

IDENTIFICACIÓN DE ANOMALÍAS DE AMONIO POR ESPECTROMETRÍA DE REFLECTANCIA: IMPLICANCIAS PARA LA EXPLORACIÓN MINERA

Marta GODEAS¹ y Vanesa D. LITVAK²

¹ SEGEMAR-IGRM. Av. J. A. Roca 651. 8° piso, (1067) C. A. Buenos Aires

² CONICET-UBA. Departamento de Ciencias Geológicas. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Pabellón 2, 1° piso. Ciudad Universitaria (1428) C. A. Buenos Aires. Emails: mgodea@mecon.gov.ar; vane@gl.fcen.uba.ar

RESUMEN

Se da a conocer la presencia de anomalías de amonio en depósitos mineralizados con alteración hidrotermal en la Argentina. Estas anomalías están dadas por la sustitución del ion potasio por el radical amonio (NH_4^+) en ciertos feldespatos, arcillas y sulfatos; esta sustitución no produce cambios físicos en los minerales ni en las rocas hospedantes. Los minerales portadores de amonio se han hallado en depósitos con alteración hidrotermal con mineralización metalífera. El ion amonio es especialmente sensible al método de espectrometría de reflectancia SWIR, constituyendo así un medio ideal, fácil y valioso para su detección. Aunque los minerales de amonio no siempre se asocian a mineralización metálica, se los puede utilizar como guía de exploración, constituyendo así una técnica prospectiva de gran utilidad en depósitos metalíferos en general.

Palabras clave: *Anomalías de amonio, Argentina, guía de exploración minera, espectrometría de reflectancia SWIR.*

ABSTRACT: *Identification of ammonium anomalies by SWIR reflectance spectroscopy: Implications for mining exploration.*

The existence of ammonium anomalies in mineralized deposits in Argentina is presented. These anomalies are given by the substitution of potassium ion by ammonium ion in certain feldspars, clay minerals and sulfates. This substitution doesn't produce physical changes either in the minerals or the host rocks. Ammonium-bearing minerals have been found in several hydrothermally altered metallic deposits. Ammonium ion is specially sensible to SWIR reflectance spectroscopy method, so it became an ideal, easy and valuable tool for ammonium anomalies detection. Although ammonium-bearing minerals are not always associated with metallic ore, they can be used as an exploration guide, being thus a very useful prospective method for metallic deposits in general.

Keywords: *ammonium anomalies, Argentina, mining exploration guide, SWIR reflectance spectroscopy.*

INTRODUCCIÓN

Las anomalías de amonio se definen por la presencia de minerales que contienen el radical NH_4^+ en la estructura. Este radical reemplaza al ion K^+ en ciertas arcillas, feldespatos y sulfatos, sin producir cambios físicos en ellos ni en las rocas en los que se encuentran. En general, el amonio se origina a partir de restos orgánicos enterrados de origen vegetal y es transportado por fluidos hidrotermales hacia la roca hospedante de la alteración (Bough 1995).

El ion amonio es especialmente sensible al método de espectrometría de reflectancia

SWIR (Integrated Spectronics 2000), constituyendo así un medio ideal, fácil y valioso para su detección. Desde mediados de la década del '90, el método se incorporó a los estudios de detalle de asociaciones de alteración hidrotermal en áreas de interés minero. El método se basa en la medición de la luz reflejada en la estructura de los minerales; cada mineral presenta en general un patrón de reflectancia propio (Thompson *et al.* 1999, Integrated Spectronics 2000, Litvak y Godeas 2003).

El método SWIR es de rápida aplicación y muy preciso para la identificación de un grupo de minerales de alteración, no sólo para el caso de aquellos portadores de amonio;

esta aplicación puede ser complementada con otros métodos como difracción de rayos X, estudios petrográficos, microsonda, etc. Sin embargo, para el caso de los minerales portadores de amonio resulta ser un método muy eficaz y conveniente dada su rapidez y precisión frente al resto de los métodos mencionados.

En el caso de los minerales con amonio, el diseño de los rasgos de absorción es completamente distintivo y además está acompañado por una depresión en la región de 1.900 a 2.200 nanómetros. Bough (1995) definió los rasgos de absorción del amonio como debidos a las formas vibracionales del par N-H, análogo

gas a las del par O-H y sólo desplazadas ligeramente en los valores de longitud de onda. En la Argentina, el estudio sistemático mediante este método ha permitido identificar numerosas anomalías dadas por minerales que contienen amonio en su estructura en áreas con alteración hidrotermal. La presencia de minerales de amonio en áreas mineralizadas fue registrada por primera vez en la Argentina en el yacimiento Pan de Azúcar (Jujuy) (Godeas y Litvak 2004).

En general, los minerales portadores de amonio son poco conocidos. Existen algunos antecedentes sobre este tema a nivel mundial, que se refieren a anomalías detectadas con sensores remotos y con métodos geoquímicos, pero los estudios sistemáticos con espectrometría de reflectancia SWIR son escasos. Estos minerales se han encontrado en varios depósitos hidrotermales de oro, y aunque no siempre se asocian a metales preciosos, su importancia reside en que son buenos indicadores de mineralización potencial. De esta manera, se puede utilizar a estos minerales como guía, constituyendo así una técnica prospectiva de gran utilidad en depósitos metalíferos en general; los ejemplos descritos para la elaboración del presente trabajo así lo confirman.

El objetivo del trabajo es destacar la utilidad del método SWIR en la identificación de minerales portadores de amonio y resaltar la importancia de este elemento como guía de exploración minera. Para ello, se presentan y analizan los resultados obtenidos con el método de espectrometría de reflectancia SWIR en aquellos yacimientos argentinos donde se reconocieron minerales portadores de amonio, caracterizándose los mismos sobre la base de los datos disponibles.

MINERALES CON AMONIO

La sustitución del ion potasio por el de amonio se produce en minerales de la familia del feldespato potásico (adularia, $(K,Na)[AlSi_3O_8]$), arcillas (illita e interestratificado illita-esmectita, $K_{1.5-1.0}Al_4[Si_{6.5-7.0}Al_{1.5-1.0}O_{20}](OH_4)$), sulfatos (alunita, $KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$ y jarosita, $KFe_3(OH)_6(SO_4)_2$) y mica (moscovita, $K_2Al_4[Si_6Al_2O_{20}](OH,F)_4$). La adularia en la que se ha producido la sustitución del ion potasio

por el amonio recibe el nombre de buddingtonita (Barker 1964), y la illita el de brammallita (Deer *et al.* 1966).

El más común de los minerales con amonio es la buddingtonita, que fue descrita por primera vez por Erd *et al.* (1964) como un feldespato con amonio y agua ceolítica. La primera mención sobre la sustitución del ion potasio por el amonio en la adularia para convertirse en buddingtonita corresponde a Barker (1964), quien señaló que este feldespato es raro porque es poco común encontrar un ambiente rico en amonio en la corteza terrestre. Si bien en general varios autores aceptaron que la fórmula tiene agua, Voncken *et al.* (1993) realizaron un completo estudio del mineral por varios métodos y concluyeron que es un feldespato sin agua ceolítica.

En cuanto a las temperaturas de formación de los minerales de amonio, se requieren por lo menos $150^\circ C$ para liberar el amonio y ponerlo en solución de manera que pueda sustituir el potasio en la illita, feldespato potásico, alunita o jarosita (Phoebe Hauff, comunicación personal).

RESULTADOS

Se describen los resultados de los estudios sistemáticos realizados con el método de espectrometría de reflectancia SWIR en las siguientes áreas mineralizadas con alteración hidrotermal: Pan de Azúcar (Jujuy), El Pantanito (Mendoza), El Peladar (Jujuy) y El Bagual (Santa Cruz).

Pan de Azúcar (Jujuy)

En el yacimiento Pan de Azúcar, Jujuy ($22^\circ 36'S$ y $66^\circ 03'O$), se han identificado alunita con amonio, brammallita y buddingtonita. Pan de Azúcar es un yacimiento epitermal polimetálico de Pb-Ag-Zn (Segal y Caffè 1999) de edad miocena media. Se aloja en el Complejo Dómico Pan de Azúcar, tanto en el único cuerpo intrusivo somero de composición dacítica que existe en la zona, como en las brechas dacíticas del Complejo y en las leptometamorfitas ordovícicas de la Formación Acoite. La dacita está intensamente alterada; su textura es porfírica, con fenocristales de cuarzo, plagioclasa y biotita en una pasta vítrea. La plagioclasa fue reemplazada por feldespato potásico ópticamente identificado

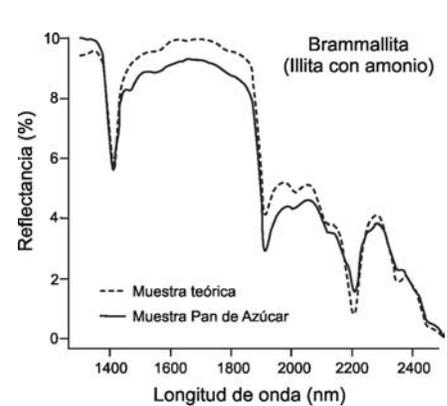


Figura 1: Espectro de reflectancia SWIR de la illita con amonio comparado con el del mismo mineral patrón. Procedencia: Pan de Azúcar.

como adularia; este feldespato se encontró en la zona de alteración adularia-cuarzo-sericita definida por Caffè (2005). Según este autor, la neoformación de arcillas y sericita enmascaró casi completamente la feldespaticación.

La figura 1 muestra el espectro resultante del SWIR de la brammallita (illita con amonio) de Pan de Azúcar, comparado con el espectro patrón del mismo mineral; mientras que la figura 2 representa el espectro resultante de una determinación semicuantitativa de una mezcla de alunita con amonio (60 %) y buddingtonita (40 %).

En la figura 3 se representa el espectro de la buddingtonita hallada en el yacimiento Pan de Azúcar. En este caso, la muestra corresponde a una mezcla de proporciones semicuantitativas de 90 % de buddingtonita y 10 % de illita, identificados a partir de la comparación con una mezcla teórica. Esta mezcla se interpreta como el proceso de alteración de buddingtonita a illita; los estudios al microscopio llevados a cabo por Caffè (2005) confirman este proceso de alteración.

Sobre una muestra de la dacita alterada proveniente del depósito Pan de Azúcar se realizó un estudio de infrarrojo con el fin de verificar el hallazgo de amonio en la estructura de la buddingtonita (Fig. 4). El análisis fue llevado a cabo en el Instituto de Química Física de los Materiales, Medio Ambiente y Energía de la Universidad de Buenos Aires, utilizando un espectrofotómetro Nicolet FT-IR 510P mediante la técnica de pellet de KBr. El espectro obtenido confirma la presencia de amonio en la buddingtonita verificado por

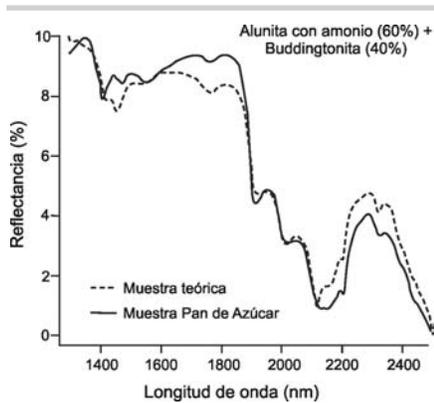


Figura 2: Espectro de reflectancia de la mezcla de alunita con amonio (60 %) y buddingtonita (40 %) y la comparación con la mezcla de los minerales patrón. Procedencia: Pan de Azúcar.

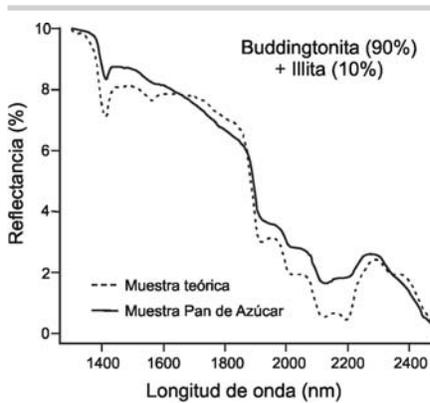


Figura 3: Espectro de reflectancia SWIR de la mezcla de buddingtonita (90 %) e illita (10 %). Procedencia: Pan de Azúcar.

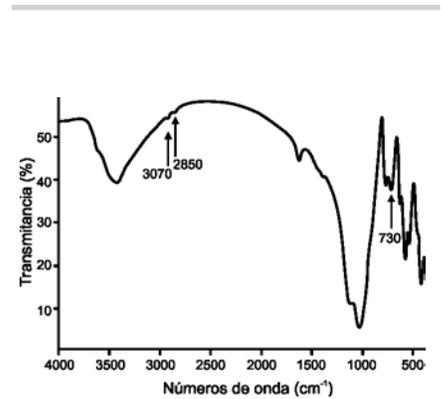


Figura 4: Espectro de infrarrojo obtenido sobre una dacita procedente del depósito Pan de Azúcar donde se indican los rasgos correspondientes al ion amonio.

la aparición de los picos vibracionales del amonio que se encuentran en los valores 3.070, 2.850 y 730 cm^{-1} (Voncken *et al.* 1993). Rodríguez (2004) aportó evidencias de la actividad de fluidos hidrotermales cargados con materia orgánica (nitrógeno y metano) mediante el análisis de inclusiones fluidas en vetas de cuarzo aurífero en Minas Azules en la sierra de Rinconada; la roca de caja de este depósito es la Formación Acoite, al igual que en el caso de Pan de Azúcar. En Minas Azules, el mencionado autor llevó a cabo determinaciones de la composición de las inclusiones con microsonda RAMAN; para inclusiones primarias obtuvo composiciones promedio de 1 % N_2 y 3 % CH_4^+ , mientras que para inclusiones pseudosecundarias los valores son 0,8 % N_2 y 1 % CH_4^+ .

En el área de alteración adularia-cuarzo-sericita de Pan de Azúcar, el aporte del ion amonio bajo la forma de materia orgánica se atribuye a la acción de fluidos provenientes del basamento ordovícico cercano, cuya litología corresponde a lutitas y/o pizarras y metasedimentitas finas (Godeas y Litvak 2004).

El Pantanito (Mendoza)

En el depósito epitermal de baja sulfuración El Pantanito (Mendoza) (36°17'13"S y 68°27'11"O) se halló buddingtonita; este depósito fue estudiado por Carpio *et al.* (2001) y Rubinstein *et al.* (2001).

El depósito El Pantanito se hospeda en la Formación Choique Mahuida (Pérmico superior-Triásico inferior) (Narciso *et al.*

2001), que forma parte de la Sección Superior del Grupo Choiyoi y se asienta sobre la Formación Agua Escondida; esta última está constituida por protocarcitas y subgrauvacas, con conglomerados y pelitas subordinadas. En el área de estudio, la Formación Choique Mahuida se compone principalmente de niveles de tobas, domos y subordinadamente diques, todos riolíticos. Existe una extensa zona de alteración, cuyo proceso más notable es la silicificación, que se superpone a una moderada alteración sericítico-arcillosa penetrativa. El feldespato potásico se determinó ópticamente como adularia y se halló en tobas vítreas intensamente silicificadas. En los sectores más externos del área se observa propilitización penetrativa de distribución errática, con paragénesis albita-clorita.

Entre los minerales de mena se encuentran principalmente pirita, muy subordinadas esfalerita y galena y en forma muy ocasional hematita especular. Hay escasas chispas de oro de unos pocos micrones, diseminadas en el cuarzo de relleno de venas y brechas. En El Pantanito, la adularia está muy alterada a arcillas y se asocia al cuarzo de venillas y brechas, conformando gránulos o diminutos cristales de hábito rómbico.

Al estudiar la mineralogía de alteración hidrotermal por medio del método de espectrometría de reflectancia SWIR, se observó que la adularia contiene amonio (Godeas y Rubinstein 2004). El espectro obtenido indica que la buddingtonita está mezclada con caolinita, con predominio del feldespato (fig. 5). Se interpreta esta mezcla como

alteración de la buddingtonita a caolinita, proceso verificado en las observaciones al microscopio llevadas a cabo por Rubinstein *et al.* (2001); el aspecto terroso de la arcilla sugiere un origen meteórico.

Se interpreta que la buddingtonita se formó debido a que el ion amonio, que proviene de la materia orgánica aportada por fluidos procedentes de las pelitas de la Formación Agua Escondida, sustituyó parcialmente al ion potasio en la adularia.

En varios sistemas hidrotermales importantes del oeste de Estados Unidos, Krohn *et al.* (1993) hallaron silicatos y sulfatos portadores de amonio mediante el uso de propiedades espectrales del infrarrojo cercano. Entre los silicatos se encuentra la buddingtonita, que aparece en agregados de grano muy fino, tal como sucede en El Pantanito. El tamaño de grano es uno de los elementos en el que se basaron Krohn *et al.* (1993) para asignarle a la buddingtonita una precipitación relativamente tardía en la secuencia de cristalización.

El Peladar (Jujuy)

El yacimiento El Peladar está ubicado al oeste de la localidad de Tusaquillas (66°02'17"O, 23°05'47"S). La geología del área corresponde a una sucesión de lutitas y grauvacas con intercalaciones de areniscas, afectadas por leptometamorfismo y asignadas a la Formación Acoite. En el área del yacimiento se han identificado diques dacíticos y riolíticos de edad miocena, de hasta 5 m de potencia, de rumbo norte, que intruyen de manera pseudo-

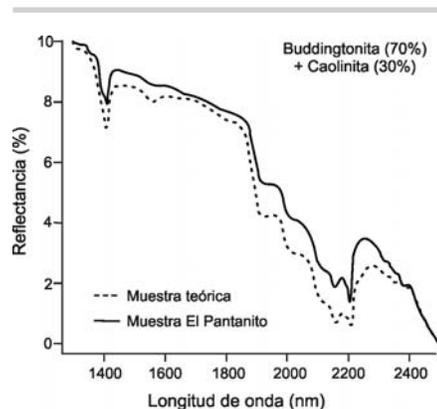


Figura 5: Espectro de la mezcla de buddingtonita (70 %) y caolinita (30 %) y la comparación con la mezcla de los minerales patrón. Procedencia: El Pantanito.

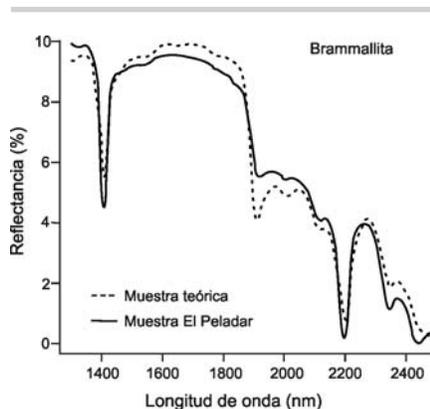


Figura 6: Espectro de reflectancia SWIR de la brammallita, comparado con el del mismo mineral patrón. Procedencia: El Peladar.

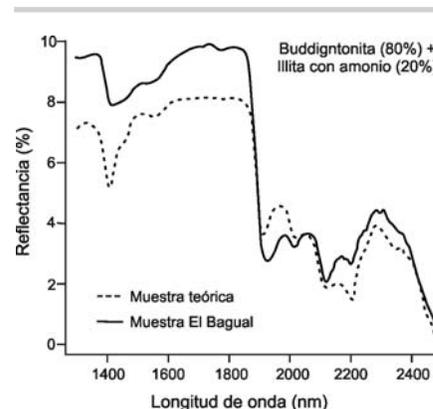


Figura 7: Espectro de reflectancia SWIR de la mezcla de buddingtonita (80 %) e illita con amonio (20 %) y la comparación con la mezcla de los minerales patrón. Procedencia: El Bagual.

concordante a la secuencia paleozoica (Zappettini 1989). Estos diques están intensamente alterados a la asociación arcillas-sericita y muestran conspicua pirita diseminada.

La mineralización consiste en una serie de vetillas ramificadas de sílice, en las que se han identificado pirita, esfalerita y escasa casiterita, como minerales primarios. El estudio con microsonda electrónica realizado en esfalerita dio valores de hasta 0,295 % In (Zappettini *et al.* 2004).

Mediante espectrometría de reflectancia SWIR se identificó illita con amonio (brammallita). Se interpreta que este ion fue aportado por materia orgánica contenida en fluidos hidrotermales provenientes de las pelitas de la secuencia paleozoica. En la figura 6 se observa la brammallita hallada en El Peladar y su comparación con el mineral patrón.

El Bagual (Santa Cruz)

Se trata de un depósito epitermal de baja sulfuración de oro situado en la provincia de Santa Cruz, en rocas volcánicas ácidas del Complejo El Quemado de edad jurásica media a superior. Las volcanitas que afloran en el área de El Bagual incluyen tobas riolíticas a dacíticas, cubiertas por aglomerados polimícticos de matriz tobácea con clastos de esquistos y de cuarzo; siguen ignimbritas riolíticas con alteración hidrotermal, y finalmente ignimbritas riolíticas que coronan la secuencia (DEPROMINSA 2004, comunicación personal).

Se identificaron “corredores” con alte-

ración silíceo y arcillosa, con brechamiento y mineralización (DEPROMINSA 2004, comunicación personal). Las corridas tienen magnitud kilométrica, y en ellas se reconocieron localmente estructuras de vetas, brechas hidrotermales, *stockworks* y reemplazo.

Los estudios realizados por espectrometría de reflectancia SWIR sobre muestras de superficie identificaron proporciones semicuantitativas de buddingtonita (80 %) e illita con amonio (20 %) (fig. 7); la arcilla se interpreta como producto de alteración del feldespato, proceso confirmado al microscopio. Del mismo modo, en la figura 8 se observa el patrón correspondiente a una mezcla semicuantitativa de buddingtonita y montmorillonita.

En este caso, se considera que el ion amonio fue aportado por la materia orgánica contenida en fluidos hidrotermales procedentes de rocas pelíticas con metamorfismo regional de bajo grado de la Formación Río Lácteo.

SIGNIFICADO METALOGENÉTICO DEL AMONIO

Antecedentes y discusión

El significado de la presencia del ion amonio en los minerales descritos procedentes de las áreas estudiadas en la Argentina es consistente con el que se presenta en los depósitos minerales a nivel mundial, ya que se interpreta que el amonio proviene de rocas enriquecidas en

materia orgánica.

Hall (1999) explicó el proceso de formación de minerales de amonio. El ion amonio puede entrar a los minerales por diferentes caminos incluyendo el intercambio catiónico con K^+ u otros constituyentes de los minerales de la familia de las arcillas, o bien por incorporación directa en la fase autigénica o diagenética adecuada en el caso de un ambiente sedimentario. Existe una diferencia entre el ion amonio intercambiable (que se adsorbe en la superficie de los minerales de la familia de las arcillas, ocupando lugares en las intercapas de esmecitas o illita, o presente en los fluidos intersticiales) y el amonio fijado (incorporado en las estructuras cristalinas de silicatos estables tales como feldespatos o micas). Una vez que el ion amonio se ha fijado en los minerales con potasio, es relativamente estable como sustituyente de este último ion.

Varios autores han realizado estudios sobre las anomalías de amonio y su significado metalogénico. Tal es el caso de Hall (1999), quien destacó que la fuente de amonio más probable es la aportada por rocas de caja ricas en materia orgánica, y señaló que la distribución de amonio en mediciones de campo sería de gran ayuda en la exploración geoquímica. Los contenidos de amonio son indicadores sensibles de alteración hidrotermal incipiente o débil, y en la roca mineralizada y sus alrededores proporcionan una evidencia clara de transferencia de materia orgánica por medio de fluidos hidrotermales. Esta evidencia existe en Pan de Azúcar, en donde la Formación Acoite constituye la caja rica en materia

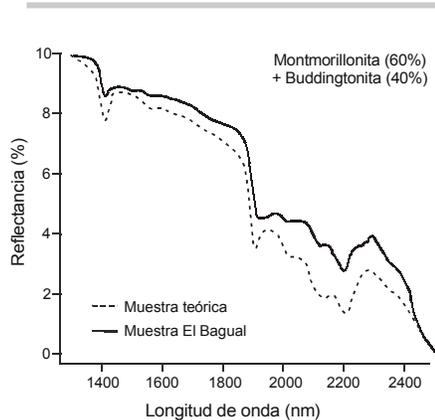


Figura 8: Espectro de reflectancia SWIR de la mezcla de buddingtonita (40 %) y montmorillonita (60 %) y la comparación con la mezcla de los minerales patrón. Procedencia: El Bagual.

orgánica; sin embargo, en las demás áreas afloran rocas ricas en materia orgánica en las inmediaciones pero no son las rocas de caja de la mineralización.

Hall (1999) señaló que el ion amonio, como cualquier otro catión, puede ser transportado en solución durante la actividad hidrotermal, y las rocas afectadas por esta actividad pueden enriquecerse o empobrecerse en ese catión, siendo mucho más común el primer caso (Krohn y Altaner 1987, en Hall 1999; Hall 1989; Appleton *et al.* 1989; Ridgway *et al.* 1990; Hall *et al.* 1991; Krohn *et al.* 1993). El comportamiento del amonio es muy importante desde varios puntos de vista: como indicador sensible de alteración hidrotermal, como posible guía de la presencia de mineralización hidrotermal y por su posible rol en el control de la deposición de sulfuros.

El rol del amonio en depósitos de sulfuros de metales de base puede ser muy importante, porque al controlar el pH de las soluciones hidrotermales puede actuar en la causa de la formación de los sulfuros. Este concepto fue sugerido por Von Damm *et al.* (1985), quienes encontraron niveles elevados de amonio en un sistema geotermal submarino activo en el golfo de California. Otros autores como Williams *et al.* (1987) y Ridgway *et al.* (1990) propusieron el uso de minerales portadores de amonio como una herramienta en la exploración minera y geotérmica, dado que su presencia es significativa desde el punto de vista térmico e hidrológico. Se aplicó este criterio en depósitos de plata en México, en los que Ridgway *et al.* (1991)

demonstraron que el amonio es el indicador más sensible a la mineralización que cualquier otro conocido. Por lo tanto, este criterio resulta de gran utilidad para la detección de áreas mineralizadas en la Argentina.

En la mena del depósito de sulfuros masivos de Brooks Range, Alaska, Stern *et al.* (1982) descubrieron la asociación de illitas con amonio con horizontes ricos en sulfuros. Otros autores, como Kydd y Levinson (1986), Williams *et al.* (1987), Appleton *et al.* (1989) y Krohn *et al.* (1993), también describieron depósitos en los que el ion amonio juega un papel importante en la exploración de minerales metalíferos. En algunos casos el nitrógeno, bajo la forma de amonio, muestra una correlación más fuerte con la mineralización económica que cualquier otro elemento indicador, y esto tiene un significado muy valioso en la exploración geoquímica. Los ejemplos hallados en la Argentina muestran la asociación típica entre mineralización y enriquecimiento en amonio en las rocas hospedantes o cercanas a los depósitos.

Un ejemplo interesante es el de la localización de amonio en silicatos y sulfatos en varios sistemas hidrotermales importantes en el oeste de Estados Unidos, utilizando las propiedades del espectro infrarrojo cercano. Así, Krohn *et al.* (1993) señalaron que el conocimiento del origen y las relaciones mineralógicas de minerales con amonio en sistemas hidrotermales es crítico para la comprobación de sus posibles nexos con la mineralización. Al estudiar minerales con amonio de dos depósitos tipo *hot spring* portadores de mercurio y oro (Ivanhoe, Nevada, y McLaughlin, California), estos autores hallaron buddingtonita en cristales euhedrales de grano fino que cubren cristales más grandes de sulfuros y cuarzo, sugiriendo que precipita relativamente tarde en la secuencia de cristalización; además, observaron escasa buddingtonita estrechamente asociada con mercurio pero no con oro, y encontraron alunita con amonio en forma de cristales aislados en ambos depósitos.

Krohn *et al.* (1993) sugirieron que el transporte del amonio puede ser en fase vapor de etapa tardía o como volátil orgánico, basándose en tres evidencias: el alto contenido en amonio de estos sistemas hidrotermales, la estrecha asociación con mercurio, y el pequeño tamaño de grano de los minerales portadores de amonio.

Este proceso podría conducir a la formación de una aureola orgánica no carbonácea por encima de una fuente geotermal enterrada.

Otro ejemplo de la importancia de las anomalías de amonio fue descrito por Yang *et al.* (2001). Estos autores describieron buddingtonita en el campo geotermal activo Broadlans-Ohaaki en Nueva Zelanda, donde este mineral se forma partir de aguas termales cloruradas con temperaturas entre 200 y 300°C y pH casi neutro. Asimismo investigaron la mineralogía de alteración hidrotermal utilizando un espectrómetro de reflectancia SWIR con el que determinaron una zonalidad de minerales, y postularon la probabilidad de que la presencia de los minerales portadores de amonio sea común en ambientes epitermales de baja sulfuración.

CONCLUSIONES

El método de espectrometría de reflectancia SWIR resulta de suma utilidad para el reconocimiento de minerales de amonio. La detección de estas concentraciones anómalas de amonio mediante este método es una técnica sencilla y de fácil aplicación en la exploración minera por su eficacia y rapidez.

Las anomalías de amonio indican la existencia de actividad de fluidos hidrotermales portadores de ion amonio aportado por la materia orgánica contenida en las rocas de caja de las mineralizaciones metalíferas u otras aflorantes en las cercanías de los depósitos. Es así como los minerales de amonio se convierten en minerales guía en la prospección minera, ya que su presencia puede estar vinculada al desarrollo de mineralizaciones metalíferas.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al SEGEMAR la autorización para publicar este trabajo. Al Dr. Patricio Jones de DEPRONSA por permitir dar a conocer los datos de El Bagual. Al Dr. Eduardo Zappettini por las sugerencias aportadas para mejorar el manuscrito. A los árbitros del trabajo, Dres. Norma Pezzutti y Leandro Bengochea, por sus correcciones y comentarios.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Appleton, J. D., Ridgway, J., Claros, J., Gómez

- Caballero, A., Rodríguez, W. y Villaseñor, M. G. 1989. Lithochemical exploration for silver mineralization in Bolivia, Mexico and Peru. *Transactions of the Institute of Mining and Metallurgy. Section B. Applied Earth Science* 98: 201-212.
- Barker, D. S. 1964. Ammonium in alkali feldspars. *The American Mineralogist* 49 (7-8): 852-858.
- Bough, W. M. 1995. Quantitative remote sensing of ammonium minerals, Cedar-Mountains, Esmeralda County, Nevada. United States. Cooperative Institute for Research in Environmental Science (Boulder, Colorado). Abstracts 5^o Annual JPL airborne Earth Science Workshop Pasadena.
- Caffe, P. 2005. Complejos volcánicos dómicos de Pan de Azúcar, Chinchillas y Cerro Redondo. Provincia de Jujuy. República Argentina. Alteraciones hidrotermales asociadas a áreas mineralizadas en el NOA. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino. Serie Contribuciones Técnicas. Recursos Minerales 24, 81 p., Buenos Aires.
- Carpio, F., Mallimacci, H., Rubinstein, N., Salvarredí, J., Sepúlveda, E., Centeno, R., Rosas, M. y Vargas, D. 2001. Metalogenia del Bloque de San Rafael, Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, Recursos Minerales, Serie Contribuciones Técnicas 20, 109 p., Buenos Aires.
- Deer, W. A., Howie, R. A. y Zussman, J. 1966. *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Longman Scientific and Technical. Longman Group-Wiley and Sons. 696 p.
- Erd, R. C., White, D. E., Fahey, J. J. y Lee, D. E. 1964. Buddingtonite, an ammonium feldspar with zeolitic water. *The American Mineralogist* 49(7-8): 831-859.
- Godeas, M. y Litvak, V. D. 2004. Primer hallazgo de buddingtonita en Argentina en el yacimiento Pan de Azúcar, Jujuy. 7^o Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 59-60.
- Godeas, M. y Rubinstein, N. 2004. Buddingtonita en el depósito epitermal El Pantanito, Mendoza. 7^o Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 61-62.
- Hall, A. 1989. Ammonium in spilitized basalts of southwest England and its implication for the recycling of nitrogen. *Geochemical Journal* 23: 19-23.
- Hall, A. 1999. Ammonium in granites and its petrogenetic significance. *Earth Science Reviews* 45: 145-165.
- Hall, A., Bencini, G. y Poli, G. 1991. Magmatic and hydrothermal ammonium in granites of the Tuscan magmatic province, Italy. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 3657-3664.
- Integrated Spectronics, 2000. SWIR Reflectance Spectroscopy Applied to Ammonia Minerals. Integrated Spectronics. Application Note 3. 4p.
- Krohn, M. D., Kendall, C., Evans, J. R. y Fries, T. L. 1993. Relations of ammonium minerals at several hydrothermal systems in the western U.S. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 56(4): 401-413
- Kydd, L. A. y Levinson, A. A. 1986. Ammonium halos in lithochemical exploration for gold at the Horse Canyon carbonate-hosted deposit, Nevada, USA. *Applied Geochemistry* 1: 407-417.
- Litvak, V. D. y Godeas, M. C. 2003. Espectrometría de reflectancia: metodología y aplicaciones. *Revista de la Asociación de Geólogos Economistas* 9(13): 42-48.
- Narciso, V., Zanettini, J. C., Sepúlveda, E. y Mallimacci, H. S. 2001. Hoja 3769-II Agua Escondida. Servicio Geológico Minero Argentino. Boletín 300 (edición preliminar), Buenos Aires.
- Ridgway, J., Appleton, J. D. y Levinson, A. A. 1990. Ammonium geochemistry in mineral exploration – a comparison of results from the American cordilleras and the southwest Pacific. *Applied Geochemistry* 5: 475-489.
- Ridgway, J., Martiny, B., Gómez-Caballero, A., Macías-Romo, C. y Villaseñor-Cabral, M. G. 1991. Ammonium geochemistry of some Mexican silver deposits. *Journal of Geochemical Exploration* 40: 311-327.
- Rodríguez, G. A. 2004. Naturaleza y condiciones de emplazamiento de la mineralización aurífera en Minas Azules, Sierra de Rinconada, Jujuy, Argentina. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 347 p., Córdoba.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2001. El depósito epitermal El Pantanito, provincia de Mendoza. *Revista del Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy* 14(1):59-61.
- Segal, S. J. y Caffe, P. J. 1999. El grupo minero Pan de Azúcar, Jujuy. En Zappettini E. O. (ed.) *Recursos Minerales de la República Argentina* Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 1579-1592, Buenos Aires.
- Stern, E. J., Reynolds, R. C. y Zantop, H. 1982. Natural ammonium illite from black shales hosting a stratiform base metal deposit, Delong Mountain, northern Alaska. *Clays and Clay Minerals* 30: 161-166.
- Thompson, A. J. B., Huff, P. L. y Robitaille, A. J. 1999. Alteration mapping in exploration: Application in Short-Wave Infrared (SWIR) Spectroscopy. *SEG Newsletter. Society of Economic Geologists*, 39: 15-27.
- Voncken, J. H. L., van Roermund, H. L. M., van der Eerden, A. M. J. y Jansen, J. B. H. 1993. Holotype buddingtonite: An ammonium feldspar without zeolitic H₂O. *American Mineralogist* 78: 204-209.
- Von Damm, K. L., Edmond, J. M., Measures, J. I. y Grant, B. 1985. Chemistry of submarine hydrothermal solutions at Guaymas Basin, Gulf of California. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 49: 2221-2237.
- Williams, L. B., Zantop, H. y Reynolds, R. C. 1987. Ammonium silicates associated with sedimentary exhalative ore deposits: a geochemical exploration tool. *Journal of Geochemical Exploration* 27: 125-141.
- Yang, K., Browne, P. R. L., Huntington, J. F. y Walshe, J. L. 2001. Characterising the hydrothermal alteration of the Broadlands-Ohaaki geothermal system, New Zealand, using short-wave infrared spectroscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 106: 53-65.
- Zappettini, E. O., 1989. Geología y metalogénesis de la región comprendida entre las localidades de Santa Ana y Cobres, provincias de Jujuy y Salta, República Argentina. Tesis de Doctorado, Universidad de Buenos Aires (inédita), 191 p., Buenos Aires.
- Zappettini, E. O., Brodtkorb, M. K. de, Godeas, M. y Bernhardt, H. J., 2004. Presencia de esfalerita rica en indio en el yacimiento El Peladar; provincia de Jujuy. 7^o Congreso de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 131-132.

Recibido: 16 de junio, 2005

Aceptado: 1 de mayo, 2006