuenca sedimentaria, Terciario, Falla diestra, Falla horizontal, Subsistencia, Lignito, Corteza terrestre, Galicia.

## HIDROGEOLOGIA

881491. **Caracterización de cuencas vertientes del País Vasco a partir del análisis correlatorio y espectral.** GARCIA, J.; ANTIGÜEDAD, I.; IBARRA, V., y MORALES, T.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 387-390, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* División cuenca, Método estadístico, Caudal, Precipitación atmosférica, Hidrograma, Provincias Vascas.

## PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

881253. **Consideraciones acerca de la evolución geológica del margen NO de la Cuenca del Tajo durante el Terciario a partir de los datos del subsuelo.** RACERO, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 213-221, 3 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuenca intracratónica, Terciario, Corte sondeo, Abanicos fluviales, Sedimentación lacustre, Medio agua poco profunda, Diagrafía, Método sísmico, Cuenca Tajo, Provincia Madrid.

881255. **Umbral pelágico: Metodología de estudio, tipología y significado en el análisis de Cuencas.** GARCIA HERNANDEZ, M.; MARTIN ALGARRA, A.; MOLINA, J. M., et al.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 231-240, 37 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Sedimentación pelágica, Medio pelágico, Teoría, Metodología.

881258. **Depósitos carbonáticos de origen gravitacional-catastrófico en las facies de talud del Jurásico Medio y Superior de Mallorca.** BARNOLAS, A., y SIMO, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 261-270, 21 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Roca carbonatada, Sedimentación talud marino, Medio talud marino, Corriente densidad, Flujo material detrítico, Estructura sedimentaria, Slumping, Malm, Dogger, Jurásico Medio, Jurásico Sup., Baleares, Isla Mallorca.

881262. **Significado sedimentológico y tectosedimentario de la formación brechas del río Gor. Cuenca de Guadix, Cordilleras Béticas.** VISERAS, C., y FERNANDEZ, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 299-308, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Abanico fluvial, Sedimentación fluvial, Medio fluvial, Tectónica sinsedimentaria, Variación nivel, Conglomerado, Brecha, Estructura sedimentaria, Flujo material detrítico, Tortoniense, Mesiniense, Mioceno Sup., Provincia Granada, Zona Bética.

881263. **Estudios geodinámicos de evolución de la Cuenca mesozoica de Chihuahua en el norte de México.** DELFAUD, J., y ORTUÑO, F.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 309-316, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Jurásico Sup., Cretácico, Rift, Megaciclo sedimentario, Plataforma carbonatada, Transgresión, Control tectónico, Geodinámica, México.

881264. **Edificación de cuerpos transgresivos, Versiliense, en la plataforma continental catalana.** CHECA, A.; DIAZ, J. I., y FARRAN, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 317-325, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Transgresión, Variación nivel, Ciclo sedimentario, Eustatismo, Isopaca, Levantamiento sísmico, Sísmica de reflexión, Plataforma continental, Versiliense, Flandriense, Cataluña.

881266. **The late Jurassic carbonate platform of the Atlantic Western Margin.** COMAS, M. C.; JANSÁ, L. F., y SARTI, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 333-342, 19 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Plataforma carbonatada, Sedimentación bioclástica, Sedimentación recifal, Medio agua poco profunda, Formación rift, Tectónica sinsedimentaria, Biofacies, Jurásico Sup., Margen continental, Atlántico noreste, Península Ibérica.

881280. **Depósitos silíceos en el ámbito de Tethys (España). PIGC número 187.** BUSTILLO, M. A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 463-469, esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* PICG, Roca sedimentaria, Composición silícea, Informe actividad, España.

881284. **Sistemas lacustres fanerozoicos en la placa de Iberia. Consideraciones preliminares sobre su significado e interés.** CABRERA, L. I.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 491-500, 36 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuenca sedimentaria, Sedimentación lacustre, Medio lacustre, Tectónica sinsedimentaria, Tectónica placa, Placa, Fanerozoico, Península Ibérica.

881285. **Evolución lacustre en la Cuenca de Granada (Cordilleras Béticas).** SORIA, J. M., y FERNANDEZ, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 501-508, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Sedimentación lacustre, Medio lacustre, Mioceno Sup., Turolense, Plioceno, Pleistoceno, Roca clástica, Evaporita, Fauna, Zona Bética, Provincia Granada.

881286. **Sedimentación continental evaporítica durante**

**el Terciario en la Península Ibérica: aspectos generales.** ORTI CABO, F.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 509-518, 18 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Evaporita, Sedimentación continental, Medio lacustre, Medio lagunar, Sebkha, Litofacies, Sulfato cálcico, Sulfato sódico, Cloruro, Cuenca Tajo, Cuenca Ebro, Cuenca Duero, Terciario.

881287. **Características de los sistemas lacustres en la transversal Tarazona-Tudela (Sector Navarro-Aragonés de la Cuenca Terciaria del Ebro).** PEREZ, A.; MUÑOZ, A.; PARDO, G.; ARENAS, C., y VILLENA, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 519-527, 12 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Terciario, Unidad estratigráfica, Control tectónico, Corte geológico, Sedimentación lacustre, Roca carbonatada, Paleogeografía, Navarra, Cuenca del Ebro.

881288. **Contribución de la exploración petrolífera al conocimiento de la geología de España.** ITGE.

Instituto Tecnológico GeoMinero de España (1982), 465 pp., 47 ref., esp., SPITGE.

\* Prospección, Petróleo, Sondeo, Corte sondeo, Isopaca, Zócalo, España.

881397. **Arrecifes ligados a abanicos deltáicos en la Depresión de Granada.** ALCALA, B.; BRAGA, J. C., y MARTIN, J. M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 7-10, 3 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Conglomerado, Tortoniense, Abanico fluvial, Sedimentación deltáica, Arrecife, Bioherma, Provincia Granada.

881398. **La transgresión Aptiense al sur del Moncayo (límite de las provincias de Soria y Zaragoza).** ALONSO, A., y MAS, J. R.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 10-14, 10 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Transgresión, Aptiense, Nuevo dato, Roca carbonatada, Caliza oolítica, Medio agua poco profunda, Ciclo sedimentario, Paleogeografía, Macizo Ibérico, Provincias Soria, Zaragoza.

881399. **El complejo de abanicos aluviales-depósitos de ladera de Las Inviernas - Cifuentes: Un modelo para la construcción del borde NE de la Cuenca de Madrid en el Mioceno.** ALONSO ZARZA, A. M.; CALVO, J. P.; GARCIA DEL CURA, M. A., y HOYOS, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 15-18, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Abanicos aluviales, Sedimentación fluvial, Control tectónico, Roca clástica, Mioceno, Provincia Madrid, Cuenca Tajo.

881401. **Tránsitos entre facies lacustres marginales e internas en la unidad superior de la cuenca miocena de Rubielos de Mora (Teruel).** CABRERA, L.; ANADON, P.; INGLES, M.; JULIA, R., y MARZO, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 23-26, 3 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Sedimentación lacustre, Medio lacustre, Variación nivel, Mioceno, Fosa tectónica, Tectónica intraplacas, Deformación, Roca clástica, Roca carbonatada, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

881402. **Los grandes rasgos de la evolución sedimentaria de los sistemas carbonatados aptienses en el límite de los dominios Ibérico y Bético.** ARIAS, C.; MASSE, J. P., y VILAS, L.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 27-30, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Plataforma carbonatada, Colmatación, Regresión, Sedimentación continental, Roca clástica, Ciclo sedimentario, Paleogeografía, Aptiense, Macizo Ibérico, Zona Bética, Zona Prebética.

881403. **Influencia de la falla del Jiloca durante la sedimentación del Malm en la Cordillera Ibérica Central (provincia de Teruel): Relación tectónica-sedimentación.** AU-RELL, M., y MELENDEZ, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 31-34, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Jurásico Sup., Marga, Arenisca, Caliza, Arena, Caliza bioclástica, Falla, Tectónica sinsedimentaria, Provincia Teruel, Macizo Ibérico.

881405. **Calcedonia con elongación positiva asociada a los depósitos olistostrómicos del Cerro del Cascojar: Un valioso indicador sedimentológico. Cuenca de Vera (Almería).** BARRAGAN, C., y PASCUAL, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 39-42, 2 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Cuenca sedimentaria, Mioceno, Plioceno, Olistostroma, Evaporita, Sílice, Calcedonia, Provincia Almería.

881407. **Progradación deltáica tortoniense en el sector de Villanueva del Río y Miras (Provincia de Sevilla).** BORRERO, J., y PENDON, G.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 47-50, 8 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Depresión, Progresión costa, Medio litoral, Sedimentación fluvial, Sedimentación deltáica, Mioceno, Plioceno, Pleistoceno, Regresión, Granoselección.

881408. **Paleogeografía y desarrollo arrecifal durante el Tortonense Superior en el corredor del Río Almanzora (Almería, España).** BRAGA, J. C.; MARTIN, J. M., y RIVAS, P.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 51-54, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Depresión, Neógeno, Tortonense, Abanico fluvial, Progresión costa, Arrecife, Conglomerado, Arcilla, Calcarenita, Paleogeografía, Provincia Almería.

881409. **Estudio de los materiales sedimentarios y piroclásticos de «Las Cuevas del Guincho» (Gran Canaria, Islas Canarias).** CABRERA, M. C., y PEREZ TORRADO, F. J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 55-58, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Transgresión, Sedimentación marina, Paleocorriente, Estructura sedimentaria, Volcanosedimentario, Piroclástico, Plioceno, Isla Gran Canaria, Canarias.

## PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

881267. **Geocronología de las sierras volcánicas neógenas de Lanzarote (Islas Canarias).** IBARROLA, E.; CANTAGREL, J. M.; FUSTER, J. M.; COELLO, J., y JAMOND, C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 345-348, 7 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Roca volcánica, Colada lava, Neógeno, Basalto, Piroclástico, Paleosuelo, Datación, K-Ar, Isla Lanzarote, Canarias.

881268. **Morfología y clasificación de los domos sálicos en las Islas Canarias.** HERNAN, F.; HERNANDEZ PACHECO, A.; DE LA NUEZ, J., y CUBAS, C. R.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 349-358, 20 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Domo, Clasificación, Composición silícea, Composición sálica, Islas Canarias.

881269. **Los «Aglomerados» de los órganos. La Orotava. Tenerife.** COELLO, J., y QUESADA, M. L.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 359-366, 9 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Aglomerado, Basalto, Erosión, Morfología, Granulometría, Análisis mayores, Isla Tenerife, Canarias.

881270. **Estratigrafía de los materiales piroclásticos de la Cañada de Diego Hernández, Tenerife.** MARTI, J.; MIT-JAVILA, J., y ARAÑA, V.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 367-376, 4 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Piroclástico, Ignimbrita, Composición basáltica, Traquita, Hibridación magmática, Caldera, Erupción, Actividad freatomagmática, Pliniense, Isla Tenerife, Canarias.

881271. **Evolución submarino-subaérea del edificio hidromagmático de La Caldereta (La Palma, Canarias).** QUESADA, M. L.; ALONSO, J. J., y DE LA NUEZ, J.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 377-386, 17 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Caldera, Erupción, Actividad freatomagmática, Vidrio volcánico, Volcanosedimentario, Piroclástico, Análisis cuantitativo, Canarias.

881272. **Procesos de transporte y deposicionales en oleadas piroclásticas.** COLOMBO, F.; MARTI, J., y VIRAMONTE, J. C.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 387-395, 16 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Colada, Piroclástico, Ignimbrita, Batiente basal, Andes Centrales, Argentina, Andes argentinos.

881273. **Algunos modelos de facies en el volcanismo de Cabo de Gata: Importancia de las emisiones «Multi-Vent» en una zona calcoalcalina.** FERNANDEZ SOLER, J. M., y MUÑOZ, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 397-404, 18 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Vulcanología, Mioceno, Control tectónico, Falla, Falla

transcurrente, Roca volcánica, Composición calcoalcalina, Modelo, Provincia Almería.

881274. **Interacciones entre magmas de composición ácida y sedimentos siliciclásticos parcialmente litificados en medio subacuático: litofacies resultante ilustradas con algunos ejemplos del Paleozoico del sur de la isla de Cerdeña.** GIMENO TORRENTE, D.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 405-413, 6 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Domo, Roca clástica, Composición silícea, Magma ácido, Litofacies, Primario, Cerdeña.

## YACIMENTOLOGIA: GENERALIDADES

881230. **Comparación entre las distintas legislaciones mineras en España.** Colectivo minero «AVENIR».

Rocas miner. (1988), núm. 197, 88-92, esp., bibl. ITGE.

\* Histórico, Legislación minera, España.

## SUELOS

881482. **Aplicación de toposecuencias de suelos al estudio de la evolución geomorfológica de las evaporitas de Baza.** AGUILERA, J. C.; GARCIA, A. J.; GUILLEN, F.; PEREZ, S.; ROMERO, F., y SIMON, M.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Comunicaciones, 351-354, 2 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* Evaporita, Suelo, Diferenciación horizonte, Perfil suelo, Yeso, Carbonato, Génesis, Mioceno Sup., Plioceno, Provincia Granada.

## GEOQUIMICA

881235. **SM-ND and PB-Isotope geochemistry on paleozoic sediments of the Almadén and Guadalmez syncline (Central Iberian Zone, Spain).** NÄGLER, T. F.; GEBAUER, D.; SCHÄFER, H. J., y VON QUADT, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 45-50, 9 ref., ing., res. esp., bibl. ITGE.

\* Pliegue, Sinclinal, Ordovícico, Silúrico, Devónico, Precámbrico, Samario, Neodimio, Pb, Isótopo radioactivo, Informe químico, Corteza continental, Datación, Provincia Ciudad Real, Hercínico Sur.

881236. **U-Pb Zircón and Sm-Nd studios of various rock-types of the Ossa Morena Zone.** SCHÄFER, H. J.; GEBAUER, D.; NÄGLER, T. F., y VON QUADT, A.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 51-57, 14 ref., ing., res. ing., bibl. ITGE.

\* Anfibolita, Granodiorita, Roca metasedimentaria, Datación, U-Pb, Sn-Nd, Zircón, Protolito, Composición gabroica, Orogenia panafricana, Hercínico sur, Provincia Badajoz, Provincia Córdoba.

## FISICA DEL GLOBO

881281. **Magmatismo y evolución de regiones extensionales de la Placa Africana.** ARAÑA, V.

2.º Congreso Geológico de España. Granada (1988), Simposios, 471-473, 5 ref., esp., res. ing., bibl. ITGE.

\* PICG, Informe actividad, Margen continental pasiva, Colisión placas, Modelo, Africa del Norte, Africa Oeste, Atlántico noreste, Canarias.

# NORMAS PARA LOS AUTORES

Los trabajos que se reciban para su publicación en el BOLETIN GEOLOGICO 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 BOLETIN introducirá cuantas modificaciones sean necesarias para mantener los criterios de uniformidad y calidad del mismo. De estas modificaciones se informará al autor.

---

Toda la correspondencia referente a las publicaciones  
deberá dirigirse a:

Leopoldo Aparicio Ladrón de Guevara. Instituto Tecnológico GeoMinero de España

Ríos Rosas, 23. 28003-Madrid

## Areas tecnológicas y sectores de actuación del ITGE

**GEOLOGIA Y GEOFISICA:** Cartografía geológica (Mapa Geológico Nacional), Cartografía temática.—Estudios geológicos específicos.—Investigación geofísica.—Cartografía marina y estudio de la plataforma continental.—Teledetección aplicada a la investigación geológico-minera.

**RECURSOS MINERALES:** Infraestructura metalogenética y minera.—Recursos energéticos y no energéticos.—Minerales y rocas industriales y ornamentales.—Desarrollo minero y mineralurgia.—Seguridad minera.

**AGUAS SUBTERRANEAS Y GEOLOGIA AMBIENTAL:** Infraestructura hidrogeológica.—Investigación, captación y protección de aguas subterráneas.—Vertidos y control de contaminación de acuíferos.—Recursos geotérmicos.—Geología ambiental: Riesgos geológicos, medio ambiente minero, etc.

**CENTRO DE LABORATORIOS Y ENSAYOS:** Análisis químicos y mineralógicos.—Mineralurgia y ensayos geotécnicos.—Sondeos de investigación hidrogeológica y minera.—Ensayos de bombeo y tratamientos especiales de sondeos.—Desarrollo de nuevas tecnologías para procesos metalúrgicos.

**INFORMACION, DOCUMENTACION Y BANCO DE DATOS:** Banco de datos geológico-mineros y de Ciencias de la Tierra.—Ordenación del fondo documental y bibliográfico.—Desarrollo de aplicaciones geomatemáticas, cartografía automática, análisis multivariante, etc.—Catastro Minero Nacional.—Publicaciones e informes.



Instituto Tecnológico  
GeoMinero de España

**Sede Central:** Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID. Tel.: 441 65 00.

**Centro de Laboratorios:** C/. La Calera, s/n. - Polígono de Tres Cantos - Tel.: 803 22 00  
28770 COLMENAR VIEJO (MADRID) - Tel.: 803 22 00