

ASPECTOS MORFOLOGICOS DE LA ALTERACION DE PIZARRAS ARCILLOSAS DEVONICAS DE CORDOBA (ESPAÑA)

J. L. Tirado Coello (*), R. Cabanás Pareja (**), C. Espino (***)
y G. Paneque Guerrero (***)

RESUMEN

En el presente trabajo se exponen datos del estudio morfológico a diferentes escalas, de materiales pizarrosos devónicos del norte de la provincia de Córdoba, que permiten señalar algunos aspectos principales que caracterizan y/o diferencian los procesos de plegamiento hercínico, de metamorfismo hidrotermal y de meteorización en los mismos. Por otro lado, la existencia de ciertas peculiaridades (variaciones texturales, estructuras de falsa esquistosidad, apertura interlaminar, etc.) permiten comprobar la independencia de tales procesos y apoyan el esquema de los mecanismos establecidos en base a otras determinaciones experimentales (Tirado y Paneque, 1982).

PALABRAS CLAVE: Micromorfología de pizarras. Metamorfismo hidrotermal. Pizarras arcillosas devónicas.

ABSTRACT

In the present work morphological data at different levels of devonian shales from Córdoba (Spain) are exposed. These data allow to remark several main aspects in order to characterize and discriminate hercynic processes, hydrothermal metamorphism and weathering in the materials. On the other hand certain peculiarities (textural variations, false schistosity, splitting, etc.) make possible to determine the independence of those processes and support the mechanisms established in base of other experimental results (Tirado & Paneque, 1982).

KEY WORDS: Micromorphology of shales. Hydrothermal metamorphism. Devonian argillaceous shales.

Introducción

En el presente trabajo se muestran diversos aspectos morfológicos de los materiales pizarrosos que constituyen una faja devónica situada al norte de la provincia de Córdoba (España), cuya caracterización química y mineralógica se encuentra en Tirado y Paneque (1982). La descripción comparada de aspectos geomorfológicos y tectónicos se completa con las características apreciadas de "visu" y las determinadas mediante microscopía petrográfica y microscopía electrónica.

La zona estudiada se encuentra comprendida en las Hojas de El Viso (núm. 858) y Espiel (núm. 880) del Mapa Topográfico de España E. 1:50.000 (1976) y se extiende entre los 4° 58' y 5° 11' de longitud y 38° 15' y 38° 25' de latitud, disponiéndose en diagonal NW-SE. Su superficie total es, aproximadamente, 11.500 Ha. (fig. 1).

Las características morfológicas seleccionadas de

los materiales considerados resultan de tres acciones o procesos fundamentales: plegamiento hercínico, metamorfismo hidrotermal y meteorización. Su estudio aporta datos de interés acerca de los mecanismos implicados y de las relaciones entre ellos.

Materiales y métodos

Para la descripción geomorfológica y tectónica de la zona se hizo uso de las Memorias correspondientes a las Hojas 858 (Hernández Pacheco y Cabanás, 1969) y 857 (Febrel, 1963) del Mapa Geológico de España E. 1:50.000, y de la Hoja núm. 69 (Pozoblanco) del Mapa Geológico de España E. 1:200.000 (1971).

De los materiales presentes se tomaron 32 muestras de pizarra de distintas clases y niveles de alteración. La descripción de las muestras se efectuó según la guía de la F. A. O. (1968) para el estudio de suelos. El análisis mecánico se realizó por el método de Bouyucos (Primo Yufera, 1973), separándose las fracciones arena por tamizado en agua. El análisis micromorfológico se llevó a cabo en lámi-

(*) Dpto. Química Inorgánica. Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba.

(**) Dpto. Geología-Edafología. Facultad de Ciencias. Universidad de Córdoba.

(***) Dpto. Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla.

nas delgadas, preparadas según Altemüller (1962), con modificaciones (Bellinfante, Paneque y Baños, 1974), la interpretación de las observaciones sigue criterios de Brewer (1964), Harker (1974) y otros.

La *microscopía electrónica* de transmisión se realizó con el empleo del EM PHILIPS 300. La preparación de las muestras para *microscopía electrónica de barrido* consistió en la separación de la fracción arcilla, deposición de las partículas, con ligera agitación manual, sobre el portamuestras y electrodeposición de la película de Au. El microscopio utilizado fue el SEM PHILIPS 501 B.

Resultados y discusión

Los depósitos precámbricos y paleozoicos del norte de la provincia de Córdoba fueron afectados por las últimas fases del plegamiento hercínico y forman parte de una gran cordillera que desde la "rodilla" asturiana, arrumbándose al sur por el oeste peninsular, se dobla a sureste y este, terminando en el valle del Guadalquivir (fig. 1). Sus cimas forman hoy una serie

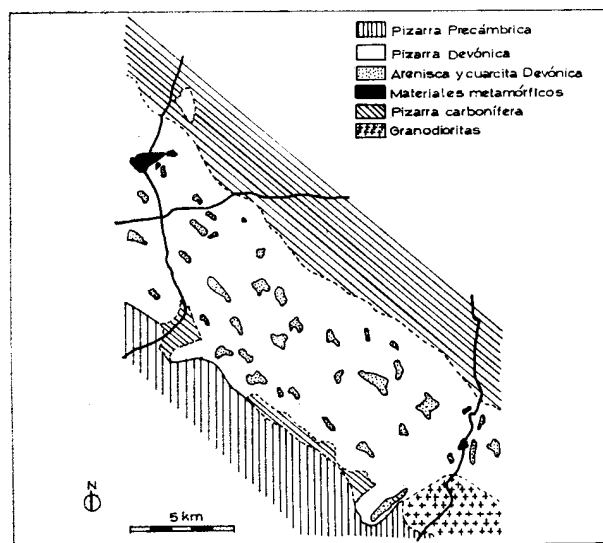
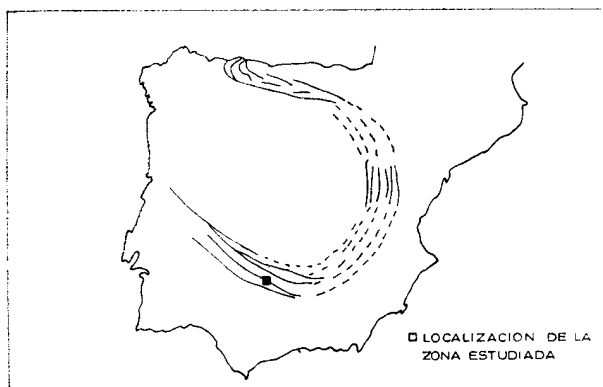


Fig. 1.—Situación de la zona estudiada en la cuenca hercínica (de Llopis *et al.*, 1967) y esquema geológico.

de sierras locales, una de las cuales es la Sierra Morena (Lotze, 1929).

Coincidiendo con los empujes del último período de orogenia (Simón, 1953), se produce una intrusión de materiales magmáticos a alta temperatura y presión bajo los estratos sedimentarios, originando pliegues intensos de los mismos, con fuerte buzamiento. Durante el enfriamiento y la consolidación de la masa granítica se producen fracturas importantes que dieron lugar a una densa red de fallas, por las que emergen fluidos activos. De esta forma, las fisuras se rellenan con intrusiones cuarcíferas y porfídicas, y los materiales de la cobertera sedimentaria sufren un metamorfismo hidrotermal de diversa magnitud.

Tras el plegamiento, la relajación de esfuerzos causó la formación de fallas paralelas y perpendiculares a los pliegues, siendo las últimas, en muchos casos, de desgarre y causando la desarticulación de los ejes de los pliegues.

Finalmente, el proceso de arrasamiento del edificio tectónico, desde finales de la orogenia hasta nuestros días, desmontando la cobertera, ha facilitado el afloramiento del sustrato granítico en algunos puntos y la erosión diferencial de los materiales de la zona (Cabanás, 1968).

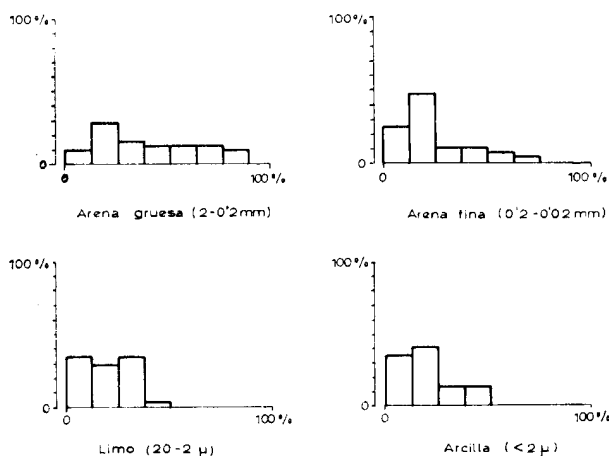


Fig. 2.—Distribución de los distintos contenidos en fracciones granulométricas para las muestras de pizarra.

Huellas de todos estos procesos pueden contemplarse en el estado actual de los sedimentos. Así, el rumbo característico hercínico, medido en varios puntos, fluctúa, por lo general, entre 310 y 330°. De igual forma, la presencia de secciones cilíndricas de charnela anticlinal, la existencia de crestones cuarcitosos correspondientes a flancos de pliegues, las fallas de desgarre, etc., son claros indicadores de los procesos de plegamiento.

Una característica de interés, de apreciación más dudosa, es la coincidencia de la esquistosidad con los planos de estratificación. Si bien en el caso de estra-

tos alternos de cuarcita y pizarra puede pensarse en una buena correspondencia, para los materiales netamente pizarrosos, los pliegues más pronunciados que poseen y el lixiviado de pigmentos férricos formando aureolas muy marcadas dificulta la apreciación de aquella. Así mismo, cuando las cuarcitas no interestratifican materiales más finos, los planos de diaclasa impiden una clara distinción de los estratos. Finalmente, existen pruebas relativas al metamorfismo hidrotermal, a que antes se alude, entre las que se incluye el yacimiento de arcilla de Hinojosa del Duque (Tirado y Paneque, 1981).

En las características geomorfológicas de la faja de materiales devónicos, pueden destacarse en algunas áreas altitudes relativamente elevadas y fuertes pendientes, originadas en procesos erosivos de materiales con elevada resistencia diferencial; paquetes cuarcitosos alternantes con otros de pizarras arcillosas y areniscas deleznales, a los que acompañan formas características, como crestones de erosión diferencial ("Hog Backs") y glaciais de acumulación originados en la disgregación mecánica de los estratos cuarcitosos que componen las comas de los cerros, favorecida en mayor o menor grado por los planos de diaclasa.

En los datos de descripción de las muestras, las características texturales (fig. 2) presentan una gran variabilidad que se relaciona con distintos elementos del medio físico. En primer lugar, la proximidad e interestratificación de pizarras con areniscas y cuarcitas condiciona la abundancia de fracciones más gruesas. Por otra parte, los bajos contenidos en fracciones finas, se relacionan con la altitud, como muestra la recta de regresión entre % arcilla y altitud, según la expresión:

$$\% \text{ arcilla} = 76.6 - 0.1 \text{ altitud (m.)} \quad (r = -0.61)$$

y que supone el arrastre de las fracciones finas en la meteorización de las pizarras, de acuerdo con la predominancia cuarcitosa en las cumbres de los cerros. El arrastre está lógicamente favorecido por la pendiente, como pone de manifiesto la correlación entre % arcilla y pendiente (%), con $r = -0.58$.

Sin embargo, los procesos más importantes que condicionan la textura son los de hidrotermalismo y, en algunos casos, los de meteorización. Los primeros favorecen particularmente la abundancia de las fracciones arena fina y limo, de acuerdo con las cristalizaciones propuestas para este metamorfismo y también con los criterios expuestos por Galán *et al.* (1977). La degradación mecánica de constituyentes minerales en el proceso de meteorización ha podido comprobarse en el estudio por microscopía electrónica, y se discute más abajo. Por último, conviene destacar que las texturas más finas observadas corresponden a muestras en las que se propone una superposición de procesos de hidrotermalismo y meteorización.

En la observación directa, las estructuras de la mayoría de las muestras, salvo aquellas tomadas muy próximas al nivel de derrubios o a nódulos areniscosos, son laminares, como corresponden a este tipo de rocas. Las muestras más metamorfizadas presentan mayores espesores de lámina, pensándose en una expansión de las mismas durante el proceso de hidrotermalismo. Dichas expansiones han debido permitir el paso de fluidos activos a través del material, facilitando las reacciones en la masa de sedimentos.

La observación al microscopio petrográfico de los materiales metamórficos revela, en primer lugar, que están constituidos, fundamentalmente, por: 1.º) granos minerales anisótropos, 2.º) componentes minerales opacos, y 3.º) espacios vacíos o huecos.

Los *granos minerales anisótropos* son, en una considerable mayoría, incoloros o muy ligeramente amarillentos. Presentan hábito escamoso y colores de interferencia de segundo orden. Son, pues, compatibles con minerales tipo illita, caolinita y otros filosilicatos, cuarzo, etc. Los tamaños más frecuentes son próximos a 10-50 μ . Se disponen paralelamente entre sí, fundamentalmente según su eje más largo, originando un patrón de distribución básico bandeado.

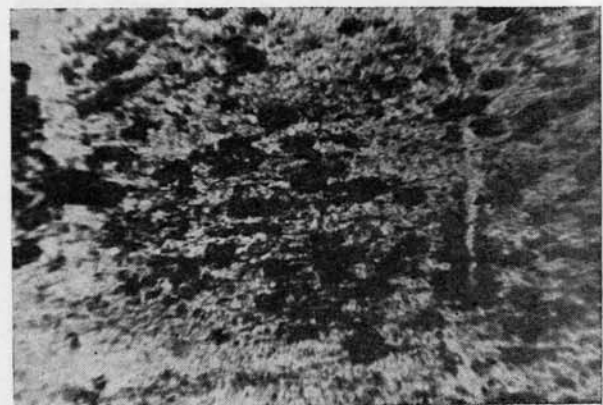


Fig. 3.—Disposición de óxidos u oxihidróxidos de hierro en áreas de pizarra. 0.10x, Oc. 12'5x.

La presencia de *componentes minerales opacos*, pardos o pardo-oscuros, es la responsable del color que la muestra presenta a simple vista. Estos constituyen estructuras parciales más o menos filamentosas, pardas, que se disponen entre los granos de minerales anisótropos, proporcionando el aspecto de una malla pardo oscura u ocre, elongada en la dirección de la esquistosidad. Posiblemente, dichos constituyentes opacos corresponden a óxidos u oxihidróxidos de Fe y/o Mn, formados en la alteración de otros minerales. Sin embargo, aunque la citada forma es la más frecuente en la disposición de los minerales opacos, no es la única. Estos aparecen, a veces, en estructuras individualizadas, dentro de una matriz compleja (fig. 3), posiblemente de pizarra más o menos alte-

rada, en la que es fácil distinguir granos de cuarzo y micáceos, con una notable disminución en cuanto al grado de esquistosidad respecto del material circundante. En estas microáreas de pizarra, el material opaco se reagrupa en forma de pequeños nódulos redondeados e irregulares que están, a veces, interconectados. Otra forma de disponerse los minerales opacos es en bandas paralelas a la dirección de la esquistosidad, formadas por material pardo oscuro en masas redondeadas u ovaladas.

Los espacios vacíos o huecos son escasos y corresponden a huecos planos, con disposición paralela entre sí y a la dirección de la esquistosidad. Raramente existen algunos canales con direcciones distintas a las de esquistosidad (fig. 4).

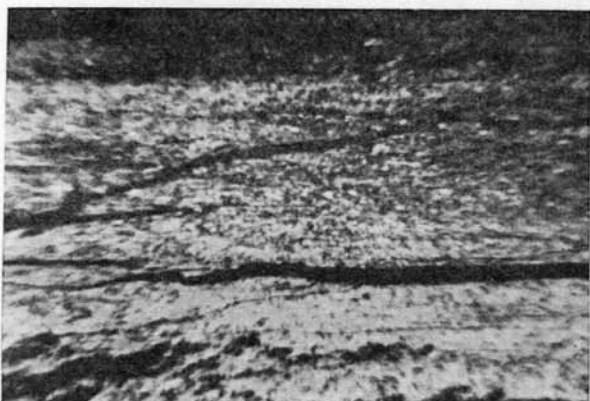


Fig. 4.—Aspecto de huecos planares. 0.2'5x, Oc. 12'5x. Nícoles cruzados.

Como rasgo morfológico que puede ser de interés desde el punto de vista de la interpretación genética y mineralógica del material examinado, cuando se observa con nícoles cruzados, destaca la existencia de bandas estrechas o líneas de extinción o de interferencia, en direcciones distintas a la de esquistosidad. Tales líneas pueden ser debidas a modificaciones en la ordenación a lo largo de ellas de los minerales anisótropos de hábito laminar, por ejemplo, por fuerzas posteriores o al menos distintas a las que dieron lugar a la esquistosidad ("falsa esquistosidad" o "falsa fractura o exfoliación"). No obstante, puede pensarse también que tales efectos ópticos sean debidos a procesos de recristalización de minerales de neoformación (Harker, 1974), como podría ser el crecimiento ordenado de pirofilita, a consecuencia de la fase de hidrotermalismo.

Finalmente, aspectos morfológicos de componentes de las distintas muestras y de sus correspondientes fracciones arcilla, observadas mediante microscopía electrónica de transmisión y barrido, han permitido confirmar la composición mineralógica de aquéllas al mismo tiempo que han proporcionado criterios de

interés para interpretar ciertos aspectos genéticos de aquéllas.

En las muestras metamórficas, se comprueba la existencia de pirofilita, en forma de partículas de tamaño relativamente grande, en muchos casos superior a 2μ , con cantos irregulares y presentando las características figuras de interferencia (fig. 5). En estas muestras se aprecia también la existencia de caolinita bien cristalizada, en láminas pseudo-hexagonales, con tamaños de partícula inferiores a los encontrados para la pirofilita, y pequeñas partículas opacas, con hábito estrellado, que pueden corresponder a goethita o lepidocrocita. Junto a estos minerales, puede comprobarse la presencia de ilita, en forma de pequeñas placas escalonadas con perfil irregular.

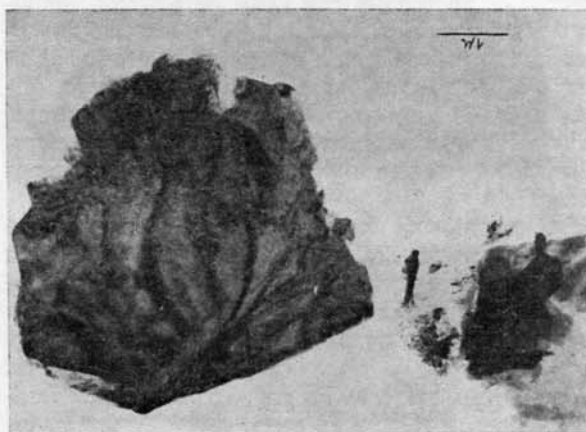


Fig. 5.—Aspecto al m. e. t. de una lámina de pirofilita correspondiente a una muestra de pizarra metamorfizada.

La observación al microscopio electrónico de muestras no metamorfizadas, con distintos grados de meteorización, confirma también la presencia de caolinita e ilita. La caolinita presenta partículas muy pequeñas (inferiores a 0.5μ) que, sin embargo, mantienen una apariencia pseudo-hexagonal, hecho que no descarta una baja cristalinidad del mineral; las ilitas son de tamaño de partícula especialmente pequeño, llegando a alcanzar, aproximadamente, 500 \AA . Este hecho supone una importante disgregación mecánica de las micas originales en el proceso de meteorización.

La figura 6 presenta una lámina de mica en la que se aprecia una gran irregularidad en sus bordes, lo cual revela un nivel alto de alteración meteórica. Así mismo, puede apreciarse una importante línea de fractura a lo largo de una dirección distinta a [001], que se puede considerar una fase inicial en la disgregación mecánica antes aludida, en la transformación meteórica de moscovita a ilita (Beutelspacher y Van Der Marel, 1968). A veces, las partículas de mica aparecen en forma de listón, probablemente originado

al plegarse sobre sí misma una lámina del mineral desde una línea de fractura (Graf von Reichenbach y Rich, 1975).

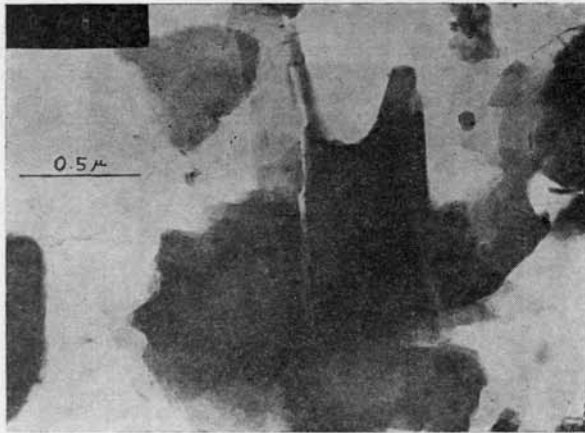


Fig. 6.—Aspecto al m. e. t. de una lámina de mica presentando alteración de sus cantos y líneas de fractura.

En la observación por m. e. b. de cantos de láminas de mica de muestras en las que se ha previsto un alto nivel de meteorización, se aprecian fuertes separaciones interlaminares e irregularidades en la estratificación ("splitting") (Tarzi y Protz, 1978), lo que supone un estadio próximo a la exfoliación en láminas fundamentales. Al no detectarse ningún tipo de materiales cubrientes, el "splitting" observado se interpreta como una causa importante de eliminación de potasio interlaminares para las micas originales.

Conclusiones

Los datos expuestos corresponden a una serie de distintos aspectos morfológicos que caracterizan y diferencian diversos procesos básicos que han actuado sobre los materiales de la zona estudiada:

El plegamiento hercínico origina estructuras abovedadas, una alineación de los estratos con el rumbo característico, en los que la esquistosidad es coincidente, en algunos casos, con la estratificación. En las muestras predominan estructuras laminares, y al microscopio se aprecia una disposición en bandas de los constituyentes y huecos.

El metamorfismo hidrotermal determina texturas moderadamente finas (predominancia de fracciones entre 20 y 200 μ), aumento del espesor de las láminas de pizarra, estructuras de "falsa esquistosidad", y cambios en la composición mineralógica y en la forma y tamaño de los cristales. Estas características están de acuerdo con un proceso de cristalización lento, determinado por la emergencia de fluidos en la consolidación de intrusiones magmáticas.

Los procesos de dinámica externa conducen a la aparición de relieves exaltados, a un aumento en los contenidos de fracción arcilla bien relacionado con la altitud y pendiente. Concretamente, dichos procesos son responsables de la aparición de aureolas de pigmentos férricos, del "splitting" y disgregación mecánica mediante fracturación de los minerales laminares, que facilitan en el caso de las micas pérdidas de potasio, ilitización y caolinización de baja cristalinidad.

Agradecimiento

A la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica por las facilidades proporcionadas para la realización del trabajo.

Bibliografía

- ALTEMULLER, J. H.
1962. Verbesserung der Einbeltungs und Schleiftechnik bei der Herstellung von Bodendumschliffen mit Vestopal. *Z. Pfl. Ernähr. Dung.* 99-164.
- BELLINFANTE, N.; PANEQUE, G. y BAÑOS, C.
1974. Estudio micromorfológico de un suelo sobre sedimentos del Trias del Viar. *An. Edaf. Agrobiol.*, 17, 71-75.
- BEUTELSPACHER, H. y VAN DER MAREL, H. W.
1968. *Atlas of electromicroscopy of clay minerals and their admixtures.* Elsevier. N. Y.
- BREWER, R.
1964. *Fabric and mineral analysis of soils.* J. Wiley & Sons. N. Y.
- CABANÁS, R.
1968. El macizo batolítico de Los Pedroches. *Real Acad. Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* Madrid.
- F. A. O.
1968. *Guía para la descripción de perfiles de suelos.* Direc. Form. Tierras y Aguas. Roma.
- FEBREL, T.
1963. Memoria de la Hoja 857 (Valsequillo). Mapa Geológico de España 1:50.000. Inst. Geol. Min. Esp., Madrid.
- GALÁN, E.; MATÍAS, P. P. y GALVÁN, J.
1977. Correlación entre cristalinidad, tamaño, génesis y edad de algunos caolines españoles. *Proc. 8th Int. Kaolin Symp.* Madrid-Roma.
- GRAF VON REICHENBACH, H. y RICH, C. I.
1975. Fine grained micas in soils. En: *Soil Components II.* Springer Verlag. Berlin.
- HARKER, A.
1974. *Metamorphism.* Chapman & Hall. London.
- HERNÁNDEZ PACHECO, F. y CABANÁS, R.
1968. Memoria de la Hoja 858 (El Viso). Mapa Geológico de España 1:50.000. I. G. M. E., Madrid.
- LOTZE, F.
1929. *Und Tektonik des Keltiberischen Grundgerbirges.* *Abh. Gess. Wiss. Gott. N. F.*, 14, 2. Berlín.

- LLOPIS, N.; DE VILLALTA, J. F.; CABANÁS, R.; PELÁEZ, J. R. y VILAS, L.
1967. Le Devonien de l'Espagne. Int. Symp. on The Devonian System., 171-187.
- PRIMO, E. y CARRASCO, J. M.
1973. *Química Agrícola, I*. Ed. Alhambra, Madrid.
- SIMÓN, W.
1953. Datos para la historia de Sierra Morena: sus sedimentos variscos. Inst. Lucas Mallada. Publicaciones extranjeras, 7, 50-68.
- TARZI, J. G. y PROTZ, R.
1978. Characterization of morphological features of soil micas using scanning electron microscopy. *Clays and Clay Min.*, 26, 352-360.
- TIRADO, J. L. y PANEQUE, G.
1981. Composición química y mineralógica de los materiales de un yacimiento de arcilla de Hinojosa del Duque (Córdoba). *Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidr.*, 20, 297-301.
1982. Metamorfismo en pizarras arcillosas devónicas de Córdoba, España (remitido a Clay Minerals).

*Recibido el 9 de abril de 1983.
Aceptado el 16 de abril de 1984.*