

Arcillas magnésicas autigénicas y posibles implicaciones sísmicas en la Falla de Padul

Isabel Abad (1), Fernando Nieto (2*), Matías Reolid (1), Juan Jiménez-Millán (1)

(1) Departamento de Geología y CEACTEMA, Unidad Asociada IACT, Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas, 23071, Jaén (España)

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología e IACT, Universidad de Granada-CSIC. Fuentenueva s/n, 18002, Granada (España)

* corresponding author: nieto@ugr.es

Palabras Clave: Clorita, Talco, Cataclasita, Geotermómetro. **Key Words:** Chlorite, Talc, Cataclasite, Geothermometer.

INTRODUCCIÓN

Una de las fallas normales de la Zona Interna de la Cordillera Bética, consecuencia de la convergencia entre las placas euroasiática y africana, es la Falla de Padul-Nigüelas, que afecta a materiales carbonatados. La deformación frágil en este tipo de ambientes favorece la interacción roca-fluido y los procesos de alteración y de neoformación de minerales, normalmente con tamaños de grano muy fino y en ausencia de equilibrio químico. La caracterización de las rocas de falla (mineralogía y textura) hasta escala nanométrica, junto a la composición química elemental (mayoritarios y trazas) del protolito y las brechas, ha permitido detectar la génesis de minerales de la arcilla, reflexionar sobre su origen y considerar la posible influencia que la presencia de estos minerales puede tener en el comportamiento mecánico de esta falla.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MATERIALES

La Falla de Padul-Nigüelas (FP en adelante) se ubica en la Zona Interna de la Cordillera Bética y separa los relieves de Sierra Nevada (bloque de muro) del graben de Padul (bloque de techo). La reciente actividad de la misma queda evidenciada en el escarpe continuo que la caracteriza sobre las dolomías triásicas alpujarrides. Tiene una longitud aproximada de 12 km, dirección NW-SE y un buzamiento predominante de unos 60-65° SW. Los materiales muestreados en las inmediaciones del plano de falla, expuesto gracias a la actividad de las canteras, son ultracataclasitas amarillentas, que forman parches discontinuos de hasta 10 cm de espesor en algunos puntos y cataclasitas de tonalidad grisácea que quedan por debajo, con una proporción de clastos de dolomita notablemente mayor. Además, se ha caracterizado el protolito, rocas dolomíticas afectadas por un metamorfismo de grado bajo.

RESULTADOS

El protolito de las rocas de falla está formado por dolomita acompañada de una pequeña fracción de silicatos: cuarzo, moscovita y flogopita. Las rocas de falla, sin embargo, presentan además de clastos dolomíticos, una matriz de grano fino con carbonatos (dolomita y calcita), óxidos de Fe y Ti, cuarzo y minerales de la arcilla (clorita, flogopita, esmectita, illita, kaolinita y talco). El enriquecimiento en silicatos observado en las rocas de falla respecto al protolito es coherente con el mayor contenido en elementos mayoritarios como el Si, Al, Fe, Ti y Ca, en detrimento de otros como el Mg. Entre los elementos traza, es significativa la presencia de Zn, con valores > 2000 ppm en algunas ultracataclasitas. Los mapas composicionales muestran que este enriquecimiento se produce en forma de bandas irregulares que rodean los clastos dolomíticos. Estas fases silicatadas han sido identificadas mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) y de transmisión de alta resolución (TEM). La presencia de filosilicatos ha sido detectada en los difractogramas de rayos X de algunas rocas de falla, solo puntualmente. La presencia de talco en la fracción < 2 µm de una cataclasita motivó su estudio en el TEM. Los granos de talco, tal y como se han observado a escala nanométrica, tienen una longitud < 1 µm y un grosor de unos 100 nm y se sitúan siempre ocupando huecos entre granos de dolomita y calcita. Las imágenes de franjas reticulares, con espaciados a 9,4 Å y las difracciones de electrones ponen de manifiesto la ausencia de defectos cristalinos. Por otra parte, resultó llamativa la presencia en el plano de falla de pátinas formadas fundamentalmente por clorita-Mg y también, en menor presencia, esmectita. La homogeneidad y pureza composicional de estas cloritas magnésicas, carentes de Fe, ha permitido estimar la temperatura de formación mediante la aplicación de los geotermómetros de Bourdelle et al. (2013) e Inoue et al.

(2018). Los valores oscilan en un rango entre los 110-280 °C, con predominio de temperaturas próximas a los 200 °C.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El estudio de las rocas de falla en la FP ha puesto de manifiesto la presencia de minerales de la arcilla no identificados en el protolito. Uno de los más significativos ha sido la clorita-Mg sobre el plano de falla. Además, se han observado cristales de talco en la cataclasita a escala nanométrica y siempre ubicados entre cristales de dolomita y calcita. El enriquecimiento en ciertos elementos (Si, Al, Fe, Ca, Ti and Zn) desde el protolito hacia las ultracataclasitas y su distribución en bandas discontinuas sugiere la presencia de fluidos de naturaleza hidrotermal cuya circulación estuvo controlada por la falla, que debieron promover reacciones en las rocas de falla. En el caso del talco, se ha demostrado experimentalmente su formación a partir de dolomita, sílice y agua a temperaturas que pueden ser inferiores a 200 °C (Wan et al., 2017). Esta reacción se ha descrito en el ámbito de las fallas y zonas de cizalla para un rango de temperaturas entre 170-400 °C a $P \leq 2$ kbar (e.g., Viti & Colletini, 2009). La reacción implica también la formación de calcita además de CO₂. Esto es coherente con una génesis ligada a la circulación de fluidos de naturaleza hidrotermal ricos en Si y de baja temperatura, que propiciarían su precipitación. Esta hipótesis es congruente además con las temperaturas obtenidas para las cloritas-Mg identificadas en el plano de falla (~200 °C).

Respecto al papel que los minerales de arcilla descritos pueden jugar en la dinámica de la FP, concretamente, el talco es el mineral más blando de la escala de Mohs y posee un coeficiente de fricción que al igual que en el caso de las esmectitas es $< 0,23$. Sin embargo y a pesar de que experimentalmente se ha demostrado que los filosilicatos en forma de capas ultrafinas contribuyen a un comportamiento mecánico estable de la falla, incluso cuando están presentes en proporciones ≤ 3 wt. % (Smeraglia et al., 2017), en este caso los granos de talco no se han observado formando un entramado continuo. Respecto a la clorita, sus propiedades de fricción son menos conocidas, pero promueve también un deslizamiento estable, mayor cuanto más magnésica es su composición (Moore & Lockner, 2015). La ausencia de eventos sísmicos históricos y los datos geodésicos de la FP (Gil et al., 2017) apuntan a un comportamiento estable de la falla, con un importante componente de deformación asísmica, lo que es coherente con la presencia de minerales de la arcilla autigénicos (clorita-Mg, talco y esmectita) formados a consecuencia de procesos de interacción roca-fluido en la zona de falla y que, con gran probabilidad, deben haber contribuido a ese comportamiento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Proyecto de Investigación PGC2018-094573-B-I00 del MCIU-AEIFEDER y los Grupos de Investigación RNM-179 y RNM-325 de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

- 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. DOI: 10.1007/s00410-012-0832-7.
- Gil, A.J., Galindo-Zaldívar, J., Sanz de Galdeano, C., Borque, M.J., Sánchez-Alzola, A., Martínez-Martos, M., Alfaro, P. (2017): The Padul normal fault activity constrained by GPS data: Brittle extension orthogonal to folding in the central Betic Cordillera. *Tectonophysics*, **712-713**, 64-71. DOI: 10.1016/j.tecto.2017.05.008.
- Inoue, A., Inoué S., Utada M. (2018): Application of chlorite thermometry to estimation of formation temperature and redox conditions. *Clay Miner.*, **53**, 143-158.
- Moore, D. & Lockner, D. (2015): Correlation of chlorite frictional strength with composition. *AGU abstracts*, **96**.
- Smeraglia, L., Billi, A., Carminati, E., Cavallo, A., Di Toro, G., Spagnuolo, E., Zorzi, F. (2017): Ultra-thin clay layers facilitate seismic slip in carbonate faults. *Sci. Rep.*, **7**, 664.
- Viti, C. & Colletini, C. (2009): Growth and deformation mechanisms of talc along a natural fault: a micro/nanostructural investigation. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **158**, 529-542.
- Wan, Y., Wang, X., Chou, I., Hu, W., Zhang, Y., Wang, X. (2017): An experimental study of the formation of talc through interaction at 100-200 °C and vapor-saturation pressures. *Geofluids*, 3942826. DOI: 10.1155/2017/3942826.