

## ESTUDIO DE MINERALES Y ROCAS

# El metamorfismo del Paleozoico de la isla de Menorca (Islas Baleares).

Por R. GARCIA (\*), J. M. BRELL (\*\*\*) y A. APARICIO (\*\*)

## RESUMEN

Los materiales paleozoicos del área Hercínica de Menorca han experimentado un metamorfismo de bajo y muy bajo grado (Carbonífero en tránsito a diagénesis (Devónico), cuyas características son establecidas. Se define una inversión metamórfica entre ambas series y su relación con otras áreas metamórficas hercínicas.

*Palabras clave:* Metamorfismo, Bajo grado, Hercínico, Menorca.

## ABSTRACT

The paleozoic rocks in the Hercynian area of Menorca island, underwent a very low to low grade metamorphism (Carboniferous) in transition to diagenesis (Devonian). The metamorphic features are established. A reversal metamorphism is defined in relation with other hercynian metamorphic areas in Iberian Massif.

*Key words:* Metamorphism, Low grade, Hercynic, Menorca.

## INTRODUCCION

La mitad septentrional de la isla de Menorca está constituida por materiales paleozoicos. En estos materiales se encuentra representado el Devónico, Carbonífero y Pérmico (ROSELL et al., 1969; BOURROUILH, 1973; OBRADOR, 1983; ROSELL y ELIZAGA, 1989; ROSELL y ARRIBAS, 1989; ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 a, b, c) (fig. 1). Tanto el Devónico como el Carbonífero están constituidos por secuencias turbidíticas con escasa representación de calizas y pelitas. El Pérmico aparece discordante, constituido por pelitas y areniscas.

El Devónico aflora según una franja Norte-Sur en la parte central de la isla contactando con el Carbonífero mediante una superficie de cabalgamiento. La edad de esta serie corresponde al Gediniense (ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 c) con una laguna estratigráfica que corresponde

al resto del Devónico y Carbonífero más inferior. El Carbonífero presenta dos zonas de afloramientos según bandas igualmente de dirección Norte-Sur, una oriental, constituida por turbiditas de facies Culm escasamente plegadas (ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 a) de posible edad Viseense Superior (aunque puede alcanzar al Namuriense) y otra occidental, con turbiditas, intensamente deformadas y de edad Tournasiense-Viseense (ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 c). Tanto el Carbonífero como el Devónico presentan caracteres de resedimentación y olistostrómicos, por lo que es difícil precisar más las dataciones. El grado de deformación que el Devónico y Carbonífero Occidental presentan hacen estimativos los espesores de 1.000 metros para el Devónico y 4.000 metros para el Carbonífero Oriental, y de 2.000 metros para el Carbonífero Oriental (ROSELL y ARRIBAS, 1989; ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 a y c).

Todo el Paleozoico se encuentra afectado por tres fases de deformación tectónica (ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 a, b, c), la 1.ª fase, de edad Viseense, causa el cabalgamiento Devónico-Car-

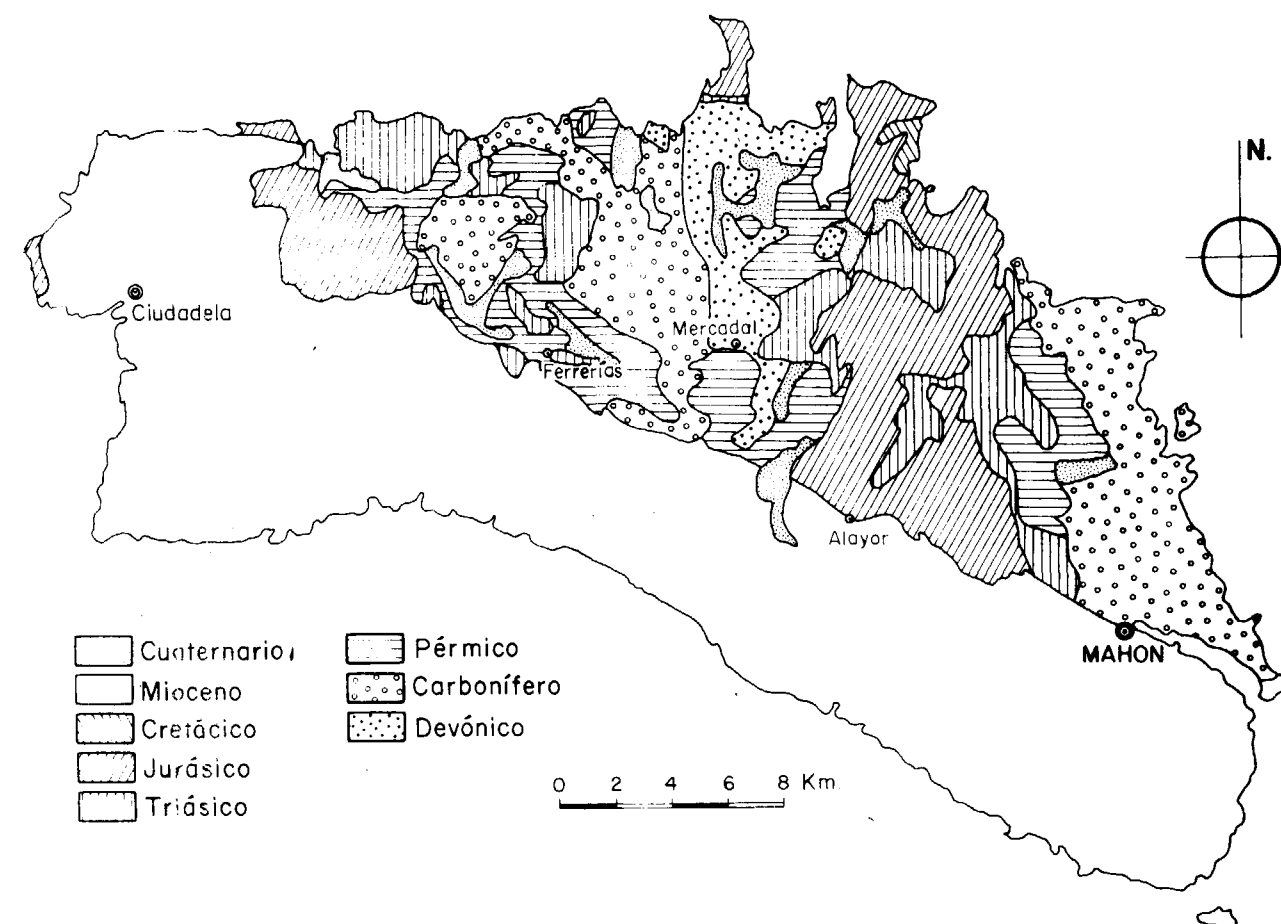


Figura 1.—Esquema geológico de la isla de Menorca a partir de la cartografía publicada (Mapa Geológico Escala 1/200.000). Hoja núm. 49-65 (Menorca, 1972), y Mapa Geológico 1/25.000, Hojas núm. 647 (Mahón, 1989), núm. 618 (Cap Menorca y Ciudadela, 1989) y núm. 646 (Cala en Brut y Alaior, 1989).

bonífero; la 2.ª, de edad intranamuriense, es poco intensa, y queda reflejada en el Carbonífero del sector oriental; la 3.ª fase es de carácter distensivo, y de edad finicarbonífera-Pérmica.

Sin embargo, el conocimiento estratigráfico y estructural del Paleozoico menorquín no ha incidido hasta ahora en la determinación de las características del metamorfismo que le afectó.

Los estudios realizados en otras áreas del Hercínico Ibérico sobre el metamorfismo de bajo grado que presentan los materiales Paleozoicos (GALAN et al., 1978; APARICIO y GALAN, 1980; APARICIO et al., 1991 a; APARICIO et al., 1991 b) hace especialmente interesante el estudio del metamorfismo en esta zona.

Para realizar este estudio se tomaron muestras del Devónico y Carbonífero; sin embargo, la escasez de pizarras (pelitas) en las respectivas sucesiones, dificultó el muestreo, empleándose para las determinaciones rocas de textura pizarrosa y con bajo contenido en cuarzo que cubrirían extensionalmente ambas series. Se seleccionaron 17 muestras (9 pertenecientes al Carbonífero y 8 al Devónico), que fueron analizadas por métodos ópticos y mediante difracción de rayos X en orden a obtener las paragénesis significativas y los principales parámetros metamórficos. El método y equipos utilizados se encuentran descritos en APARICIO et al. (1988).

(\*) Dpto. de Geología. MNCN - CSIC. C/. José Gutiérrez Abascal, 2. 28006 Madrid.

(\*\*) Dpto. de Estratigrafía. Ftad. de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense. 28040 Madrid.

**CARACTERISTICAS DEL METAMORFISMO Y PARAGENESIS**

Los resultados obtenidos permiten definir el metamorfismo que afectó al Paleozoico como de tipo anquizonal en transición a diagénesis para Carbonífero y características primordialmente diagenéticas para el Devónico. En la tabla 1 se representan las paragénesis representativas de las muestras en relación con su posición estratigráfica, así como los parámetros determinativos de la intensidad del metamorfismo (Índices de cristalinidad, 060, etc.).

La proyección sobre el diagrama de ESQUEVIN (1969) de los índices de cristalinidad de la ilita (KUBLER, 1964, 1968) (fig. 2) agrupa las muestras del Carbonífero en ambientes anquizonales y epizonales. El Devónico se sitúa en ambientes diagenéticos a excepción de las muestras 12 y 14. Por otro lado, los valores de la reflexión (060) de la mica (ilita) entre 1,491 y 1,507 en ambas series, indican ambientes anquizonales, no llegándose a alcanzar la zona de la biotita (WEAVER y BROEKSTRA, 1984).

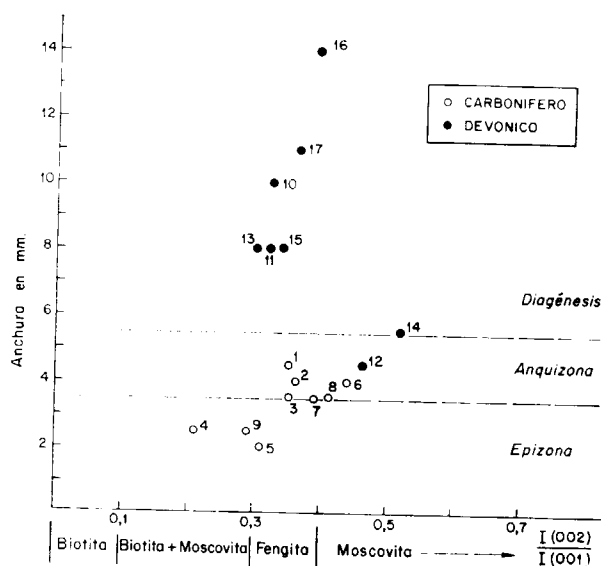


Figura 2.—Representación gráfica de los índices de cristalinidad de la ilita según ESQUEVIN (1969). ● Muestras pertenecientes a la serie Devónica. ○ Muestras pertenecientes a la serie Carbonífera.

Las determinaciones difractométricas muestran para el Carbonífero una paragénesis de cuar-

zo + albita + ilita + caolinita + clorita. La albita está presente en pequeñas cantidades, al igual que la clorita, pero ambas están representadas en todas las muestras analizadas. Esta asociación mineral resulta igualmente coincidente con las presentadas por ROSELL y ARRIBAS (1989) en facies no pelíticas para el sector oriental.

En el Devónico la paragénesis es más reducida con cuarzo + ilita + caolinita ± albita. La albita disminuye su proporción, pudiendo no aparecer en algunas muestras, por el contrario la clorita desaparece. En una muestra se observan pequeñas cantidades de feldespato potásico.

**CONDICIONES DEL METAMORFISMO**

La paragénesis del Carbonífero permite asignar unas condiciones de temperatura de 225-230° C, presión de 1-2 Kb. y profundidades de enterramiento de 5 a 7 Km. (MAXWELL y HOWER, 1967; DUNOYER DE SEGONÇAZ, 1979; VELDE, 1972; ESLINGER y SAVIN, 1973; NOACH et al., 1987). Estas condiciones permiten la transformación total del politipo de la mica Md a 2M1 (YODER y EUGSTER, 1955; ESLINGER y SAVIN, 1973; FREY, 1987).

Para el Devónico la ausencia de clorita, en ambientes metamórficos de tipo regional, requiere unas condiciones mínimas de 160-190° C (McDOWELL y ELDERS, 1980; WEAVER et al., 1984 a). La ausencia de interestratificados I/S (ilita-smectita) con su conversión total a ilita favorece unas condiciones térmicas situadas entre 160 y 210° C y presión de 1-2 Kb (ESLINGER y SAVIN, 1973; HOWER et al., 1976; McDOWELL y ELDERS, 1980; KISCH, 1983; WEAVER et al., 1984 b; REYES y CARDILE, 1989). El politipo 2M1 de la mica requiere unas condiciones mínimas de ≈200° C para su formación, pero autores como VELDE (1965) explican que la conversión Md → 2M1 puede comenzar a 125° C, aumentando la presión a 4,5 Kb, aunque el proceso se ralentiza a presiones de 1-2 Kb. La presencia de cristales de feldespato potásico en una sola muestra y su límite de desaparición que ocurre entre 95 a 175° (HOWER et al., 1976) o bien a 127-140° (BRUCE, 1984) fijaría más estrictamente las condiciones físicas que afectaron al Devónico.

**TABLA 1**  
**Paragénesis y parámetros metamórficos de las muestras estudiadas**

MUESTRA	Cuarzo	Filosil.	FELDESPATOS		Otros	Mica	Caolinit.	Clorit.	Esmect.	Interest.
			K	Ca-Na						
1	20	75	—	5	—	57	15	28	—	—
2	17	77	—	6	—	69	17	14	—	—
3	26	68	—	6	—	53	22	25	—	—
4	20	72	—	8	—	72	14	14	—	—
5	37	56	—	7	—	62	18	20	—	—
6	21	71	—	8	—	50	35	15	—	—
7	28	64	—	8	—	46	32	22	—	—
8	24	66	—	10	—	57	30	13	—	—
9	28	63	—	9	—	48	36	16	—	—
10	27	73	—	—	—	54	46	ind.	—	—
11	32	68	—	—	—	77	33	—	—	—
12	22	72	—	6	—	70	14	16	—	—
13	11	67	—	4	Dolo.	92	8	—	—	—
14	22	73	—	5	—	75	25	—	—	—
15	28	68	4	—	—	88	12	—	—	—
16	38	57	—	5	—	85	15	—	—	—
17	23	61	—	4	Calc.	90	10	—	—	—

MUESTRA	Otros	I. KUBLER	I. WEAVER	060	0010	004		3.74	2.58	Politipo Moscovita	Índice Paragonit. Na	Na+K	Crono-estrat.
						004	002						
1	—	4.5	2.8	1.506	1.993	0.35	0.33	100%	2M1	—	—	—	H
2	—	4	3	1.505	1.995	0.36	0.34	100%	2M1	—	—	—	H
3	—	3.5	4	1.507	1.995	0.35	0.45	100%	2M1	—	—	—	H
4	—	2.5	6.3	1.507	1.996	0.21	0.33	100%	2M1	—	—	—	H
5	—	2	3.7	1.507	1.993	0.31	0.42	100%	2M1	—	—	—	H
6	—	4	4.1	1.507	1.995	0.44	0.36	100%	2M1	—	—	—	H
7	—	3.5	4.2	1.505	1.994	0.39	0.46	100%	2M1	—	—	—	H
8	—	3.5	5	1.506	1.996	0.41	0.30	80%	2M1	—	—	—	H
9	—	2.5	4.8	1.507	1.992	0.29	0.42	100%	2M1	0.11	—	—	H
10	—	10	1.4	1.491	—	0.32	—	—	—	—	—	—	D
11	—	8	1.6	1.507	1.989	0.32	0.38	100%	2M1	0.32	—	—	D
12	—	4.5	2.8	1.505	1.995	0.46	0.36	100%	2M1	—	—	—	D
13	—	8	1.5	1.506	1.989	0.30	0.40	100%	2M1	0.32	—	—	D
14	—	5.5	2	1.054	1.994	0.52	0.40	100%	2M1	—	—	—	D
15	—	8	1.4	1.506	1.993	0.34	0.38	100%	2M1	—	—	—	D
16	—	14	—	1.501	1.987	0.39	0.38	100%	2M1	0.45	—	—	D
17	—	11	—	1.503	1.989	0.36	0.48	100%	2M1	0.32	—	—	D

D: Devónico  
H: Carbonífero

Dolo.: Dolomita  
Calc.: Calcita

En síntesis es posible que las condiciones para los materiales del Devónico se puedan concretar entre 160-190° C y presiones de 1 a 2 Kb.

## DISCUSION

Las características metamórficas del Devónico-Carbonífero de la isla de Menorca nos permiten deducir una fuerte inversión del proceso metamórfico entre ambas series, determinada tanto por su variación en los índices de cristalinidad de illita como por sus paragénesis. En cuanto a las condiciones físicas que los afectaron no parece detectarse ningún gap metamórfico, aunque puede concretarse quizás un pequeño salto en su intensidad producido probablemente por el cabalgamiento del Devónico sobre el Carbonífero.

Sin embargo, la existencia de esta inversión metamórfica en el paleozoico menorquín no es único en el área Hercínica, así APARICIO et al. (1991 b) para los tramos Devónico y Carbonífero de un sector de la Cordillera Ibérica (área de Montalbán, Teruel), citan igualmente una inversión metamórfica en relación con los índices de cristalinidad determinados, aunque los niveles carboníferos representan una edad ligeramente superior Namuriense-Westfaliense.

Otras áreas donde igualmente se ha estudiado el metamorfismo Hercínico en el Paleozoico Superior, corresponde a la Sierra de la Demanda, en donde APARICIO et al. (1991 a), en niveles de edad Westfaliense han determinado unas condiciones físicas de P-T similares a las aquí encontradas, con unos índices de cristalinidad muy similares a los del Paleozoico en Menorca. Sin embargo, la no existencia del Devónico no permite establecer otras consideraciones.

Por el contrario, en el sector oriental del Sistema Central, APARICIO Y GALAN (1978) sí determinan las condiciones del Devónico y Carbonífero. Los niveles Devónicos corresponden al Gedinense-Emsiense (edad similar al Devónico menorquín) y los carboníferos al Estefaniense. En este caso el Devónico manifiesta unas condiciones próximas al Devónico de Menorca, mientras que el Carbonífero presenta unas condiciones metamórficas algo inferiores al Carbonífero de Menorca, si bien se trata de diferentes niveles

estratigráficos dentro del Carbonífero. En ningún caso, APARICIO y GALAN (1978) indican la existencia de un proceso de inversión metamórfica para este área.

Una primera aproximación al problema sería considerar que la serie Devónica se encontraba ya cabalgada cuando el proceso metamórfico se inició o bien que la situación estratigráfica de estas series, dado el carácter resedimentado de las mismas (ROSELL y GOMEZ GRAS, 1989 c) estuviera modificada. Es por eso explicable que algunas muestras que según la cartografía más reciente pertenecen al Devónico, por sus características metamórficas, se ajustan mejor al Carbonífero, tal parece ser el caso de la banda Devónica que desde los alrededores de Mercadal se extiende hacia el norte de la isla.

## AGRADECIMIENTOS

A A. Vitoria y M. Castillejo, por la preparación de las muestras, y M. C. Sendra por la realización del trabajo.

## REFERENCIAS

- APARICIO, A., y GALAN, E. (1980): *Las características del metamorfismo hercínico de bajo y muy bajo grado en el sector oriental del Sistema Central (provincia de Guadalajara)*. Est. Geol., 36, 75-84.
- APARICIO, A.; BRELL, J. M., y DOVAL, M. (1988): *El metamorfismo de los afloramientos paleozoicos de las Sierras de Ratas, Mojón Alto, Albarracín, Menera y Ventosa en la Cordillera Ibérica (provincias de Guadalajara y Teruel)*. Bol. Geol. Min., 99, 847-854.
- APARICIO, A.; BRELL, J. M., y GUARAS, B. (1991a): *El metamorfismo hercínico de la Sierra de La Demanda (provincias de Logroño y Burgos)*. Bol. Geol. Min., 102, 240-246.
- APARICIO, A.; BRELL, M.; GARCIA, R.; TENA, J., y GOMEZ, J. (1991b): *El metamorfismo de bajo grado en el Paleozoico del sector central de la Cordillera Ibérica*. Bol. Geol. Min., 102, 735-747.
- BOURROUILH, R. (1983): *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del noreste de Mallorca (Balears). La terminación nororiental de las Cordilleras Béticas en el Mediterráneo occidental*. Mem. Inst. Geol. Min., 99, 2 vols., 672 pp.

BRUCE, C. H. (1984): *Smectite dehydration its relation to structure development and hydrocarbon accumulation in Northern Gulf of Mexico Basin*. Amer. Assoc. Pet. Geol. Bull., 68, 673-683.

DUNOYER DE SEGONÇAZ, G. (1970): *The transformation of clay minerals during diagenesis and low-grade metamorphism. A review*. Sedimentology, 15, 281-346.

ESLINGER, E. V., y SAVIN, S. M. (1973): *Mineralogy and oxygen isotope geochemistry of the hydrothermally altered rocks of the Ohaki-broad lands, New Zealand, geothermal area*. Am. J. Sci., 273, 240-267.

ESQUEVIN, J. (1969): *Influences de la composition chimique des Illites sur leur cristallinité*. Bull. Centre Rech. Pau SNPA, 3, 147-153.

FREY, M. (1987): *Very low-grade metamorphism of clastic sedimentary rocks 9-57*. En: *Low temperature metamorphism*. Ed. M. Frey, Chapam and Hail, N. York, 357 pp.

GALAN, E.; APARICIO, A., y VILLEGAS, F. (1978): *El metamorfismo de muy bajo grado (anquimetamorfismo) de la cuenca carbonífera Ciñera-Matalana (provincia de León)*. Est. Geol., 34, 505-510.

KISCH, H. J. (1983): *Mineralogy and petrology of burial Diagenesis (Burial metamorphism) and incipient metamorphism in clastic rocks, 289-493*. En: *Diagenesis in Sediments and Sedimentary rocks, 2, Developments in Sedimentology*, núm. 25B. Elsevier NY., 572 pp.

KUBLER, B. (1964): *Les argiles, indicateurs de metamorphism*. Rev. Inst. Franc. Petrole, 19, 1093-1112.

KUBLER, B. (1968): *Evaluation quantitative du metamorphisme par la cristallinité de l'illite. Et at des progres réalisés ces dernières années*. Bull. Centre Rech. Pau SNPA, 2, 385-397.

*Mapa Geológico de España (1972). 1/200.000. Menorca-Ibiza-Formentera*, núm. 49-65. IGME, Madrid.

*Mapa Geológico de España (1989). 1/25.000. Cap Menorca y Ciudadela*, núm. 618. IGME, Madrid.

*Mapa Geológico de España (1989). 1/25.000. Cala en Brut y Alaior*, núm. 646. IGME, Madrid.

*Mapa Geológico de España (1989). 1/25.000, núm. 647. Mahón*. IGME, Madrid.

MAXWELL, D. T., y HOWER, J. (1967): *High grade diagenesis and low-grade metamorphism of illite in the Precambrian belt series*. Amer. Min., 52, 843-857.

MCDOWELL, S. D., y ELDERS, W. A. (1980): *Authigenic layer silicate minerals in borehole Elmore 1, Salton Sea geothermal field, California, USA*. Contr. Min. Petr., 74, 293-310.

NOACH, Y.; GIROIR, G., y GIRAND, G. P. (1987): *Chlorites as indicators of Paleoenvironments*. En: *Geochemistry and mineral formation in the Earth surface*. Proceedings of the International Meeting «Geochemistry of the Earth Surface and processes of Mineral formation». Granada. Ed.: R. Rodríguez y Y. Tandy. CSIC - CNRS, 639-652.

OBRADOR, A. (1983): *El Carbonífero de Menorca*. En: *Carbonífero y Pérmico de España*. Coordinador: C. Martínez Díaz. E. Instituto Geológico y Minero, 337-342.

REYES, A. G., y CARDILE, C. M. (1989): *Characterization of clay scales forming in Philippine geothermal wells*. Geothermics, 18, 429-446.

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

ROSELL, J., y ARRIBAS, J. (1989): *Características petrológicas de las areniscas del Carbonífero de facies Culm de la isla de Menorca*. Bol. Geol. Min., 100, 853-864.

ROSELL, J., y ELIZAGA, E. (1989): *Evolución tectosedimentaria del Paleozoico de la isla de Menorca*. Bol. Geol. y Min., 100, 193-204.

ROSELL, J., y GOMEZ GRAS, (1989a): *Memoria del Mapa Geológico de España. 1/25.000, núm. 647. Mao (Mahón)*, 48 pp.

ROSELL, J., y GOMEZ GRAS, D. (1989b): *Memoria del Mapa Geológico de España. 1/25.000, núm. 618. Ciudadela (Ciudadela)*, 51 pp.

ROSELL, J., y GOMEZ GRAS, D. (1989c): *Memoria del Mapa Geológico de España. 1/25.000, núm. 646. Alaior*, 38 pp.

VELDE, B. (1965): *Experimental determination of muscovite polymorph stabilities*. Amer. Min., 50, 436-449.

VELDE, B. (1972): *Phase equilibria for dioctahedral expandable phases in sediments and sedimentary rocks*. Proc. int. Clay. Conf. Madrid, CSIC, 235-248.

WEAVER, Ch. E., y BROEKSTRA, B. R. (1984): *Illite-mica*. En: *Shale-slate metamorphism in southern Appalachians*, 67-97. Ed. E. Weaver. Elsevier, N. York, 239 pp.

WEAVER, Ch. E.; HIGHSMITH, P. B., y WAMPLER, J. M. (1984a): *Chlorite, 99-139*. En: *Shale-slate metamorphism in southern Appalachians*. Ed. E. Weaver. Elsevier, N. York, 239 pp.

WEAVER, Ch. E.; ESLINGER, E. V., y YEH, H. W. (1984b): *Oxygen isotopes, 141-152*. En: *Shale-slate metamorphism in southern Appalachians*. Ed. E. Weaver. Elsevier, N. York, 239 pp.

YODER, H. S., y EUGSTER, H. P. (1955): *Synthetic and natural muscovites*. Geoch. Cosmoch. Acta, 8, 225-280.

Original recibido: Diciembre 1991.

Original aceptado: Enero 1992.