

# Características y Edad de los Minerales de la Arcilla en las Zonas de Falla de Carboneras y Palomares (SE España)

/ ISABEL ABAD (1\*), JUAN JIMÉNEZ-MILLÁN (1), BEN VAN DER PLUIJM (2), ANJA SCHLEICHER (2)

(1) Departamento de Geología, Universidad de Jaén, Campus Las Lagunillas sn. 23071, Jaén (España)

(2) Department of Earth and Environmental Sciences, University of Michigan, 1100 North University Ave, Ann Arbor, MI 48109-1005, U.S.A.

## INTRODUCCIÓN

Las zonas de falla de Carboneras y Palomares (Zona de Cizalla de Trans-Alborán), fallas jóvenes y recientemente exhumadas en regiones de clima árido, proporcionan una buena oportunidad para el estudio de las mineralizaciones de arcilla y su relación con el comportamiento de las fallas. En ambos casos se trata de fallas de salto en dirección y orientación NE-SW, de longitud superior a 100 km y bandas de harina de falla a ambos lados de más de 50 m.

Concretamente, esta investigación se centra en los micaesquistos del basamento alpino, del complejo Alpujárride (Zonas Internas de la Cordillera Bética) que junto a filitas y cuarcitas derivadas de sedimentos permotriásicos se hayan cortados por estas fallas. En las dos zonas de falla se han muestreado micaesquistos sin deformar (protolito cristalino) y micaesquistos claramente cizallados y transformados en rocas de falla.

## MÉTODOS

A consecuencia del pequeño tamaño de grano que caracteriza a estos materiales, ricos en minerales de la arcilla y afectados por procesos de baja temperatura, además de la caracterización mediante difracción de rayos-X (XRD), se ha llevado a cabo un estudio mediante microscopía electrónica de barrido (SEM/EDX) y microscopía electrónica de transmisión de alta resolución (HRTEM/AEM). La determinación de las asociaciones minerales, las características texturales y la composición química de los filosilicatos en estos contextos contribuye a la comprensión de los aspectos mineralógicos que condicionan e influyen en el movimiento y comportamiento de las

fallas así como la influencia que éstas, a su vez tienen en la génesis de materiales ricos en minerales de la arcilla. Por último, se ha llevado a cabo la datación de los esquistos afectados por las fallas mediante la técnica de datación de la illita (illite age dating technique, Van der Pluijm *et al.*, 2001). Según algunos autores (Haines & Van der Pluijm, 2008, Van der Pluijm *et al.*, 2006, Solum *et al.*, 2005) la datación de la illita permite conocer los últimos movimientos significativos a lo largo de la zona de falla.

## RESULTADOS

Todas las muestras estudiadas se caracterizan por una asociación mineral a base de filosilicatos (clorita, micas di- y trioctaédricas y caolinita), cuarzo y óxidos de Fe y de Ti. También se han identificado dolomita y yeso.

Las imágenes de electrones retrodispersados (BSE) muestran clastos de filosilicatos (biotita/caolinita, clorita/caolinita) orientados irregularmente y con formas curvadas y cristales de cuarzo deformados por fracturación en las rocas de falla. Además, se han observado concentraciones de filosilicatos de tamaño de grano muy fino aparentemente orientados al azar. Las imágenes de TEM de las muestras del protolito se caracterizan por la presencia de paquetes de mica y clorita de > 1000 Å de espesor y muy cristalinos. En algunos casos, las cloritas incluyen paquetes de < 150 Å de espesor con periodicidad de 10 Å y aspecto defectuoso, probablemente relacionados con el proceso de reacción de biotita a clorita. En las rocas de falla, los filosilicatos a escala de TEM son de menor tamaño, aunque normalmente, los paquetes de clorita son más gruesos que los de mica y presentan un aspecto más defectuoso.

En lo que respecta a la composición química de micas y cloritas, no se han detectado diferencias entre los micaesquistos afectados por la actividad de la falla y las rocas protolíticas. Se han analizado micas trioctaédricas (biotitas) y dioctaédricas (moscovitas y ferrimoscovitas). Las dioctaédricas presentan normalmente un contenido en cationes interlaminares superior a 0,8 átomos por fórmula unidad, por lo que la sustitución ilítica es baja. El vector ferrimoscovítico es responsable de contenidos en Fe más altos y en Al más bajos respecto a lo que cabría esperar tan solo de la sustitución fengítica. Las cloritas trioctaédricas, con una razón  $Fe/(Fe+Mg) > 0,60$ , son de carácter chamosítico.

Los resultados de la datación mediante  $^{40}Ar/^{39}Ar$  de dos muestras, una correspondiente a cada zona de falla se muestran en la Tabla 1. La proporción de micas autigénicas frente a las protolíticas en las rocas de falla se determinó en función de los politipos ( $1M_d$  y  $2M_d$ ). La edad del componente autigénico en la muestra de la falla de Carboneras es  $\approx 12$  Ma y la edad del componente protolítico  $\approx 25$  Ma. Sin embargo, la muestra de la falla de Palomares no muestra cambios sistemáticos en la edad en función del tamaño de grano, por lo que el dato obtenido, de  $\approx 12$  Ma, puede considerarse como la edad a la que tuvo lugar un reseteo completo de las mismas.

## INTERPRETACIÓN

El estudio de los esquistos muestreados en las zonas de falla de Carboneras y Palomares mediante XRD, microscopía electrónica (SEM y TEM) y la técnica de datación de la illita con  $^{40}Ar/^{39}Ar$  ha permitido explicar el origen de los filosilicatos en las rocas cizalladas y el papel que han jugado las fallas en el

**palabras clave:** Zona de Cizalla de Trans Alborán, Micaesquistos, Microscopía Electrónica, Técnica de Datación de la Illita, Actividad Hidrotermal.

**key words:** Trans Alborán Shear Zone, Micaschists, Electron Microscopy, Illite Age Dating Technique, Hydrothermal Activity.

mismo.

Los datos de XRD indican que la asociación mineral es la misma para los esquistos cizallados y sus correspondientes protolitos. Además, tampoco se han detectado diferencias en la composición química de los filosilicatos a lo largo de las rocas muestreadas. Por tanto, los procesos desencadenantes de las reacciones minerales afectaron del mismo modo a todos los materiales. Los datos texturales sugieren una reducción del tamaño de grano por fracturación no sólo del cuarzo sino también de los filosilicatos (clorita, micas y caolinita) y fábricas pobremente desarrolladas en las rocas de falla.

<b>Roca de falla de Carboneras</b>		
Tamaño de la fracción (µm)	% 2M <sub>1</sub>	Edad (Ma)
2-1	95	24,7
1-0,2	85	23,1
0,2-0,05	75	20,7
<0,1	40	17,7
Edad 0% mica 2M <sub>1</sub> : 12.4 ± 0.4 Ma		
Edad 100% mica 2M <sub>1</sub> : 24.8 ± 0.7 Ma		
<b>Roca de falla de Palomares</b>		
Tamaño de la fracción (µm)	% 2M <sub>1</sub>	Edad (Ma)
2-1	80	11,9
1-0,2	50	8,5
0,2-0,05	15	11,7
Edad 0% mica 2M <sub>1</sub> : 11.7 ± 0.4 Ma		
Edad 100% mica 2M <sub>1</sub> : 12.1 ± 0.4 Ma		

**Tabla 1.** Datación <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar correspondiente a micas de fracciones de distinto tamaño de grano y edad autigénica y protolítica extrapolada en función del contenido en polilito 2M<sub>1</sub>.

El enriquecimiento en filosilicatos de las rocas de falla puede ser el resultado de procesos sedimentarios, metamórficos o hidrotermales que tienen lugar antes, durante o después de la actividad de la falla y que pueden además estar relacionados con reacciones minerales en la zona de falla durante el proceso de fallamiento (Pevear, 1999; Yan et al., 2001). Los procesos de alteración hidrotermal son especialmente importantes en zonas de falla con actividad volcánica asociada como sucede en este caso. El enriquecimiento en Mg, Fe, As y Zn que caracteriza a las cuarcitas cizalladas en estas zonas de falla sugiere un proceso de cloritización de naturaleza hidrotermal asociado al vulcanismo de Cabo de Gata.

La edad más antigua obtenida, de alrededor de 25 Ma, se ha interpretado como la edad de enfriamiento de las micas 2M<sub>1</sub>, durante el final de la colisión

cortical que produjo los complejos metamórficos que pertenecen al Dominio de Alborán y el inicio de la extensión postorogénica. El terreno de Alborán colisionó con los márgenes pasivos del Sur de Iberia y el Maghreb durante el Mioceno, con la consiguiente formación del Arco de Gibraltar y las cordilleras Bética y del Rif (Booth-Rea et al., 2005).

Las edades más jóvenes, sin embargo, representan un episodio de crecimiento de filosilicatos probablemente relacionado con la actividad hidrotermal que tuvo lugar en relación con la actividad volcánica ultrapotásica de esta área. Las series volcánicas de Cabo de Gata se formaron en el intervalo 13–6 Ma (Rutter et al., 2012), por tanto, las edades autigénicas obtenidas en este trabajo se solapan con éstas. Las fallas debieron experimentar una alteración importante, a consecuencia de la circulación de fluidos hidrotermales relacionados con la actividad volcánica, dando lugar a un extenso enriquecimiento en arcillas en las respectivas zonas de falla. Los procesos mecánicos, relacionados con el movimiento de las fallas, sobre todo por fracturación, generaron la harina de falla. De modo que la existencia de estas zonas de falla, excepcionalmente gruesas y arcillosas, se debe fundamentalmente a procesos relacionados con la circulación de fluidos de naturaleza ígnea, que aprovecharon las fracturas que la actividad de las fallas generaron como canales de circulación de los mismos propiciando el crecimiento de arcillas.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Investigación CGL2011-30153-C02-01 del Ministerio de Ciencia e Innovación de España y R1/12/2010/01 de la Universidad de Jaén (patrocinado por Caja Rural de Jaén) y el Grupo de Investigación RNM-325 de la Junta de Andalucía.

#### REFERENCIAS

Booth-Rea, G., Azañón, J.M., Martínez-Martínez, J.M., Vidal, O., García-Dueñas V. (2005): *Contrasting structural and P-T evolution of tectonic units in the southeastern Betics: Key for understanding the exhumation of the Alboran Domain HP/LT crustal rocks (western Mediterranean)*. *Tectonics*, **24**, TC2009.

Haines, S.H. & Van der Pluijm, B. (2008): *Clay quantification and Ar-Ar dating of*

*synthetic and natural gouge: Application to the Miocene Sierra Mazatán detachment fault, Sonora, Mexico*. *J. Struct. Geol.*, **30**, 525–538.

Pevear, D.R. (1999): *Illite and hydrocarbon exploration*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **96**, 3440–3446.

Rutter, E.H., Faulkner, D.R., Burgess, R. (2012): *Structure and geological history of the Carboneras Fault Zone, SE Spain: Part of a stretching transform fault system*. *J. Struct. Geol.*, **45**, 68–86.

Solum, J.G., van der Pluijm, B.A., Peacor, D.R. (2005): *Neocrystallization, fabrics and age of clay minerals from an exposure of the Moab Fault, Utah*. *J. Struct. Geol.*, **27**, 1563–1576.

Van der Pluijm, B.A., Hall, C.M., Vrolijk, P.J., Pevear, D.R., Covey, M.C. (2001): *The dating of shallow faults in the Earth's crust*. *Nature* **412**, 172–175.

Van der Pluijm, B.A., Vrolijk, P.J., Pevear, D.R., Hall, C.M., Solum, J.G. (2006): *Fault dating in the Canadian Rocky Mountains: Evidence for late Cretaceous and early Eocene orogenic pulses*. *Geology*, **34**, 837–840.

Yan, Y., Van der Pluijm, B., Peacor, D. (2001): *Deformational microfabrics of clay gouge, Lewis Thrust, Canada: a case for fault weakening from clay transformation*. En: *Special Publication*, **186**. Geological Society London, 103–112.