



Evolución diagenético-metamórfica en el antiforame de Beni Mezala (Rif Septentrional, Marruecos)

M^a Dolores Rodríguez-Ruiz (1), Isabel Abad (2*), María J. Bentabol (1)

(1) Departamento de Química Inorgánica, Cristalografía y Mineralogía. Universidad de Málaga, 29071, Málaga (España)

(2) Departamento de Geología y CEACTierra. Universidad de Jaén, 23071, Jaén (España)

* corresponding author: miabad@ujaen.es

Palabras Clave: geotermómetro, Gomáride, Índice de Kübler, filosilicatos, SEM/TEM. | **Key Words:** geothermometer, Gomáride, Kübler Index, phyllosilicates, SEM/TEM.

INTRODUCCIÓN

La determinación de las condiciones de metamorfismo en materiales de grano fino afectados por condiciones de grado bajo (< 300°C) implica una serie de dificultades ligadas, fundamentalmente, a la falta de equilibrio químico, la existencia de intercrecimientos, relaciones texturales no evidentes, etc. A pesar de ello, hay criterios cualitativos basados en el politipismo de ciertos filosilicatos, tamaño de dominio cristalino y/o caracterización química de micas y cloritas que permiten llevar a cabo una estimación de las condiciones de presión y temperatura alcanzadas durante el metamorfismo de grado bajo.

En este caso, se presentan algunos de los resultados más relevantes del estudio de los materiales del antiforame de Beni Mezala, con especial énfasis en los filosilicatos. Para ello, además de difracción de rayos X (XRD), se han usado técnicas de microscopía electrónica (SEM y TEM). Este tipo de trabajos se han llevado a cabo en la Cordillera Bética, en las unidades equivalentes a las de la Zona Interna del Rif (Abad et al., 2003; Ruiz-Cruz et al., 2005; entre otros), sin embargo, la parte más meridional del orógeno Bético-Rifeño ha sido estudiada, sobre todo, desde el punto de vista estructural y paleogeográfico (Durand-Delga y Fontboté, 1980; Zaghoul et al., 2010; entre otros).

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MATERIALES

Los materiales estudiados pertenecen a la Zona Interna de la Cordillera del Rif, que junto a la Cordillera Bética son las cadenas alpinas más occidentales del Mediterráneo. La Zona Interna del Rif está formada por dos complejos tectónicos, el Sébtide y el Gomáride (Alpujarride y Maláguide, respectivamente, en la Bética). Las diferencias entre ambos radican en la litología y el grado metamórfico. En la transición se han definido las Unidades de Federico. Las muestras, tomadas entre Ceuta y Fnideq, pertenecen al Gomáride y a las Unidades de Federico. En esta zona se han distinguido varias unidades tectónicas superpuestas que de arriba abajo

son: Beni Hozmar, Koudiat Tizian y Akaili (Gomáride) y Tizgarín, Boquete de Anyera y Beni Mezala (Unidades de Federico). Los materiales estudiados son de edad permotriásica, areniscas y lutitas rojas en el Gomáride y filitas, esquistos y cuarcitas en las unidades de características intermedias (Federico) ubicadas entre el Gomáride y el Sébtide.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de los difractogramas de rayos X indica que el cuarzo, los feldspatos y las micas potásicas son las principales fases minerales. En el caso del Complejo Gomáride, los filosilicatos más característicos son la illita, caolinita y cantidades menores de interestratificados illita/esmectita y clorita trioctaédrica (Beni Hozmar). Los interestratificados desaparecen en Koudiat Tizian, sin embargo, aparece una clorita di-trioctaédrica. Finalmente, las muestras de Akaili se caracterizan por la presencia de illita, dickita y la clorita di-trioctaédrica. Para las Unidades de Federico, mientras que la unidad de Tizgarín se caracteriza por la presencia de illita, pirofilita, dickita y cloritas (tri- y di-trioctaédricas), los filosilicatos mayoritarios de las Unidades de Federico más profundas son moscovita, clorita y, frecuentemente, paragonita. Además, ocasionalmente, en la unidad más profunda (Beni Mezala) aparecen margarita, vermiculita, clorita/vermiculita y talco.

Respecto a los parámetros cristalocósmicos, en el caso del Índice de Kübler (KI), los resultados obtenidos de la fracción <2µm oscilan entre 1,50-0,37 °2θ en el Gomáride, lo que indica condiciones de diagénesis hasta valores de anquizona débil. Sin embargo, en las Unidades de Federico, los valores del índice de cristalinidad de la illita (KI) oscilan entre 0,43-0,21 °2θ, (anquizona intensa en Tizgarín – epizona en Boquete de Anyera y Beni Mezala), con cristalinidades mayores para muestras más profundas. El hecho de que el KI de las muestras del Gomáride tratadas con etilenglicol sea menor que el KI

obtenido de la fracción seca, confirma la presencia de Illt/Sm en las mismas. El valor medio del parámetro **b** de las micas dioctaédricas de las muestras del Gomáride es 9,005 Å y 9,011 Å el de las de Federico. Estos valores son indicativos de condiciones metamórficas de presión intermedia de acuerdo con Guidotti y Sassi (1986). El politipo predominante de las micas es el $2M_1$, si bien en algunas muestras del Gomáride se ha identificado también el $1M$ y el $3T$ en muestras más profundas de Federico, que sugieren presiones mayores a las estimadas mediante el parámetro **b**.

Desde el punto de vista textural, las areniscas gomárides se caracterizan por la presencia de cemento arcilloso que en las unidades superiores es caolinítico y hacia abajo incluye dickita, illita-K, illita Na-K y clorita di-trioctaédrica. Las imágenes de TEM muestran paquetes de filosilicatos de varias decenas de nm, típicos de arcillas diagenéticas. Las diferencias de contraste en algunos paquetes de illitas se deben a la presencia de capas de esmectita intercaladas. Además, en algunos casos, se observan periodicidades a 1,7 nm (interestratificado illita/dickita) y a 2,4 nm (illita/clorita).

En Federico, aparece, además, pirofilita (Tizgarín), mineral índice que marca el comienzo de la anquizona (~ 200 °C) tal y como se deduce del KI. En las más profundas, los filosilicatos (mica dioctaédrica y clorita) se intercalan con cuarzo, feldespatos y hematites según una foliación bien definida. En algunos casos, se observa una incipiente crenulación. A escala de TEM, los filosilicatos son más gruesos que los del Gomáride (> 50 nm) y carecen de defectos. En las filitas se han identificado moscovitas, micas intermedias Na-K, paragonitas e incluso micas Na-Ca con hasta 0.33 apfu de Ca en la interlámina. La presencia de composiciones tan variadas sugiere metaestabilidad. Las cloritas trioctaédricas (Fe/Fe+Mg < 0.3) son clinocloros, aunque en algunos casos, se han observado cloritas di-trioctaédricas.

Sobre una selección de análisis de clinocloros de las Unidades de Federico, se han aplicado los geotermómetros de Bourdelle et al. (2013) y Lanari et al. (2014). Para las muestras de Boquete de Anyera, las temperaturas oscilan entre 250-400 °C, mientras que para la unidad más profunda (Beni Mezala) el rango es algo mayor: 150-350 °C. En cualquier caso, predominan los valores > 300 °C, lo que es coherente con las condiciones de epizona determinadas a partir del KI.

Los datos de Ruiz Cruz et al. (2010) referentes a las venas permo-triásicas de Beni Mezala, formadas por pumpellyita, actinolita y epidota, indican presiones de ~ 2 kbar y temperaturas de ~ 250 °C. La presencia, también, de venas con cianita en estos mismos materiales sugiere presiones más elevadas (hasta 5 kbar) y temperaturas ~ 400 °C (Ruiz y Cruz et al., 2010). Estos resultados son coherentes con los que aquí se presentan, basados fundamentalmente en las asociaciones minerales, parámetros cristalquímicos y caracterización

química de los filosilicatos de las filitas de esta unidad. Los geotermómetros apuntan a temperaturas similares y, en cuanto a las condiciones de presión, además del parámetro **b** (~4 kbar), la presencia del politipo $3T$ en micas de Boquete de Anyera y Beni Mezala es coherente con presiones más altas.

Las rocas del antiforme de Beni Mezala presentan, por tanto, una clara evolución diagenético-metamórfica alcanzando condiciones de epizona en las muestras más próximas al Complejo Sébtide. Casos similares se han descrito en materiales equivalentes de la Cordillera Bética (Abad et al., 2003; Ruiz-Cruz et al., 2005). El proceso de exhumación, implicaría la génesis de micas y cloritas a diferentes presiones y a temperaturas < 400 °C.

AGRADECIMIENTOS

Grupos de investigación RNM-199 y RNM-325 de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

- Abad, I., Nieto, F., Peacor, D.R., Velilla N. (2003): Prograde and retrograde diagenetic and metamorphic evolution in metapelitic rocks of Sierra Espuña (Spain). *Clay Miner.*, **38**, 1-23.
- Bourdelle, F., Parra, T., Chopin, C., Beyssac, O. (2013): A new chlorite geothermometer for diagenetic to low-grade metamorphic conditions. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **165**, 723-735.
- Durand-Delga, M., Fontboté, J.M. (1980): Le cadre structurale de la Méditerranée occidentale. In: 26 Congrès. Géol. Intern., Paris, Géologie des Chaînes Alpines issues de la Tethys, Mem. B.R.G.M., **15**, 67-85.
- Guidotti, C.V., Sassi, F.P. (1986): Classification and correlation of metamorphic facies series by means of muscovite b data from low-grade metapelites. *Neues Jb. Mineral. Abh.*, **153**, 363-380.
- Lanari, P., Wagner, T., Vidal, O. (2014): A thermodynamic model for di-trioctahedral chlorite from experimental and natural data in the system MgO-FeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: applications to P-T sections and geothermometry. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **167**, 968.
- Ruiz Cruz, M.D., Sanz de Galdeano, C. Lázaro, C. (2005): Metamorphic evolution of Triassic rocks from the transition zone between the Maláguide and Alpujárride complexes (Betic Cordilleras, Spain), *Eur. J. Mineral.*, **17**, 81-91.
- 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. *Canadian Mineral.*, **48**, 183-203.
- Zaghloul, M.N., Critelli, S., Perri, F., Mongelli, G., Perrone, V., Sonnino, M., Tucker, M., Aiello, M. Ventimiglia, C. (2010): Depositional systems, composition and geochemistry of Triassic rifted-continental margin redbeds of the Internal Rif Chain, Morocco. *Sedimentology*, **57**, 312-350.

