

Espectroscopia de reflectancia aplicada al estudio de depósitos polimetálicos de Pb, Zn, Cu ± Ag ± Au del sur de la Sierras de Córdoba, Argentina

María Natalia Maffini ^{1,2}
Diego Fernando Ducart ³
Jorge Coniglio ¹
Fernando D'Eramo ^{1,2}
Adalene Moreira Silva ³
Manuel Demartis ^{1,2}
Catarina Labouré Bemfica Toledo ³
Lucio Pinotti ^{1,2}

¹ Universidad Nacional de Rio Cuarto - UNRC
Ruta Nac. 36 – CP X5800 - Río Cuarto - Cba., Argentina
nataliamaffini@gmail.com
{jconiglio, fjderamo, mdemartis, lpinotti}@exa.unrc.edu.ar

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas – CONICET
Av. Rivadavia 1917 – Buenos Aires, Argentina

³ Universidade de Brasília - UnB
CEP 70910-900 – Brasília - DF, Brasil
{diegoducart, adalene, catarinatoledo}@unb.br

Abstract. This paper describes the application of spectral and magnetic analysis techniques in hydrothermal alteration zones related to polymetallic deposits, in the Sierras de Córdoba (Argentina). The sampling for spectral analysis was carried out in two key study areas and it involved several mineralized structures. The mineralization occurs as discordant tabular veins, mainly composed of quartz with variable contents of sulfides and Au-Ag minerals. Hydrothermal alteration of the metamorphic host rocks is conspicuous, being the phyllic alteration the most distributed along the structures. The spectral analysis results revealed notable differences between the altered host rocks and their non-altered protoliths. In the alteration zones there is an increase in the abundance of white micas and its crystallinity, however, at the same time the rocks show lower magnetic susceptibility values. One of the most outstanding result is the variation in the composition of illite in some mineralized structures, from normal potassic to phengitic. The spatial distribution of phengitic illite is genetically related with the physicochemical characteristics of the hydrothermal fluids, in the study areas its occurrence is restricted to the most mineralized metallotects. The application of spectral analysis in polymetallic veins has not been mentioned in the Sierras Pampeanas. However, this study reveals considerable advantages of the method, allowing the rapid identification of hydrothermal mineral associations, variations of parameters of composition and abundance and differentiation of several types of fine grain minerals. Therefore the spectral and magnetical data can have considerable importance for the characterization of hydrothermal alteration zones in this type of mineral deposits.

Palavras-chave: reflectance spectroscopy, hydrothermal alteration, mesothermal veins, espectroscopia de reflectância, alteração hidrotermal, veios mesotermiais.

1. Introducción

Las Sierras Pampeanas Orientales de Argentina se caracterizan por hospedar numerosas mineralizaciones vetiformes portadoras de Au y/o Au-Pb-Zn-Cu±Ag, denominadas según diversos autores como vetas mesotermiales de Au (Zappettini, 1999), depósitos tipo *Lode* (Skirrow et al., 2000), o vetas polimetálicas (ver Brodtkorb et al., 2014 y referencias allí). Conforman varios distritos ubicados principalmente en las provincias de Córdoba, San Luis y La Rioja. Los estudios realizados al presente no permiten discriminar si estos distritos corresponden a tipologías diferentes o son variaciones de un mismo modelo. Los depósitos, cuyas edades están comprendidas en el lapso Devónico-Carbonífero, se emplazan por lo

general dentro o en las proximidades de fajas de deformación dúctil-frágil de extensión regional, desarrolladas durante el Ordovícico y el Devónico Temprano.

Las vetas mineralizadas desarrollan zonas de alteración hidrotermal controladas estructuralmente y dominadas por alteración filica, pudiendo alcanzar decenas de kilómetros de extensión y hasta ~ 15 m de potencia. Los contenidos de Au varían entre 1,5 y 60 g/t y algunos distritos son ricos en Pb, Zn, Cu, Ag, entre otros metales. Actualmente las minas están inactivas, pero han llegado a producir oro y/o metales base en décadas pasadas. En este contexto regional, una síntesis sobre esta tipología de depósitos fue realizada por Skirrow et al. (2000) y Mutti et al. (2007). No obstante, para las mineralizaciones motivo de la presente contribución, localizadas al sur de las Sierras de Córdoba (Figura 1a), los estudios metalogénicos recién han sido abordados en los últimos 5 años (Maffini et al., 2012; 2013).

Este estudio tiene como objetivo la caracterización de las zonas de alteración hidrotermal y sus respectivos protolitos no alterados, utilizando espectroscopía de reflectancia y susceptibilidad magnética (SM). La espectroscopía de reflectancia es una técnica conocida y efectiva para la identificación mineralógica de zonas de alteración hidrotermal (Thompson et al., 1999; Ducart et al., 2006), sin embargo su aplicación es inédita para este estilo de mineralización en Argentina. Se exponen aquí los resultados preliminares del estudio desarrollado a través de cooperación científica entre el Departamento de Geología de la UNRC, Argentina y la Universidade Federal de Brasília (UnB), Brasil.

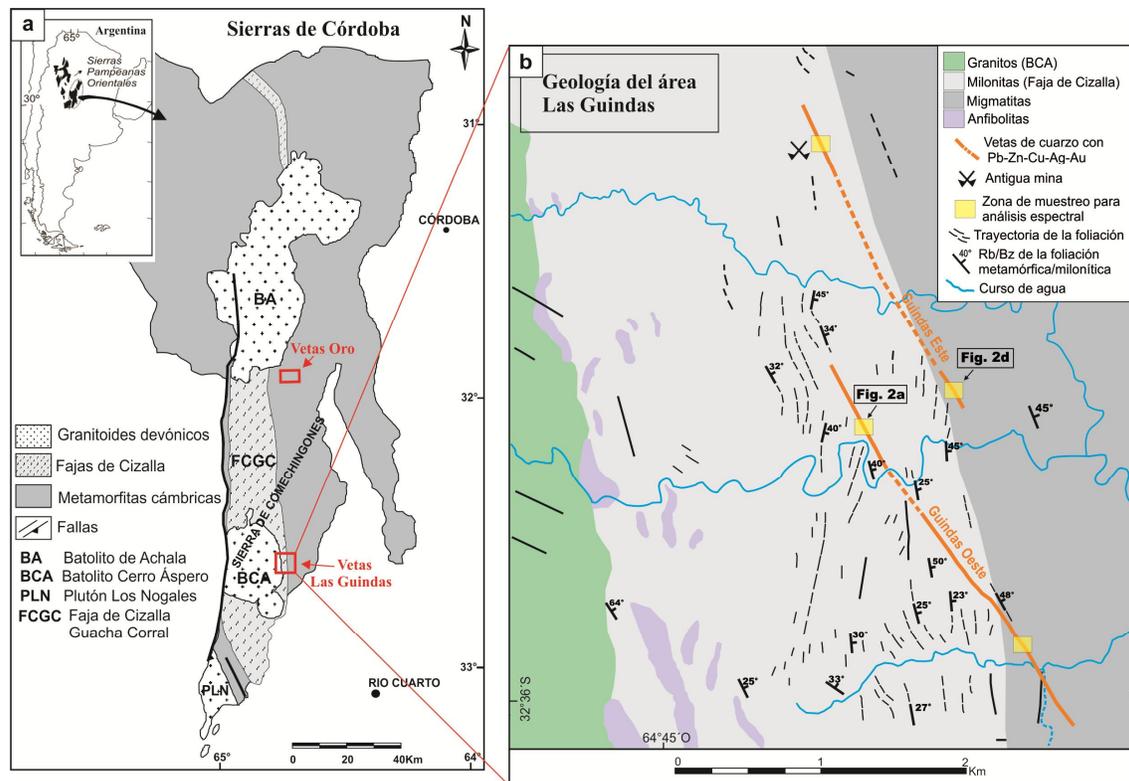


Figura 1: a) Ubicación de las áreas de estudio en el contexto de las Sierras de Córdoba. b) Estructuras mineralizadas del área Las Guindas y localización de las zonas de muestreo para análisis espectral.

2. Las mineralizaciones polimetálicas del sur de Córdoba

La Sierra de Comechingones constituye el cordón más austral de las Sierras de Córdoba (Figura 1a) y está compuesta por un basamento ígneo-metamórfico de edad paleozoica, que ha evolucionado a través de diferentes ciclos orogénicos como producto de las continuas convergencias sobre el borde occidental del antiguo continente Gondwana. Sobre este

basamento se emplazan diferentes tipologías de depósitos minerales, entre los que se destacan las vetas polimetálicas de Pb-Zn-Cu-(Au-Ag). Estas mineralizaciones se manifiestan de sur a norte en la Sierra de Comechingones y están emplazadas en el ambiente metamórfico, tanto dentro de la Faja de Cizalla Guacha Corral, la más extensa de las Sierras de Córdoba, como en áreas migmáticas. Los resultados presentados en este trabajo corresponden a los obtenidos en dos de las principales áreas portadoras de este estilo de mineralización en la Sierra de Comechingones: 1) el área de Vetas Oro, al norte, que comprende un conjunto de cinco vetas mineralizadas de escaso desarrollo longitudinal y 2) el área Las Guindas, al sur, que comprende a dos importantes estructuras, de las más extensas observadas hasta el momento en todo el ámbito de la sierra (Figura 1).

Las vetas se componen principalmente de cuarzo, con contenidos variables de galena, esfalerita, calcopirita, pirita, sulfuros secundarios de cobre y telururos de Au-Ag. En las zonas oxidadas se desarrolla una amplia variedad de minerales secundarios, entre los que se destacan halogenuros de Ag-Au (Maffini et al., 2013). La distribución de la mineralización metalífera es discontinua a lo largo de las estructuras, siendo frecuente la intercalación entre zonas mineralizadas y zonas estériles. Entre los metalotectos más conspicuos se destaca el desarrollo de una alteración hidrotermal penetrativa, dominada por alteración filica, controlada estructuralmente. El espesor de estas zonas metasomáticas es variable, desde algunas decenas de centímetros hasta ~ 10 m desde los contactos con las vetas, siendo generalmente mayor en las zonas con mineralización de sulfuros.

3. Metodología de Trabajo

Se colectaron 23 muestras de roca de 10 x 10 cm de superficie, representativas de zonas no alteradas y con alteración hidrotermal. En el área de Vetas Oro, el muestreo abarcó a dos de las principales vetas -Veta Oro II y Veta Oro V- por ser portadoras de la mayor cantidad de mineralización. En el área de las Guindas, se muestrearon las franjas de alteración en las dos estructuras mineralizadas principales -Veta Guindas Oeste y Veta Guindas Este-, habiéndose realizado este muestreo en diferentes sectores a lo largo de la longitud de cada veta (Figura 1b). El criterio de extracción de muestras fue mediante perfiles perpendiculares a los metalotectos estructurales, comprendiendo las rocas no alteradas y las zonas de alteración hidrotermal hasta los hastiales de las vetas (Figura 2a y 2d). De acuerdo a la intensidad de la alteración y a la potencia de las zonas metasomáticas, los perfiles de muestreo alcanzaron distancias de hasta 20 m a cada lado de las vetas. No obstante, en las vetas Oro, al ser las franjas de alteración generalmente de escaso desarrollo, sólo se tomaron pares de muestras correspondientes a roca alterada y roca no alterada. No se aplicó ninguna preparación de las muestras, salvo la eliminación de costras de meteorización y su secado al aire libre.

Sobre cada muestra se realizaron mediciones con un espectroradiómetro ASD-FieldSpec3 Hi-Res (Analytical Spectral Devices). Este equipo mide la reflectancia en el rango de longitudes de onda entre el visible e infrarrojo próximo (VNIR: 350-1.000 nm) e infrarrojo de ondas cortas (SWIR: 1.000-2.500 nm), con un intervalo de muestreo de 1,4-2 nm y resolución espectral de 3-8 nm. De cada muestra se tomaron entre 4 y 7 mediciones, dependiendo de su heterogeneidad, sumando un total de 111 espectros de reflectancia. Las mediciones fueron realizadas utilizando la pistola de contacto con una ventana de adquisición de 1 cm². El espectroradiómetro fue calibrado utilizando un panel de referencia estándar SpectralonTM.

El procesamiento e interpretación de las firmas espectrales fue realizado teniendo como objetivo: (1) la caracterización mineralógica de cada muestra; (2) determinación de proporciones resultantes de la mezcla mineral entre mica blanca y esmectita; y (3) determinación del ordenamiento estructural de mica blanca y caolinita (también llamado de cristalinidad). Para tal fin, fueron analizados la profundidad, forma y longitud de onda de los principales rasgos de absorción, y luego comparados con firmas espectrales de referencia de

la biblioteca espectral del USGS. Los datos fueron procesados e interpretados por medio del programa TSG PRO. La composición de las micas blancas fue determinada a partir de la posición (longitud de onda) de la máxima absorción que refleja el contenido de Al en el sitio octaédrico (Al^{VI}) de las micas (Pontual et al., 1997; Yang et al., 2011). Valores de longitud de onda sugieren la composición de la mica blanca, de acuerdo a la siguiente clasificación aproximada: (1) <2190 nm: paragonita (o illita paragonítica); (2) 2190-2200 nm: tendiente a paragonita (o illita tendiente a paragonítica); (3) 2200-2210 nm: moscovita (o illita "normal" potásica); (4) 2210-2220 nm: tendiente a fengita (o illita tendiente a fengítica); y (5) >2220 nm: fengita (o illita fengítica). La cristalinidad de la mica blanca es definida a partir de la profundidad del rasgo de absorción de 2200 nm (Al-OH) comparada con la profundidad del rasgo de 1910 nm (H₂O).

Las mismas muestras fueron también analizadas con un susceptibilímetro MPP-EM2S+ (*Multi Parameter Probe*) fabricado por la Instrumentation GDD INC., que consiste en una pistola ligada a una unidad de lectura (Palm Top). Los valores de susceptibilidad magnética son obtenidos en $\times 10^{-3}$ SI. Los resultados del análisis espectral y de SM fueron integrados con las observaciones de campo, petrológicas, mineralógicas y metalogénicas.

4. Resultados

El análisis espectral ha permitido caracterizar diferentes asociaciones de minerales de alteración en las áreas de las Vetas Oro al norte y Las Guindas al sur. A su vez en Las Guindas se han podido establecer diferencias entre las vetas Guindas Oeste y Este. En la Tabla 1 se describen las variaciones encontradas en las asociaciones de minerales de alteración en los perfiles perpendiculares a los metalotectos estructurales, desde las zonas mineralizadas hacia la roca no alterada. Asimismo, en la Figura 2 pueden observarse los resultados en dos de las zonas de muestreo de las vetas Guindas Oeste y Este, respectivamente (ver ubicación en Figura 1b). Para cada zona se presenta un esquema con la ubicación y distribución de las muestras, los espectros de reflectancia obtenidos de algunas muestras representativas y la variación de diferentes parámetros espectrales (abundancia y composición de micas blancas) y susceptibilidad magnética, conforme aumenta la distancia desde los contactos con las vetas hacia las zonas no alteradas.

Tabla 1. Síntesis de la distribución espacial de las principales asociaciones de minerales de alteración hidrotermal, desde las zonas mineralizadas al protolito poco o no alterado.

Veta	Asociación de alteración hidrotermal proximal	Asociación de alteración hidrotermal distal	Roca de caja no alterada
Las Guindas Oeste	Illita "normal" K – goethita – calcita – cuarzo.	Illita "normal" K \ Mont. (ILL/SM) – clorita – goetita – hematita – cuarzo.	Fe Biotita – Caolinita AC – Mont. (milonita).
Las Guindas Este	Illita fengítica - goethita – cuarzo.	Illita fengítica- clorita – goethita – cuarzo.	Biotita – illita – Fe ⁺² asociado a biotita. (metatexita)
Oro II	Clinozoisita – Mont./Illita (SM\ILL) – cuarzo..		Fe biotita - caolinita BC – Mont. (metatexita).
Oro V	Illita "normal" K - caolinita – goethita – hematita – cuarzo.		Fe biotita - caolinita BC – Mont. (diatexita).

Abreviaciones minerales: caolinita BC = caolinita de baja cristalinidad; caolinita AC = caolinita de alta cristalinidad; ILL= illita pura, sin esmectita; ILL/SM = mezcla interestratificada con mayor proporción de illita que de esmectita; SM\ILL = mezcla interestratificada con mayor proporción de esmectita que de illita; Mont=Montmorillonita

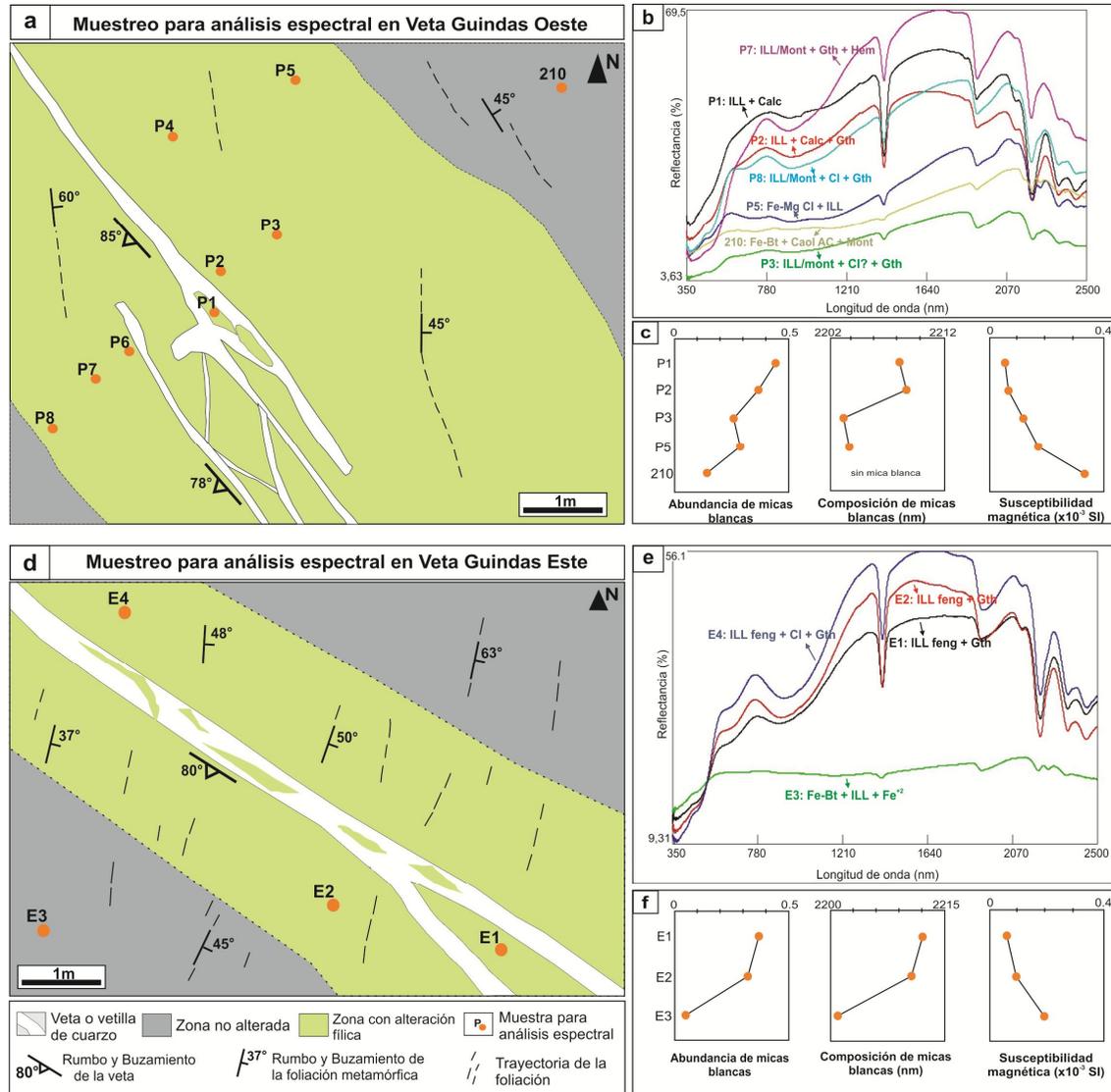


Figura 2. Resultados del estudio espectral en dos secciones representativas del área Las Guindas. a y d) Ubicación y distribución del muestreo en las vetas Guindas Oeste y Este, respectivamente. b y e) Espectros de reflectancia de muestras representativas. c y f) Gráficos de variación de parámetros espectrales y magnéticos: abundancia de micas blancas (izquierda), composición de micas blancas (centro) y susceptibilidad magnética (derecha). (La composición de micas blancas corresponde a la posición en longitudes de onda -en nanómetros- del rasgo de absorción máximo de Al-OH). Abreviaciones minerales: Bt: biotita - Calc: calcita - Caol AC: caolinita de alta cristalinidad -Cl: clorita - Fe: hierro - Hem: hematita - Gth: goethita - ILL: illita - ILL feng: illita fengítica - Mont: montmorillonita.

Tanto en las vetas Oro como en Las Guindas, las micas blancas y la goethita son los minerales de alteración más conspicuos, con ocurrencias locales de calcita, clorita, esmectita y clinzoisita. En la veta Guindas Oeste se observa una zonación en la alteración hidrotermal desde illita pura en la zona proximal a illita/esmectita (montmorillonita) con clorita en la zona distal, conformando posiblemente una interestratificación (*mixed layer clays*). Esta transformación de arcillas interestratificadas está relacionada a disminución de la temperatura de los fluidos hacia las zonas distales (Harvey y Browne, 1991).

En el caso de Las Guindas Este, se observa un rasgo particular en la composición de las micas blancas, con variación entre illita “normal” potásica a illita tendiente a fengítica (Fe-

Mg), lo que no fue observado en las demás estructuras. Sin embargo, similarmente a lo que ocurre en la veta Oeste, también aparece clorita en asociación con illita en las zonas más distales de la franja de alteración.

En las vetas Oro la illita hidrotermal es de composición normal y también puede ocurrir interestratificada con esmectita. En esta área la clorita está ausente y aparece clinzoisita en zonas proximales a algunas vetas.

Haciendo un análisis general de todas las muestras medidas, los valores de longitud de onda de la absorción de Al-OH en mica blanca varían entre 2199 y 2213 nm. Valores próximos a 2202 nm corresponden a contenidos de Al^{VI} cercanos a la fórmula ideal de la illita "normal" potásica y moscovita (4 apfu, normalizado a 4 cationes en el sitio octaédrico), mientras que los valores próximos a 2213 nm se asocian a contenidos menores de Al^{VI} (3 apfu), indicando una composición tendiente a fengítica (Pontual et al., 1997; Yang et al., 2011). La mica blanca presente en las rocas encajantes no afectadas por la alteración hidrotermal tiene una composición de illita "normal" potásica (valores entre 2199 y 2206 nm), en tanto que en las zonas de alteración hidrotermal pervasiva la composición puede variar entre illita "normal" potásica a illita tendiente a fengítica (valores entre 2206 y 2213 nm) (Figura 2c y f). Se observa también un aumento en la cristalinidad de la mica blanca desde Vetas Oro a Las Guindas.

Los datos espectrales también muestran que la abundancia relativa de mica blanca en las zonas con alteración hidrotermal es entre 1 y 2 veces mayor que en las milonitas no afectadas por el proceso de mineralización y entre 4 y 6 veces mayor respecto de las migmatitas. En los gráficos de las Figuras 2c y 2f puede observarse claramente el decrecimiento de la abundancia de micas blancas desde las zonas proximales a las vetas hacia las zonas no alteradas.

Comparativamente, los valores de SM promedio de las rocas con alteración hidrotermal son menores a los que presentan las metamorfitas no alteradas: de 2,7 a 4,25 veces en la zona de Las Guindas y aproximadamente 3 veces menor en la zona de Vetas Oro. La menor susceptibilidad magnética de las zonas de alteración es un hecho característico de este estilo de mineralización como ya fuera señalado por Skirrow et al. (2000) y se vincula parcialmente con el desarrollo de zonas de hematización asociadas con la fajas de cizalla.

5. Discusión y Conclusiones

En todas las áreas estudiadas (Vetas Oro, Las Guindas Este y Las Guindas Oeste), las zonas de alteración hidrotermal presentan parámetros de SM, abundancia y composición de mica blanca claramente distintivos respecto de las rocas encajantes más alejadas de las mineralizaciones. Las zonas más afectadas por alteración hidrotermal muestran sistemáticamente menores valores de SM, mayor abundancia de mica blanca, mayor cristalinidad, menor proporción de esmectita y/o clorita y composiciones más alejadas de la muscovita ideal.

Un resultado destacable de este estudio es la notable variación en la composición de las micas entre illita "normal" potásica e illita tendiente a fengítica. En caso de confirmarse la sustitución parcial de Al por Fe-Mg en el sitio octaédrico mediante otras técnicas de estudio (microsonda electrónica, por ejemplo), la ocurrencia de fengita constituiría la primera cita de este mineral para esta tipología de depósitos en las Sierras Pampeanas. En el área de estudio el desarrollo de illita fengítica está casi enteramente restringido al metalotecto estructural de Las Guindas Este, el cual hospeda en su sector NO la mayor acumulación de sulfuros de este distrito, antiguamente explotado (Mina Natacha). Esta distribución espacial de illita fengítica/fengita probablemente esté en relación genética directa con las características físico-químicas del fluido mineralizante.

En el distrito Olympic Dam, mediante la utilización de la técnica de espectroscopía de reflectancia, Tappert et al. (2013) determinaron que la formación de fengita y sus variaciones químicas pueden ser explicadas por diferencias en la intensidad de la alteración hidrotermal. Evans et al. (1993) y Yang et al. (2001), entre otros, demostraron que las micas potásicas dioctaédricas con mayor contenido de Al del distrito Olympic Dam se desarrollaron en las zonas más calientes del sistema hidrotermal y/o en los sectores de mayor acidez relativa. Tappert et al. (2013) demostraron que las variaciones en la composición de las fengitas podría ser un criterio de importante utilidad prospectiva posible de aplicar en otros estilos de mineralización, como por ejemplo en depósitos de oro o polimetálicos. Estos autores señalan que es esperable que las partes más distales a los depósitos mineralizados presenten fengitas con menor contenido de Al y mayor contenido de Mg.

En el depósito de Au mesotermal de San Francisco, Méjico, Pérez Segura et al. (1996) hallaron que las paragénesis metalíferas de Au-Te se encuentran en estrecha asociación espacial con la formación de fengitas. En consistencia con estos resultados, en los depósitos del sur de las Sierras de Córdoba abordados en este estudio, pueden encontrarse asociaciones paragenéticas similares en la mineralogía primaria, donde el Au y la Ag se presentan como telururos.

Los resultados preliminares del presente estudio se correlacionan muy bien con la petrografía convencional (luz transmitida y reflejada) y con los resultados de la microscopia electrónica-EDS (Maffini et al., 2013). La principal ventaja a destacar es que ha permitido una rápida identificación de la asociación de minerales de alteración, con variaciones en la composición mineral y abundancia, y fundamentalmente se pudieron discriminar diferencias entre los minerales de grano fino que son muy conspicuos en esta tipología de depósitos.

A escala regional el emplazamiento preferencial de estas mineralizaciones en zonas de cizalla dúctil-frágil genera la complicación de cartografiar adecuadamente la asociación fílica generada por metamorfismo retrógrado de aquella sobreimpuesta por el proceso hidrotermal, siendo esto un problema de difícil y lenta resolución mediante el estudio con técnicas convencionales. Los datos espectrales obtenidos revelan que la abundancia relativa y la composición de las micas blancas son parámetros muy útiles para diferenciar tipos de micas con diferente génesis. En el caso particular de estudio, se han podido establecer claras comparaciones entre las micas blancas provenientes de rocas miloníticas con metamorfismo retrógrado y micas blancas originadas en las zonas de alteración hidrotermal producto del emplazamiento de las vetas mesotermales, aun cuando estos procesos se encontraron sobreimpuestos.

Un hecho destacable es que los espectros de reflectancia no revelaron presencia de muscovita, mineral que en el campo es reconocido con lupa de mano y también en cortes delgados. En cambio, ha sido dominante la ocurrencia de illita. Particularmente este es un aspecto que merece estudios adicionales de microsonda electrónica para determinar si la transformación es debida a procesos endógenos o exógenos.

6. Referencias

Brodtkorb, M.K. de; Coniglio, J.; Miró, R. Yacimientos Metalíferos y Metalogenia. In: Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. **Actas** del 19º Congreso Geológico Argentino, Córdoba. Editores: Martino, R. y Guerreschi, A. P. 1025-1075, 2014.

Clark, R.N.; Swayze, G.A.; Wise, R.; Livo, K.E.; Hoefen, T.M., Kokaly, R.F.; Sutley, S.J. **USGS digital spectral library splib05a**. U.S. Geological Survey Open-File Report, 03-395, 2003. Disponible em <<http://pubs.usgs.gov/of/2003/ofr-03-395>> Acceso em 10/11/2014.

Ducart, D.F.; Crósta, A.P.; Souza Filho, C.R.; Coniglio, J. Alteration mineralogy at the Cerro La Mina epithermal prospect, Patagonia, Argentina: field mapping, shortwave infrared spectroscopy and ASTER images. **Economic Geology**, v. 101, p. 981-996, 2006.

Evans, A.M. **Ore Geology and Industrial Minerals: an Introduction**. Wiley-Blackwell, 400 p., 1993.

Harvey, C.C.; Browne, P.R. Mixed-layer clay geothermometry in the Wairakei geothermal field, New Zealand. **Clays Clay Minerals**, v. 39, p. 614-621, 1991.

Maffini, M.N.; Coniglio, J.E.; Demartis, M.; D'Eramo, F.J.; Pinotti, L.P.; Bin, I.; Petrelli, H.A. Vetas mesotermales de Pb-Zn-Ag-Au emplazadas al este del Batolito Cerro Áspero, Sierra de Comechingones, Córdoba. Aportes al Magmatismo y Metalogénesis II - Serie de Correlación Geológica (INSUGEO-U.N. Tucumán), v. 28, n. 2, p. 93-106, 2012.

Maffini, N.; Coniglio, J. ; D'eraimo, F. ; Demartis, M.; de Brodtkorb, M. Hallazgo de halogenuros de plata en vetas hidrotermales emplazadas en el basamento metamórfico de la Sierra de Comechingones, Córdoba. **Actas del 11° Congreso de Mineralogía y Metalogenia**, San Juan, 2013, p. 239-242. ISBN: 978-950-605-758-9.

Mutti, D.; Di Marco, A; Geuna, S. Depósitos polimetálicos en el orógeno famatiniano de las Sierras Pampeanas de San Luis y Córdoba: Fluidos, fuentes y modelos de emplazamiento. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 62, p. 44-61, 2007.

Pérez Segura, E.; Cheillezt, A.; Herrera Urbina, S.; Janes, Y. Geología, Mineralización, alteración hidrotermal y edad del yacimiento de Au San Francisco, Sonora: un depósito mesotermal en el NO de Méjico. **Revista Mejjicana de Ciencias Geológicas**, v. 13, p. 65-89, 1996.

Pontual, S.; Merry, N.; Gamson, P. **G-Mex: Special Interpretation Field Manual**. Kew, Victoria 3101: Ausspec Intemational. 55p., 1997.

Skirrow, R.G.; Camacho, A.; Lyons, P.; Pieters, P.E.; Sims, J.P.; Stuart-Smith, P.G.; Miró, R. Metallogeny of the southern Sierras Pampeanas, Argentina: Geological, ^{40}Ar - ^{39}Ar dating and stable isotope evidence for Devonian Au, Ag-Pb-Zn and W or formation. **Ore Geology Review**, v. 17, p. 39-81, 2000.

Tappert, M.; Rivart, B.; Giles, D.; Tappert, R.; Mauger, A. The mineral chemistry, near -infrared and middle-infrared spectroscopy of phengite from the Olympic Dam deposit, South Australia. **Ore Geology Reviews**, v. 53, p. 26-38, 2013.

Thompson, A.J.B.; Hauff, P.L.; Robitaille, A.J. Alteration mapping in exploration—application of short-wave infrared (SWIR) spectroscopy. **Society of Economic Geologists Newsletter**, v. 39, n. 1, p. 16-27, 1999.

Yang, K.; Huntington, J.F.; Cudahy, T.J.; Mason, P.; Scott, K.M. Spectrally mapping the compositional variation of white micas in hydrothermal systems and the application in mineral exploration. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, International Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS '01. **Actas. IEEE 2001 International**, Sydney, NSW, Australia, p. 3294-3296, 2001.

Yang, K.; Huntington, J.F.; Gemmell, J.B.; Scott, K.M. Variations in composition and abundance of white mica in the hydrothermal alteration system at Hellyer, Tasmania, as revealed by infrared reflectance spectroscopy. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 108, p.143-156, 2011.

Zappettini, E. Clasificación de depósitos minerales de Argentina. En: **Recursos Minerales de la República Argentina**. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR. Editor: Eduardo Zappettini, 1999. Cap 35, p.75-103.