

# **EFECTO DE LOS PROCESOS DE CIRCULACIÓN HÍDRICA Y ESTABILIDAD DE LOS MINERALES DE LA ARCILLA EN FLUIDOS DE ZONAS DE FALLA: FALLA DE TÍSCAR (JAÉN - ESPAÑA)**

Pilar Hernández Puentes (1), Rosario Jiménez Espinosa (1), Juan Jiménez Millán (1)

(1) Departamento de Geología. CEACTierra. Unidad asociada IACT (CSIC-UGR). Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Jaén. Campus Las Lagunillas s/n, edificio B3, 23071 Jaén (España). ppuentes@ujaen.es

## **INTRODUCCIÓN**

El funcionamiento de los sistemas acuíferos de regiones afectadas por fallas activas se encuentra afectado por los procesos geológicos que ocurren en éstas zonas, relacionados en la mayoría de los casos con la nucleación y propagación de movimientos sísmicos (Faulkner et al. 2009). Existen numerosos estudios que muestran la relación entre los cambios hidrológicos y eventos sísmicos (Muir-Wood y King 1993; Yuce y Ugurluoglu 2003; Italiano et al. 2013, entre otros). En la mayoría de los casos, los efectos hidrológicos de los terremotos son determinados por el estilo de desplazamiento de la falla. El movimiento asociado a zonas de fallas activas, produce variaciones en el agua subterránea que las rodea, tales como el aumento en el nivel de las aguas subterráneas, cambios en el transporte térmico regional y variaciones en el comportamiento del acuífero. Estos cambios hidrogeológicos en zonas de fallas activas pueden ser originados por: (I) Alteraciones en la permeabilidad producidos por la apertura o cierre de las fracturas, como consecuencia de aumentos de la presión de poros causados por la deformación cosísmica (Brumm et al 2009); (ii) Liberación de agua y otros fluidos por consolidación o licuación de sedimentos cerca de la superficie; y, (iii) Reacciones de deshidratación de minerales de arcilla en las zonas profundas (Bousquet et al 2009). Todos estos procesos se producen habitualmente con la mezcla de agua de origen profundo y poco profundo, que modifican los parámetros físico-químicos del agua subterránea, tales como cambios en la temperatura de salida del agua y la composición química, por ejemplo, la incorporación de trazas de boro. Los fluidos geotérmicos, entradas naturales vinculados al agua de mar, efectos agrícolas o ambientes evaporíticos, pueden aumentar la concentración de B considerablemente, sin embargo, la temperatura es uno de los principales factores que controlan la liberación de boro a través de los procesos de interacción agua-roca.

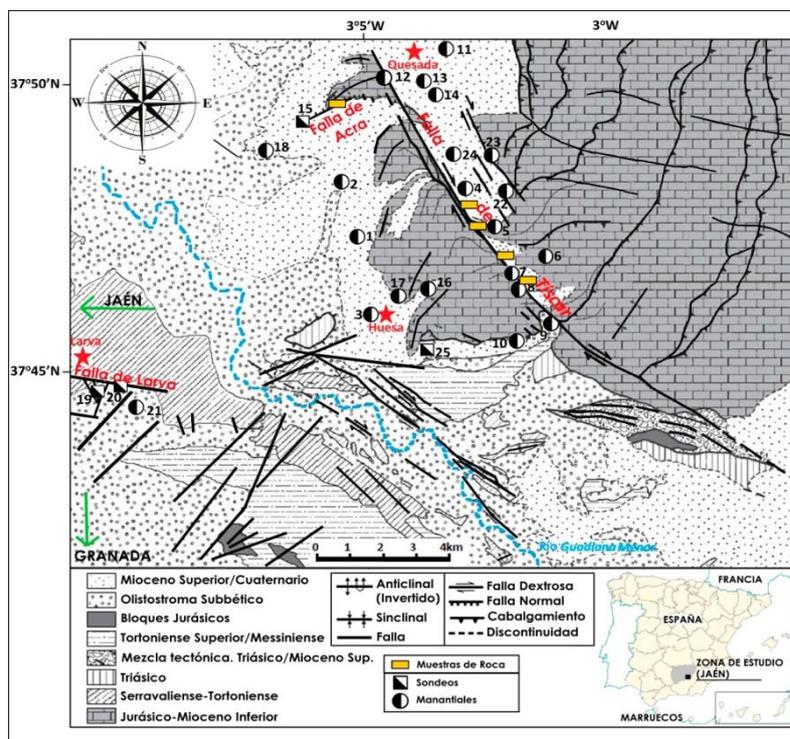
Este trabajo estudia la hidrogeología de la zona de falla de Tíscar y el efecto de los procesos de circulación hídrica y neoformación de arcillas asociados a esta zona de falla, con el fin de aportar datos que contribuyan a la comprensión del comportamiento mecánico de estos materiales y su influencia en la sismicidad del área.

## **ZONA DE ESTUDIO**

El área de estudio se encuentra en la Zona Externa Prebética de la Cordillera Bética, en el sur de España, concretamente en el Corredor Tectónico del Guadiana Menor, en el norte de la provincia de Jaén (España) (Figura 1). Es un área con un importante potencial sísmico, manifestado recientemente por el terremoto de enero de 2012 (intensidad IV y magnitud > 4) con epicentro en Huesca. Se trata de un área con numerosas fallas activas, entre las que destaca la Falla de Tíscar de dirección N130-150E, con movimiento de transferencia dextrorso de 6 km y una longitud de 20 km, considerada muy activa a finales del Mioceno y comienzos del Plioceno (Foucault, 1971).

Nos encontramos en las proximidades de unas de las principales reservas acuíferas de la provincia de Jaén, principalmente de acuíferos kársticos, asociados a los materiales carbonatados prebéticos de las estribaciones meridionales de la Sierra de Segura, básicamente dolomías y calizas cretácicas. Aparte de los importantes acuíferos carbonatados, habría que considerar una serie de formaciones permeables de carácter detrítico, como el Acuífero de Pozo Alcón, definidos sobre un conjunto de conglomerados y calizas lacustres pliocuaternarias, correspondientes a las facies del borde NW de la Depresión de Guadix-Baza.

**Figura 1.** Mapa geológico del sector sudoccidental del arco Prebético y de las zonas de fallas de Tíscar y Larva. Tomado de Foucault (1971), completado y ampliado.



## METODOLOGÍA

Para la caracterización físico-química de las aguas subterráneas y para la obtención de datos mineralógicos de los sedimentos deformados en la falla de Tíscar, se tomaron 25 muestras de aguas subterráneas y 8 muestras diferentes de rocas en planos de falla.

Todos los equipos utilizados para este trabajo se encuentran en el Centro de Instrumentación Científica (CICT) de la Universidad de Jaén (España). Para los análisis de elementos principales se utilizó un cromatógrafo iónico Metrohm 850 Professional. Los análisis de metales y elementos minoritarios (*Ag, Al, As, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Se, TI, V, Zn, Cs, Ga, Li, Rb, Sr y U*) se llevaron a cabo por un espectrómetro de ICP-masas Agilent 7500, previamente se acidificó las muestras en campo a pH 2 con ácido nítrico para evitar la precipitación de hidróxidos. Se realizaron una serie de láminas delgadas de 30  $\mu\text{m}$  de espesor, pulidas y recubiertas con carbono, destinadas a su estudio mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) Carl Zeiss Merlin y sistema de microanálisis de energía dispersada (EDS) de rayos X.

El procesado de datos hidroquímicos, se ha realizado a través del software PHREEQC para Windows.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La caracterización hidrogeoquímica de las aguas que circulan por la zona de falla indica: (i) aguas de baja conductividad eléctrica ( $< 840 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) y baja mineralización (8 meq/l), con facies bicarbonatadas cálcico magnésicas (Figura 2); y, (ii) aguas más salinas (hasta  $3740 \mu\text{S}/\text{cm}$ ) con mayor enriquecimiento iónico (hasta 70 meq/l), de facies sulfatadas y/o cloruradas cálcico magnésicas. Por lo general, son aguas alcalinas con temperaturas inferiores al límite del hidrotermalismo ( $20 \text{ }^\circ\text{C}$ ), confirniéndole un origen superficial. No obstante, aparecen dos muestras (15 y 19) con  $T^a > 26 \text{ }^\circ\text{C}$ , que indican un claro origen profundo. Además, estas dos aguas subterráneas presentan trazas de boro anormalmente altas ( $B > 0,5 \text{ ppm}$ ), lo que lleva a pensar en la posibilidad de relación con la actividad de la zona de falla, sin embargo la proximidad de un paquete de yesos cerca del punto 19 hace pensar que su concentración se debe a estos ambientes evaporíticos y no a circulación profunda a favor de la falla de Larva, a unos 14 km de distancia de la falla principal (Falla de Tíscar).

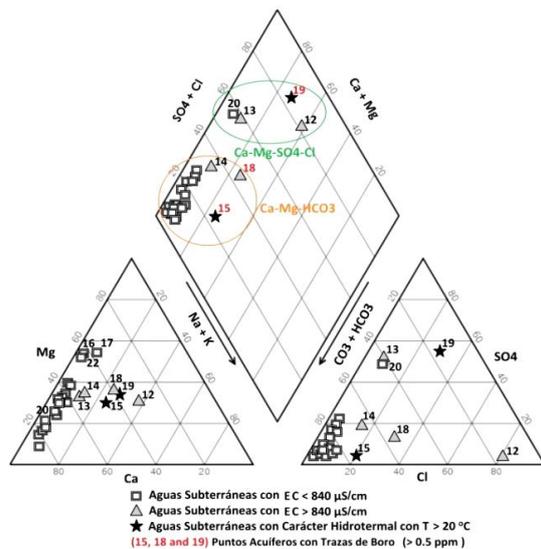


Figura 2. Diagrama Hidroquímico de Piper.

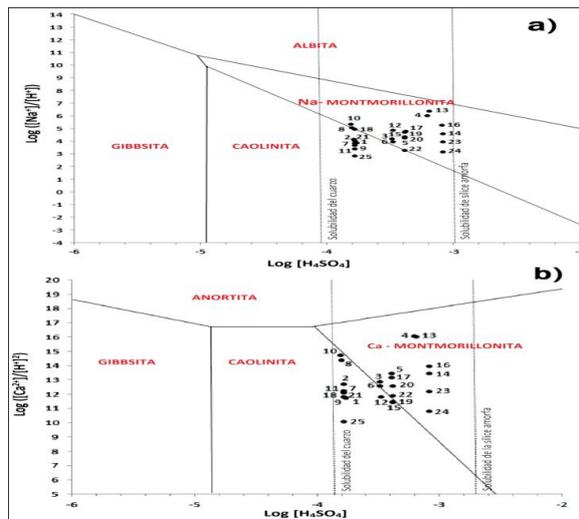


Figura 3. Diagramas estabilidad de fases minerales Albita – Anortita.

La figura 3 muestra los diagramas de estabilidad Na-plagioclasa (albita) y Ca-plagioclasa (anortita). Los diagramas de estabilidad de fases minerales tanto para la albita como para la anortita, reflejan que el equilibrio agua-mineral para los análisis de las 25 aguas subterráneas de esta zona de estudio, quedan representados en ambos diagramas de estabilidad alrededor del límite de estabilidad caolinita / esmectita (Na-montmorillonita y Ca-montmorillonita), lo que sugiere que el agua subterránea de esta zona está en equilibrio termodinámico con caolinita para un grupo de muestras y con esmectita para otro grupo, es decir, los minerales más estables son las esmectitas y la caolinita. El conjunto de las muestras está por encima del equilibrio de saturación del cuarzo.

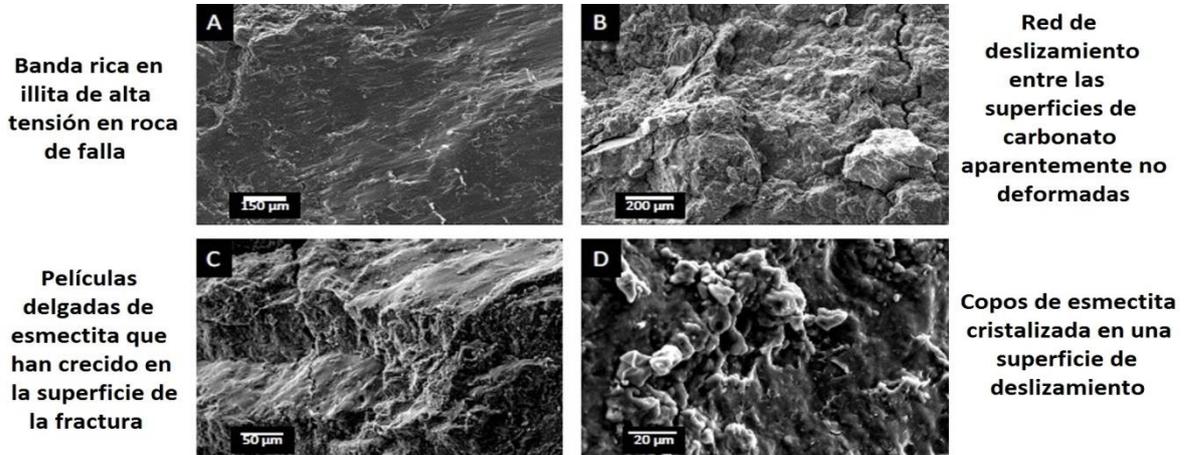
Investigamos por otro lado, las rocas de falla asociadas a los puntos de agua subterránea que revelaron evidencia de circulación de aguas profundas y presencia de arcillas en los diagramas de fases, a través de su zona de debilidad. La deformación se encuentra concentrada en los niveles margosos. El estudio de la microestructura interna de estos materiales de falla mediante microscopía electrónica de barrido, muestra la existencia de niveles ricos en illita que desarrollan numerosas superficies de deslizamiento que alternan con lechos ricos en calcita apenas deformados (figura 4). Es frecuente que las superficies de deslizamiento se encuentran recrecidas por una lámina fina formada por esmectita. En otros casos, se desarrollan microfracturas selladas por la cristalización de calcita y dolomita, cuyos microanálisis EDS muestran cantidades significativas de Si y Al, debido a inclusiones microcristalinas de silicatos.

El estudio combinado de las características físico-químicas de los fluidos que circulan por la zona de falla de Tíscar y la caracterización de los materiales mediante SEM, ha permitido concluir que durante el fallamiento y la interacción roca-fluido tuvo lugar un crecimiento significativo de minerales de la arcilla en estas rocas. Este crecimiento se pone de manifiesto por los recubrimientos minerales de las microsuperficies de deslizamiento, compuestos por películas delgadas de esmectita neoformada, calcita y dolomita. Este hecho sugiere que la cataclasis y la infiltración de fluidos que se produce durante la actividad de la falla promovieron la creación de micrositos favorables para nucleación y neomineralización en superficies de desplazamiento. La concentración de esmectita en estas superficies de deslizamiento puede favorecer el movimiento de deslizamiento continuo (creep) en la zona de la falla, contribuyendo a reducir su actividad sísmica.

Este estudio ha determinado además, que las aguas del punto 15, muestran claros indicios de circulación profunda y vinculación con la actividad de la falla por su alta temperatura, su

concentración anormal en Boro y por el crecimiento de arcillas en las microsuperficies de deslizamiento del punto de muestreo.

*Figura 4. Diferentes imágenes de SEM para las muestras de roca de falla de Tíscar.*



#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por los Proyectos de Investigación CGL2011-30153-C02-01 (Ministerio de Economía y Competitividad de España), "Caracterización hidrogeológica y hidroquímica de los acuíferos afectados por las fallas activas en la zona del Guadiana Menor, provincia de Jaén" (Instituto de Estudios Gienneses) y el Grupo de Investigación RNM-325 (Universidad de Jaén, CICE, JA).

#### REFERENCIAS

1. Bousquet R, Vidal O, de Capitani C (2009): Metamorphic reactions, fluids release and their influence on subduction earthquakes. *Geophys Res Abstr* 11, EGU2009-12554.
2. Brumm M, Wang CY, Manga M (2009): Spring temperatures in the Sagehen Basin, Sierra Nevada, CA: Implications for heat flow and groundwater circulation. *Geofluids* 9:195-207.
3. Faulkner DR, Mitchell TM, Hirose T, Shimamoto T (2009): The Frictional Properties of Phyllosilicates at Earthquake Slip Speeds. *Geophys Res Abstr* 11:EGU2009-5751-3.
4. Foucault A (1971): Étude géologique des environs des sources du Guadalquivir (prov. Jaén et Grenade, Espagne meridionale). Tesis Doctoral, Univ. de Paris VI, 633 p.
5. Italiano F, Sasmaz A, Yuce G, Okan OO (2013) Thermal fluids along the East Anatolian Fault Zone (EAFZ): Geochemical features and relationships with the tectonic setting. *Chem Geol* 339:103-114.
6. Muir-Wood R, King GCP (1993): Hydrological signatures of earthquake strain. *J Geophys Res* vol. 98, 22035-22068.
7. Yuce G, Ugurluoglu YD (2003): Earthquake Dates and Water Level Changes in Wells in the Eskisehir Region, Turkey. *Hydrol Earth Syst SC* 7(5):777-781.