

Retrogradación hidrotermal de clorita a tosudita: efecto sobre las propiedades ópticas

Zahra Ahmadi (1, 2), Fernando Nieto (2*), Farhad Khormali (3), Nicolás Velilla (2), Morteza Einali (3), Abbas Maqsoodi Qarabalag (3), Arash Amini(1)

(1) Department of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GAU), Sha-hid Beheshti St, 4913815739, Gorgan, Iran.

(2) Departamento de Mineralogía y Petrología, Universidad de Granada, Spain

(3) Department of Mining Exploration and Processing, Amirkabir University of Technology (AUT), Tehran, Iran.

* corresponding author: nieto@ugr.es

Palabras Clave: Interestratificado clorita/esmectita, TEM, Alteración argílica. **Key Words:** chlorite/smectite mixed-layers, TEM, Argillic alteration.

INTRODUCCIÓN

Las propiedades ópticas de las cloritas son bien conocidas y aceptadas a nivel general. No obstante, son frecuentes las referencias, incluso en libros de texto, a comportamientos ópticos anómalos. En un estudio sistemático de los yacimientos de Cu ligados al Arco Magmático Cenozoico de Kerman (KCMA), en Irán, se han identificado interestratificados clorita/esmectita (C/S), intercrecidos con clorita, de un tamaño de grano suficiente para su identificación y estudio óptico. Sus propiedades ópticas, ligeramente variables a nivel de grano y entre granos son compatibles con las de la clorita, a excepción de sus signos óptico y de elongación. Describimos e identificamos la naturaleza del interestratificado, su génesis y el efecto de las capas de esmectita interestratificadas sobre las propiedades ópticas de la clorita.

CONTEXTO GEOLÓGICO Y MUESTRAS

Todas las muestras estudiadas en el área de SinAbad contenían C/S, de acuerdo con la información obtenida (ver después) mediante Difracción de Rayos X (XRD). El área de SinAbad se localiza en el sector SE del KCMA, que incluye grandes complejos magmáticos del Eoceno con amplia variedad de rocas volcánicas y piroclásticas que abarcan composiciones máficas, intermedias y félsicas. Están intruídos por stocks graníticos a granodioríticos, de edad Mioceno principalmente. Una extensa alteración hidrotermal argílica afectó al granito y a las rocas encajantes, por lo que ha sido objeto de exploración para pórfidos de cobre.

RESULTADOS

Las rocas estudiadas son dacitas principalmente y están constituidas por plagioclasa y cuarzo, en una matriz félsica de grano fino, sobre los que se desarrolla la alteración de tipo hidrotermal a clorita e illita. La clorita forma cristales laminares en intercrecimientos subparalelos de hasta 500 μm de tamaño. Sus propiedades ópticas son las de una clorita magnesiana, pero presentan signo de elongación + y signo óptico -, al contrario de lo previsible (Albee, 1962). A nivel de microscopía electrónica de barrido (SEM) aparecen en láminas bien desarrolladas y cristalinas, pero presentan ciertas diferencias composicionales en los mapas. La difracción de rayos X sobre la fracción menor de 2 μm y concentrados ricos en clorita, separados magnética y manualmente, ha permitido identificar, junto a los picos normales de clorita, una serie racional de picos compatibles con un interestratificado a 28Å, que expande a 30Å con etilenglicol y contrae a 24Å en el calentamiento a 350°. En microscopía electrónica de transmisión (TEM), las zonas cloríticas aparecen formadas por paquetes de tamaño variable entre 10 y 50 nm. En alta resolución (Fig. 1B), los paquetes están constituidos por un predominio de láminas a 14Å, pero la aparición de láminas a 24 Å es frecuente, habiéndose identificado paquetes en los que esta periodicidad se mantiene hasta para más de 5 láminas coherentes. Frecuentemente, es posible reconocer que están formadas por una lámina a 14Å (clorita) + una a 10Å (esmectita contraída en el vacío del TEM). Se han observado transiciones laterales entre capas a 14Å y 24Å. Los mapas composicionales (Fig. 1A), obtenidos mediante High Angle Annular Dark Field, permiten identificar zonas cuya composición es básicamente la de una clorita magnesiana, intercrecidas paralelamente con otras en las que se reconoce presencia significativa de Ca y K y disminución de los picos del Mg y Fe. Los análisis cuantitativos

obtenidos sobre dichas áreas se extienden en un amplio rango de composiciones. Este rango de composiciones es coincidente con el obtenido en análisis tanto de microsonda electrónica como de SEM. No obstante, los análisis obtenidos en el TEM extienden claramente el rango de composiciones hacia los extremos, debido a su mejor resolución espacial y la posibilidad de seleccionar zonas aparentemente homogéneas sobre los mapas obtenidos en HAADF (Fig. 1A). Las composiciones extremas son compatibles con clorita magnesiana y tosudita, un interestratificado regular de capas de clorita di-trioctaédrica y esmectita dioctaédrica (Billon et al., 2016). Las escasas composiciones puras de clorita son compatibles, según geotermometría de cloritas (Bourdelle, 2021) con un amplio rango de temperaturas, entre $>300^{\circ}\text{C}$ y 100°C . La comparación de las composiciones obtenidas para las tosuditas de SinAbad con las descritas mediante microsonda electrónica en areniscas de Níger por Billon et al. (2016), pone de manifiesto composiciones similares, aunque con mayor grado de sustitución tetraédrica de Al por Si, en SinAbad, compensada por una mayor proporción, y consecuentemente carga, de cationes interlaminares

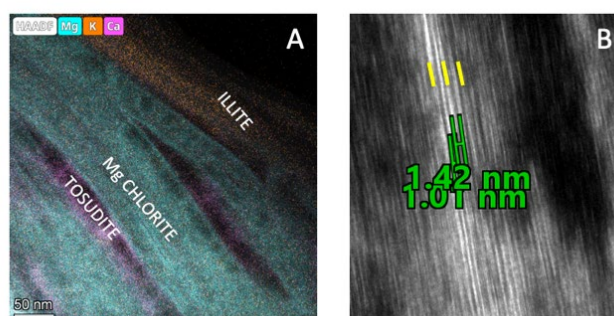


Fig 1. Mapa composicional (A) e imagen de alta resolución (B), con franjas reticulares predominantes a 14\AA y algunas a $24(14+10)\text{\AA}$.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las ligeras diferencias en propiedades ópticas y de composición a nivel de microsonda electrónica y SEM ponen de manifiesto que las zonas cloríticas incluyen diversas proporciones de las dos composiciones extremas identificadas en TEM, clorita magnesiana (clinocloro) e interestratificado clorita/esmectita (tosudita); su mezcla a una escala inferior a la μm hace que su composición pura sólo pueda ser determinada a nivel TEM. Los dos espaciados reconocidos en las franjas reticulares, 14 y 24\AA , se corresponden con las dos series racionales de picos identificados en XRD y su segregación en determinadas zonas permite su diferenciación y análisis en mapas de TEM (Fig. 1A).

Ambas fases reflejan estadios sucesivos en la alteración hidrotermal del material volcanogénico original. La clorita ha cristalizado en un amplio rango de temperaturas entre >300 y 100°C , y posteriormente ha sufrido un proceso de transformación parcial en tosudita, previsiblemente a menor temperatura y con un cambio en la composición del fluido alterante. Por su similitud estructural, la tosudita ha heredado las direcciones cristalográficas de la clorita, por lo que las áreas ocupadas por ambos minerales aparecen indiferenciadas para técnicas de menor resolución espacial.

La alternancia de capas esmectíticas, con presencia de H_2O estructural, en la dirección del parámetro c de la clorita reduce su polarizabilidad y consecuentemente el índice de refracción en la dirección Z (Bloss, 1994), haciendo que este pase de ser el índice mayor (γ) al menor (α) y produciendo el cambio en los signos óptico y de elongación del material clorítico como se observa en microscopía óptica, mientras que los índices paralelos a las capas basales permanecen aproximadamente inalterados.

REFERENCIAS

- Albee, A. L. (1962). Relationships between the mineral association, chemical composition and physical properties of chlorite series. *American Mineralogist*, **47**, 851–870.
- Billon, S., Patrier, P., Beaufort, D., Sardini, P., Watinne-Morice, A. (2016): Occurrence of tosudite in the Guezouman, Tarat and Tchirezrine 2 formations, hosts of uranium deposits in Niger (Tim Mersoï basin). *Clay Miner.*, **51**, 635–651. DOI: 10.1180/claymin.2016.051.4.07
- Bloss, F.D. (1994): *Crystallography and crystal chemistry*. Mineralogical Society of America. Washington, 545 p.
- Bourdelle, F. (2021): Low-temperature chlorite geothermometry and related recent analytical advances: a review. *Minerals*, **40**, 130. DOI: 10.3390/min11020130