

# Filosilicatos como Indicadores del Régimen *P/T* de las Unidades Intermedias del Rif Septentrional (Marruecos)

/ MARIA-DOLORES RODRÍGUEZ-RUIZ (\*)

Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Málaga. Facultad de Ciencias. Campus de Teatinos s/n. 29071, Málaga (España)

## INTRODUCCIÓN

La determinación de las condiciones metamórficas en materiales pelíticos es difícil ya que las asociaciones mineralógicas suelen ser poco significativas. Desde los trabajos pioneros de Velde (1965, 1967), Sassi (1972), Sassi y Scolari (1974), y Guidotti y Sassi (1976), se ha dedicado un gran esfuerzo a la interpretación de la cristaloquímica de las micas blancas potásicas para su uso potencial como geobarómetro.

La Zona Interna Rifeña incluye los complejos tectónicos Sébtide (inferior) y Gomáride (superior). La transición entre ambos tiene lugar a través de las unidades de Federico. De acuerdo con Durand-Delga y Kornprobst (1963) las unidades de Federico incluyen cuatro unidades tectónicas superpuestas, con grado metamórfico creciente de arriba abajo: Tizgarín, Boquete de Anyera, Beni Mezala-2 y Beni Mezala-1. La secuencia estratigráfica consiste, dentro de cada unidad, en filitas y metagrauvascas paleozoicas; areniscas, filitas o esquistos permo-triásicos; y cuarcitas y carbonatos triásicos.

Bouybaouène et al. (1995) estimaron las condiciones de presión y temperatura (*P* y *T*) del evento metamórfico Alpino que afectó a las secuencias permo-triásicas sobre la presencia o ausencia de distena, cloritoide, carfolita, sudoita, cookeita, fengita y/o talco; empleando el software GEO-CALC (Berman y Perkins, 1987). Bouybaouène et al. (1995) determinaron un rango *P-T* entre 1-2 kbar-300°C para la unidad superior y 20 kbar-550°C en la unidad inferior.

Dado que el estudio de otras paragénesis alpinas (Ruiz Cruz et al., 2010; Ruiz Cruz y Sanz de Galdeano,

2012) ha revelado condiciones metamórficas muy diferentes de las determinadas previamente, en este trabajo hemos tratado de deducir el régimen *P/T* de las unidades de Federico a partir de las características cristaloquímicas de las micas blancas potásicas (parámetro *b*, cristalinidad y composición) y de los filosilicatos paragenéticos.

## METODOLOGÍA

Las 70 muestras estudiadas se tomaron en los materiales permo-triásicos de las unidades de Federico de la región de Ceuta y de Bou Ahmed. Ni los datos de campo ni las asociaciones minerales permiten, en ambos casos, una distinción clara entre las unidades de Beni Mezala-2 y -1. Las muestras se estudiaron por difracción de rayos-X (XRD), usando un difractómetro Philips X'Pert PRO MPD con radiación  $\text{CuK}\alpha_1$ . Las medidas del índice de Kübler (KI) (*x*) se transformaron en valores de la escala internacional (Crystallinity Index Standard, CIS) utilizando la ecuación  $\text{CIS} = 1,9794x - 0,0733 \Delta 2\theta$ . Los datos químicos se obtuvieron por microsonda electrónica (EMPA). Las fórmulas de las micas blancas potásicas se han calculado para  $\text{O}_{10}(\text{OH})_2$  y considerando el hierro como ferroso.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la unidad de Tizgarín, la asociación de filosilicatos incluye illita, illita sodopotásica, pirofilita, sudoita, clorita y pirofilita (Tabla 1). El paso a la unidad de Boquete de Anyera viene marcado por la desaparición de la dickita y la presencia frecuente de paragonita. En la unidad más profunda aparecen, además, las asociaciones pumpellyita+anfíbol, margarita+cloritoide y talco+vermiculita (Tabla 1).

Las micas blancas potásicas muestran un aumento de cristalinidad con la profundidad (Tabla 1). Aunque un buen número de muestras contienen illita sodopotásica o paragonita, el contenido en estas fases es muy bajo y no afecta a la anchura a mitad de altura de la reflexión de la mica blanca potásica. El polilito de mica es el  $2M_1$ .

El rango composicional de las micas blancas potásicas estudiadas se recoge en la Tabla 2. En la unidad de Tizgarín las fórmulas de las micas blancas potásicas reflejan la prevalencia de las sustituciones  $^{\text{IV}}\text{Si}_1\text{M}^{+1}\text{IVAl}_1$  (sustitución pirofilítica) y  $\text{Na}^{+1}\text{K}^{+1}$ . En las unidades de Boquete de Anyera y Beni Mezala, la composición viene determinada, en cambio, por los vectores  $^{\text{IV}}\text{Si}_1\text{M}^{2+}\text{IVAl}_1$ .

Unidades	Asociación	Asociación de filosilicatos	Mica blanca potásica	
			CIS	Parámetro <i>b</i>
Tizgarín		K III + Na-K III + Prl ± Chl ± Sud ± DK	0,40	8,997
Boquete	A 1	Ph + Chl + Pg	0,33	9,004
	A 2	Ph + Chl ± Sud	0,22	9,017
Anyera	A 1	Ph + Chl ± Pg ± Prl ± Vrm	0,25	9,011
	A 2	Ms + Chl + Vrm	0,31	8,998
Beni Mezala	A 3	Ph + Pg + Na-K mica + Chl ± Prl	n.d.	9,002
	A 4	Ph + Mrg + Na-Ca mica + Chl ± Prl	0,25	9,003
	A 5	Ph + Tlc ± Vrm ± Chl ± Kln	0,22	9,009

Tabla 1. Asociación de filosilicatos, polilito y valores medios de los parámetros de las micas blancas potásicas en cada una de las unidades estudiadas en este trabajo. K III: illita potásica; Na-K III: illita intermedia sodopotásica; Na-K mica: Mica intermedia sodopotásica; Na-Ca mica: Mica intermedia sodocálcica.

**palabras clave:** Orógeno Bético-Rifeño, Mica blanca potásica, Parámetro *b*, Metamorfismo

**key words:** Betic-Rif orogen, Potassic white mica, *b* parameter, Metamorphism

resumen SEM/SEA 2012

\* corresponding author: mdrodriguez@uma.es

	Tizgarín		Boquete de Anyera				Beni Mezala									
	Asoc. 1	Asoc. 2	Asoc. 1	Asoc. 2	Asoc. 3	Asoc. 4	Asoc. 5	Asoc. 1	Asoc. 2	Asoc. 3	Asoc. 4	Asoc. 5	Asoc. 6	Asoc. 7		
Si	Mín 3,03	Máx 3,42	Mín 3,05	Máx 3,25	Mín 3,05	Máx 3,25	Mín 3,05	Máx 3,25	Mín 3,02	Máx 3,22	Mín 3,08	Máx 3,22	Mín 3,03	Máx 3,24	Mín 3,24	Máx 3,38
Al <sup>IV</sup>	0,97	0,58	0,95	0,75	0,95	0,75	0,95	0,75	0,98	0,78	0,92	0,78	0,97	0,76	0,76	0,62
Al <sup>VI</sup>	1,92	1,96	1,90	1,60	1,80	1,60	1,80	1,60	1,86	1,68	1,89	1,79	1,89	1,77	1,47	1,58
Ti	0,03	n.d.	0,02	0,03	0,05	0,03	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	n.d.	0,01	0,01	0,02	0,01
Fe <sup>2+</sup>	n.d.	0,04	0,08	0,21	0,10	0,21	0,10	0,21	0,14	0,24	0,10	0,15	0,12	0,11	0,22	0,13
Mn	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	n.d.	0,02	n.d.	0,01
Mg	0,06	0,08	0,04	0,19	0,07	0,19	0,07	0,19	0,06	0,14	0,03	0,09	0,05	0,14	0,54	0,33
Σoct.	2,00	2,08	2,04	2,03	2,02	2,03	2,02	2,03	2,08	2,08	2,05	2,04	2,07	2,05	2,24	2,07
Ca	n.d.	0,01	0,01	0,01	n.d.	0,01	n.d.	0,01	0,03	0,01	0,01	n.d.	n.d.	0,01	0,02	n.d.
Na	0,09	0,29	0,15	0,04	0,08	0,04	0,08	0,04	0,20	0,06	0,05	0,13	0,22	0,05	0,05	0,01
K	0,89	0,13	0,77	0,96	0,94	0,96	0,94	0,96	0,73	0,91	0,82	0,78	0,81	0,89	0,72	0,85
Σint.	0,98	0,44	0,93	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	0,95	0,98	0,88	0,90	1,03	0,95	0,78	0,86

Tabla 2. Resumen de la evolución de la composición química de las micas blancas potásicas. n.d.: no detectado.

$1^{VI}Al_1$  (sustitución fengítica) y  $Na^{+1},K^{+1}$ . Una excepción es, sin embargo, la asociación 5, en la cual los datos químicos (el contenido en Si y la carga interlaminar) sugieren la presencia de intercrecimientos sub-microscópicos de talco y fengita.

Aunque el uso del parámetro *b* para la estimación de la *P* usando la calibración de Guidotti y Sassi (1986) se ve restringido en el caso de paragénesis con pirofilita y/o paragonita, en las unidades estudiadas existen otras paragénesis que no contienen estas fases y que permiten realizar una estimación cualitativa de la evolución de *P* a través de la secuencia: la unidad de Tizgarín corresponde a las facies de baja *P*; en las unidades inferiores el parámetro *b* de la mica blanca potásica indica condiciones de *P* intermedias (Tabla 1).

En la unidad de Tizgarín, la presencia de pirofilita indica  $T \geq 200^\circ C$ , en acuerdo con el valor medio del CIS (Tabla 1); en tanto que el parámetro *b* de la mica sugiere muy baja *P* (Guidotti y Sassi, 1986). En la unidad de Boquete de Anyera, la presencia de sudoita y la ausencia de pirofilita indican una *T* entre 300 y 375°C (Fransolet y Schreyer, 1984), también de acuerdo con los valores medios del CIS (Tabla 1); para estos valores, las *P* determinadas para los contenidos máximos en Si de la mica son de 4.8 y 5.2 kbar (Massonne y Schreyer, 1987). En la unidad de Beni Mezala, la cristalinidad de la illita (Tabla 1) es típica de la epizona ( $T > 300^\circ C$ ) en tanto que el contenido en Si de la clorita ( $Si = 2.77-2.61$  apfu) indica un rango de *T* entre 290 y 370°C (Hillier y Velde, 1991). Los contenidos máximos en Si de la mica blanca potásica indican un rango de *P* entre 4.5 y 5.5 kbar (Massonne y Schreyer, 1987). En la

paragénesis con talco no es posible estimar la *P*, ya que los análisis de mica blanca potásica están contaminados con talco.

### CONCLUSIONES

Las características litológicas, las asociaciones mineralógicas y el CIS de la mica blanca potásica indican que la unidad de Tizgarín es más afín al complejo Gomáride que a las unidades de Federico más profundas.

La evolución *P/T* de la secuencia con la profundidad varía entre 1-1.5 kbar/200°C y ~5 kbar /400°C. Las *P* obtenidas contrastan con los datos previos para estas unidades, no llegando a alcanzarse las facies de alta *P*; tal y como sugieren los contenidos máximos en Si y el parámetro *b* de la mica blanca potásica.

### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto CGL 2006-02481 (Ministerio de Educación y Ciencia) y por el Grupo de Investigación RNM-199 (Junta de Andalucía).

### REFERENCIAS

Berman R.G. & Perkins, E.H. (1987): GEO-CACL: Software for calculation and display of P-T-X phase diagrams. *Am. Mineral.*, **72**, 861-862.  
 Bouybaouène, M.L., Goffé, B., Michard, A. (1995): High-pressure, low-temperature metamorphism in the Sebides nappes, northern Rif, Morocco. *Geogaceta*, **17**, 117-119.  
 Durand-Delga, M. & Kornprobst, J. (1963): Esquisse géologique de la région de Ceuta (Maroc). *Bull. Soc. Géol. de France*, **7**, 1049-1057.  
 Fransolet, A.M. & Schreyer, W. (1984): Sudoite, di/trioctahedral chlorite: A stable

low-temperature phase in the system MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **86**, 409-417.

Guidotti, C.V. & Sassi, F.P. (1976): Muscovite as a petrogenetic indicator mineral in pelitic schists. *N.Jb.Mineral. Abh.*, **127**, 97-142.

Guidotti, C.V. & Sassi, F.P. (1986): Classification and Correlation of Metamorphic Facies Series by Means of Muscovite *b<sub>0</sub>* data from Low-Grade Metapelites. *N. Jb. Mineral. Abh.*, **153**, 363-380.

Hillier, S. & Velde, B. (1991): Octahedral occupancy and the chemical composition of diagenetic (Low-Temperature) chlorites. *Clay Minerals*, **26**, 149-168.

Massonne, H.J. & Schreyer, W. (1987): Phengite geobarometry based on the limiting assemblage with K-feldspar, phlogopite, and quartz. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **96**, 212-224.

Ruiz Cruz, M.D., Sanz de Galdeano, C., Álvarez-Valero, A., Rodríguez Ruiz, M.D., Novák, J. (2010): Pumpellyite and coexisting minerals in metapelites and veins from the Federico units in the Internal Zone of the Rif, Spain. *The Canadian Mineralogist*, **48**, 183-203.

Ruiz Cruz, M.D. & Sanz de Galdeano, C. (2012): Amphibole-derived evidence of medium *P/T* metamorphic ratio in Alpujárride and Federico "HP" units (Western Betic-Northern Rif, Spain and Morocco): possible interpretations. *Int. J. Earth Sci.*, **101**, 221-238.

Sassi, F.P. (1972): The petrologic and geologic significance of *b<sub>0</sub>* value of potassium white micas in low-grade metamorphic rocks. An application to the Eastern Alps. *Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt.*, **18**, 105-113.

Sassi, F.P. & Scolari, A. (1974): The *b<sub>0</sub>* Value of the Potassic White Micas as a Barometric Indicator in Low-Grade Metamorphism of Pelitic Schists. *Contr. Mineral. Petrol.*, **45**, 143-152.

Velde, B. (1965): Phengite micas: Synthesis, stability and natural occurrence. *Am. J. Sci.*, **263**, 886-913.

Velde, B. (1967): Si<sup>4+</sup> content of natural phengites. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **14**, 250-258.