

ESTUDIO MICROSCÓPICO DE LA ALTERACIÓN HIDROTHERMAL EN CROMITAS DE LAS OFIOLITAS DE LA REGIÓN HABANA-MATANZAS. CUBA

MICROSCOPIC STUDY OF HYDROTHERMAL ALTERATION IN CHROMITES FROM THE OPHIOLITES OF THE HAVANA-MATANZAS REGION. CUBA

^{ID}RENÉ YASMANY COBAS TORRES*, ^{ID}DEYSY DE LA NUEZ COLÓN, MARÍA DE LAS NIEVES SANTA CRUZ PACHECO SARLABOUS, ^{ID}MERCEDES TORRES LA ROSA, ^{ID}BIENVENIDO T. ECHEVARRÍA HERNÁNDEZ

*Instituto de Geología y Paleontología, Servicio Geológico de Cuba (IGP-SGC), MINEM,
Vía Blanca No. 1002 / Río Luyanó, San Miguel del Padrón, La Habana, Cuba.*

*E-mail: reneyasmany22@gmail.com, dinvestigacion@igp.minem.cu,
mariadelasnieves@igp.minem.cu, mtlarosa@igp.minem.cu, bienve7600@gmail.com*

**Autor para la correspondencia: reneyasmany22@gmail.com*

RESUMEN: En el presente estudio se realiza una caracterización de los procesos de alteración hidrotermal que afectaron a cromitas en las unidades ofiolíticas de la región Habana-Matanzas, mediante el empleo de técnicas de microscopía óptica como la petrografía y mineragrafía. Se analizaron muestras tanto de cromititas como de ultramafitas serpentinizadas con mineralización dispersa de cromita accesoría. El análisis se apoyó en criterios fundamentales como determinación de las constantes ópticas de los minerales bajo luz transmitida y reflejada; y las relaciones entre los granos minerales. Como principales resultados del trabajo se identifican: la alteración hidrotermal de las cromitas analizadas se desarrolló en dos fases fundamentales, ambas bajo condiciones de presión y temperatura equivalentes a la facies de esquistos verdes y con baja relación fluido-roca. La primera fase, asociada a un incremento de la fugacidad de oxígeno durante la serpentización avanzada, favoreció la precipitación de ferricromita en los bordes y grietas de los cristales de cromita. En la segunda fase, la cromita reaccionó con la serpentina circundante, perdiendo Al y Mg, dando como resultado una cromita residual del tipo *metalúrgico* orlada por una aureola clorítica. La presencia de microcristales de uvarovita indica que los fluidos mineralizantes contenían, además de Al y Cr, bajas concentraciones de Ca. Los resultados del estudio ponen de manifiesto el estrecho vínculo entre los procesos de alteración de la cromita y su composición, lo que permite evaluar dichas alteraciones como posibles indicadores mineralógicos aplicables en contextos ofiolíticos análogos.

Palabras clave: alteración hidrotermal, cromitas, Habana-Matanzas, ofiolitas.

Recibido: 25/09/2025

Aceptado: 02/11/2025

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: **Conceptualización:** René Yasmany Cobas Torres, Mercedes Torres La Rosa, Bienvenido T. Echevarría Hernández, Deysy de la Nuez Colón y María de las Nieves Santa Cruz Pacheco Sarlabous. **Investigación:** René Yasmany Cobas Torres, Mercedes Torres La Rosa y Bienvenido T. Echevarría Hernández. **Investigación:** Deysy de la Nuez Colón y María de las Nieves Santa Cruz Pacheco Sarlabous. **Metodología:** René Yasmany Cobas Torres y María de las Nieves Santa Cruz Pacheco Sarlabous. **Supervisión:** René Yasmany Cobas Torres. **Redacción-borrador original:** René Yasmany Cobas Torres. **Redacción-revisión y edición:** René Yasmany Cobas Torres.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ABSTRACT: This study characterizes the hydrothermal alteration processes that affected chromites in the ophiolitic units of the Havana-Matanzas region, using optical microscopy techniques such as petrography and mineragraphy. Samples of both chromitites and serpentinized ultramafic rocks with dispersed accessory chromite mineralization were analyzed. The analysis was based on fundamental criteria such as the determination of the optical constants of minerals under transmitted and reflected light, and the relationships between mineral grains. The main results of the work are as follows: the hydrothermal alteration of the analyzed chromites developed in two main phases, both under pressure and temperature conditions equivalent to the greenschist facies and with a low fluid-rock ratio. The first phase, associated with an increase in oxygen fugacity during advanced serpentinization, favored the precipitation of ferritchromite along the edges and fractures of chromite crystals. In the second phase, chromite reacted with the surrounding serpentine, losing Al and Mg, resulting in a residual metallurgical-grade chromite surrounded by a chloritic halo. The presence of uvarovite microcrystals indicates that the mineralizing fluids contained, in addition to Al and Cr, low concentrations of Ca. The results of the study highlight the close link between chromite alteration processes and its composition, which allows these alterations to be evaluated as potential mineralogical indicators applicable in analogous ophiolitic contexts.

Keywords: chromites, hydrothermal alteration, ophiolites, Habana-Matanzas.

INTRODUCCIÓN

La cromita [(Mg, Fe²⁺) (Cr, Al, Fe³⁺)₂O₄] constituye un mineral accesorio característico de rocas ultramáficas y máficas, su estudio ha sido fundamental para comprender las condiciones de cristalización de los complejos magmáticos de los que se originan, así como los procesos metamórficos posteriores. Su composición química varía en función de las condiciones físicas y petrogenéticas del medio (Irvine 1965, 1967; Ozawa 1983; Dick & Bullen 1984; Arai 1992, 1994).

Aunque la cromita es una fase de alta temperatura muy resistente a la alteración y modificación metamórfica en comparación con minerales como el olivino, que es fácilmente reemplazado por serpentina, en determinadas condiciones puede alterarse a ferricromita y/o minerales del grupo de la clorita (Pouyan et al., 1988; Christofides et al., 1994; Barnes 2000; Mellini et al., 2005; Merlini et al., 2009). En los complejos ofiolíticos, la intensa alteración metamórfica e hidrotermal puede inducir cambios significativos en la cromita, dando lugar a fases secundarias asociadas como ferricromita, cromo-magnetita y clorita (Merlini et al., 2009).

En el marco del proyecto 614240, "Sistematización y generalización de la información existente en secciones pulidas y delgadas de las provincias desde Artemisa hasta Matanzas en el Área de Mineralogía y Petrología", se identificaron cristales y agregados de cromita alterados, tanto en cuerpos de cromititas como dispersos en ultramafitas serpentinizadas, pertenecientes a las ofiolitas de la región Habana-Matanzas.

El objetivo de este trabajo es caracterizar, desde el punto de vista petrográfico y minerográfico, los procesos de alteración hidrotermal que afectaron a las cromitas en estas unidades ofiolíticas, mediante el estudio de las características mineralógicas y texturales que permiten reconstruir las condiciones P/T (presión/temperatura) postmagmáticas a las que fueron sometidas, así como evaluar estas alteraciones como posibles indicadores mineralógicos aplicable en contextos geológicos análogos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el análisis petrográfico y minerográfico se seleccionaron un total de 10 muestras, correspondientes a cromititas y ultramafitas serpentinizadas con mineralizaciones de cromita accesorias. Las láminas delgadas y secciones pulidas fueron confeccionadas en el taller de preparación de muestras del Instituto de Geología y Paleontología/Servicio Geológico de Cuba (IGP/SGC).

El análisis de las muestras se realizó en el Departamento de Petrología y Mineralogía de la misma institución, mediante el uso del microscopio petro-minerográfico *Axio Scope A1* de la *ZEISS*, equipado con cámara *Canon* (resolución 2560x1920). Tanto para la descripción microscópica como para la obtención de fotomicrografías se emplearon objetivos de 5X, 10X y 20X. El análisis de las muestras se apoyó en criterios fundamentales como determinación de las constantes ópticas de los minerales bajo luz transmitida y reflejada; y las relaciones entre los granos minerales.

Ubicación y geología del área de estudio

Las áreas de estudio comprenden los depósitos cromíticos de *Canasí*, *Tetas de Camarioca*, *San Miguel* y *Recreo* (Figura 1). Todas estas áreas se encuentran dentro de la asociación ofiolítica que compone el cinturón septentrional cubano (Figura 1). Las ofiolitas en cuestión se presentan intensamente desmembradas en un mélangé, conformando escamas tectónicas imbricadas con rocas del paleomárgen continental de Las Bahamas, materiales del arco volcánico cretácico y sedimentos que abarcan desde el Campaniano tardío hasta el Eoceno (Pushcharovsky, 1988). Este conjunto buza hacia el sur y suroeste, y descansa sobre el paleomárgen continental de Las Bahamas, ubicado al norte (Llanes, et. al. 1997).

Desde el punto de vista químico, las cromitas de los depósitos *Canasí*, *Tetas de Camarioca* y *San Miguel* se clasifican como tipo metalúrgicas, caracterizadas por alto Cr_2O_3 y alto MgO , mientras que las cromitas del depósito *Recreo* es del tipo refractario, con contenidos más altos de Al_2O_3 y bajo Cr_2O_3 (Llanes y otros 1997). En la región afloran los siguientes niveles de la asociación ofiolítica: ultramafitas metamorizadas, compuestas por harzburgitas serpentinizadas y en menor cantidad piroxenitas; complejo cumulativo máfico, representado por gabros bandeados que en ocasiones transicionan a plagioclasitas y dioritas cuarcíferas; el complejo de diques de diabasa y complejo efusivo-sedimentario (Fonseca, 1984, citado en Llanes, et. al. 1997). Asociadas al contacto tectónicas - harzburgita y cúmulos ultramáficos compuestos de dunita, wehrlita y piroxenita (zona de transición) al que se asocia las mineralizaciones de cromita (Llanes et al. 1997, 2002, 2016).

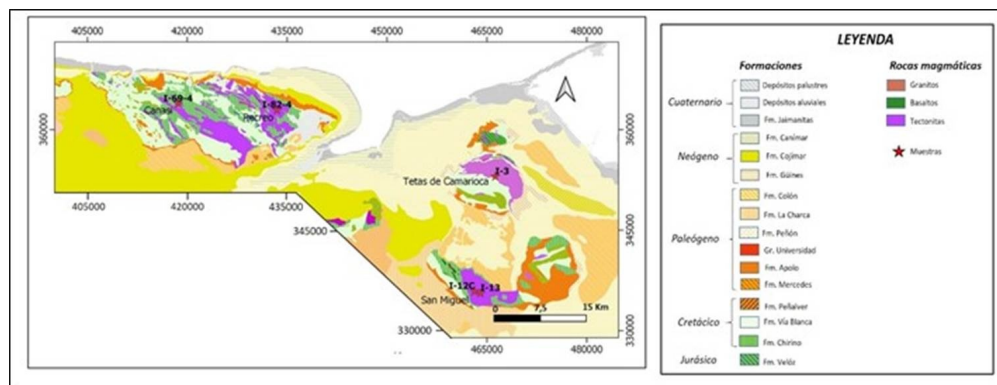


Figura 1. Esquema geológico a escala 1:50 000, tomado del mapa geológico del IGP/SGC. Colectivo de autores (2024), donde se ubican las muestras analizadas y las diferentes unidades litológicas que constituyen la región de estudio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Petrografía

De acuerdo con la proporción cromita/silicato, las cromitas se clasifican en dos tipos: masiva y accesoria. La cromita masiva ocupa más del 90% del volumen de la roca, formando cromititas, mientras que la cromita accesoria se presenta en granos dispersos que no superan el 10% del volumen rocoso. Ambas variedades se encuentran hospedadas en serpentinitas harzburgíticas y harzburgitas serpentinizadas.

Petrografía de las rocas de caja

Ambas litologías presentan características texturales y mineralógicas similares, diferenciándose principalmente en el porcentaje de minerales serpentiniticos (Figuras 2A y 2B). Las serpentinitas harzburgíticas están compuestas por más del 90% en volumen de serpentina, mientras que las harzburgitas serpentinizadas contienen entre 60 y 70% de este mineral. La serpentina con la que comúnmente contacta la cromita presenta texturas retrógradas pseudomórficas, tanto de tipo reticular como pseudoblastoporfírica, acompañada de cantidades variables de cristales relictos de olivino, ortopiroxenos, clinopiroxenos y cantidades accesorias de magnetita (Figura 2A). Esta última se encuentra estrechamente vinculada con la serpentización del olivino. El ortopiroxeno suele estar bastitizado (Figura 2A). Los minerales de la serpentina están representados por polimorfos de baja temperatura, como lizardita (serpofita) y vetillas de crisotilo.

Petrografía de las cromitas

La cromita masiva aparece en agregados de cristales con formas anhedrales y subidiomórficos de grano medio-grueso mientras que, la cromita accesorial se presenta como cristales dispersos, fracturados, con bordes redondeados y subredondeados de tamaños que oscilan entre 0.04 y 1 mm (Figuras 2C y 2D). Con nicols paralelos, la cromita exhibe una coloración parda a pardo-rojiza y, con frecuencia, muestra alteración a ferricromita isotrópica en los bordes de los granos y a lo largo de fracturas (Figura 2E, 2F, 2G y 2H). En las cromitas metalúrgicas, el borde exterior de la zona alterada a ferricromita suele presentar una aureola de reacción de clorita incolora a muy débilmente verdosa, caracterizada por colores de birrefringencia anómala (gris verdoso y azul violáceo) y un relieve muy bajo (Figuras 2C y 2G). Según Saggerson & Turner (1982), las variedades incoloras o de pleocroísmo muy débil y bajo relieve suelen ser cloritas enriquecidas en Mg y Al. Por ello, considerando las propiedades ópticas identificadas en las muestras, se infiere que las cloritas analizadas pertenecen a esa variedad composicional. Las aureolas cloríticas se superponen a la textura reticular de la serpentina, lo que indica que la clorita se formó posteriormente a la serpentización principal (Figuras 2G y 2H). El ancho de las aureolas cloríticas oscila entre 0.02 y 0.1 mm. En el caso de las cromitas masivas, la clorita aparece en las grietas y espacios intersticiales entre los granos de cromita (Figuras 2C y 2D).

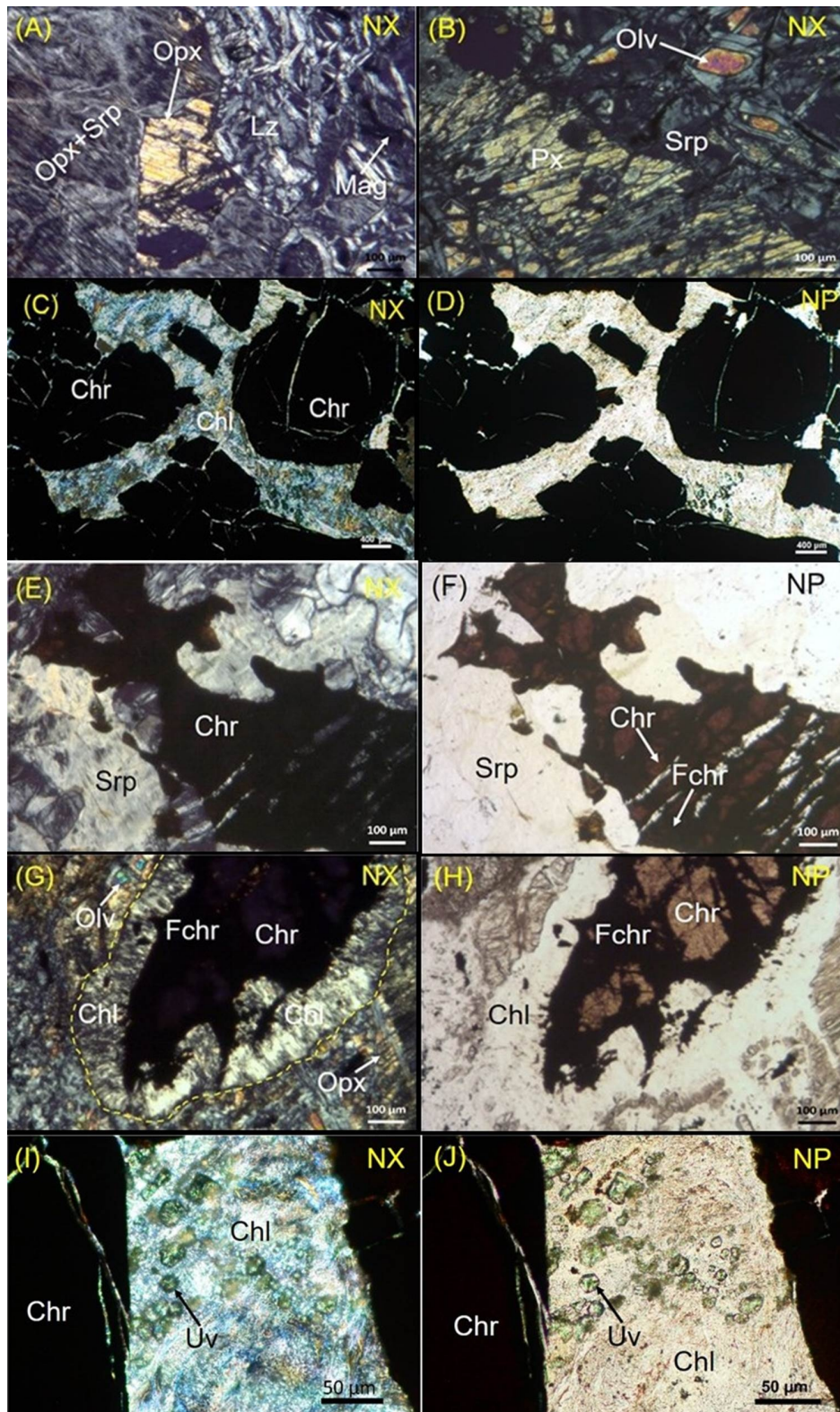
Asociados a esta alteración clorítica, en la muestra I-3 perteneciente al depósito cromítico *Tetas de Camarioca*, se identificaron algunos microcristales de granate, con tamaños entre 0.01 y 0.05 mm, caracterizados por presentar una débil anisotropía, alto relieve y coloración verde esmeralda (Figuras 2I y 2J). De acuerdo con estas características ópticas, corresponden a uvarovita.

Minerografía

Desde el punto de vista minerográfico las cromitas que conforman los cuerpos de cromitas presentan estructuras que varían desde nodular (*Recreo*) (Figura 3A), hasta masiva (*Tetas de Camarioca*) (Figura 3B). El contacto entre la cromita y la roca es gradual, desde masiva en la parte central de los cuerpos hasta más diseminada en la parte exterior.

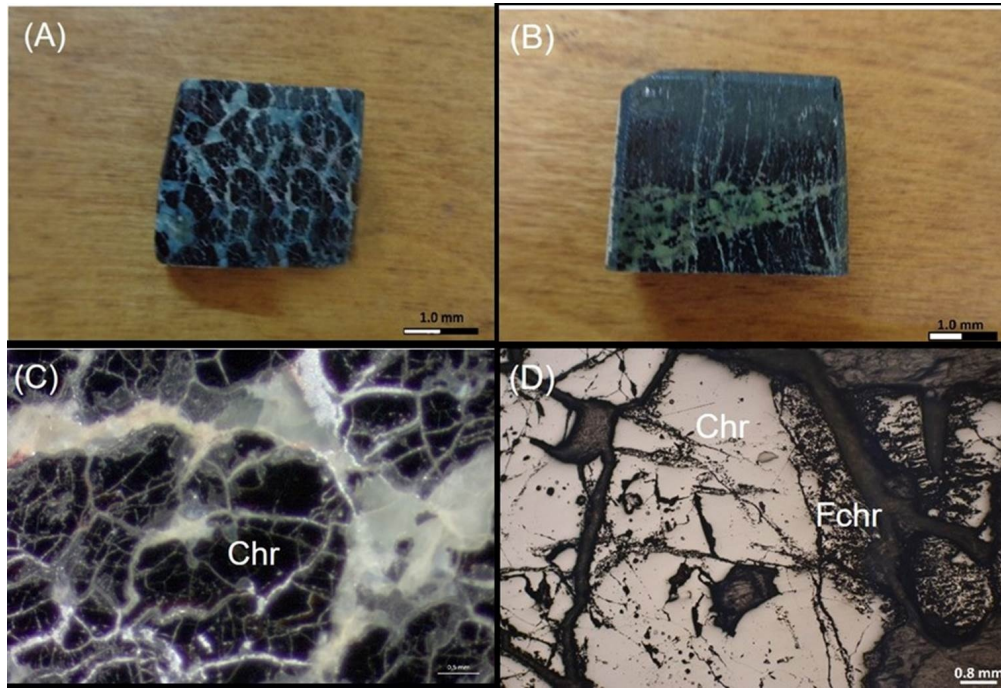
En general se aprecian deformaciones postmagmáticas y su grado de manifestación depende de la relación cromita-silicato. Las menas ricas en silicatos del tipo nodular, muestran evidencias de deformaciones plásticas como texturas de tipo *pull-apart*, elongación de los nódulos (Figura 3A). La mena masiva presenta huellas de fracturas (Figura 3C) y en algunos casos brechamiento.

La mineralización está constituida fundamentalmente por cromita, que en ocasiones presenta una alteración zonal a lo largo de la periferia de los granos correspondiente a ferricromita (Figura 3D). Además, de la cromita como mineral principal se reportan la presencia de minerales como: magnetita, calcopirita, millerita, pentlandita, pirrotina, polidimita y violarita.



(A) Serpentina harzburgítica con ortopiroxeno relicto y un pseudoporfiroblasto de ortopiroxeno bastitizado (Opx+Srp), nótese algunos granos dispersos de magnetita; (B) Harzburgita serpentinizada con relictos de piroxeno y olivino; (C) y (D) Cromitita constituida por agregados de cristales subidiomórficos y fracturados de cromita con intersticios ocupados por clorita; (E) y (F) Grano de cromita refractaria accesoria con bordes lobulados, alterada parcialmente a ferricromita y en contacto directo con la serpentina; (G) y (H) Cromita metalúrgica accesoria alterada parcialmente a ferricromita y bordeada por una aureola clorítica. Se observan algunos granos dispersos de magnetita o la clorita no presenta el típico color verde característico de composiciones ricas en Fe; (I) y (J). Nicles cruzados (NX), Nicles paralelos (NP). Chr, cromita; Fchr, ferricromita; Chl, clorita; Lz, lizardita; Mag, magnetita; Olv, olivino; Opx, ortopiroxeno; Px, piroxeno; Srp, serpentina; Uv, uvarovita. Foto detalle de microcristales de uvarovita junto a clorita en cromitita, muestra I-3.

Figura 2. Fotomicrografías que muestran las principales características petrográficas de las cromitas y la asociación mineral hospedera.

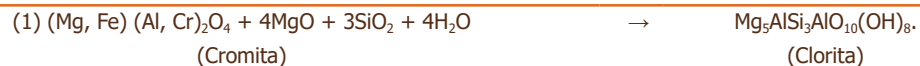


Chr, cromita; Fchr, ferricromita. (A) Cromita con estructura nodular; (B) cromita con estructura masiva; (C) cromita con huellas de fracturas; (D) cromita con alteración periférica a ferricromita; note la textura esponjosa característica de la ferricromita.

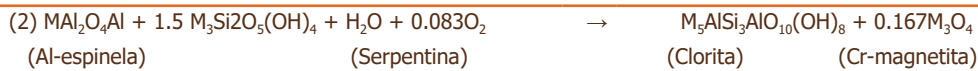
Figura 3. Principales características mineragráficas de las cromitas

La alteración parcial a ferricromita, es común a todas las cromitas analizadas, y representa la fase inicial de transformación secundaria de estos minerales. Esta alteración ha sido interpretada como una fase temprana inducida por un aumento en la fugacidad de oxígeno (fO_2), condición necesaria para la formación de la ferricromita, según lo propuesto por [Eckstrand \(1975\)](#), [Frost \(1985\)](#) y [Bach et al. \(2006\)](#). Estos mismos autores indican, además, que dicho proceso ocurre típicamente durante las etapas avanzadas de la serpentización, en condiciones correspondientes al metamorfismo de la facies esquistos verdes, cuando el olivino ha sido completamente serpentizado.

Varios autores ([Beeson & Jackson, 1969](#); [Kimball, 1985](#); [Shen et al., 1988](#); [Mellini et al., 2005](#)) señalan que, durante el metamorfismo, ocurre la difusión de aluminio y magnesio desde la cromita hacia los silicatos circundantes, lo que favorece la formación de espinelas enriquecidas en Fe y Cr, tales como ferricromita o cromo-magnetita, así como el desarrollo de aureolas de clorita. [Kimball \(1990\)](#) indica que la formación de clorita producto de la alteración hidrotermal de la cromita magmática ocurre en un ambiente de alta temperatura ($>400^\circ\text{C}$) en presencia de fluidos ricos en MgO y SiO_2 , de acuerdo con la siguiente reacción:



Sin embargo, posteriores estudios realizados por [Mellini et al. \(2005\)](#) sugieren que la formación de la clorita, ocurre más bien durante la post-serpentización como resultado de la reacción entre la espinela y la serpentina circundante, en condiciones relativamente oxidantes. Esta interpretación es respaldada por la evidencia textural, donde se observa comúnmente la presencia de aureolas cloríticas superpuestas a la textura reticular de la serpentina. Este proceso puede representarse mediante la reacción:



Respecto a las cromitas analizadas no se observa magnetita como uno de los productos de la reacción (2) lo cual, se favorece en un ambiente relativamente reducido.

En varios estudios previos como los de [Golding y Bayliss \(1968\)](#), [Onyeagocha \(1974\)](#) y [Shen et. al. \(1988\)](#) citados en [Mellini et al. \(2005\)](#), han reportado reacciones similares, donde se han descrito segregaciones metasomáticas de clorita en el contacto entre cromita y serpentina, lo que coincide con nuestras observaciones. La frecuente presencia de lizardita, la fase de baja temperatura de la serpentina, indica que los procesos de alteración hidrotermal observados en nuestro estudio se desarrollaron bajo un régimen metamórfico que no superó la facies esquistos verdes. La presencia de dos etapas sucesivas en los procesos de alteración evidencia un comportamiento similar al documentado por [Proenza et. al. \(1999\)](#) en cromitas del macizo ofiolítico de Moa-Baracoa, Cuba oriental.

Como se mencionó anteriormente, la presencia de aureolas cloríticas se limita a las cromitas metalúrgicas y no se observa en las cromitas refractarias. Este comportamiento puede interpretarse a partir de los requerimientos composicionales de la clorita, cuya formación depende de la disponibilidad de elementos como Al, Mg y Fe en el sistema. En este sentido, la ocurrencia de aureolas cloríticas alrededor de las cromitas implicaría una extracción progresiva de estos elementos desde la espinela hacia la zona de reacción en el contacto con la serpentina. Esta removilización química favorece la disminución del contenido de Al en la cromita residual, lo que refuerza aún más su carácter metalúrgico y acentúa las diferencias composicionales respecto a las refractarias.

[Barnes \(2000\)](#) también señala que la extensión del reemplazamiento de la cromita está condicionada por el acceso de fluidos y la relación fluido-roca. De manera que en ambientes donde el fluido es dominante, la cromita puede experimentar una destrucción casi total acompañada de una significativa pérdida de aluminio. No obstante, en nuestro caso de estudio, la cromita se conserva parcialmente, predominando la sustitución pseudomórfica a ferricromita sobre la cloritización. Tal comportamiento podría estar relacionado con una menor disponibilidad de fluidos o una relación fluido-roca menos intensa, lo que a menudo limita la progresión de la alteración.

La presencia de microcristales de uvarovita asociados con clorita en la muestra I-3, indica que los fluidos mineralizantes contenían, además de Al y Cr, bajas concentraciones de Ca, elemento esencial para la cristalización de este granate cálcico-cromífero ([Proenza & Gervilla 1997](#); [Proenza, 1998](#)).

CONCLUSIONES

De acuerdo con las características texturales y mineralógicas, la alteración hidrotermal de las cromitas analizadas se desarrolló en dos fases fundamentales, ambas bajo condiciones de presión y temperatura equivalentes a la facies de esquistos verdes y con una baja relación fluido-roca. La primera estuvo asociada a un incremento de la fugacidad de oxígeno durante las fases avanzadas de la serpentización, lo que favoreció la precipitación de ferricromita en los bordes y grietas de los cristales de cromita. En la segunda fase, la cromita reaccionó con la serpentina circundante, en presencia de fluidos, experimentando una pérdida de Al y Mg, dando como resultado una cromita residual del tipo *metalúrgico* orlada por una aureola clorítica.

La presencia de microcristales de uvarovita asociada a clorita en la muestra I-3 indica que los fluidos mineralizantes contenían, además de Al y Cr, bajas concentraciones de Ca. Los resultados del estudio ponen de manifiesto el estrecho vínculo entre los procesos de alteración de la cromita y su composición, lo que permite evaluar dichas alteraciones como posibles indicadores mineralógicos aplicables en contextos ofiolíticos análogos.

Para avanzar en la reconstrucción detallada de las condiciones fisicoquímicas que controlan la alteración hidrotermal de las cromitas en las ofiolitas de La Habana-Matanzas, se recomienda complementar este estudio mediante técnicas analíticas de mayor resolución como la microscopía electrónica de barrido.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arai, S. (1992). Chemistry of chromium spinel in volcanic rocks as a potential guide to magma chemistry. *Mineralogical Magazine*. 56. 173-184.
- Arai, S. (1994). Characterization of spinel peridotite by olivine-spinel compositional relationships: review and interpretation. *Chemical Geology*. 113. 191-204.
- Beeson, M. & Jackson, E.D. (1969). Chemical compositions of altered chromites from the Stillwater Complex, Montana. *Am Mineral*. 54. 1084-1100.
- Barnes, S.J. (2000). Chromite in komatiites, II. Modification during greenschist to mid-amphibolite facies metamorphism. *Journal of Petrology*. 41, 387-409.
- Bach, W., Paulick, H., Garrido, C.J., Ildefonse, B., Meurer, W., Humphris, S.E. (2006). Unravelling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15°N (ODP Leg 209, Site 1274). *Geophysical Research Letters*. 25. 1467-1470.
- Christofides, G., Thimiatis, G., Koroneos, A., Sklavounos, S.N.S., & Eleftheriadis, G. (1994). Mineralogy and chemistry of Cr-chlorites associated with chromites from Vavdos and Vasilika ophiolite complexes (Chalikidiki, Macedonia, N. Greece). *Chemie der Erde*. 54. 151-166.
- Colectivo de autores. (2024). *Cartografía geológica a escala 1:50000 de las hojas Habana y Punta Guayacanes*. Archivo IGP/SGC.
- Dick, H. & Bullen, T. (1984). Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 86. 54-76.
- Eckstrand, O.D. (1975). The Dumont serpentinite: a model for control of nickeliferous opaque mineral assemblages by alteration reactions in ultramafic rocks. *Economic Geology*. 70. 183-201.
- Fonseca, E., Zelepuguin, V. M., & Heredia, M. (1984). Particularidades de la estructura de la asociación ofiolítica de Cuba. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*. 9. 31-46.
- Frost, B.R. (1985). On the stability of sulfides, oxides and native metals in serpentinite. *Journal of Petrology*. 26. 31-63.
- Golding, H.G. & Bayliss, P. (1968). Compact chlorite associated with lizardite from New South Wales, Australia. *Mineral Mag.* 36. 825-831.
- Irvine, T.N. (1965). Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part I. Theory. *Canadian Journal of Earth Science*. 2. 648-72.
- Irvine, T.N. (1967). Chromian spinel as a petrogenetic indicator. Part II. Petrological applications. *Canadian Journal of Earth Science*. 4. 71-103.
- Kimball, K.L., Spear, F.S., Dick, HJB. (1985). High temperature alteration of abyssal ultramafics from the Islas Orcadas Fracture Zone, South Atlantic. *Contrib Mineral Petrol.* 95. 307-320.
- Kimball, K.L. (1990). Effects of hydrothermal alteration on the composition of chromian spinels. *Contrib Mineral Petro.*, 105. 337-346.
- Llanes, A.I. (1997). *Petrología y mineralización de la asociación ofiolítica en la región Habana-Matanzas*. Inédito. Archivo del grupo de Mineralogía y Petrología. IGP-SCG.
- Llanes, A. I. (2016). *Constitución y génesis de las ofiolitas de la región Habana-Matanzas*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geológicas. Archivo del grupo de Mineralogía y Petrología IGP-SCG.
- Llanes, A.I., García, I., Santa Cruz Pacheco, M., Capote, C., Morales, A., Milia, I., De la Nuez, D. (2002). *Valoración petrólogo-mineralógica de la Zona Límite Manto-Corteza Oceánica y su*

- implicación en la metalogenia de Au, Ag, Fe, Ni, Cu, Cr, en la región Habana-Matanzas.* Archivo IGP. MINEM. La Habana.
- Mellini, M., Rumori, & Viti, C. (2005). Hydrothermally reset magmatic spinels in retrograde serpentinites: formation of "ferritchromit" rims and chlorite aureoles. *Contrib Mineral Petrol.* 149, 266-275.
- Merlini, A., Griego, G., & Diella, V. (2009). Ferritchromite and chromian-chlorite formation in mélange-hosted Kalkan chromitite (Southern Urals, Russia). *American Mineralogist.* 94. 1459-1467.
- Onyeagocha, A.C. (1974). Alteration of chromite from the Twin Sisters Dunite, Washington. *American Mineralogist.* 59. 608-612.
- Ozawa, K. (1983). Evaluation of olivine-spinel geothermometry as an indicator of thermal history for peridotites. *Contributions to Mineralogy and Petrology.* 82. 52-65.
- Pouyan, S., Shyn-Lung, H., Hao-Tsu, C., & Ruey-Chang, J. (1988). STEM study of "ferritchromit" from the Heng-Chun Chromitite. *American Mineralogist.* 73. 383-388.
- Proenza, J. (1998). *Mineralizaciones de cromita en la faja ofiolítica Mayarí-Baracoa (Cuba) Ejemplo del yacimiento Mercedita.* Tesis Doctorado. Univ. De Barcelona.
- Proenza, J. y Gervilla, F. (1997). Proceso de alteración a ferricromita en Cr-espinelas del yacimiento Mercedita (Cinturón ofiolítico Mayarí-Baracoa, Cuba). *Boletín de la Sociedad Española Mineral.* 20A. 29-30.
- Proenza, J., Solé, J., Melgarejo, J.C. (1999). Uvarovite in podiform chromitite: The Moa-Baracoa ophiolitic massif, Cuba. *Canadian. Mineral.* 37. 679-690.
- Pushcharovsky, Y. (Ed). (1988). *Mapa geológico de la República de Cuba, escala 1:250000* Academia de Ciencias de Cuba y de la USSR.
- Saggerson, E.P. & Turner. L.M. (1982). General comments on the identification of chlorites in thin sections. *Mineralogical Magazine.* 46, 469-73.
- Shen, P., Hwang, S.L., Chu, H.T. & Jeng, R.C. (1988). STEM study of "ferritchromit" from the Heng-Chun chromitite. *American Mineralogist.* 73. 383-388.