

Evolución de la Diagénesis y Metamorfismo de Grado Bajo en la Cuenca de St. Mary (Nueva Escocia, Canadá)

/ ISABEL ABAD (1,*), FERNANDO NIETO (2), GABRIEL GUTIÉRREZ-ALONSO (3), J. BRENDAN MURPHY (4)

(1) Departamento de Geología. Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n. 23071, Jaén (España)

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología e IACT. Universidad de Granada, CSIC. Av. Fuentenueva, 18002 Granada (España)

(3) Departamento de Geología, Facultad de Ciencias. Universidad de Salamanca. 37003 Salamanca (España)

(4) Department of Earth Sciences, St. Francis Xavier University. Antigonish, Nova Scotia B2G 2W5 (Canadá)

INTRODUCCIÓN.

La cuenca de St. Mary (Nueva Escocia, Canadá) se desarrolló a lo largo de una zona de falla en la sutura entre los terrenos de Avalonia y Meguma. Su génesis está influenciada por un movimiento dextro durante el Devónico superior-Carbonífero, que se ha atribuido a la rotación en el sentido de las agujas del reloj de Laurentia respecto a Gondwana (Keppie et al., 1996). En la actualidad está constituida casi en su totalidad por materiales clásticos de origen continental correspondientes al Devónico superior-Carbonífero inferior.

Se ha llevado a cabo el estudio del grado metamórfico de los materiales de relleno mediante su caracterización mineral y textural con el fin de establecer los procesos progradados y retrógradados que operaron durante la evolución del metamorfismo y establecer su posible potencial de hidrocarburos. Para ello se ha empleado la difracción de rayos-X (XRD) y la microscopía electrónica de barrido (SEM).

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MATERIALES ESTUDIADOS.

La cuenca de St. Mary tiene una geometría alargada, de orientación E-W y es el depocentro más meridional de una cuenca de mayor rango, la Magdalen localizada en el W de Canadá. Su desarrollo tuvo lugar a lo largo de la zona de falla de salto en dirección dextro de Minas ($\approx 380-345$ Ma), que supone el límite entre dos terrenos apalachianos, Avalonia al N y Meguma al S, por lo que se ha clasificado como una cuenca episutural (Murphy, 2000).

Los materiales que rellenaron la cuenca de St. Mary durante el Devónico superior-Carbonífero inferior fueron

depósitos de naturaleza clástica en ambientes fluvio-lacustres que alcanzaron un espesor de 3000-4000 m, el Grupo Horton. La naturaleza de los clastos indica que derivan mayoritariamente de Meguma y, muy probablemente, estos se acumularon en un sistema de drenaje longitudinal paralelo al trazado actual de la cuenca. Por encima de estos materiales se depositó el Grupo Windsor del Viseense: calizas, evaporitas y rocas clásticas de origen marino, que quedaron bajo más de 10 km de rocas clásticas del Carbonífero superior-Pérmico inferior.

La cuenca de St. Mary está limitada al N y al S por fallas de dirección E-W: la falla de Chedabucto y la de West River St. Mary respectivamente, ambas incluidas en la zona de falla Minas. El origen y evolución de la cuenca se atribuye a episodios progresivos de deslizamiento de salto en dirección dextro durante el Paleozoico superior.

El muestreo se ha realizado a lo largo de tres cortes geológicos, de orientación N-S, transversales a las estructuras, en los que se han tomado muestras de pizarras negras y grises del Grupo Horton.

RESULTADOS.

Los difractogramas de rayos-X indican que todas las muestras están constituidas por cuarzo, moscovita y albita. La clorita y los interestratificados illita/esmectita (I/S) son muy comunes. Las micas intermedias Na-K, caolinita, interestratificados clorita/esmectita (C/S), feldespato potásico, bertierina y rutilo están sólo presentes en algunas muestras. En general, la asociación mineral es típica de un metamorfismo de grado muy bajo, aunque están presentes además algunas fases típicamente sedimentarias.

La cristalinidad de la illita (Índice de Kübler, KI) en la fracción $<2 \mu\text{m}$ medida en el pico a 10 \AA indica condiciones de diagénesis profunda-anquizona. Sin embargo, los KI correspondientes al pico de 5 \AA indican un grado de anquizona intensa-epizona ($\leq 0.31 \Delta^{\circ}2\theta$), con un incremento de la cristalinidad hacia la falla de Chedabucto, al N, por lo que se infiere que los picos de otras fases minerales deben interferir con el pico a 10 \AA de la illita (Nieto & Sánchez Navas, 1994). El KI medido en la fracción $<2 \mu\text{m}$ tratada con etilén glicol (EG) es claramente inferior al correspondiente a la misma fracción sin tratar, lo que confirma la presencia de I/S R3 en la mayor parte de las muestras. El parámetro b presenta un valor medio de 8.992 \AA ($\sigma = 0.005$) y el espaciado basal d_{001} oscila entre 9.965 y 9.994 \AA . En relación a las cloritas, su comportamiento tras los tratamientos pone de manifiesto una baja cristalinidad y la presencia de algunas capas de esmectita interestratificadas. Su parámetro b es característico de cloritas con un alto contenido en Fe (2.6-3.7 a.p.f.u.).

Desde el punto de vista textural, las imágenes de SEM muestran rocas ricas en cuarzo, con una textura de grano fino con microdominios de filosilicatos: mica blanca y clorita chamosítica, a veces formando clastos y a menudo, con formas curvas de un grosor no superior a las $20 \mu\text{m}$. Algunos huecos se hallan ocupados por caolinita de tamaño de grano muy fino. En algunas muestras no se observa foliación y en otras hay una foliación incipiente definida por paquetes de filosilicatos subparalelos y cristales de cuarzo alargados.

Las micas dioctaédricas se caracterizan por la práctica ausencia de sustitución ilítica con un contenido en la interlámina entre 0.8-1 a.p.f.u.. El Na está presente

palabras clave: Índice de Kübler, Illita/Esmectita, Metamorfismo extensional, Retrodiagénesis.

key words: Kübler Index, Illite/Smectite, Extensional metamorphism, Retrograde diagenesis.

en las micas potásicas y llega a alcanzar un contenido de hasta 0.44 a.p.f.u. en las micas intermedias Na-K. El contenido fengítico es variable, aunque en general bajo, con un valor medio de $Si = 3.14$ a.p.f.u.. Las cloritas presentan un contenido en Al octaédrico superior al tetraédrico, lo que es característico de las cloritas de grado metamórfico bajo en rocas clásticas. Además, es casi constante una cierta contaminación por cationes interlaminares (K, Ca y Na), que en parte debe ser debida a la presencia de capas de esmectita interestratificadas con la clorita, como indican los difractogramas de rayos-X.

DISCUSIÓN.

La caracterización mineralógica de los materiales de relleno de la cuenca de St. Mary ha permitido establecer su evolución diagenético/metamórfica en el tiempo.

Los minerales de la arcilla característicos de estas rocas (micas K y Na-K, clorita, clastos mica/clorita) junto al parámetro b de las moscovitas, $<9 \text{ \AA}$, son típicos de una cuenca sedimentaria extensional (Merriman, 2005), con un alto flujo térmico ($>35^\circ\text{C}/\text{km}$). El parámetro b de las micas es homogéneo y consistente con un metamorfismo regional de baja presión (Guidotti & Sassi, 1986).

En la cuenca de St. Mary, los KI medidos en los picos a 10 y 5 \AA difieren de manera significativa. La fórmula química de las micas dioctaédricas y las características texturales son más acordes con el grado metamórfico indicado por el KI medido a 5 \AA (anquizona intensa-epizona) que el indicado por las medidas de cristalinidad a 10 \AA (diagénesis profunda-anquizona). Sin embargo, la presencia en algunas muestras de interestratificados I/S y C/S, bertierina y caolinita es inconsistente con una secuencia progradada que ha alcanzado ese grado. Diferentes autores han interpretado la presencia de estos minerales en rocas clásticas afectadas por metamorfismo como resultado de retrodiagénesis (Nieto et al., 2005), es decir, en St. Mary los KI medidos a 10 \AA probablemente indican que un fluido tardío, posterior al metamorfismo regional de grado bajo, pudo ser responsable de la génesis de los interestratificados I/S. Esto provocaría un ensanchamiento en el pico a 10 \AA

debido al solapamiento de dos fases: la mica y los I/S y, por tanto, un incremento en el KI medido. Este ensanchamiento es tenido en cuenta, tradicionalmente, en la definición de las condiciones diagenéticas, pero no es representativo del tamaño de dominio cristalino real y de los defectos de las micas, que quedan, en cambio, bien registrados en las medidas del KI a 5 \AA .

Los valores más bajos del KI se alcanzan en muestras de la formación localizada en la parte central de la cuenca, que representa las rocas estratigráficamente más bajas del Grupo Horton, con un incremento de la cristalinidad hacia la falla Chedabucto al N. El patrón de evolución del KI a 5 \AA es coherente con un proceso de enterramiento muy rápido en un ambiente transtensivo, con una subsidencia importante y un gradiente geotérmico anómalamente elevado, mediado todo ello, por la intervención de fluidos presentes de manera generalizada en relación a las fallas sinsedimentarias y localmente, favorecida por litologías más permeables que las pizarras.

Posteriormente, la circulación de fluidos asociada al juego tardío de las zonas de falla, fundamentalmente la de Chedabucto, debió favorecer la reacción de las fases minerales progradadas (e.g. Jiang et al., 1990). Como la cuenca de St. Mary es estrecha y alargada y limitada por fallas a ambos lados, es muy probable la reacción local de las micas con fluidos canalizados a través de las fallas para formar interestratificados I/S bajo condiciones de más baja temperatura (las indicadas por el KI a 10 \AA) a las alcanzadas durante la etapa previa progradada (las indicadas por el KI a 5 \AA). La presencia de caolinita puede considerarse como evidencia adicional de la alteración retrogradada. Su cristalización se ve normalmente favorecida por la circulación de fluidos acuosos de baja temperatura. Además, la bertierina se ha interpretado en otras secuencias como producto del reemplazamiento de clorita bajo condiciones de metamorfismo retrógrado (Nieto et al., 2005).

La cuenca de St. Mary, con un grado metamórfico alcanzado durante la etapa progradada correspondiente al comienzo de la facies de esquistos verdes ($T > 300^\circ\text{C}$), es una cuenca supermadura en la que a pesar de la

etapa de retrodiagénesis ($T < 200^\circ\text{C}$), el pico metamórfico previamente alcanzado acabó con su posible capacidad productora de hidrocarburos, aunque haya podido actuar con posterioridad como un posible almacén. Esta interpretación pone claramente de manifiesto que para llevar a cabo una interpretación correcta de la evolución metamórfica, cuando en las muestras coexistan minerales genéticamente incompatibles, es conveniente comparar los KI medidos a 10 \AA con los medidos a 5 \AA y con los de las muestras tratadas con EG para confirmar la presencia de I/S.

AGRADECIMIENTOS.

Trabajo financiado por los grupos RNM-325 y RNM-179 de la Junta de Andalucía y los proyectos CGL2007-66744 y CGL2006-00902 (O.D.R.E.) del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

REFERENCIAS.

- 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.
- Jiang, W.T., Peacor, D.R., Merriman, R.J., Roberts, B. (1990): *Transmission and analytical electron microscopic study of mixed layer illite/smectite formed as an apparent replacement product of diagenetic illite*. *Clays Clay Minerals*, **38**, 449-468.
- Keppie, J.D., Dostal, J., Murphy, J.B., Nance, R.D. (1996): *Terrane transfer between eastern Laurentia and western Gondwana in the Early Paleozoic: constraints on global reconstructions*. En: Nance, R.D., & Thompson, M.D. (eds) *Avalonian and related peri-Gondwanan terranes of the circum North Atlantic*. *Geological Society of America Special Paper*, **304**, 369-380.
- Merriman, R.J. (2005): *Clay minerals and sedimentary basin history*. *European Journal of Mineralogy*, **17**, 7-20.
- Murphy, J.B. (2000): *Tectonic influence on sedimentation along the southern flank of the Late Paleozoic Magdalen Basin in the Canadian Appalachians: geochemical and isotopic constraints on the Horton Group in the St. Mary's Basin, Nova Scotia*. *Bulletin Geological Society of America*, **112**, 997-1011.
- Nieto, F., Mata, P., Bauluz, B., Giorgetti, G., Arkai, P. & Peacor, D.R. (2005): *Retrograde diagenesis, a widespread process on a regional scale*. *Clay Minerals*, **40**, 93-104.
- & Sanchez-Navas, A. (1994): *A comparative XRD and TEM study of the physical meaning of the white mica "crystallinity" index*. *European Journal of Mineralogy*, **6**, 611-621.