

## LOS AGREGADOS DE CLORITA Y MICA EN LAS ROCAS PALEOZOICAS DEL ZÓCALO DE LA CORDILLERA IBÉRICA NORORIENTAL

R. TEJERO LOPEZ \*

### RESUMEN

En las areniscas y pizarras paleozoicas aflorantes al NE de Calatayud, en la Cordillera Ibérica, se encuentran como componentes de las rocas agregados de clorita y mica, formados por capas de clorita y moscovita que presentan un grado de complejidad variable. Los agregados son anteriores a la deformación y se disponen estadísticamente paralelos a la estratificación. Durante el desarrollo de la esquistosidad los agregados fueron microplegados, produciéndose una reorientación a favor de los planos de la esquistosidad. Los mecanismos de deformación más importantes son la rotación mecánica, la recristalización y la disolución por presión. Los agregados se forman durante la diagénesis, con probable alteración de biotita a clorita. La moscovita es la fase estable durante la deformación y el metamorfismo.

### PALABRAS CLAVE

Agregados de clorita y mica. Rocas paleozoicas.

### ABSTRACT

*Chlorite-mica aggregates occurs in paleozoic sandstones and slates outcropping to the NE of Calatayud, in the Iberian Range. They consist of stacked layers of white mica (muscovite) and chlorite which exhibit varying degrees of complexity. They were, in part, present before deformation and are statistically parallel to bedding. They have been deformed during cleavage development by microfolding and they were reoriented towards the cleavage planes. Mechanical rotation, recrystallization and pressure solution appear to be the most important mechanisms for cleavage development in these rocks. The aggregates were formed during diagenesis, probably by alteration of biotite to chlorite. Muscovite is the stable phase during deformation and metamorphism.*

### KEY WORDS

Chlorite-mica aggregates. Paleozoic rocks.

\* Departamento de Geodinámica. Facultad de Ciencias Geológicas. Univer. Complut. de Madrid. Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

## INTRODUCCIÓN

En numerosos niveles de pizarras y areniscas pertenecientes a las formaciones paleozoicas, que constituyen el zócalo hercínico de la Cordillera Ibérica aflorante al NE de Calatayud (Zaragoza), aparecen como componentes de las rocas granos formados por clorita y mica, a los que denominaremos agregados de clorita y mica. Agregados con semejantes características han sido estudiados en series paleozoicas de distintas zonas, describiendo su textura, la relación con la deformación y el origen de los mismos [ROY (1978), BEUTNER (1978), CRAIG et al. (1982), WOODLAND (1928) y DIMBERLINE (1986)]. En general, están formados por clorita y mica, mostrando unas relaciones más o menos complejas entre sí. Un aspecto, discutido por todos los autores, es su origen y el momento de su formación y sobre el cual se han propuesto diversas ideas, resumidas por CRAIG et al. (1982) y a las que recientemente se han incorporado nuevas investigaciones. Basándonos en el trabajo de estos autores, el origen de los agregados puede ser:

- Origen detrítico.** Los agregados entran a formar parte de la roca como clastos, poco o nada modificados durante la meteorización y el transporte [BEUTNER (1982)].
- Origen diagenético y metamórfico.** La formación de clorita tendría lugar durante la diagénesis y/o el metamorfismo temprano. La clorita crecería a partir de micas detríticas [VOLL (1960) y VAN DER PLUIJM et al. (1984)] o a partir de minerales de arcillas sedimentarias [CRAIG et al. (1982)].
- Origen metamórfico.** Formación de clorita sincrónica con la deformación y el metamorfismo [WEBER (1981)].

Esta diversidad de ideas pone de manifiesto que existe un amplio espectro de posibilidades en cuanto al origen de los agregados, presentes en todos los casos en rocas con un metamorfismo de grado bajo o muy bajo.

Mediante el estudio en lámina delgada de los agregados en secciones perpendiculares a la esquistosidad intentaremos describir su morfología, la relación con la deformación, así como realizar unas consideraciones en cuanto a su origen.

## DESCRIPCIÓN DE LOS AGREGADOS

Las capas en las que han sido estudiados los agregados de clorita y mica pertenecen a las formaciones de edad Cámbrico Inferior, Pizarras de Huérmeda y Arenisca de Daroca [LOTZE (1929)] y a las formaciones Santed, Deré y Borrachón del Ordovícico Inferior [WOLF (1980)]. Estas formaciones están constituidas por areniscas, pizarras y cuarcitas, dominando estas últimas en la formación Deré. Los agregados son frecuentes en las samitas no cuarcíticas, limolitas y pizarras. Su tamaño suele ser relativamente grande, destacando en las rocas de grano más fino, sobre todo en las pizarras. El análisis de la

composición mineralógica de las pizarras, mediante difracción de R-X del polvo total de la muestra, da resultados similares en las muestras de las distintas formaciones. Los minerales fundamentales son: cuarzo, clorita, moscovita y en menor proporción los feldespatos, principalmente plagioclasas y microclina. Aunque la relación clorita y moscovita puede variar en porcentaje, en todos los casos son cloritas ferromagnesianas y moscovitas del politipo 2M<sub>1</sub>. Las limolitas y areniscas presentan al microscopio una mineralogía semejante. Como accesorios aparecen apatito, circón y turmalina. Pirita y otros minerales opacos son relativamente abundantes.

Los agregados, en estas rocas, son de dos tipos:

- Agregados formados por clorita exclusivamente.
- Agregados constituidos por clorita y moscovita, en los que esporádicamente se encuentra biotita.

Los primeros presentan colores verdosos con luz natural y tonos azules oscuros con nícoles cruzados. Son de menor tamaño que los agregados biminerales, con los que coexisten en la roca. Las cloritas en los agregados de clorita y moscovita también se caracterizan por colores de birrefringencia azules oscuros, en los que destacan las moscovitas. La clorita y la moscovita llegan a formar la totalidad de delgadas capas típicas de las formaciones Deré y Borrachón. Estas laminaciones milimétricas alternan con capas de limolitas, en las que también se encuentran los agregados.

El tamaño de los agregados es muy variado y también su morfología. A veces tienen formas elipsoidales, con su eje mayor paralelo a los planos basales de los minerales. Su tamaño varía entre 5 y 0,1 mm. Los agregados de mayor tamaño se encuentran tanto en las laminaciones como en agregados aislados microplegados, con morfologías kink y chevron. La relación entre las dos especies minerales es variable. En algunos agregados los cristales son concordantes, siendo paralelos los planos basales de cloritas y moscovitas, independientemente de que se encuentren plegados o no. En otros ejemplares los minerales son discordantes, cortando la moscovita los planos basales de la clorita o formando un cierto ángulo distintos cristales de clorita y moscovita (fig. 1). Estas características son similares a las descritas por otros autores, como por ejemplo CRAIG et al. (1982) en el Ordovícico Superior y Silúrico Inferior de Gales, VAN DER PLUIJM et al. (1984) en la Fm. Lechada (León) y WOODLAND (1982) en Matinsburg Formation (Pennsylvania).

## RELACIÓN CON LA DEFORMACIÓN

La deformación interna de las rocas se produce fundamentalmente durante la primera fase de deformación hercínica [TEJERO (1987)]. En esta fase se genera una esquistosidad de plano axial, más penetrativa en las pizarras que en las rocas samíticas. Las fases de deformación posteriores modifican solo localmente la fábrica de las rocas.

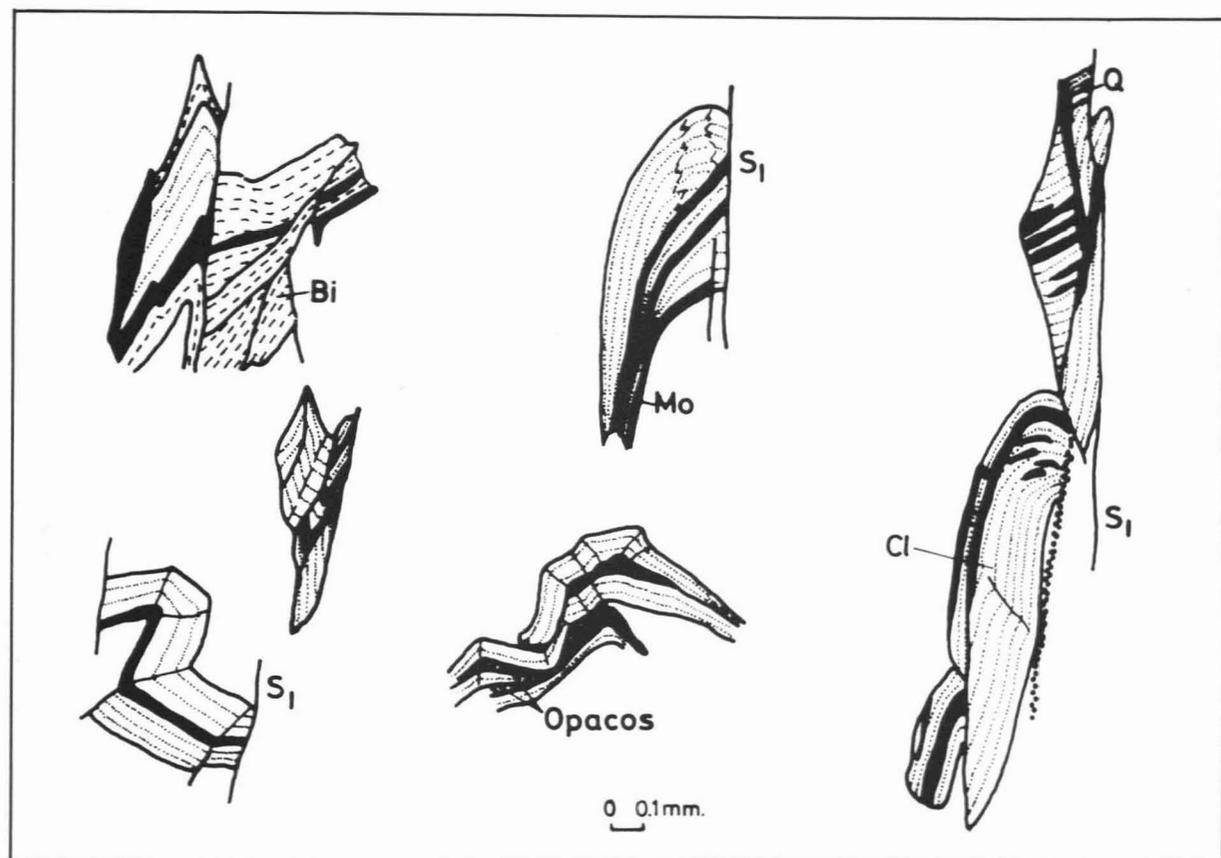


Fig. 1 Morfología de los agregados de clorita y mica. Esquemas dibujados a partir de microfotografías. S<sub>1</sub>: esquistosidad; Cl: clorita; Mo: moscovita; Bi: biotita; Q: cuarzo.

*Chlorite and mica aggregates morphology, taken from microphotographies. S<sub>1</sub>: schistosity; Cl: chlorite; Mo: muscovite; Bi: biotite; Q: quartz.*

En esta primera fase, caracterizada por estructuras, pliegues y esquistosidad, con orientación NW-SE, las rocas sufren un metamorfismo que en los niveles paleozoicos es de muy bajo grado. FERNANDEZ NIETO et al. (1985) sitúan las rocas de la Formación Borrachón (Tremadoc) dentro de la anzizona, en el paso de la diagénesis profunda al metamorfismo de grado muy bajo, en la facies de «clorita-illita». Los datos mineralógicos aportados por estos autores coinciden con nuestras propias observaciones. Este grado metamórfico se mantiene en los materiales cámbricos.

En las capas con gran abundancia de minerales laminares se observa que, además de la reorganización de la fábrica con orientación de los silicatos laminares, debida a la esquistosidad, inicialmente la fábrica presenta en algunos niveles una orientación de los filosilicatos paralela a la estratificación. Esta orientación es particularmente visible en las laminaciones formadas por clorita y moscovita, que se encuentran crenuladas por la esquistosidad.

Para intentar establecer la relación entre los agregados y la esquistosidad, hemos medido las orientaciones de los agregados con respecto a la traza de la esquistosidad en lámina delgada. La medida se ha realizado en muestras cortadas perpendicularmente al plano de esquistosidad. Los histogramas de frecuencias de las orientaciones construidos con

los datos reflejan que los máximos se sitúan próximos a la esquistosidad en las zonas de flanco de los pliegues, con una mayor dispersión en las zonas de charnela. En la figura 2 se han representado dos de estos histogramas, correspondiendo a flancos de pliegues en los casos 2a y 2c, muestras de las formaciones Deré y Borrachón, respectivamente. Los agregados tienden a orientarse según la esquistosidad (S<sub>1</sub>), aunque muestran una cierta dispersión. Esta dispersión se acentúa cuando consideramos la zona de charnela. En el caso b de la figura 2 las orientaciones de los agregados en la charnela de un pliegue de longitud de onda centimétrica (en negro) y en los flancos del mismo pliegue (en blanco), presentan un máximo según la esquistosidad en las zonas de flanco y una gran dispersión en la charnela. Los agregados en la muestra presentan micropliegues asimétricos en los flancos y simétricos en la charnela. Los flancos largos de los primeros se aproximan, a medida que aumenta el buzamiento al plano de esquistosidad, produciendo una mayor orientación en la roca. Los tamaños de los agregados de la muestra 2c reflejados en un diagrama tamaño-orientación, pone de manifiesto que, desde los tamaños menores, que corresponden a agregados formando un gran ángulo con la esquistosidad, parece existir una gradación, aumentando el tamaño hacia los más próximos a la misma. Estos

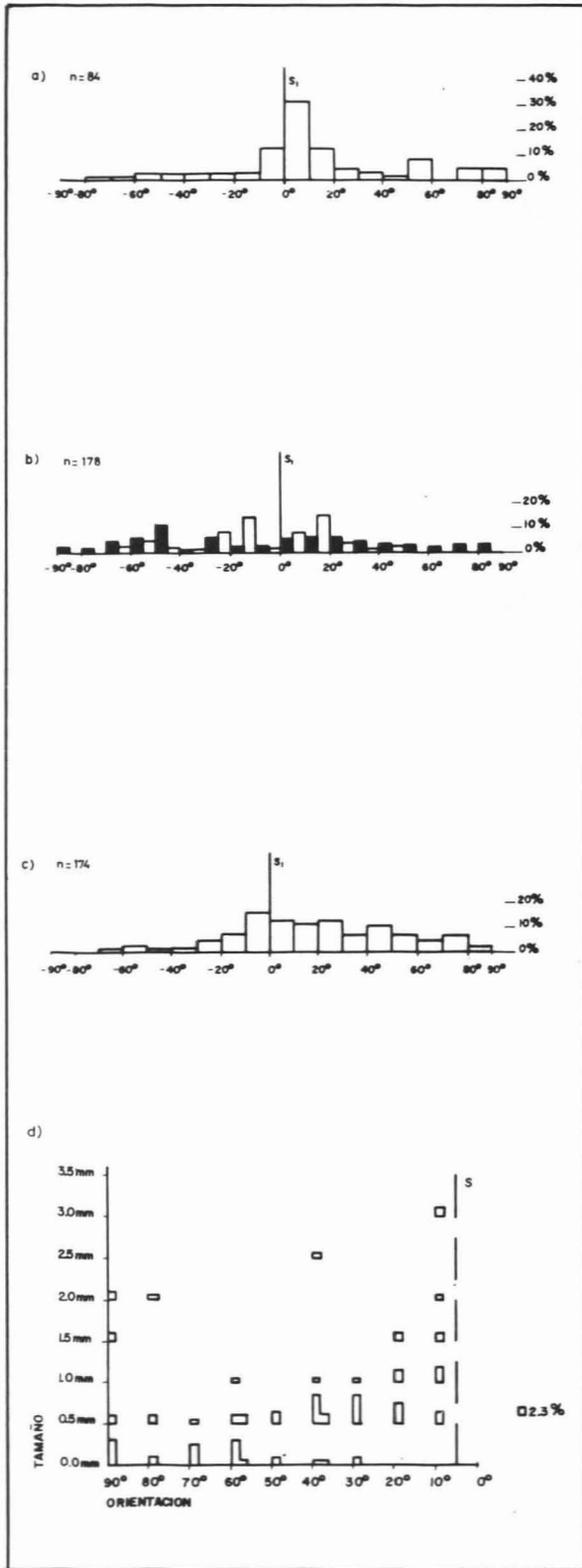


Fig. 2 Orientación de los agregados de clorita y mica con respecto a la esquistosidad. Los máximos se sitúan próximos a la orientación de la esquistosidad en la muestra.

n: número de agregados medidos.

d) Fm. Deré. b) y c) Fm. Borrachón.

*Chlorite and mica aggregates orientation, regarding sample schistosity.*

n: number of measured aggregates.

d) Fm. Deré. b) and c) Fm. Borrachón.

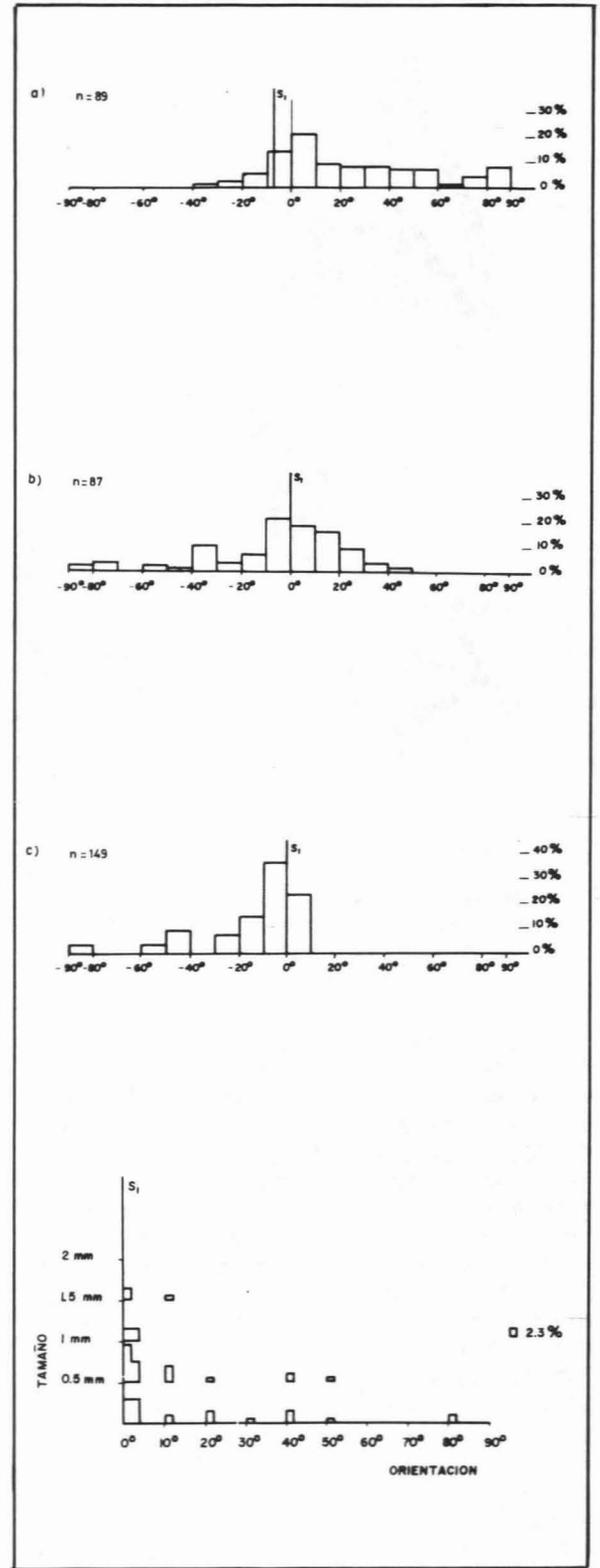


Fig. 3 Orientación de los filosilicatos de mayor tamaño, principalmente moscovitas, con respecto a la esquistosidad. n: número de minerales medidos.

a) y b) Fm. Deré. c) Arenisca de Daroca.

*Bigger phyllosilicates orientation mainly muscovites, regarding sample schistosity.*

n: number of measured minerals.

a) and b) Fm. Deré. c) Daroca's sandstone.

resultados son similares a los obtenidos midiendo la orientación y el tamaño de los filosilicatos, generalmente moscovitas. Entre éstos se han escogido los de mayor tamaño incluidos en la roca. Al igual que en el caso de los agregados, también se observa un máximo de orientación próximo o coincidente con la esquistosidad. En la figura 3 se han representado algunos de estos diagramas, que corresponden a muestras situadas en los flancos. En la última muestra se ha realizado la medida de los tamaños, obteniéndose unos resultados semejantes a los de la figura 2 d.

La orientación de los filosilicatos y agregados según la esquistosidad y la morfología de los mismos indican que han sido deformados durante el desarrollo de la estructura, teniendo lugar una rotación favorecida por el microplegamiento. Los agregados aparecen rodeados por la esquistosidad o bien ésta coincide con los planos axiales de los micropliegues. Los agregados estarían afectados por procesos de disolución por presión en sus límites, a los cuales corresponderían las formas elipsoidales que presentan en muchas ocasiones. Entre los planos basales de las cloritas y moscovitas se producen deslizamientos, consecuencia de la rotación y el microplegamiento y a favor de estos en algunos agregados un enriquecimiento en minerales opacos (fig. 1). Los despegues entre los planos (001) favorecería la recristalización de moscovita sincrónica con la deformación. Moscovita que también se forma en los planos de esquistosidad, a partir de los átomos e iones liberados por la disolución por presión. Por lo tanto, la morfología de los agregados es consecuencia de la deformación en su mayor parte, interviniendo los mismos mecanismos que en el desarrollo de la esquistosidad: rotación mecánica y microplegamiento, recristalización y disolución por presión [TEJERO (1987)].

## ORIGEN DE LOS AGREGADOS

Los aspectos estudiados nos permiten realizar una serie de consideraciones en cuanto al origen de los agregados en estas rocas. En primer lugar, por sus relaciones con la deformación, los agregados tendrían elementos pre-tectónicos y sintectónicos. Las cloritas y moscovitas pre-tectónicas están deformadas por la esquistosidad estando microplegadas o reorientadas por la estructura. La extinción ondulante en las cloritas está generalizada. Los elementos sintectónicos son sobre todo moscovitas que recristalizarían en disarmonías y en zonas perpendiculares al eje máximo compresivo, en planos paralelos a la esquistosidad o en planos de esquistosidad. Estas moscovitas resaltan en los agregados, con unos bordes muy netos.

De los posibles orígenes expuestos por distintos autores y de los cuales se ha realizado un resumen en la introducción, en función de las características de las cloritas, los agregados en estas rocas podrían tener desde un origen detrítico a una formación sintectónica y sinmetamórfica. Los problemas derivados de un origen detrítico han sido examinados por CRAIG et al. (1982) y se basan en la fragilidad de los agregados en el transporte, la no existencia de un equi-

librio dinámico con los clastos de cuarzo y su mayor abundancia en las rocas de grano más fino. Un origen totalmente sintectónico y sinmetamórfico queda excluido en nuestro caso, ya que aparecen deformados por la esquistosidad. Por lo tanto, la formación de clorita ha de situarse en la diagénesis, pudiendo continuar hasta el inicio de la deformación.

En cuanto a los precursores de los agregados, recientemente DIMBERLINE (1986) ha propuesto que derivan de la alteración de biotita. Analizando la composición de la clorita y de la moscovita constituyentes de los agregados, encuentra que en conjunto se aproxima a la composición de la biotita de origen ígneo. La transformación de la biotita en clorita tendría lugar directamente o mediante la alteración de biotita a vermiculita, que por adición de aguas ricas en  $K^{+2}$  pasaría a moscovita. La transformación ocurriría durante la diagénesis, así como el paso de vermiculita a moscovita. Aunque en nuestro estudio no se han realizado análisis puntuales de la composición de los agregados, sí se observa al microscopio la existencia de biotitas que pasan lateralmente a cloritas. Entre las biotitas y las cloritas aparecen cristales de moscovita (fig. 4). Como el metamorfismo es de carácter anquizonal, no existe

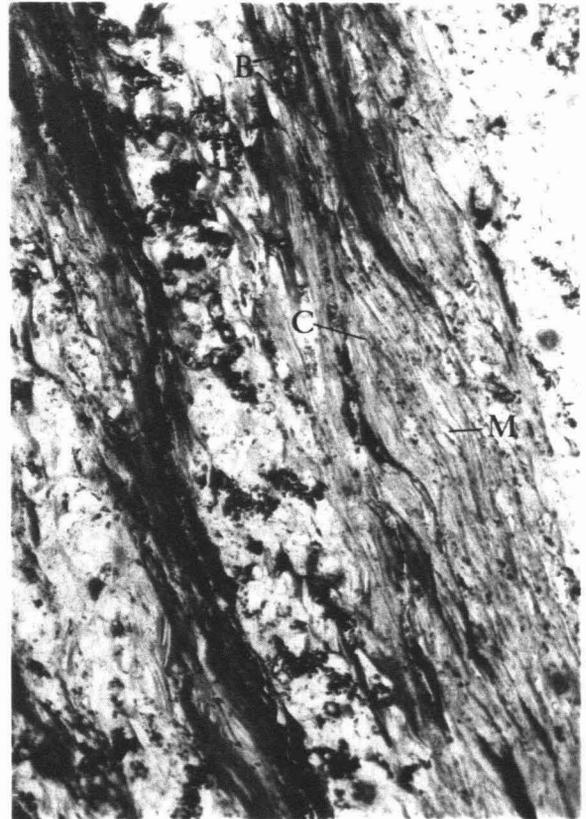


Fig. 4 Láminas de agregados de clorita, biotita y moscovita al microscopio. La biotita pasa a clorita con crecimientos intercalados de moscovita. Luz natural. B: biotita; C: clorita; M: moscovita.

*Chlorite, biotite and muscovite aggregates plates. Microscope view, natural light. The biotite changes to chlorite, with muscovite intercalated growths. B: biotite; C: chlorite; M: muscovite.*

la posibilidad de formación de biotita metamórfica. La moscovita puede ser en parte diagenética, formándose a partir de minerales de arcilla [DIMBERLINE (1986)] y en parte es sinmetamórfica. La clorita sería el resultado de la alteración de biotita durante la diagénesis.

## CONCLUSIONES

Los agregados de clorita y mica presentes en las rocas paleozoicas, aflorantes en la zona nororiental de la Cordillera Ibérica, están formados por clorita o clorita y moscovita. La relación textural clorita-moscovita puede ser concordante, siendo los planos basales de ambos minerales paralelos, o discordante, en cuyo caso las especies minerales tienen distinta orientación del plano (001).

Los agregados están deformados por la esquistosidad, apareciendo microplegados, con morfologías kink y chevron.

Los mecanismos que intervienen en la deformación de los agregados son:

- Rotación de los agregados hacia los planos de esquistosidad, favorecida por el microplegamiento y durante la cual se producen deslizamientos en los planos basales de cloritas y moscovitas.
- Recristalización de moscovita principalmente, en planos perpendiculares al eje máximo compresivo y por lo tanto orientadas según la esquistosidad. Recristalización que también tiene lugar en los agregados, en las zonas de disarmonía entre los planos basales de los filosilicatos.
- Disolución por presión en los límites de los agregados y en el interior de los mismos, favoreciendo la concentración de minerales opacos en determinadas zonas.

Estos mecanismos son fundamentales en la formación de la esquistosidad.

La formación de clorita y moscovita tiene lugar durante la diagénesis, con incorporación de moscovita sindeformacional. Las cloritas derivan de la alteración de biotitas.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a M. T. MARTÍN PATINO la ayuda recibida en la realización e interpretación de los análisis por difracción de R-X.

## BIBLIOGRAFÍA

- BEUTNER, E. C. (1978): "Slaty cleavage and related strain in Martinsburg Slate, Delaware Water Gap, New Jersey", *Am. J. Science*, 278, 1-23.
- CRAIG, J.; FITCHES, W. R., y MALTMAN, A. J. (1982): "Chlorite-mica stacks in low-strain rocks of Central Wales", *Geol. Mag.*, 119 (3), 243-256.
- DIMBERLINE, P. J. (1986): "Electron microscope and microprobe analysis of chlorite-mica stacks in the Wenlock turbidites, mid Wales, U. K.", *Geol. Mag.*, 123 (3), 299-306.
- FERNANDEZ NIETO, C.; GONZALEZ LOPEZ, J. M., y GONZALEZ MARTINEZ, J. (1985): "El grado de metamorfismo de los materiales pelíticos de la zona de Santed (Zaragoza)", *Bol. Soc. Esp. Mineralogía* (1985), 347-358.
- LOTZE, F. (1929): "Stratigraphie und tektonik des Keltiberischen Grundgebirges (Spanien)", *Abh. Ges. Wiss. Gött. Math-Phys. K 1 (N. Ser.)*, 14 (2), 1-320.
- ROY, A. B. (1978): "Evolution of slaty cleavage in relation to diagenesis and metamorphism: A study from the Hunsrückschiefer", *Geol. Soc. Am. Bull.*, 89, 1775-1785.
- TEJERO, R. (1987): "Tectónica de los macizos paleozoicos al NE de Calatayud. Rama Aragonesa de la Cordillera Ibérica (Prov. de Zaragoza)". Tesis doctoral. U. C. Madrid, 320 pp.
- VAN DER PLUIJM, B. A., y KAARS-SIJPESTEIJN, C. H. (1984): "Chlorite-mica aggregates: morphology, orientation, development and bearing on cleavage formation in very-low-grade rocks", *J. Struct. Geol.*, 6 (4), 399-407.
- VOLL, G. (1960): "New work on petrofabrics", *Lpool. Munch. Geol. J.*, 2, 503-567.
- WEBER, K. (1981): "Kinematic and metamorphic aspects of cleavage formation in very low grade metamorphic slates", *Tectonophysics*, 78, 291-306.
- WOLF, R. (1980): "The lower and upper boundary of the Ordovician System of some selected regions. (Celtiberia, Eastern Sierra Morena) in Spain. Part I: The Lower Ordovician sequence of Celtiberia", *N. Jb. Paläont. Abb.*, 160.