

MINERALIZACIÓN DE URANIO EN LA SIERRA DE VELASCO, LA RIOJA

Orquídea MORELLO¹ y Pamela APARICIO GONZÁLEZ¹

¹Comisión Nacional de Energía Atómica, Sede Central, Buenos Aires. Gerencia Exploración. Materias Primas. E-mail: morello@cnea.gov.ar

RESUMEN

En esta contribución se describe una mineralización de uranio hallada en la sierra de Velasco, provincia de La Rioja, noroeste de Argentina. La geología de la región incluye granitos, pegmatitas y rocas metamórficas. Las rocas hospedantes de la mineralización son el granito La Chinchilla, de edad carbonífera y las metamorfitas del Complejo La Cébila, de edad precámbrica-ordovícica inferior. La mineralización es perigranítica; se encuentra diseminada, en fracturas y alojada en el contacto entre el granito y la metamorfita. En el granito La Chinchilla se identificó un óxido de U-Nb-Ta, y en las metamorfitas se reconocieron silicatos (uranofano, betauranofano), fosfatos (furcalita y meta-autunita) y minerales negros de uranio (uraninita -variedad pechblenda- y coffinita).

Palabras clave: Granito, metamorfitas, uranofano, meta-autunita, furcalita, pechblenda

ABSTRACT

Uranium mineralization in the Sierra de Velasco, La Rioja, northwestern Argentina.

This contribution describes an uranium mineralization found in the Sierra de Velasco, La Rioja Province, Northwest of Argentina. In the study area crop out granites, pegmatites and metamorphic rocks. The host rocks of the mineralization are the La Chinchilla Granite (Carboniferous) and the La Cébila metamorphic Complex (Precambrian-Ordovician). The mineralization is perigranitic and occurs disseminated, in fractures and in the contact between the granite and the metamorphic rocks. In the La Chinchilla Granite was identified a U-Nb-Ta oxide, and in the metamorphic rocks U-silicates (uranophane, uranophane-beta), U-phosphates (phurcalite and meta-autunite) and uranium oxides (pitchblende and coffinite) were found.

Keywords: Granite, metamorphic rocks, uranophane, meta-autunite, phurcalite, pitchblende

INTRODUCCIÓN

La sierra de Velasco se encuentra ubicada en la región central de las Sierras Pampeanas, al oeste de la ciudad de La Rioja, Argentina; constituye uno de los afloramientos plutónicos más grandes de esta provincia geológica, cuyas edades varían desde el Ordovícico al Carbonífero inferior. Estos cuerpos plutónicos fueron clasificados como tres grandes batolitos: Aimogasta, Bazán y Patquía (Toselli *et al.* 2007). Estructuralmente la sierra de Velasco es un bloque de basamento con una disposición general NS, ascendido por fallas inversas de rumbo meridional a submeridional (González Bonorino 1950, Jordan y Allmendinger 1986, Toselli *et al.* 2007). Los plutones estudiados en este trabajo y que presentan mineralización uranífera son: granito Huaco, stock La Chinchilla (SLCh) y metamorfitas del Complejo La

Cébila (Verdecchia 2009) ó Formación La Cébila (González Bonorino 1951, Toselli *et al.* 2007) (Fig. 1a). Estas rocas se encuentran ubicadas dentro de los sectores solicitados por la Comisión Nacional de Energía Atómica (Fig. 1b). En el área de estudio, aflora el granito Huaco que petrográficamente fue clasificado como un seno a monzogranito, con textura inequi-granular porfírica, con megacristales de microclino, en una matriz de grano gruesa formado por cuarzo, plagioclasa, biotita y muscovita (Grosse 2007). Las edades U/Pb determinadas para este granito sobre monacitas son de 350 ± 5 Ma (Grosse *et al.* 2009) y sobre zircones de 358 ± 5 Ma (Söllner *et al.* 2007). Los resultados geoquímicos indican que se trata de un granito alcali-cálcico a levemente calco-alcalino y moderadamente peraluminoso (Grosse *et al.* 2009).

El stock La Chinchilla es un leucogranito

débilmente peraluminoso, muy evolucionado, rico en SiO₂, F y en elementos LIL (Li, Be, Y, Nb, Ta, U y HREE). Para este cuerpo granítico, que intruye en forma neta al granito Huaco, se estableció una edad de $344 \pm 1,4$ Ma, según dataciones U-Pb (TIMS) sobre monacitas (Grosse 2007, Grosse *et al.* 2009). La roca de caja de estos plutones es el Complejo La Cébila (González Bonorino 1951, Verdecchia 2009), la cual se encuentra compuesta por un conjunto de filitas y esquistos de edad precámbrica-ordovícica inferior. Esta última edad fue determinada por la presencia de fósiles marinos (Verdecchia *et al.* 2007) y confirmada mediante dataciones sobre zircones detríticos (Rapela *et al.* 2007). En el área de estudio también afloran pegmatitas; algunas de ellas fueron explotadas por berilo y otras por columbita-tantalita (Sardi *et al.* 2002). En general están compuestas por cuarzo, microclino, albita, muscovita,

biotita y accesorios como fosfatos (triplita y apatita), berilo, turmalina, espodumeno, wolframita, columbita-tantalita y granate (Grosse *et al.* 2009).

En esta contribución se da conocer de manera preliminar la mineralización de uranio identificada en las áreas en estudio y se proponen algunas hipótesis sobre el posible origen de la mineralización.

METODOLOGÍA

Los trabajos de campo en la sierra de Velasco se llevaron a cabo en diferentes trincheras, donde se realizaron descripciones y muestreos detallados de las litologías y de los minerales identificados.

Los estudios composicionales de las muestras se realizaron mediante lupa binocular, microscopía óptica, microscopio electrónico de barrido, análisis semicuantitativos y difracción de rayos X (DRX). Los análisis se realizaron en la Comisión Nacional de Energía Atómica; los equipos utilizados fueron: difractómetro Siemens D-5000, radiación de Cu ($K\alpha = 1,5405 \text{ \AA}$) y filtro de Ni, y microscopio electrónico de barrido con equipo de energía dispersiva (SEM-EDS) Quanta 200 FEL.

CARACTERIZACIÓN LITOLÓGICA Y PETROGRÁFICA

Metamorfitas

Este conjunto de metamorfitas corresponden al Complejo Metamórfico La Cébila (Verdecchia 2009) ó Formación La Cébila (González Bonorino 1951, Toselli *et al.* 2007). Las mismas afloran en el flanco oriental de la sierra de Velasco y se caracterizan por presentar un metamorfismo progradante hacia el oeste (Verdecchia *et al.* 2010) y en sentido norte-sur (Fig. 1a).

En el área El Cantadero (Fig. 1a) afloran filitas, metapsamitas, cuarcitas, esquistos micáceos y esquistos moteados.

Facies de filitas: En esta facies es posible identificar alternancias de láminas claras de minerales félsicos y láminas oscuras de filosilicatos (Fig. 2a). Las asociaciones minerales identificadas son: mica blanca, clorita, cuarzo y plagioclasa con ba-

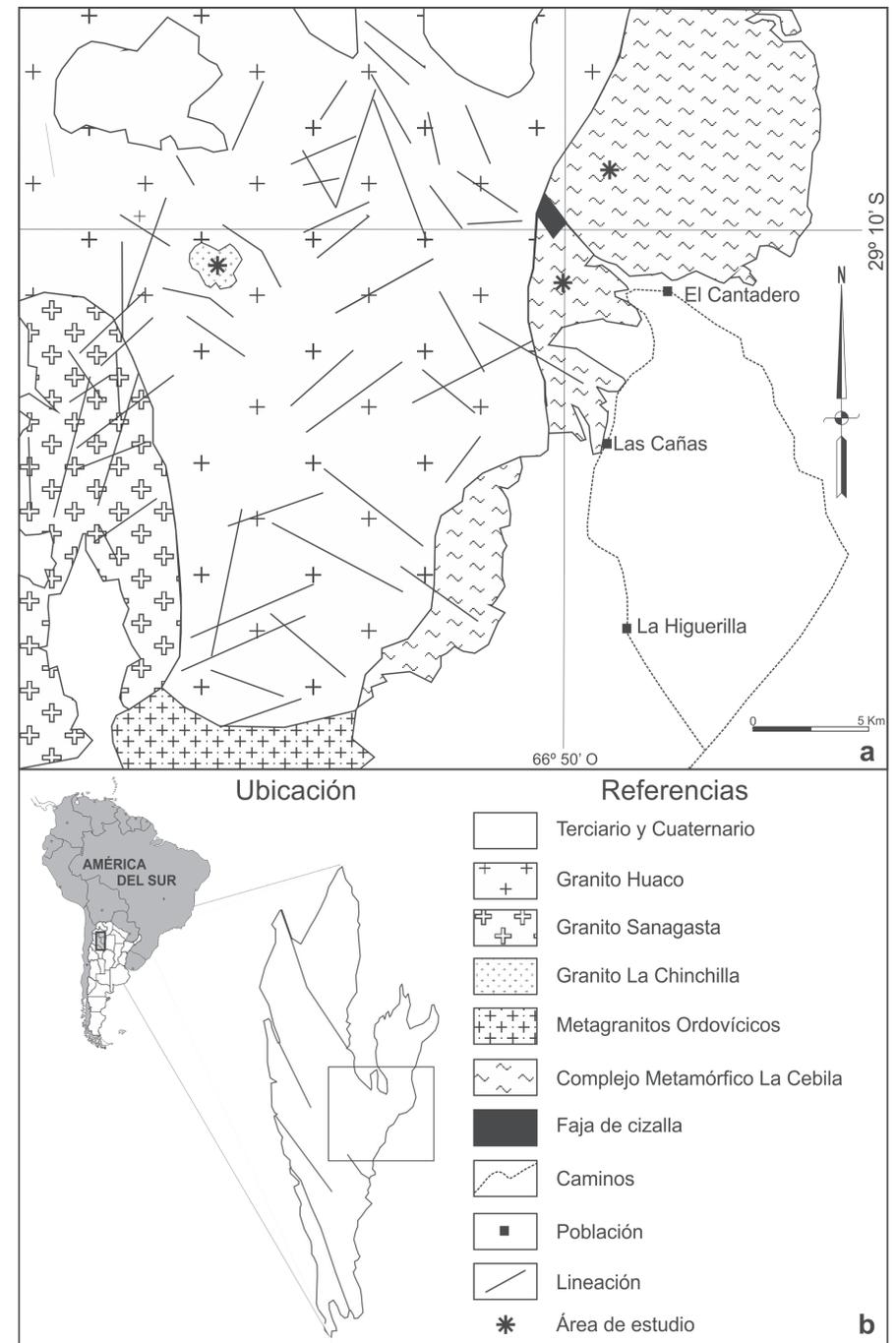


Figura 1: a) Mapa geológico y de ubicación de los sectores muestreados (modificado de Grosse *et al.* 2009). b) Mapa de ubicación de la sierra de Velasco, La Rioja.

jas proporciones de feldespato potásico y muscovita. Los minerales accesorios son zircón, apatita, turmalina, pirita y minerales opacos. La mineralización de uranio se encuentra en las zonas de fractura y en los planos de exfoliación de esta roca. En general se trata de uranofano-betauranofano asociados a oxidados de hierro y minerales arcillosos.

En el sector sur, Quebrada Alipán (Fig. 1a), afloran gneises biotíticos (Noriega *et al.* 2010) y gneises cordieríticos anómalos con intercalaciones de cuarcitas (Fig. 2b). **Facies de gneis biotítico:** Estos gneises (Figs. 2c-d) se caracterizan por presentar bandas de filosilicatos (biotitas, biotitas desferrizadas, cloritas y micas blancas) con intercalaciones de bandas claras, compuestas

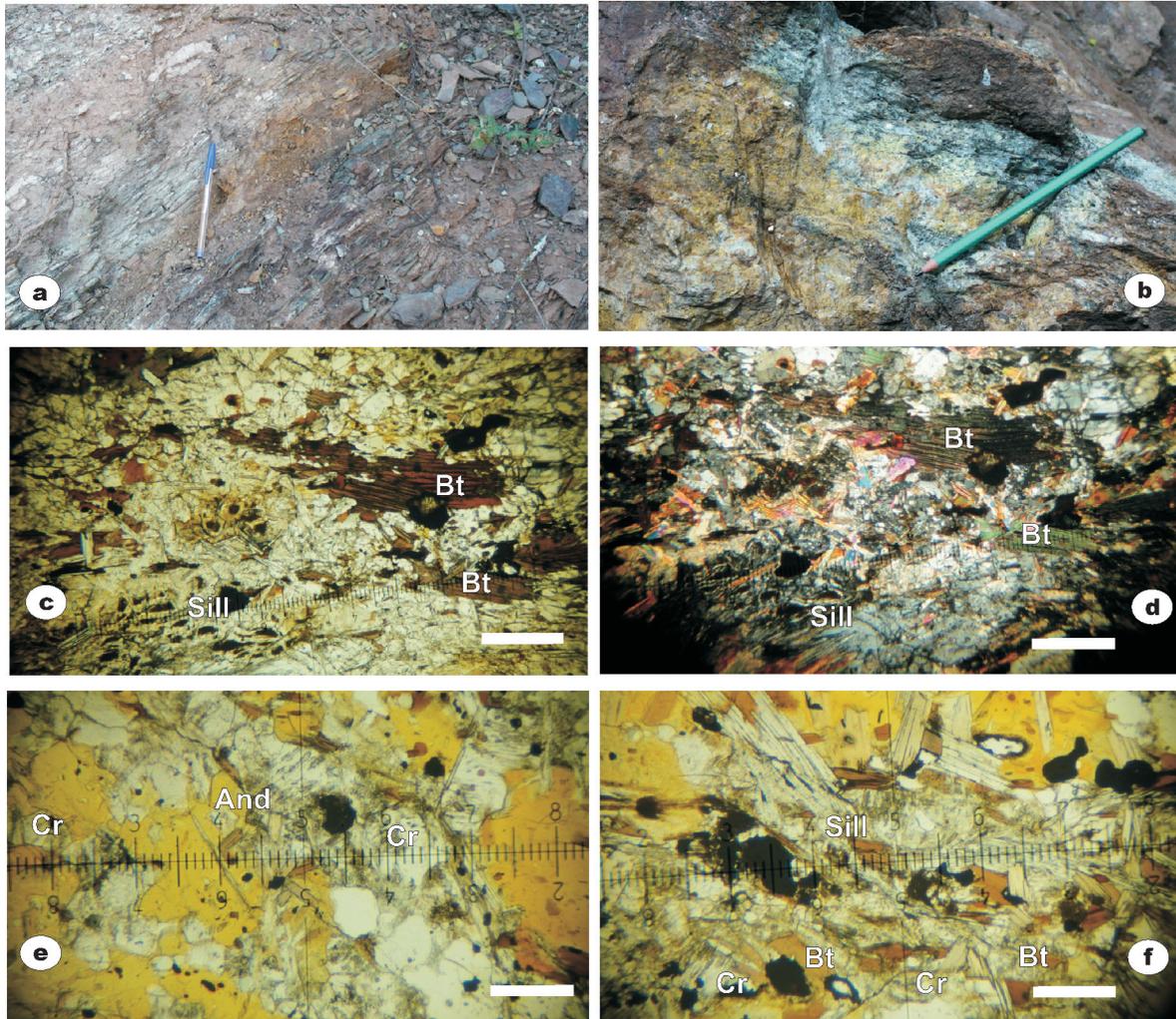


Figura 2: a) Complejo metamórfico La Cébila: esquistos con metamorfismo de bajo grado; en las zonas de fractura se concentra la mineralización de uranio asociada a óxidos de hierro y arcillas. b) Gneis biotítico anómalo. c y d) Microfotografía a nicols paralelos y cruzados de gneis biotítico; se observan cristales de biotita (Bt), sillimanita (Sill) y biotita en alternancia con cuarzo. e y f) Microfotografía de gneis cordierítico donde se observan cristales de cordierita (Cr) con típica textura poiquiloblástica, andalucita (And), biotita (Bt).

principalmente por feldespato y cuarzo. Como minerales metamórficos se identificaron sillimanita, andalucita, biotita. Como accesorios se observan rutilo, ilmenita, turmalina, apatita, zircón. Las rocas se encuentran muy alteradas y se observan abundantes óxidos de hierro.

Facies de gneises cordieríticos: Se observa como una roca muy alterada, con texturas bandeadas de minerales claros y oscuros (Figs. 2e-f). El cuarzo es subredondeado y con extinción ondulosa. La cordierita presenta textura poiquiloblástica, euhedra-subhedra y muestra abundantes inclusiones de zircón, opacos, biotita, fibrolita y cuarzo. La sillimanita es abundante como fibrolita, generalmente dispuesta en forma de "ramilletes" y asociada a bioti-

ta, cordierita y muscovita. La andalucita es escasa y se encuentra alterada. La muscovita es abundante, de hábito tabular, ocasionalmente irregular, subhedra-euhedra y de buen desarrollo; se asocia a biotita y fibrolita, mostrando inclusiones de minerales opacos. Algunas biotitas están alteradas a clorita. Los minerales accesorios son zircones incluidos en biotita y cordierita y minerales opacos, estos últimos con forma irregular a subhedral.

Intrusivos

Los intrusivos aflorantes son el *stock* La Chinchilla y el granito Huaco, que fueron previamente estudiados por Grosse *et al.* (2009). En la Quebrada Alipán, asociados a los gneises biotíticos, afloran asomos de

un granito de textura porfírica, de grano medio, compuesto por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, abundante turmalina, ilmenita y goethita. Asociados a estos granitos y a los gneises biotíticos se identifican pegmatitas con abundante turmalina, ilmenita, oxidados de hierro junto con cuarzo, microclino y muscovita.

MINERALOGÍA

Microscopio electrónico de barrido

Los análisis realizados bajo el microscopio electrónico de barrido permitieron certificar las especies minerales de uranio que fueron previamente identificadas con técnicas de difracción de rayos X. El mineral tipo óxido de U-Nb-Ta se observa como

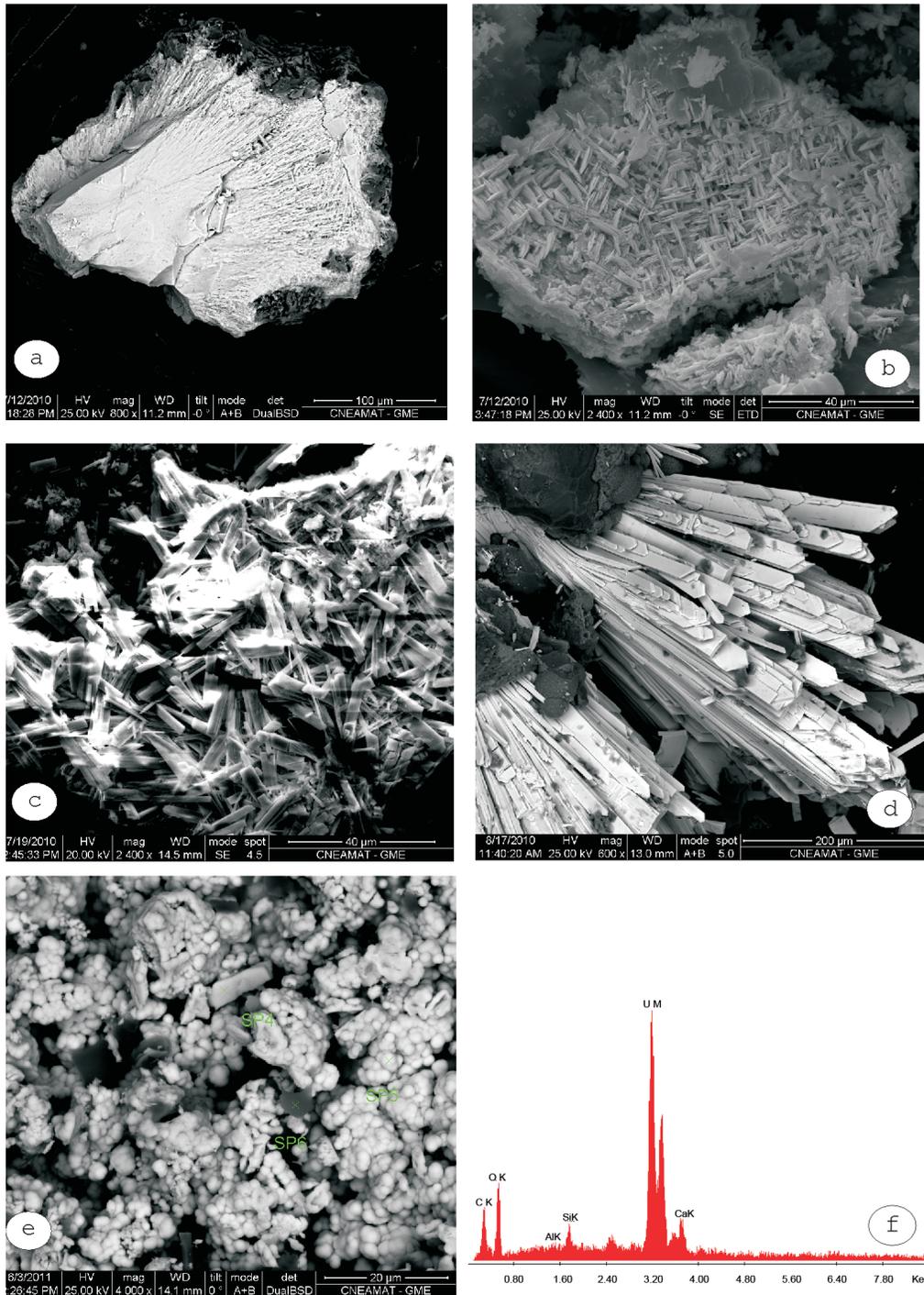


Figura 3: a) Fotomicrografía de cristal de ilmenita, sector izquierdo, con minerales amarillos de uranio (óxido de U-Nb-Ta) en el sector derecho. b) Meta-autunita con estructuras tipo enrejado, en cristales tabulares de hábito hojoso. c) Furcalita en individuos prismáticos pequeños. d) Cristales de uranofano de hábito radial; óxido de manganeso de hábito botroidal en el sector superior izquierdo. e) Pechblenda-coffinita en agregados de esferulitas de 2,5 μm . f) Resultados EDS de Fotomicrografía E.

crisales prismáticos pequeños, aciculares y en algunos casos aparece asociado a ilmenita (Morello 2008, 2009, 2010) (Fig. 3a). Meta-autunita se caracteriza por su hábito hojoso formando estructuras tipo “enrejado” en cristales de 10 μm (Fig. 3b). Se observan individuos tabulares de furcalita formando estructuras tipo “nido” (Fig. 3c). Uranofano aparece en cristales pris-

máticos de 200 μm (Fig. 3d), formando agregados radiales y asociado a óxidos de manganeso de hábito botroidal.

La variedad pechblenda se observa en agregados de esferulitas de 2,5 μm , de hábito botroidal. De acuerdo a los datos obtenidos, asociado a este mineral se encuentra coffinita; este último se reconoce en pequeños cristales tabulares (Figs. 3e-f).

MINERALIZACIÓN

La mineralización principal de uranio se encuentra alojada en zonas de fractura y en el contacto entre el granito Huaco y las metamorfitas del Complejo La Cébila.

Los sectores del Granito La Chinchilla que presentan alteraciones se observan como una roca friable, entre cuyas láminas

de mica (zinnwaldita) se deposita mineral oxidado de manganeso y plomo (coronadita). Se identificaron también anatasa, magnetita, hematita, y un mineral amarillo de uranio. Este último es un óxido de uranio-niobio-tantalio que se distribuye en forma de agregados pulverulentos (0,5-1 mm de diámetro), de color amarillo pálido a intenso y brillo perlado, constituidos por cristales prismáticos ($< 4 \mu\text{m}$), transparentes a translúcidos. Ópticamente el mineral es débilmente pleocroico y presenta birrefringencia anómala. En general aparece tapizando los componentes del granito, en forma de pátinas amarillas, y particularmente como relleno de fracturas y cavidades de la roca (Morello 2008, 2009, 2010). Asociada a anatasa aparece ilmenita; los resultados obtenidos en el microscopio electrónico de barrido para esta especie, indican picos de Nb y Ta como elementos que posiblemente sustituyen al Ti. Ejemplos de polimorfos de TiO_2 e ilmenita pseudomorfozados por rutilo, con elevados contenidos de Ta, fueron citados por Colombo (2008) en apatitas y pegmatitas en Papachacra, provincia de Catamarca.

En la quebrada Alipán y área El Cantadero se identificaron uranofano-betauranofano $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{SiO}_3(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, meta-autunita $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, furcalita $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, y recientemente se determinó la presencia de uraninita (variedad pechblenda), y coffinita $(\text{USiO}_4)_{1-x}(\text{OH})_{4x}$ (Aparicio González y Morello 2011). De los minerales supergénicos, el silicato de uranilo es el mineral más común; se observa en cristales aciculares formando agregados radiales, de color amarillo limón, brillo vítreo y débil fluorescencia color verde; también se reconoció uranofano pulverulento y en costras de color anaranjado. Este mineral se encuentra asociado a meta-autunita, la cual se caracteriza por su hábito micáceo, en agregados escamosos a tabulares finos, de color amarillo-verdoso. En algunas trincheras se identificó furcalita de color amarillo intenso, en costras de brillo vítreo, sobre superficies de fractura. Estos últimos, meta-autunita y furcalita, presentan intensa fluorescencia verde bajo lámpara de luz ultravioleta. Por otro lado, en la zona de

alteración se reconoció abundante cantidad de yeso y en menor proporción jarosita $\text{KFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$; también es muy común la presencia de óxidos (negros) de manganeso de hábito botroidal.

En el área Alipán se tomaron muestras de testigos de perforaciones; dichas muestras son gneises cordieríticos y biotíticos, los cuales a una profundidad aproximada de 20 metros presentan mineralización de sulfuros asociados a pátinas de minerales blanquecinos. El sulfuro aparece como cristales de color amarillo latón y de brillo metálico; se trata de pirita asociada a calcita magnesiana.

En el estudio de una muestra de testigo a 95,9 m de profundidad, ubicada en el contacto entre el granito Huaco y las metamorfitas de La Cébila, se observaron fracturas tapizadas por pátinas negras de minerales de uranio asociados con sulfuros (pirita). Las perlas de NaF efectuadas sobre el mineral negro son fluorescentes bajo lámpara de luz ultravioleta. No se distinguen formas cristalinas sino un material negro, de tipo hollinoso, friable. Los análisis por difracción de rayos X realizados sobre finas películas negras de la muestra y sobre la fracción pesada de la misma, no permitieron precisar la especie mineral, ya que no se obtuvo una estructura cristalina definida; sólo se observan reflexiones difusas que corresponden a uraninita (variedad pechblenda, de tipo hollinosa ó *sooty*). Asociado a este mineral -por microscopía electrónica- se observan individuos tabulares con elevados contenidos de U, Si y O que corresponden a coffinita. Ambas, en condiciones de precipitación hasta aproximadamente 200°C , pueden ser pseudomorfos. Reemplazos hidrotermales de pechblenda por coffinita se forman a menudo con la disminución de la temperatura junto con un incremento de la concentración de SiO_2 (Ramdhor 1969).

CONSIDERACIONES FINALES

De acuerdo a las descripciones realizadas destacamos que el stock La Chinchilla y las metamorfitas del Complejo La Cébila se caracterizan por presentar litologías

y minerales diferentes. En ambas rocas la mineralización se encuentra diseminada en los planos de fractura, foliación y en zonas de contacto entre el granito y la metamorfita.

En el granito La Chinchilla se identificó un óxido de uranio, niobio y tantalio que ha sido comúnmente mencionado en pegmatitas (Arcidiácono 1974, Arcidiácono y Bedlivy 1976, Foord *et al.* 1999, Saulnier y Morello 2002, Morello 2010), posiblemente originado a partir de minerales del grupo columbita-tantalita ó del grupo pirocloro.

En el Complejo La Cébila se identificó un conjunto de minerales oxidados de uranio y de hierro-titanio pertenecientes a la zona de alteración supergénica, y otro grupo de minerales correspondientes a la zona de reducción; estos últimos son “minerales negros” de uranio que están asociados a pirita, la cual generó el ambiente reductor necesario para la depositación de los mismos. La mayor concentración de la mineralización se encuentra en las metamorfitas, que tienen un metamorfismo progradante, con variaciones desde facies de esquistos verdes hasta facies de anfíbolitas. El metamorfismo progradante es quizás uno de los medios más efectivos para la movilización y concentración del uranio en la corteza (Pirajno 2010).

Se interpreta, de manera preliminar, que el tipo de mineralización, según la clasificación de Dahlkamp (2009), es perigranítica, en contacto con rocas metamórficas, y según Plant *et al.* (1999), modificada por Pirajno (2010) es de tipo formada por fluidos metamórficos derivados de rocas ígneas ó sedimentarias previamente enriquecidas en uranio. Se considera que los datos obtenidos al presente son muy escasos para emitir conclusiones certeras; sin embargo es posible considerar diferentes procesos que pudieron dar lugar a la mineralización observada: 1) Por liberación del uranio, principalmente contenido en los minerales accesorios de los granitos, durante los procesos de meteorización-erosión (La Chinchilla); 2) Por lixiviación del uranio de las rocas graníticas asociada a movimientos tectónicos posteriores (La Cébila); 3) Hidrotermales, por transporte del U en flui-

dos hidrotermales afines con el emplazamiento y evolución de los granitos.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Luciano Oficialdegui por la colaboración en los análisis de difracción de rayos X. A Adriana Domínguez y Pablo Reynoso (CNEA-Centro Atómico Constituyentes) por los análisis SEM-EDS. A Carina Bello, Patricia Anzil y Juan José Zarco con quienes compartimos las tareas de campo. A la Comisión Nacional de Energía Atómica -Gerencia Exploración de Materias Primas- por permitirnos presentar esta contribución. Se agradece especialmente al Dr. R. Sureda por las correcciones y los valiosos comentarios en su arbitraje. Este trabajo forma parte del Simposio de Uranio realizado en el marco del 18° Congreso Geológico Argentino.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Aparicio González, P. A y Morello, O. 2011. Informe muestras de testigo (31/11) de la Sierra de Velasco, La Rioja. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 5 p., Buenos Aires.
- Arcidiácono, E.C. 1974. Contribución al conocimiento de columbita-tantalitas de las provincias de Córdoba y San Luis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29: 171-184.
- Arcidiácono, E. y Bedlivi, D. 1976. Datos preliminares sobre el hallazgo de un nuevo mineral de uranio, en Tanti (Provincia de Córdoba, República Argentina). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 31: 232-234.
- Colombo, F. 2008. Polimorfos del TiO₂ de apilitas-pegmatitas en Papachacra, provincia de Catamarca. 17° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 531, San Salvador de Jujuy.
- Dahlkamp, F.J. 2009. Uranium Deposits of the World. Asia. Springer-Verlag, 493 p., Berlin Heidelberg.
- Foord, E.E., Soregaroli, A.E. y Gordon H.M. 1999. The Zapot pegmatite. Mineral County, Nevada. *The Mineralogical Record* 30: 277-292.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 5: 81-110.
- González Bonorino, F. 1951. Una nueva formación Precámbrica en el noroeste Argentino. *Comunicaciones Científicas, Museo de La Plata* N° 5: 4-6, La Plata.
- Grosse, P. 2007. Los granitos porfíricos y orbiculares del sector centro-oriental de la sierra de Velasco: Génesis y significación regional. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, (inédita), 285 p., Córdoba.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi J. y de la Rosa, J.D. 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U–Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr–Nd isotopes. *International Journal of Earth Science* 98: 1001-1025.
- Jordan, T.E. y Allmendinger, R.W. 1986. The Sierras Pampeanas of Argentina: A modern analogue of Rocky Mountain foreland deformation. *American Journal of Science* 286: 737-764.
- Morello, O. 2008. Estudio mineralógico de muestras de Cateos “El Gallo” y “Los Donatos”, Sierra de Velasco, La Rioja. Informes DEE 03-08, 06-08, Comisión Nacional de Energía Atómica, (inéditos), 5 p., Buenos Aires.
- Morello, O. 2009. Estudio mineralógico de muestras de Cateos “El Gallo” y “Los Donatos”, Sierra de Velasco, La Rioja. Informes DEE 01-09, 03-09 y 04-09, Comisión Nacional de Energía Atómica, (inéditos), 7 p., Buenos Aires.
- Morello, O. 2010. Nuevo Hallazgo del óxido de U-Nb-Ta: Cateo “El Gallo”, La Rioja. Análisis comparativo con otras muestras de pegmatitas de Argentina. Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 15 p., Buenos Aires.
- Noriega, J., Anzil, P., Zarco, J.J., Alvarez, J.O. y Parra, F. 2010. Segundo Informe de avance del indicio uranífero Alipán Cateo Donato III (Sierra de Velasco-La Rioja), Comisión Nacional de Energía Atómica, (inédito), 55 p., Córdoba.
- Plant, J.A., Simpson, P.R., Smith, B., Windley, B.F. 1999. Uranium Ore Deposits: products of the radioactive Earth. *Reviews in Mineralogy* 38: 255-319.
- Pirajno, F. 2010. Hydrothermal Processes and Mineral Systems. Geological Survey of Western Australia, Springer, 1273 p., Heidelberg.
- Ramdhor, P. 1969. The ore minerals and their intergrowths. Akademie-Verlag GmbH, Pergamon Press, 1174 p., Heidelberg.
- Rapela, C.W., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Fanning, C.M., Baldo, E.G., González-Casado, J.M., Galindo, C. y Dahlquist, J. 2007. The Río de La Plata craton and the assembly of SW Gondwana. *Earth Science Review* 83: 49-82.
- Sardi, F., Toselli, A.J. y Rossi de Toselli, J. 2002. Estudio geológico preliminar de las pegmatitas del norte del Bolsón de Huaco, Sierra de Velasco, La Rioja. 15° Congreso Geológico Argentino, actas 2: 33-34, El Calafate.
- Saulnier, M.E. y Morello, O. 2002. Mineral de U-Ta-Nb en los granitos San Ignacio-Cumbre de los Pinos, Catamarca-Tucumán. 6° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 421-424, Buenos Aires.
- Söllner, F., Verdes, A., Grosse, P. y Toselli, A. 2007. U-Pb age determinations by LA-ICPMS on zircons of the Huaco granite, Sierra de Velasco (NW-Argentina): a long-term history of melt activity within an igneous body. *Proceeding 20° Colloquial, Latin American Earth Science* 1: 57-58.
- Toselli, A. J., Miller, H., Aceñolaza, F. G., Rossi, J. N. y Söllner, F. 2007. The Sierra de Velasco (northwestern Argentina)- an example for polyphase magmatism at the margin of Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Abhandlungen* 246/3: 325-345.
- Verdecchia, S.O. 2009. Las metamorfitas de baja presión vinculadas al arco magmático famatiniano: Las unidades metamórficas de la Quebrada de La Cébila y borde oriental del Velasco. Provincia de la Rioja-Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba, (inédita), 312 p., Córdoba.
- Verdecchia, S.O. y Baldo, E.G. 2010. Geoquímica y procedencia de los metasedimentos Ordovícicos del Complejo Metamórfico La Cébila, provincia de La Rioja-Argentina. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 27: 97-111.
- Verdecchia, S.O., Baldo, E.G., Benedetto, J.L. y Borghi, P.A. 2007. The first shelly faunas from metamorphic rocks of the Sierras Pampeanas (La Cébila Formation, Sierra de Ambato, Argentina): age and paleogeographic implications. *Ameghiniana* 44: 493-498.

Recibido: 14 de noviembre, 2012

Aceptado: 14 de marzo, 2013