

En este número:

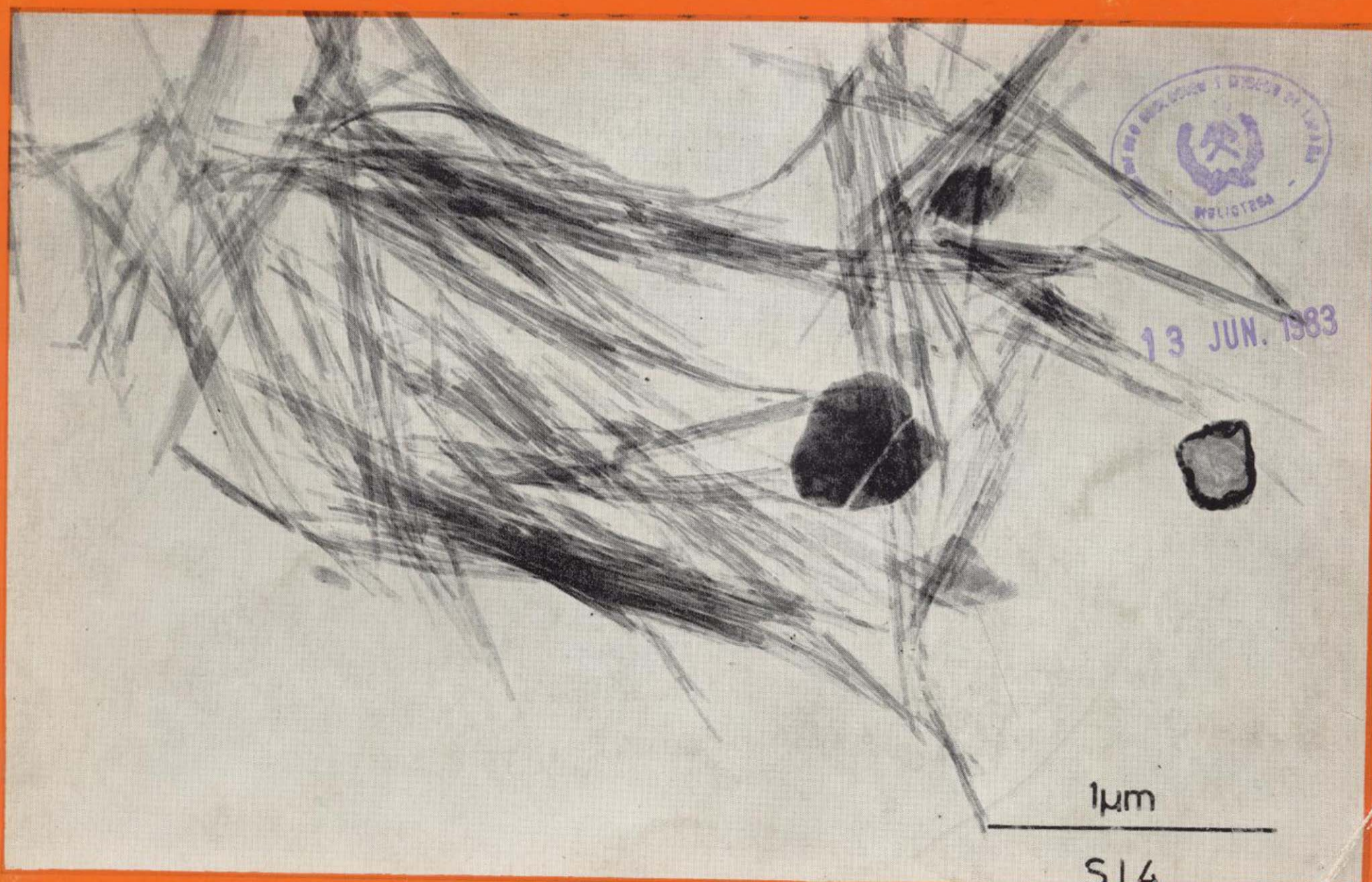
- Estudio geológico-estructural de la terminación occidental del sinclinal de Almadén.
- First Palaeozoic arachnid from Iberia: *Aphantomartus areolatus* Pocock (basal Stephanian; prov. León, N. W. Spain), with remarks on aphantomartid taxonomy.
- El yacimiento de Sepiolita-Paligorskita de Sacramenia, Segovia.
- Las mineralizaciones de cobre en ríos arenosos de baja sinuosidad (Triásico al N de la provincia de Jaén, España).
- Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. II - Relación entre la composición química de las aguas subterráneas y las características litoestructurales de la zona
- Estudio hidrogeoquímico del tercio oriental de la Hoja geológica núm. 348, Fuenteargemil (Soria).
- Estudio mineralógico y genético de los talcos de la Sierra de las Estancias (Cordilleras Béticas).
- Mineralogía y génesis del yacimiento de azufre nativo de Benamaurel (Granada).

REVISTA BIMESTRAL DEL IGME FUNDADA EN 1874

T. XCIV, Segundo Fascículo. Marzo-Abril 1983

# boletín geológico y minero

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



Tomo 94  
Fascículo II  
Marzo - Abril 1983

# Boletín Geológico y Minero

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

## SUMARIO

<b>Geología</b>	J. SOLDEVILA: Estudio geológico-estructural de la terminación occidental del sinclinal de Almadén ... .. 3
	P. A. SELDEN y M. ROMANO: First Palaeozoic arachnid from Iberia: <i>Aphantomartus arcolatus</i> Pocock (basal Stephanian; prov. León, N. W. Spain), with remarks on aphantomartid taxonomy ... .. 16
<b>Minería</b>	J. M. MARTÍN POZAS, J. MARTÍN-VIVALDI y M. SÁNCHEZ CAMAZANO: El yacimiento de Sepiolita-Paligorskita de Sacramenia, Segovia ... .. 23
	J. FERNÁNDEZ y L. C. PÉREZ GARCÍA: Las mineralizaciones de cobre en ríos arenosos de baja sinuosidad (Triásico al N de la provincia de Jaén. España) ... .. 31
<b>Aguas subterráneas</b>	J. SANCHEO, A. MAQUIEIRA y J. A. SERRA: Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. II - Relación entre la composición química de las aguas subterráneas y las características litoestructurales de la zona ... .. 39
	C. ALVAREZ, F. DE PEDRO, E. LUCAS, R. GALLEGO y M.ª E. GARCÍA: Estudio hidrogeoquímico del tercio oriental de la Hoja geológica núm. 348, Fuenteargemil (Soria) ... .. 51
<b>Estudio de minerales y rocas</b>	A. ACOSTA, A. GARCÍA-CERVIGÓN y M. RODRÍGUEZ: Estudio mineralógico y genético de los talcos de la Sierra de las Estancias (Cordilleras Béticas) ... .. 60
	A. GARCÍA-CERVIGÓN, E. M. SEBASTIÁN y M. RODRÍGUEZ: Mineralogía y génesis del yacimiento de azufre nativo de Benaurel (Granada) ... .. 70
<b>Información</b>	Noticias y Notas Bibliográficas ... .. 76

### DIRECCION Y REDACCION

Ríos Rosas, n.º 23 - Madrid-3

Teléfono 441 70 67

### ADMINISTRACION

Doctor Fleming, 7 - Madrid-16

Teléfono 250 02 03

## IGME

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA



SERVICIO DE PUBLICACIONES — MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA

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

## Estudio geológico-estructural de la terminación occidental del sinclinal de Almadén.

Por J. SOLDEVILA (\*)

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

### EXPLICACION DE LA PORTADA

Microscopía electrónica de Sepiolita del yacimiento de Sacramenia (Segovia).

ISSN 0366 - 0176

Depósito legal: M. 3.279 - 1958

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

### R E S U M E N

El sinclinal de Almadén, situado en la parte meridional de la zona Centro Ibérica, está constituido por la alternancia de formaciones competentes (cuarcitas) e incompetentes (pizarras). El pliegue se formó por «buckling» y está algo aplastado, como lo muestran los pliegues de segundo orden, que presentan un cierto aplastamiento perpendicular a sus planos axiales. Al igual que ocurre frecuentemente en toda esta región, la terminación occidental del sinclinal de Almadén presenta una estructura compuesta, formada por varios pliegues cónicos y cilíndricos, que contrasta con la de su parte central, de geometría bastante más simple. Los pliegues de segundo orden de la terminación occidental muestran una disposición digitada, con direcciones que oscilan desde N-S a NO-SE, aunque menos compleja que la del sinclinal de Guadalmez, situado más al S. La disposición en forma digitada de los pliegues secundarios en las terminaciones periclinales de los pliegues de la región puede interpretarse como debida a problemas de espacio en relación con inflexiones axiales, de modo que todos los pliegues pueden interpretarse como formados durante una sola fase tectónica. El sinclinal de Almadén tiene un trazado algo curvado, con la concavidad hacia el N, lo que da lugar a fenómenos de distensión en su flanco S. Además, puede afirmarse que el sinclinal ha sufrido, al menos durante las etapas finales de su cierre, un estiramiento en dirección, hecho observado en otros puntos de la zona Centro Ibérica.

### A B S T R A C T

The Almadén syncline is placed in the southern part of the Central Iberian zone and is a fold developed in a multilayer consisting of an alternation of competent (quartzites) and incompetent beds (shales) alternating at different scales. The fold was formed essentially by buckling and was somewhat flattened, since second order folds show a certain flattening normal to their axial planes. As usual in the area, the western nose of the Almadén syncline is a composed structure formed by several second order conical and cylindrical folds, in contrast with the rather simple character of its central part. The second order folds in the western nose of the Almadén syncline show a digitated pattern, with trends ranging from N-S to NW-SE, although the digitation of the nose is less typical than in the Guadalmez syncline, placed more to the south. Digitations in the noses of the synclines in the area surveyed can be interpreted as due to space problems related to axial inflexions, so that all the folds found can be interpreted as generated during a single tectonic phase. The trace of the Almadén syncline is somewhat curved, with the concavity towards the north; this trace has produced elongation of the southern limb, manifested by oblique faulting. In addition, as observed in other synclines of the Central Iberian zone, and probably during the latest stages of its evolution, the Almadén syncline suffered a general elongation roughly parallel to its trend, as evidenced by the existence of mega logenize-shaped boudings in the quartzite formations.

### INTRODUCCION

La zona estudiada abarca unos 110 km<sup>2</sup> y está situada en la provincia de Badajoz, cerca del límite con la de Ciudad Real. Geológicamente dicha zona se encuentra en el extremo occidental

del sinclinal de Almadén, situado en la parte meridional de la zona Centro Ibérica. Toda esta área se caracteriza por presentar una estructura en pliegues alargados con los núcleos sinclinales formados por materiales paleozoicos y con el Precámbrico aflorando entre ellos, en estructuras anticlinales (fig. 1). De esta zona no se había realizado hasta el presente ningún estudio estructural detallado, si bien la estructura general se conoce

(\*) Universidad Autónoma de Barcelona, Facultad de Ciencias, Dpto. de Geotectónica, BELLATERRA (Barcelona).

desde el trabajo de ALMELA et al. (1962), que abarca un amplio sector alrededor de Almadén.

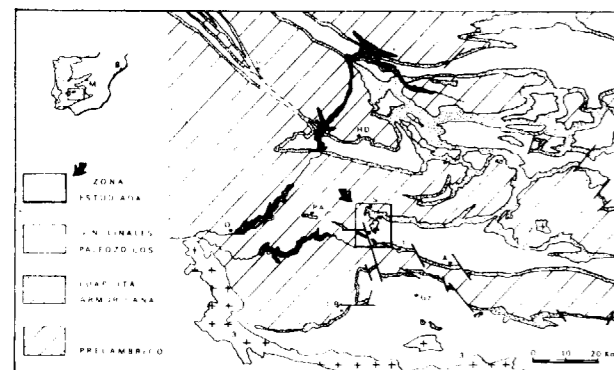


Figura 1.—Situación geológica del área estudiada y estructura regional dibujada por la Cuarcita Armoricana en la parte S de la zona Centro Ibérica (Basado en: ALMELA et al., 1962; VEGAS & ROIZ, 1979; MARTÍNEZ RIUS, in litt.). 1. Stock de Garlitos.—2. Stock de Fontanosas.—3. Batolito de los Pedroches. A. Almadén.—CB. Cabeza de Buey.—G. Guadalupe.—Gz. Guadalmez.—HD. Herrera del Duque.—O. Orellana.—PA. Puebla de Alcocer.—S. Siruela.

La finalidad del presente trabajo es el estudio geológico-estructural de la terminación occidental del sinclinal de Almadén, y complementa estudios de características semejantes llevados a cabo recientemente más al S y al E (MARTÍNEZ RIUS, in litt.; VERGES, in litt.).

La figura 2 muestra el mapa geológico del sector estudiado.

**ESTRATIGRAFIA**

La estratigrafía, en el sinclinal de Almadén, ha sido definida por varios autores, destacando los trabajos de ALMELA et al. (1962), SAUPE (1973), VERGES (1982) y un informe inédito sobre la zona N de Gargantiel realizado por COULLAUT et al. (1975). Además, por referirse a zonas próximas en las que la estratigrafía es semejante, cabe mencionar el trabajo de TAMAIN (1972) sobre Sierra Morena Oriental, y las nuevas precisiones sobre la estratigrafía realizadas por MORENO et al. (1976) en los Montes de Toledo y HAFENRICHTER (1980) en Sierra Morena.

En la parte meridional de la zona Centro Ibérica existen dos grandes conjuntos litoestratigrá-

ficos: el Precámbrico y el Paleozoico. Este último empieza por el Ordovícico Inferior, transgresivo sobre el Precámbrico. En muchas localidades la transgresión Ordovícica empieza con el depósito de la Cuarcita Armoricana, pero en otras, entre el Precámbrico y la Cuarcita Armoricana, se encuentra un espesor variable de materiales terrígenos rojizos atribuibles al Tremadoc (MORENO et al., 1976).

El Precámbrico está formado por una potente serie de carácter pelítico-grauváquico que presenta facies turbidíticas en muchos afloramientos (MORENO, 1977). La serie precámbrica, de carácter bastante homogéneo y con ausencia de niveles competentes importantes, contrasta fuertemente con la serie paleozoica, formada por la alternancia de formaciones competentes e incompetentes.

En el sinclinal estudiado la serie paleozoica empieza en algunas localidades por el Tremadoc y en otras por el Arenig (Cuarcita Armoricana), y termina con el Devónico Superior. Además, existen unos materiales discordantes que COULLAUT et al. (in litt) han atribuido al Carbonífero (Westfaliense-Estefaniense Medio). En la parte occidental de este sinclinal, la serie paleozoica sólo alcanza hasta los materiales del Devónico Inferior.

La datación de las diferentes formaciones paleozoicas se encuentra actualmente bien establecida gracias a la abundancia de fauna: icnofauna para el Ordovícico Inferior (BOUYX, 1967; MORENO et al., 1976); trilobites, graptolites y braquiópodos para el Ordovícico Superior, TAMAIN, 1972; SAUPE, 1973; LAURET, 1974; HAMMANN, 1976); graptolites y microplancton para el Silúrico (ALMELA et al., 1962; TAMAIN, 1972; SAUPE, 1973; HAFENRICHTER, 1980); braquiópodos para el Devónico (ALMELA et al., 1962; VERGES, 1982).

En la terminación occidental del sinclinal de Almadén se observa que los rasgos estratigráficos coinciden en buena medida con los descritos por otros autores, tanto en zonas más surorientales (TAMAIN, 1972), como algo más meridionales (MARTÍNEZ RIUS, 1982). La figura 3 muestra la sucesión estratigráfica en el sector estudiado, con la nomenclatura litoestratigráfica y las edades asignadas de acuerdo con los datos paleontológicos aportados por los autores antes citados.

En referencia concreta a la zona de estudio, cabe mencionar la notable diferencia de potencia

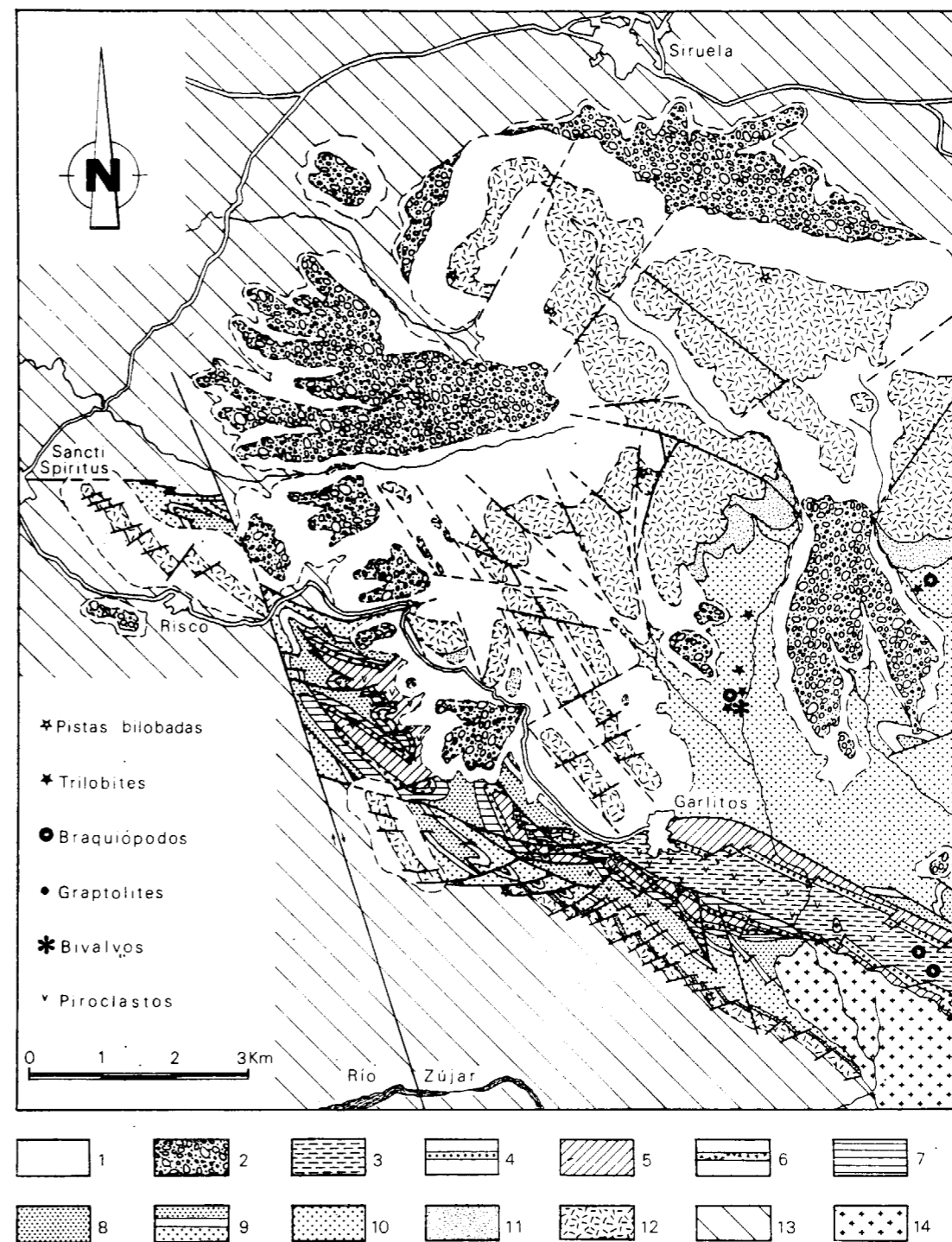


Figura 2.—Mapa geológico de la terminación occidental del sinclinal de Almadén: 1. Derrubios de ladera.—2. Rañas.—3. Pizarras y cuarcitas del Emsiense.—4. Cuarcita de Base.—5. Pizarras con graptolites y alternancias de pizarras y cuarcitas.—6. Cuarcitas de Criadero.—7. Alternancia superior y pizarras de muro.—8. Pizarras de Canteras.—9. Cuarcitas de Canteras.—10. Pizarras de Río y alternancia inferior.—11. Estratos Pochico.—12. Cuarcita Armoricana.—13. Precámbrico.—14. Granodiorita.

rrior y pizarras de muro.—8. Pizarras de Canteras.—9. Cuarcitas de Canteras.—10. Pizarras de Río y alternancia inferior.—11. Estratos Pochico.—12. Cuarcita Armoricana.—13. Precámbrico.—14. Granodiorita.

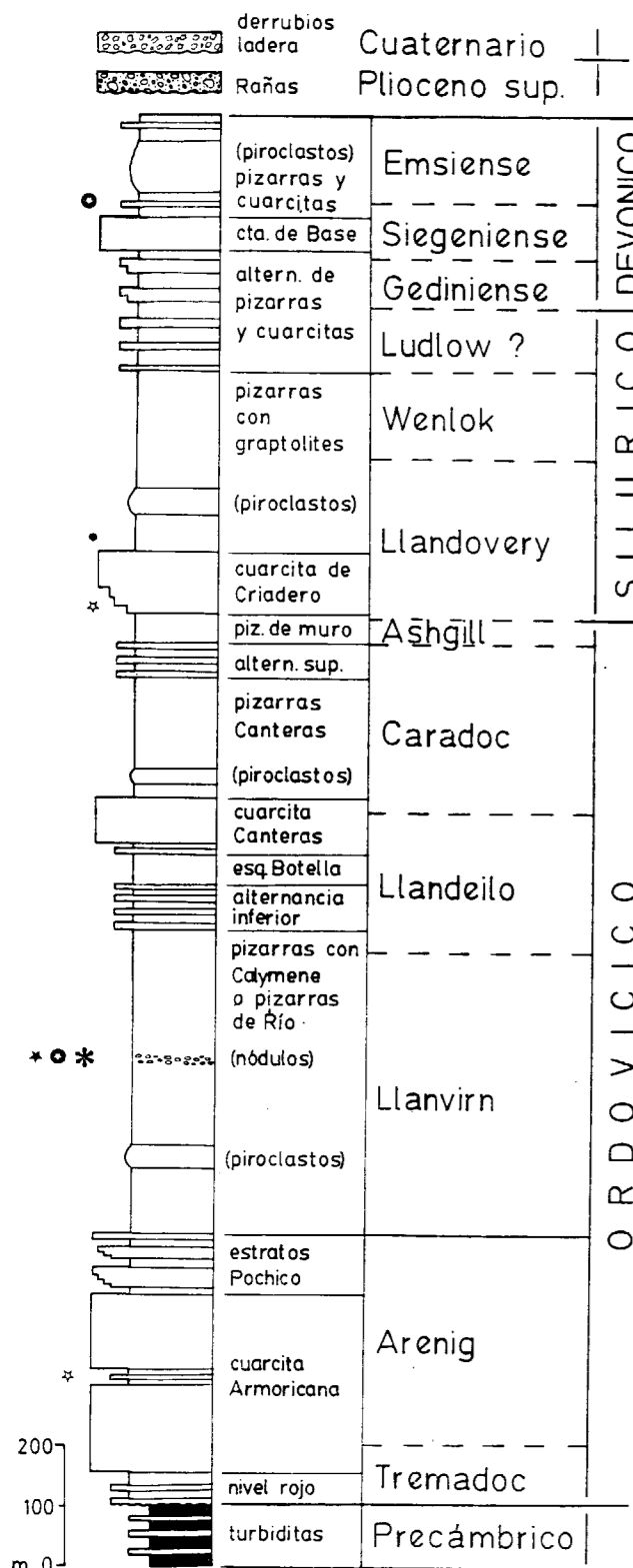


Figura 3.—Columna estratigráfica sintética del sector estudiado.

que presenta el Ordovícico Inferior, que es bastante más espeso en el flanco N (200 m.) que en el flanco S (100 m.) del sinclinal. Este hecho puede deberse a procesos de subsidencia diferencial en la cuenca sedimentaria paleozoica, o bien, y ello parece más posible, a reducciones tectónicas en el flanco S del sinclinal, ya que éste se presenta muy verticalizado. Cabe también considerar la conjunción de los dos procesos descritos.

**MATERIALES VOLCANICOS**

En el sinclinal de Almadén se encuentran gran cantidad de materiales volcánicos intercalados en la serie paleozoica. Estos materiales son principalmente tobas y coladas de lavas que forman conos volcánicos diferenciados, así como brechas y sills, de carácter predominantemente básico, aunque parece notarse una tendencia hacia términos más ácidos en las partes superiores de los conos volcánicos diferenciados (VERGES, in litt.).

En la zona estudiada se encuentran diversas intercalaciones de materiales volcánicos a distintos niveles entre la serie estratigráfica. Se trata de niveles de tobas que se presentan desde el Llandeilo hasta el Devónico Inferior, y de algún sill de carácter básico intercalado entre las capas arenosas de la Cuarcita de Criadero. Los materiales piroclásticos que forman las tobas se presentan muy alterados, observándose también un retrabajamiento de éstos producido probablemente por el oleaje durante el proceso de sedimentación. El mayor afloramiento de materiales piroclásticos se localiza en los alrededores de Garlitos, tratándose posiblemente de los productos del desmantelamiento de algún cono volcánico. En el área estudiada no se ha observado ningún nivel de brechas, ni tampoco verdaderas coladas de lavas.

**GRANODIORITAS**

En la región de Almadén existen dos stocks intrusivos de tipo granodiorítico: el stock de Fontanosas y el stock de Garlitos (fig. 1) (ALMELA et al., 1962; LEUTWEIN et al., 1970). Al S de Almadén se encuentra el batolito de los Pedroches, que se viene considerando como límite entre las zo-

nas Centro Ibérica y Ossa Morena (JULIVERT et al., 1974, 1980). Entre los dos stocks mencionados y el batolito de los Pedroches existe una gran similitud química y petrográfica. No obstante, los stocks de Fontanosas y Garlitos se diferencian del batolito de los Pedroches por las características de sus bordes (facies de borde de tipo porfiroide en el batolito de los Pedroches, que no aparece en los stocks), y sobre todo por su forma y relación con la tectónica. Así, el batolito de los Pedroches aparece concordante, por lo menos en dirección, con las estructuras regionales, mientras los stocks, netamente circunscritos, se han emplazado sin ninguna relación con los pliegues y son tardi o post-tectónicos.

En el extremo suroriental del sector estudiado aflora parte del stock intrusivo de Garlitos. Este stock, de forma alargada, tiene una superficie de unos 5,3 km<sup>2</sup> y se encuentra cortando principalmente a los materiales del Ordovícico y del Silúrico. Se trata de una intrusión granodiorítica, con textura microgranuda, formada por granos de cuarzo, ortosa, plagioclasa y biotita. Asociados a la biotita se encuentran granos de hiperstena (SAUPE, 1973). Presenta también pequeños enclaves oscuros, de grano muy fino, en los que abunda la biotita.

En la zona estudiada no se han observado señales de una aureola metamórfica de contacto, en relación con el stock, pero hacia el extremo oriental de éste, en la garganta del río Esteras, SAUPE (1973) cita una aureola metamórfica, de varios centenas de metros de espesor, desarrollándose biotita.

Los estudios isotópicos realizados por LEUTWEIN et al. (1970) por métodos Rb-Sr y K-Ar sobre roca total y diversos minerales de la granodiorita de Fontanosas dan una edad radiométrica de 302±7 Ma, que ha sido recalculada con la nueva  $\lambda_{Rb^{87}} = 1,42 \times 10^{-11} a^{-1}$ , dando una edad de 312±7 Ma, es decir, aproximadamente Westfaliense Medio. Debido a la gran homogeneidad química y mineralógica que presentan los stocks de Garlitos y Fontanosas (SAUPE, 1973), se puede aceptar la misma edad para el stock de Garlitos.

La presencia de hiperstena en estos stocks permite suponer su formación a temperatura elevada (facies granulítica de baja presión) y en un medio relativamente seco.

**TECTONICA**

Las estructuras hercínicas presentan, en la parte meridional de la zona Centro Ibérica, una dirección general que oscila entre N 300-N 120 y N 280-N 100. Sin embargo, en el sinclinal de Almadén describen un arco pasando de una dirección N 310-N 130, en su parte occidental, a N 70-N 250 en su extremo nororiental. Este sinclinal tiene dos terminaciones periclinales que pueden ser bien cartografiadas gracias a los niveles cuarcíticos de la serie paleozoica, presentando ambas una forma digitada. La terminación occidental está formada por una serie de sinformes cónicos separados por antiformes cilíndricos, todos ellos con los ejes inclinados y ligeramente convergentes hacia el SE. En conjunto, estos pliegues muestran una disposición radial con direcciones que van desde N 131 a N 176, estructura que es bien visible a nivel de la Cuarcita Armoricana. Los niveles de cuarcita más altos en la serie paleozoica se pliegan disarmonicamente respecto a la Cuarcita Armoricana, dando una multitud de pliegues.

**I. Rasgos geométricos generales de los pliegues**

Los pliegues de los niveles de cuarcita son pliegues flexurales, algo aplastados. No ha podido observarse bien la geometría de los pliegues mayores en los niveles pizarrosos. No obstante, los pliegues menores que han podido verse parecen indicar que se trata de pliegues de la clase 3 de la clasificación de Ramsay, como por otra parte es de esperar tratándose de alternancias de materiales competentes e incompetentes.

Una tenue esquistosidad aparece exclusivamente en los niveles pizarrosos, buzando indistintamente al N o al S, pero siempre muy verticalizada.

Los pliegues mayores correspondientes a la Cuarcita Armoricana son generalmente de forma cónica, ya que los polos de los buzamientos de las capas se disponen en círculos menores en la proyección estratigráfica. Los pliegues de los otros niveles de cuarcita presentan predominantemente formas cilíndricas, aunque también se encuentra alguna forma cónica (fig. 4). En la figura 5 se han representado diagramas en rosa para

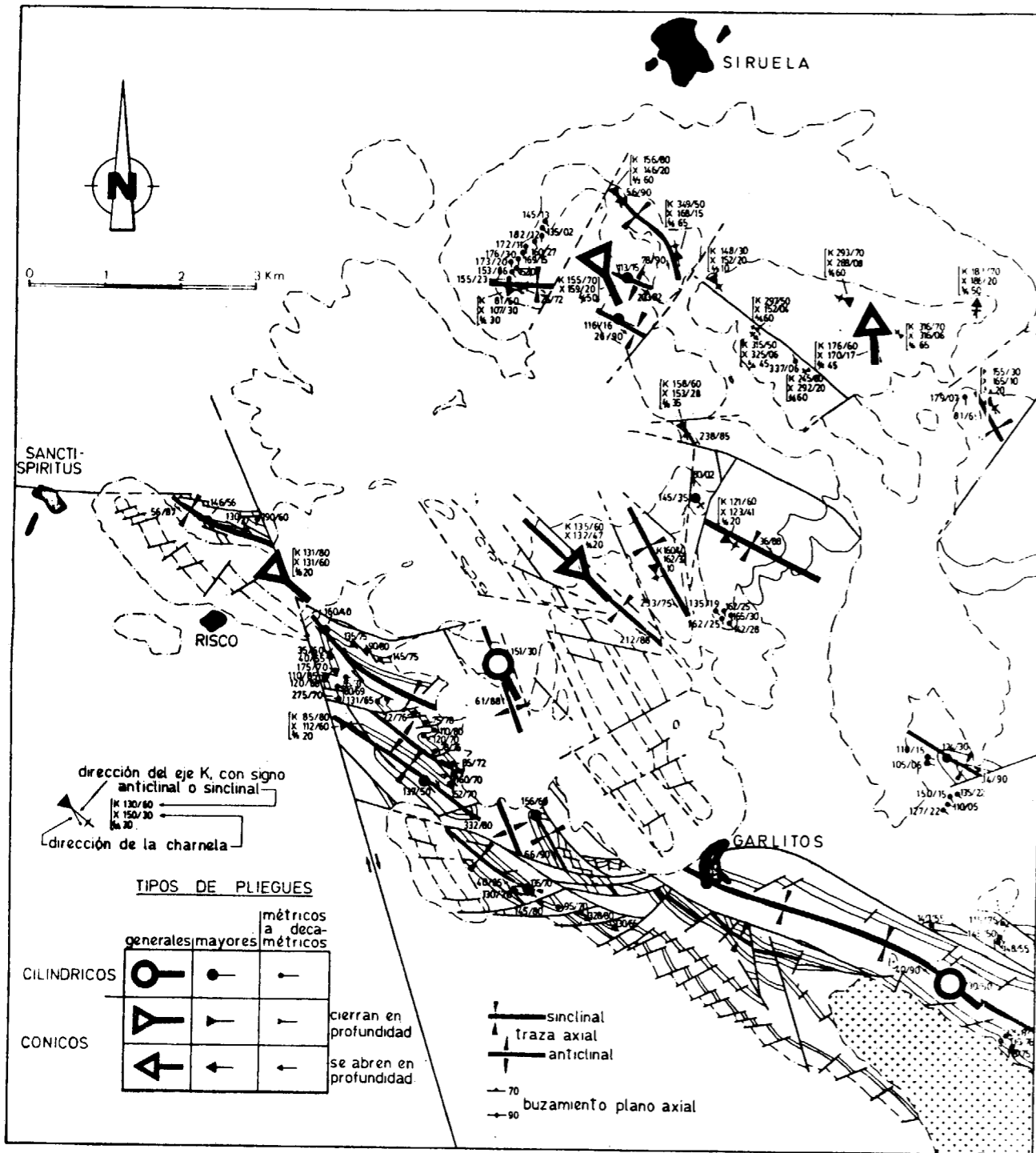


Figura 4.—Mapa de orientación de ejes de pliegues para el área estudiada.

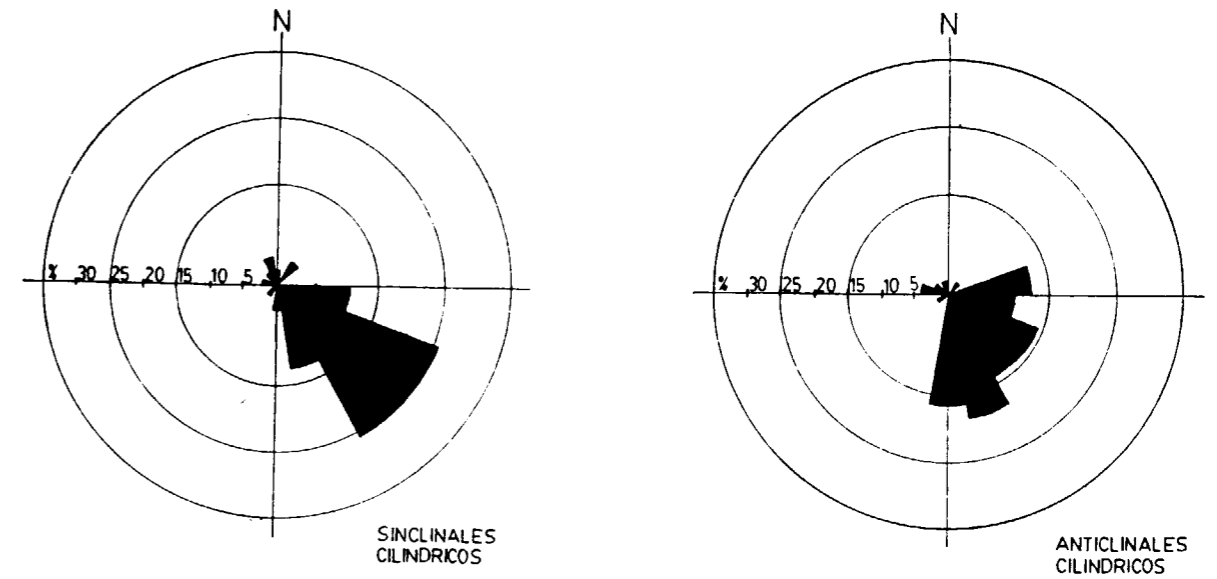


Figura 5.—Diagramas en rosa para las direcciones de inclinación de los ejes de los pliegues anticlinales y sinclinales cilíndricos del área estudiada.

el sentido de inclinación (plunge) de los ejes anticlinales y sinclinales cilíndricos, observándose una distribución preferencial de los ejes sinclinales hacia el SE, mientras que los anticlinales muestran una dispersión mayor, variando entre E y S con predominio del sentido SSE.

los 60-65°. En la figura 6 se pueden apreciar las curvas de  $\delta/2$  según sean anticlinales o sinclinales.

## II. Características de los pliegues cónicos

En la descripción de los pliegues cónicos van a seguirse las directrices trazadas por HAMAN (1961) y MARTÍNEZ RIUS (in litt.) en cuyos trabajos puede encontrarse un desarrollo teórico del análisis geométrico de este tipo de pliegues.

Según el sentido de abertura, en función de la inclinación del eje K (eje del cono) en los pliegues cónicos, se pueden distinguir dos tipos de formas: los que se abren en el sentido de la inclinación del eje K (forma A), y los que cierran en el sentido de la inclinación de dicho eje (forma B) (MARTÍNEZ RIUS, in litt.). En la zona estudiada los pliegues cónicos cumplen las siguientes condiciones: 1) Los sinclinales cierran según la inclinación del eje K, por tanto son todos de forma B; 2) Los anticlinales se abren en el mismo sentido, siendo todos de forma A.

Respecto a la abertura del cono (valor  $\delta/2$ ) (HAMAN, 1961), los valores varían desde 10° hasta

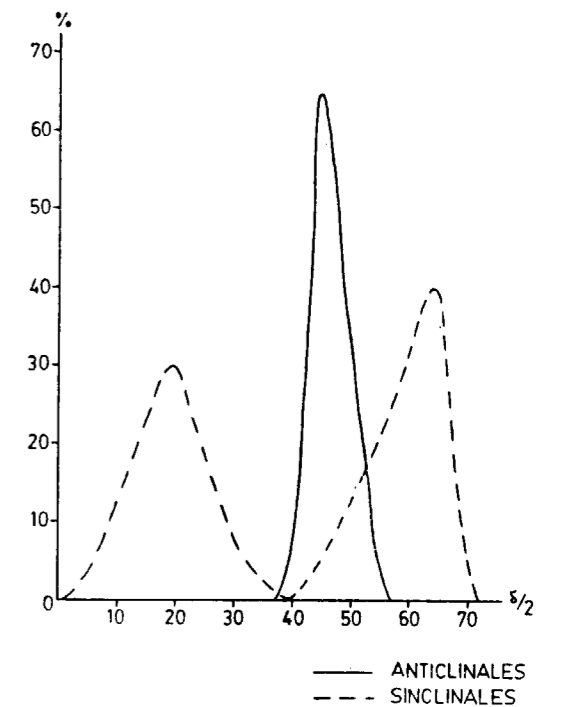


Figura 6.—Frecuencia de los valores de  $\delta/2$  para los pliegues anticlinales y sinclinales cónicos.

De la gráfica de la figura se deduce: 1) Se observa una distribución diferente de  $\delta/2$  según se trate de anticlinales o sinclinales; 2) En los sinclinales predominan los valores de  $\delta/2=20^\circ$  y  $\delta/2=60-65^\circ$ , observándose asimismo que no hay valores de  $\delta/2=40^\circ$ ; 3) En los anticlinales predominan los valores de  $\delta/2=40-45^\circ$ , a pesar de los pocos anticlinales cónicos que se han podido medir.

Atendiendo a la inclinación del eje K del cono, se observa que el valor predominante (fig. 7, a) es de  $K=70^\circ$  con un  $\delta/2=50^\circ$  (15 por 100). Además hay dos valores que destacan con un 10 por 100, uno de ellos con una inclinación de  $K=70^\circ$  y con un  $\delta/2=65^\circ$  (fig. 7, b), y el otro con una inclinación de  $K=60^\circ$  y un  $\delta/2=20^\circ$  (fig. 7, c).

Aunque en la proyección estereográfica de los pliegues cónicos de la zona sólo se encuentran partes de los círculos menores, ya que los pliegues no representan conos completos, no es de extrañar el caso de un pliegue que tenga el eje K buzando en sentido contrario al de la charnela,

pues un cono completo tendría dos charnelas que pueden buzarse en sentido contrario. Así, puede darse el caso de que un pliegue que en el campo se ve claramente con la charnela inclinada al S, tenga el eje K del cono inclinado al N, como el que se muestra en la figura 8.

**III. Forma general de la terminación**

La forma general corresponde a tres conos sinformes incompletos, con el vértice hacia el SE, separados por dos antiformes cilíndricas inclinadas también al SE. Al N de la terminación se encuentra otro cono, en este caso antiforme, que tiene el vértice hacia el N, pues aunque presenta el eje inclinado hacia el S, cumple lo dicho para los anticlinales cónicos en esta zona, y por tanto abre hacia abajo. El sinclinal más occidental tiene un eje K inclinado  $80^\circ$  en dirección N 131 y un ángulo de abertura de  $\delta/2=20^\circ$ ; este sinforme es el más profundo y es el que forma el núcleo sinclinal propiamente dicho, considerando toda la estructura en conjunto, ya que es a lo largo

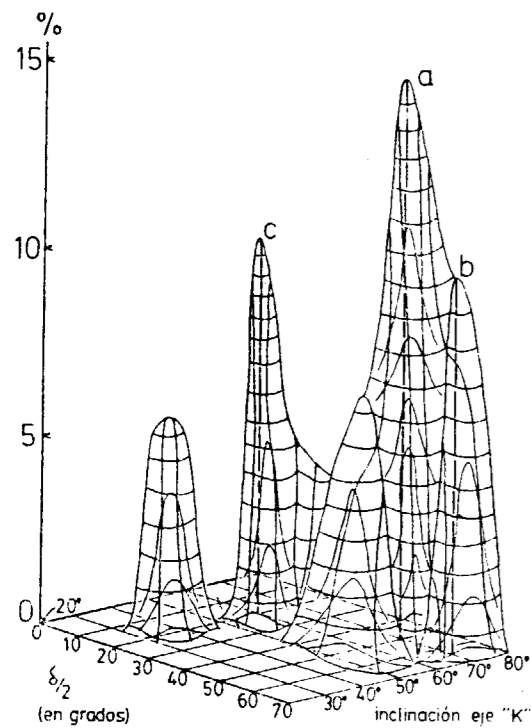


Figura 7. Izquierda: Frecuencia de los valores de  $\delta/2$  y K de los pliegues cónicos del sector estudiado. Derecha: Círculos menores correspondientes a los valores predominantes de inclinación del eje K y del ángulo de abertura  $\delta/2$  de dichos pliegues (Schmidt, hemisferio inferior).

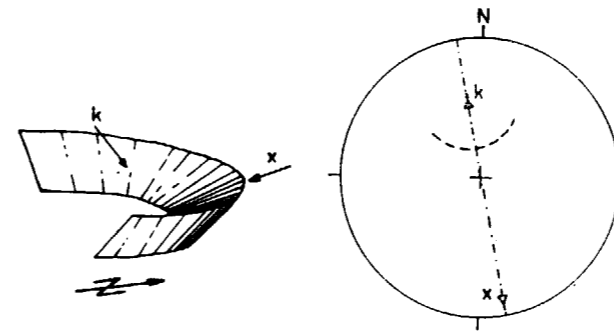


Figura 8.—Estereograma de un sinforme cónico en el que se aprecia que el eje K buza al N, mientras que la charnela buza hacia el S.

de este sinforme donde se han conservado los materiales más jóvenes. El sinforme central buza  $60^\circ$  en dirección N 135 y presenta un  $\delta/2=20^\circ$ , y el más noroccidental está inclinado  $70^\circ$  hacia la dirección N 155, siendo su ángulo de abertura de  $50^\circ$ . El antiforme cilíndrico que separa los sinformes occidental y central está fallado según la dirección de su plano axial y tiene una inclinación de  $30^\circ$  hacia N 151. Los sinformes central y noroccidental están separados por un conjunto de fallas en disposición radiada, convergentes hacia el O, entre las que se encuentra un antiforme cilíndrico, de rango menor que el anterior, que buza  $35^\circ$  en dirección N 145. El cono antiforme septentrional tiene un eje K inclinado  $60^\circ$  en dirección N 176 y presenta una abertura de unos  $45^\circ$ . De la estructura descrita se deduce una disposición radiada de las direcciones de inclinación de los ejes en la terminación occidental del sinclinal de Almadén que le confieren una forma digitada con direcciones que varían entre N 176 y N 131. Hacia el núcleo del sinclinal, en la zona estudiada, se observa que la dirección general del eje sinclinal es de N 130 con una inclinación de  $50^\circ$ , siendo éste de forma cilíndrica. Más al E este eje toma una dirección más nortea da (N 102) y se horizontaliza, buzando sólo  $16^\circ$  (VERGES, in litt.).

En el sector estudiado no se observa una vergencia predominante de los pliegues, ya que los planos axiales son frecuentemente verticales o presentan buzamientos muy altos hacia el NE o hacia el SO. En general, el buzamiento del plano axial tiene valores que oscilan entre  $75^\circ$  y  $90^\circ$ ,

aunque pueden llegar a los  $60^\circ$ . En la figura 9 se presenta la dispersión de los polos de los planos axiales, observándose dos máximos, al NE y SO, y dos mínimos, al SE y NO, que son el resultado de la disposición de los ejes en la zona estudiada. Hacia la parte central del sinclinal de Almadén se han citado pliegues sinclinales con el flanco N invertido, por tanto vergentes al S (VERGES, in litt.), pero en la terminación occidental del mismo esta característica no se ha observado.

**IV. Relaciones entre los diferentes elementos geométricos**

Proyectando los distintos elementos geométricos de los pliegues desarrollados en los niveles de cuarcita superiores a la Cuarcita Armoricana, y los propios ejes de los pliegues menores de ésta, se observa (fig. 10) que los ejes cilíndricos y las charnelas de los pliegues cónicos se disponen en un círculo menor situado a  $90^\circ$  del círculo menor en donde se dispersa la nube de puntos correspondientes a los polos de las superficies de estratificación de la Cuarcita Armori-

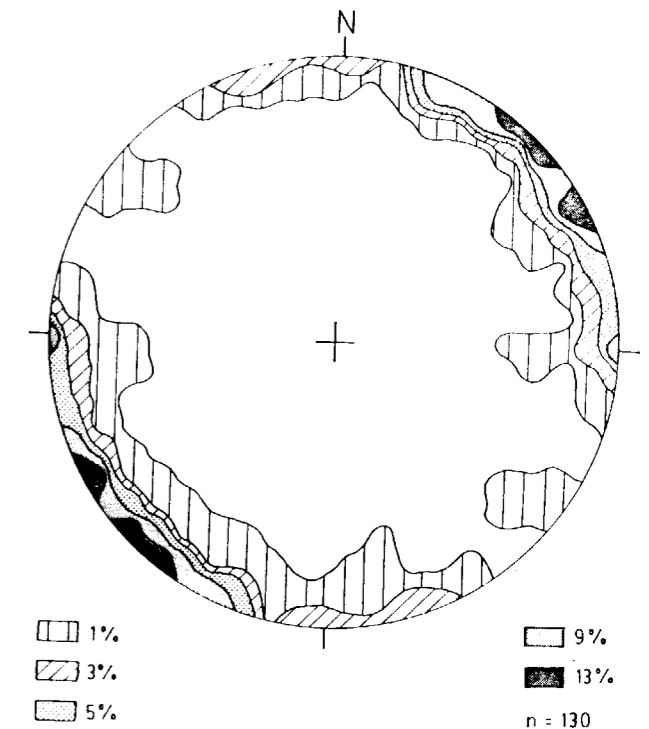


Figura 9.—Estereograma en la plantilla de Schmidt mostrando la dispersión de los polos de los planos axiales del área estudiada.

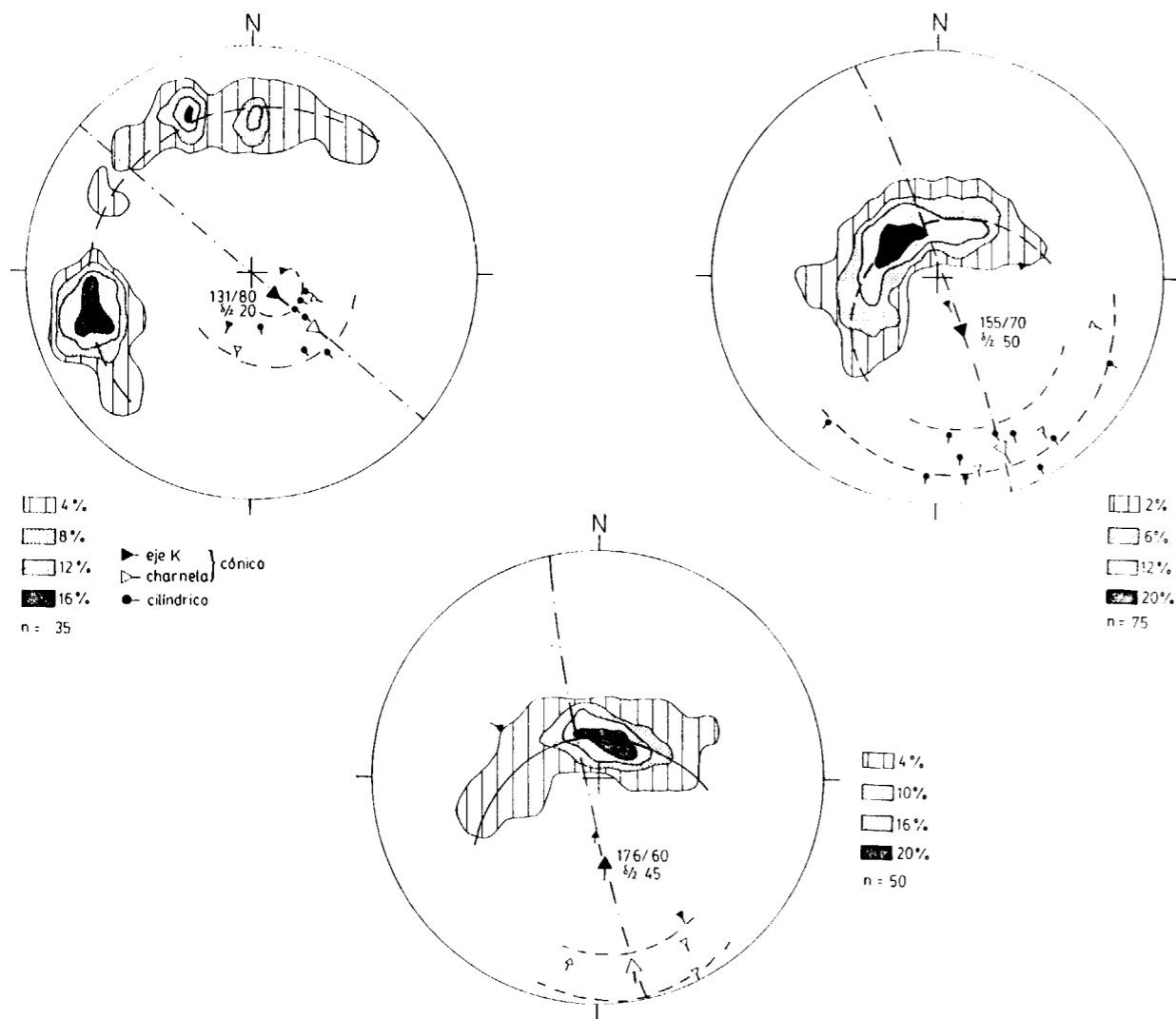


Figura 10.—Estereogramas mostrando la proyección de los polos de las capas, y ejes K, de los pliegues generales de la Cuarcita Armoricana y la de los elementos lineales de los pliegues menores de ésta y los desarrollados en los otros paquetes cuarcíticos (Schmidt, hemisferio infe-

cana, como es normal en los pliegues de tipo cónico. Se observa, en consecuencia, que la disposición espacial de los elementos lineales de los pliegues menores de la Cuarcita Armoricana y de los pliegues de los otros paquetes cuarcíticos describen las formas cónicas correspondientes a la forma general de la estructura.

**V. Fallas**

La terminación O del sinclinal de Almadén pre-

presenta una fracturación muy compleja, como es común en la parte S de la zona Centro Ibérica (VEGAS & ANTÓN-PACHECO, 1978), sin embargo, pueden distinguirse los siguientes tipos de fallas:

1) Grandes fallas longitudinales asociadas con el plegamiento. Su dirección es aproximadamente N 120-N 300 y coincide con la dirección de los paquetes cuarcíticos del flanco S del sinclinal. De las fallas que se pueden agrupar en este conjunto destacan las dos grandes fallas entre las

que va encajado el Devónico que forma el núcleo del sinclinal, al SE de Garlitos. Otras fallas importantes asociadas al plegamiento se encuentran afectando a la Cuarcita Armoricana entre el Cerro de la Cueva y Garlitos. El desplazamiento de los bloques afectados por estas fallas se encuentra enmascarado por el juego de otras fallas posteriores, pero puede hacerse una interpretación como la que se muestra en la figura 11.

2) Fallas que muestran una disposición radial, con direcciones que van desde NO-SE a NE-SO y que afectan a la Cuarcita Armoricana en su terminación periclinal. Se trata probablemente de fallas de tipo periclinal, simultáneas con el plegamiento.

3) Gran falla de dirección N 340-N 160 que muestra un desplazamiento con una componente importante en la dirección del plano de falla. Se trata de una falla que presenta un hundimiento y desplazamiento hacia el N del bloque occidental, o sea de movimiento en dirección (strike-slip) de tipo dextrógiro. Esta falla puede seguirse a lo largo de varios kilómetros, y es la misma que afecta a los materiales paleozoicos de otra gran estructura sinclinal (sinclinal de Guadalmez) situado al S del sinclinal de Almadén. MARTÍNEZ RIUS (in litt.) midió el plano de esta falla en las proximidades de Capilla, obteniendo un buzamiento de 60° al N 260, y viendo que presentaba estrías con un buzamiento de 30° al N 330, lo que implica un juego vertical de tipo directo. La falla descrita se corresponde a otras fallas, de direcciones algo más norteadas, que afectan al flanco S del sinclinal de Almadén en zonas más surorientales, y que producen importantes desplazamientos en la dirección de su plano.

4) Un nuevo conjunto de fallas lo constituyen las que afectan a los niveles cuarcíticos del flanco S del sinclinal. Se trata de pequeñas fallas de dirección aproximadamente NE-SO, de carácter distensivo, observándose una rotación de los bloques cuarcíticos entre dos de estas fallas. Por sus características, estas fallas parecen limitar boudins romboidales rotados (JULIVERT et al., 1983), constituidos por las formaciones cuarcíticas.

**CONCLUSIONES SOBRE LA ESTRUCTURA**

1) El sinclinal de Almadén, en su terminación occidental, presenta una estructura compleja que

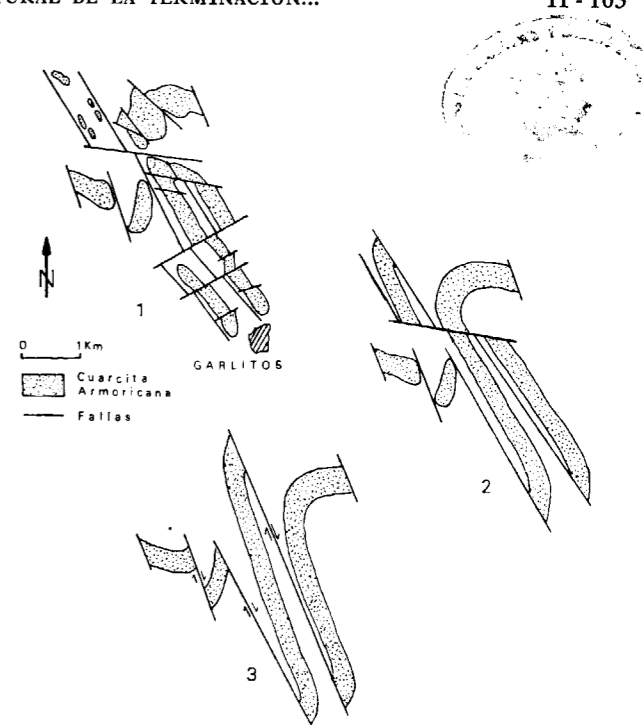


Figura 11.—Serie interpretativa del desplazamiento de los bloques de Cuarcita Armoricana afectados por las fallas del NO de Garlitos: 1. Disposición cartográfica actual.—2. Situación esquemática deshaciendo algunas fallas tardías.—3. Esquema interpretativo del juego de las fallas longitudinales.

en un corte transversal (fig. 12, a) puede resumirse como formada por un pliegue sinforme cónico muy acusado, situado al SO. A este sinforme le siguen, hacia el NE, una serie de antiformes cilíndricos y sinformes cónicos, que en conjunto presentan una envolvente próxima a la horizontal. Estas estructuras del NE no representan pliegues muy cerrados.

2) Más hacia el E, o sea hacia su parte central, el sinclinal de Almadén presenta una estructura más simple, formada por un sinforme cilíndrico (fig. 12, b).

3) La estructura de la terminación occidental del sinclinal de Almadén puede explicarse como el resultado de cambios en la inclinación de su eje. El levantamiento del eje hacia el NO explica la aparición de varios pliegues en la terminación periclinal, así como el cambio en la geometría de ellos (paso de formas cilíndricas en la parte central del sinclinal a formas cónicas en su terminación periclinal).



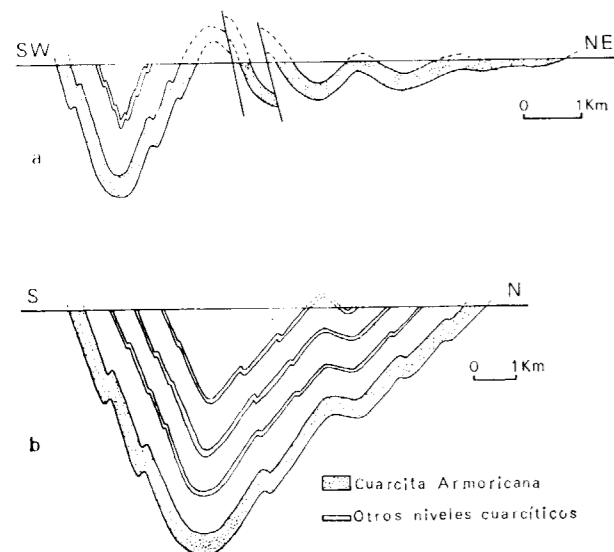


Figura 12.—a) Corte idealizado de la estructura de la terminación occidental del sinclinal de Almadén.—b) Corte idealizado de la estructura de la parte central del sinclinal de Almadén, basado en VERGES, 1982.

4) A diferencia de lo que se observa en el sinclinal de Guadalmez, situado más al S (MARTÍNEZ RIUS, in litt.), la terminación occidental del sinclinal de Almadén no representa una forma digitada completa, ya que en él no se presenta bien desarrollada la digitación de la parte N.

5) Todos los pliegues de la terminación periclinal pueden explicarse como producto de una sola fase de deformación. La dispersión en la dirección de inclinación de los ejes no implica la existencia de distintas fases tectónicas.

6) La edad de la formación del pliegue no puede ser conocida con precisión atendiendo a criterios estratigráficos. Solamente puede afirmarse que es posterior al Frasnense, que ocupa el núcleo del sinclinal más hacia el SE. Además, se puede afirmar que es anterior al Westfaliense Medio, edad que se puede atribuir al emplazamiento del stock de Garlitos, netamente post-tectónico.

7) Parece existir un estiramiento general de la estructura en dirección NO-SE, producido durante la formación del sinclinal de Almadén o tal vez durante las etapas finales de cierre del mismo. Este estiramiento es el responsable asimismo de la formación de determinadas fracturas, que dan como consecuencia un estiramiento en la dirección antes indicada.

8) El sinclinal de Almadén presenta, longitudinalmente, una forma arqueada producto de una inflexión en la dirección de su eje que ha dado lugar a fallas de distensión en el flanco S y de compresión en el flanco N. Por el momento no puede establecerse si el origen de esta curvatura es, o no, tardío.

#### AGRADECIMIENTOS

Deseo agradecer al Consejo de Minas de Almadén y a M. Soler las facilidades dadas y el interés demostrado en la realización de este trabajo.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALMELA, A.; ALVARADO, M.; COMA, J.; FELGUEROSO, C. & QUINTERO, I.: *Estudio geológico de la región de Almadén*. Bol. Inst. Geol. Min. Esp., 73, 195-327 (1962).
- BOUYX, E.: *Repartición vertical de pistas de trilobites en el Ordovícico inferior de la provincia de Ciudad Real*. Not. Com. Inst. Geol. Min. Esp., 99-100, 177-180 (1967).
- COULLAUT, J. L.; VILLOTA, J. & AGUILAR, M. J.: *Estudio geológico minero de la zona Norte de Gargantiel*. Cía. Gral. Sondeos (inéd.), 1-91 (1975).
- COULLAUT, J. L.; BABIANO, F.; VILLOTA, J. & AGUILAR, M. J. (in litt): Mapa geológico de España, escala 1:50.000, Hoja 808 (Almadén). Inst. Geol. Min. Esp.
- HAFENRICHTER, M.: *The lower and upper boundary of the Ordovician Systems of some selected regions (Celtiberia, Eastern Sierra Morena) in Spain*. N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 160 (1), 138-148 (1980).
- HAMAN, P. J.: *Manual of the stereographic projection*. (P. J. Haman, Edit.), 32-36 (1961).
- HAMMANN, W.: *The Ordovician of the Iberian Peninsula*. In: *The Ordovician system* (M. G. Basset, Edit.), Proc. Pal. Ass. Symp. Birmingham, 1974, 387-409 (1976).
- JULIVERT, M.; MARTÍNEZ, F. J. & RIBEIRO, A.: *The Iberian segment of the European Hercynian foldbelt*. In: *Géologie de l'Europe du Précambrien aux bassins sédimentaires post-hercyniens*, 26<sup>me</sup> C. G. I. Coll. C6, Mém. B. R. G. M., 108, 132-158 (1980).
- JULIVERT, M.; FONTBOTE, J. M.; RIBEIRO, A. & CONDE, L. E.: Memoria explicativa del Mapa Tectónico de la Península Ibérica y Baleares, escala 1:1.000.000. Inst. Geol. Min. Esp., 1-113 (1974).
- JULIVERT, M.; VEGAS, R.; ROIZ, J. M. & MARTÍNEZ RIUS, A.: *La estructura de la parte SE de la zona Centroibérica, con metamorfismo de bajo grado*. In: Libro Jubilar J. M. Ríos (1983).

LAURET, J. M.: *Recherches Géologiques et Minières dans la région d'Almadén-Almadenejos*. Thèse Univ. Paris-Sud (1974).

LEUTWEIN, F.; SAUPE, F.; SONET, J. & BOUYX, E.: *Première mesure géochronologique en Sierra Morena. La Granodiorite de Fontanosas (Province de Ciudad Real, Espagne)*. Geol. en Mijnbouw, 49 (4), 297-304 (1970).

MARTÍNEZ RIUS, A.: *Estudio geométrico de pliegues cónicos y su aplicación a la terminación occidental del sinclinal de Guadalmez*. Libro Jubilar J. M. Ríos, 3 (contribuciones sobre temas generales) (in litt.).

MORENO, F.: *Estudio geológico de los Montes de Toledo Occidentales*. Tesis Univ. Complutense Madrid (1977).

MORENO, F.; VEGAS, R. & MARCOS, A.: *Sobre la edad de las series ordovícicas y cámbricas relacionadas con la discordancia «Sárdica» en el anticlinal de Valdelacasa (Montes de Toledo, España)*. Breviora Geol. Astúrica, 20 (1), 8-16 (1976).

SAUPE, F.: *La géologie du gisement de mercure d'Almadén (Province de Ciudad Real, Espagne)*. Sciences de la Terre, 29, 1-342 (1973).

TAMAIN, G.: *Recherches géologiques et minières en Sierra Morena orientale (Espagne)*. Thèse Univ. Paris-Sud, 1-890 (1972).

VEGAS, R. & ANTÓN-PACHECO, C.: *Lineaciones observadas en imágenes de satélite (ERTS-Landsat): Génesis y relación con anomalías lineales geofísicas*. Com. 2.<sup>a</sup> Asamblea Nac. Geodesia y Geofísica, Barcelona, 1976, 575-588 (1978).

VEGAS, R. & ROIZ, J. M.: *La continuación hacia el E de las estructuras hercínicas de las regiones de las Villuercas, Guadalupe y Almadén (zona Luso-Oriental Alcuadiana)*. Tecniterrae, 28, 1-5 (1979).

VERGES, J.: *Estudio del complejo vulcano-sedimentario del Devónico superior y de la estructura de la terminación oriental del sinclinal de Almadén (Ciudad Real)*. Libro Jubilar J. M. Ríos, 3 (contribuciones sobre temas generales).

Recibido: Abril de 1982

## GEOLOGIA

# First Palaeozoic arachnid from Iberia: *Aphantomartus areolatus* Pocock (basal Stephanian; prov. León, N.W. Spain), with remarks on aphantomartid taxonomy(\*)

PAUL A. SELDEN (\*\*), MICHAEL ROMANO (\*\*\*)

## A B S T R A C T

A specimen of *Aphantomartus areolatus* Pocock is described from middle-upper Cantabrian (lower Stephanian) silty mudstone of the Prado Formation, recovered from the borehole Prado 1 drilled in the IGME project: «Investigación en el área carbonífera de León-Palencia» north of Cerezal in the western part of the Guardo Coalfield, province of León, Cantabrian Mountains, N.W. Spain. A literature survey revealed that errors in interpretation had resulted in the separation of two genera, *Trigonomartus* and *Aphantomartus*, which are synonymous. The latter name takes precedence, as does Aphantomartidae over Trigonomartidae.

## R E S U M E N

Se describe el primer ejemplar de una araña fósil del Paleozoico español encontrado en una lutita limolítica de la Formación Prado (Cantabriense medio a superior), en el sondeo denominado Prado 1 efectuado en el proyecto del IGME «Investigación en el área carbonífera de León-Palencia» al norte de Cerezal, en la parte occidental de la cuenca minera de Guardo (León). Se trata de *Aphantomartus areolatus* Pocock. Las referencias anteriores indican que el género *Trigonomartus* es sinónimo de *Aphantomartus*, al igual que ocurre con la familia Aphantomartidae, que tiene prioridad sobre Trigonomartidae.

## 1. INTRODUCTION

Discovery of an extinct arachnid is always noteworthy, owing to their relative scarcity as fossils. The specimen described herein, whilst belonging to a known species, is particularly important in being the first described pre-Tertiary arachnid from Iberia, as far as the authors are aware. It is a trigonotarbid, an order which ranges from Lower Emsian (STORMER, 1970) to middle Stephanian (PETRUNKEVITCH 1955b).

The specimen was obtained from borehole CZ2 (Prado 1), 1 km north of the village of Cerezal in the western part of the Guardo Coalfield in northeastern León Province, Cantabrian Mountains, N.W. Spain. This borehole was sunk in strata of the Prado Formation in the southern flank of the Taranilla Syncline (WAGNER and FER-

NÁNDEZ-GARCÍA in press). The Prado Formation is of mid to late Cantabrian (early Stephanian) age, and is an almost exclusively terrestrial interval between two substantial marine formations. The early Stephanian age of the specimen is the youngest record for the family Aphantomartidae.

The Guardo Coalfield constitutes the western part of the post-Leonian sedimentary basin which extends from north-eastern León into northern Palencia (WAGNER *et al.* 1977).

## 2. SYSTEMATIC DESCRIPTION

Phylum CHELICERATA HEYMONS, 1901  
Class ARACHNIDEA LAMARCK, 1801 (*nom. transl.* VAN DER HAMMEN 1977)  
Order TRIGONOTARBIDA  
PETRUNKEVITCH, 1949  
Family APHANTOMARTIDAE  
PETRUNKEVITCH, 1945  
(= TRIGONOMARTIDAE  
PETRUNKEVITCH, 1949)

## Remarks

PETRUNKEVITCH (1945) created Aphantomartidae for *Aphantomartus areolatus* Pocock, which PE-

TRUNKEVITCH believed to possess 7 abdominal tergites; *Trigonomartus* was placed at that time in Eophrynidae on the basis of its possession of 8 abdominal tergites. In 1949, PETRUNKEVITCH created the new family Trigonomartidae; then recognising that *Aphantomartus* indeed had 8 abdominal tergites, he stated (p. 256). «This means that the Family Aphantomartidae becomes a synonym of Trigonomartidae, the number of abdominal segments having served as the only character of distinction.» As the two family names are synonyms, the older, Aphantomartidae, should be used.

On evidence presented herein (discussion below), the abdomen of *Aphantomartus* bears 8 dorsal plates, but these belong to 9 somites, and 2 more are probably present in the anal pygidium. The family diagnosis is therefore emended below. In view of the extensive revision required to PETRUNKEVITCH's taxonomy of Phalangiotarbida (KJELLEVIG-WAERING 1978, & in press), Trigonotarbita are also in need of review, which may result in the reappraisal of genera referred to Trigonomartidae by PETRUNKEVITCH (1949).

Emended diagnosis: Carapace subtriangular; opisthosoma of ?11 segments (8 tergites, the 2nd a macrotergite representing opisthosomal segments 2+3, ?9 sternites and ?2 segments in anal pygidium) and broadly joined to prosoma. Posterior opisthosomatic tergite with marginal plates and limited to dorsal surface.

Genus APHANTOMARTUS POCOCK, 1911  
(= TRIGONOMARTUS PETRUNKEVITCH, 1913)  
Type species *Aphantomartus areolatus*  
POCOCK, 1911

## Remarks.

*Trigonomartus* was erected by PETRUNKEVITCH (1913) for *Anthracomartus pustulatus* SCUDDER (1884). Three specimens of this species (including the holotype), excellently preserved in ironstone nodules of Pennsylvanian age from Illinois, U.S.A., were described and figured by PETRUNKEVITCH (1913). Like many Carboniferous arachnids, and Recent Ricinuleida, on death the dorsal surface of the abdomen becomes concave and the subsequent external mould may give the misleading impression of being a cast or internal mould. PETRUNKEVITCH (1913, p. 104) was aware of this, and also noted that «The cephalothorax being much

harder, kept more or less its shape, and what appears on it as the median crest was in reality a deep groove. The irregular, polygonal depressions appearing as such both on the abdomen and cephalothorax were evidently thickened areas of the chitin and formed in life low elevations.» However, his generic definition (PETRUNKEVITCH, 1913, p. 102) stated erroneously «Carapace triangular with a median crest in the posterior half, covered with irregular polygonal depressions.» This error was perpetuated (PETRUNKEVITCH 1949, 1953) until the 'Treatise' (PETRUNKEVITCH 1955a) which stated «Carapace triangular, high, with median crest and a pustulose surface, without eyes. Abdomen with pustulose surface.» Thus pustules were then recognised, but the «median crest» remained. Eyes, or at least a pair of circular structures on a raised area termed the «ocular tubercle» by POCOCK (1911) in *Aphantomartus*, are present in *Trigonomartus pustulatus*, and easily seen in PETRUNKEVITCH's (1913) Pl. 9, figs. 49 & 51.

Apart from the poorly preserved parts of the *Trigonomartus pustulatus* specimens figured by PETRUNKEVITCH (1913) (e.g. the lateral parts of the carapace), the description of *Aphantomartus areolatus* by POCOCK (1911) could almost equally apply to *Trigonomartus*. They share the same overall shape of carapace and abdomen. The carapaces of both have a deep median groove which terminates anteriorly in an «ocular tubercle», and are sculptured with irregular tubercles. The abdominal tergites of both genera are sculptured with large, low polygonal tubercles, and particularly evident are large triangular tubercles at the lateral extremities of the median plate of most tergites. Thus the features which served to distinguish *Trigonomartus* and *Aphantomartus* in PETRUNKEVITCH's key (1953) (presence or absence of eyes, abdominal sculpture of flattened tubercles or polygonal depressions, median crest on carapace of *Trigonomartus*) are not, and have never been, valid. Evidently, *Aphantomartus* and *Trigonomartus* are synonyms, and *Aphantomartus* POCOCK 1911 has priority.

Illustrations purporting to distinguish the two genera in the 'Treatise' (PETRUNKEVITCH 1955a, fig. 80, 1 & 3) are unrepresentative, and differ only in that they emphasise different characters of the same genus; the finer sculpturing in *Trigonomartus* and the arrangement of larger tubercles in *Aphantomartus*. Figure 80, 3 is neither *Aphanto-*

(\*) Published by permission of the Director, Instituto Geológico y Minero de España.

(\*\*) Department of Extra-Mural Studies, University of Manchester, Manchester M13 9PL, England, U.K.

(\*\*\*) Department of Geology, Beaumont Building, University of Sheffield, Brookhill, Sheffield S3 7HF, England, U.K.

*martus areolatus* nor one of PETRUNKEVITCH's own figures, as stated, but a copy of PRUVOST's (1919) figure 42 of *A. pococki* with ?eyes drawn on incorrectly.

The following species are referred provisionally to *Aphantomartus*: *areolatus* Pocock, *dorlodoti* (PRUVOST), *pococki* PRUVOST, *pruvosti* (VAN DER HEIDE), *pustulatus* (SCUDDER), *villeti* (PRUVOST) and *woodruffi* (SCUDDER). It would be unwise to suggest synonymies of the constituent species without an examination of the type specimens. However, on the basis of published photographs, *Trigonomartus* (?) *dorlodoti* PRUVOST (1930) (VAN DER HEIDE 1951) and *Aphantomartus pococki* PRUVOST (1912, 1919) appear to be conspecific with *A. areolatus* (PETRUNKEVITCH 1953, p. 92 also suggested the latter synonymy). *Trigonomartus woodruffi* (SCUDDER) (1893) (PETRUNKEVITCH 1913) and *T. (?) villeti* (PRUVOST) (1912, 1930) are poorly preserved and their identification may be uncertain. *Trigonomartus* (?) *pruvosti* VAN DER HEIDE (1951) is probably not an *Aphantomartus* but an eophrynid. *Aphantomartus areolatus* and *Trigonomartus pustulatus* would appear to be distinct on the basis of the more prominent tuberosity and indistinct median transverse groove on the carapace of the latter, but both of these features may be preservational artefacts. It is important to realise that some specimens are preserved three-dimensionally in ironstone nodules whilst others are flattened in siltstones; these factors can enhance or diminish the tuberosity.

Diagnosis: as in Pocock, 1911, p. 79) but emended and augmented as follows: opisthosoma with 8 tergites, 1st differs from the rest but commonly concealed beneath the carapace. Lateral parts of median plate of 3rd to 7th tergites ornamented with large subtriangular tubercle which may be divided. A similar tubercle on posterior part of 2nd (macro-) tergite, the anterior part of which bears a row of large tubercles which diminish in size adaxially.

*Aphantomartus areolatus* Pocock, 1911.  
(Plate 1, figs. 1-4; Text-fig. 1).

1911 Pocock: 81, text-fig. 41, pl. III, fig. 6. 1912 PRUVOST: 94, text-fig. 2, pl. IV, figs. 3 & 4. 1913 PETRUNKEVITCH: 99. 1913 PRUVOST: 928. 1919 PRUVOST: 352. 1949 PETRUNKEVITCH: 257. 1953 PETRUN-

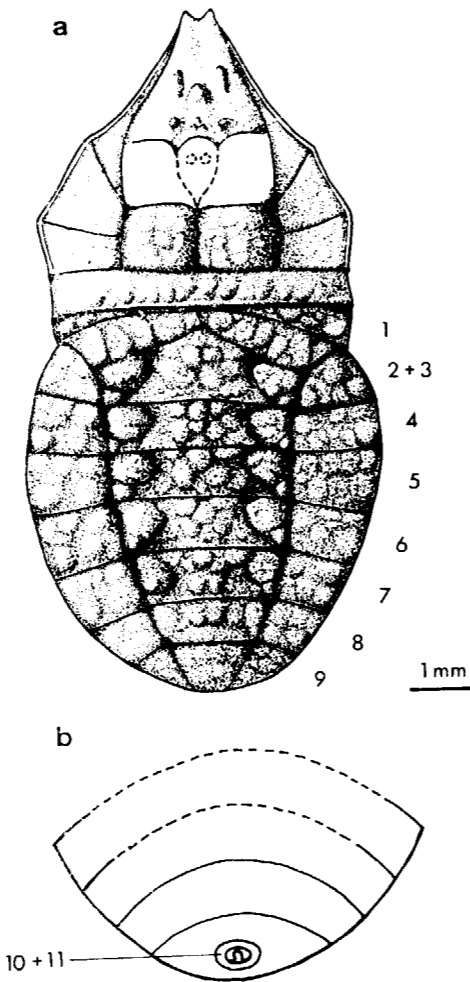


Figura 1.—*Aphantomartus areolatus* Pocock, reconstruction based on specimen described herein. a, dorsal surface of prosoma and opisthosoma, ocular tubercle inferred. b, ventral surface of posterior opisthosoma. Numbers refer to presumed opisthosomal somites.

KEVITCH: 91, pl. 48, figs. 167-170. Not 1955a PETRUNKEVITCH: fig. 80, 3.

Material.

Internal and external moulds of dorsal surface of prosoma and opisthosoma, and superimposed anal region of ventral surface. Appendages not preserved. Preserved in dark grey siltstone with carbonised plant debris. Specimen (part and counterpart) in Museo del Instituto Geológico y Minero de España, Madrid. (Catalogue No. 10.001).

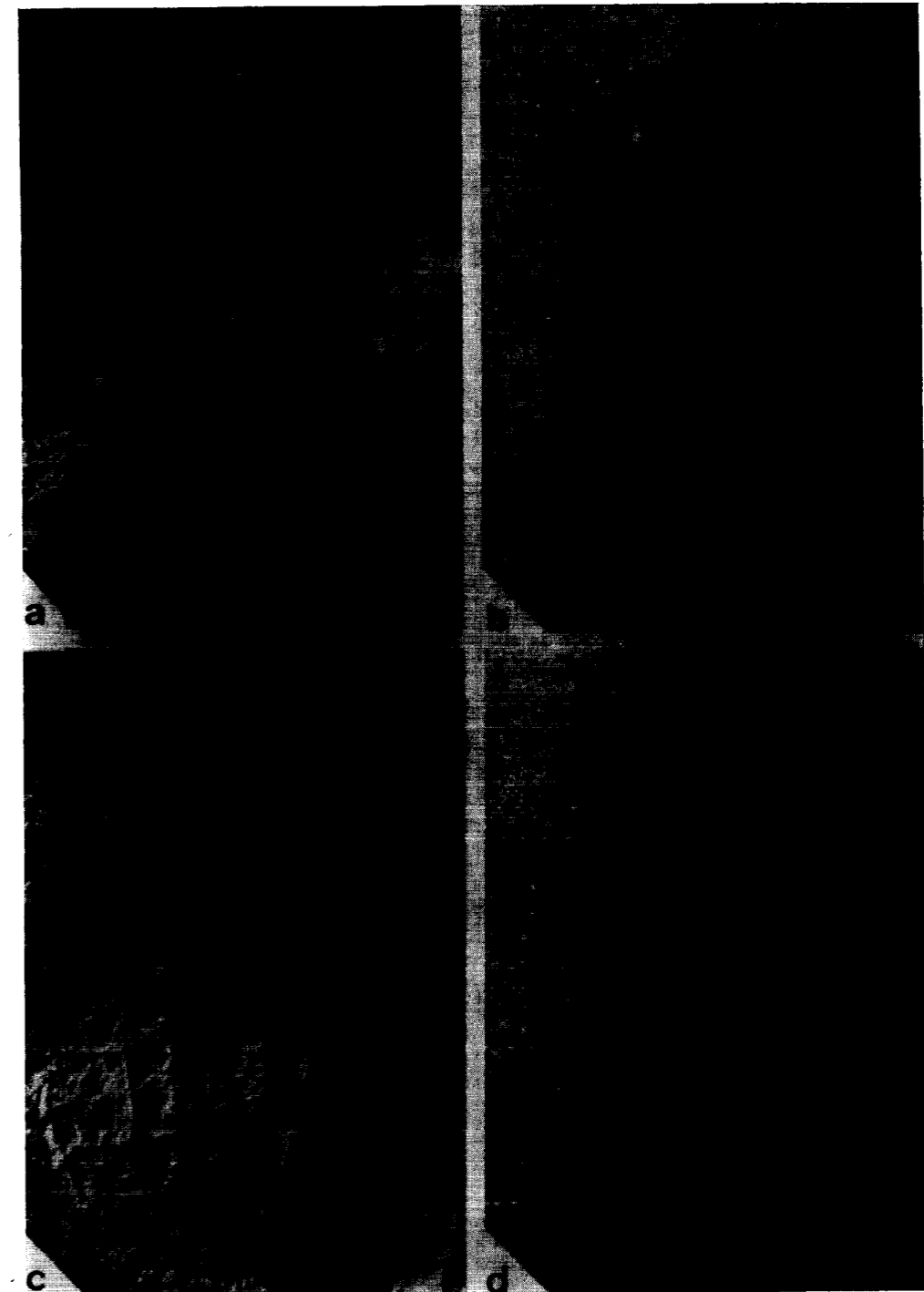


Figura 2.—*Aphantomartus areolatus* Pocock (×8), lit from NW. a, b, internal mould. c, d, external mould. a, c, whitened with ammonium chloride sublimate. b, d, under paraffin.

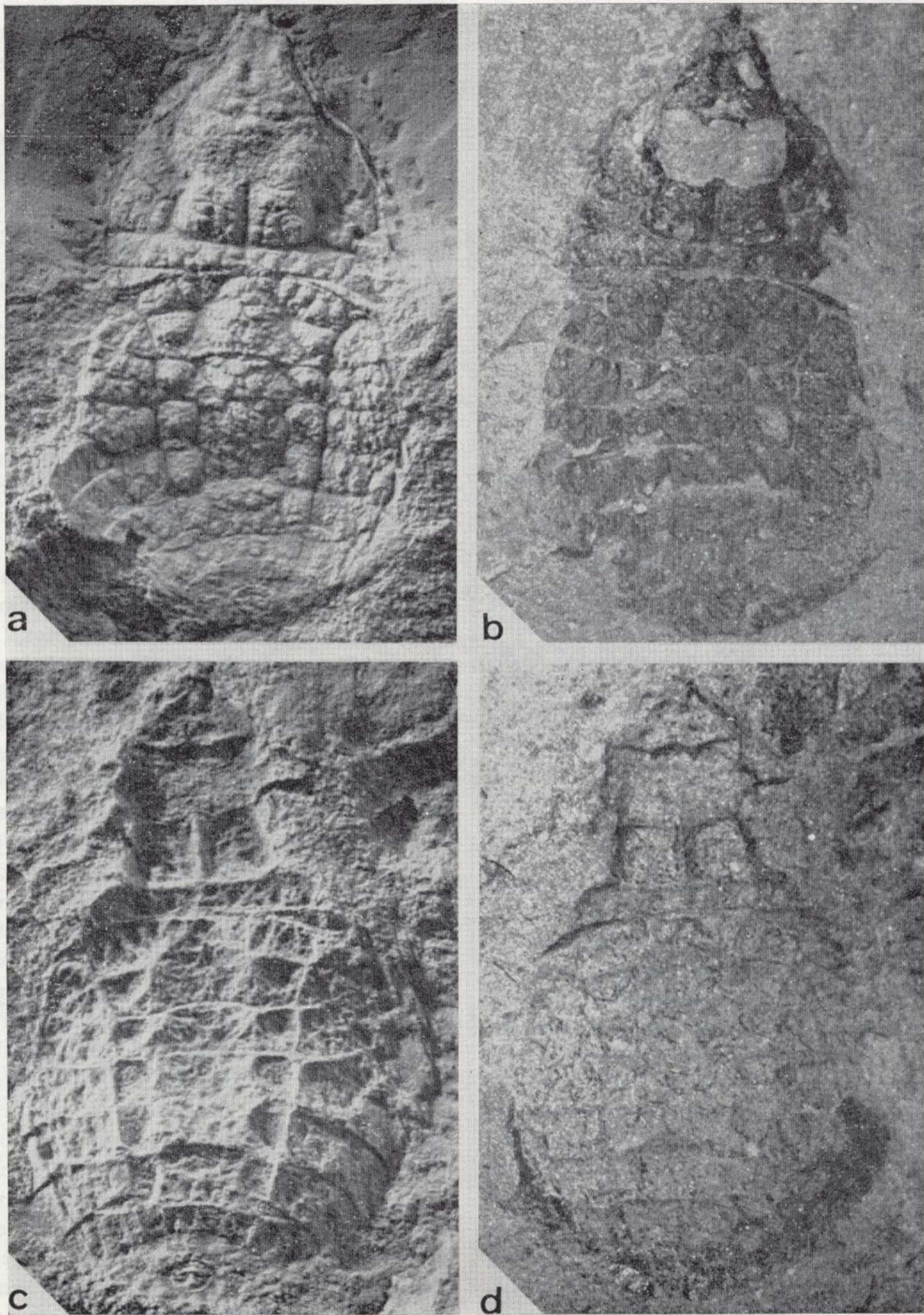


Figura 2.—*Aphantomartus areolatus* Pocock ( $\times 8$ ), lit from NW. a, b, internal mould. c, d, external mould. a, c, whitened with ammonium chloride sublimate. b, d, under paraffin.

## Horizon and locality.

Middle to upper Cantabrian (basal Stephanian), Carboniferous. Borehole in the Prado Formation (WAGNER and FERNÁNDEZ-GARCÍA in press), near Cerezal (León Province), Cantabrian Motuntains, N.W. Spain.

## Measurements. Dimensions in mm.

Length of carapace ... ..	4.75
Width of carapace across posterior margin.	5.5
Length of abdomen ... ..	6.5
Width of abdomen at midlength ... ..	6.5

## Description.

The carapace is slightly wider than long and subtriangular in outline. The lateral borders are scalloped into three wide embayments, and the anterior apex of the carapace terminates in two acute cusps. The carapace is divided into 4 regions. Posteriorly, a transverse rib, about 10 times as wide as long, occupies the full width of the carapace. This rib is ornamented with 6 posteriorly-directed tubercles with minor tubercles inbetween. The remainder of the carapace is divided longitudinally into 3 parts with the median part forming a raised ridge running down the length of the carapace. The ridge is gently convex dorsally with steeply sloping sides and is divided into three segments of unequal length by 2 transverse furrows. The anterior segment is subtriangular in outline and carries 4 prominent tubercles forming the corners of a square. The anterior tubercles are the larger, are forwardly-directed, and between them a lower, forwardly-directed, tubercle is present. The surface of this area is otherwise quite smooth. The second segment is slightly shorter than the anterior one and although the surface is not preserved, two notches on the anterior margin possibly represent the anterior end of the longitudinally elliptical ocular tubercle. The third segment is divided by a median furrow which is deep and angular; the segment bears an ornament of low, irregularly-shaped tubercles. The lateral fields of the carapace are flatter, though with steeply sloping sides, and bear a similar but more subdued ornament as the median part of the third segment. The lateral fields are divided by furrows which run forwards and outwards from the median ridge to the scalloped lateral margins. The most posterior of these furrows starts just anterior to the midlength of the third

median segment; the second furrow starts at the junction between the second and third median segments. Furrows also separate the lateral fields from the median part of the carapace, and the posterior rib from the remainder of the carapace.

The abdomen is elliptical in outline with a nearly straight anterior margin. The dorsal surface bears tergites which consist of a median plate with a lateral plate on each side. The plates are separated by furrows which extend from the antero-lateral borders of the abdomen to the posterior border. At the midlength of the abdomen the median plate is just under half the abdominal width. The longitudinal furrows converge backwards in a gentle sinuous curve and at about their midlength turn adaxially. The anterior tergite (see discussion) is only visible at the outer margins of the abdomen as wedge-shaped plates which appear to thin towards, and die out before reaching, the midline. The second tergite is considerably longer than the other tergites and probably represents two fused tergites. The position of the large tubercles (see below) indicates that fusion has probably occurred. The next 4 tergites (i.e. of segments 4-7) are similar in shape and ornament and are about 8 times as wide as long. The seventh tergite (of segment 8) is narrower and the ornament more subdued. The number of tergites posterior to this is not certain, but is probably only one (the presence of a faint furrow near the anus and curving strongly backwards is the junction of ventral sternites impressed onto the dorsal surface). The most prominent ornament on the abdomen consists of two rows of large, flat, subtriangular tubercles running down the adaxial side of the longitudinal furrows. These tubercles carry a finer ornament of smaller, rounded tubercles, and the posterior angle of the triangle is separated by a small furrow from the main part of the tubercle. The anterior part of the macrotergite, which corresponds to segment 2, bears a row of 4 tubercles which decrease in size adaxially. The rest of the abdomen is covered with small tubercles which, in turn, are ornamented with finer tuberculation. Between the large triangular tubercles on the median plate of each tergite there is one tubercle in the midline at the anterior margin, a pair of tubercles either side of the midline at the posterior margin and 1 or 2 further, smaller tubercles on either side of these at both margins. All these tubercles are posteriorly-direct-

ed, rather irregular and vary in prominence on each tergite, possibly due to preservation. The lateral plates of each tergite bear 4 main tubercles with subsidiary tuberculation. The anterior three-fifths of the abdomen is gently convex dorsally, the rest is gently concave; this is almost certainly the result of preservation.

The sternites of posterior segments appear as impressions on both parts of the specimen and extend beyond the lateral edge of the dorsal surface. This is presumably because in life the ventral surface of the abdomen was more convex than the dorsal (as in Recent Ricinuleida) and hence when flattened after death the sternites cover a wider area. Each of the more anterior of the preserved sternites consists of a single, curved plate, with parallel anterior and posterior borders. Sternite 9 is oval (long axis transverse) and bears the anal pygidium slightly posterior of the middle. The anal pygidium appears oval in outline (long axis transverse), and segmented.

## 3. DISCUSSION

In comparison with known species now referred to *Aphantomartus*, the present specimen corresponds most closely to *A. areolatus*. Comparison with *A. (Trigonomartus) dordodoti* (PRUVOST) (1930) (VAN DER HEIDE 1951) may also be made, but as suggested above, this species may prove to be synonymous with the type. The main difference between the present specimen and *A. areolatus* is the less prominent tuberculation on the tergites. This can be explained by differences in preservation. However, in the holotype of *A. areolatus* (PETRUNKEVITCH 1953, pl. 48, fig. 167) and POCOCK's drawing of it (1911, fig. 41) a rosette of tubercles on the second tergite is emphasised. Interestingly, PRUVOST (1930, 208) also mentions «une rosace» of tubercles in his description of *dordodoti*. Neither the present specimen nor other specimens referred to *areolatus* (e.g. PETRUNKEVITCH 1953, pl. 48, figs. 168-170) show this rosette of tubercles quite so well, and so preservational differences are suspected.

The segmentation of the opisthosoma, upon which much of PETRUNKEVITCH's familial taxonomy is based, is very difficult to discern from dorsal tergites, particularly if the anterior sternites are not preserved. However, study of the extremely well preserved Devonian Palaeocharinidae, and of

HIRST's (1923) excellent figures of them, has greatly aided interpretation of the abdominal anatomy in Aphantomartidae. In the Rhynie palaeocharinids, the tergite belonging to the first abdominal segment is commonly partly concealed beneath the posterior edge of the carapace, and may form part of a locking device between prosoma and opisthosoma (cf. Ricinuleida). This is revealed particularly well in sagittal sections, but can also be seen in HIRST's (1923) Text-fig. 4. A similar arrangement in Aphantomartidae would explain the first abdominal tergite appearing only as wedge-shaped pieces emerging from beneath the carapace, and also the contracted («locked») positions of prosoma and opisthosoma in *Aphantomartus pustulatus* seen in PETRUNKEVITCH (1913) figs. 47-50.

Nine sternites are present in Palaeocharinidae, but according to HIRST (1923) and STORMER (1970) only 8 tergites. It is possible that the second tergite is fused 2+3 as supposed herein in Aphantomartidae, although the anterior (segment 2) part of this macrotergite is quite narrow in both *Alkenia* (STORMER 1970, Text-fig. 7) and the Rhynie species (HIRST 1923, Text-fig. 4). This would explain the supernumerary sternites. Note that the fusion of tergites does not imply the fusion of segments, and that this is much more advanced for example in Phalangiotarbida (KJELLESVIG-WAERING in press) and Ricinuleida.

Two segments are present in the anal pygidium of *Palaeocharinus*, and these are clearly seen in HIRST (1923, Text-figs. 9 & 10, pl. 12, fig. c) where this organ is everted. It would not be unreasonable to suppose that where the anus appears in *Aphantomartus* (and other trigonotarbids) as 2 concentric circles that 2 segments are also present. This brings the number of opisthosomal somites to 11 in both Palaeocharinidae and Aphantomartidae. In which case, perhaps the latter family is directly descended from the former, and the two could be united. It may eventually be found that the segmentation described above is characteristic of the whole order Trigonotarbida, with familial differences reliant on dorsal abdominal sclerotization and other characters. Of related interest, the subtriangular carapace with scalloped edges, raised median area and furrowed flanks is found in a number of genera scattered throughout the Trigonotarbida, in for example, *Aphantomartus*, *Alkenia*, *Phrynomartus*, *Eophrynus*, *Kreischeiria* and other Eophrynidae.

## 4. CONCLUSIONS

The first recorded Palaeozoic arachnid from the Iberian region is of note. The taxonomy of *Aphantomartus*, to which the specimen belongs, is in some confusion which has been resolved in part herein. It is obvious however, in the light of previous interpretative errors and the recent, major, taxonomic revision necessary to another fossil arachnid group, Phalangiotarbida (KJELLESVIG-WAERING in press), that a full revision of the Trigonotarbida, perhaps in conjunction with Anthracomartida, is needed.

## ACKNOWLEDGEMENTS

We express our thanks to R. Arteaga for obtaining permission to publish this specimen and to R. H. Wagner (University of Sheffield) for bringing this specimen to our attention and aiding with the MS, Sue Maher for photography and Veena Seth for typing. P. A. Selden acknowledges the help of a Royal Society Scientific Investigations Grant.

## REFERENCES

- HEIDE, S. VAN DER: *Les Arthropodes du Terrain houiller du Limbourg méridionale (excepté les Scorpions et les Insectes)*. Meded. Geol. Sticht. C-IV-3, 5, pp. 1-84, tab. I-II, pls. 1-10 (1951).
- HIRST, S.: *On some arachnid remains from the Old Red Sandstone (Rhyne Chert Bed, Aberdeenshire)*. Ann. Mag. Nat. Hist. (9), 12, pp. 455-474, text-figs. 1-13, pls. XI-XV (1923).
- KJELLESVIG-WAERING, E. N.: *The Phalangiotarbida (Arachnida) of Mazon Creek (abstract)*. Geol. Soc. Amer. Abstr. Progs. 10, pp. 258-259 (1978).
- KJELLESVIG-WAERING, E. N.: *The Phalangiotarbida of Mazon Creek* (in press).
- PETRUNKEVITCH, A.: *A monograph of the terrestrial Palaeozoic Arachnida of North America*. Trans. Conn. Acad. Arts Sci., 18, pp. 1-137, text-figs. 1-88, pls. I-XII (1913).
- PETRUNKEVITCH, A.: *Palaeozoic Arachnida of Illinois. An inquiry into their evolutionary trends*. Ill. State Mus., Sci. Paps., III, 2, pp. 1-72, text-figs. 1-34, pls. I-IV (1945).
- PETRUNKEVITCH, A.: *A study of Palaeozoic Arachnida*. Trans. Conn. Acad. Arts Sci., 37, pp. 60-315, pls. 1-83 (1949).
- PETRUNKEVITCH, A.: *Palaeozoic and Mesozoic Arachnida of Europe*. Geol. Soc. Amer. Mem., 53, pp. 1-128, pls. 1-58 (1953).
- PETRUNKEVITCH, A.: *Arachnida*. In Moore, R. C. (ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, P. Arthropoda*, 2, pp. P42-P162, figs. 31-116 (1955a).
- PETRUNKEVITCH, A.: *Trigonotarbus arnoldi, a new species of fossil arachnid from southern France*. J. Paleont., 29, pp. 457-477, text-figs. 1-2, pl. 55 (1955b).
- POCOCK, R. I.: *A monograph of the terrestrial Carboniferous Arachnida of Great Britain*. Palaeontogr. Soc. Mon., 64, pp. 1-84, text-figs. 1-42, pls. I-III (1911).
- PRUVOST, P.: *Note sur les Araignées du Terrain houiller du Nord de la France*. Ann. Soc. géol. Nord, 41, pp. 85-100, text-figs. 1-3, pl. IV (1912).
- PRUVOST, P.: *La Faune continentale du Terrain houiller du Nord de la France*. C. R. 12e Congr. Géol. Int. Toronto, p. 928 (1913).
- PRUVOST, P.: *Introduction a l'étude du Terrain houiller du Nord et du Pas-de-Calais. La Faune continentale du Terrain houiller du Nord de la France*. Mém. Carte Géol. France, 4e pt. Les Mérostomates et les Arachnides, pp. 323-364, text-figs. 37-44, pl. XXIII (1919).
- PRUVOST, P.: *La Faune continentale du Terrain houiller de la Belgique*. Mus. R. Hist. Nat. Belg., Mém., 44, Chap. VII Arachnides, pp. 206-217, text-figs. 8-9, pls. X-XII (1930).
- SCUDDER, S. H.: *A contribution to our knowledge of Palaeozoic Arachnida*. Proc. Amer. Acad. Arts Sci., 20, pp. 15-22 (1884).
- SCUDDER, S. H.: *Insect fauna of the Rhode Island coalfield*. U.S. Geol. Surv. Bull., 101, pp. 1-27, pls. 1-2 (1893).
- WAGNER, R. H. & FERNÁNDEZ-GARCÍA, L. G.: *Late Westphalian D and Cantabrian strata in the Guardo Coalfield (N.W. Spain): tectonics, sedimentation, stratigraphy*. 9th Int. Congress Carb. Strat. Geol., Urbana, 1979 (in press).
- WAGNER, R. H.; PARK, R. K.; WINKLER PRINS, C. F. & LYS, M.: *The Post-Leonian Basin in Palencia: A report on the Stratotype of the Cantabrian Stage*. In Holub, V. M. & Wagner, R. H. eds., *Symposium on Carboniferous Stratigraphy*. I.U.G.S.-S.C.C.S. Meeting 1973. Publ. Geol. Survey Prague, pp. 89-146 (1977).

Recibido: Julio de 1982.

## El yacimiento de Sepiolita-Paligorskita de Sacramenia, Segovia

Por J. M. MARTIN POZAS (\*), J. MARTIN-VIVALDI (\*\*) y M. SANCHEZ CAMAZANO (\*\*\*)

## RESUMEN

En este trabajo se presentan las investigaciones llevadas a cabo sobre un depósito de arcillas fibrosas relacionado a una cuenca sedimentaria de carácter continental.

El depósito se encuentra ubicado en el norte de la provincia de Segovia, en la región suroriental de la cuenca del Duero.

En el techo del corte estudiado, existe un nivel de sepiolita, muy oscura, de un espesor entre uno y dos metros. Hacia el muro de la formación, separado del nivel de sepiolita por unos seis u ocho metros de materiales margocalizos, aparece un nivel de unos cuatro metros de potencia de paligorskita casi pura, con illita y cuarzo como minerales accesorios.

A lo largo de todo el perfil se han estudiado los minerales de la arcilla asociados a los materiales margocalizos, encontrándose, en casi todos los casos, además de sepiolita y/o paligorskita, minerales esmectíticos muy degradados en un estado tipo intergrado.

Parece claro que el proceso de génesis de este depósito responde a una neoformación en un medio sedimentario de alta actividad química de magnesio y que debe incluir el proceso de recristalización y posterior crecimiento de minerales fibrosos a partir de esqueletos esmectíticos altamente transformados.

## ABSTRACT

This work presents the research carried out on a new deposit of fibrous clays which is related to a continental sedimentary basin.

The deposit may be found to the north of the province of Segovia, in the southern region of the Duero Basin. On the top of the deposit studied there is a layer of sepiolite, very dark, with a thickness of between one and two meters. Towards the bottom of formation, separated from the sepiolite by lime-marl materials of six-eight meters in thickness, appears a layer of almost pure paligorskite. Next to it, illite and quartz are associated in smaller amounts. Along the whole of the profile, the clay minerals associated to the lime-marl apart of sepiolite and paligorskite, smectite materials have been found in a very degraded intergrade-type state.

In these deposits of fibrous clays minerals seems clear that the genetic process that have led to the formation of there material corresponds to a neoformation in sedimentary media of high chemical activity rich in magnesium and includes the recrystallization and later growth of fibrous minerals from highly transformed smectite skeletons.

## 1. INTRODUCCION

El presente trabajo resume las investigaciones efectuadas en un yacimiento de materiales fibrosos (sepiolita y paligorskita) situado en la pro-

vincia de Segovia en las proximidades con la de Valladolid. Tanto la sepiolita como la paligorskita son minerales absorbentes que con frecuencia componen las denominadas «Fuller's earth». Su importancia técnica radica en su aplicación como decolorantes, absorbentes, material cerámico y lodos para sondeos. Recientemente se ha diversificado su utilización, p. ej., como absorbente en lechos de animales domésticos. Yacimientos españoles de estas arcillas explotables en la actualidad son el conocido de sepiolita de Vallecas y el de

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Salamanca.

(\*\*) Compañía General de Sondeos, Corazón de María, número 15, Madrid-16.

(\*\*\*) Instituto de Edafología y Biología Aplicada. CSIC. Salamanca.

paligorskita de Cáceres, HUERTAS y col. (1973), GALÁN y col. (1975).

En la superficie ocupada por este yacimiento (figura 1), están representadas las comarcas naturales de los Páramos, caracterizada por sus relieves poco acusados. Las alturas oscilan entre los 800 metros de los valles y los 958 m., cota máxima a que se sitúan los páramos. Los elementos geográficos más importantes son las altiplanicies o páramos y las laderas de los mismos denominadas rampas o cuestas.

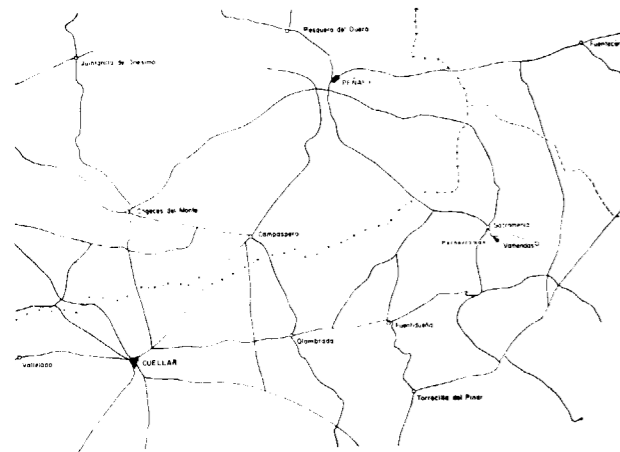


Figura 1.—Situación del área.

Desde el punto de vista geológico, el área de estudio se encuentra situada en la gran cuenca intramontana correspondiente a la submeseta septentrional o cuenca del Duero. Esta cuenca está rellena fundamentalmente por materiales terciarios y cuaternarios, depositados en régimen continental. Las facies varían desde los conglomerados y areniscas en áreas proximales, hasta los sedimentos de fangos de llanura de inundación en pequeñas charcas, los cuales lateralmente cambian para dar origen a facies de tipo lacustre y que constituyen la denominada facies de Las Cuestas. Las calizas superiores que forman la superficie de los páramos, corresponden a una mayor expansión de los ambientes lacustres más o menos generalizados durante el Mioceno Superior y el Plioceno Inferior.

Desde el punto de vista de la geología local del yacimiento y, en términos generales, se pueden distinguir las siguientes facies. En la base, un

tramo constituido fundamentalmente por calizas en bancos decimétricos, entre los que se intercalan margas y yesos; su potencia es del orden de 42-60 metros y con buzamiento hacia el centro de la cuenca, aflorando en los alrededores de Fuentidueña, por lo que ha recibido el nombre de «Formación Fuentidueña».

El tipo de ambiente transicional representa precisamente el paso de las facies aluviales o facies de Tierra de Campos, a las facies salinas o facies de Las Cuestas. Encima se sitúa una formación constituida por arcillas calcáreas y limolitas grises con yesos, niveles de calizas y esporádicamente bancos de sílex y que se denomina facies de Las Cuestas. En determinados sectores las arcillas calcáreas se empobrecen en carbonatos y dan paso a los niveles de sepiolita o paligorskita correspondientes al nivel inferior del yacimiento. La potencia media de la unidad varía entre los 60 y 70 m. Sobre esta unidad se sitúan margas y calizas, en tránsito hacia las calizas de la superficie de Los Páramos, entre las que se intercalan los niveles de paligorskita y sepiolita correspondientes al nivel superior y más importante del yacimiento. La potencia media de esta unidad es de unos 11 m.

Por último y coronando esta formación se sitúa una serie carbonatada, facies de las calizas de Páramos, constituida por un conjunto poco potente (2 a 8 m.), de calizas crestilográficas con intercalaciones de margas.

2. MATERIAL Y MUESTRAS SELECCIONADAS

Se ha investigado fundamentalmente el corte superior del yacimiento representado en la figura 2, del que se han seleccionado 15 muestras, entre niveles arcillosos, margas y calizas. Este corte está situado en las proximidades del pueblo de Pecharromán, en la carretera que enlaza esta pequeña localidad con la de Sacramenia. Los niveles inferiores del depósito están poco representados y se localizan en la carretera de Valtiendas a Sepúlveda (muestras Val-1 y Val-2), y en las proximidades de Fuentidueña (muestra Fu-1).

De acuerdo con las observaciones de campo, en el nivel superior del yacimiento se distinguen dos niveles arcillosos muy próximos entre sí, denominados SJ-4 y SJ-2, constituidos por una arcilla

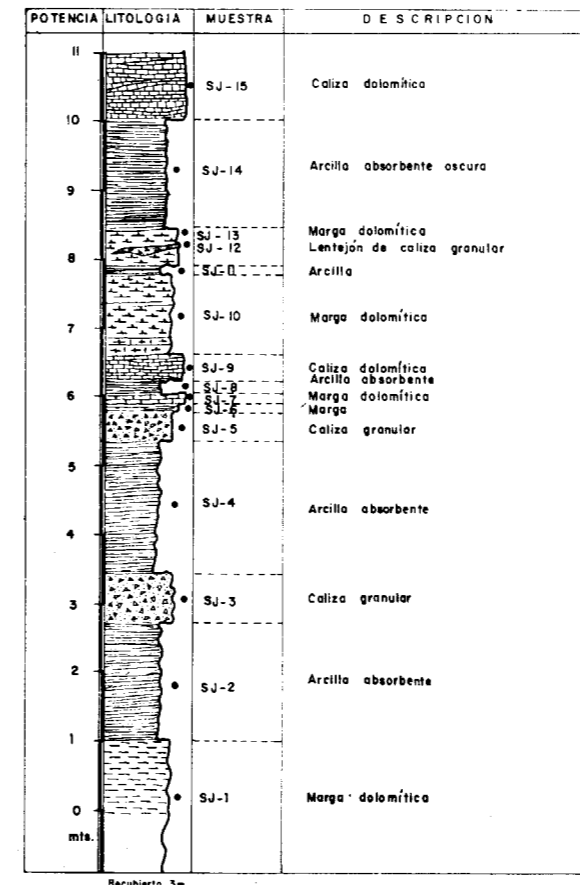
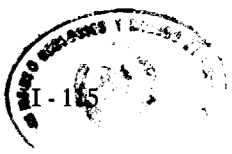


Figura 2.—Perfil de Pecharromán-Sacramenia.

ligeramente coloreada, ligera y bastante absorbente y que en conjunto representan una potencia de unos 5 a 4,5 m. Otro nivel arcilloso interesante está constituido por una arcilla muy oscura (SJ-14), con cierta capacidad absorbente. La descripción litológica de todos los materiales del corte, queda resumido en la referida figura 2.

En el estudio analítico que sigue se ha determinado la composición global de todas las muestras anteriormente descritas, y en el caso del nivel superior, muestras SJ-1 a SJ-15, se ha investigado además la composición arcillosa de los materiales margocalizos, extrayendo la arcilla una vez eliminados los carbonatos, tras un tratamiento con ácido acético diluido y realizando la operación a través de una membrana porosa (papel de celofán), para acelerar el proceso y poder concentrar la arcilla.

3. RESULTADOS EXPERIMENTALES

3.1 Difracción de rayos X

El examen de las muestras totales se realizó utilizando preparados de polvo, y de los diagramas obtenidos se calculó su composición semicuantitativa a través del método de las intensidades de referencia o poderes reflectantes, MARTÍN POZAS (1977), y utilizando los valores indicados por BARAHONA (1977).

En el caso de las arcillas extraídas con posterioridad al ataque ácido, se utilizaron agregados orientados, para exaltar las reflexiones basales de los minerales arcillosos, y en los casos necesarios sometiendo la muestra a una solvatación previa con glicerol o a un calentamiento a 550° C durante dos horas.

La tabla I expresa la composición semicuantitativa de las muestras estudiadas. En la figura 3 se recogen las curvas difractométricas de las muestras más representativas de los materiales fibrosos del yacimiento, muestras SJ-4 y SJ-14, correspondientes a una paligorskita bastante pura y a una mezcla de sepiolita y paligorskita, respectivamente. La figura 4 presenta los diagramas de agregado orientado de uno de los extractos arcillosos y que en su mayoría están constituidos por sepiolita y/o paligorskita acompañadas de materiales de baja cristalinidad que pueden responder a un integrado esmectita-clorita.

TABLA 1  
Composición mineralógica de las muestras globales (%).

Muestra	Paligor.	Sepiol.	Cuar.	Calci.	Dolo.	Otros
SJ-1	15	—	—	—	75	Sm (10)
SJ-2	85	—	10	—	—	Sm <5
SJ-3	5	—	—	50	35	Sm 5
SJ-4	80	—	15	—	—	Mi <5
SJ-5	5	5	—	80-90	—	Sm 5
SJ-6	<10	<10	—	—	70	Sm 10
SJ-7	—	<10	<10	—	80	Sm <10
SJ-8	—	70	—	—	15	—
SJ-9	—	—	—	—	95	—
SJ-10	5	10	—	10	70	Sm 5
SJ-11	—	50	5	5	40	—
SJ-12	—	<10	—	85	—	Sm <5
SJ-13	—	<10	—	<10	80	Sm <10
SJ-14	60	20	~20	—	—	Mi <5
SJ-15	10	—	—	40	50	Sm <5
Val. 2	60	—	<10	20	10	Mi ~10
FU	—	60-70	—	10	30	—

Mi=mica; Sm=esmectita.

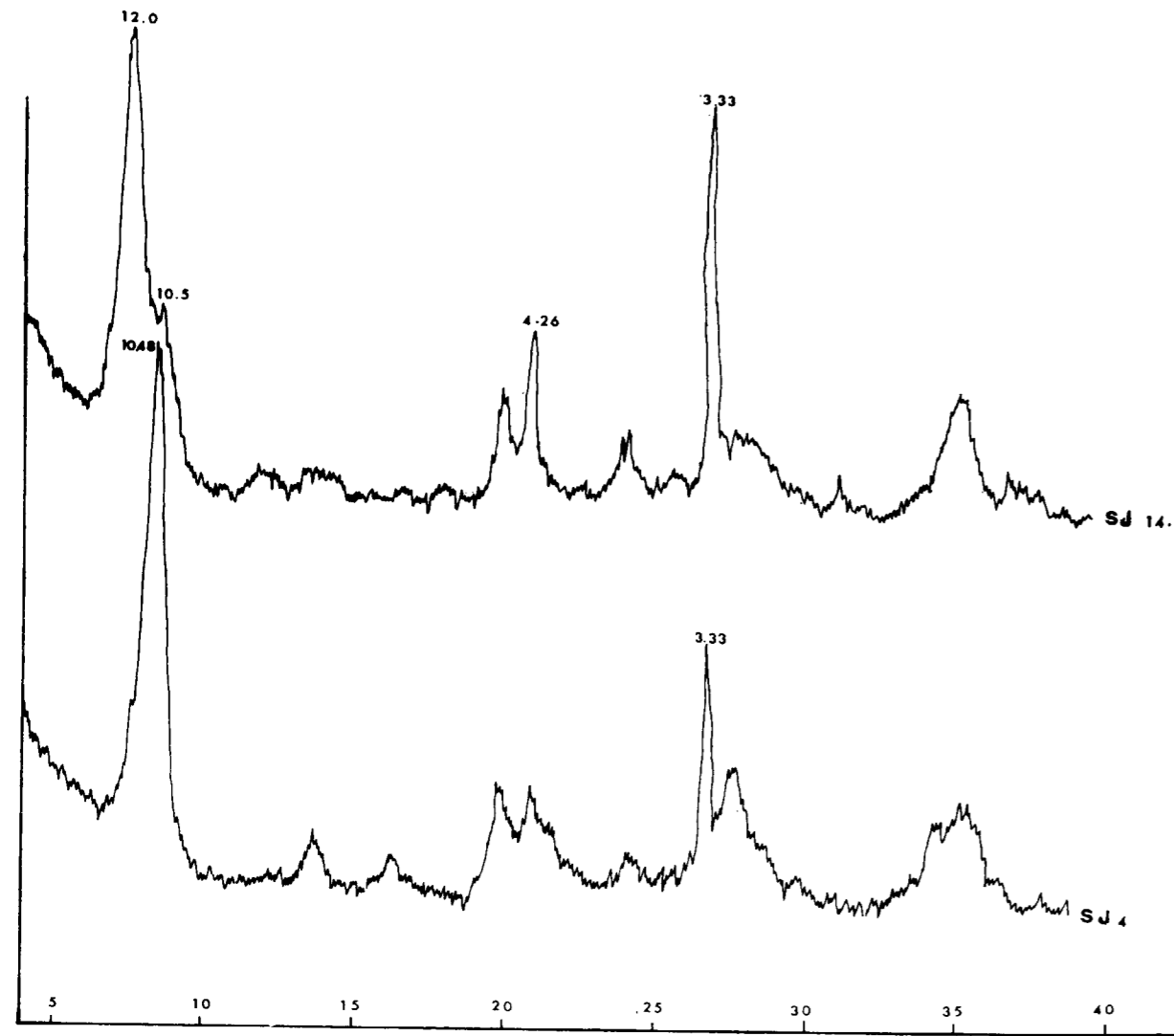


Figura 3

3.2. Análisis térmico diferencial

Las muestras representativas de los niveles arcillosos (SJ-4 y SJ-14) fueron analizadas en un equipo amico bajo atmósfera natural. La figura 5 contiene las curvas termodiferenciales obtenidas. Puede comprobarse en la correspondiente a la SJ-4, su similitud con la de una paligorskita típica, en dicha curva se observan efectos endotérmicos a ~140 y ~160° C correspondientes a la pérdida del agua zeolítica, un tercer endotérmico individualizado alrededor de 300° C, debe corresponder al agua enlazada y un cuarto a ~480° C debe asignarse a la deshidroxilación. Un doble efec-

to «endo-exo» entre 800 y 900° C, debe indicar procesos de formación de nuevas fases. La curva correspondiente a la muestra SJ-14, presenta una serie de picos endotérmicos, en los que se deben solapar los efectos correspondientes a los minerales sepiolita y paligorskita, por lo que la curva muestra una mayor complejidad aparente, aunque se asemeja bastante al de una sepiolita, con pérdidas de agua 146° C, y 250° C y procesos de deshidroxilación entre 250 y 600.

En la misma figura 5 se recogen las curvas termo-diferenciales correspondientes a dos de los materiales arcillosos extraídos de los tramos carbona-

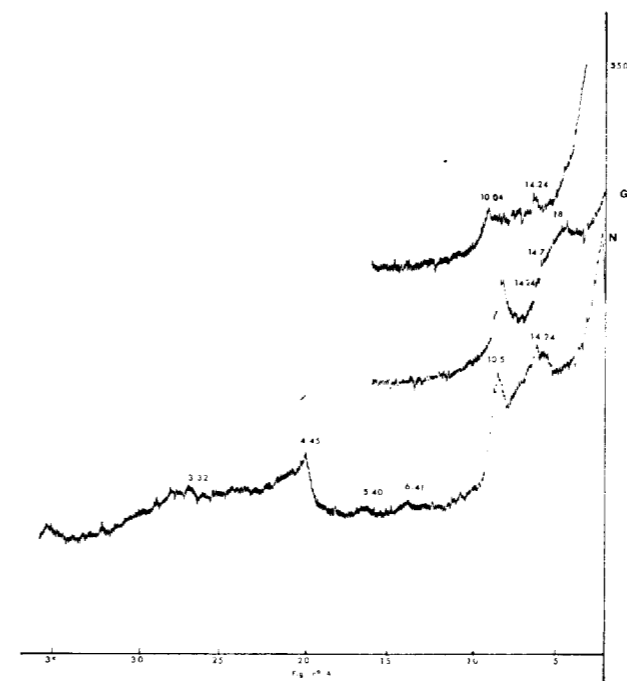


Figura 4

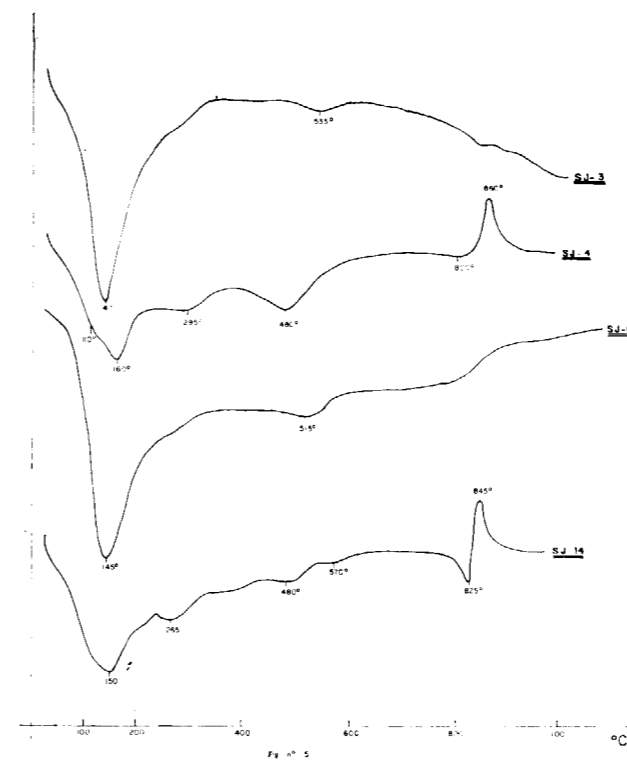


Figura 5

tados SJ-3 y SJ-6. Se observan en ellos efectos endotérmicos a 145° C, de gran magnitud, que indican una alta pérdida de agua, y una serie de efectos difusos, con uno más neto a 530° C, que pueden asignarse a la vista de los resultados de rayos X, a los materiales esmectíticos y fibrosos que contienen estos extractos arcillosos. No obstante, de su apariencia no puede inducirse una composición aproximada aunque deben responder a procesos complejos de deshidratación y deshidroxilación de los materiales integrados esmectita-clorita.

3.3 Análisis químico

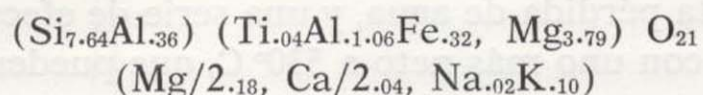
En la tabla 2 se incluye el resultado del análisis químico correspondiente a las muestras SJ-4 y SJ-14 (f<20μ) y de la fracción arcillosa correspondiente a las muestras SJ-3 y SJ-6. La muestra SJ-14 debe corresponder a un material fundamentalmente sepiolítico, en el que el porcentaje de magnesio es bastante elevado; no obstante, la alúmina muestra un contenido apreciable y aunque el material contiene alrededor de un 20 por 100 de paligorskita, el análisis debe indicar la existencia de una sepiolita algo aluminica. La muestra SJ-4, prácticamente constituida por paligorskita, debe corresponder a un mineral de este tipo bastante magnésico. Teniendo en cuenta que va acompañada de cuarzo libre y de pequeñas cantidades de mica, se ha calculado su fórmula estructural, deduciendo de los porcentajes de óxido, los correspondientes a esas impurezas. Tomando como base

TABLA 2 Análisis químico.

% Muestra	SJ-3	SJ-4	SJ-6	SJ-15
SiO <sub>2</sub> ... ..	53.74	53.61	51.82	50.14
TiO <sub>2</sub> ... ..	0.52	0.39	0.32	0.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	14.05	9.29	8.86	8.14
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ... ..	4.33	3.10	2.28	2.92
MgO ... ..	6.08	13.20	5.64	15.25
MnO ... ..	0.02	0.02	0.02	0.01
CaO ... ..	1.60	0.20	0.40	0.63
Na <sub>2</sub> O ... ..	0.02	0.04	0.04	0.02
K <sub>2</sub> O ... ..	0.76	0.75	1.02	0.19
P.F. ... ..	18.70	19.80	28.60	21.50
TOTAL ... ..	100.10	100.20	98.70	99.45
	99.82	100.40	99.00	98.96



un total de 21 oxígenos, la fórmula estructural podría venir indicada como:



que corresponde a una paligorskita relativamente magnésica.

Los análisis de las muestras SJ-6 y SJ-3 se caracterizan por contenidos en sílice parecidos a los de las muestras antes citadas, pero mucho más pobres en magnesio y con una pérdida al fuego sensiblemente superior en el caso de la SJ-6. La muestra SJ-3 presenta un cociente  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  bastante elevado. Pueden corresponder con materiales sepiolíticos-paligorskíticos acompañada de esmectitas altamente degradadas y de integrados esmectita-clorita.

### 3.4 Microscopía electrónica

El examen fue realizado en un microscopio Philips modelo M-300. Fueron seleccionadas las muestras, arcillosas SJ-4 y SJ-14, y los extractos arcillosos de las muestras SJ-3 y SJ-6 para este estudio. Las observaciones de cada una de las muestras pueden resumirse en la siguiente forma:

SJ-3. Se observan fases esmectíticas de baja cristalinidad y de pequeño tamaño de partícula; junto a estos materiales se observan minerales fibrosos.

SJ-4. Mineral fibroso (sepiolita o paligorskita) bien cristalizado, y algunos cristales de minerales micáceos, figura 6.

SJ-6. Se observan esmectitas mal cristalizadas junto a minerales fibrosos, también mal cristalizados, figura 7.

SJ-14. Sepiolita y/o paligorskita, junto a ellos se observan algunos cristales de mica y carbonatos. El tamaño de las fibras es mediano y su cristalinidad media, inferior a los reconocidos en la muestra SJ-14, figura 8.

## 4. CONCLUSIONES Y CONDICIONES DE FORMACION

De acuerdo con los datos aportados anteriormente, en el yacimiento estudiado de materiales

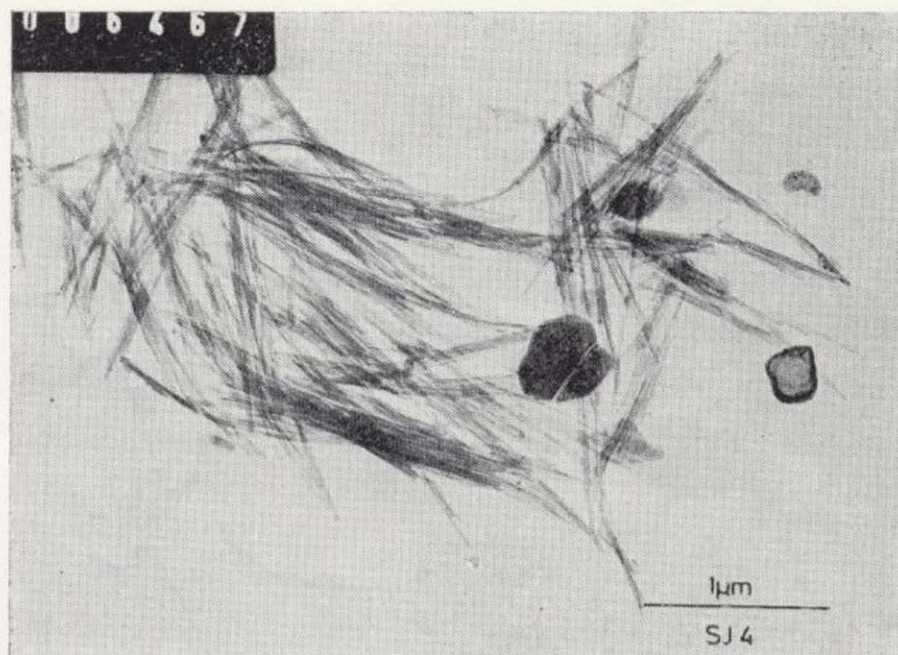


Figura 6

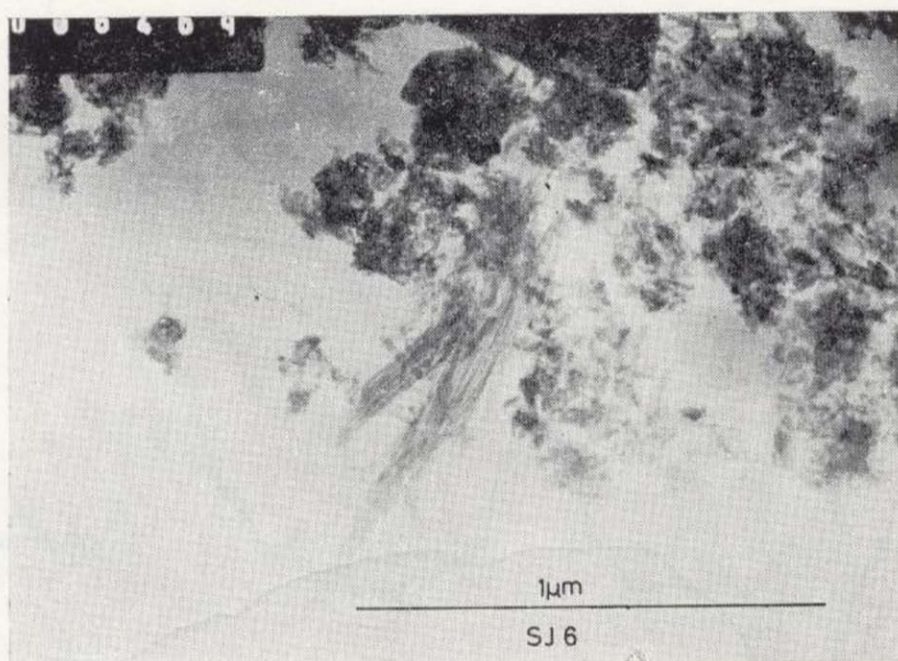


Figura 7

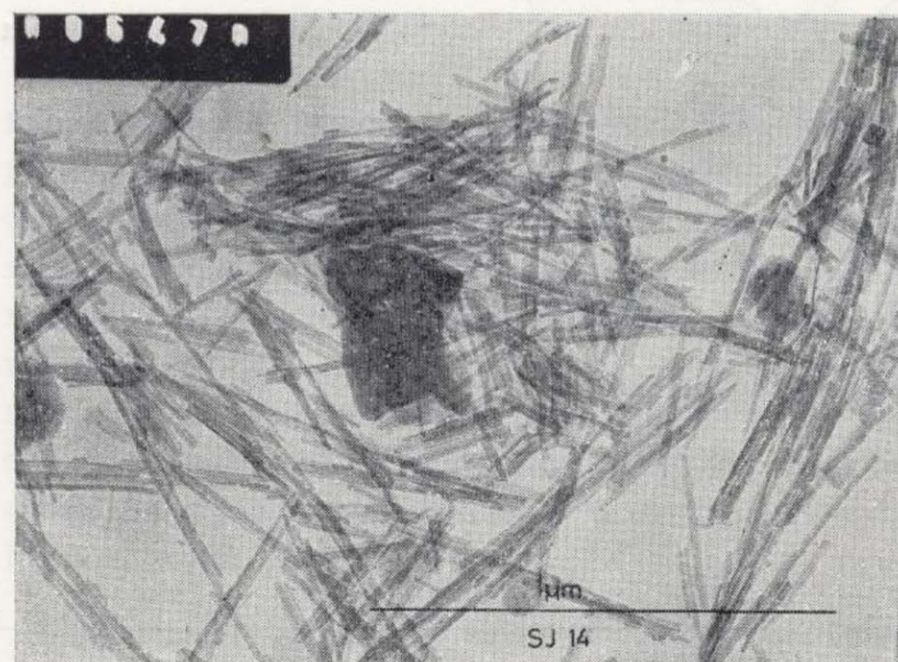
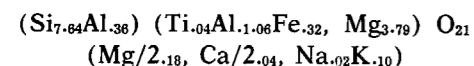


Figura 8

un total de 21 oxígenos, la fórmula estructural podría venir indicada como:



que corresponde a una paligorskita relativamente magnésica.

Los análisis de las muestras SJ-6 y SJ-3 se caracterizan por contenidos en sílice parecidos a los de las muestras antes citadas, pero mucho más pobres en magnesio y con una pérdida al fuego sensiblemente superior en el caso de la SJ-6. La muestra SJ-3 presenta un cociente  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  bastante elevado. Pueden corresponder con materiales sepiolíticos-paligorskíticos acompañada de esmectitas altamente degradadas y de integrados esmectita-clorita.

### 3.4 Microscopía electrónica

El examen fue realizado en un microscopio Philips modelo M-300. Fueron seleccionadas las muestras, arcillosas SJ-4 y SJ-14, y los extractos arcillosos de las muestras SJ-3 y SJ-6 para este estudio. Las observaciones de cada una de las muestras pueden resumirse en la siguiente forma:

- SJ-3. Se observan fases esmectíticas de baja cristalinidad y de pequeño tamaño de partícula; junto a estos materiales se observan minerales fibrosos.
- SJ-4. Mineral fibroso (sepiolita o paligorskita) bien cristalizado, y algunos cristales de minerales micáceos, figura 6.
- SJ-6. Se observan esmectitas mal cristalizadas junto a minerales fibrosos, también mal cristalizados, figura 7.
- SJ-14. Sepiolita y/o paligorskita, junto a ellos se observan algunos cristales de mica y carbonatos. El tamaño de las fibras es mediano y su cristalinidad media, inferior a los reconocidos en la muestra SJ-14, figura 8.

## 4. CONCLUSIONES Y CONDICIONES DE FORMACION

De acuerdo con los datos aportados anteriormente, en el yacimiento estudiado de materiales

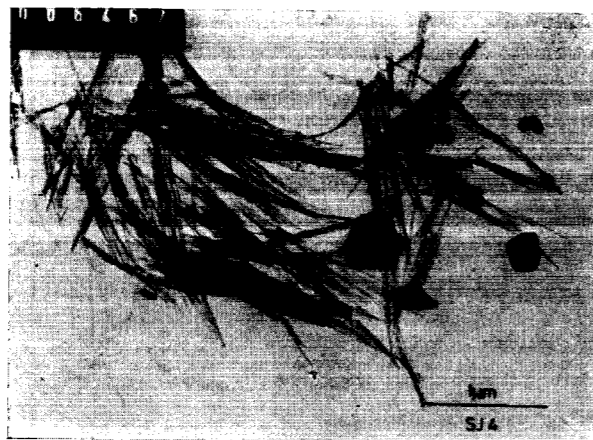


Figura 6



Figura 7

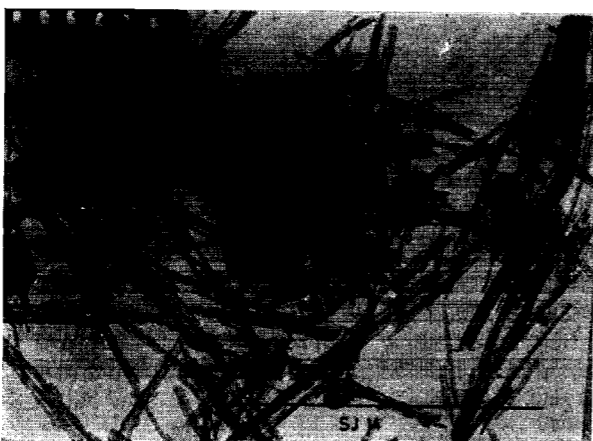


Figura 8

fibrosos, fundamentalmente interesan los niveles denominados SJ-2 y SJ-4, que separados por un pequeño banco calizo, están constituidos por una paligorskita magnésica, a la que acompañan, en la muestra global pequeñas cantidades de cuarzo y mica. Todos los análisis realizados corroboran esta composición, por lo que puede considerarse como de buenas perspectivas para su uso técnico. La potencia de estos niveles a lo largo del perfil estudiado varía entre los 3 y 4,5 metros. Otro nivel interesante es el SJ-14, constituido, de acuerdo con los datos reseñados, por sepiolita asociada a paligorskita, acompañando a ambas, como minerales minoritarios, cuarzo y mica. Desde el punto de vista de su aprovechamiento técnico, su aplicación parece en este caso más restringida, debido a su contenido en materia orgánica, y que de acuerdo con ensayos técnicos que están en fase de realización disminuye ostensiblemente su capacidad de absorción.

En el estado actual sobre la síntesis y formación natural de sepiolita y paligorskita (ISPHORING, 1973; LA IGLESIA, 1976; SIFFERT y WEISS, 1968; WOLLAST y col., 1971) parece claro que la presencia de estos minerales en ambientes sedimentarios debe estar regida por una serie de condiciones en un medio hipersalino de alta actividad de Si y Mg, y elevado pH (8-10). Determinados autores condicionan la formación de estos minerales a un medio con nula o baja actividad de Al, pues si esta restricción no se cumple, el magnesio se alojaría en la red de los aluminosilicatos, o sea, se formarían minerales del tipo esmectítico o clorítico.

El yacimiento de minerales fibrosos paligorskita y sepiolita estudiado aquí, concuerda con muchos de estos datos. Los minerales fibrosos de este yacimiento se encuentran asociados a carbonatos magnésicos fundamentalmente, y la presencia de otros minerales heredados es prácticamente nula. Esto abogaría por el condicionante de un medio confinado, en el que se ha favorecido una alta actividad de Si y Mg como para llegar a un límite de concentración que posibilite la neoformación de estos minerales. El proceso podría estar justificado considerando que en el aporte de los materiales procedentes del continente, bien debido a un cambio rítmico con el tiempo de estos aportes, bien debido a una compartición adecuada de la cuenca, se originen las condiciones idóneas para

una evaporación que concentre el Si y Mg en determinados sectores de la cuenca.

Como decíamos anteriormente, una actividad moderada del aluminio, podría considerarse que desvía la formación de minerales arcillosos hacia otro tipo de los fibrosos. Nosotros, por el contrario, y a través del análisis reflejado en la tabla 2, vemos que esta incompatibilidad no es tan acusada, no sólo en el caso de la paligorskita sino también en el de la sepiolita.

De acuerdo con los datos de síntesis de sepiolita y paligorskita parece existir una contradicción entre la relativamente fácil síntesis de sepiolita a temperatura ambiente y su poca difusión en la naturaleza, sobre todo si la comparamos con la de la paligorskita, que a su vez presenta mayores dificultades para la síntesis. En general, la sepiolita representa un término más magnésico que la paligorskita, y su formación en procesos sedimentarios parece estar ligada a una neoformación a partir de soluciones básicas con alta actividad de magnesio y silicio. De las experiencias de síntesis de sepiolita, parece que un aumento de la actividad del Al en solución, lleva consigo el desplazamiento de la síntesis hacia materiales esmectíticos, en vez de conseguir la cristalización de paligorskita. Por otro lado, la presencia casi constante de materiales esmectíticos acompañando a la paligorskita, como ocurre en este yacimiento, podría indicar la necesidad de explicar el proceso de génesis de este mineral, como consecuencia de una transformación de minerales esmectíticos, en el sentido indicado por TRHAUTS (1976) y aunque no se explique claramente la contradicción anteriormente indicada, no parece claro abogar por un proceso claramente autigénico para la génesis de paligorskita, aun teniendo en cuenta las características de ubicación y materiales entre los que se intercala, normalmente, dolomías y calizas, yesos, y otras evaporitas que representan condiciones de alta actividad química, próximas a las requeridas para la neoformación de silicatos magnésicos hidratados.

Muy probablemente en el caso específico que estudiamos en este trabajo, la existencia de sepiolita y paligorskita asociada fundamentalmente a carbonatos magnésicos, debe estar relacionado con la existencia de pequeños y variables endorreismos en la cuenca sedimentaria, que recibe aportes considerables de materiales que provienen de

un continente, muy alterado anteriormente. Como consecuencia de diferentes subsidencias en la cuenca, se origina un endorreísmo bien de las aguas superficiales o del nivel freático (endorreísmo secundario) que origina, en determinados momentos del ciclo geológico, una alta concentración de magnesio y sílice, y que indudablemente favorecerían la génesis de estos silicatos magnesianos. Por ello, como ocurre en otras cuencas estudiadas por nosotros, Tajo y Mancha, los materiales fibrosos se encuentran muy esparcidos por gran parte de la cuenca, pero sin una gran continuidad, tanto en dirección como lateral.

## BIBLIOGRAFIA

BARAHONA, E.: *Arcillas de Ladvilleria de la provincia de Granada*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, número 49B-1977 (1974).

GALÁN, E.; BRELL, J. M.; LA IGLESIA, A., y ROBERTSON, R. R. S.: *The Caceres palygorskite deposit (Spain)*. Proceedings

Int. Clay Conf. (1975). 81-94. Applied Publishing Illinois (USA) (1975).

HUERTAS, F.; LINARES, J., y MARTÍN VIVALDI, J.-L.: *Minerales fibrosos de la arcilla en cuencas sedimentarias españolas. I. Cuenca del Tajo*. Bol. Geol. y Min., 88, 401-416 (1971).

ISPHORDING, W. C.: *Discussion of the occurrence and origin of sedimentary palygorskite-sepiolite deposits*. Clays Clay Minerals, 21, 391-401 (1973).

LA IGLESIA: *Síntesis de la sepiolita a temperatura ambiente por precipitación homogénea*. Bol. Geol. y Min., LXXXIX-III, 258-265 (1978).

MARTÍN POZAS, J. M.: *Análisis cuantitativo de fases cristalinas por DRX (76-98) de difracción por muestras policristalinas*. ICE, Univ. Valladolid (1977).

SIFFERT, B., y WEY, R.: *C. R. Acad. Sciences*, 12 febrero, 1460-1462 (1962).

TRAUTH, N.: *Argiles évaporitiques dans le sédimentation carbonatée continentale et épicontinentale tertiaire*. Mémoires Serv. Geol., Alsace-Lorraine, 49 (1977).

WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. T., y BRIAKERO, P.: *Experimental precipitation and genesis of sepiolite at earth-surface conditions*. Am. Min., 53, 1645-1661 (1968).

Recibido: Enero de 1982.

## Las mineralizaciones de cobre en ríos arenosos de baja sinuosidad (Triásico al N de la provincia de Jaén. España)

Por J. FERNANDEZ (\*) y L. C. PEREZ GARCIA (\*\*)

## RESUMEN

Se estudia una serie triásica representativa para el sector Arquillos-Santisteban del Puerto. En ella se diferencian las distintas facies sedimentarias presentes y se establece el ambiente sedimentario general: sistema fluvial de baja sinuosidad probablemente de tipo trenzado (*braided*).

Se hace un estudio detallado de la mina El Ahondillo y sus alrededores, tendente a establecer el marco sedimentológico y la distribución de las mineralizaciones de cobre con posible interés económico. Dichas mineralizaciones se encuentran asociadas a materiales finos (arenas finas y limos) con estructuras de pequeña escala, depositadas dentro del subambiente general de canal (capas potentes de areniscas), en unas condiciones muy precisas: canales secundarios inactivos en épocas de decrecimiento de flujo o zonas protegidas delante de barras donde el asentamiento de restos vegetales y materia orgánica es posible.

La mineralización está genéticamente ligada a materia orgánica contenida en capas permeables (facies de canal), limitadas a base por materiales impermeables (facies de llanura de inundación) y conectadas hidrogeológicamente con las fuentes de cobre (continente o fractura). Así, la mineralización tiene un control sedimentario y diagenético: el azufre, procedente de las evaporitas superiores, y el cobre en disolución precipitan como sulfuro de cobre sustituyendo a la materia orgánica, previamente acumulada en las condiciones ya expuestas. Posteriormente los sulfuros son oxidados a carbonatos de cobre.

Finalmente, se señala la necesidad de estudios sedimentológicos de detalle en la exploración de mineralizaciones que como éstas tienen un control sedimentario.

## ABSTRACT

A triassic serie representative for the Arquillos-Santisteban area is studied. The different sedimentary facies are distinguished and their general sedimentary environment is established: low sinuosity fluvial system, probably of braided type.

A detailed study of the Ahondillo mine and surroundings is made in order to establish the sedimentologic model and the distribution of copper ores of economic interest. The mineralizations are associated to fine materials (fine sands and silts), showing small scale structures, that were deposited in a general channel subenvironment (thick layers of sandstones) in very precise conditions: inactive secondary channel during decreasing flow epochs or protected zones in front of bars where the settling of vegetal or organic debris was possible.

The mineralization is genetically connected to permeable layers (channel facies) bearing organic matter, which are lying on impermeable materials (flood plain facies), and it is hidrologically related with the copper sources (continent or fracture). Thus the mineralization is sedimentarily and diagenetically controlled: both the sulphur, coming from the upper evaporites, and the copper (in solution) precipitate as copper sulphide replacing the organic matter that was previously accumulated in the conditions already mentioned. Later on these sulphides were oxidated to copper carbonates.

Finally the need of detailed sedimentologic surveys in exploration for these sedimentarily controlled mineralizations is pointed out.

(\*) Departamento de Estratigrafía. Universidad de Granada.

(\*\*) Departamento de Exploración Minera. Río Tinto Minera, S. A.

INTRODUCCION

En los últimos años se ha producido un avance muy importante en el estudio de ríos arenosos de baja sinuosidad y en el momento actual se dispone de bastante información sobre aspectos tales como rasgos morfológicos del lecho, mecanismos de transporte y sedimentación, dinámica de corrientes, facies y secuencias de facies, y se intenta establecer un modelo con valor general (CANT y WALKER, 1979) como existe para el caso de ríos meandriformes (ALLEN, 1964 y 1970).

Similarmente son muchos los trabajos existentes, sobre mineralizaciones de cobre, en la literatura especializada, sin embargo, son menos frecuentes los estudios de mineralizaciones de cobre con control sedimentario, realizados con un enfoque sedimentológico actual. Así pues, el objetivo de este trabajo es explicar el origen y localización de las mineralizaciones encontradas, en el marco general de unos ríos arenosos de baja sinuosidad. El estudio se ha realizado en las capas rojas triásicas, que afloran extensamente en el borde sureste de la Meseta, y más concretamente en el sector Arquillos-Santisteban del Puerto, de modo especial en la mina de El Ahondillo situada junto al pueblo de Navas de San Juan (fig. 1). Estos materiales, que han sido ampliamente estudiados por uno de nosotros (FERNÁNDEZ, 1977), reposan discordantemente sobre materiales del Paleozoico y han sido fosilizados por rocas carbonatadas de edad Jurásico y en algunos puntos por los depósitos del Mioceno. La serie estratigráfica que se incluye (figura 2) ha sido levantada al SO de Santisteban del Puerto y puede considerarse como representativa del sector comprendido entre dicho pueblo y el de Navas de San Juan. Consiste en una alternancia de arcillas y areniscas con algunos niveles carbonatados y, localmente, existen episodios de conglomerados en la base de la serie.

AMBIENTE SEDIMENTARIO

En trabajos previos (FERNÁNDEZ, 1977) y más recientemente (FERNÁNDEZ y DABRIO, 1980; DABRIO y FERNÁNDEZ, 1980), se analizan, tanto las facies sedimentarias y sus secuencias, presentes en el conjunto de la región donde afloran estos materiales, como el medio sedimentario. Estas mismas consideraciones se pueden hacer para el sector que nos ocupa (Santisteban del Puerto-Navas de San

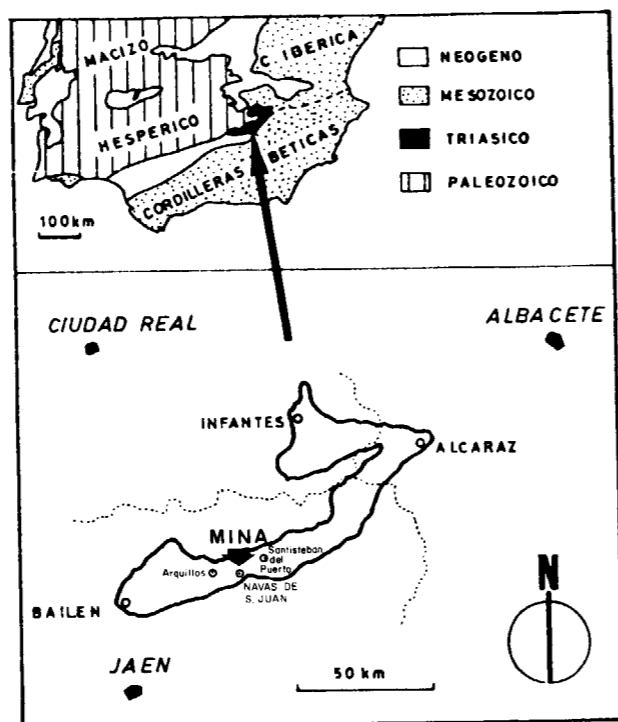


Figura 1.—Esquema de situación geográfica y geológica. Con una flecha se indica la situación de la mina de «El Ahondillo», ligeramente al norte del pueblo de Navas de San Juan.

Juan). Se pueden diferenciar distintas facies sedimentarias (fig. 2), referidas a distintos subambientes dentro del marco general de un ambiente fluvial de tipo «braided».

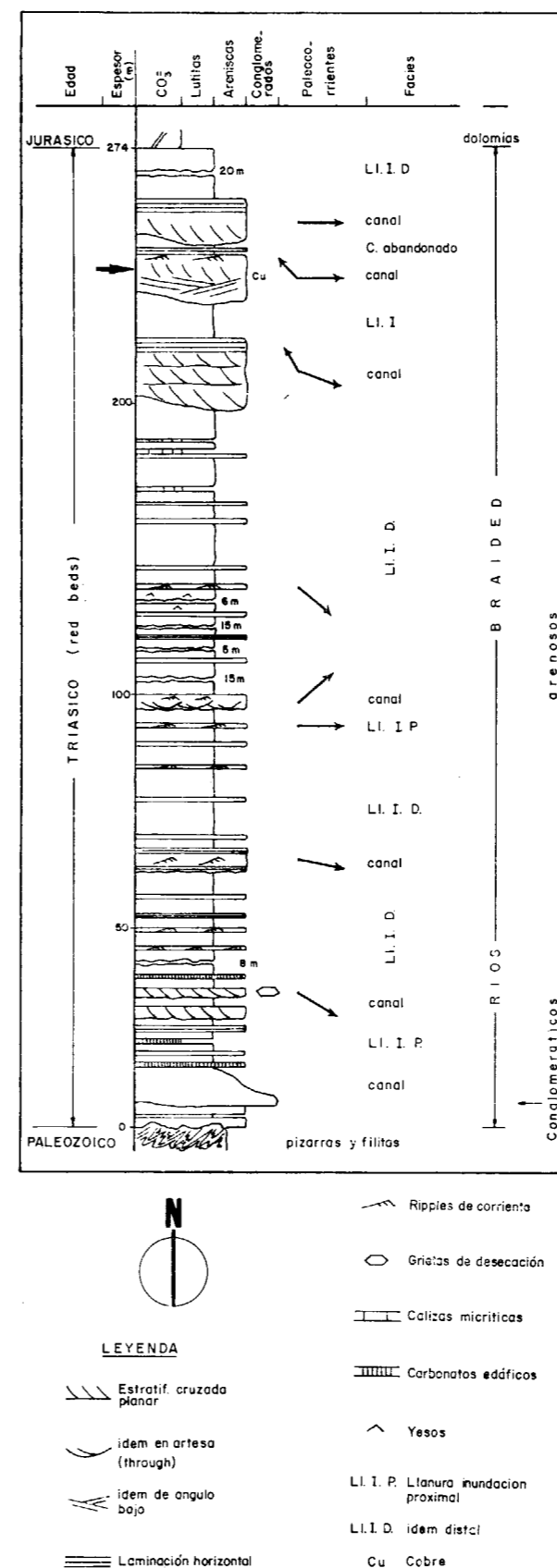
Facies de canal

Dentro de los materiales depositados en canales, por mecanismos de transportes y depósito propios de este subambiente, se diferencian dos tipos litológicos:

1) *Conglomerados*.—En la base y en posición discordante sobre filitas y pizarras del Paleozoico se encuentra un paquete de conglomerados, constituidos por cantos de cuarcita y matriz, aunque escasa, fundamentalmente arcillosa.

Localmente incluye niveles de limos y arenas muy compactas que contienen carbonatos y óxidos de hierro principalmente.

Los conglomerados son casi siempre masivos y



localmente presentan imbricación y se organizan en secuencias granodecrecientes. Podrían corresponder a facies Gm, y los niveles de arenas y limos a facies Fl, en el sentido de MIALL (1978) y RUST (1978), habiendo sufrido estas últimas, al menos en algunos puntos, procesos edáficos que han favorecido la concentración de carbonatos y óxidos de hierro.

En conjunto puede corresponder a un depósito de ríos trenzados conglomeráticos (*pebbly braided rivers*), correspondiendo los conglomerados con facies Gm a barras longitudinales y los niveles más finos a un depósito fuera de los canales activos o en estos, pero coincidiendo con una fase de decrecimiento del flujo.

2) *Areniscas*.—Las facies de canal en areniscas están representadas por bancos de espesor variable entre 2 y 20 m. La estructura interna dominante es estratificación cruzada de gran escala, seguida de laminación paralela y laminación cruzada (*cross-lamination*). En general la estratificación cruzada es más abundante hacia el muro y la laminación paralela hacia el techo, mientras la laminación cruzada puede encontrarse en posiciones variables.

Son frecuentes las cicatrices erosivas internas. Estas representan, en unos casos, la morfología cambiante del fondo del canal durante etapas de crecida y se asocian a estructuras sedimentarias de alta energía; en otros casos están jalonadas por depósitos limosos, arcillosos e incluso paleosuelos, que limitan secuencias positivas de energía decreciente a techo, puestas de manifiesto por las estructuras sedimentarias y, a veces, por la granulometría de los sedimentos. La existencia de tales cicatrices refleja la alternancia de épocas de flujo normal y crecida, marcadas por depósitos, y épocas de estiaje, con dominio de erosión y encajamiento del canal en los propios sedimentos. La morfología de estos bancos es tabular y su estructura interna indica que el transporte y depósito se realizó en el sentido de la corriente. Teniendo en cuenta las características esbozadas

Figura 2.—Serie estratigráfica representativa para el sector Arquillos-Santisteban del Puerto, dentro del cual se localiza la zona de interés minero. Se marca con una flecha el horizonte «portador» de la mineralización; también, para el conjunto de la serie triásica, se indican las diferentes facies sedimentarias presentes y sus características más importantes.

para estos bancos, se interpretan como depositados por cauces inestables de ríos estacionales de baja sinuosidad (FERNÁNDEZ, 1977).

**Facies de llanura de inundación**

Atendiendo a criterios litológicos, espesor de estratos y estructuras de ordenamiento interno, se pueden diferenciar dos subtipos, uno proximal y otro distal respecto a los canales, que reflejan procesos sedimentarios diferentes.

1) *Facies de llanura de inundación proximal.*— Están representadas por una alternancia de bancos de areniscas y arcillas, entre los cuales se intercalan algunos horizontes carbonatados. El espesor de los bancos de areniscas (de unos dm. a 1 m.) disminuye al alejarnos del canal y su estructura interna refleja flujos episódicos que se desaceleran rápidamente en el mismo sentido. Esto es estratificación cruzada o laminación paralela en las partes más próximas al canal, que pasa a estructuras de pequeña escala tanto hacia el techo, como al alejarse del canal; por consiguiente en estos bancos se dan condiciones de energía decreciente tanto en sentido vertical como distal (en relación con el canal). Se interpretan, en algunos casos, como depósitos de *crevase splay*, y más comúnmente en razón de su extensión, como depósitos de *sheet floods*, ambos relacionados con épocas de crecida y desbordamiento de los canales principales.

Las arcillas intercaladas entre las arenas representan el depósito desde la suspensión después de cada inundación, cuando el flujo decrece y la energía se hace mucho menor. La relación arena/arcilla disminuye al alejarnos del canal y es menor en la llanura de inundación distal.

Las capas ricas en carbonatos con una estructura nodular y con óxidos de hierro y manganeso corresponden a caliches fósiles comparables a los descritos por ALLEN (1974) y LEEDER (1975) en regiones semiáridas actuales. Su presencia puede extenderse hasta la llanura de inundación distal.

2) *Facies de llanura de inundación distal.*—Las facies de llanura de inundación distal están representadas por arcillas con algunas pasadas de arenas finas y/o limos y también algunos niveles (15-25 cm.) de calizas micríticas.

El proceso sedimentario dominante es el depósito de la fracción fina transportada en suspensión en condiciones de energía muy baja, después de las inundaciones.

Las calizas micríticas con laminación fina horizontal, textura fenestral y, a veces, mallas de algas y grietas de desecación, se interpretan de acuerdo con FRIEND y MOODY-STUART (1970) como depósitos en lagos efímeros en la llanura de inundación (*flood plane lake*). En estas áreas podría depositarse, también, eventualmente yeso.

**Modelo sedimentario**

Sobre los relieves paleozoicos se instala un sistema fluvial conglomerático a favor del cual se depositan gravas y conglomerados, probablemente, correspondientes a barras longitudinales de ríos trezados y finos (arenas, limos) fuera de los canales activos o en ellos durante las etapas de caída del flujo.

Sobre estos materiales se instala un sistema fluvial arenoso que es responsable del depósito de la casi totalidad de la serie triásica, en la cual hemos diferenciado varios grupos de facies (canal, llanura de inundación proximal y llanura de inundación distal) correspondientes a distintos subambientes y cuyas características hemos esbozado anteriormente.

En suma se trata de un sistema fluvial de baja sinuosidad de tipo estacional y con características más próximas a los ríos trezados (*braided*), en el cual los canales principales, se mueven en el tiempo a través de la llanura de inundación generando distintos tipos de secuencias.

**MINERALIZACION EN NAVAS DE SAN JUAN**

Desde el punto de vista sedimentario las mineralizaciones de cobre en Navas de San Juan se sitúan en bancos de areniscas potentes interpretados como facies de canal (fig. 2). En estos bancos se han encontrado indicios en numerosos puntos y en ellos se sitúan las únicas labores antiguas que se conocen en la zona, de entre las que destaca la mina de El Ahondillo y otras cuantas boca-

minas encontradas en el mismo nivel entre la mina y la carretera de Nava de San Juan a Santesteban del Puerto. También algunos indicios de malaquita y azurita sin interés económico se han encontrado en facies de llanura de inundación.

Centraremos, ahora, nuestra discusión en las mineralizaciones en los bancos de areniscas potentes, para la cual nos apoyaremos en las observaciones realizadas en la mina de El Ahondillo.

**Marco sedimentológico de la mineralización**

La galería principal tiene una orientación O-E y en ella se pueden diferenciar dos conjuntos litológicos diferentes y con distinto significado sedimentológico.

El esquema de la figura 3 resume las características, en lo que se refiere a estructura interna, que se pueden observar en la galería principal.

En la entrada de la galería (primeros 100 m.) encontramos un conjunto (A en la fig. 3 y fig. 4) de arenas blancas con estratificación cruzada de gran escala en *sets* tabulares de unos 40 cm. de

espesor y con frecuentes acumulaciones de arcilla en las superficies *intersets* y en el frente de la unidad. En detalle, como puede observarse en la figura 4, el conjunto de arenas blancas está constituido por unidades más pequeñas, cada una de las cuales representa una secuencia positiva de energía decreciente a techo, puesta de manifiesto por el tamaño de grano y el tipo de estructura. Los datos de paleocorrientes deducidos en esta parte de la galería muestran un cierto grado de dispersión con un valor medio que puede situarse en torno a N 110-120 E.

El segundo conjunto litológico (B en la fig. 3) se extiende hasta el final de la galería (aproximadamente 200 m.) y está constituido por arenas rojas, cuyo tamaño de grano corresponde a arena media/gruesa. La estructura interna (fig. 3) corresponde a grandes *sets* (1 m. de espesor) de estratificación cruzada con laminación cruzada en el frente de los grandes *foreset*, asociada a la migración de *ripples* pequeños, algunos de los cuales pudieron migrar perpendicularmente a los *mega-ripples* y coincidiendo con épocas (de decrecimiento) en que estos eran inactivos. En la épocas de decrecimiento se depositarían, también, ma-

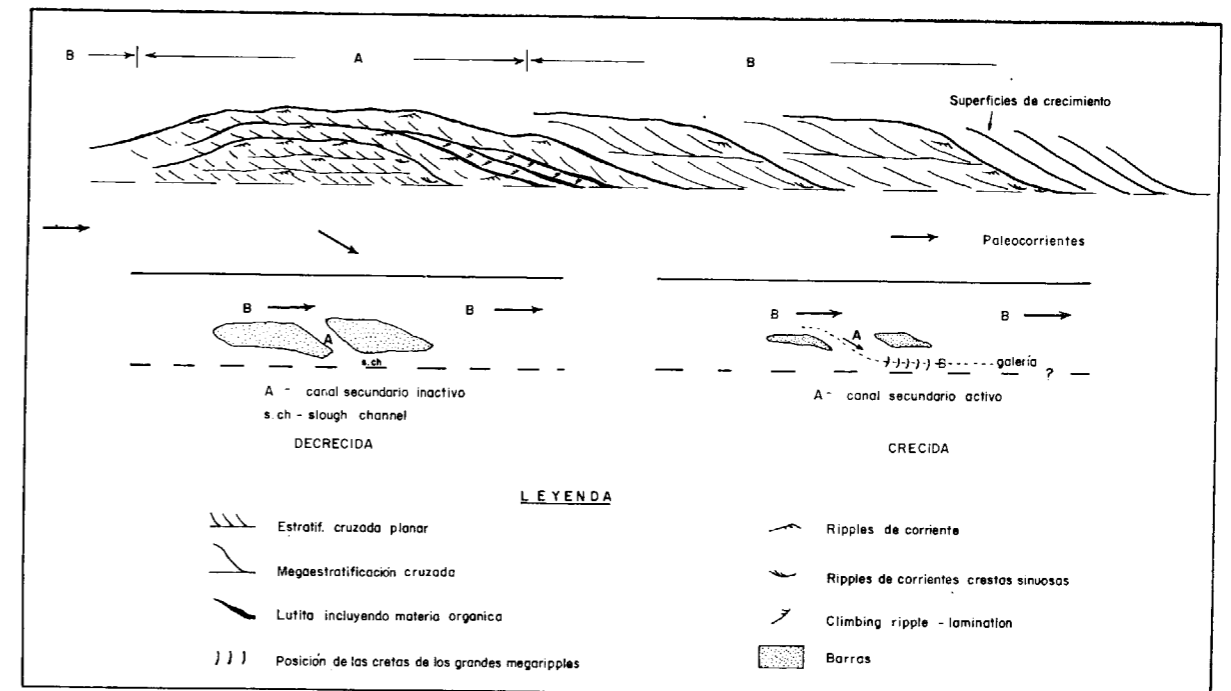


Figura 3.—Principales rasgos sedimentarios observados en la galería principal de la mina de «El Ahondillo» (parte superior) e interpretación sedimentológica de dicha galería (parte inferior).

teriales finos (arcillas) cuya presencia marca las distintas fases de migración de los *megaripples*. Las paleocorrientes obtenidas a partir de la estratificación cruzada de gran escala son bastante constantes (N 90 E).

Desde el punto de vista sedimentológico pensamos que el primer conjunto litológico (arenas blancas) se ha depositado en un canal secundario, oblicuo al canal principal y activo solamente en las épocas de crecida, y conectada a un *slough channel* en su frente. Durante las épocas de descarga elevada, en los canales principales pueden migrar los grandes *megaripples*, mientras que aquí serían activos *megaripples* más pequeños con arenas de tamaño medio. En la caída del flujo en condiciones de baja energía, se depositarían arena fina y limos con estructuras de pequeña escala y arcillas, estas abundantes sobre todo en las partes más deprimidas. Tal vez este canal secundario pueda desarrollar en su frente una zona de agua en calma (*slough channel*) que favore-

cería el asentamiento de materiales finos, restos vegetales y materia orgánica, en estas partes.

El segundo conjunto (arenas rojas) puede representar el depósito en un canal activo en el que en épocas de crecida se desarrollan y migran grandes *megaripples*, que pueden ser parcialmente retrabajados en su frente, durante la etapa de caída, por *ripples* pequeños. También en esta etapa se puede producir el asentamiento de pequeñas cantidades de arcilla.

**Génesis de la mineralización y control sedimentario**

Encontramos minerales de cobre en tres situaciones distintas (fig. 4):

a) Mineralizaciones asociadas a materia orgánica incluida en las capas lutíticas. A veces se trata de gruesos troncos que han sufrido un reem-

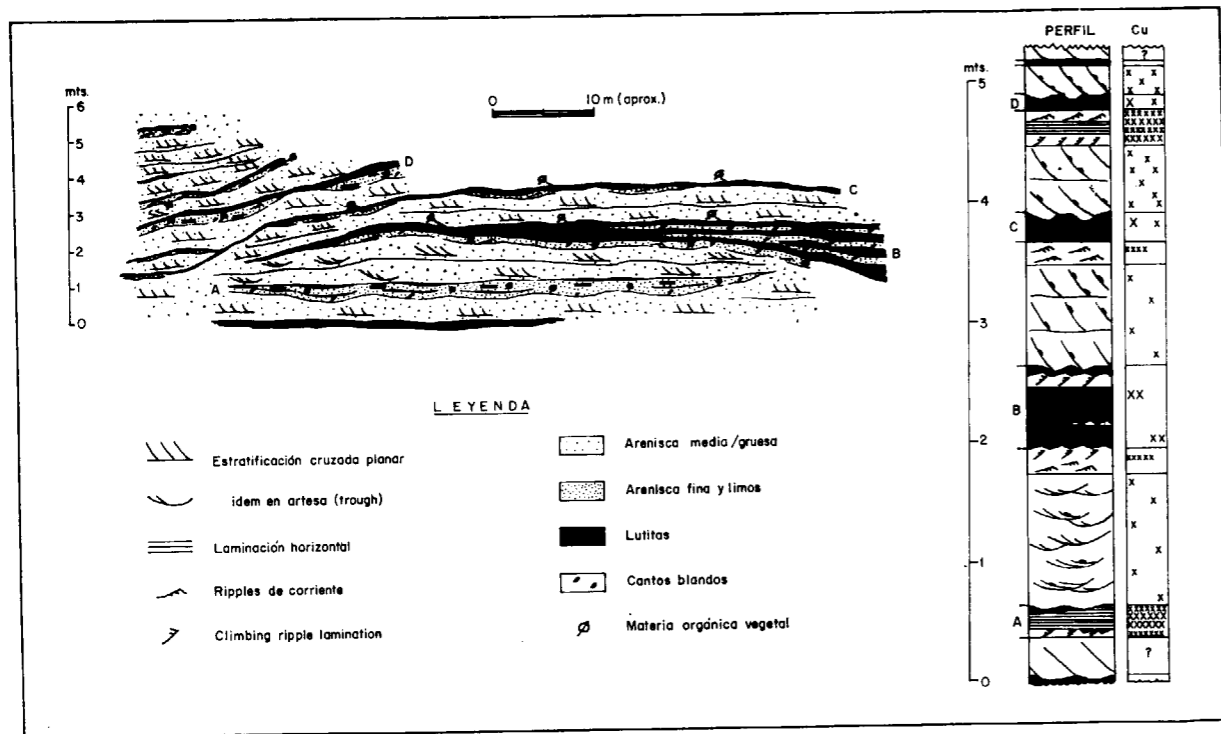


Figura 4.—Esquema longitudinal detallado de la entrada de la galería principal (primeros 100 m. aproximadamente) y perfil vertical levantado en la misma. Se puede observar la evolución lateral y vertical de los rasgos de mayor interés (litologías, estructuras sedimentarias y localización de la materia orgánica vegetal) para interpretar la mineralización y su marco sedimentológico. También se marcan los horizontes con mayor concentración de mineral.



plazamiento parcial por carbonatos de cobre (primitivamente por sulfuro). Es de escaso interés económico, ya que estos restos orgánicos están muy alejados unos de otros.

b) Mineralización asociada a los niveles de arena fina situados sobre los *megaripples* a techo de cada unidad.

La potencia de estos horizontes es de 0,5 m. como máximo y representan las zonas de interés.

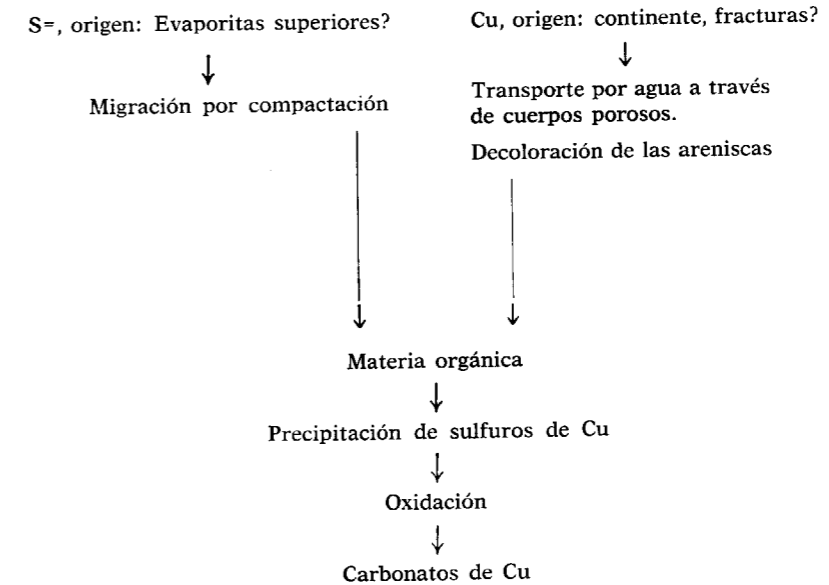
c) Mineralización diseminada en los *sets* de estratificación cruzada. Es de escasa importancia.

La potencia de este tramo portador de mineral es variable, pero puede estimarse en 5 m. de media.

La morfología y extensión de los horizontes mineralizados es variable.

La mineralización, como en todos los ejemplos del mundo de este tipo (WOODWARD et al., 1974; SHOCKEY et al., 1974, y ROSE, 1976), se da asociada a fragmentos vegetales y litologías porosas limitadas por horizontes impermeables que favorecen la circulación lateral del agua. Estas areniscas tienen que estar conectadas hidrogeológicamente a las fuentes de las soluciones de cobre, ya sea el continente o fracturas. El azufre (ROSE, 1976), puede proceder, por migración durante la compactación, de las evaporitas de la parte superior del Triás. Así, en relación con la materia orgánica se produciría la precipitación de sulfuros de cobre y posteriormente por oxidación de éstos se tendrían los carbonatos que observamos en la actualidad.

Esto es:



En la mina de El Ahondillo no hemos encontrado restos de sulfuros de cobre y la cantidad de plata, que en otros yacimientos de este tipo es elevada, aquí es muy baja. Cobalto y vanadio están dentro del fondo geoquímico regional.

Se desprende de todo lo anterior la importancia del reconocimiento de las diferentes facies fluviales para situar la mineralización en las facies más favorables y una vez establecido el control sedimentario y diagenético buscar con estos criterios

a escala regional un lugar donde la facies «portadora» puede alcanzar un desarrollo espacial lo suficientemente grande para que una mineralización de este tipo, de baja ley, pueda ser atractiva.

**CONCLUSIONES**

En el Triás del borde sureste de la Meseta existen indicios de mineralizaciones de cobre en numerosos puntos, tanto en las facies de canal

como en las de llanura de inundación. De entre ellos destacan los observados en las proximidades de Navas de San Juan, en la mina de El Ahondillo y los alrededores.

Las mineralizaciones de la zona de Navas de San Juan se encuentran en bancos de areniscas potentes (facies de canal en sentido amplio) y un estudio detallado de la galería principal de la mina de El Ahondillo, permite hacer algunas precisiones de tipo sedimentológico:

a) La primera parte (entrada de la galería) corresponde al depósito en un canal secundario oblicuo al canal principal, activo solamente en las épocas de crecida. Aquí, durante las épocas de caída del flujo, en condiciones de baja energía, se depositan las fracciones más finas con estructuras de pequeña escala, así como restos vegetales y materia orgánica, y estos son los niveles de máximo interés desde el punto de vista económico.

b) El resto de los materiales que aflora en la galería corresponde a un depósito de arenas en un canal activo con desarrollo de grandes *megaripples* en las épocas de crecida y asentamiento de fracciones más finas con estructuras de pequeña escala durante las épocas de caída del flujo. Este segundo conjunto de arenas carece de interés económico.

La mineralización se da asociada a restos vegetales y materia orgánica en general incluidos en litologías porosas limitadas a base por horizontes impermeables (facies de llanura de inundación) que favorecen la circulación lateral del agua. Por otra parte, las capas permeables (areniscas) deben estar conectadas hidrogeológicamente a las fuentes de las soluciones de cobre, ya sea el continente o alguna fractura. El azufre puede proceder por migración durante la compactación de las evaporitas del techo del Triás. De este modo, en relación con la materia orgánica se daría en primer lugar precipitación de sulfuros de cobre y más tarde por oxidación se tendrían los carbonatos de cobre.

Por último, queremos indicar la importancia que en la prospección de metales pueden tener estudios sedimentológicos de detalle, pues como hemos visto en el ejemplo de Navas de San Juan la mineralización la encontramos dentro de las facies de canal en unas condiciones muy precisas: canales secundarios inactivos en épocas de decrecimiento de flujo o zonas protegidas delante de las barras

donde el asentamiento de restos vegetales y materia orgánica es más fácil y son éstas las condiciones que el protector ha de buscar, y esto fundamentalmente a través de un estudio geológico de superficie.

#### BIBLIOGRAFIA

- ALLEN, J. R. L.: *Studies in fluvial sedimentation: Six cyclothems from the Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh Basin*. Sedimentology, 3: 163-198 (1964).
- ALLEN, J. R. L.: *A quantitative model of grain size and sedimentary structures in lateral deposits*. Geol. J., 7: 129-146 (1970).
- ALLEN, J. R. L.: *Studies in fluvial sedimentation: implications of pedogenic carbonate units, Lower Old Red Sandstone, Anglo-Welsh-outcrop*. Geol. J., 9: 181-208 (1974).
- CANT, D. J., y WALKER, R. G.: *Fluvial processes and facies sequences in the sandy braided South Saskatchewan River, Canada*. Sedimentology, 25: 625-648 (1978).
- DABRIO, C. J., y FERNÁNDEZ, J.: *Secuencias producidas por la migración de ríos arenosos de baja sinuosidad*. Estudios Geológicos, 36: 371-381 (1980).
- FERNÁNDEZ, J.: *La sedimentación triásica en el borde sureste de la Meseta*. Tesis. Publicaciones Univ. Granada, 173 pp. (1977).
- FERNÁNDEZ, J., y DABRIO, C. J.: *Facies y secuencias en sedimentos fluviales triásicos*. Abstract. Vol. de Resúmenes del IX Congreso Nacional de Sedimentología. Publicaciones Univ. Salamanca (1980).
- FRIEND, P. F., y MOODY-STUART, M.: *Carbonate deposition on the river, floodplain of the Wood Bay Formation (Devonian) of Spitsbergen*. Geol. Mag., 107: 181-195 (1970).
- LEEDER, M. R.: *Pedogenic carbonate and flood sediment accretion rates: a quantitative model for alluvial, arid-zone lithofacies*. Geol. Mag., 112: 257-270 (1975).
- MIALL, A. D.: *Lithofacies types and vertical profiles models in braided river deposits: A summary*, in A. D. MIALL, ed.; *Fluvial sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., 5: 597-604 (1978).
- ROSE, A. W.: *The effect of cuprous chloride complexes in the origin of Red-Beds. Copper and related deposits*. Economic Geol., 71: 1036-1048 (1976).
- RUST, B. R.: *A classification of alluvial channel system*, in A. D. MIALL, ed.; *Fluvial sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem., 5: 187-198 (1978).
- SHOCKEY, P. N., et al.: *Copper-silver solution fronts at Paoli, Oklahoma*. Economic Geol., 69: 266-268 (1974).
- WOODWARD, L. A., et al.: *Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico*. Economic Geol., 69: 108-120 (1974).

Recibido: Febrero 1982.

## Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. II - Relación entre la composición química de las aguas subterráneas y las características litoestructurales de la zona.

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

#### RESUMEN

Se estudia el origen de la composición de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia, tomando muestras en 53 puntos escogidos como más representativos de la zona. Los resultados permiten dibujar el perfil de los iones estudiados ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) que dividen la provincia en zonas de diferentes concentraciones. Hay buena correlación entre composición de las aguas subterráneas y los caracteres geomorfológicos, litológicos y estructurales de la provincia.

Se presenta coincidencia notable entre las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$ . Destaca la riqueza en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  de las aguas en buena relación con los constituyentes del Jurásico y Cretácico regional.

#### ABSTRACT

The origin of the underground waters composition of the province of Valencia (Spain) has been studied. Samples has been taken from 53 points chosen as representative of the area. The results obtained have allowed us to draw the profiles of the ions that have been studied ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ). There is a close correlation between the composition of the underground waters and the geomorphological, litological and structural characteristics of the province.

The correlations of  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  are always related. It is outstanding the high concentrations in  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  and  $\text{HCO}_3^-$ . This is in good agreement with the Jurassic and Cretaceous materials of the area.

#### INTRODUCCION

De acuerdo al estudio comenzado en un trabajo anterior (8), el presente pretende relacionar la composición química de las aguas subterráneas de la provincia de Valencia con sus características litoestructurales, al objeto de conocer el origen de la mineralización de las aguas subterráneas. A este respecto, son de interés los trabajos sobre la descripción del marco geográfico y geológico, este último respecto de las unidades cronoestratigráficas y litológicas de la provincia de Valencia, que han efectuado CORTÁZAR y PATO (1), GARCÍA ABBAD (4), ROBLES, F., y col. (7), VIALARD (11), MARTEL (5-6), DUPUY DE LOME y SÁNCHEZ LOZANO (2) y DUPUY DE LOME y TRIGUEROS MOLINA (3).

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

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

#### 2. PARTE EXPERIMENTAL

##### 2.1. Toma de muestra

Según lo descrito en la parte I de este trabajo (8). La tabla I recoge el resumen de datos y notación de cada punto de toma de muestra. La figura 1 indica su situación geográfica.

##### 2.2. Análisis químicos

###### 2.2.1. Aniones

— Cloruros, se determinaron según el método de MOHR (9).

— Sulfatos, determinados gravimétricamente, precipitando con  $\text{BaCl}_2$ .

— Bicarbonatos, por valoración con  $\text{HCl}$  0,1 N.

— Nitratos, según el método colorimétrico del ácido fenol 2-4 disulfónico en medio amoniacal fuerte (10).

TABLA I

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

## 2.2.2. Cationes

— Calcio y magnesio, se investigaron directamente con un espectrofotómetro de A. A. PERKIN-ELMER, modelo 306.

— Sodio y potasio, se analizaron con el mismo aparato por espectrofotometría de emisión.

## 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de los análisis de las muestras estudiadas, tanto de aniones como de cationes, así como la suma de los mismos se recogen en la tabla II.

## LOCALIZACIONES

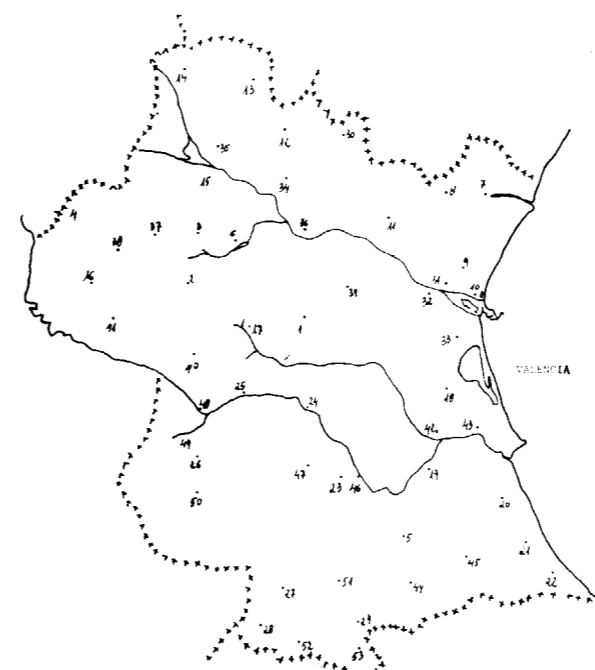


Figura 1

## 3.1. Aniones

## Ión cloruro

Atendiendo a la concentración en  $Cl^-$  de las aguas analizadas se han considerado, para su representación gráfica (figura 1), tres categorías:

- Aguas con un contenido inferior a 1 meq/litro.
- Aguas con un contenido entre 1 meq. y 3 meq. por litro.
- Aguas muy cloradas, con un contenido superior a 3 meq/litro.

Las zonas de máxima concentración coinciden casi por completo con la distribución de valores de los iones de sodio y potasio, lo que confirma el origen triásico de estas sustancias contenidas en las aguas subterráneas de la región. Los máximos indicados corresponden a los núcleos de Ayora, Fuente la Higuera y Fontanares, como asimismo Moncada y Sueca. Existen máximos secundarios que coinciden con las muestras tomadas en Venta del Moro-Los Isidros, Tuéjar, Mijares y Játiva-Oliva. El cloruro disuelto puede tener dos procedencias, considerando las litofacies mesozoicas y cenozoicas valencianas: la mayor parte

debe provenir de la disolución de la halita, silvina y carnalita, que se encuentran en las series evaporíticas del Triásico Superior (facies Keuper) continental. Estas sales no suelen formar concentraciones, pero son relativamente abundantes dispersas entre el yeso y se explotan comercialmente en algunas salinas, que precisamente evaporan las aguas subterráneas de alto contenido en estos iones.

Un origen secundario, y cauntitativamente poco importante corresponde a las evaporitas depositadas en lentejones dentro de las series detríticas del Mioceno Superior terminal, especialmente en la llanura de Requena-Venta del Moro. Analizando por separado los distintos núcleos de máxima concentración, el origen triásico del cloruro disuelto, es evidente en la región de Fuente la Higuera-Fontanares, que coincide con una línea de fractura a lo largo de la cual se inyecta el Keuper diapírico. También son abundantes los fenómenos intrusivos diapíricos en la zona de Játiva-Oliva, Mijares y Tuéjar. El máximo de Ayora aparece siguiendo la alineación de la falla Cofrentes-Almansa, dentro del arco tectónico Teruel-Almansa. La alta concentración en sales de las aguas de esta localidad indica la existencia de una fractura profunda a favor de la cual se produce la surgencia, atravesando un potente espesor de arcillas salíferas triásicas. El núcleo secundario de los Isidros coincide, en parte, con un afloramiento del Keuper, pero está muy próximo también de los yesos miocénicos citados, que pueden proporcionar parte del cloro. Por último, la alta concentración que se observa entre Valencia y Sueca hay que justificarla, como para los restantes iones, en la procedencia lejana del manto acuífero que se explota en la llanura litoral valenciana, de forma que la salinidad debe adquirirse, en su mayor parte, por disolución de los yacimientos triásicos de las estribaciones orientales de la cordillera Ibérica Meridional, sin que se deba descartar la existencia de afloramientos diapíricos bajo los materiales cuaternarios de la plana litoral.

## Ión sulfato

Las concentraciones de sulfatos en las aguas de la provincia de Valencia varían considerablemente de unos puntos a otros, en función del carácter litológico del terreno. Por ello, hemos establecido cuatro categorías para su representación



TABLA

Situación	ANIONES				
	Cloruros meq/l.	Sulfatos meq/l.	Carbonatos meq/l.	Bicarbonatos meq/l.	Nitratos meq/l.
Buñol ... ..	0,64	2,82	0,00	5,27	0,15
Requena ... ..	0,84	1,17	0,00	4,64	0,23
Villar del Olmo ... ..	0,38	1,02	0,00	5,46	0,08
Camporrobles ... ..	0,32	0,39	0,00	4,18	0,71
Játiva ... ..	1,18	0,81	0,41	2,44	0,15
Chera ... ..	0,44	0,38	0,00	2,88	0,23
Gilet ... ..	0,84	1,14	0,00	2,64	0,14
Serra ... ..	0,81	2,05	0,21	3,25	0,06
Moncada ... ..	3,23	4,50	0,00	4,33	0,16
Valencia (Grao) ... ..	3,19	6,33	0,00	4,86	0,26
Liria ... ..	2,47	4,16	0,00	4,02	0,13
Higueruelas ... ..	0,49	0,60	0,10	3,39	0,45
La Yesa ... ..	0,76	0,97	0,00	3,38	0,54
Aras de Alpuente ... ..	0,50	0,62	0,00	3,76	0,20
Benageber ... ..	0,36	0,26	0,00	7,11	0,07
Venta del Moro ... ..	1,00	0,51	0,00	6,14	0,40
Mijares ... ..	1,39	0,82	0,10	4,90	0,42
Almusafes ... ..	2,99	5,74	0,00	3,18	0,91
Carcagente ... ..	4,14	5,74	0,02	3,89	1,05
Tabernes de Valldigna ... ..	0,48	0,60	0,00	3,40	0,18
Villalonga ... ..	0,43	0,28	0,72	2,51	0,04
Oliva ... ..	1,20	2,27	0,10	5,69	1,43
Navarrés ... ..	0,54	0,55	0,62	4,21	0,07
Millares ... ..	0,48	0,43	0,21	3,63	0,60
Cortes de Pallás ... ..	0,48	0,63	0,31	3,75	0,16
Jarafuel ... ..	0,68	3,63	0,21	2,67	0,13
Navalón ... ..	1,63	1,49	0,00	4,98	0,47
Fuente la Higuera ... ..	3,58	0,91	0,62	4,10	0,53
Onteniente ... ..	2,11	6,98	0,41	4,46	0,22
Alcublas ... ..	0,82	1,42	0,21	2,96	0,62
Paterna ... ..	3,39	6,68	0,41	3,80	0,08
Manises ... ..	1,67	1,46	0,41	3,59	0,45
Catarroja ... ..	5,78	8,03	0,00	5,23	3,08
Losa del Obispo ... ..	0,72	0,80	0,00	5,05	0,11
Tuéjar ... ..	1,03	3,05	0,00	3,81	0,10
Gestalgar ... ..	0,40	1,09	0,31	4,36	0,11
Ermida del Remedio ... ..	0,40	0,62	0,10	3,56	0,05
Caudete de las Fuentes ... ..	0,64	1,93	0,00	4,83	0,34
Cheste ... ..	0,96	1,85	0,00	4,90	0,52
Los Pedrones ... ..	0,68	0,70	0,10	3,61	0,56
Los Isidros ... ..	2,75	1,23	0,00	6,42	0,28
Algemesí ... ..	6,13	4,82	0,62	3,90	1,98
Sueca ... ..	5,62	4,80	0,00	4,74	0,22
Montaberner ... ..	1,63	0,97	0,72	5,90	0,16
Sumacárcel ... ..	0,60	0,69	0,10	4,21	0,12
Bicorp ... ..	0,81	0,84	0,21	4,23	0,23
Cofrentes ... ..	0,74	0,60	0,21	3,75	0,68
Jalance ... ..	1,24	1,59	0,31	3,56	0,61
Ayora ... ..	8,39	36,09	0,72	3,59	0,09
Enguera ... ..	0,76	0,77	0,51	4,32	0,12
Fontanares ... ..	3,71	1,76	0,41	4,72	1,43
Bocairente ... ..	1,08	1,45	0,00	5,02	0,38

gráfica) (figura 2), mediante líneas de igual valor. Estas categorías corresponden a:

- Aguas con un contenido inferior a 1 meq. por litro.
- Aguas con un contenido entre 1 meq. y 3 meq. por litro.

— Aguas con un contenido entre 3 meq. y 5 meq. por litro.

— Aguas con un contenido superior a 5 meq. por litro.

La distribución de los núcleos de máximo contenido en sulfatos guarda una estrecha relación

II

Situación	CATIONES							% de Sodio	
	Suma de aniones mg/l.	Calcio meq/l.	Magnesio meq/l.	Sodio meq/l.	Potasio meq/l.	Suma de cationes mg/l.	Suma de cationes meq/l.		
Buñol ... ..	488,9	8,88	5,15	2,83	0,90	0,03	158,8	8,91	10,10
Requena ... ..	382,8	6,88	4,04	1,74	0,85	0,03	124,6	6,69	12,71
Villar del Olmo ... ..	400,7	6,94	5,10	1,29	0,35	0,03	126,7	6,77	5,17
Camporrobles ... ..	329,0	5,60	2,83	2,54	0,40	0,02	96,9	5,79	6,90
Játiva ... ..	250,8	4,99	3,59	1,71	0,78	0,02	81,7	5,04	15,47
Chera ... ..	223,8	3,93	2,45	1,27	0,37	0,02	73,5	4,11	9,00
Gilet ... ..	254,2	4,76	2,02	1,92	0,70	0,05	81,4	4,69	14,92
Serra ... ..	335,5	6,38	3,73	2,21	0,45	0,02	112,3	6,41	7,02
Moncada ... ..	604,7	12,22	5,82	3,02	3,41	0,08	234,1	12,33	27,65
Valencia (Grao) ... ..	729,9	14,64	7,60	3,42	3,47	0,09	276,1	14,58	23,79
Liria ... ..	540,5	10,78	5,93	7,27	2,56	0,05	206,5	10,81	23,68
Higueruelas ... ..	283,7	5,03	3,59	1,08	0,40	0,03	95,0	5,10	7,84
La Yesa ... ..	313,4	5,65	4,05	1,11	0,30	0,17	107,8	5,63	5,33
Aras de Alpuente ... ..	289,2	5,08	3,43	1,57	0,14	0,01	91,1	5,15	2,91
Benageber ... ..	443,0	7,80	6,64	0,72	0,40	0,02	151,2	7,78	5,14
Venta del Moro ... ..	458,8	8,05	5,50	1,61	0,95	0,03	152,2	8,09	11,74
Mijares ... ..	416,9	7,63	5,25	1,62	0,75	0,01	142,2	7,63	9,82
Almusafes ... ..	632,3	12,82	6,40	3,61	2,65	0,13	236,5	12,75	20,47
Carcagente ... ..	725,8	14,84	7,08	4,98	2,59	0,05	262,8	14,70	17,62
Tabernes de Valldigna ... ..	264,0	4,66	3,07	1,37	0,30	0,01	78,8	4,75	6,31
Villalonga ... ..	206,2	3,99	2,30	0,96	0,70	0,01	73,9	3,97	17,63
Oliva ... ..	590,0	10,69	7,94	1,72	1,06	0,05	205,6	10,77	9,48
Navarrés ... ..	325,4	5,99	3,42	2,23	0,20	0,02	100,3	5,97	3,35
Millares ... ..	269,0	5,35	3,02	1,57	0,64	0,01	94,1	5,24	12,21
Cortes de Pallás ... ..	294,6	5,33	2,85	1,96	0,47	0,02	92,1	5,30	9,04
Jarafuel ... ..	375,4	7,12	3,48	3,00	0,60	0,03	120,5	7,11	8,44
Navalón ... ..	465,4	8,67	4,60	3,29	0,61	0,19	154,1	8,69	7,01
Fuente la Higuera ... ..	472,7	9,74	2,22	4,21	3,27	0,03	171,7	9,73	33,61
Onteniente ... ..	708,7	14,18	6,68	5,81	1,61	0,12	244,8	14,22	11,31
Alcublas ... ..	322,5	6,03	3,53	1,83	0,75	0,02	110,6	6,13	12,23
Paterna ... ..	689,9	14,36	7,05	3,75	3,41	0,07	267,3	14,28	23,87
Manises ... ..	388,6	7,58	4,43	2,62	0,38	0,05	130,7	7,48	5,08
Catarroja ... ..	1.101,5	22,12	11,28	6,16	4,57	0,06	406,8	22,07	20,70
Losa del Obispo ... ..	378,7	6,68	4,12	1,94	0,60	0,03	123,7	6,69	8,96
Tuéjar ... ..	422,1	7,99	5,00	1,83	1,20	0,03	150,8	8,06	14,88
Gestalgar ... ..	348,4	6,27	3,88	1,83	0,42	0,02	109,7	6,15	6,83
Ermida del Remedio ... ..	267,0	4,73	2,64	1,98	0,27	0,01	83,3	4,90	5,51
Caudete de las Fuentes ... ..	432,9	7,74	4,52	2,50	0,80	0,03	140,1	7,85	10,19
Cheste ... ..	453,6	8,23	5,52	1,94	0,80	0,10	156,0	8,36	9,56
Los Pedrones ... ..	316,0	5,65	3,84	1,04	0,70	0,01	105,9	5,59	12,52
Los Isidros ... ..	565,5	10,68	4,44	4,66	1,64	0,04	184,8	10,78	15,21
Algemesí ... ..	828,0	17,45	9,64	5,06	2,76	0,06	319,2	17,52	15,75
Sueca ... ..	732,7	15,38	6,03	4,35	4,92	0,09	288,8	15,37	32,05
Montaberner ... ..	474,3	8,78	4,55	3,33	0,95	0,01	153,2	8,84	10,74
Sumacárcel ... ..	321,8	5,71	2,94	2,57	0,35	0,01	98,0	5,87	5,95
Bicorp ... ..	347,0	6,32	3,39	2,33	0,70	0,03	113,2	6,45	10,85
Cofrentes ... ..	331,9	5,98	3,58	1,67	0,76	0,01	109,5	6,02	12,62
Jalance ... ..	384,3	7,31	3,49	2,54	1,34	0,01	131,5	7,38	18,15
Ayora ... ..	2.278,4	48,88	24,15	16,78	7,66	0,32	873,2	48,91	15,66
Enguera ... ..	353,6	6,48	3,15	1,95	0,86	0,01	120,6	6,67	12,89
Fontanares ... ..	605,0	12,03	5,34	2,15	4,62	0,10	242,9	12,21	38,83
Bocairente ... ..	438,0	7,93	4,80	2,12	1,17	0,02	149,3	8,11	14,41

con el de cloruros y es consecuencia de la existencia de una tectónica diapírica que produce el afloramiento de masas del Triás Superior a lo largo de distintas líneas de fractura, regionales o locales. Estos núcleos de máximo contenido corresponden a los alrededores de Ayora, zona de

Onteniente y llanura litoral valenciana entre Paterna y Almusafes. Otras zonas de valores altos, aunque inferiores a las anteriores, se encuentran en Oliva, zona entre Villar de Olmos y Los Isidros y alrededores de Liria.

De acuerdo con el estudio de las litofacies, la

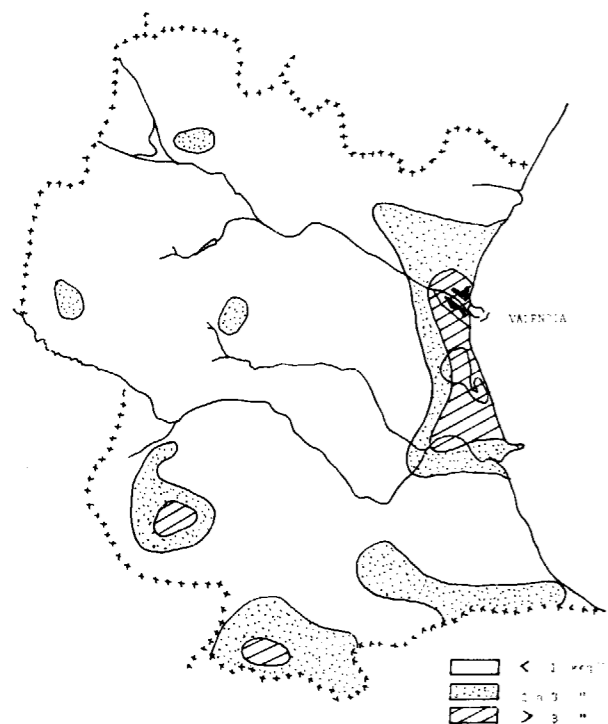


Figura 2

Mapa de isopiezas de la concentración de Cl<sup>-</sup>.

única roca abundante a nivel regional que puede producir, por disolución, altos contenidos en sulfatos es el yeso que aparece concentrado en dos niveles estratigráficos: uno de mayor importancia por su volumen, situado en el Triásico Superior (Keuper de facies germánica, con arcillas yesíferas) y otro de poca importancia en volumen, pero que en lugares concretos puede aportar cantidades considerables de sulfatos a las aguas, que corresponde a los niveles de yesos intercalados en la serie detrítica del Mioceno Superior terminal en la llanura de Utiel-Requena-Venta del Moro.

De la primera procedencia (es decir, originados por disolución de yesos triásicos) son las concentraciones localizadas en Ayora (donde la surgencia se produce a través de una importante fractura que hace aflorar un diapiro de Triás), la de Onteniente, Oliva, Villar de Olmos-Los Isidros, Tuéjar y Liria. En el caso de Los Isidros un aporte secundario puede provenir de los yesos terciarios que afloran sus proximidades. La alta concentración de la zona litoral valenciana debe ser explicada, como en el caso de los restantes iones, por el origen del manto freático que procede de las

sierras situadas al O, cuya base está constituida por sedimentos del Triás Superior, con alto contenido en yesos. De todas formas hay que tener en cuenta que entre Valencia y Almusafes existen algunos afloramientos diapíricos que pueden proporcionar un segundo aporte de sulfatos que explique la altísima concentración, impropia de unos sedimentos fluviales del tipo de los que en la actualidad rellenan la plataforma litoral valenciana.

**Ión bicarbonato**

Las aguas valencianas son en general muy carbonatadas debido a la predominancia de las litofacies calizas y dolomíticas en la región. Atendiendo a las diferentes concentraciones en las distintas muestras, hemos considerado tres categorías para su representación gráfica (figura 4):

- Muestras con menos de 4 meq/litro.
- Muestras entre 4 y 5 meq/litro.
- Muestras con más de 5 meq/litro.

La mayor parte de las muestras quedan comprendidas en la primera categoría. Las aguas con una concentración superior se agrupan en tres nú-

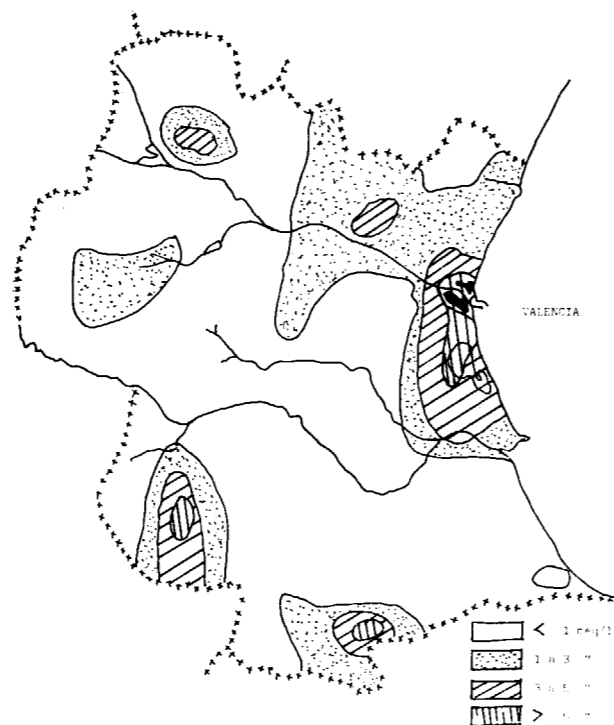


Figura 3

Mapa de isopiezas de la concentración de SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

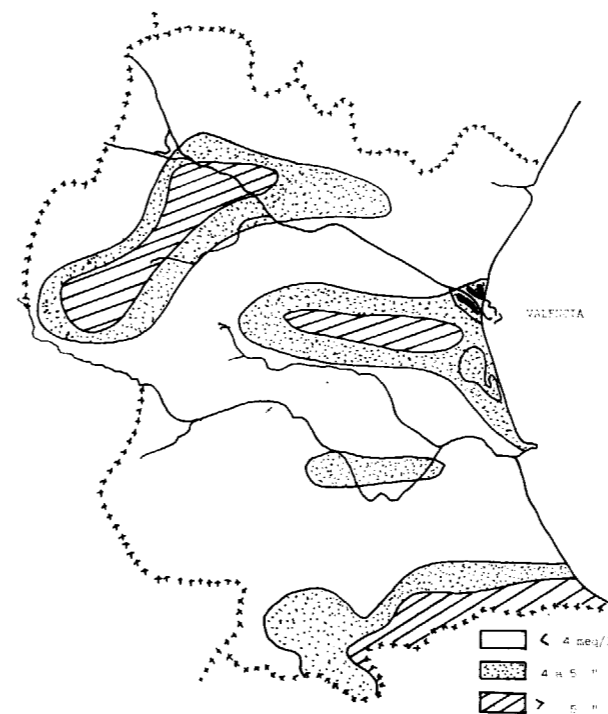


Figura 4

Mapa de isopiezas de la concentración de CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>.

cleos situados en el NO de la provincia (desde Losa del Obispo hasta Los Isidros), en el centro y este de la misma (desde Buñol hasta Catarroja) y en el sur de Valencia (desde Bocairente hasta Oliva).

El origen del ión bicarbonato en las aguas subterráneas valencianas hay que buscarlo en la disolución de los extensos macizos mesozoicos, jurásicos y cretácicos, que cubren la mayor parte de la provincia, disolución que provoca los frecuentes fenómenos de carstificación que abundan en la región.

Aunque, como ya hemos dicho, la concentración es alta en casi todos los pozos y fuentes, existen tres zonas de mayor salinidad que corresponden a mantos acuíferos procedentes de los relieves secundarios. Estos mantos acuíferos se deslizan en dirección a las zonas deprimidas y arrastran aguas muy cargadas en iones bicarbonato en origen, a los que se añaden los disueltos a lo largo de su curso. En las zonas del Valle del río Cabriel (Venta del Moro, Los Isidros), el acuífero aflora en diferentes puntos, originando fuentes, al ser cortado por la pendiente. En la llanura

litoral valenciana se produce otra zona de concentración, cuyo origen se encuentra en las sierras cretácicas y jurásicas de la región de Liria-Mijares. Por último, otro núcleo importante corresponde a la zona situada entre Bocairente y Oliva, donde los valles que siguen la directriz Bética (SO-NE) están flanqueados por relieves del cretácico superior con buenas condiciones para la formación de acuíferos con alto contenido en bicarbonatos, por disolución de caliza y dolomías del Cenomaniense-Senoniense.

**3.2. Cationes**

**Ión cálcico**

La región valenciana queda comprendida en la clásica división litológica de España realizada por E. Hernández-Pacheco, dentro de la «España caliza», caracterizada por el absoluto predominio de los materiales calcáreos sobre los arcillosos y silíceos. Ello debe reflejarse, como es lógico, en la composición de las aguas subterráneas, que se caracterizan por su alto contenido de Ca<sup>2+</sup> y CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup>. En efecto, todas las aguas analizadas poseen un valor de Ca<sup>2+</sup> superior a 2 meq/litro, existiendo un 20 por 100 de muestras que poseen valores por encima de 6 meq/litro. Del conjunto pueden, no obstante, destacarse cinco núcleos de máxima concentración de Ca<sup>2+</sup> correspondientes a las muestras de Benageber, Ayora, Onteniente, Oliva y Paterna-Sueca, señalados en la figura 5.

El origen del Ca<sup>2+</sup> disuelto en las aguas subterráneas puede ser muy diverso, ya que las calizas y dolomías abundan en la mayor parte de los tramos mesozoicos y cenozoicos. Dentro de los primeros, es escaso en el Triásico Inferior (areniscas y arcillas del Bundtsandstein) y en el Superior (arcillas yesíferas del Keuper), si bien los sulfatos de este último pueden proporcionar este ión en abundancia. El Jurásico y Cretácico son calcáreos en todos los tramos, excepto en los materiales detríticos del límite (Purbeck-Weald) y en las facies Utrillas. En el Terciario abundan las calizas tipo páramo y los yesos, e incluso las formaciones detríticas presentan numerosos cantos de caliza y dolomía, al igual que los cuaternarios. Todo ello explica la alta concentración de Ca<sup>2+</sup> en las muestras.

De los cinco núcleos de mayor abundancia indicados, cuatro corresponden a valles en los que

emerge el nivel freático que corresponde a acuíferos que proceden de montañas cretácicas y jurásicas, lo que explica fácilmente esta alta concentración. El otro núcleo, correspondiente a la zona situada entre Paterna y Sueca, corresponde a pozos excavados en el manto aluvial de la llanura valenciana, donde los materiales son arcillas, arenas y cantos, que por sí mismos no pueden justificar esta alta concentración en una región tan extensa. Creemos que la explicación hay que buscarla en el origen del manto acuífero, que se desliza desde las estribaciones de las sierras que rodean por el O la llanura litoral, manto acuífero que alcanza su mínima profundidad en las inmediaciones de la costa.

Hay que suponer que estas aguas vienen cargadas en  $\text{Ca}^{2+}$  desde su mismo origen y es probable que aumente la concentración de este ión por disolución del sustrato calizo de los sedimentos de la llanura prelitoral, que según muestran los escasos asomos mesozoicos existentes (como el de la sierra de Perenchiza) están constituidos por calizas y dolomías.

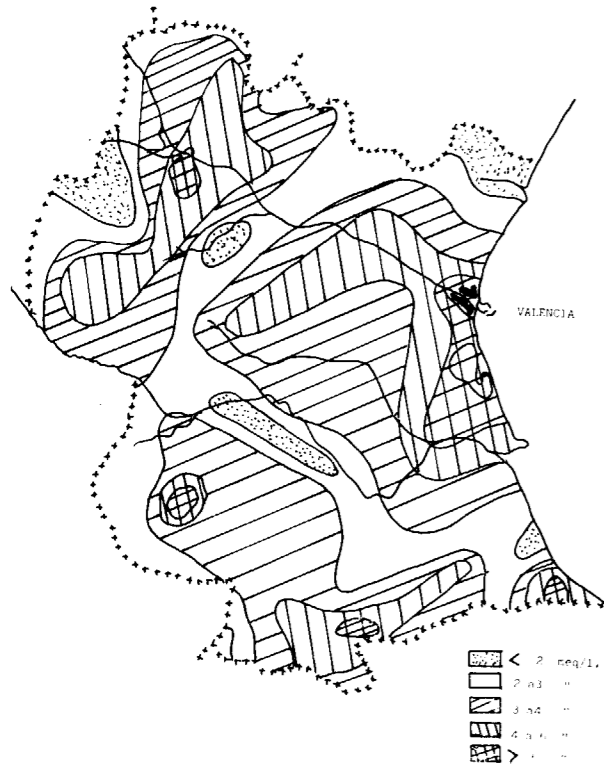


Figura 5

Mapa de isopiezas de la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ .

### Ión magnesio

Las variaciones en contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en las aguas valencianas es importante, estando comprendidas entre menos de 1 meq/litro y más de 10 meq/litro. La moda queda situada entre valores de 1 y 2 meq/litro. La repartición de los porcentajes en las diferentes muestras estudiadas destaca de inmediato la existencia de cuatro núcleos con contenidos superiores a 4 meq/litro, cuyos centros son las localidades de Los Isidros, Ayora, Catarroja-Algemesí-Sueca y Fuente la Higuera-Onteniente (figura 6).

El análisis de las litofacies indica que el magnesio contenido en las aguas de la región debe proceder, en su casi totalidad, de dolomías y calizas dolomíticas. Los niveles estratigráficos donde estas rocas son abundantes corresponden al Triásico Medio (Muschelkalk), muy desarrollado en el NE de la provincia, al Lías Inferior a algunos niveles jurásicos y al Cretácico Superior. Veamos las relaciones entre la distribución de estos materiales y la concentración en  $\text{Mg}^{2+}$  de las distintas muestras.

El máximo, situado en la zona de Fuente la Higuera-Onteniente, es fácil de explicar. Procede, sin lugar a duda, de la disolución de las dolomías del Turoniense-Senoniense, que constituyen la mayor parte de los afloramientos superficiales mesozoicos y que forman el sustrato de los sedimentos miocenos tipo tap. El máximo de Ayora debe tener un origen similar y el magnesio procederá del Cretácico del Macizo de Carach, también dolomítico en sus tramos superiores, lo que explica el también relativamente alto contenido en este ión de las muestras 23, 46 y 47 situadas en el interior del citado macizo. La abundancia de magnesio en los pozos y fuentes de los alrededores de Los Isidros no puede justificarse en relación con la geología superficial, ya que los materiales detríticos terciarios que rellenan esta plataforma son muy pobres en compuestos magnesianos. Las aguas que los contienen deben atravesar, antes de llegar a este punto, los afloramientos cretácicos que constituyen el zócalo del Mioceno Continental, en general dolomítico o pueden proceder de los relieves jurásicos que se levantan al N y NO de la llanura de Requena. En efecto, la estructura y morfología regional permite suponer que el nivel freático que aflora en distintos puntos de la margen izquierda del río Cabriel forma parte del manto acuífero que se desliza desde

estas estribaciones jurásicas hasta la llanura manchega-valenciana. Un origen similar debe tener el núcleo magnesiano de Sueca-Catarroja, ya que si bien los sedimentos cuaternarios de la llanura prelitoral valenciana no pueden justificar concentraciones de más de 6 meq/litro, la procedencia de los mantos acuíferos se encuentra en las sierras de Malacara, del Caballón y de Dos Aguas, todas ellas muy dolomíticas, al igual que los materiales cretácicos subyacentes a estos depósitos cuaternarios.

De los dos máximos secundarios, el de Buñol hay que atribuirlo a la disolución de los sedimentos liásicos, mientras que el de Serra-Liria es debido al aporte de las dolomías del Muschelkalk y del Lías Inferior.

### Ión sodio

La variabilidad de la concentración de sodio en las diferentes aguas es importante, como se ve en la tabla II. A efectos de su interpretación en función de la composición geológica de la zona, hemos

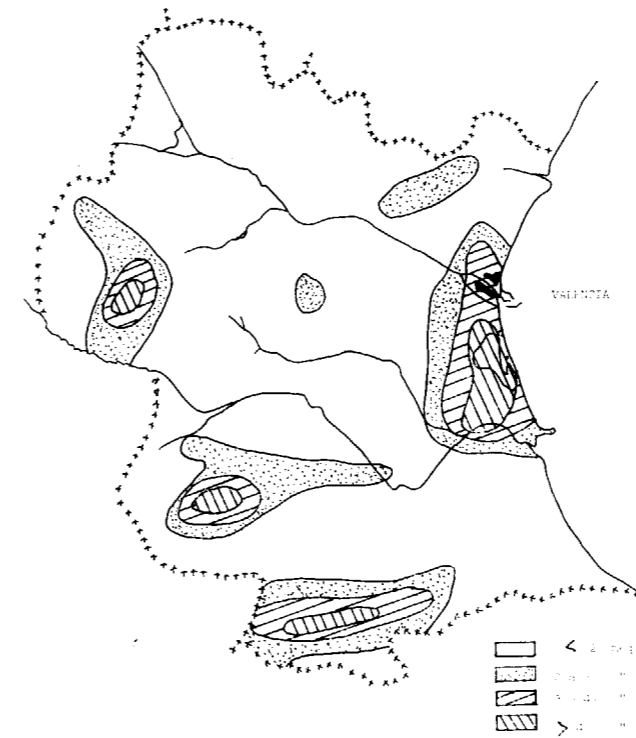


Figura 6

Mapa de isopiezas de la concentración de  $\text{Mg}^{2+}$ .

dividido los diferentes porcentajes en tres categorías: aguas con menos de 1 meq/litro, aguas con 1 a 3 meq/litro y aguas con más de 3 meq/litro.

La distribución de los núcleos de aguas muy cargadas en sodio coincide notablemente con las zonas de alta concentración en cloruros, como era de esperar, y guarda también una importante relación con las zonas de alta concentración en potasio y sulfato. Estas zonas corresponden a las estaciones de toma de muestra núm. 50 (Ayora), 28 y 52 (Fuente la Higuera y Fontaneres) y 9-43 (Moncada-Sueca). Las litofacies que pueden ceder iones sodio al ser disueltas por las aguas subterráneas se reducen en la práctica, en la región de estudio, a las concentraciones de halita que se encuentran en el interior de las masas de marga y arcillas yesíferas del Triásico Superior (Keuper), aunque quizá en pequeño porcentaje puede obtenerse de las evaporitas que aparecen en algunos niveles del Mioceno terminal.

El máximo de Ayora es fácil de explicar teniendo en cuenta las características geológicas de la zona, ya que se trata de un afloramiento triásico que se inyecta, con carácter diapírico, a lo largo de la línea de fractura Cofrentes-Almansa. La alta salinidad de la muestra de esta localidad (especialmente su fuerte contenido en sodio, potasio, calcio y sulfato), indica que las aguas recorren una potente formación triásica y es probable que la surgencia tenga lugar a lo largo de la línea de fractura citada.

En la región de Fuente la Higuera-Higueruelas las condiciones son similares a las indicadas en la zona de Ayora: existe una importante fractura, desgajada de la falla sur valenciana que provoca el cabalgamiento del Cretácico sobre el Mioceno en el Cerro Cupurucho. A lo largo de esta fractura surgen diferentes asomos del Keuper, muy salinos, y existen algunos manantiales muy mineralizados relacionados con aquélla, como el que se explota comercialmente en el Parador del Sol de Fuente la Higuera.

La alta concentración en sodio entre Moncada y Sueca, que contrasta con la naturaleza de las litofacies de la llanura, debe ser explicada en parte en función de las mismas causas que hemos aducido para el elevado porcentaje de calcio y magnesio que también presentan, puesto que el manto acuífero que se explota en la llanura litoral procede de las sierras situadas al O. Sin embargo,

en esta región existen también diversos afloramientos de Keuper diapírico en el substrato del cuaternario continental, que deben aumentar los aportes en sodio de las aguas subterráneas.

Las concentraciones menores de los núcleos de Tuéjar y Los Isidros coinciden igualmente en sendos diapiros.

*Ión potasio*

La concentración en potasio de las aguas valencianas es relativamente baja, con sólo cinco muestras que superan los 0,10 meq/litro. La distribución geográfica de los distintos valores (que hemos dividido en tres categorías: menores de 0,05 meq/litro, entre 0,05 y 0,10 meq/litro, más de 0,10 meq/litro), indica que dicha repartición no se realiza al azar, sino que existen algunos núcleos con una concentración elevada frente a zonas de escaso contenido, mucho más extensas. Estos núcleos corresponden a las muestras de los alrededores de la Yesa, en el NO de la provincia, la localidad de Almusafes en el E y en las zonas de Los Isidros y Navalón-Onteniente en el SE y S, respectivamente.

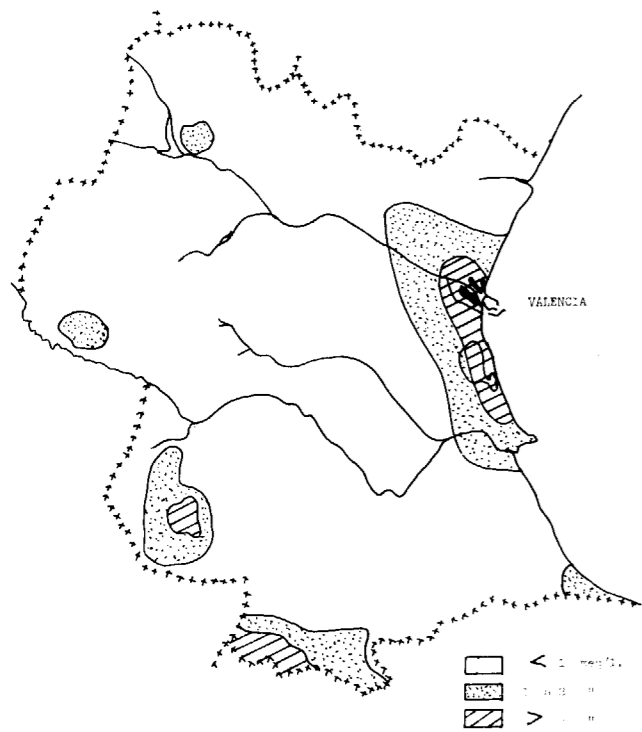


Figura 7

Mapa de isopiezas de la concentración de Na+.

La procedencia del potasio en las aguas de nuestra región debe ser explicada por el mismo origen de la del sodio: por disolución de las evaporitas que se encuentran en las arcillas yesíferas de la facies Keuper del Triásico Superior. En concreto, las rocas que pueden aparecer en estas facies y que pueden ceder potasio son las silvina (cloruro potásico) y la carnalita (cloruro doble de potasio y magnesio). Estas concentraciones son muy escasas, lo que explica el bajo contenido general de las aguas en este ión, y se forman con independencia de las de halita, lo que justifica la no coincidencia de los máximos de ambos cationes.

Si pasamos a examinar los núcleos de máxima concentración citados al principio, los comentarios realizados al analizar los valores de sodio en las aguas valencianas pueden aplicarse perfectamente a las muestras de Los Isidros y de la llanura valenciana. En el primero los afloramientos de Keuper son abundantes y el Triásico Superior constituye el sustrato del Mioceno que recubre la mancha de Valencia en esta zona. En la segunda, hay que buscar una procedencia doble: por una parte una disolución en origen por parte de las aguas subterráneas en las sierras de Malacara-Sierra de Dos Aguas, y del Caballón; por otra un enriquecimiento en potasio a partir de los materiales que yacen por debajo del recubrimiento de la llanura litoral.

La muestra núm. 13 (La Yesa) está tomada en un manantial realizado en el recubrimiento aluvial de la Rambla de Ahillos. Si bien la geología de superficie no indica la existencia de ningún afloramiento triásico, esta región corresponde a una zona muy fracturada y es probable que indiquen localmente condiciones que favorezcan una intrusión diapírica del Keuper. La región de Navalón-Onteniente sigue una línea de fractura relacionada, como ya hemos indicado, con la falla sur-valenciana y con la zona de interacción de las directrices tectónicas betibéricas. A lo largo de estas fallas existen numerosos diapíricos salinos del Triás Superior que facilitan la salida de aguas más o menos salinas.

**3.3. Interpretación de resultados**

Del estudio de la distribución de las concentraciones de los distintos aniones y cationes en la provincia de Valencia, se desprenden varias conclu-

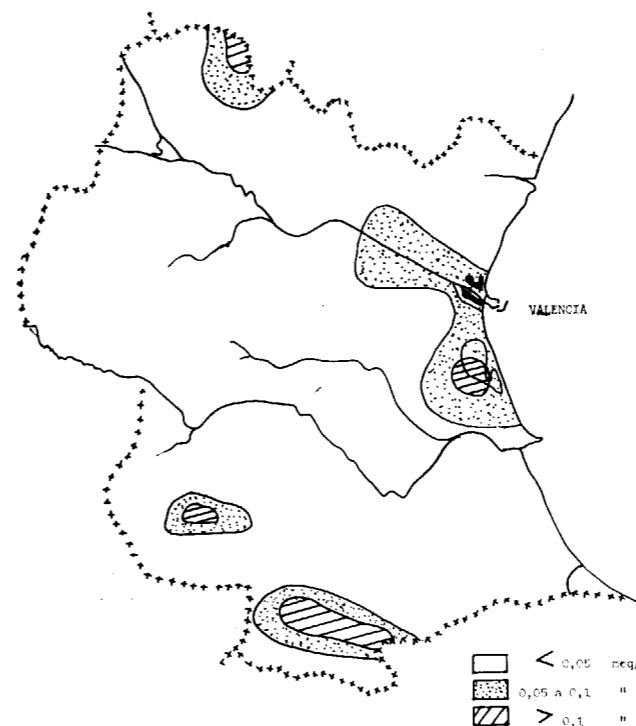


Figura 8

Mapa de isopiezas de la concentración de K+.

b) Mioceno continental: También muy extendido en la provincia, tiene mucho menos interés en este aspecto debido a que está constituido casi en su totalidad por materiales detríticos y de calizas. Sólo en la zona de Los Isidros-Fuente Podrida existen varios lentejones de yesos que pueden proporcionar sulfatos a las aguas subterráneas.

La distribución de los valores de Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup> coinciden en parte con la distribución superficial de estos afloramientos, pero por tratarse de aguas subterráneas existen desviaciones que es importante justificar.

El máximo de Ayora coincide con una zona de contacto entre importantes fracturas regionales. A través de esta fractura se inyecta el Keuper diapírico. Ello explica la alta concentración de dichos iones en las aguas de este punto.

El núcleo que aparece en la región de Fuente la Higuera-Onteniente tiene relación directa también con la geología de la zona, ya que los alumbraamientos de agua se disponen a lo largo de los valles de directriz Bética, ocupados también por materiales triásicos.

La falla sur-valenciana y el cortejo de fallas menores que la acompañan influyen notablemente en el desarrollo de los acuíferos.

El tercer núcleo que aparece constantemente con un alto contenido en estos iones se encuentra en la llanura litoral valenciana, entre Moncada y Sueca.

Las características locales de las litofacies no justifican los altos valores registrados. Pero la estructura geológica regional y la morfología de esta zona indican un origen lejano de los acuíferos que se explotan en la franja costera. En efecto, estos mantos subterráneos proceden de la infiltración de las aguas de lluvia de las sierras de Dos Aguas, Cabrera y de los Bosques. En ellas la cobertera calcárea jurásico-cretácica permite una infiltración hasta el substrato margo-arcilloso triásico, a lo largo del cual se escurren hasta la llanura litoral valenciana, disolviendo en este largo camino los yesos y sales contenidos en el Keuper.

Los núcleos secundarios coinciden con afloramientos de diapiros salinos triásicos. Sólo el de Los Isidros-Venta del Moro puede tener un aporte secundario de sulfatos procedentes de la disolución

siones de interés geoquímico, hidrológico y geológico.

La distribución de los iones analizados está de acuerdo con las características geomorfológicas, litológicas y estructurales de la geología regional.

La distribución de SO<sub>4</sub><sup>=</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup> en las distintas muestras presenta una notable coincidencia, al observar los mapas de isopiezas. De acuerdo con el estudio de las litofacies, este hecho queda explicado por la procedencia de estos iones, que se incorporan a las aguas subterráneas por disolución de evaporitas, en especial yeso, halita, silvina y carnalita.

Estas evaporitas, de acuerdo con la geología regional, pueden existir en dos niveles geológicos:

- a) Triásico Superior (Keuper).—En facies germánica: Está formado por arcillas y yesos y cantidades menores de los otros minerales citados. Afloran en gran parte de la provincia y constituyen el sustrato de los macizos jurásico y cretácico. Por ello constituye el principal origen de los iones.

de los yesos miocénicos interestratificados en los materiales terciarios de la mesa manchega.

El contenido en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{CO}_3\text{H}^-$  está relacionado con el alto porcentaje de calizas y dolomías que constituye el Jurásico y Cretácico regional. Además, el calcio procede también de la disolución del yeso. Siendo estos materiales los que más abundan en la región, se explica el carácter de las aguas de la provincia de Valencia, muy bicarbonatadas cálcico magnésicas. Todas las muestras presentan altos porcentajes, pero las más máximas concentraciones coinciden con grandes macizos calcáreos.

#### 4. CONCLUSIONES

Se observa una buena correlación entre los caracteres geomorfológicos, litológicos y estructurales de la provincia de Valencia y la composición de sus aguas subterráneas.

Las concentraciones de  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , en las distintas muestras, presentan una coincidencia notable entre sí, como se desprende de la comparación de los mapas de isopiezas.

El alto contenido en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  está relacionado con la riqueza en calizas y dolomías constituyentes del Jurásico y Cretácico regional.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) COSTÁZAR, D., y PATO, M.: *Descripción física, geológica y agrológica de la provincia de Valencia*. Mem.

Com. Mapa Geológico de España, pp. 207-250. Madrid (1882).

- (2) DUPUY DE LOME y TRIGUEROS MOLINA: *Explicación de la Hoja núm. 720. Requena*. Mapa geológico de España. Inst. Geol. y Min., Madrid (1957).
- (3) DUPUY DE LOME y SÁNCHEZ LOZANO: *Explicación de la Hoja 719. Venta del Moro*. Mapa geológico de España. Inst. Geol. y Min., Madrid (1959).
- (4) GARCÍA ABBAD, F. J.: *Implicaciones geomorfológicas de la estratigrafía de los enlaces meridionales Alta-Ibérica*. Estudios Geológicos, 34 pp., 215-299 (1978).
- (5) MARTEL, M.: *Nota previa al estudio geológico de la región de los Cuchillos*. Bol. R. Soc. Esp. Historia Natural (Geol.), 68, 1940 (1970).
- (6) MARTEL, M.: *Nota preliminar sobre la estratigrafía de la facies de Fuencaliente*. Acta Geología Hispánica núm. 3, pp. 72-76 (1970).
- (7) ROBLES, F., y cols.: *Guía 4. 10. Levante. Coloquio Internacional sobre Bioestratigrafía Continental del Neógeno Superior Cuaternario Inferior*. Aguirre, E., y Morales, J. Editores, pp. 87-132, Madrid (1974).
- (8) SANCHEZ CIVERA, I.; MAQUIEIRA, A., y SERRA, J. A.: *Contribución al estudio hidrogeológico de la provincia de Valencia. I. Composición química de las aguas subterráneas*. Bol. Geol. y Miner. (En prensa) (1982).
- (9) SKOOG, D. A., y WEST, D. N.: *Fundamentos de química analítica*. Capt. 12, p. 296, edit. Reverte, Barcelona (1970).
- (10) SNELL, F. D.; SNELL, C. T., y SNELL, CH. A.: *Colorimetric methods of analysis*. Vol. II. A. p. 691. De Van Nostrand Co., N. Y. (1959).
- (11) VIALARD, P.: *Recherches sur le Cycle Alpin dans la Chaîne Iberique Sud-Occidentale*. These Sci. Not.; Travaux lab. Geol. Medit., Univ. Paul Sabatier, Toulouse, p. 445 (1973).

Recibido: Marzo 1982.

## Estudio hidrogeoquímico del tercio oriental de la Hoja geológica núm. 348, Fuenteargemil (Soria).

Por C. ALVAREZ HERRERO (\*), F. DE PEDRO HERRERA (\*\*), E. LUCAS GOMEZ (\*), R. GALLEGU ANDREU (\*) y M.<sup>a</sup> E. GARCIA LOPEZ DE SA (\*)

#### RESUMEN

El presente trabajo consiste en el estudio de las características químicas generales de las aguas recogidas en diversos manantiales, fuentes y pozos de una determinada zona de la provincia de Soria, así como de la relación entre la composición iónica de dichas aguas y los terrenos que recorre bajo tierra reaccionando con los distintos materiales y cargándose de las diversas sales que disuelve hasta su posterior afloramiento.

Las muestras se toman en los diversos puntos por duplicado: una en otoño, tras la época de estiaje, y otra en primavera, tras la época en que son máximas las lluvias, con objeto de observar las variaciones de composición iónica al cambiar los niveles lavados por las aguas.

En primer lugar se realizan análisis por métodos clásicos de los principales iones presentes en aguas naturales: sodio, potasio, calcio, magnesio, bicarbonato, sulfato y cloruro, cuyos resultados, junto con las medidas de pH y conductividad se someten a un estudio estadístico que nos dará una idea general sobre las características químicas de las aguas.

Posteriormente, mediante métodos gráficos determinamos los grupos en que se dividen las aguas por su composición iónica, y la composición de los materiales que disuelven al circular por ellos.

#### ABSTRACT

This work is a study of the general chemist characteristics of the waters collected from diverse fontains and wells of a determinate zone of Soria, so a study of the relation between the ionic composition of said waters and terrenes which survey under earth realting with diverse materials and charging itselfes of the diverse salts what dissolve until their posterior exit.

Samples are collected from diverse points by duplicated: one on autum, after the dry epoch, and another one on spring, after the epoch that rains are maxim, in order to observe the variation of ionic composition when change the washed levels by waters.

First, we make analysis by clasic methodes of the main ions usually found in the nature waters: sodium, potasium, calcium, magnesium, bicarbonate, sulfate and clorure, whose results united to the mesures of pH and conductivity are discussed by a statistic study which will give us a general idea about the chemist characteristics of the waters.

Afterwards, we determinate, by graffic methods, the groups in that waters are divided for their ionic composition and the composition of the materials which dissolve when survey through their.

#### DESCRIPCION FISICA DE LA ZONA

Los manantiales, fuentes y pozos están situados en el sector oriental de la Hoja núm. 348 del Mapa 1:50.000 del Instituto Geográfico y Catastral, que corresponde a una zona situada en la parte occidental de la provincia de Soria.

La zona, de unos 200 km<sup>2</sup> de extensión, está ocupada en su mayor parte por lomas y montes poblados de pinos con algunos picos de altitud media. Está recorrida de Norte a Sur por el río Muriel, y por otros menos importantes como el Abioncillo y el Chico.

En cuanto a las características geológicas de la zona, presenta una estratigrafía muy variada y tectónica movida. Las principales formaciones geológicas son:

(\*) Departamento de Química Analítica (Centro Coordinado del C. S. I. C.), Cátedra de Química Analítica de la Universidad Complutense de Madrid.

(\*\*) Junta de Energía Nuclear.

**LIAS:** De facies caliza en una estrecha faja en dirección NO-SE.

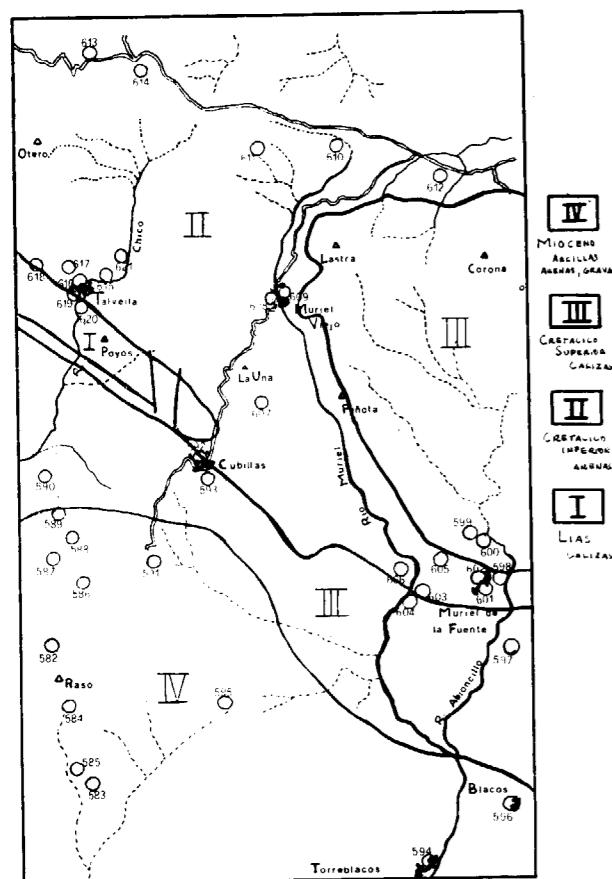
**CRETACICO INFERIOR:** Constituido en su mayoría por arenas.

**CRETACICO SUPERIOR:** Constituido por calizas y margas.

**MIOCENO:** Constituido por arcillas, arenas y gravas.

**CUATERNARIO:** Depósitos constituidos «in situ» a expensas de materiales Cretácicos, Paleógenos y Miocenos.

La zona está sujeta a violentos plegamientos alpinos con dirección NO-SE, viniendo los empujes del NE y volcando los plegamientos hacia el SO (Esquema geológico).



El clima es continental típico de altiplanicie, con temperaturas medias anuales que apenas exceden los 10° C y fuerte oscilación térmica anual, siendo las precipitaciones máximas en primavera.

## ANÁLISIS QUÍMICO Y MEDIDAS FÍSICO-QUÍMICAS

Los métodos elegidos para el análisis, lo son en función de las características del estudio que vamos a realizar.

Al tratarse de aguas naturales es previsible una gran dispersión de valores, además, la utilización de los resultados se hará siempre en términos estadísticos y de comparación, y en todo caso sólo se sacarán conclusiones válidas cuando la diferencia entre valores comparados supere ampliamente el posible error sistemático. Así pues, no han sido necesarios métodos complicados ni de gran precisión. Para cloruros se emplean los conocidos métodos volumétricos de Mohr y Volhard. En el análisis de bicarbonatos se emplea volumetría de neutralización. Los sulfatos se analizan por método colorimétrico indirecto, empleando como aparato medidor un espectrómetro «Spectronic 20».

Para calcio y magnesio se utiliza método complexométrico, empleando Complexona III. Sodio y potasio se determinan por el método de fotometría de llama, con un Mod. 2 «Dr. Lange» y galvanómetro de señal multiplex tipo MG-SE.

Las medidas de pH y conductividad se realizan en el momento de la toma de muestras. Para la conductividad se utiliza un aparato de la firma Radiometer.

## ESTUDIO ESTADÍSTICO

Mediante el tratamiento estadístico de los resultados analíticos, expresados en mg/l, se obtienen las poblaciones en torno a un valor más probable en que se distribuyen las concentraciones de los distintos iones. Estos nos dará una idea general de las características químicas generales de las aguas analizadas, y de aquellas que destacan por su singularidad, que serán las que más nos interesen en nuestro trabajo. El estudio se hace sobre cada serie, recogidas en otoño (I) y primavera (II), y sobre los valores de la relación I/II, para cada ión. Este estudio estadístico se aplica también a la conductividad.

### Sodio

Encontramos para las dos remesas sendas po-

blaciones con dispersión moderada y con valores más probables en torno a los 2 mg/l, ajustándose la gran mayoría de los valores a la ley.

### Potasio

La situación es análoga a la del sodio, con sendas poblaciones para cada remesa, con valores más probables en torno a los 3 mg/l.

### Calcio

Podemos distinguir dos poblaciones diferenciadas para cada remesa. Las de valores bajos se distribuyen en torno a los 7 mg/l y las de valores altos en torno a los 50 mg/l. La dispersión es mayor en las poblaciones de valores bajos, siendo más homogéneas las de contenidos altos.

### Magnesio

Encontramos un grupo de aguas con concentración extremadamente baja y otro que constituye una población menos dispersa en torno a los 7 mg/l, para ambas remesas.

### Bicarbonato

Se distinguen dos poblaciones para cada remesa, agrupadas en torno a valores más probables de unos 17 y 160 mg/l. Véase gráfico de frecuencias acumuladas (bicarbonato).

### Sulfato

Se obtienen poblaciones mayoritarias en torno a los 15 mg/l y otras menos dispersas, que agrupan concentraciones de sulfato comprendidas entre 50 y 90 mg/l.

### Cloruro

Encontramos sendas poblaciones poco dispersas con valores más probables alrededor de los 5 mg/l.

### Conductividad

Se observa para cada remesa, dos poblaciones diferenciadas: Las de valores bajos en torno a los 90  $\mu$ S y las de valores altos alrededor de los 400  $\mu$ S.

Para todos los iones se obtienen valores más probables de concentración, comprendidos dentro de los límites normales para aguas naturales.

En los casos del sodio, potasio y cloruro encontramos poblaciones únicas y bastante homogéneas, lo cual parece indicar una cierta similitud en la procedencia geológica de dichos iones. Por el contrario en los casos del calcio, bicarbonato y conductividad se observa dualidad de poblaciones, que parecen indicar una doble procedencia de las aguas, lo que se considerará posteriormente al estudiar cada muestra por separado. Este hecho parece observarse también, aunque menos acusadamente, para sulfatos y magnesio.

Del tratamiento estadístico de los valores de la relación I/II se deduce que las concentraciones aumentan en casi todos los casos al pasar a la segunda remesa, ya que obtenemos siempre valores más probables menores de la unidad. También puede deducirse este dato de las medidas de conductividad, que están relacionadas con la concentración total de sales.

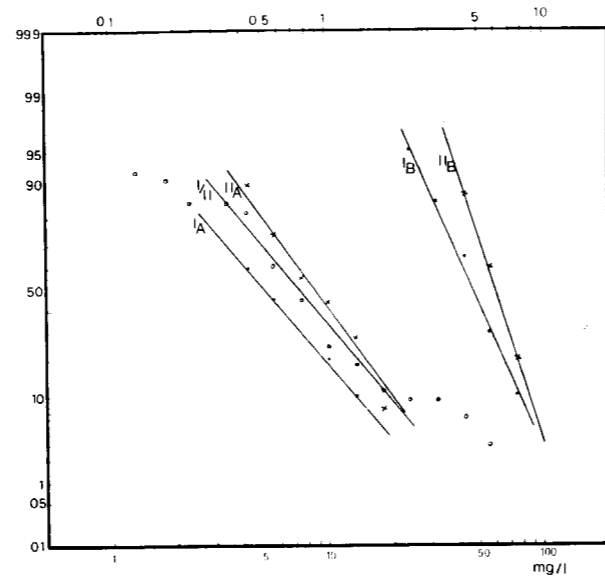
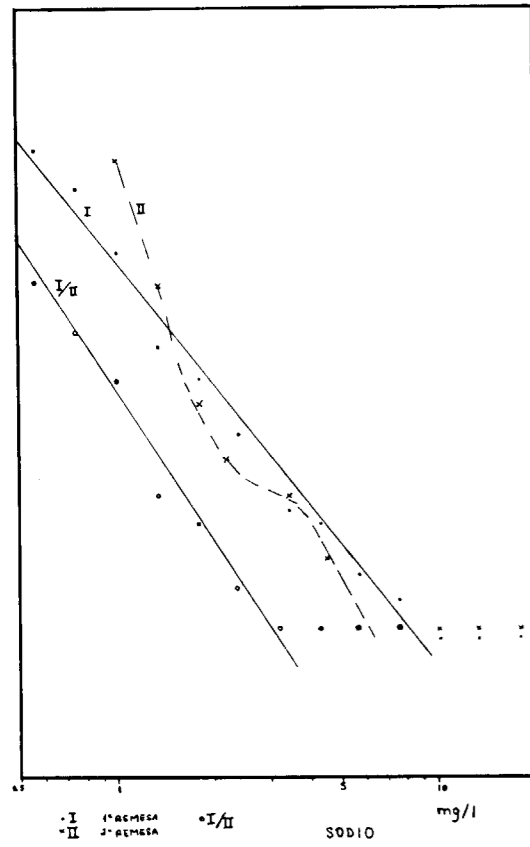
Hay casos singulares, de especial interés, en el estudio de calcio y bicarbonato, en los que el valor de la relación se aleja mucho de la unidad y corresponden a aguas que cambian de población de una remesa a otra. Las posibles explicaciones se encontrarán en los siguientes apartados, al considerar las distintas concentraciones en relación con la composición global de cada muestra.

## CORRELACIONES GRÁFICAS

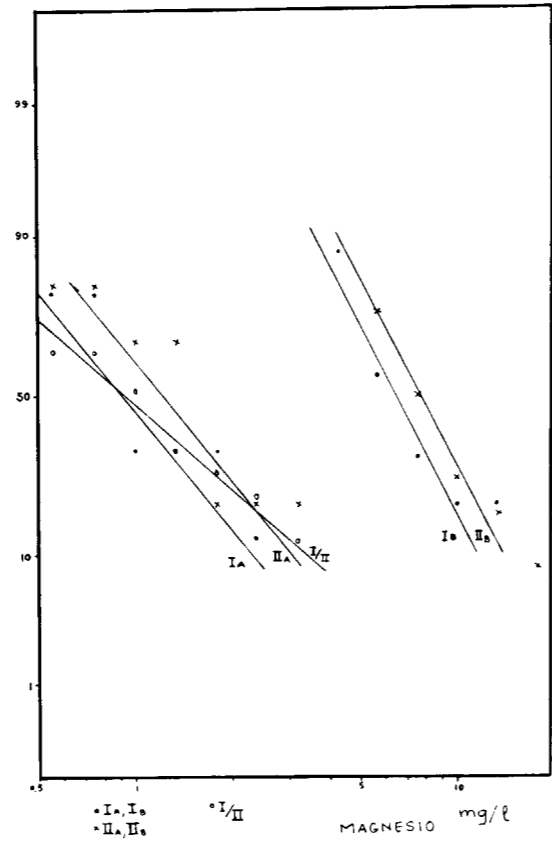
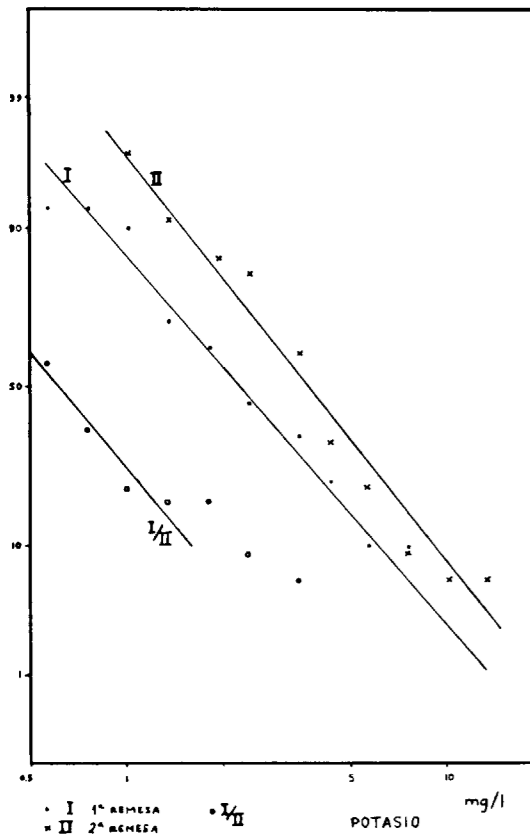
Se estudian aquí los resultados analíticos, expresados en meq/l, de los distintos iones, por parejas. Elegimos calcio y bicarbonato, calcio y sulfato y alcalinos y cloruro, dado que son la calcita, el yeso y las evaporitas las sales más comunes que se disuelven en las aguas subterráneas. Obtenemos para cada muestra un punto representativo y unimos por flechas los correspondientes a cada muestra para ver las variaciones de concentraciones al cambiar de época de recogida.

### 1. Calcio/Bicarbonato

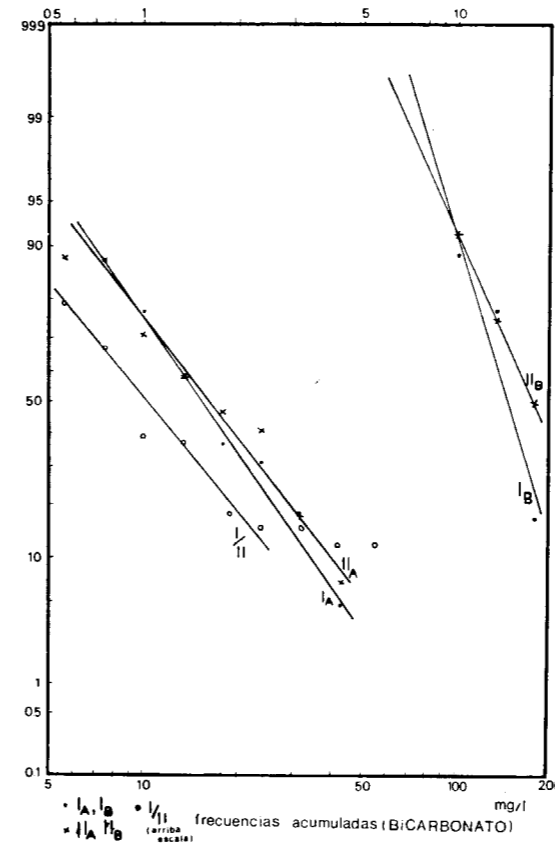
Se observa acumulación de un grupo numeroso de puntos representativos, en la zona de concentraciones altas con estequiometría 1:1. Podemos ver que corresponden, en su mayoría, a aguas de terrenos calizos de Cretácico Superior



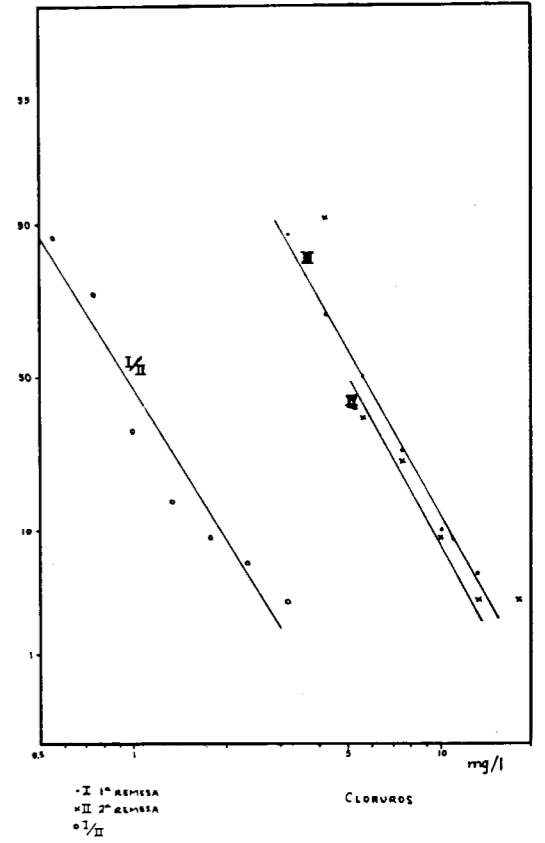
frecuencias acumuladas (CALCIO)  
 • IA, IB  
 x IIA, IIB  
 o I/II



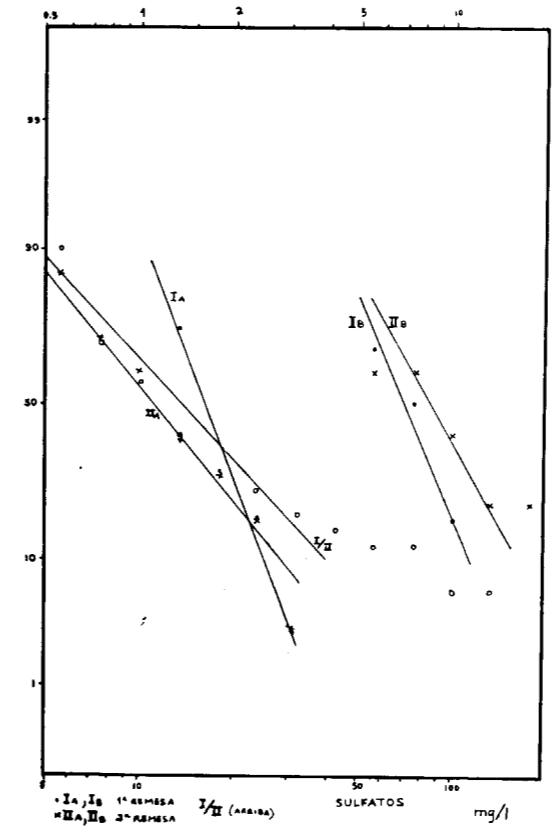
• IA, IB  
 • IIA, IIB  
 o I/II



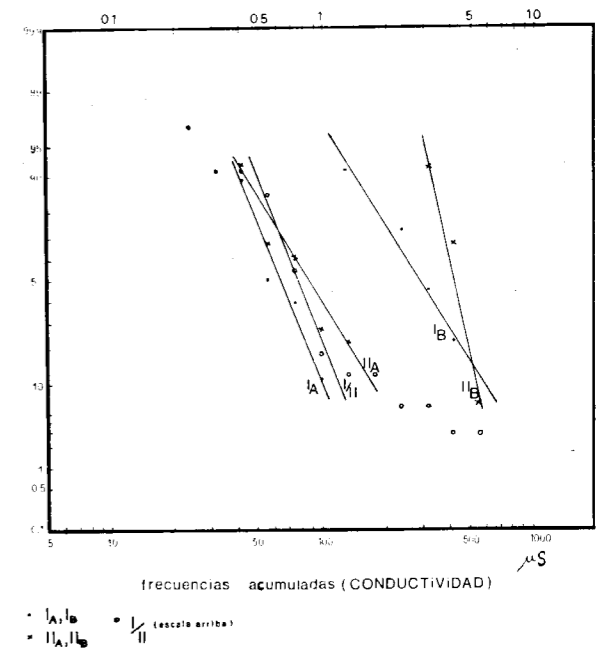
• IA, IB  
 • IIA, IIB  
 o I/II  
 (sección arriba)  
 frecuencias acumuladas (BiCARBONATO)



• I 1ª REMESA  
 x II 2ª REMESA  
 o I/II



• IA, IB  
 • IIA, IIB  
 o I/II (sección arriba)  
 frecuencias acumuladas (SULFATOS)



• IA, IB  
 • IIA, IIB  
 o I/II (sección arriba)  
 frecuencias acumuladas (CONDUCTIVIDAD)

o del Lías, en los cuales la disolución de la calcita ( $\text{CO}_3\text{Ca}$ ) proporciona estos contenidos estequiométricos de bicarbonato y calcio.

Hay otro grupo de concentraciones bajas, menos homogéneo, en el que el ajuste a la estequiometría es algo dudoso. A este grupo pertenecen casi todas las aguas que pasan por terrenos del Cretácico Inferior y del Mioceno.

Estos dos grupos ya se diferenciaban claramente en el estudio estadístico.

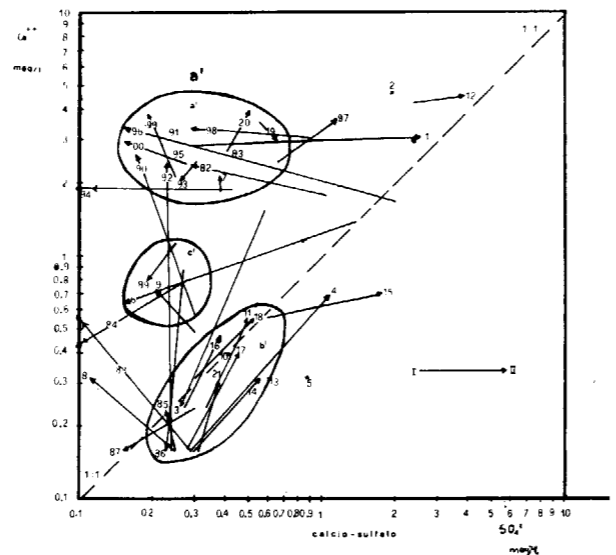
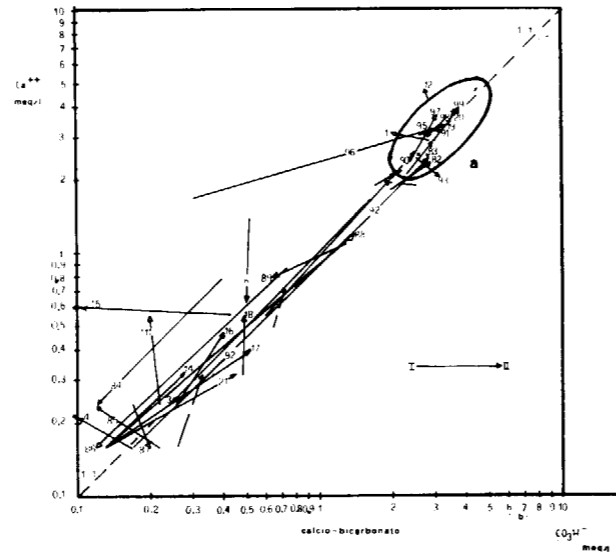
### 2. Calcio/Sulfato

Encontramos un lugar geométrico donde aparecen gran número de puntos representativos, en una zona del diagrama de gran exceso de calcio respecto a la cantidad estequiométrica. Identificamos aquí casi todas las aguas que aparecían en el grupo «a» de la anterior correlación, es decir, aguas correspondientes a terrenos calizos. Hay otro grupo de muestras con concentraciones bajas y otro intermedio con menor exceso de calcio.

### 3. Alcalinos/Cloruro

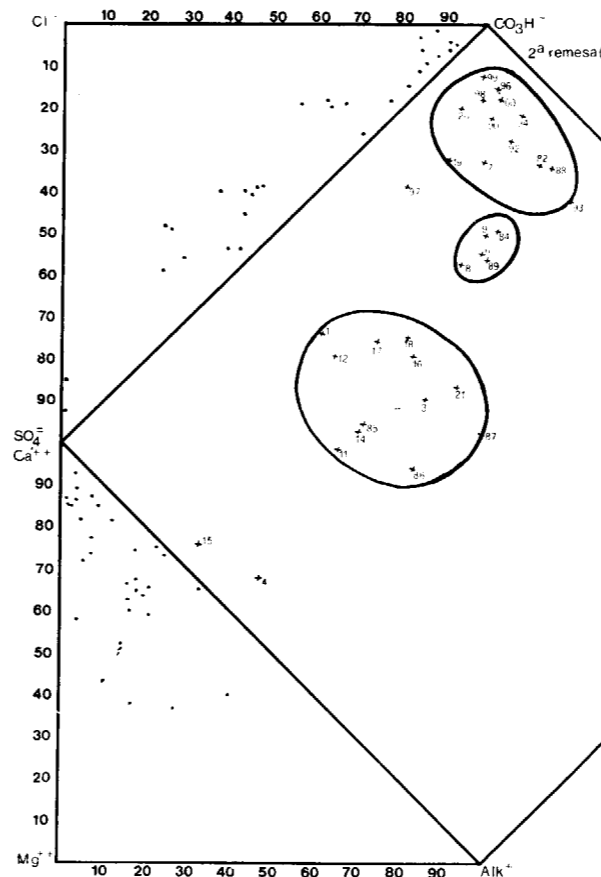
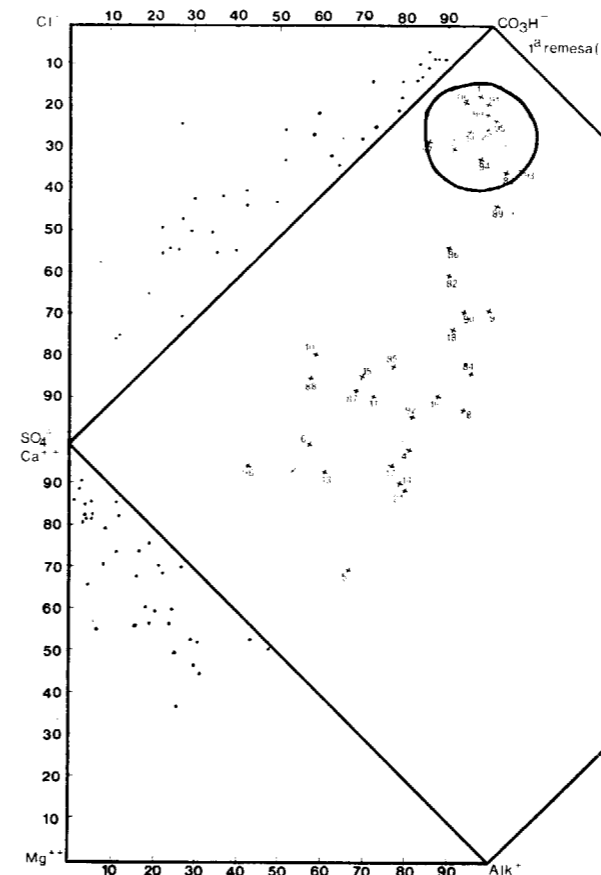
Se observa un grupo numeroso de aguas que se ajustan a la estaquiometría 1:1, correspondiendo a diversas zonas geológicas. Otros grupos sólo se ajustan a la estequiometría en una de las remesas, apartándose, en la otra, por exceso o por defecto.

Así pues, podemos resumir que distinguimos un grupo numeroso con estequiometría 1:1 calcio/bicarbonato y sólo algunas aguas con composición estequiométrica 1:1 sulfato/calcio en alguna de las remesas. Es importante observar las variaciones de concentración de determinadas aguas al cambiar de época de recogida, pues son coincidentes en ambas correlaciones. Así, tenemos las fuentes, núms. 596 y 606, cercanas a Muriel de la Fuente, que pasan a la estequiometría 1:1 de calcio/bicarbonato y pierden la estequiometría 1:1 de calcio/sulfato al pasar a la segunda época (II). De comportamiento contrario son las núms. 601 y 603. Las núms. 490 y 592 pasan a los grupos a y a' procedentes de los grupos de bajas concentraciones.



### DIAGRAMA SALINO

En este diagrama representamos los porcentajes de cada catión o anión respecto a la suma de cationes o aniones respectivamente. Se representan por separado cationes y aniones, obteniéndose los correspondientes triángulos salinos, cuyas proyecciones nos darán el cuadrado salino donde cada punto representa una composición global porcentual de cada muestra independiente de los valores absolutos de concentración. Con flechas representamos la variación de composición de una recogida a otra.



Para la primera remesa se observa una acumulación en la zona bicarbonato-cálcica del diagrama y otro grupo más disperso en la zona central del diagrama. Aparecen también algunos puntos aislados en la zona de predominio de los sulfatos, (I).

En la segunda remesa la situación es análoga, pero con los grupos algo más diferenciados, (II).

Veamos el diagrama conjunto. Distinguimos un primer grupo de aguas (A) en la zona bicarbonato-cálcica. En este grupo están las aguas que lixivian bicarbonato cálcico al pasar por terrenos calizos, bien sean del Cretácico Superior (Zona de Muriel de la Fuente) o del Lías (Zona de Talveila). También aparecen algunas del Mioceno, que puede representar formaciones calizas en su composición. Otro grupo (B) se puede delimitar en la zona central del diagrama. Pertenecen a él la totalidad de las aguas que pasan por terrenos arenosos del Cretácico Inferior de la zona Norte, y algunas de la zona Sur-Occidental de terrenos de Mioceno. La composición es típica de estos terrenos.

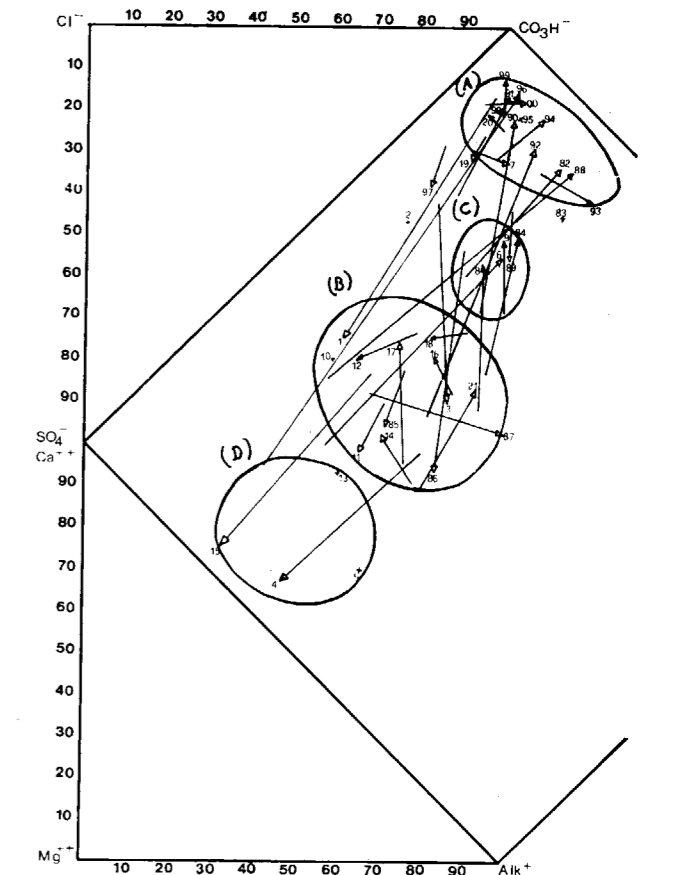




TABLA DE RESULTADOS ANALITICOS  
mg/l

n°	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>		Ca <sup>++</sup>		Mg <sup>++</sup>		CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>		Cl <sup>-</sup>		SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>		Conductivid.	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
542	2,2	2,0	1,2	0,6	27,26	28,86	3,89	3,89	79,31	86,52	5,44	5,66	10,2	0,5	231	290
543	4,6	4,5	3,6	3,9	40,09	33,88	1,95	2,92	98,54	103,35	10,61	1,08	7,8	0,5	296	378
544	11,6	-	8,0	-	41,69	-	6,81	-	112,96	-	33,71	-	16,3	-	511	-
545	5,4	5,0	1,2	0,6	27,26	35,28	3,89	1,95	86,52	96,14	7,33	6,86	6,0	0,5	257	325
546	3,1	2,6	0,3	0,3	36,88	28,86	0,97	3,89	110,56	91,33	6,27	5,86	3,6	8,0	256	327
548	1,6	-	<	-	32,07	-	1,95	-	96,14	-	4,14	-	6,0	-	221	-
549	1,2	-	0,2	-	48,11	-	0,97	-	139,40	-	4,73	-	7,8	-	302	-
550	1,2	1,2	1,2	0,9	44,90	70,55	2,97	3,53	124,98	151,41	3,78	2,72	9,8	10,7	312	656
551	2,3	2,0	1,0	0,9	43,29	35,28	0,97	2,92	134,59	105,75	6,86	6,27	2,6	0,5	265	437
552	4,4	3,8	3,2	3,2	30,47	33,88	2,92	2,92	88,93	105,75	10,65	10,88	3,6	-	241	409
553	2,4	2,0	1,1	1,1	16,04	17,64	<	1,95	55,28	52,87	4,73	4,73	1,3	2,6	100	166
554	2,2	3,8	1,4	8,3	4,81	32,07	0,97	2,92	14,42	91,33	5,56	10,41	12,2	2,0	65	308
555	2,2	2,3	0,4	0,6	28,86	32,07	1,95	3,89	98,54	103,35	5,44	5,32	<	<	199	342
556	1,3	1,0	1,0	1,4	27,26	28,86	3,89	5,84	115,36	91,33	4,02	2,92	5,4	1,3	221	312
557	2,9	4,8	0,9	2,6	9,62	17,64	1,95	1,95	28,84	4,81	5,20	7,36	10,4	2,3	72	336
558	3,0	3,2	1,4	1,8	27,26	30,47	2,92	3,89	86,52	98,54	6,62	5,44	12,6	2,3	209	312
559	6,5	6,3	1,0	1,1	57,73	44,90	1,95	2,92	156,22	136,99	15,38	12,30	4,8	0,5	312	499
560	6,9	6,7	0,9	1,0	32,07	40,09	1,95	3,89	103,35	122,57	11,59	11,59	3,0	2,0	231	538
561	9,0	8,5	1,2	0,9	32,07	28,86	1,95	2,92	84,12	81,72	12,42	12,30	7,8	9,8	249	355
562	1,9	1,2	0,4	0,5	36,88	43,29	5,84	2,92	86,52	108,15	4,97	4,02	17,0	7,8	241	333
563	4,5	4,8	1,0	1,4	36,88	33,88	2,92	1,95	115,36	112,96	9,70	10,17	1,5	<	231	318
564	3,5	-	1,0	-	33,67	-	3,89	-	98,54	-	8,28	-	2,0	-	190	-
565	4,7	4,8	0,9	1,9	48,11	43,29	1,95	4,86	88,93	105,75	7,81	7,33	18,6	14,8	280	516
566	1,4	1,3	0,9	0,5	40,09	44,90	3,89	1,95	84,12	100,94	5,91	4,38	17,0	13,0	224	411
567	3,0	2,0	2,2	1,2	38,48	43,29	4,86	4,86	124,98	132,19	6,27	4,61	2,6	2,6	242	386
568	2,2	2,0	0,3	0,2	52,92	54,52	4,86	2,92	96,14	105,65	3,55	2,13	25,0	17,0	343	523
569	1,6	10,3	3,5	5,9	9,62	12,83	1,95	2,92	26,44	14,42	2,96	15,97	7,8	13,0	31	333
570	1,6	1,5	0,4	0,8	4,81	6,41	0,97	<	14,42	21,63	5,44	5,20	1,3	0,5	31	71
571	1,6	1,2	1,2	1,2	8,02	8,02	0,97	0,97	26,44	19,23	4,85	3,78	1,5	<	40	90
572	4,1	3,6	0,9	0,8	27,26	28,86	3,89	0,97	81,72	81,72	7,45	7,32	10,4	9,8	215	290
573	0,5	1,7	1,6	0,6	4,81	4,81	0,97	0,97	12,02	12,02	2,13	2,37	1,3	2,0	14	71
574	1,7	0,8	1,0	1,2	4,81	4,81	<	0,97	16,82	14,42	4,14	4,97	1,5	0,5	14	54

En una zona intermedia del diagrama encontramos un tercer grupo (C) más difícil de adscribir a una determinada zona geológica, pero que se diferencia claramente, pues en ese lugar se observan a entradas y salidas de flechas que parecen indicar un nivel geológico concreto. Por fin, otro grupo (D), de aguas de porcentaje alto de sulfato, pueden corresponder a formaciones yesíferas que puedan hallarse en los terrenos por los que pasan.

Es importante observar las variaciones más destacadas, que significan paso de un grupo a otro al cambiar de remesa, lo que significará que pasan por unos terrenos en una época y en otra por

otros al estar en zona de contacto. Así, tenemos las núms. 590 y 592 que situadas en zona de contacto de calizas y arenas, pasan en otoño por terrenos arenosos y por terrenos calizos en primavera. Lo mismo se observa para las núms. 608 y 609, próximas a Muriel Viejo, y de sentido contrario es la variación de la núm. 603. En la zona de Muriel de la Fuente tenemos las fuentes núms. 596 y 606, que pasan al grupo A (aguas bicarbonato-cálcicas), procedentes del grupo D (aguas sulfato-cálcicas), es decir, lavan niveles yesíferos en otoño y calizos en primavera. De sentido contrario es la variación de la núm. 601.

## CONCLUSIONES

- Se distinguen claramente dos grupos de aguas en cuanto a la composición iónica. Uno con concentraciones altas de calcio y bicarbonato, que corresponden a terrenos de calizas del Cretácico Superior, y otro en el que no domina claramente ningún ión, y con composición variable, que pertenecen a terrenos del Cretácico Inferior y del Mioceno.
- Hay aguas que evidencian el paso por zonas yesíferas en alguna de las épocas de recogida.
- Se observan fuentes, que situadas en zonas de contacto de dos formaciones geológicas, pertenecen a grupos distintos en cada remesa por variación del nivel freático de las aguas.
- No hay aguas correspondientes a zonas de evaporitas.
- La zona objeto de estudio podría quedar dividida en tres sectores según este estudio:
  - Zona Sur-Oriental: Terrenos del Cretácico Superior cuyas aguas afloran en las zonas de contacto con el Cretácico Inferior dando composición bicarbonato-cálcica. Esta zona se extiende también de Este a Oeste, dando fuentes de características similares.
  - Zona Norte: Terrenos del Cretácico Inferior, de los que se obtienen aguas con composición típica de sus arenas.
  - Zona Sur-Occidental: Terrenos del Mioceno. Sus aguas presentan en general composición variable, y algunas bicarbonato-cálcica.
- En resumen, por el análisis químico de las aguas se ha podido reconocer la composición

salina de los materiales geológicos, por los que ha circulado subterráneamente bajo tierra hasta su afloramiento, e incluso la disposición estratigráfica de tales terrenos.

## BIBLIOGRAFIA

- AYRES, G. H.: *Análisis químico cuantitativo*. Ed. del Castillo. Madrid, 1970.
- BRANSON, E. B., y TARR, W. A.: *Elementos de Geología*. Ed. Aguilar, 1964.
- CANDIL GONZALO, J., y LÓPEZ VÍLCHER, L.: *Estudio hidrogeológico del Cretácico situado entre Santa María de las Hoyas y el Alto de Peña Cruz*. Comunicación presentada a las jornadas minerometalúrgicas VI nacionales y IV internacionales. Huelva, 1980.
- COBO CAMPILLO, M. D.: *Estudio hidrogeoquímico realizado sobre la parte occidental de la Hoja núm. 350. Soria*. Tesina presentada en la Facultad de Ciencias Químicas. Madrid, 1977.
- DAVIS, S. N., y DE WIESTE, R. M. J.: *Hidrogeología*. Ed. Arid. Barcelona, 1971.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA. CENTRO DE ESTUDIOS HIDROGRÁFICOS: *Análisis de aguas naturales*. Métodos recomendados por el grupo de trabajo «Normas analíticas de las aguas». Madrid, 1975.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO Y CATASTRAL: *Hoja núm. 348 del Mapa Topográfico Nacional, escala 1:50.000. Fuentesarmegil. Soria*.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL. SERVICIO DE DATOS: *Datos de la cuenca del Duero años 1975, 1976, 1977*.
- RÍOS GARCÍA, D. M.; QUINTERO AMADOR, D. I., y FIGUEROA MOLINA, D. E.: *Memoria explicativa de la Hoja Geológica núm. 348. Fuentesarmegil. Soria*. Instituto Geológico y Minero, 1956.
- RODIER, J.: *Analysis of Water*. Keter Publisking H. J. Ltd. 1975.
- VELA SIMÓN, J.: *Estudio Hidrogeoquímico de la parte central de la Hoja núm. 348. Fuentesarmegil (Soria)*. Tesina presentada en la Facultad de Ciencias Químicas. Madrid, 1977.

Recibido: Abril de 1983.



## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# Estudio mineralógico y genético de los talcos de la Sierra de las Estancias (Cordilleras Béticas).

Por A. ACOSTA ECHEVERRÍA (\*), A. GARCIA-CERVIGON BELLON (\*)  
y M. RODRIGUEZ GALLEGO (\*)

## RESUMEN

En este trabajo se hace el estudio mineralógico, geoquímico y genético de los talcos de la Sierra de las Estancias, que encajan en materiales del Complejo Alpujárride (Zona Bética s. str., Cordilleras Béticas). En estos yacimientos, el citado Complejo Alpujárride se caracteriza por una secuencia litoestratigráfica a base de micaesquistos y mármoles, dolomíticos y calizos, con una notable complejidad tectónica.

Se distinguen dos tipos de mineralizaciones: talco *blanco*, caracterizado por la asociación talco dolomita-calcita, ligado a fracturas de los mármoles dolomíticos, y talco *moreno*, localizado en el contacto de estos mármoles con los micaesquistos.

Se concluye que el talco se ha formado por un proceso hidrotermal, con aporte de sílice, a presiones comprendidas entre 2 y 5 Kb, y a una temperatura máxima de unos 600° C.

Se dan datos de análisis químico (mayoritarios y en trazas), ópticos y de difracción de rayos X.

## ABSTRACT

Mineralogical, chemical and genetic study of talc deposits from the Sierra de las Estancias, enclosing in the Alpujarride Complex materials (Betic Zone s. str., Betic Ranges) is done. The Alpujarride Complex found around this deposits is characterised by alternating micaschists, calcic and magnesian marbles, showing a remarkable tectonic complexity.

Two ore body types can be differentiated: the *white* talc characterised by a talc-dolomite-calcite association related to the fractures in the magnesian marbles and the *brown* talc with a talc-chlorite association and minor quantities of dolomite, related to the micaschist-magnesian marble contact.

It is concluded that these talc deposits have been originated by a hydrothermal process, with a silica supply at 2 to 5 Kbars and 600° C of maximum temperature.

Chemical (major and trace components), optical and X-ray diffraction data are given.

## 1. INTRODUCCION

Los yacimientos de talco de la Sierra de las Estancias son los más importantes de la provincia de Almería, dentro de los cuales cabe destacar la excelente calidad de los talcos *blancos* de Somontín-Lúcar (ALVAREZ ESTRADA, 1952), que justifica su explotación en la actualidad.

La primera cita bibliográfica acerca de estas mineralizaciones se debe a JIMÉNEZ DE CISNEROS (1906). HERNÁNDEZ SAMPELAYO (1943) realiza un estudio de tipo práctico, y más tarde aparecen otros trabajos en los que se dan datos acerca

del encuadre geológico, mineralogía, geoquímica y génesis de estos criaderos (HOYOS DE CASTRO y AHUMADA, 1951 a y 1951 b; ACOSTA ECHEVERRÍA, 1973 y 1979; ACOSTA ECHEVERRÍA et al., 1974).

En el presente trabajo se describen los yacimientos de talco de Somontín-Lúcar y de El Campillo-Purchena, por ser los más representativos e importantes de la Sierra de las Estancias, y se aportan nuevos datos de orden mineralógico, geoquímico y genético.

## 2. SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

## 2.1 Situación geográfica

Ambos yacimientos están situados en la Sierra de las Estancias, en la margen izquierda del río

Almanzora (provincia de Almería). Las zonas con mayor densidad de mineralizaciones están delimitadas por las siguientes coordenadas geográficas:

Somontín-Lúcar:

2° 22' 00" - 2° 24' 30" O (1)

37° 23' 40" - 37° 24' 40" N

Campillo-Purchena:

2° 20' 40" - 2° 21' 40" O (1)

37° 25' 40" - 37° 26' 20" N

dentro de la Hoja 995 (Cantoria) del M. T. N. de España a escala 1:50.000 (fig. 1).

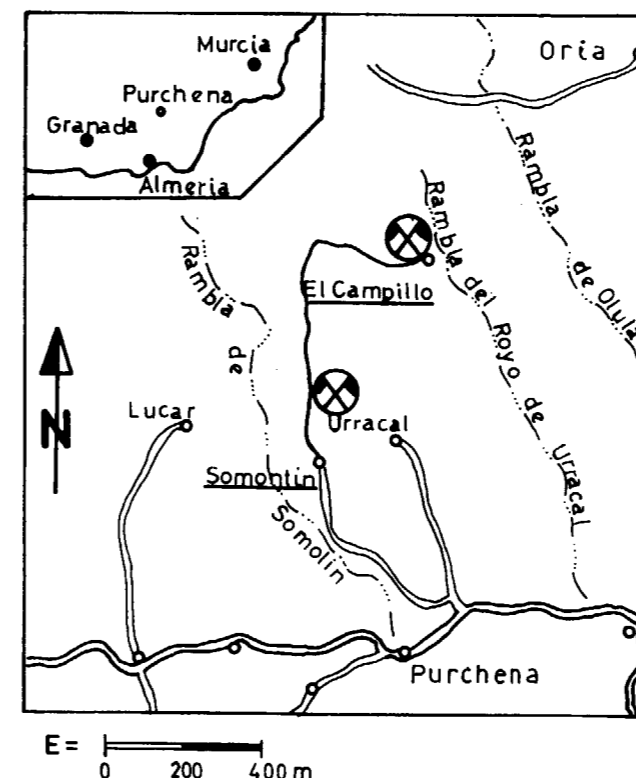


Figura 1.—Situación geográfica de las mineralizaciones de talco estudiadas.

(1) Longitud referida al meridiano de Greenwich, datum Europeum.

## 2.2 Situación geológica

Las mineralizaciones de talco encajan en los materiales del Complejo Alpujárride (Zona Bética s. str., Cordilleras Béticas).

Las investigaciones realizadas por O. J. SIMÓN y colaboradores, a partir del año 1974, han permitido distinguir diferentes unidades, en función de su litología y del grado de metamorfismo, dentro de los materiales que afloran en la citada Sierra de las Estancias. Como aún no se ha llegado a un acuerdo definitivo sobre la nomenclatura y la correlación entre las distintas subunidades, nos limitaremos a destacar que las mineralizaciones de talco encajan en la unidad de menor grado de metamorfismo de todas las que afloran en la zona. En ella se encuentra una secuencia litoestratigráfica (SIMÓN, comunicación personal) a base de micaesquistos, calizas marmóreas y mármoles dolomíticos (ver figs. 2 y 3).

La complejidad tectónica en el yacimiento de Somontín-Lúcar es particularmente acentuada. En él encontramos diversas superposiciones de tipo mecánico, responsables de la situación actual de los mármoles dolomíticos (roca encajante del talco), que aparecen intercalados entre los paquetes de micaesquistos verde-azulados con cuarzitas.

## 3. METODOS DE ESTUDIO

Se han empleado métodos de campo y de laboratorio. Entre los segundos destacaremos: a) examen en lámina delgada; b) separación de fracciones; c) análisis mineralógicos por difracción de rayos X, y d) análisis químico de elementos mayoritarios y de trazas. Para los mayoritarios se ha seguido el método de SHAPIRO y BRANNOCK (1962) modificado por LINARES Y HUERTAS (comunicación personal). Los elementos en trazas se han determinado por espectrometría de absorción atómica, con un equipo Beckman, modelo 495.

## 4. ROCA ENCAJANTE

Las mineralizaciones de talco se localizan en fracturas de los mármoles dolomíticos o en el contacto entre estos mármoles y los micaesquistos.

La roca encajante principal es el mármol dolo-

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

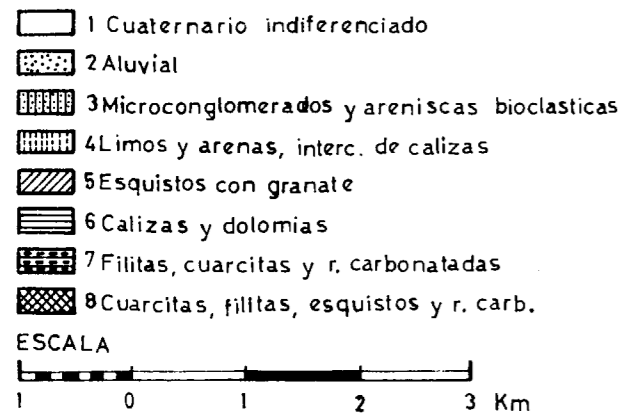
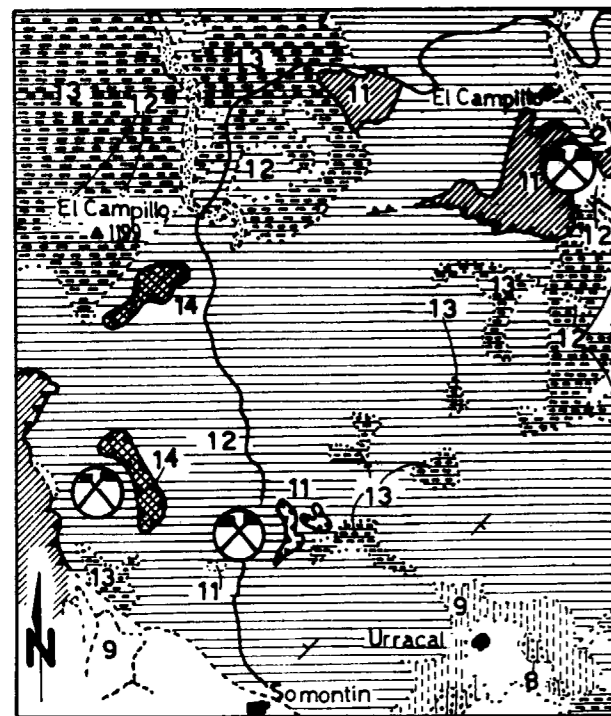


Figura 2.—Situación geológica de los yacimientos de talco.

mítico gris, situado en el penúltimo lugar de la serie litológica anteriormente descrita (ver fig. 2). Sin embargo, debido a las superposiciones de tipo mecánico ya citadas (ver situación geológica), los micaesquistos verde-azulados que envuelven a los mármoles dolomíticos, ejercen una cierta influencia sobre la mineralización en contacto con ellos, por lo cual los describiremos también como roca encajante.

4.1. Mármoles dolomíticos

Son mármoles masivos, fétidos, con un notable grado de pureza, en los que la dolomita es prácticamente el único de sus componentes. Presentan una potencia visible de unos 80 m. como máximo en Somontín-Lúcar y de 50 a 60 m. en El Campillo-Purchena.

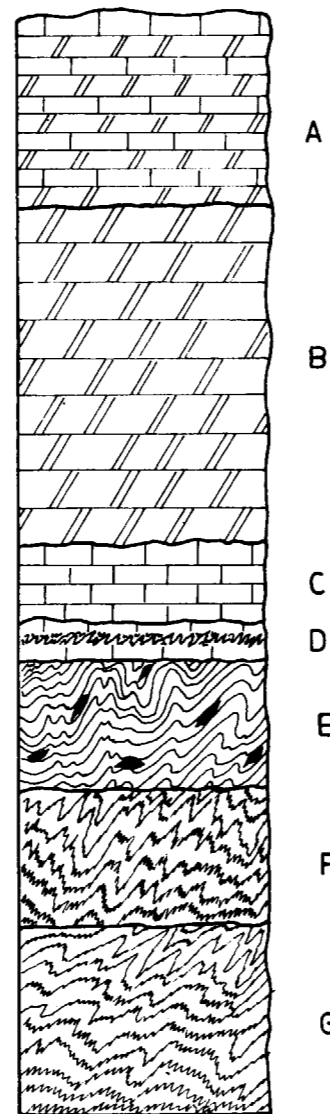


Figura 3.—Columna litológica de la Unidad que contiene las mineralizaciones de talco en la Sierra de las Estancias. A: mármoles dolomíticos; B: mármoles dolomíticos grises; C: calizas marmóreas con dolomias; D: calizas, en lechos delgados, con intercalaciones de micaesquistos; E: Micaesquistos verde-azulados con niveles cuarcíticos; F: micaesquistos beige-verde-azulados, y G: micaesquistos negros con granates.

En ambos yacimientos, los mármoles están muy tectonizados en las proximidades de la mineralización, donde presentan el aspecto de caquiritas. En Somontín-Lúcar debemos destacar la presencia de fallas en dirección E-O con buzamientos próximos a los 90° y del correspondiente sistema complementario.

En Somontín-Lúcar son de color gris, y a veces exhiben un bandeado marcado por una secuencia de capas cuyo espesor oscila entre unos 10 y 50 centímetros, con colores alternativamente grises claros y oscuros. Además de este bandeado macroscópico, en lámina delgada se observa otro más fino definido por lechos de carbonatos de granos equidimensionales (diámetro próximo al milímetro) alternantes con otros de grado mucho más pequeño, cuyo diámetro oscila entre unas 150 a 40µ.

En lámina delgada, los mármoles de El Campillo-Purchena no presentan ninguna característica adicional, si se exceptúa el tamaño de grano. Sin embargo, en las proximidades al contacto con los micaesquistos, donde aparece el talco, se observa una disminución en el tamaño de grano, que se hace muy fino (~20 a 40µ), contrastando con la presencia de vetas rellenas de granos de carbonato, cuyo diámetro oscila entre 0,4 y 0,8 milímetros, muy superior al de la matriz envolvente (fig. 4). Es interesante observar cómo el número y el tamaño de las vetas recrystalizadas aumentan, mientras que el grano de la matriz se hace más fino, a medida que nos acercamos al contacto, mineralizado, de los mármoles con los micaesquistos.

El extraordinario grado de pureza de estos mármoles, al que antes hemos aludido, se corrobora por los resultados del análisis químico (ver tablas I y II, columnas 1 y 2).

En efecto, el análisis de los mayoritarios nos muestra unos valores para el MgO, CaO y pérdida por calcinación, muy próximos a los teóricos de una dolomita pura. Cabe destacar, asimismo, dentro de unos valores bajos, una mayor concentración de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y de álcalis en los mármoles de El Campillo-Purchena que en los de Somontín-Lúcar.

En ambos yacimientos el escaso residuo insoluble, en CIH 0,4 N del mármol inmediato a las mineralizaciones, muestra un notable contenido en

talco (ver tabla III, columnas 1 y 4). Dicho mineral es casi único componente en Somontín-Lúcar, con pequeñas cantidades de clorita y cuarzo, mientras que en El Campillo-Purchena predomina la clorita sobre el talco y le acompañan pequeñas pro-

TABLA I  
Análisis químico de elementos mayoritarios (%)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 SiO <sub>2</sub>	0,05	0,05	63,12	88,58	58,12	63,53	32,06	30,12
2 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,41	0,74	22,88	6,08	—	—	17,97	20,18
3 TiO <sub>2</sub>	—	—	0,79	—	—	—	1,00	1,20
4 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (*)	0,64	0,86	5,42	0,62	—	—	0,22	—
5 MgO	21,19	21,04	1,04	0,20	30,11	31,30	33,41	32,35
6 CaO	30,24	30,75	0,87	0,72	3,21	—	1,51	0,97
7 Na <sub>2</sub> O	0,29	0,42	n.d.	0,28	—	—	1,17	1,24
8 K <sub>2</sub> O	0,13	0,23	n.d.	2,35	—	—	0,47	0,57
9 P. cal.	47,11	46,10	4,90	1,32	8,90	4,86	12,56	13,43
10 Total	100,06	100,19	99,02	100,15	100,72	99,99	100,38	100,16

(\*) Hierro total expresado en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

TABLA II  
Elementos en trazas (ppm)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 Cu	<10	10	<10	0	0	—	0	—
2 Zn	0	0	<10	0	0	—	<10	<10
3 Ni	22	27	34	0	25	—	34	35
4 Co	34	56	36	72	16	—	12	12
5 Cr	20	47	77	37	26	—	22	49
6 Sr	64	85	28	34	17	—	10	10
7 Li	<10	<10	66	10	10	—	18	13
8 Rb	0	0	<10	37	0	—	0	0

TABLAS I Y II

Columna 1. Mármoles dolomíticos de Somontín-Lúcar.  
 Columna 2. Mármoles de El Campillo-Purchena.  
 Columna 3. Micaesquistos verde-azulados de Somontín-Lúcar (HOYOS DE CASTRO y AHUMADA, 1951 a).  
 Columna 4. Micaesquistos verde-grisáceos, próximos a la mineralización de El Campillo-Purchena.  
 Columna 5. Talco blanco de Somontín, muestra general.  
 Columna 6. Talco blanco, muestra de pureza excepcional.  
 Columna 7. Talco moreno de Somontín-Lúcar.  
 Columna 8. Talco moreno de El Campillo-Purchena.

Notas

- 1.º P. cal.=Pérdida por calcinación.
  - 2.º El contenido medio en flúor del talco blanco (columnas 5 y 6) es de 0,34 por 100.
- n.d.=no determinado.  
 — =no detectado.

TABLA III

Composición mineralógica de la fracción insoluble en CIH 0,4 N de los mármoles dolomíticos

Especies	1	2	3	4
1 Talco ... ..	xxx	?	—	xx
2 Clorita ... ..	x	xx	xxx	xxx
3 Mica ... ..	?	?	—	x
4 Cuarzo ... ..	x	x	x	—
5 Feldespato ... ..	?	x	—	—
6 Goethita ... ..	—	xx	x	—
7 Pirita ... ..	—	xx	x	—

TABLA III

- Columna 1. Roca encajante del talco *blanco* (mármol), inmediata a la mineralización (Somontín-Lúcar).
- Columna 2. Roca encajante del talco *blanco* (mármol), lejos de la mineralización.
- Columna 3. Roca encajante del talco *moreno* (mármol), lejos de la mineralización (El Campillo-Purchena).
- Columna 4. Roca encajante del talco *moreno* (mármol), inmediata a la mineralización.

Nota

?=presencia dudosa.

porciones de mica. Por el contrario, en la roca más distante a las mineralizaciones, dicho residuo insoluble se caracteriza por la ausencia de talco, por la presencia de clorita, que ahora es el componente dominante junto con las menas opacas (pirita+goethita) y por una pequeña proporción de cuarzo.

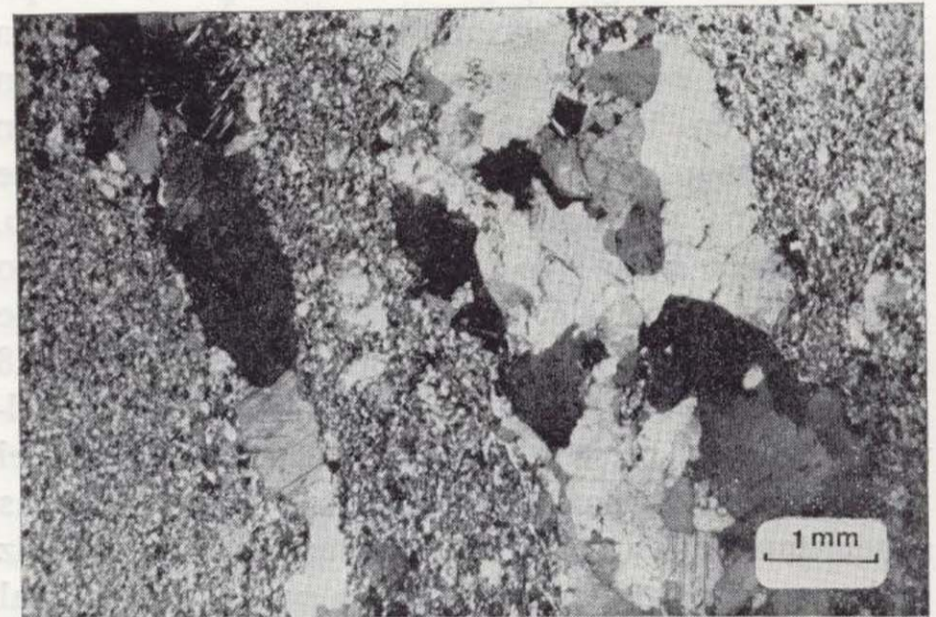
4.2 Micaesquistos

Aparecen intercalados entre los mármoles dolomíticos, con los que están relacionados por un contacto mecánico. En Somontín-Lúcar son de color verde-azulado, con una potencia máxima, visible, de unos 60 m.; en cambio, en El Campillo-Purchena encontramos paquetes de micaesquistos verde-grisáceos con epidota e intercalaciones cuarcíicas, cuya potencia oscila entre unos 8 y 40 m., incluidos en los mármoles dolomíticos.

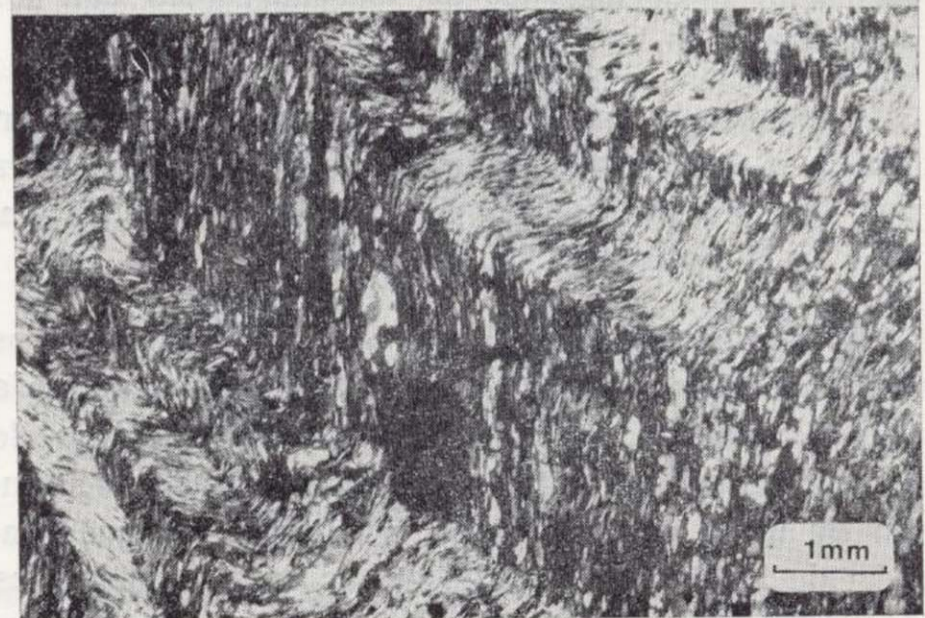
Se encuentran bastante replegados, con una esquistosidad patente y engloban lentejones de cuarcita, muy especialmente hacia la parte superior del yacimiento de «El Campillo-Purchena». En lámina delgada se comprueba la existencia de una textura esquistosa y se observa una etapa de

deformación y otra posterior de microplegado. La primera da lugar a la orientación de las micas y a la disposición de los granos de cuarzo y plagioclasas en delgados lechos paralelos y alternantes a los de micas. En la etapa de microplegado —responsable de la aparición de los pliegues similares— se desarrolla una esquistosidad discontinua de crenulación, marcada por la mica y el cuarzo (ver fig. 5). También se encuentra cuarzo, sin extinción ondulante, que parece haberse formado en una etapa posterior a los esfuerzos que causaron las anteriores deformaciones.

En los micaesquistos de El Campillo-Purchena, el estudio en lámina delgada permite distinguir dos esquistosidades de flujo muy patentes: una primera, marcada por la orientación preferencial de mica y epidota, y otra posterior, de plano axial



4



5

Figura 4.—Recristalizaciones en los mármoles dolomíticos de «El Campillo-Purchena» (muestra próxima al contacto con los micaesquistos). Con analizador.

Figura 5.—Aspecto de las esquistosidades desarrolladas en los micaesquistos (Somontín-Lúcar). Con analizador.

TABLA III

Composición mineralógica de la fracción insoluble en CIH 0,4 N de los mármoles dolomíticos

Especies	1	2	3	4
1 Talco ... ..	xxx	?	—	xx
2 Clorita ... ..	x	xx	xxx	xxx
3 Mica ... ..	?	?	—	x
4 Cuarzo ... ..	x	x	x	—
5 Feldespato ... ..	?	x	—	—
6 Goethita ... ..	—	xx	x	—
7 Pirita ... ..	—	xx	x	—

TABLA III

Columna 1. Roca encajante del talco blanco (mármol), inmediata a la mineralización (Somontín-Lúcar).  
 Columna 2. Roca encajante del talco blanco (mármol), lejos de la mineralización.  
 Columna 3. Roca encajante del talco moreno (mármol), lejos de la mineralización (El Campillo-Purchena).  
 Columna 4. Roca encajante del talco moreno (mármol), inmediata a la mineralización.

Nota

?=presencia dudosa.

porciones de mica. Por el contrario, en la roca más distante a las mineralizaciones, dicho residuo insoluble se caracteriza por la ausencia de talco, por la presencia de clorita, que ahora es el componente dominante junto con las menas opacas (pirita+goethita) y por una pequeña proporción de cuarzo.

4.2 Micaesquistos

Aparecen intercalados entre los mármoles dolomíticos, con los que están relacionados por un contacto mecánico. En Somontín-Lúcar son de color verde-azulado, con una potencia máxima, visible, de unos 60 m.; en cambio, en El Campillo-Purchena encontramos paquetes de micaesquistos verde-grisáceos con epidota e intercalaciones cuaríticas, cuya potencia oscila entre unos 8 y 40 m., incluidos en los mármoles dolomíticos.

Se encuentran bastante replegados, con una esquistosidad patente y engloban lentejones de cuarcita, muy especialmente hacia la parte superior del yacimiento de «El Campillo-Purchena». En lámina delgada se comprueba la existencia de una textura esquistosa y se observa una etapa de

deformación y otra posterior de microplegado. La primera da lugar a la orientación de las micas y a la disposición de los granos de cuarzo y plagioclasas en delgados lechos paralelos y alternantes a los de micas. En la etapa de microplegado —responsable de la aparición de los pliegues similares— se desarrolla una esquistosidad discontinua de crenulación, marcada por la mica y el cuarzo (ver fig. 5). También se encuentra cuarzo, sin extinción ondulante, que parece haberse formado en una etapa posterior a los esfuerzos que causaron las anteriores deformaciones.

En los micaesquistos de El Campillo-Purchena, el estudio en lámina delgada permite distinguir dos esquistosidades de flujo muy patentes: una primera, marcada por la orientación preferencial de mica y epidota, y otra posterior, de plano axial

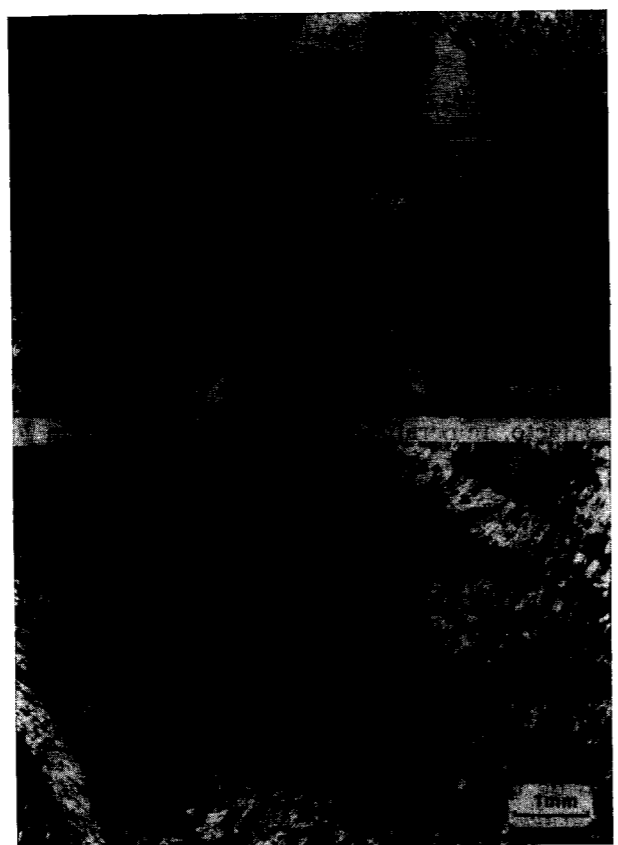


Figura 4.—Recristalizaciones en los mármoles dolomíticos de «El Campillo-Purchena» (muestra próxima al contacto con los micaesquistos). Con analizador.

Figura 5.—Aspecto de las esquistosidades desarrolladas en los micaesquistos (Somontín-Lúcar). Con analizador.

de pliegues isoclinales. En estos micaesquistos se observan menas metálicas, unas orientadas y otras sin orientar. En la proximidad del contacto micaesquistos-mineralización se comprueba un notable enriquecimiento en cuarzo, la esquistosidad aparece microplegada y la roca muy tectonizada.

En la tabla IV, se resume la composición mineralógica de los micaesquistos, deducida de los estudios en lámina delgada y por difracción de rayos X.

TABLA IV

Composición mineralógica de los micaesquistos

Especies	1	2
1 Cuarzo ... ..	xxx	xxx
2 Moscovita ... ..	xx	xx
3 Feldespato K ... ..	x	—
4 Biotita ... ..	x	x
5 Turmalina ... ..	x	x
6 Menas opacas ... ..	x	x
7 Clorita ... ..	x	x
8 Plagioclasas ... ..	x	x
9 Epidota ... ..	i	x
10 Rutilo ... ..	i	x

TABLA IV

Columna 1. Somontín-Lúcar.  
 Columna 2. El Campillo-Purchena.

Nota

xxx=muy abundante.  
 xx =medianamente abundante.  
 x =poco abundante o muy poco abundante.  
 i =indicios.  
 — =no detectado.

5. MINERALIZACIONES

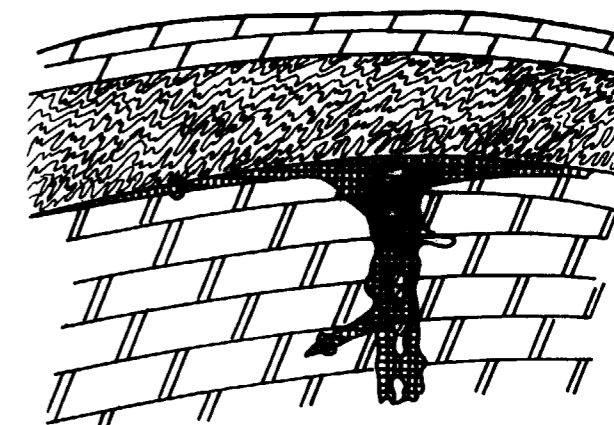
El mineral útil de estos yacimientos es el talco, en el que por su color, morfología y composición mineralógica, se pueden distinguir dos variedades muy bien diferenciadas. De acuerdo con el color, fiel reflejo de la composición mineralógica, siguiendo la nomenclatura de los mineros del lugar, las denominaremos talco blanco y talco moreno. El primero, asociado a fracturas de los mármoles, sólo se encuentra en el yacimiento de Somontín-Lúcar, mientras que el talco moreno, ligado al contacto de los micaesquistos-mármoles, se encuentra tanto en Somontín-Lúcar como en El Campillo-Purchena.

5.1. Talco blanco

Llamado así por su color, es notable por su excepcional blancura. Encaja en los mármoles dolomíticos grises (ver fig. 6), de Somontín-Lúcar, donde rellena fallas de dirección general E-O con buzamiento vertical o subvertical, dando lugar a masas filonianas cuya potencia suele variar entre unos centímetros y varios metros. Dicha potencia, que nunca rebasa los 10 m., generalmente está comprendida entre 1 y 2 metros.

El contacto del talco con la roca de caja (mármoles dolomíticos) muestra un aspecto variable de unos puntos a otros. Aparentemente el talco corroe a los mármoles, aunque a veces pueden observarse restos de superficies de falla, perfectamente conservados, con estrías e incluso con pátinas de óxidos de hierro.

Dentro de las masas del talco blanco se encuentran con frecuencia bloques redondeados de mármol y de dolomita espática. Los primeros tienen un diámetro que suele estar comprendido



0 5 mts

Figura 6.—Esquema de ubicación de la mineralización y de sus relaciones con las rocas encajantes.

- A. Calizas marmóreas con dolomías.
- B. Micaesquistos verde-azulados.
- C. Mineralización de talco.
- D. Mármoles dolomíticos grises.

entre 0,1 y 1 m. Su composición mineralógica es análoga a la de la roca encajante, lo que nos induce a pensar que sean restos de ella. El estudio microscópico de estos bloques, revela la existencia de granos de carbonatos de dos tamaños diferentes: unos pequeños, de 30 a 100µ, y otros mayores con diámetro igual o superior al mm. Estos últimos engloban talco y granos pequeños de carbonatos, estando a su vez envueltos por el talco (ver fig. 7). Dichas observaciones sugieren un proceso de recristalización, responsable de la aparición de los granos mayores. Por el contrario, donde predominan los granos pequeños, posible reliquia sin transformar de la roca encajante, el talco falta o existe en pequeña cantidad.

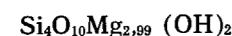
En segundo lugar debemos destacar la existencia de masas redondeadas, de aspecto aborregado, con diámetro comprendido entre unos 10 y 50 cm. que liberan fácilmente romboedros grandes, de color blanco lechoso, de dolomita. Intercrecidos en la dolomita se encuentran, esporádicamente, agregados fibroso-radiados blancos, muy frágiles, cuyo diámetro es del orden del cm., constituidos por acículas delgadísimas (~10-30µ, diámetro) de anfíbol tremolítico asociadas a talco, calcita e indicios de cuarzo.

La composición mineralógica media del talco blanco, deducida a partir de los datos del análisis químico (ver tabla I, columna 5) y del estudio por difracción de rayos X, es la siguiente:

Talco, 90 por 100; dolomita, 6 por 100; calcita 4 por 100.

A las especies minerales anteriores se podría añadir la pirita, la cual de una manera excepcional se ha llegado a encontrar asociada al talco blanco en forma de pequeños cubos, con arista igual o inferior al milímetro.

En este yacimiento hemos conseguido muestras de una excepcional pureza, en cuyo diagrama de difracción no se ha detectado ningún mineral aparte del talco. La fórmula estructural —para 12 oxígenos— deducida a partir del análisis químico (tabla I, columna 6), es la siguiente:



### 5.2. Talco moreno

Es de color marrón-grisáceo claro y untuoso al tacto. Aún cuando las condiciones de observación

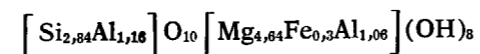
y para la toma de muestras son difíciles y arriesgadas en El Campillo-Purchena, por encontrarnos en este yacimiento con labores de interior abandonadas, podemos afirmar que se localizan en el contacto mecánico de los mármoles dolomíticos con los micaesquistos verde-grisáceos con epidota. De manera análoga en Somontín-Lúcar se localizan en el contacto mecánico de dichas rocas carbonatadas con los micaesquistos verde-azulados (ver figura 6).

Las masas mineralizadas tienen siempre una potencia inferior al metro y siguen fielmente al contacto mecánico de los mármoles con los micaesquistos en El Campillo-Purchena. Aparte de esta disposición general, en Somontín-Lúcar las mineralizaciones de talco *moreno* pueden prolongarse dentro de los mármoles siguiendo las fallas, ya citadas, de dirección E-O, en las que se pasa gradualmente al talco blanco (ver fig. 6).

El contacto del talco *moreno* con los micaesquistos es muy neto, con la particularidad de poder observarse en ambos materiales las mismas direcciones de esquistosidad. En cambio el contacto con los mármoles es de aspecto irregular y el talco ofrece tonalidades más claras.

En lámina delgada se comprueba que la mineralización está formada por una mezcla íntima de clorita y talco, en la que no se llegan a diferenciar lechos más ricos en uno u otro mineral, y que, en conjunto, define una esquistosidad microplegada muy patente (ver fig. 8).

En la tabla V (columnas 2 y 3), se resume la composición mineralógica del talco *moreno* de ambos yacimientos. En los dos casos existe un claro predominio de la clorita sobre el talco, la cual puede alcanzar el 80 por 100 de la mineralización. A partir de los diagramas de difracción de rayos X, se ha comprobado que las cloritas asociadas al talco *moreno* de ambos yacimientos son análogas, y se ha determinado la fórmula estructural, que en el caso de Somontín-Lúcar es la siguiente (base 18 oxígenos).



Para el cálculo del Al<sup>IV</sup> se ha utilizado la fórmula de KEPEZHINSKAS (1965), deduciéndose por diferencia el Si<sup>IV</sup>. El Al<sup>VI</sup> y el Fe se han determinado por el método de NIETO et al. (comunicación personal).

TABLA V  
Composición mineralógica de los talcos morenos

Minerales	1	2
1 Talco	xx	xx
2 Clorita	xxx	xxx
3 Dolomita	x	i
4 Calcita	—	i
5 Rutilo	—	i
6 Pirita	i	i
7 Cuarzo	—	i

TABLA V

Columna 1. Somontín-Lúcar.  
Columna 2. El Campillo-Purchena.

Nota

xxx=muy abundante.  
xx =medianamente abundante.  
x =poco abundante a muy poco abundante.  
i =indicios.  
— =no detectados.

De acuerdo con la clasificación de FOSTER (1962), dichas cloritas corresponden al término clinocloro.

El análisis químico de los talcos *morenos* (ver tabla I, columnas 7 y 8), muestra unos valores muy parecidos en ambos casos y nos corrobora el fuerte predominio de la clorita sobre el talco, que acabamos de comentar.

Las restantes especies asociadas al talco *moreno*, salvo la dolomita en Somontín-Lúcar, son muy poco abundantes y generalmente se encuentran en forma de indicios. Mención especial merece la pirita que aparece esporádicamente en Somontín-Lúcar, por el desarrollo y belleza de sus cristales, en forma de pentagonododecaedros {210}, a veces aislados, generalmente contrahechos (alargados según el eje binario) cuyo diámetro oscila entre 0,5 y 5 cm.

Por último, es interesante destacar la ausencia de talco blanco en relación con un sistema de fracturas de dirección E-O en los mármoles de El Campillo-Purchena, lo que nos induce a pensar en ligeras diferencias de orden estructural respecto a Somontín-Lúcar, aún cuando ambas mineralizaciones estén relacionadas con unidades análogas y presenten ciertas similitudes en lo relativo a su composición química y mineralógica.

### 6. DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES

Los procesos más frecuentes, invocados para explicar la génesis de yacimientos de talco son: a) alteración hidrotermal de rocas ultrabásicas y de serpentinitas, y b) metamorfismo de dolomías silíceas o de dolomías asociadas a sedimentos silíceos. En este segundo proceso genético, la sílice reaccionaria con el magnesio de las rocas dolomíticas y daría lugar a la formación de talco.

Como ya se ha dicho anteriormente en el yacimiento de Somontín-Lúcar, se puede destacar la presencia de dos tipos de talco, cuyas características son:

— Talco blanco: Constituido esencialmente por la paragénesis talco+dolomita+calcita, ubicado en fracturas de los mármoles dolomíticos.

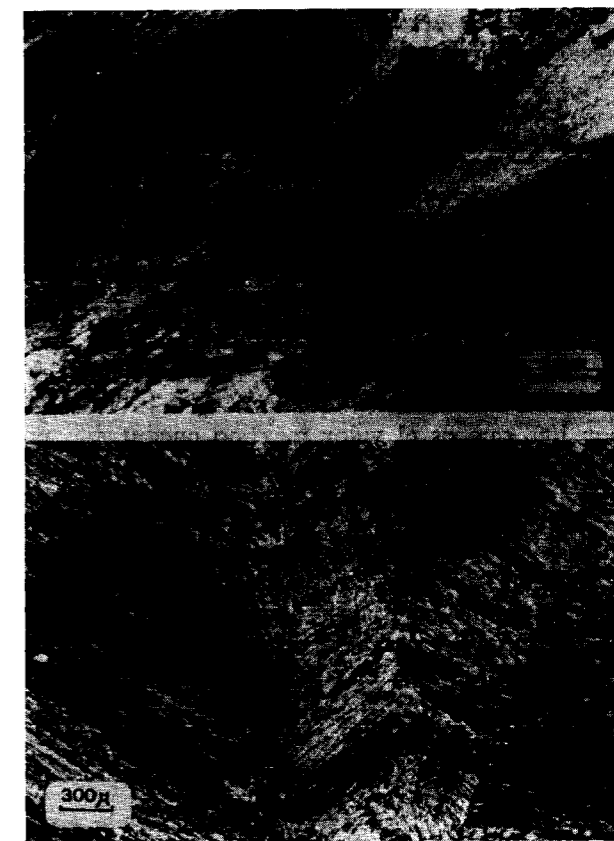


Figura 7.—Aspecto microscópico de las inclusiones de carbonatos en el talco blanco (Somontín-Lúcar). Con analizador.

Figura 8.—Detalle de las esquistosidades desarrolladas en el talco moreno (El Campillo-Purchena). Con analizador.

TABLA V

Composición mineralógica de los talcos morenos

Minerales		1	2
1	Talco ... ..	xx	xx
2	Clorita ... ..	xxx	xxx
3	Dolomita ... ..	x	i
4	Calcita ... ..	—	i
5	Rutilo ... ..	—	i
6	Pirita ... ..	i	i
7	Cuarzo ... ..	—	i

TABLA V

Columna 1. Somontín-Lúcar.

Columna 2. El Campillo-Purchena.

## Nota

xxx=muy abundante.

xx =medianamente abundante.

x =poco abundante a muy poco abundante.

i =indicios.

— =no detectados.

De acuerdo con la clasificación de FOSTER (1962), dichas cloritas corresponden al término clinocloro.

El análisis químico de los talcos *morenos* (ver tabla I, columnas 7 y 8), muestra unos valores muy parecidos en ambos casos y nos corrobora el fuerte predominio de la clorita sobre el talco, que acabamos de comentar.

Las restantes especies asociadas al talco *moreno*, salvo la dolomita en Somontín-Lúcar, son muy poco abundantes y generalmente se encuentran en forma de indicios. Mención especial merece la pirita que aparece esporádicamente en Somontín-Lúcar, por el desarrollo y belleza de sus cristales, en forma de pentagonododecaedros {210}, a veces aislados, generalmente contrahechos (alargados según el eje binario) cuyo diámetro oscila entre 0,5 y 5 cm.

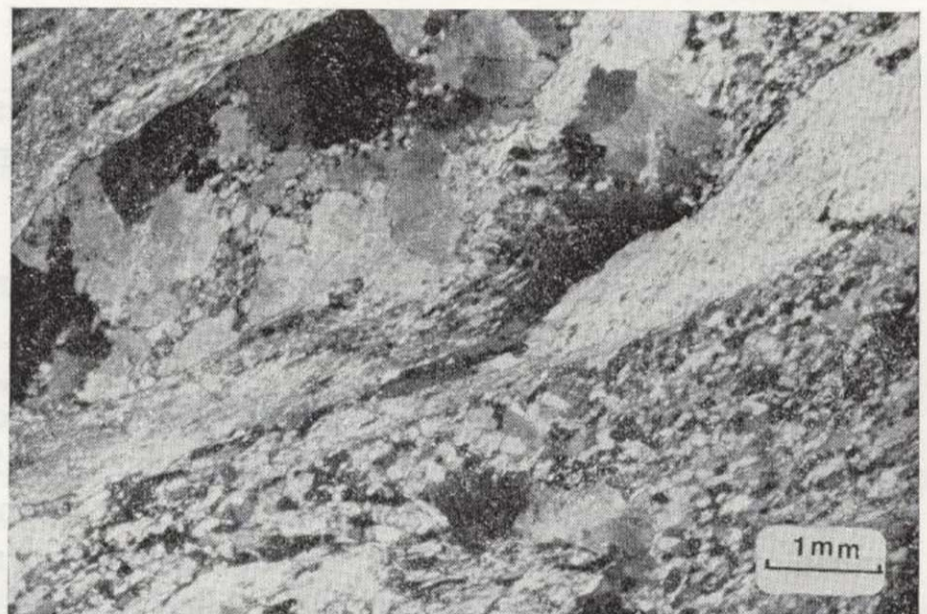
Por último, es interesante destacar la ausencia de talco *blanco* en relación con un sistema de fracturas de dirección E-O en los mármoles de El Campillo-Purchena, lo que nos induce a pensar en ligeras diferencias de orden estructural respecto a Somontín-Lúcar, aún cuando ambas mineralizaciones estén relacionadas con unidades análogas y presenten ciertas similitudes en lo relativo a su composición química y mineralógica.

## 6. DISCUSION GENERAL Y CONCLUSIONES

Los procesos más frecuentes, invocados para explicar la génesis de yacimientos de talco son: a) alteración hidrotermal de rocas ultrabásicas y de serpentinitas, y b) metamorfismo de dolomías silíceas o de dolomías asociadas a sedimentos silíceos. En este segundo proceso genético, la sílice reaccionaria con el magnesio de las rocas dolomíticas y daría lugar a la formación de talco.

Como ya se ha dicho anteriormente en el yacimiento de Somontín-Lúcar, se puede destacar la presencia de dos tipos de talco, cuyas características son:

- Talco *blanco*: Constituido esencialmente por la paragénesis talco+dolomita+calcita, ubicado en fracturas de los mármoles dolomíticos.



7



8

Figura 7.—Aspecto microscópico de las inclusiones de carbonatos en el talco *blanco* (Somontín-Lúcar). Con analizador.

Figura 8.—Detalle de las esquistosidades desarrolladas en el talco *moreno* (El Campillo-Purchena). Con analizador.

— Talco *moreno*: Caracterizado por la paragénesis clorita+talco+dolomita, situado entre los micaesquistos y los mármoles dolomíticos.

En El Campillo-Purchena sólo encontramos talco *moreno*, definido por una paragénesis más sencilla que en Somontín-Lúcar, a base de clorita y talco.

Antes de proponer una hipótesis genética para el talco vamos a destacar algunas circunstancias, ya citadas en la descripción de estos yacimientos.

— El contenido en sílice de los mármoles dolomíticos —roca de caja por excelencia— es claramente insuficiente para formar las cantidades de talco observadas.

— Los contenidos en F (0,34 por 100) y Ni (20-50 ppm) son muy diferentes a los que suelen hallarse en los talcos asociados a rocas ultrabásicas y serpentinitas.

— Enriquecimiento en calcita de los niveles superiores a los mármoles dolomíticos, en las proximidades del talco.

— Paso gradual del talco *blanco* a *moreno* en las cercanías de los micaesquistos.

En efecto, el contenido en flúor (1) del talco blanco (0,34 por 100) cae dentro de los valores 0,11 a 0,48 que Ross et al. (1968) proponen como intervalo característico de los talcos asociados a rocas carbonatadas, y queda muy lejos del 0,04 por 100, que es el valor máximo encontrado por dichos autores en los talcos asociados a rocas ultramáficas.

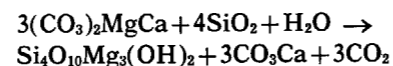
Asimismo, los datos analíticos acerca del Ni corroboran la ausencia de cualquier relación genética con este tipo de rocas, si se tiene en cuenta el bajo contenido de dicho elemento en los talcos estudiados (20 a 50 ppm) frente a los valores propios de las mineralizaciones asociadas a serpentinitas del SE de España (ACOSTA, 1979) que se sitúan por encima de los 1.400 ppm.

Por último, las observaciones de índole geológica confirman la ausencia de rocas ultramáficas

(1) Debido al elevado contenido de clorita en los talcos *morenos* (~60-80%) sólo se utiliza el flúor (expresado en forma de ión F<sup>-</sup>) de los talcos blancos, como argumento en la discusión genética.

y de serpentinitas en relación con los talcos de la Sierra de las Estancias.

Teniendo en cuenta las relaciones espaciales existentes entre la mineralización y las rocas encajantes, el quimismo de éstas y los cuatro puntos que acabamos de destacar, podemos invocar para la formación del talco *blanco* un aporte de sílice procedente de los micaesquistos y un proceso de disolución de la dolomita, a partir de las cuales se formaría talco, de acuerdo con METZ y WINKLER (1963) y METZ (1970) según la reacción:



El aporte de sílice sería insuficiente para transformar en talco toda la dolomita disuelta, por lo cual quedaría un exceso de magnesio. Parte de éste actuaría sobre las rocas aluminosilicatadas para formar clorita, a partir de las micas, dando lugar a la aparición del talco *moreno*. El resto del magnesio recristalizaría en forma de dolomita, la cual se encuentra dispersa en los filones de talco, aunque localmente puede aparecer en forma de masas espáticas a veces de tamaño considerable.

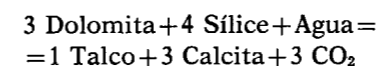
Para los talcos *morenos* de El Campillo-Purchena, se podría invocar un proceso semejante al que acabamos de describir para Somontín, según el cual el magnesio, procedente de la disolución de la dolomita, reaccionaría con las rocas aluminosilicatadas (micaesquistos) para dar clorita y talco.

Del estudio de las láminas delgadas se deduce que la formación del talco es sincinemática o anterior a la segunda fase de deformación Alpina, ya que dicho talco está afectado por la esquistosidad continua desarrollada en esta fase. Por otra parte, dado que no se ha observado al microscopio la esquistosidad ocasionada en la primera etapa de deformación, por estar obliterada por la segunda, no se puede relacionar la formación del talco respecto a dicha fase. Así pues, sólo se puede concluir que la formación talco es anterior, o a lo sumo sincinemática, de la segunda fase de deformación Alpina.

Según DELGADO SALAZAR (1978), que recoge los datos de otros autores sobre materiales Alpujarrides en el SE de España, las dos fases primeras del metamorfismo alpino se desarrollan a presio-

nes y temperaturas intermedias. Los valores obtenidos se sitúan entre 2 y 5 Kbárs.

De acuerdo con estos datos, si tenemos en cuenta la reacción que conduce a la formación de talco (METZ y WINKLER, 1963; METZ, 1970):



la temperatura alcanzada en el proceso de formación del talco podría oscilar entre 400 y 600° C, dependiendo de cual fuera la presión parcial del CO<sub>2</sub>.

Por último, si se tiene en cuenta que la tremolita sólo ha llegado a localizarse de una forma esporádica, se puede deducir que al menos en puntos muy localizados del yacimiento se hayan podido alcanzar los 600° C de temperatura.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Prof. J. THIEBAUT y col. del Departamento de Pétrographie et Minéralogie de Besonçon (Francia), al Dr. F. HUERTAS GARCÍA de la Estación Experimental del Zaidín (C. S. I. C., Granada) y al Prof. O. J. SIMON del Geologische Instituut der Universiteit de Amsterdam, por la ayuda prestada.

#### BIBLIOGRAFIA

- ACOSTA ECHEVARRÍA, A.: *Estudio mineralógico y genético de los yacimientos de talco del SE de España (Almería, Granada, Murcia)*. Tesis Doctoral. Univ. Granada (inédita) (1979).
- ACOSTA ECHEVARRÍA, A.; RODRÍGUEZ GALLEGU, M., y GARCÍA-CERVIGÓN, A.: *Estudio mineralógico de los yacimientos de talco de Somontín-Lúcar (Almería)*. Est. Geol. 30, 459-461 (1974).
- ALVAREZ ESTRADA, D.: *Estudios sobre talcos españoles y sus aplicaciones en dieléctricos para la alta frecuencia*. Tesis Doctoral. Univ. Madrid (1952).

BRINDLEY, G. W., y GILLERY, F. H.: *X-ray identification of chlorites species*. Am. Mineral. 41, 169-186 (1956).

DELGADO SALAZAR, F.: *Los Alpujarrides en Sierra de Baza (Cordilleras Béticas, España)*. Tesis Doctoral. Serv. Publ. Univ. Granada (en prensa) (1978).

FOSTER, M. D.: *Interpretation of the composition and classification of the chlorites*. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper. 41-A, 1-33 (1962).

KEPEZHINSKAS: *Composition of chlorites as determined from their physical properties*. Dokl. Akad. Nauk. S.S.S.R. (Siml. Nauk), 164, 126-129 (1965).

HERNÁNDEZ SAMPELAYO, P.: *Informe geológico y minero sobre las esteatitas y talcos de Lúcar y Somontín (Almería)*. Minería y Metalurgia. Bol. Ofic. Minas. 24, 3-21 (1943).

HOYOS DE CASTRO, A., y AHUMADA, M.: *Génesis de un talco de Lúcar (Almería)*. Anal. Edaf. 10, 117-124 (1951b).

HOYOS DE CASTRO, A., y AHUMADA, M.: *Análisis de un talco de Lúcar (Almería)*. Anal. Edaf. 10, 117-124 (1951b).

JIMÉNEZ DE CISNEROS: *Excursiones al terreno arcaico de Macael y Somontín*. Bol. Soc. Esp. Hist. Nat. 6, 428-437 (1906).

METZ, P.: *Experimental investigation of metamorphism of siliceous dolomites. I: Equilibrium data of reaction: 3 dolomite + 4SiO<sub>2</sub> + 1H<sub>2</sub>O → 1talco + 3CO<sub>2</sub>Ca + 3CO<sub>2</sub>, determined for total pressure of 1000, 3000, 5000 bars*. Contr. Mineral. Petrol. 26, 302-314 (1970).

METZ, P. W., und WINKLER, H. G. F.: *Experimentelle Gesteins metamorphose. VII: Die Bildung von Talk kieslinger Dolomit*. Geochim. Cosmochim. Acta. 27, 431-457 (1963).

NIETO GARCÍA, F.; MARTÍN RAMOS, J. D.; LÓPEZ AGUAYO, F., y RODRÍGUEZ GALLEGU, M.: *Relación entre las intensidades de las reflexiones basales y el contenido y distribución de átomos pesados en cloritas*. Cuad. Geol. (en prensa) (1980).

ROSS, M.; SMITH, W. L., and ASHTON, W. H.: *Triclinic talc and associated amphiboles from Gouverneur Mining District, New York*. Am. Mineral. 53, 751-769 (1968).

SHAPIRO, L., y BRANNOCK, W. W.: *Rapid analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks*. U.S. Geol. Surv. Bull. 144 A (1962).

WINKLER, H. G. F.: *Petrogenesis of metamorphic rocks*. Springer Verlag. Berlin, X+300 pp. (1965).

Recibido: Abril de 1982.



## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

## Mineralogía y génesis del yacimiento de azufre nativo de Benamaurel (Granada)

Por A. GARCIA-CERVIGON BELLON (\*), E. M. SEBASTIAN PARDO (\*)  
y M. RODRIGUEZ GALLEGO (\*)

## RESUMEN

Se realiza el estudio mineralógico y genético del yacimiento estratiforme de azufre nativo del Cerro Minado (Benamaurel, prov. Granada), que encaja en la Formación de Baza (Depresión de Guadix-Baza, Cordilleras Béticas). Esta formación evaporítica se depositó en una cuenca de tipo albufera o lagoon.

En la zona de Benamaurel-Baza la serie sedimentaria está formada por una alternancia de margas dolomítico-yesíferas y dolomías con intercalaciones de niveles de yesos. La mineralogía del entorno inmediato a las menas de azufre está constituida por dolomita, yeso, cuarzo y minerales laminares (ilita, montmorillonita, caolinita y paragonita).

El azufre nativo aparece formando un corto número de niveles delgados (0,5-6 cm.) y concordantes con la estratificación. Es de grano muy fino y de una notable pureza. Entre los minerales de alteración destaca la epsomita con pequeñas proporciones de hexahidrita y kieserita.

Teniendo en cuenta el medio de depósito, las características geométricas (estratiforme y concordante) de la mena, así como la ausencia de indicios de hidrocarburos, se propone un origen singenético para estas mineralizaciones.

## ABSTRACT

A mineralogical study and a genetic hypothesis on the stratiform native sulphur deposit from Cerro Minado (Benamaurel, Granada province), related to the Baza Formation (Guadix-Baza basin, Betic Mountains Range) is done. In a lagoonal basin type this evaporitic formation was deposited.

In the Benamaurel-Baza zone the sedimentary serie is built up by gypsum marls and dolomite rocks alternated with interlayered gypsum beds. Dolomite, gypsum, quartz and phyllosilicates (illite, montmorillonite, kaolinite and paragonite) are the minerals from levels which contain the sulphur ore.

The native sulphur forms a short number of thin layers (0,5 to 6 cm) following the stratification. The sulphur is very fine grained and has a high purity. Among the weathering products of sulphur, epsomite and minor quantities of hexahydrate and kieserite are detected.

Taking into account the deposition environment, the geometrical characteristics of ore which is stratiform and the lack of any hydrocarbon evidence a syngenetic origin for this sulphur ore is proposed.

## INTRODUCCION

El azufre es uno de los elementos no metálicos más importantes por el tonelaje de la producción mundial. El análisis de la probable evolución del consumo y de la producción mundial muestra una tendencia al descenso de la oferta sobre la demanda para la década de los años 80 (BODENLOS y NELSON, 1979), lo que conducirá a una revalorización de sus criaderos.

(\*) Departamento de Cristalografía y Mineralogía e Instituto de Investigaciones Geológicas. Sección de Geología. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada.

La bibliografía acerca de los yacimientos españoles de azufre es escasa e incluso remota. El trabajo de MESEGUER PARDO (1924), se circunscribe a las provincias de Murcia y Albacete, y es de escaso valor en la actualidad. En relación con los de Benamaurel, que CALDERÓN (1910) sólo cita de pasada, cabe destacar su modesto tonelaje, y el carácter arcaico de las explotaciones. La ausencia de estadísticas y la profusión de excavaciones de dimensiones exiguas, atestiguan que la extracción fue de tipo artesanal y solamente una galería horizontal, de unos 90 m. de longitud, constituye un testigo inequívoco de un

último ensayo de explotación a mayor escala. Por último, podemos añadir que los permisos de explotación más recientes datan de los años 60 a 65, según los archivos de la Delegación Provincial de Minas de Granada, y todos ellos están caducados.

## SITUACION GEOGRAFICA Y GEOLOGICA

## Situación geográfica

El yacimiento, objeto del presente artículo, se encuentra situado en la Hoja núm. 972 (Cúllar-Baza) del M. T. N. de España a escala 1/50.000, en la margen derecha del arroyo del Salar, unos 6 Km. al NE de Benamaurel, en los parajes denominados *El Minado* y *Cerro Minado* (ver fig. 1).

Sus coordenadas geográficas son:

2° 38' 55" de longitud O (1)  
37° 38' 38" de latitud N

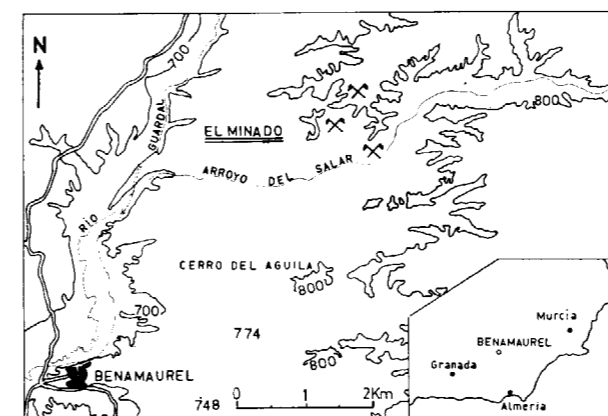


Figura 1.—Localización Geográfica del Yacimiento de Azufre nativo de Benamaurel.

## Situación geológica

Las menas de azufre nativo se encuentran intercaladas en la zona central de la Formación de Baza, diferenciada por VERA (1970) en la parte oriental de la Depresión de Guadix-Baza (Cordilleras Béticas). Según VERA esta formación está constituida esencialmente por calizas y margocalizas con yesos y lutitas —afectadas por un grado de dolomitización variable según los puntos— de edad Plioceno-Pleistoceno, sedimentadas en

(1) Meridiano de Greenwich, datum europeum.

una cuenca de tipo albufera o lagoon, de aguas salobres. El medio de depósito se caracterizó, en general, por la ausencia de corrientes en un clima árido y cálido. En la parte central la potencia visible de la formación es de 300 m., aunque la potencia real supere posiblemente los 1.000 m. de acuerdo con los datos de geofísica (ESTEBAN SANTISTEBAN, 1968).

En las cercanías de Benamaurel, los procesos de dolomitización han sido bastante más acusados que en las zonas periféricas. Su litología está constituida esencialmente por una alternancia rítmica de margas dolomítico-yesíferas y dolomías, con un neto predominio de las primeras, de colores muy claros, generalmente comprendidos entre el gris claro y el blanco. El yeso, que es abundante en esta formación, constituye unas veces niveles muy delgados de aspecto lutítico que alternan con las margas y otras aparece en forma de cristales lenticulares, amarillentos que cortan oblicuamente a la estratificación de los lechos margosos. Estos yesos macroscópicos son notables por su desarrollo y pueden encontrarse aislados, en maclas simples o en rosetas más o menos complejas, incluso en bancos. Cuando el yeso forma niveles continuos, éstos se encuentran replegados intensamente. Tales deformaciones podrían ser debidas a la hidratación de la anhidrita, que posiblemente formaría parte del sedimento original (VERA, 1970).

## ROCA ENCAJANTE

## Mineralogía

La roca de caja del azufre, de carácter esencialmente evaporítico, es la Formación de Baza (ver situación geológica). En Cerro Minado está constituida por una alternancia de niveles carbonatados de 15 a 20 cm. de potencia y de niveles yesíferos de unos 5 cm. de espesor. Se trata de materiales de grano fino, generalmente deleznales y pulverulentos, con algunas intercalaciones de niveles delgados de dolomías compactas y cristales lenticulares de yeso.

Del análisis mineralógico por difracción de rayos X se deduce la siguiente composición: dolomita, yeso, cuarzo, minerales laminares y eventualmente calcita, además del azufre. Los dos primeros, es decir, dolomita y yeso, son los com-



ponentes mayoritarios. Este último aparece tanto en forma pulverulenta, íntimamente mezclado con los restantes minerales, como en forma de cristales lenticulares, muy pobres en formas. Están limitados por caras y aristas fuertemente curvadas, en los que se pueden apreciar la presencia de las formas  $e\{103\}$  y  $1\{\bar{1}11\}$ . Unas veces aparecen aislados y otras maclados, e incluso en forma de rosetas, cuyo diámetro en las proximidades de la mineralización no suele exceder de 3 cm.

Los minerales de la arcilla encontrados en la fracción  $<2\mu$  son: ilita, montmorillonita, clorita, caolinita y paragonita. Los dos primeros son los más abundantes: en conjunto representan más del 85 por 100 de esta fracción. La caolinita y la clorita, por separado, no alcanzan el 10 por 100 del total, en tanto que la paragonita no pasa de indicios (ver tabla I).

TABLA I

Mineralogía de la fracción menor de  $2\mu$  de la roca encajante (%)

Muestra	Ilita	Clor.	Caol.	Montm.	Par.
1-1a	58	8	4	30	i
1-1b	56	8	5	31	i
1-1c	67	9	6	28	i
1-1d <sub>2</sub>	57	7	5	31	i
1-1e	58	7	5	30	i
1-1f	52	6	4	38	—
1-3b	50	3	2	45	—

Notas: Muestras 1-1b y 1-1d<sub>2</sub> corresponden a los niveles de lutitas negras con azufre.

i=indicios; Clor.=clorita; Caol.=caolinita; Montm.=montmorillonita; Par.=paragonita.

## MINERALIZACIONES

Se trata de un yacimiento estratiforme, concordante. La potencia de los bancos mineralizados no excede de un metro, y en ellos se encuentra un corto número de niveles de azufre, delgados —de dos a cuatro, generalmente— cuyo espesor es variable y oscila bruscamente desde unos milímetros hasta un máximo de 6 a 7 cm. Su continuidad lateral, que debe ser notable (se puede estimar en varios Km. como mínimo), queda demostrada por las excavaciones, numerosas y pequeñas, efectuadas desde tiempo inmemorial,

aprovechando las laderas más o menos abruptas, en las que resulta más fácil la localización de los niveles mineralizados.

Las condiciones de observación y de muestreo son poco favorables, debido a la rápida oxidación del azufre nativo en contacto con la atmósfera. Una excepción a lo que acabamos de decir lo constituye una galería horizontal con sección de unos  $2 \times 2$  m. y unos 90 m. de longitud, en cuyas paredes se pueden hacer excelentes observaciones acerca de la mineralización y de sus ulteriores alteraciones.

En dicha galería, y esporádicamente en las escombreras y barrancos adyacentes, se puede observar el azufre nativo cuyos colores oscilan entre un amarillo claro y un blanco amarillento, deleznable y de grano muy fino, de 5 a  $10\mu$  por término medio. Presenta un notable grado de pureza, tal como se deduce del análisis por difracción de rayos X. En superficie, y muy especialmente hacia la parte externa de las labores mineras, los nódulos de azufre aparecen más o menos alterados, pudiéndose observar todos los términos de transición entre el azufre más puro y los sulfatos, ya sean fibrosos o masivos.

Es interesante destacar que las galerías aparecen tapizadas interiormente, muy especialmente el techo, por agregados fibrosos, e incluso laniformes, cuyos colores oscilan entre el blanco más puro y el gris claro, excepcionalmente esponjosos y deleznales.

El análisis mineralógico por difracción de rayos X de las diferentes eflorescencias, que tapizan el interior de las labores mineras, muestra que su composición es bastante uniforme, con independencia de su aspecto de «visu».

Entre las especies determinadas destaca la epsomita con pequeñas proporciones de hexahidrita y de kieserita.

Es interesante señalar la relación íntima que existe entre el azufre nativo y unas capas delgadas de materiales lutíticos, oscuros, untuosos y fétidos que sobre el terreno parecen de naturaleza arcillosa. El análisis por difracción de rayos X permite comprobar que su mineralogía no es sustancialmente diferente, desde el punto de vista cualitativo, a la encontrada en los restantes niveles del entorno inmediato al azufre nativo, es decir, están constituidas por filosilicatos, yeso, cuarzo y dolomita.

Por último, es importante hacer notar que no se han detectado especies minerales tales como barita, celestina y aragonito, e incluso la calcita es bastante escasa. En cambio se han encontrado proporciones notables de celestina en la fracción descarbonatada de los niveles calcáreos de otros puntos de la cuenca (SEBASTIÁN PARDO et al., 1975). Cabe la posibilidad de que la ausencia del aragonito y la escasez o ausencia de la calcita se relacione con los procesos de dolomitización que ha sufrido la serie.

## CONSIDERACIONES GENERALES Y CONCLUSIONES

A los yacimientos de azufre nativo se les asigna un origen volcánico o sedimentario. Estos últimos se forman por reducción de sulfatos (yeso o anhídrita) en presencia de materia orgánica y se dividen en epigenéticos y singenéticos. En los epigenéticos la reducción de los sulfatos puede hacerse por hidrocarburos ligeros (metano, por ejemplo) o sólidos (materiales bituminosos), mientras que en los singenéticos intervienen otros tipos de materia orgánica. Es interesante destacar que, en un gran número de trabajos recientes, se invoca la acción de anaerobios (*Desulfovibrio desulfuricans*) y de aerobios, para explicar la formación del azufre nativo ligado a formaciones sedimentarias. En este sentido, son particularmente valiosos los datos aportados por el estudio de los isótopos estables del azufre y carbono.

El contexto geológico de la Depresión de Guadix-Baza nos permite excluir un origen volcánico para el azufre de Benamaurel. Por otra parte, la ausencia de indicios de hidrocarburos permite descartar asimismo un origen epigenético. Por ello es razonable centrar nuestra atención en un proceso singenético, hipótesis bastante coherente con las investigaciones de orden estratigráfico y mineralógico de la citada Depresión (VERA, 1970; PEÑA, 1979, y SEBASTIÁN PARDO, 1979).

IVANOV (1968), citado por DAVIS y KIRKLAND (1979), considera que el criterio principal para identificar los yacimientos biosingenéticos de azufre es su confinamiento a un horizonte estratigráfico definido y a una litofacies determinada. Como no se encuentran hidrocarburos en los yacimientos biosingenéticos, la calcita asociada al azufre debe proceder de algún otro tipo de materia orgánica. Según IVANOV, con el concurso de bacterias

anaerobias y en presencia de la materia orgánica abundante que se acumula en los «lagoons», los sulfatos pueden reducirse, lo cual conduce a la formación de azufre nativo, tal como se ha podido comprobar en el estudio de sedimentos actuales. Para DESSAU et al. (1962) la característica sedimentaria más típica y constante de un lagoon es la presencia de una alternancia de capas estériles con otras mineralizadas. Cuando la salinidad de las aguas es tal que impide el desarrollo de las bacterias, se paraliza bruscamente la sedimentación de azufre y se inicia la del yeso puro.

En Benamaurel existe una serie evaporítica propia de albufera o «lagoon» cuyas condiciones de depósito, de acuerdo con lo dicho anteriormente, son adecuadas para la sedimentación del azufre biosingenético. Además, la posible abundancia de materia orgánica en dicha cuenca queda corroborada por la presencia de capas de lignito en el borde oriental de esta formación, área de Cúllar-Baza (RUIZ BUSTOS, 1976) y en la Formación de Gorafe-Huélago dentro de la Depresión de Guadix-Baza (VERA, 1970; SEBASTIÁN PARDO et al., 1975). Asimismo se comprueba, en acuerdo con DESSAU et al. (1962) e IVANOV (1968), que el azufre nativo de Benamaurel está confinado a unos niveles muy bien definidos de lutitas oscuras y fétidas, las cuales muestran una perfecta continuidad lateral. Dichos niveles de lutitas no se ven afectados por diaclasas, a favor de las cuales hubiesen podido emigrar unos hipotéticos hidrocarburos, para originar un yacimiento epigenético. Ahora bien, la formación de un yacimiento singenético no acaba en la producción del  $\text{SH}_2$ ; es necesario un proceso de oxidación controlada que lo transforme en S elemental, para lo cual se han invocado las acciones siguientes: 1.º oxidación por medio de sulfatos; 2.º por aguas meteóricas cargadas de oxígeno, y 3.º por desecación temporal.

El primer proceso fue invocado por FEELY y KULP (1957) para aquellos casos en los que entran en contacto iones  $\text{S}^{2-}$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ . No obstante, TOLAND (1960) indica que dicho proceso sólo es posible a presiones y temperaturas elevadas, condiciones poco probables en yacimientos singenéticos someros, como el de Benamaurel. El segundo, ha sido invocado por diversos autores al estudiar numerosos yacimientos bioepigenéticos (DAVIS y KIRKLAND, 1970 y 1977; AL-SAWAF, 1977; BARKER et al., 1979; PAWOWSKI, S. et al., 1979; RUCKMICK et al., 1979, etc.), exigen una red complicada de fallas

y diaclasas que faciliten la circulación de aguas meteóricas cargadas de oxígeno. Si se tiene en cuenta la litología, es difícil suponer que estas circunstancias hayan podido reunirse en Benamaurel. Es razonable que el tercero de los mecanismos propuestos haya podido darse en un medio marino cerrado o «lagoonal», donde existiría un medio oxidante circunscrito a las aguas superficiales y otro reductor, que abarcaría tanto a las aguas próximas al fondo de la cuenca como a los niveles superficiales de sedimentos formados.

En estas circunstancias los anaerobios reducirían a los sulfatos cerca del fondo del lagoon. En efecto, THODE et al. (1960) y EMERY y RITTENBERG (1952) comprueban que en los fondos marinos con aguas estancadas se reducen todos los sulfatos por vía bacteriana a sulfuro de hidrógeno, cuando apenas se han acumulado unos metros de sedimentos. Al alcanzar la zona oxidante de las aguas, este SH<sub>2</sub> podría ser oxidado por vía inorgánica o bacteriana, formándose un azufre de grano muy fino, que caería lentamente al fondo de la cuenca. Este es precisamente el tipo de azufre nativo que se encuentra en Benamaurel, en donde debido a la escasa potencia de materiales suprayacentes, y también a la restringida circulación de las aguas, los procesos diagenéticos han sido bastante limitados. No ha habido, pues, removilizaciones ni recristalizaciones, que hayan modificado sustancialmente la granulometría de este azufre pulverulento, cuyos granos suelen tener un diámetro comprendido entre 5 y 10µ.

Otra circunstancia importante, que posiblemente haya condicionado la génesis de los yacimientos singenéticos, es el aporte de Fe, Mn y de otros elementos pesados, a la cuenca donde se reducen los sulfatos a sulfuro de hidrógeno, ya que bloquearían el ión sulfuro. En efecto, los sedimentos euxínicos, es decir, de origen marino o lagoonal formados en condiciones reductoras, suelen ser negros y contienen materia orgánica y sulfuro ferroso. DESSAU et al. (1962) comprueban que el contenido en dichos metales es excepcionalmente pequeño en la roca de caja de los yacimientos de azufre biosingenético de Sicilia. En Benamaurel se comprueba asimismo la ausencia de sulfuros y de concreciones de limonita y la escasa proporción de Fe y Mn en la roca de caja.

La ausencia de barita, celestina, anhidrita y la

escasez, e incluso ausencia, de la calcita son otros rasgos distintivos del yacimiento que se estudia. Los registros de fluorescencia de rayos X han permitido detectar el Sr pero no el Ba. Si se hubieran producido removilizaciones no sólo habrían afectado al S, sino también al Sr, con la probable individualización de cristales de celestina. La posible presencia de anhidrita ya fue sugerida en la Formación de Baza por VERA (1970), teniendo en cuenta los niveles de yesos replegados. En relación con la ausencia de aragonito y la escasez o ausencia de calcita debemos recordar que el azufre se ubica en la parte central de la Formación de Baza, zona en la cual el proceso de dolomitización fue más intenso.

A modo de conclusión final, se puede descartar un origen epigenético, en cambio no es posible decidirse de una manera clara entre un origen singenético y el biosingenético, aunque este último parece ser el más probable. Por el momento no se han estudiado las posibles bacterias activas relacionadas con el azufre, ni el fraccionamiento isotópico del C y S, cuyo estudio en investigaciones posteriores permitirá aportar datos adicionales en relación con la génesis propuesta.

#### AGRADECIMIENTO

Expresamos aquí nuestro agradecimiento al Profesor J. A. Vera por la lectura de este texto.

#### BIBLIOGRAFIA

- AL-SAWAF, F. D. S.: *Sulfate reduction and sulfur deposition in the Lower Fars Formation. Northern Iraq*. Econ. Geol. 72, pp. 608-618 (1977).
- BARKER, J. M.; COCHRAN, D. E., and SEMRAD, R.: *Economic geology of the Mishraq native sulfur deposit, Northern Iraq*. Econ. Geol. 74, pp. 484-495 (1979).
- BODENLOS, A. J., and NELSON, C. P.: *Sulfur*. Econ. Geol. 74, pp. 459-461 (1979).
- CALDERÓN, S.: *Los minerales de España*. Junta para la ampliación de Estudios e Investigación Científica. Imprenta de Eduardo Arias. Madrid. 2 tomos, VIII+561 pp. (1910).
- DAVIS, J. B., and KIRKLAND, D. W.: *Native sulfur deposition in the Castile Formation, Culberson County, Texas*. Econ. Geol. 65, pp. 107-121 (1970).
- DAVIS, J. B., and KIRKLAND, D. W.: *Bioepigenetic sulfur deposits*. Econ. Geol. 74, pp. 462-468 (1979).

- DESSAU, G.; JENSEN, M. L., and NAKAI, N.: *Geology and isotopic studies of Sicilian sulfur deposits*. Econ. Geol. 57, pp. 410-438 (1962).
- EMERY, K. O., and RITTENBERG, S. C.: *Early diagenesis of California Basin sediments in relation to origin of soil*. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 36, pp. 735-806 (1952).
- ESTEBAN SANTISTEBAN, F.: *Investigaciones hidrogeológicas por el método eléctrico en Baza (Granada)*. Bol. Geol. Min. 79, 2, pp. 75-81 (1968).
- FEELY, H. W., and KULP, J. L.: *Origin of Gulf Coast salt dome sulfur deposits*. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 41, pp. 1802-1853 (1957).
- IVANOV, M. V.: *Microbiological processes in the genesis of native sulfur deposits: Israel program for Scientific Translations*. Cat. No. 1850. U. S. Dept. Commerce, 298 pp. (versión inglesa del texto ruso) (1968).
- MESEGUER PARDO, J.: *Yacimientos de azufre de las provincias de Murcia y Albacete*. Bol. IGME, 5, 3.ª serie, pp. 133-213 (1924).
- PAWOWSKI, S.; PAWOWSKA, K., and KUBIKA, B.: *Geology and genesis of the Polish sulfur deposits*. Econ. Geol. 74, pp. 475-483 (1979).
- PEÑA, J. A.: *Estratigrafía del Plioceno-Pleistoceno de la Depresión de Guadix-Baza*. Tesis Doctoral. Secr. Publ. Univ. Granada, 160 pp. (1979).
- RUCKMICK, J. C.; WIMBERLY, B. H., and EDWARDS, A. F.: *Clasificación and genesis of biogenetic sulfur deposits*. Econ. Geol. 74, pp. 469-474 (1979).
- RUIZ BUSTOS, A.: *Estudio sistemático y ecológico sobre la fauna del Pleistoceno Medio en las Depresiones Granadinas. El yacimiento de Cúllar-Baza I*. Tesis Doctoral. Secr. Publ. Granada (1976).
- SEBASTIÁN PARDO, E. M.; GARCÍA-CERVIGÓN, A., y RODRÍGUEZ GALLEGU, M.: *Mineralogía y génesis de la Formación Gorafe-Huélago (Depresión de Guadix-Baza, Granada)*. Cuad. Geol. 6, pp. 55-74 (1975).
- SEBASTIÁN PARDO, E. M.: *Mineralogía de los materiales Plioceno-Pleistocenos de la Depresión de Guadix-Baza, Granada*. Tesis Doctoral. Secr. Publ. Univ. Granada, 311 pp. (1979).
- SEBASTIÁN PARDO, E. M.; RODRÍGUEZ GALLEGU, M., y LÓPEZ AGUAYO, F.: *Mineralogía de los sedimentos Plioceno-Pleistocenos de la Depresión de Guadix-Baza (Granada): III. Formaciones de Baza y Serón-Caniles. Consideraciones generales y conclusiones*. Est. Geol. (en prensa) (1980).
- THODE, H. G.; HARRISON, A. G., and MOSNSTER, J.: *Sulfur isotope fractionation in early diagenesis of recent sediments of Northeast Venezuela*. Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol. 44, pp. 1809-1817 (1960).
- TOLAND, W. G.: *Oxidation of organic compounds with aqueous sulfate*. Am. Chem. Soc. Jour. 82, pp. 1911-1916 (1960).
- VERA, J. A.: *Estudio estratigráfico de la Depresión de Guadix-Baza*. Bol. IGME, 81, pp. 429-462 (1970).

Recibido: Abril de 1982.

# INFORMACION

## Noticias

### IV SESION DEL COMITE SOBRE LOS PROBLEMAS DEL AGUA, DE LAS NACIONES UNIDAS:

#### HACIA UNA LEGISLACION INTERNACIONAL EN TORNO A LA CONTAMINACION Y USO RACIONAL DEL AGUA

A finales del pasado año se celebró en Ginebra la cuarta sesión del Comité sobre los Problemas del Agua, de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (ECE). Entre los temas tratados hay que citar el relativo al uso racional del agua y la prevención y control de la contaminación de la misma.

En este sentido, los delegados revisaron la Declaración Política de la ECE en torno a estos temas, incluyendo la contaminación a través de las fronteras y examinando la propuesta de efectuar una Declaración de Política sobre el Uso Racional del Agua.

Se aprobó también la recomendación adoptada por el seminario sobre Agua Potable y Sistemas de Aguas Residuales que tuvo lugar en Albufeira, Portugal, en octubre pasado. Por otra parte, el secretario informó sobre los preparativos para la celebración del Seminario sobre Estrategias y Prácticas de Protección de Aguas Subterráneas, que tendrá lugar en Atenas el próximo mes de octubre. Dentro de la agenda de trabajo se consideraron igualmente diversas cuestiones sobre control de agua en lo que se refiere a inundaciones en el área de la ECE; purificación industrial y municipal de aguas residuales y los factores que influyen en la reducción de sustancias contaminantes que vierten diferentes sectores industriales. Por último se adoptó el programa de trabajo a desarrollar entre 1983 y 1987.

#### CONTROL Y PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

El comité puso de relieve la necesidad de efectuar una declaración sobre prevención y control de contaminación de agua, incluyendo el tema de la contaminación a través de las fronteras, sobre el que ya se llegó a un acuerdo en 1980. En este sentido las delegaciones pusieron de relieve que se hace necesario desarrollar políticas nacio-

nales de agua, reforzando a la vez la cooperación internacional. Como resultado de todo ello, diversos países han puesto recientemente en funcionamiento nuevas legislaciones, a la vez que están prestando mayor atención a la protección de aguas para usos específicos; y en la mayor parte de los países miembros tienen en marcha programas para preservar la calidad natural del agua subterránea y de superficie. También se están integrando en las políticas nacionales medidas de protección del medio ambiente, que tienen el objetivo de controlar la contaminación del agua en una mayor extensión.

La declaración señala, entre otras cosas, que los estados deberían, por medio de acuerdos bilaterales o multilaterales, definir sus mutuas relaciones sobre control y contaminación de agua, especialmente a través de un mayor intercambio de información. En este punto fue bien recibida la oferta de la delegación de la República Federal de Alemania de mantener un seminario sobre cooperación en el campo de aguas extraterritoriales, a celebrar en 1984.

#### PROYECTO DE DECLARACION SOBRE EL USO RACIONAL DEL AGUA

El proyecto de declaración política de la ECE sobre uso racional del agua solicita a los gobiernos que intensifiquen las políticas nacionales que tienden a favorecer la utilización eficaz del agua, reduciendo su pérdida en la medida que sea posible. El comité confió a su grupo de expertos sobre aspectos de calidad y cantidad del agua, la actualización del proyecto de declaración citado, teniendo en cuenta los puntos de vista y comentarios de los gobiernos participantes.

El informe final sobre políticas y estrategias para el uso racional del agua señala que mientras las grandes medidas para hacer frente al suministro de agua dominaron las etapas previas, el énfasis actual se centra en medidas no estructurales tales como legislar, regular, planificar y supervisar los programas de agua ya existentes.

El comité tuvo también en cuenta un proyecto de informe sobre «Purificación de Agua Residual Doméstica e Industrial», e invitó a los gobiernos miembros a comu-

nicar sus contribuciones en este campo, facilitando datos actualizados sobre la información ya existente en el informe, así como a adjuntar estudios concretos sobre tratamientos de aguas residuales que se están llevando a cabo en cada país.

#### PROPOSICION NO DE LEY SOBRE EXPLOTACIONES A CIELO ABIERTO

«Que el Gobierno establezca con urgencia medidas de ordenación de las actividades extractivas a cielo abierto que conduzcan a la reparación de la degradación del ambiente a que este sistema de extracción está dando lugar.

Como principio normativo elemental debiera garantizarse:

1. Para obtener la concesión será necesaria la aprobación de un plan de explotación minera y un plan de restauración por parte de la Administración Central o en su caso autonómica que comprenderá como mínimo:

a) Evaluación de recursos existentes a las distintas profundidades y plan de explotación sucesiva de los mismos, de modo que la obtención de unos recursos no pueda imposibilitar la de otros en un futuro. Dicha evaluación definirá la técnica subterránea o a cielo abierto más adecuada bajo criterios de costes económicos y sociales de optimización del empleo y de aprovechamiento racional de los recursos a emplear en cada parte del yacimiento. En todo caso, el cálculo de costes integrará los derivados del proyecto de reposición y rehabilitación de los terrenos propios del plan de restauración.

b) Rehabilitación de la tierra, de modo que se reponga una capa vegetal en superficie, que permita la normal utilización de las tierras, para las actividades agrícolas o ganaderas a las que estuvieron dedicadas con anterioridad.

c) Reposición del medio ambiente existente antes de la explotación, eliminando la contaminación de aguas y enterrando los escombros.

d) Período de tiempo en que va a realizarse la explotación.

e) Planes de seguridad para la explotación y protección de la salud en la zona afectada.

2. Los terrenos ocupados por explotaciones a cielo abierto podrán ser cedidos por sus propietarios en régimen de alquiler para el período de tiempo que dure la explotación, de acuerdo con la legislación vigente. Dichos terrenos revertirán a sus propietarios en las debidas condiciones que permitan su normal laboreo. La Administración procederá a realizar los planes de concentración parcelaria correspondientes, en los casos en los que aconseje la estructura de la propiedad de la tierra de acuerdo con las normas vigentes reguladoras de la materia.

3. El Plan de Explotación Minera y el Plan de Restauración debe contener las medidas concretas en relación con las acciones referidas en el apartado primero de esta proposición no de ley, a fin de asegurar el retorno de los terrenos a la actividad productiva anterior a la explotación, así como permitir la cobertura de los daños ocasionados a terceros.

A tal fin, el titular de la explotación estará obligado, de acuerdo con el artículo 5.º, del Real Decreto 2.994/82, del 15 de octubre, a destinar una cantidad periódica para costear la realización del citado Plan de Restauración. La parte de la cantidad acumulada que haya sido efectivamente aplicada por el titular de la explotación a los trabajos de restauración le será restituida una vez comprobada la completa reposición de los terrenos en el conjunto natural que le rodea.

4. Una parte del fondo podrá ser asignada como provisión para la cobertura de daños generales a entidades públicas, Ayuntamientos, Organismos Territoriales, etc., o a particulares.

5. Ambos planes, el de explotación y reposición, deben señalar las fases en que a uno y otro efecto se derive del campo, así como la fecha en que se ha de dar fin a una y otra labor. El inicio de las tareas de explotación de cada fase debe simultanearse con la correspondiente reposición de la anterior ya explotada.

6. El cumplimiento del Plan de Restauración deberá ser seguido y comprobado por los organismos competentes del MINER, o, en su caso, de las Comunidades Autónomas o de otras Administraciones Públicas.

Los Ayuntamientos afectados podrán informar y velarán por el cumplimiento de los planes de explotación y restauración en aquellas materias de su competencia administrativa.

Asimismo, no serán objeto de explotación los núcleos urbanos y sus proximidades sin la conformidad previa de los Municipios afectados, de acuerdo con las normas vigentes en la materia, a fin de salvaguardar la salud y condiciones de vida de la población.

7. Que se asegure la completa restitución en el entorno paisajístico de todos los terrenos abandonados una vez agotada la explotación a cielo abierto.

8. Que por el Gobierno se arbitren las medidas necesarias para que con la mayor urgencia sean restituidos los abrevaderos para el ganado y sea, asimismo, resuelta la situación de los manantiales que abastecían a los pueblos limítrofes de los campos de explotación.»

#### CURSO SOBRE MINERIA DE CARBON A CIELO ABIERTO

Durante los próximos días del 20 al 24 de junio, se celebrará en la Universidad de Oviedo, dentro de sus cursos de verano, uno relativo al «Impacto Ambiental de la Minería de Carbón a cielo abierto». El curso ha sido patrocinado por la Consejería de Industria, Comercio y Turismo del Principado de Asturias, y en el mismo participarán profesionales tanto de las dos Escuelas de Ingenieros de Minas existentes en España, como de la Empresa Nacional Carbonífera del Sur (ENCASUR) y la Empresa Nacional Hullera del Norte (HUNOSA). También colaborarán en el desarrollo del mismo especialistas de la U.S. Geological Survey de Estados Unidos y de la National Coal Board de Gran Bretaña.

El programa, a desarrollar en jornadas de mañana y tarde, es el siguiente:

- Los factores ambientales en la exploración y diseño. Infraestructura.
- Factores morfológicos, geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos.
- Explotación: voladuras, ruidos y polvos. Tratamiento de aguas.
- Taludes. Almacenamiento de residuos: escombreras y vertederos.
- Afinado de taludes y regeneración del suelo y de la cubierta vegetal.
- Medidas para evitar la erosión.

El plazo de inscripción finaliza el próximo 10 de junio. Para solicitar información sobre los mismos hay que dirigirse a la Secretaría General de los Cursos de Verano, en la Cátedra «Jovellanos» de Extensión Universitaria, calle de Enrique Cangas, número 25, de Gijón. Teléfono (985) 34 99 15.

#### SYMPOSIUM SOBRE LA APERTURA DE TUNELES Y GALERIAS

El Instituto de Minería y Metalurgia de Londres organiza un symposium sobre la apertura de túneles o galerías, preferentemente mineras, a celebrar en Brighton, Inglaterra, en marzo de 1985.

Las publicaciones, que deben constar de 5.000 a 6.000 palabras, en inglés, deben ser preparadas antes de septiembre de 1984 con la presentación del resumen antes de febrero de 1984.

Los interesados se pueden poner en contacto con:

Kenneth G. Gray  
Compañía Española de Minas de Tharsis, S. A.  
(HUELVA)  
o  
C/. Juan Ramón Jiménez, 1  
Bellavista  
CORRALES (HUELVA)  
Teléfono (955) 31 81 88

#### BICENTENARIO DEL DESCUBRIMIENTO DEL WOLFRAMIO

- Jornadas mineras homenaje a los hermanos Elhuyar.
- II Exposición Filatélica Energético-Minera.

Fecha: Del 21 al 30 de junio.

Lugar: E. T. S. de Ingenieros de Minas de Madrid.  
Calle Ríos Rosas, 21 - MADRID-3.

Organizan:

- Ministerio de Educación y Ciencia (Universidad Politécnica de Madrid. E. T. S. de Ingenieros de Minas).
- Ministerio de Industria y Energía (Dirección General de Minas e Instituto Geológico y Minero de España).
- Consejo Superior de Colegios y Consejo Directivo de la Asociación Nacional de Ingenieros de Minas.

Con la colaboración:

- Real Sociedad Bascongada de Amigos del País.
- E. T. S. de Ingenieros de Minas de Oviedo.
- Empresa Nacional «ADARO» de Investigaciones Mineras, S. A.
- Fundación Benéfico-Docente «Gómez Pardo».
- Instituto de Química Inorgánica «Elhuyar».
- Comité Organizador del III Simposio Internacional sobre el Wolframio.
- Club Español de la Minería.
- Dirección General de Correos y Telecomunicación.
- Fábrica Nacional de Moneda y Timbre.
- Sociedad Filatélica de Madrid.
- Asociación Nacional de Empresarios de Filatelia.
- Asociación de Empresarios profesionales de Filatelia.

## Notas bibliográficas

### GEOLOGIA GENERAL

20815. **Estudio geológico, edáfico y fitoecológico de la zona de pastos del Valle de Tena (Huesca).** FERRER BENIMELLI, C.

*Publicación N.º Institución Fernando el Católico* (1981), núm. 805, 1-300, esp., bibl. IGME.

\* Valle, Geología regional, Geomorfología, Pedología, Provincia Huesca.

20836. **Normalización: Principios generales y aplicación a los minerales y rocas industriales.** CARRASCO, J., y OBIS, J.

*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 42-46, esp., bibl. IGME.

\* Normalización, Institución, Sustancia útil, Legislación, España.

20942. **Formación científica en el BUP (Bachillerato Unificado Polivalente).** GILBERT CLOLS, J.

*Inst. Paleontol. Sabadell.* Simposio nacional sobre la enseñanza de la Geología. Madrid, 1980. 21-29, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Enseñanza, Enseñanza Secundaria, España.

### GEOLOGIA REGIONAL

20491. **Estudio geológico de la Sierra de Gíbalto y sectores próximos (Provincias de Granada y Málaga).** DELGADO, F., y SANZ DE GALDEANO, C.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 69-75, ref. 10, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Estratigrafía, Unidad estratigráfica, Caliza, Dolomía, Secundario, Falla vertical desgarre, Geocronología, Zona Bética, Provincia Granada, Provincia Málaga.

20773. **El Karst de Pradera de la Sierra.** MORENO SANZ, F.

*Geographica* (1980), núms. 21-22, 77-94, ref. 24, esp., bibl. IGME.

\* Karst, Cretácico, Caliza, Análisis mayores, Sondeo

eléctrico, Metodología, Tectónica de cobertera, Geomorfología, Manantial, Calidad agua, Caudal, Balance agua, Provincia Segovia.

20776. **Contribución al estudio de la superficie de erosión en Galicia al noroeste de la Dorsal.** RODRIGUEZ-MARTINEZ CONDE.

*Geographica* (1980), núms. 21-22, 195-200, ref. 11, esp., bibl. IGME.

\* Superficie erosión, Morfología, Litofacies, Gneis, Gneis ojoso, Micaesquisto, Granito, Orogenia hercínica, Tectónica de fractura, Galicia.

20841. **Síntesis del Terciario Continental de la Cuenca del Duero.** PORTERO GARCIA, J. M.; DEL OLMO ZAMORA, P.; RAMIREZ DEL POZO, J., y VARGAS ALONSO, I.

*Temas geológico-mineros* (1979), vol. 4, 11-37, ref. 106, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Terciario, Sedimentación continental, Medio continental, Geología regional, Estilo tectónico, Paleogeografía, Fauna vertebrados, Cuenca Duero.

22238. **Cartografía Pérmico-Trías, Sistema Central-Cordillera Ibérica.**

*Cuad. Geol. Iber.* (1982), núm. 6, 1-95, ref. 47, esp., bibl. IGME.

\* Monografía, Pérmico, Trías, Mapa geológico, Macizo Ibérico, Hercínico Central.

22239. **Cartografía del Triásico y Pérmico del borde oriental del Sistema Central y rama castellana de la Cordillera Ibérica.** VIRGILI, C.

*Cuad. Geol. Iber.* (1982), núm. 6, 13-19, esp., bibl. IGME.

\* Pérmico inf., Trías inf., Límite estratigráfico, Medio fluvial, Sedimentación fluvial, Medio marea, Ciclo sedimentario, Paleogeografía, Discordancia, Fase salina, Tectónica, Macizo Ibérico, Hercínico Centro.

22240. **Mapa geológico del Pérmico y Triásico de la región Ayllón-Atienza.** HERNANDO, S.

*Cuad. Geol. Iber.* (1982), núm. 6, 21-54, esp., bibl. IGME.

\* Andesita, Arenisca, Conglomerado, Dolomía, Mapa geológico, Pérmico, Buntsandstein, Muschelkalk, Keuper, Estructura sedimentaria, Medio fluvial, Medio marea, Medio alta energía, Sedimentación, Ciclo sedimentario, Paleogeografía, Límite estratigráfico, Provincia Guadalajara, Provincia Segovia, Provincia Soria, Macizo Ibérico, Tectónica de cobertera, Hercínico Centro.

22241. **Mapa geológico de la región de Alcolea del Pinar-Molina de Aragón.** RAMOS, A.

*Cuad. Geol. Iber.* (1982), núm. 6, 55-72, esp., bibl. IGME.

\* Autuniense, Saxoniense, Thuringiense, Buntsandstein,

Muschelkalk, Keuper, Jurásico, Mapa geológico, Flora, Estructura sedimentaria, Medio, Ciclo sedimentario, Sedimentación, Aragón, Provincia Guadalajara, Macizo Ibérico.

22242. **Mapas geológicos del borde sureste del Sistema Central.** SOPENA, A.

*Cuad. Geol. Iber.* (1982), núm. 6, 73-96, esp., bibl. IGME.  
\* Pérmico, Buntsandstein, Cretácico, Cenozoico, Mapa geológico, Estructura sedimentaria, Medio, Sedimentación, Ciclo sedimentario, Tectónica, Paleogeografía, Flora, Provincia Guadalajara, Macizo Ibérico, Cuenca Tajo, Hercínico Centro.

## ESTRATIGRAFIA

20312. **Facies carbonatadas del Cámbrico de Salamanca.** CORRALES, I., y VALLADARES, I.

*Studia Geologica Salmanticensis* (1980), vol. 16, 95-102, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Cámbrico inf., Cámbrico medio, Caliza, Sedimentación recifal, Medio recifal, Archaeocyatha, Corte geológico, Variación espacial, Provincia Salamanca.

20313. **El techo del Ordovícico en el centro de la Península Ibérica.** VEGAS, R.; ROBARDET, M., y PARIS, F.

*Studia Geologica Salmanticensis* (1980), vol. 16, 103-121, esp., franc., bibl. IGME.  
\* Ordovícico sup., Brecha, Cuarzita, Limolita, Litofacies, Sedimentación marina, Medio marino, Glaciación, Corte geológico, Fauna, Provincia Cáceres, Provincia Badajoz.

20314. **Estudio geológico de los yacimientos minerales del Macizo Catalán entre Bellmunt de Ciurana y Mola.** Priorato: Tarragona. CRESPO RAMON, J. L., y MICHEL, B.

*Studia Geologica Salmanticensis* (1980), vol. 16, ref. 10, 123-149, esp., bibl. IGME.  
\* Ordovícico, Dinantiense, Trías inf., Roca sedimentaria, Roca ígnea, Litofacies, Tectónica tangencial, Tectónica de fractura, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Plomo sustancia, Cinc sustancia, Hierro sustancia, Manganeso sustancia, Filón, Yacimiento estratiforme, Inventario, Provincia Tarragona.

20414. **Segundo coloquio de Estratigrafía y Paleogeografía del Jurásico de España.**

*Cuad. Geol. Univ. Granada* (1979), núm. 10, 1-651, esp., bibl. IGME.  
\* Reunión, Jurásico, Bioestratigrafía, Paleogeografía, España.

20488. **Estratigrafía y características sedimentológicas generales de las formaciones del Mioceno inferior de la cuenca del Vallés-Penedés (Barcelona, España).** CABREIRA PEREZ, L.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 35-43, ref. 22, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Fosa tectónica, Mioceno inf., Sedimentación detrítica, Medio continental, Cono aluvión, Sebkhá, Estratigrafía, Unidad estratigráfica, Cronoestratigrafía, Paleocología, Provincia Barcelona.

20489. **Observaciones sobre la estratigrafía de la Formación Carbonatada de los Mantos Alpujarrides (Cordillera Bética).** DELGADO, F.; ESTEVEZ, A.; MARTIN, J. M., y MARTIN ALGARRA, A.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 45-57, ref. 45, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Estratigrafía, Unidad estratigráfica, Trías medio, Trías superior, Roca carbonatada, Caliza, Dolomía, Zona Bética.

20824. **El Jurásico en facies carbonatadas del sector levantino de la Cordillera Ibérica.** GOMEZ, J. J.

*Semin. estratigr. Ser. monogr.* (1979), núm. 4, 1-683, esp., res. ing., franc., bibl. IGME.  
\* Tesis, Jurásico, Sedimentación marina, Medio marino, Estructura sedimentaria, Litofacies, Composición carbonato, Corte sondeo, Fauna específica, Paleogeografía, Provincia Valencia, Provincia Cuenca, Provincia Castellón.

20825. **Estratigrafía y paleogeografía del Pérmico y Triásico al oeste de Molina de Aragón, provincia de Guadalajara.** RAMOS, A.

*Semin. estratigr. Ser. monogr.* (1979), núm. 6, 1-313, esp., bibl. IGME.  
\* Tesis, Pérmico, Corte sondeo, Litofacies, Cronoestratigrafía, Fauna específica, Palinología, Paleogeografía, Molina de Aragón, Provincia Guadalajara.

20898. **La estructura del borde Sudoeste de la Cuenca carbonífera central (Zona Cantábrica, NO de España).** ALLER, J.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 3-14, ref. 33, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Devónico, Carbonífero, Litofacies, Dolomía, Caliza, Pizarra, Arenisca, Corte geológico, Falla, Falla cabalgamiento, Pliegue, Sinclinal, Anticlinal, Esquistosidad, Microtectónica, Arcilla mineral, Difracción RX, Metamorfismo epizonal, Asturias.

20905. **La estratigrafía de la Sierra de los Cabos en la zona de Vegadeo (Zona Asturoccidental-Leonesa, NO de España).** MARCOS, A., y PEREZ ESTAUN, A.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 89-94, ref. 21, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Cámbrico Medio, Cámbrico sup., Ordovícico inf., Corte geológico, Arenisca, Cuarzita, Fauna trilobites, Sedimentación agua poco profunda, Medio agua poco profunda, Serie de los Cabos, Provincia Lugo.

22335. **El Jurásico superior y el Cretácico inferior de la región Vasco-Cantábrica (parte occidental). Reunión de campo.** GARCIA MONDEJAR, J., y PUJALTE NAVARRRO, V.

*Grupo español del mesozoico* (1981), 1-133, ref. 48, esp., bibl. IGME.  
\* Libro guía, Excursión, Reunión, Jurásico sup., Cretácico inf., Urgoniense, Litofacies, Estructura sedimentaria, Sedimentación, Medio, Paleogeografía, Fauna, Provincia Santander, Provincia Burgos, Provincia Palencia, Región Cantábrica.

22450. **Sobre el manchón carbonífero oriental del Monte Naranco, Oviedo, Asturias.** LORENZO, P.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 3, 33-37, ref. 8, esp., bibl. IGME.  
\* Pteridophyta, Neuropteris, Fungi, Pecopteris, Astrophyllita, Calamites, Lycopsida, Westphaliense, Mapa geológico, Asturias, Arco Astúrico.

## GEOMORFOLOGIA

22322. **Geomorfología litoral del Mar Menor.** LILLO CARPIO, M. J.

*Papeles Departamento Geografía* (1981), núm. 8, 9-48, ref. 72, esp., bibl. IGME.  
\* Línea costa, Geomorfología, Paleogeografía, Neotectónica, Neógeno, Villafranquiense, Glacis, Clima, Barra, Provincia Alicante, Provincia Murcia.

22323. **Inundaciones catastróficas, precipitaciones torrenciales y erosión en la provincia de Murcia.** LOPEZ BERMUDEZ, F.

*Papeles Departamento de Geografía* (1981) núm. 8, 49-91, ref. 75, esp., bibl. IGME.  
\* Crecida río, Histórico, Hidrología superficie, Daño catástrofe natural, Hidrodinámica, Hidrograma, Clima, Acción climática, Erosión suelo, Morfología erosión, Planificación, Planificación regional, Mapa geomorfológico, Río Segura, Provincia Murcia.

## CUATERNARIO

20761. **Repertorio Bibliográfico sobre morfología glaciar de la Península Ibérica.** MARTINEZ DE PISON, E., y ANTON, J.

*Cuad. inv. geograf.* (1981), vol. 7, núms. 1-2, 3-49, esp., bibl. IGME.  
\* Morfología glaciar, Bibliografía, España, Portugal.

20762. **Morfología del Circo de Tucarroya (Macizo del Monte Perdido, Pirineo Aragonés).** NICOLAS, P. M.

*Cuad. inv. geograf.* (1981), vol. 7, núms. 1-2, 51-80, ref. 23, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Morfología glaciar, Síntesis bibliográfica, Relieve estructural, Escama, Orogenia hercínica, Orogenia alpina, Karst, Caliza, Disolución, Glaciar, Geometría, Periglacial, Morrena, Pleistoceno, Holoceno, Pirineos españoles, Provincia Huesca.

20902. **Las dunas eólicas costeras de la playa de Xago (Asturias).** FLOR, G.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 61-71, ref. 38, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Duna costera, Acción climática, Viento, Playa, Línea costa, Sedimentación eólica, Morfología eólica, Granulometría, Método estadístico, Asturias.

## GEOLOGIA MARINA

20748. **Estudio geológico submarino del litoral cantábrico con sonar de barrido lateral.** REY SALGADO, J., y SANZ ALONSO, J. L.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1982), vol. 7, núm. 1, 89-96, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fondo marino, Carbonífero, Cretácico, Fracturación, Sonar, Mapa geológico, Provincia Santander, Mar del Norte.

20749. **Resultados preliminares de la Campaña de Geología Marina «GANSA-80» realizada entre Gandía y Sagunto.** PALOMO, C.; ACOSTA, J.; DE ANDRES, J. R.; DIAZ DEL RIO, V.; HERRANZ, P.; REY, J., y SANZ, J. L.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1982), vol. 7, núm. 1, 117-124, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Plataforma continental, Levantamiento geofísico, Sísmica reflexión, Sonar, Muestreo, Sedimentación marina, Provincia Valencia, Mar Mediterráneo Oeste.

20750. **Apantallamientos acústicos en la Ría de Muros y Noya y en el margen continental de Cádiz.** ACOSTA YEPES, J.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1982), vol. 7, núm. 1, 127-149, ref. 31, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Sísmica reflexión, Margen continental, Sedimentación marina, Onda acústica, Propagación onda, Anomalía, Perfil geofísico, Mapa geofísico, Provincia La Coruña, Provincia Cádiz.

20778. **Informe preliminar sobre la campaña de geología marina «Hércules-81» en el Estrecho de Gibraltar.** ACOSTA, J.; SANZ, J. L.; PALOMO, C.; DIAZ DEL RIO, V.; JEBU, H.; HERRANZ, P.; REY, J., y SAN GIL, C.

*Inf. tec. Inst. Esp. Oceanogr.* (1982), vol. 82, núm. 1, 19 pp., ref. 6, esp., res. franc., bibl. IGME.  
\* Batimetría, Perfil geofísico, Sísmica reflexión, Sonar, Campo electromagnético, Relieve submarino, Neógeno, Discordanza, Basamento, Horst, Atlántico Nordeste, Estrecho de Gibraltar.

20779. **Contribución al conocimiento geológico del umbral del Estrecho de Gibraltar.** SANZ, J. L.; PALOMO, C., y SAN GIL, C.

*Infec. tec. Inst. Esp. Oceanogr.* (1982), vol. 82, núm. 2, 12 pp., ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Perfil geofísico, Sísmica reflexión, Campo electromagnético, Relieve submarino, Batimetría, Plataforma continental, Fractura, Atlántico Nordeste, Estrecho Gibraltar.

22099. **Estudio de producción en aguas de las Islas Canarias. II Producción del zooplancton.** BRAUN, J. G.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 1, 91-96, ref. 40, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.  
\* Plancton, Zooplancton, Biomasa, Producción, Metodología, Agua mar, Muestreo, Atlántico Nordeste, Canarias.

22100. **Algunas comparaciones entre el nanoplancton y el fitoplancton de red en aguas de las Islas Canarias.** BRAUN, J. G., y REAL, F.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 1, 97-105, ref. 32, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.  
\* Plancton, Fitoplancton, Biomasa, Agua mar, Producción, Canarias, Tenerife, Atlántico Nordeste.

22101. **Influencia de las corrientes de marea sobre la comunidad de fitoplancton en la Ría de Arosa.** MARINO, J., y CAMPOS, M. J.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 2, 97-104, ref. 3, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.

\* Influencia, Corriente marea, Plancton, Fitoplancton, Muestreo, Profundidad, Concentración, Clorofila, Ría de Arosa, Provincia Pontevedra, Provincia La Coruña, Océano Atlántico Norte.

22102. **Resultados preliminares de la Campaña de Geología marina «Pato-78».** DIAZ DEL RIO ESPAÑOL, V.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 2, 107-114, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.

\* Geología marina, Levantamiento acústico, Sísmica reflexión, Anomalia magnética, Batimetría, Instrumentación, Muestreo, Margen continental, Morfología, Sedimentología, Estratigrafía, Paleogeografía, Torreveja, Cabo de Palos, Provincia Alicante, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

## GEOLOGIA DEL INGENIERO

20543. **Geología y Medio Ambiente.** PEDRAZA GIL-SANZ, J.

*Serles monográficas Centro Estudios Ordenación Territorio y Medio Ambiente* (1981), núm. 11, 1-463, ref. 521, esp., bibl. IGME.

\* Monografía, Geología medio ambiente, Geología.

20573. **Aspectos geotécnicos para la Ordenación del Territorio en zonas de Montaña.** Area Bielsa-Plan. IGME-BRGM.

*IGME* (Madrid, 1980), 11-31, 1 vol., esp., bibl. IGME.

\* Memoria explicativa, Mapa geológico, Mapa litológico, Mapa topográfico, Mapa geotécnico, Planificación regional, Cartografía, Metodología, Roca ígnea, Roca metamórfica, Yeso, Roca sedimentaria, Cuaternario, Propiedad geotécnica, Pirineos españoles, Provincia Huesca.

20757. **La clasificación geomecánica de las rocas aplicadas a las obras subterráneas.** MORENO, E.

*Cuad. EPTISA* (1981), núm. 1, 1-65, esp., bibl. IGME.

\* Obra subterránea, Roca, Propiedad geotécnica, Clasificación, Histórico, Metodología, Sostenimiento.

20758. **Experiencias de la utilización de clasificaciones geomecánicas en la construcción de túneles.** MORENO, E.

*Cuad. EPTISA* (1981), núm. 2, 3-63, ref. 11, esp., bibl. IGME.

\* Vía comunicación, Túnel, Propiedad geotécnica, Clasificación, Histórico, Metodología, Sostenimiento, Provincia León.

20759. **Sismicidad inducida. Estudio de deslizamientos en la Depresión terciaria Valdeolivas. La Ventosa.** OCHOA BRETON, A., y LAZUEN ALCON, F. J.

*Cuad. EPTISA* (1982), núm. 3, 1-30, ref. 14, esp., bibl. IGME.

\* Sismicidad, Sismo inducido, Deslizamiento ladera, Mioceno, Yeso, Litofacies, Precipitación atmosférica, Superficie piezométrica, Provincia Cuenca.

20760. **Cálculo del amortiguamiento por radiación en la vibración forzada de un cuerpo que descansa sobre un estrato elástico.** NAVARRO UGENA, C.

*Cuad. EPTISA* (1982), núm. 3, 33-43, ref. 6, esp., bibl. IGME.

\* Teoría, Vibración, Difusión onda, Atenuación, Medio elástico, Medio discontinuo, Ecuación matemática.

20828. **Balance hídrico actual y futuro de la región Murciana.** SENENT ALONSO, M.; RODRIGUEZ ESTRELLA, T., y GOMEZ DE LAS HERAS, J.

*Tecniterrae* (1981), núm. 44, 44-57, esp., bibl. IGME.

\* Recursos agua, Agua subterránea, Agua superficial, Calidad agua, Demanda, Acción preventiva, Capacidad almacenamiento cuenca, Política Estado, Provincia Murcia.

20840. **Lodos de sondeo y perforación minera.** JANNAIRE, M. M.

*Tecniterrae* (1982), vol. 3, núm. 46, 79-92, esp., bibl. IGME.

\* Perforación, Sondeo, Sostenimiento, Inyección, Bentonita, Materia solución, Propiedad fisicoquímica, Tixotropía, Viscosidad, pH, Hidrodinámica, Ecuación matemática, Filtrado, Reciclaje.

22098. **Contribución al estudio de la Ría de Betanzos (NO de España). II. Estudio de un foco de contaminación en época seca.** GONZALEZ, N.; CABANAS, J. M.; IGLESIAS, M. L., y NUNES, M. T.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 1, 3-15, ref. 4, esp., bibl. ENADIMSA.

\* Estuario, Residuo industrial, Residuo doméstico, Polución, Protección medio ambiente, Muestreo, Corriente marea, Salinidad, Agua dulce, Agua mar, Interfase, Hidrodinámica, Ecuación matemática, Ión, Nitrato, Fosfato, Oxígeno, Provincia La Coruña.

22115. **Incidencias de vertidos industriales en la estructura de poblaciones intermareales. Algunas variables de los sistemas sedimentarios en el espacio.** NIEL, F. X.

*Invest. pesq. Vigo* (1980), vol. 44, núm. 2, 337-345, ref. 50, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.

\* Polución, Residuo industrial, Medio marea, Estudio impacto medio, Preparación muestras, Muestreo, Concentración, Materia orgánica, Carbono, Nitrógeno, Clorofila, Distribución espacial, Rías Bajas, Provincia Pontevedra, Océano Atlántico Norte.

22132. **Curso sobre excavación de túneles en roca.**

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Valencia* (1981), 4 vols., ref. 51, esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Excavación, Sostenimiento, Túnel, Mecánica rocas, Propiedad mecánica.

22520. **Curso sobre revestimiento de túneles en roca.**

*Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos* (1982), 3 vols., esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Sostenimiento, Obra subterránea, Túnel, Excavación, Estabilidad.

## PALEONTOLOGIA DE LOS VERTEBRADOS

20404. **El Palaeotherium de talla grande (Palaeotheriidae, Perissodactyla) del yacimiento ludiense del Sosis (Trempe, Lérida).** CASANOVA-CLADELLAS, M. L., y SANTAFE-LLOPIS, J.

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 21-29, ref. 9, esp., res. ing., alem., bibl. IGME.

\* Hippomorfa, Mandíbula, Diente, Biometría, Eoceno superior, Ludiense, Provincia Lérida.

20405. **Descripción del Plesiosorex sp. (Insectívora, Mammalia) del yacimiento oligoceno de los Barros (Avila, España).** GIBERT CLOLS, J.

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 31-33, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Insectívora, Mandíbula, Oligoceno medio, Provincia Avila.

20406. **Sobre Megacricetodon ibericus (Schaub) (Rodentia, Mammalia) de Hostalets de Pierola (Penedés).** AGUSTI, G.

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 35-39, ref. 7, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Myomorpha, Morfología, Evolución, Biometría, Provincia Barcelona.

20407. **Nota preliminar sobre los Rumiantes (Mammalia) del Vallesiense inferior de la Cuenca de la Seu d'Urgell (Lleira, Barcelona).**

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 41-44, ref. 5, esp., bibl. IGME.

\* Rumiantia, Mioceno sup., Vallesiense, Provincia Lérida, Provincia Barcelona.

20409. **Consideraciones sobre la dentición de Tapirus pricus Kaup. de Can Llobateras (Vallesiense medio).** GOLPE POSSE, J. M.

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 51-61, ref. 13, esp., res. cat., bibl. IGME.

\* Ceratomorpha, Diente, Biometría, Mioceno sup., Vallesiense, Provincia Lérida.

22444. **Contribución a la Paleontología de Mallorca.** BAUZA, J.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 7-20, ref. 7, esp., res., franc. cat., bibl. IGME.

\* Peces, Diente, Fósil viviente, Plioceno, Cuaternario inf., Biometría, Echinodermata, Plioceno inf., Plaisanciense, Ophiuroidea, Aspídico ludeni, Trías, Lignito, Eoceno sup., Ludiense, Estampiense, Ceratitida, Ceratites, Mallorca.

22446. **Le Lucertole (Lacertidae, Squamata) del Pliocene, Pleistocene e Olocene delle Baleari.** KOTSAKIS, T.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 135-150, ref. 24, ital., res. franc., cat., bibl. IGME.

\* Squamata, Lacertilia, Fósil viviente, Plioceno, Pleistoceno, Diente, Mandíbula, Biogeografía, Baleares.

22447. **Especies reliques d'Amfibios i de reptiles a les Balears i Pitiuses.** ALCOVER, J. A., y MAYOL, V.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 151-167, ref. 57, cat., res. ing., bibl. IGME.

\* Squamata, Lacertalia, Fósil viviente, Acción hombre, Estudio impacto medio, Mioceno sup., Biogeografía, Baleares.

## PALEONTOLOGIA DE LOS INVERTEBRADOS

20907. **Conodontos del Bashkiriense Superior y Moscoviense inferior en una sección de la Cordillera Cantábrica (NO de España).** MENDEZ, C. A., y MENENDEZ ALVAREZ, J. R.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 129-134, ref. 31, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna conodontos, Fauna foraminíferos, Fauna específica, Bashkiriense, Moscoviense, Provincia Palencia.

22106. **Los foraminíferos Plio-Pleistocénicos de las Formaciones litorales del Mar Menor, Murcia, y las condiciones paleoecológicas del Mediterráneo.** MATEU, E.

*Bol. Inst. Esp. Oceanogr.* (1981), vol. 6, núm. 4, 273-304, ref. 17, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.

\* Foraminíferos, Medio bentónico, Plancton, Polimorfismo, Paleoecología, Paleoclima, Evaporita, Medio litoral, Plioceno, Pleistoceno, Mar Menor, Provincia Murcia, Mar Mediterráneo Oeste.

22448. **Dos especies de interés paleontológico halladas en el Entyrrreniense de Mallorca.** CUERDA, J.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 169-174, ref. 10, esp., res. cat., bibl. IGME.

\* Arcina, Entomotaeniata, Pleistoceno sup., Concha, Biometría, Biogeografía, Baleares, Mallorca.

22449. **Presencia de Tudorella Ferruginea (Lamarck, 1822) (Gastropoda: Pomatiridae) a l'illa d'Eivissa.** ALCOVER, J. A., y TORRES, N.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 185-188, ref. 20, cat., res. ing., bibl. IGME.

\* Mesogastropoda, Estudio crítico, Plioceno sup., Cuaternario, Biogeografía, Baleares, Ibiza.

22451. **Sur la presence du genre Destombesia Chauvel, Echinoderme Cystoide dans l'Ordovicien des Asturies, Espagne.** CHAUVEL, J., y TRUYOLS, J.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 3, 37-40, ref. 13, franc., bibl. IGME.

\* Cystoidea, Caradac, Asturias.

22452. **Contenido en Braquiópodos, Orthida, Strophomenida, Rhynchonellida, de algunas formaciones del Carbonífero Cantábrico.** MARTINEZ CHACON, M. L.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 3, 41-48, ref. 25, esp., bibl. IGME.

\* Fauna braquiópoda, Carbonífero inf., Región Cantábrica.

22453. **Nota previa sobre un nuevo yacimiento Braquiuros cretácicos en Ribamontan al Mar Santander.** AMEZARRI, E.; GALAN FERNANDEZ, R.; SAIZ DE OMEÑACA, J., y VIA BOADA, L.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 4, 49-51, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Yacimiento fosilífero, Decapoda, Braquiuro, Caliza, Marga, Senoniense, Provincia Santander.

22456. **Conodontos de la formación Genicera, en el corte de Entrago, Teverga, Asturias.** MENENDEZ ALVAREZ, J. R.

\* Bioestratigrafía, Fauna conodontos, Fauna cefalópodos, Dinantiense, Namuriense, Caliza, Radiolarita, Pizarra, Asturias.

22457. **Keckia multiplum N. esp. de la fauna icnológica del Triásico.** SAIZ DE OMEÑACA, J., y DEMATHIEU, G.

*Breviora Geol. Astúrica* (1978), vol. 22, núms. 1-2, 8-9, ref. 2, esp., bibl. IGME.

\* Pista, Gasterópodo, Arenisca, Trías sup., Provincia Santander.

22498. **Foraminíferos del Lías margoso (Carixense superior, Domeriense inferior y medio) en el sector central de las Cordilleras Béticas.** MIRA, F., y MARTINEZ-GALLEGO, J.

*Rev. esp. micropaleontol. Granada* (1981), vol. 13, 313-342, res. ing., bibl. IGME.

\* Fauna foraminífera, Marga, Pliensbaquiense, Domeriense, Concha, Bioestratigrafía, Zona Bética, Zona Subbética, Provincia Jaén, Provincia Granada.

## PALEOBOTANICA

20408. **Plantas miocénicas de Sanavastre (Gerona) De presión de Cerdanya.** SANZ DE SIRIA, C.

*Bol. inf. Inst. Prov. Paleontol. Sabadell* (1980), vol. 12, núms. 1-2, 45-50, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Flora angiosperma, Marga, Mioceno sup., Vallesense, Provincia Gerona.

20492. **A new species of Neuropteris from the Middle Westphalense of Palencia.** CLEAL, C. J.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 77-82, ref. 16, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Taxón nuevo, Gymnosperma, Pteridosperma, Westphaliense, Provincia Palencia.

20493. **Estudio de Frenelopsis oligostomata (Rimaris) Alvin, procedente del Cretácico superior de Torrelaguna (Madrid).** ALVAREZ-RAMIS, C.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 83-87, ref. 22, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Coníferas, Cretácico sup., Microscopía, Polen esporas, Paleocología, Paleoambiente.

20494. **Datación con Arqueociatos del Cámbrico inferior al norte de Llerena, Badajoz (SW de España).** PEREJON, A.; MORENO-EIRIS, E., y HERRANZ, P.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núms. 1-2, 89-96, ref. 11, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Arqueociatos, Yacimiento fosilífero, Cámbrico inf., Carbonato, Microfacies, Provincia Badajoz.

20814. **Estudio sistemático y paleoecológico de la flora miocénica de la Cuenca de la Seu d'Urgell.** SANZ DE SIRIA CATALAN, A.

*Paleontol. evol.* (1980), núm. 15, 3-31, ref. 16, esp., res. franc., bibl. IGME.

\* Pteridophita, Equisetales, Filicales, Monocotiledóneas, Dicotiledóneas, Mioceno sup., Medio lacustre, Sedimentación lacustre, Paleocología, Seu d'Urgell, Provincia Lérida.

22113. **Composición taxonómica del ftoplancton en una zona próxima a la desembocadura del río Besós (Barcelona) de octubre de 1978 a marzo de 1979.** ESTRADA, M.

*Invest. Pesq. Barcelona* (1980), vol. 44, núm. 2, 275-289, ref. 8, esp., res. ing., bibl. ENADIMSA.

\* Taxinómia, Plancton, Medio litoral, Muestreo, Preparación muestras, Diatomea, Coccolithophorales, Residuo líquido, Agua contaminada, Provincia Barcelona, Mar Mediterráneo Oeste.

22458. **Nuevas mioesporas de la Formación San Pedro en Geras de Gordón, Cordillera Cantábrica.** RODRIGUEZ, R. M.

*Breviora Geol. Astúrica* (1978), vol. 22, núms. 1-2, 9-16, ref. 10, esp., bibl. IGME.

\* Mioespora, Taxón nuevo, Arenisca, Pizarra, Ludlowiense, Gedinniense, Paleotemperatura, Provincia León.

## TECTONICA

20310. **Mise en evidende d'un chevauchement dans la region de Lovios: Provence d'Orense, Nord-Ouest de l'Espagne.** COTTARD, F., y GAGNY, C.

*Studia Geologica Salmanticensia* (1980), vol. 16, 71-86, ref. 16, franc., res. esp., bibl. IGME.

\* Cabalgamiento, Granito, Falla horizontal, Microtectónica, Edad, 280 m. de a., Carbonífero sup., Lovios, Provincia Orense, Portugal.

20899. **Medida de la deformación a partir de pliegues paralelos aplastados.** BASTIDA, F.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 15-33, ref. 59, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Pliegue, Geometría, Deformación, Metodología, Ecuación matemática, Método estadístico, Medida deformación, Asturias.

20900. **La esquistosidad primaria: Una síntesis sobre sus características y desarrollo.** BASTIDA, F.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 35-54, ref. 85, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Clivage tectónico, Esquistosidad, Deformación, Nomenclatura, Clasificación, Génesis, Disolución bajo presión, Orientación, Recristalización.

20906. **El paleozolco de la zona Cantábrica Oriental (Noroeste de España).** MARTINEZ GARCIA, E.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 95-127, ref. 198, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Primario, Carbonífero, Síntesis bibliográfica, Roca carbonatada, Turbidita, Roca ígnea, Corte geológico, Fauna, Discordancia, Falla, Falla cabalgamiento, Pliegue, Orogenia Hercínica, Orogenia Alpina, Orogenia Astúrica, Asturias, Provincia Santander.

## MINERALOGIA: NO SILICATOS

20415. **Comportamiento térmico del minio de Santa Marta (Badajoz).** LISO, M. J.; LA IGLESIA, A., y GONZALEZ GARCIA, V.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núm. 1-2, 9-12, ref. 9, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Minio, Oxido, Cristalografía, Difracción RX, Análisis térmico diferencial, Análisis termogravimétrico, Análisis mayores, Estabilidad, Temperatura, Provincia Badajoz.

20901. **Los diagramas de difracción de polvo cristalino de los polimorfos del pentaborato amónico tetrahidratado.** DOMENECH, M. V., y SOLANS, J.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 55-60, ref. 8, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Borato, Polimorfismo, Síntesis, Ensayo laboratorio, Diagrama polvo, Dato RX, Constante reticular, Parámetro cristalino, Pentaborato amónico tetrahidratado.

20903. **La microdureza como indicador de la distorsión estructural en fluoritas naturales.** GARCIA GIL, M. F.; FUENTES, P., y POVO, F.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 73-81, ref. 18, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Fluorita, Fluoruro, Microdureza, Dato, Estructura cristalina, Centro calor, Carga ión, Constante reticular, Parámetro cristalino, Análisis químico.

## PETROLOGIA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

20311. **La distribución de minerales pesados en el Paleógeno de Zamora.** CORROCHANO, A.; ALONSO GAVILAN, G., y CORRALES, I.

*Studia Geologica Salmanticensia* (1980), vol. 16, 87-94, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Paleógeno, Sedimentación detrítica, Mineral pesado, Distribución espacial, Distribución temporal, Paleocorriente, Provincia Zamora.

20490. **Interpretación genética de los niveles calzos con estructuras de «cone in cone» de la Formación Escucha (Cretácico inferior) de la región Utrillas-Estercuel-Andorra (Cordillera Ibérica).** GARCIA-HERNANDEZ, M.; MARTIN, L.; PIGNATELLI, R., y VERA, J. A.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núm. 1-2, 59-68, ref. 29, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Cone in cone, Nódulo, Caliza, Aptiense, Albiense, Sedimentación detrítica, Medio lacustre, Difracción RX, Génesis, Provincia Teruel.

20777. **Análisis comparativo de la morfometría de la raña y otras formaciones detríticas de Somosierra (Sistema Central Español).** SANZ DONAIRE, J.

20909. **La disolución por presión y el desarrollo del bandeado tectónico meso y microscópico en rocas metapelíticas de bajo grado, en el NO de España.** PULGAR, J. S.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 147-190, ref. 121, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Metapelita, Clivage tectónico, Esquistosidad, Micropliegue, Disolución bajo presión, Composición mineralógica, Pliegue, Difracción RX, Análisis químico, Termodinámica.

22243. **Reunión de xeología do Noroeste Peninsular.** LABORATORIO XEOLOGICO DE LAGE.

*Cuad. Lab. xeol. Laxe* (1980), vol. 1, 1-343, esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Geología, Tectónica, Geotectónica, Yacimología, Geomorfología, Noroeste Península Ibérica, España.

## HIDROLOGIA

22445. **Contribución al conocimiento de la mineralización de las aguas de los embalses de Cúber y Gorg-Blau y de sus principales aportes.** MOYA, G., y RAMON, G.

*Bol. Soc. Hist. Nat. Balear* (1981), vol. 25, 21-30, ref. 14, esp., res. cat., ing., bibl. IGME.

\* Agua superficie, Calidad, Análisis químico, Propiedad química, pH, Conductividad eléctrica, Ión, Alcalinidad, Mallorca.

22459. **Influencia de las características físicas de las cuencas hidrográficas en la frecuencia e intensidad de las crecidas.** GARCIA RUIZ, J. M.; PUIG DE FABREGAS TOMAS, J., y CREUS NOVA, J.

*Cuad. inv. geograf.* (1980), vol. 6, núm. 1-2, 19-36, ref. 3, esp., bibl. IGME.

\* Hidrología superficie, Cuenca representativa, Caudal río, Crecida río, Pirineos españoles, Provincia Huesca, Provincia Lérida, Navarra.

## MINERALOGIA: GENERALIDADES

20484. **Crecimiento de triquitos sobre gel de sílice. I. Aplicación al KBr.** GARCIA RUIZ, J. M.; LOPEZ-ACEVEDO, V., y TAVIRA, P.

*Est. geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núm. 1-2, 3-8, ref. 6, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Gel coloidal, Crecimiento cristalino, Evaporación, Fase fluida, Microscopio electrónico, Nucleación, Ensayo laboratorio.



*Geographica* (1980), núm. 21-22, 235-251, ref. 26, esp., bibl. IGME.

\* Canto rodado, Cuarzita, Conglomerado, Roca clástica, Pérmico, Buntsandstein, Mioceno, Granulometría, Fracción gruesa, Distribución estadística, Histograma, Paleoclima, Paleorrelieve, Hercínico Centro, Provincia Madrid, Provincia Segovia.

20826. **La separación de residuo insoluble de rocas carbonatadas.** BARAHONA FERNANDEZ, y PALUMBO, P. *Tecniterrae* (1981), núm. 44, 6-9, ref. 8, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Metodología, Separación, Residuo insoluble, Roca carbonatada.

20904. **Estudio de areniscas en lámina delgada: Modelo para archivo de datos.** GARCIA RAMOS, J. C., y VALENZUELA, M.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 83-88, ref. 60, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Arenisca, Lámina delgada, Serie datos, Almacenamiento datos, Bibliografía.

20908. **La formación Agüeira en el sinclinorio de Vega de Espinareda: Aproximación al modelo de sedimentación durante el Ordovícico Superior en la zona Asturoccidental-Leonesa (NO de España).** PEREZ ESTAUN, A., y MARCOS, A.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 135-145, ref. 14, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Roca clástica, Turbidita, Ordovícico sup., Sinclinorio, Paleocorriente, Corte geológico, Granoselección, Estructura sedimentaria, Ciclo sedimentario, Asturias, Provincia León.

20910. **Emplazamientos de deltas progradantes y facies asociadas, en el Westphalense del borde oriental de la Cuenca carbonífera Central (Asturias).** SANCHEZ DE LA TORRE, L.; AGUEDA VILLAR, J. A.; COLMENERO, J. R.; GONZALEZ LASTRA, J. A., y MARTIN LLANEZA, J.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 191-201, ref. 11, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Sedimentación deltaica, Sedimentación lagunar, Medio deltaico, Medio lagunar, Delta, Morfología, Ciclo sedimentario, Corte geológico, Caliza, Westphaliense.

20911. **Estudio sedimentológico de los conglomerados del Jurásico de Asturias (Borde occidental).** SANCHEZ DE LA TORRE, L., y BARBA, F. J.

*Trab. geol. Univ. Oviedo* (1981), núm. 11, 203-212, ref. 19, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Sedimentación detrítica, Medio agua poco profunda, Cono aluvión, Conglomerado, Arena, Limo, Granulometría, Asturias.

22454. **Los carbonatos biogénicos en los depósitos arenosos de las playas del litoral asturiano,** FLOR, G.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 4, 51-62, ref. 15, esp., bibl. IGME.

\* Caliza bioclástica, Arena, Proporción material sedimentado, Sedimentación marea, Medio marea, Playa, Corriente litoral, Asturias.

22455. **Transgresión de la caliza griotte, Viseense, encima de un zócalo ácido. Pico Primiello, Concejo de Amieva, Asturias.** THIBIEROZ, J.

*Breviora Geol. Astúrica* (1977), vol. 21, núm. 4, 62-64, ref. 3, esp., bibl. IGME.

\* Viseense, Caliza, Arcosa, Transgresión, Basamento, Granito, Asturias.

## PETROLOGIA DE ROCAS IGNEAS Y METAMORFICAS

20486. **El vulcanismo del área de Atienza. Estudio petrológico.** HERNAN, F.; PERNI, A., y ANCOCHEA, E.

*Est. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núm. 1-2, 13-25, ref. 29, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Andesita, Pérmico, Colada, Domo cristalino, Sill, Textura porfírica, Composición mineralógica, Enclave-roca, Granate, Falla vertical desgarre, Provincia Guadalajara.

22231. **Líquenes silicícolas de la Sierra de los Filabres y Sierra Alhamilla, Almería, España.** EGEA, J. M., y LLIMONA, X.

*An. Univ. Murcia - Ciencias* (1981), vol. 37, núm. 1-4, 107-152, ref. 50, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Micaesquisto, Gneis, Cuarzita, Composición ácida, Composición silícea, Líquenes, Provincia Almería.

## YACIMENTOLOGIA DE METALES

20830. **Geología, mineralogía y génesis del yacimiento de Pb-Zn del Cerro del Toro, Motril, Granada.** HIGUERAS, P.; FENOLL HACH-ALI, P., y RODRIGUEZ GORDILLO, J.

*Tecniterrae* (1981), núm. 44, 65-76, ref. 31, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Plomo sustancia, Galena, Cinc sustancia, Esfalerita, Yacimiento estratiforme, Yacimiento hidrotermal, Dolomía, Pérmico, Trias inferior, Análisis químico, Paragénesis, Provincia Granada.

## YACIMENTOLOGIA DE SUSTANCIAS NO METALICAS

20833. **El caolín en España.** GARCIA FERNANDEZ, A., y FERNANDEZ ALVAREZ, J. M.

*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 11-15, ref. 6, esp., bibl. IGME.

\* Caolín, Sustancia no metálica, Yacimiento sedimentario, Yacimiento hidrotermal, Yacimiento residual, Primario, Cretácico, Neógeno, Cuaternario, Yacimiento volcánico, Producción, Utilización sustancia, España.

## SUELOS

22168. **La erosión de los suelos de Andalucía.**

Junta de Andalucía. Sevilla (1982), 1-99, ref. 33, bibl. IGME.

\* Reunión, Erosión, Erosión suelo, Superficie erosión, Proporción material erosionado, Ciclo erosión, Control erosión, Vegetación, Bosque, Agricultura, Clima, Legislación, Andalucía.

## GEOQUIMICA

20487. **87 Sr/86 Sr ratios of basaltic rocks from Campos de Calatrava (Central Spain).** ANCOCHEA, E., y DEL MORO, A.

*Estud. Geol.* (Madrid, 1981), vol. 37, núm. 1-2, 27-33, ref. 30, ing., res. esp., bibl. IGME.

\* Isótopo, Sr 87 — Sr 86, Roca volcánica, Neógeno, Composición mineralógica, Análisis menores, Análisis elemento traza, Petrografía, Fusión parcial, Contaminación magmática, Diferenciación magmática, Provincia Ciudad Real.

20827. **Distribución de elementos trazas en las esferitas y galenas de los yacimientos filonianos españoles del tipo B.G.P.C.** ARRIBAS, A., y MORO, C.

*Tecniterrae* (1981), núm. 44, 10-43, ref. 33, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Plomo sustancia, Galena, Cinc sustancia, Sphalerita, Filón, Yacimiento hidrotermal, Roca plutónica, Roca metamórfica, Análisis menores, Análisis elemento traza, Paragénesis, España.

## FISICA DEL GLOBO

20541. **Modificaciones del movimiento del eje de rotación de la Tierra al considerar modelos deformables.** SEVILLA, M. J.

*Rev. R. Acad. Cienc. Exactas Fis. Nat. Madrid* (1982), vol. 76, núm. 1, 177-180, ref. 5, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Planeta Tierra, Rotación, Polo geomagnético, Ecuación matemática.

20763. **La precipitación en función de la presión y el relieve entre la Iberia húmeda y seca en el espacio Vasco-Riojano.** RUIZ URRESTARAZU, E.

*Cuad. inv. geograf.* (1981), vol. 7, núm. 1-2, 81-100, ref. 17, esp., res. ing., bibl. IGME.

\* Precipitación atmosférica, Presión barométrica, Relieve, Observatorio, Método estadístico, Histograma, Provincia Alava, Provincia Guipúzcoa, Navarra.

20829. **Anelasticidad en la región del Océano Pacífico comprendida por las Islas Kuriles, Islas Marianas y las Islas Haway.** CANAS, J. A.

*Tecniterrae* (1981), núm. 44, 58-64, ref. 19, esp., bibl. IGME.

\* Anelasticidad, Análisis espectro sísmico, Onda Rayleigh, Atenuación, Modelo, Ecuación matemática, Océano Pacífico, Pacífico Norte.

## ENERGIA

20483. **Geotermia de baja y media entalpía. Principios básicos.** SANCHEZ GUZMAN, J.

*Energías alternativas* (1982), vol. 3, núm. 9, 39-48, ref. 4, esp., bibl. IGME.

\* Energía geotérmica, Entalpía, Prospección, Programa, Informe actividad, España.

20636. **Simposio sobre prospección de carbón.**

*Esc. Téc. Sup. Ing. Minas. Oviedo* (1982), 3 vol., esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Carbón, Sustancia útil, Prospección minera, Sondeo, Diagrama, España.

20820. **El proyecto carbonífero australiano de Hunter Valley.**

*Rocas miner.* (1982), núm. 124, 70-75, esp., bibl. IGME.

\* Carbón, Mina, Producción, Investigación, Previsión, Reserva, Nueva Gales del Sur.

20839. **Aportaciones al ahorro energético en el sector cerámico.** VIDAL, A.

*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 64-78, esp., bibl. IGME.

\* Industria, Cerámica, Economía de energía, Pirólisis, Temperatura, Arcilla, Arcilla industrial, Inventario, Reserva, Propiedad física, Estudio de un caso, España.

22359. **Simposio sobre recursos energéticos.**

*Ministerio de Industria y Energía* (1981), 4 vol., esp., bibl. IGME.

\* Reunión, Energía, Carbón, Hidrocarburo, Uranio sustancia, Central eléctrica.

## ECONOMIA

20315. **Estudio de viabilidad para la explotación de yacimientos.** PEON, A.

*Studia Geologica Salmanticensia* (1980), vol. 16, 151-157, esp. bibl. IGME.

\* Evaluación yacimiento, Decisión explotabilidad, Estudio factibilidad, Valor producción, Inversión, Coste, Ecuación matemática.

20819. **Organización y desarrollo de proyectos industriales. Su aplicación en minería.** PICAZO MONTOTO. *Rocas miner.* (1982), núm. 124, 20-37, esp., bibl. IGME.  
\* Proyecto, Explotación, Gestión Sociedad, Estudio factibilidad, Planificación, Decisión explotabilidad, Mano de obra, Coste.
20831. **Investigación operativa aplicada a proyectos mineros.** BARRERA CORTEZ, J. E.  
*Tecniterrae* (1982), núm. 45, 5-80, ref. 19, esp., res. ing., bibl. IGME.  
\* Tesis, Investigación operacional, Proyecto, Explotación, Cielo abierto, Modelo físico, Modelo matemático, Método iterativo, Optimización, Rentabilidad, Programa ordenador.
20832. **Las rocas ornamentales en España.**  
*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 6-10, esp., bibl. IGME.  
\* Material ornamentación, Pizarra, Mármol, Granito, Importación, Producción, Precio, España.
20834. **El sulfato sódico natural en España.** ORDONEZ, S.; MENDUINA, J., y GARCIA DEL CURA, M. A.  
*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 16-33, ref. 24, esp., bibl. IGME.  
\* Thenardita, Glauberita, Mirabilita, Sulfato sódico, Evaporita, Recurso natural, Propiedad fisicoquímica, Solubilidad, Salinidad, Diagrama equilibrio, Yacimiento estratiforme, Mina, Corte geológico, Mineralurgia, Explotación, Producción, Importación, Exportación, Reserva, Génesis, Lago salado, Salmuera, Provincia Madrid, Cuenca Ebro.
20835. **Problemática de los minerales y rocas industriales en España.** MENDUINA, J.  
*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 34-43, esp., bibl. IGME.  
\* Sustancia no metálica, Clasificación, Definición, Producción, Previsión, España.
20837. **Las diatomitas en España.** PLIEGO, D., y BAIANO, F.  
*Tecniterrae*, vol. 8, núm. 46, 47-52, ref. 32, esp., bibl. IGME.  
\* Diatomita, Carbonato, Propiedad física, Mina, Cielo abierto, Inventario, Mercado, Andalucía.
20838. **Panorámica general del yeso en España. Los yesos de la cubeta de Calatayud en la provincia de Zaragoza.** COLLANTES, L. P., y GRIFFO, J. L.  
*Tecniterrae* (1982), vol. 8, núm. 46, 53-63, ref. 21, esp., bibl. IGME.  
\* Yeso sustancia, Génesis, Producción, Reserva, Análisis químico, Propiedad fisicoquímica, Graben, Mioceno medio, Vindoboniense, Aquitaniense, Corte geológico, Provincia Zaragoza.
20925. **Comunicaciones presentadas al 5.º Congreso Internacional de minerales industriales.**  
Congreso Internacional de minerales industriales, Madrid, 1982, 152 pp., ref. 115, ing., bibl. IGME.  
\* Reunión, Sustancia útil, Utilización sustancia.
22324. **Esplendor y miseria de la minería cartagenera 1850-1855.** EGEA BRUNO, P. M.  
Papeles Departamento Geográfico, núm. 8, 207-227, ref. 73, esp., bibl. IGME.  
\* Histórico, Panorama minero, Cartagena, Provincia Murcia.
22460. **La minería del carbón y del hierro en La Rioja durante el siglo XIX.** FRANCO ALIAGA, T.  
*Cuad inv. geograf.* (1980), vol. 6, núm. 1-2, 51-67, ref. 40, esp., bibl. IGME.  
\* Histórico, Explotación, Hierro sustancia, Carbón, Producción, Precio, Exportación, Provincia Logroño.

13 JUN 1983

