

# Modelo metalogenético del yacimiento de uranio *Las Termas*, Fiambalá, Catamarca, Argentina

O. Morello<sup>(1)</sup>, N. Rubinstein<sup>(2)</sup>, F. Hongn<sup>(3)</sup>, L. Ferreira<sup>(3)</sup>, J. Anesa<sup>(3)</sup> y A. Arias<sup>(3)</sup>

(1) Comisión Nacional de Energía Atómica, Avda. Libertador 8250 (1429), Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

(2) Departamento de Geología, Universidad de Buenos Aires, Pabellón 2, Ciudad Universitaria (1427), Ciudad Autónoma de Buenos Aires.  
hora@gl.fcem.uba.ar

(3) Comisión Nacional de Energía Atómica - Salta  
luife2002@hotmail.com, jorgeanesa@hotmail.com, ariasa@cnea.gov.ar

## RESUMEN

El yacimiento de uranio *Las Termas*, ubicado en la provincia geológica de Sierras Pampeanas, Argentina, se aloja en basamento precámbrico en las proximidades del contacto con el granito *Los Ratones*, de edad carbonífera. Este yacimiento fue originalmente vinculado a la greisenización asociada a la actividad magmática granítica. Sin embargo, las edades U/Pb (113,6 Ma y 51,4 Ma) recientemente obtenidas para uraninita (variedad "pechblenda") y la relación espacial de la mineralización con el volcanismo alcalino asociado al *rifting* cretácico que tuvo lugar en el área, permiten plantear un nuevo modelo genético alternativo en dos etapas. Durante la primera habría tenido lugar la lixiviación del uranio del granito por acción de la greisenización carbonífera. En la segunda etapa se habría desarrollado un sistema hidrotermal por acción del magmatismo asociado al *rifting* cretácico, el cual habría concentrado la mineralización dando origen a este yacimiento.

Palabras clave: Argentina, greisenización carbonífera, modelo metalogenético, *rifting* cretácico, Sierras Pampeanas

## ***Metallogenic model of the Las Termas uranium deposit at Fiambalá, Province of Catamarca, Argentina***

### ABSTRACT

The Las Termas uranium-ore deposit, located in the geological province of Sierras Pampeanas, Argentina, is contained within the Precambrian metamorphic basement close to the contact with the Los Ratones Carboniferous granite. This deposit was originally linked to greisenization associated with Carboniferous magmatic activity. Nevertheless, recent data concerning pitchblende-type uraninite (113.6 Ma and 51.4 Ma) and the spatial relationship between the mineralization and Cretaceous rifting volcanism lead us to suggest a new genetic model, developed in two stages. During the first stage Carboniferous greisenization included the leaching of uranium from granite, whilst during the second stage Cretaceous rift-magmatism led to a hydrothermal system, which would have been responsible for uranium mineralization.

Key words: Argentina, Carboniferous greisenization, Cretaceous rifting, metallogenic model, Sierras Pampeanas

## Introducción

El yacimiento de uranio *Las Termas* se encuentra ubicado en el flanco occidental de la Sierra de Fiambalá, localizada en las Sierras Pampeanas de la provincia de Catamarca, Argentina (Fig. 1).

La Sierra de Fiambalá está formada por un basamento integrado por una secuencia de rocas metasedimentarias precámbricas, que incluye esquistos, gneises, rocas calcosilicáticas y migmatitas (González Bonorino, 1972; Villar *et al.*, 1978), afectada por episodios de metamorfismo y deformación en el Paleozoico inferior, con la formación de granitoides sintectónicos (González Bonorino, 1972). En el

Ordovícico se produjo la intrusión de rocas básicas, Gabro de Fiambalá (Grissom, 1991; Grissom *et al.*, 1992; Page *et al.*, 1992).

Con posterioridad se intruyeron stocks graníticos discordantes: Los Ratones, Cuestanzune, La Florida, El Salto y Ayacucho, de características postectónicas. Para la facies principal del granito Los Ratones se obtuvo una edad U/Pb de 335 Ma en zircón y de 325 Ma en monacita (Grissom, 1991). Por otra parte, el Granito Ayacucho arrojó una edad K-Ar sobre roca total de  $340 \pm 8$  Ma (Fogliata *et al.*, 2009).

Diques riolíticos subalcalinos y en menor proporción andesíticos intruyen a los granitos y ocasionalmente a las metamorfitas. Por último, intruyendo a

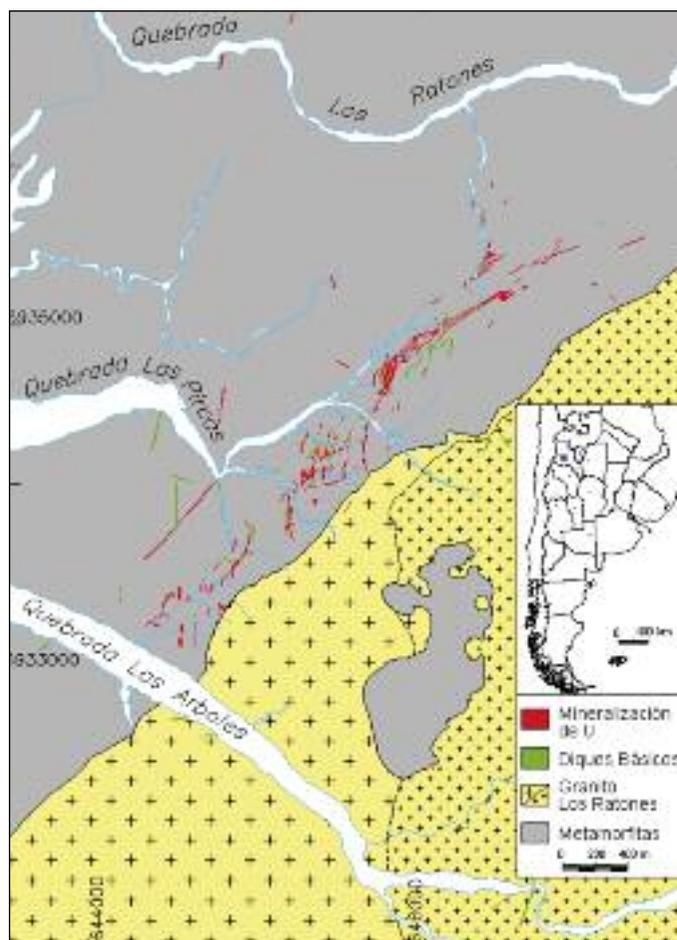


Figura 1. Geología del área del depósito de uranio Las Termas  
 Figure 1. Geology of Las Termas uranium-ore deposit area

las metamorfitas y a los granitos carboníferos, se encuentran diques de naturaleza alcalina (Villar, 1975; Morello y Rubinstein, 2000).

Asociaciones minerales de interés económico fueron vinculadas a los intrusivos Los Ratones y Ayacucho. Constituyen yacimientos de baja ley, de estaño, wolframio, plomo y zinc, clasificados como sistemas tipo greisen (Arrospide, 1985; Fogliata *et al.*, 2009). Los granitos carboníferos de la Sierra de Fiambalá fueron prospectados por uranio por la Comisión Nacional de Energía Atómica (Guidi *et al.*, 1990; Burgos *et al.*, 1992).

El objetivo de este trabajo es presentar un nuevo modelo genético de mineralización uranífera para el yacimiento Las Termas, en base a nuevos datos radiométricos del mineral de mena y a las relaciones tiempo-espaciales de la mineralización con el magmatismo del área.

## Geología del área

Las rocas del basamento están representadas principalmente por esquistos cuarzosos y cuarzo-micáceos, gneises cuarzo-feldespáticos y cuarcitas, con intercalaciones de escasos niveles de anfibolitas, en cuyos afloramientos se aloja la mineralización uranífera. La distribución de las facies metamórficas está vinculada con el apilamiento de láminas de basamento a través de las fajas miloníticas de alta temperatura que se reconocen en la región (Neugebauer y Miller, 1993; Höckenreiner *et al.*, 2003) y a pliegues mayores con flancos invertidos como lo sugieren las relaciones entre la orientación de la estructura principal y las variaciones graduales en el metamorfismo (Hongn *et al.*, 2010).

## Granito Los Ratones

El intrusivo Los Ratones (Fig. 1) es un cuerpo epizonal, posttectónico y discordante que desarrolla una aureola de contacto de diseño irregular en el basamento metamórfico. En este cuerpo se reconocen dos facies texturales principales: una porfírica, y otra granosa inequigranular. La primera está compuesta por fenocristales de cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y anfíbol en una pasta microgranosa cuarzo feldespática, con xenolitos de pórfiros graníticos, esquistos cuarzo-micáceos y gabro-dioritas. La facies granosa inequigranular está compuesta por cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y anfíbol, con escasos xenolitos de tonalitas. Ambas facies presentan casiterita accesoria, y en la biotita se observan inclusiones radiactivas de zircón, monacita, uraninita, uranothorita, thorita, allanita y xenotima, siendo más abundantes en la facies granosa. En sectores donde la greisenización es más intensa, se observa que la fluorita engloba y reemplaza los minerales accesorios (Rubinstein y Morello, 1999).

La geoquímica de elementos mayores indica que ambas facies corresponden a granitos metaluminosos de alto K; sin embargo los diagramas de elementos traza muestran características diferentes. La facies porfírica tiene un diseño típico de rocas de ambiente de subducción en tanto que la facies granosa inequigranular muestra una tendencia alcalina que caracteriza a los granitoides postorogénicos. Los diagramas de tierras raras también muestran diferencias entre ambas facies: mientras que la porfírica muestra un patrón típico de rocas calcoalcalinas, la otra genera un diseño similar al de los granitos altamente evolucionados provenientes de fundidos ricos en fluor (Rubinstein *et al.*, 2001).

Si bien ambas facies muestran fuertes anomalías de Th y U, la facies granosa inequigranular presenta mayores contenidos de U y relaciones Th/U menores, lo que indica mayor fertilidad, permitiendo sugerir que ésta fue la fuente principal del uranio. Mientras que en la facies porfírica los valores de U duplican a los contenidos normales para este tipo de rocas, en la la facies granosa inequigranular estos varían entre 4 y 5. La relación Th/U, que para granitos normales es de aproximadamente 4, alcanza un valor de 6 en la facies porfírica y de 2,3 en la granosa inequigranular (Rubinstein *et al.*, 2001).

Se observa un marcado control estructural sobre el emplazamiento del plutón Los Ratones en el cual participan dos juegos principales de rumbo N-S y NE-SO (Fig. 1). Dichas estructuras estarían vinculadas con un sistema de fallas meridianas con movimiento horizontal izquierdo principal y normal subordinado, que parcialmente reactivan heterogeneidades del basamento metamórfico, básicamente la foliación principal. Flexiones y quiebres a lo largo de estas estructuras generaron zonas dilatantes en las que se concentró el magmatismo y la mineralización (Hongn *et al.*, 2010).

### **Magmatismo alcalino**

En el faldeo occidental de la sierra de Fiambalá afloran abundantes diques de basaltos que atraviesan tanto al basamento como al granito y siguen preferentemente orientaciones N-S y NE-SO (Fig.1).

Se reconocen dos tipos litológicos principales. Uno compuesto por plagioclasa y anfíbol, con escasos xenolitos de anfibolita, que presenta moderada propilitización. El otro está constituido por olivina (forsterita), augita titanífera, kaersutita, plagioclasa y abundantes minerales opacos (Fe-espinelo, ilmenita, magnetita y pirita), con escasas biotita y analcima, y moderada a intensa alteración carbonática (Morello y Rubinstein, 1998; Morello y Rubinstein, 2000). Rocas con similares características petrográficas han sido descritas por Villar (1975) en el faldeo suroriental de la Sierra de Fiambalá.

La geoquímica de elementos mayores permitió definir que el primer grupo corresponde a mugearitas y el segundo a hawaítas, ambos con altos valores de CO<sub>2</sub>. Ambos grupos derivan de diferentes fuentes y muestran un patrón de elementos traza comparable al de rocas de *rift* continental. Su patrón de tierras raras indica un bajo grado de fusión, ausencia de granate como fase residual en la fuente, fraccionamiento de plagioclasa y, en el caso de las mugearitas, también fraccionamiento de anfíbol (Morello y Rubinstein, 2000).

### **Yacimiento Las Termas**

La mineralización de uranio de Las Termas se ubica en el basamento metamórfico, en las proximidades del contacto noroccidental con el granito Los Ratones. Constituye lentes discontinuas con rumbos N-S y NE-SO (Fig. 1), orientaciones que también controlan el emplazamiento del plutón Los Ratones y de los diques ácidos y básicos (Hongn *et al.*, 2010).

Este yacimiento constituye, junto con las mineralizaciones de Sn, W y Pb – Zn del sector noroccidental del granito Los Ratones (Minas San Alfredo, Las Pircas, Buena Esperanza, Buena Suerte, Los Viejos, Los Ratones, Santa Bárbara, entre otras, Arrospide 1985, Fogliata *et al.* 2008), un sistema tipo greisen abierto rico en fluor, genéticamente vinculado a la facies granosa inequigranular del granito Los Ratones. El evento de greisenización principal está representado por la asociación muscovita – zinnwaldita – fluorita – topacio – cuarzo, siendo la actividad del fluor responsable de la lixiviación de los minerales accesorios radiactivos del granito (Rubinstein *et al.*, 2001).

En el área del yacimiento Las Termas la mineralización está compuesta principalmente por pirita y pechblenda acompañadas de calcopirita, pirrotina, melnikovita, galena, esfalerita, electrum y subordinadas casiterita y wolframita. En base a las relaciones texturales y de campo se estableció la siguiente secuencia paragenética: casiterita – wolframita; pechblenda – pirita; calcopirita – pirrotina – melnikovita – galena – escalerita – electrum, con la mineralización de Sn-W íntimamente asociada al proceso de greisenización y la mineralización de uranio y pirita espacialmente vinculada a la fluorita (Morello y Rubinstein, 1996; Rubinstein *et al.*, 2001). La pechblenda se presenta en masas reniformes, en forma de esferulitas de 1- 4 mm de diámetro, rodeada por cristales euhédricos de fluorita de color azul-violeta a negro. Son frecuentes en el área venas de hematita con jarosita y yeso; a este último se asocian minerales supergénicos de uranio, los cuales también se observan en forma de costras o sobre superficies de fractura (Morello, 1990). En cuanto a los tenores de U, estos varían entre 0,1 y 9,2 % U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, con algunos valores económicamente significativos, a los que acompañan altos contenidos de Cu, Pb, Zn y valores anómalos de Ag, Mo y Au (Rubinstein *et al.*, 2001).

La edad del greisen fue establecida en 330 ± 10 Ma (mina Los Viejos, Arrospide 1985), rango dentro del cual se ubica la edad de la facies equigranular del Granito Los Ratones. Una edad similar fue obtenida para la mina La Rosario (339 ± 8 Ma, Ávila *et al.*, 2008) en el Granito Ayacucho, lo cual confirma la vincula-

ción genética de los sistemas de greisen de la Sierra de Fiambalá con los intrusivos postorogénicos carboníferos (Fogliata *et al.*, 2009).

Por otra parte, recientes dataciones U/Pb realizadas en pechblenda del yacimiento Las Termas arrojan edades de 113,6 y 51,4 ± 3,2 Ma (Morello, 2008).

## Discusión

La edad recientemente obtenida para la mineralización de uranio permite plantear un modelo genético más complejo para el yacimiento Las Termas. Si bien la liberación del uranio de los accesorios radiactivos estaría vinculada genéticamente a la greisenización carbonífera, tal como lo demuestran las relaciones texturales descritas (Rubinstein *et al.*, 2001), estas nuevas edades claramente sugieren una removilización posterior. La ausencia de mineralizaciones de uranio en asociación con otros granitos fértiles en los que se desarrollaron depósitos de greisen, como en el caso de El Salto (Fogliata *et al.*, 2009), permite sugerir que no se habría producido una importante concentración de uranio durante la etapa de greisenización carbonífera.

Las edades obtenidas para la mineralización quedan comprendidas dentro del rango de edades del magmatismo alcalino asociado al *rifting* continental cretácico ~ 155-55 Ma, de amplia distribución tanto en el noroeste argentino como en el ámbito de Sierras Pampeanas. La figura 2 muestra la distribución de los principales afloramientos de estas rocas. Los productos efusivos comprenden rocas alcalinas de la serie basaltos – traquitas que incluyen basanitas, mugearitas, hawaíitas y subordinadamente traquitas y tefrifonolitas (Escayola *et al.*, 1998; Viramonte *et al.*, 1999) con características geoquímicas transicionales entre basaltos de islas oceánicas (OIB) y lavas de puntos calientes (Kay y Ramos, 1996; Viramonte *et al.*, 1999). En particular en los basaltos de Villa Mercedes – Chaján, Allen *et al.* (1994) mencionan el enriquecimiento en fluor y CO<sub>2</sub>. En el noroeste argentino se reconocen cuatro períodos de actividad magmática (~ 130-120, 110-100, 80-75 y 65-60, Viramonte *et al.*, 1999) en tanto que para las Sierras Pampeanas sólo se reconocen tres (~ 150-130, 120-112 y 65, Escayola *et al.*, 1998) lo que sugiere que la evolución del rift no fue sincrónica en toda su extensión.

Los basaltos alcalinos aflorantes en el área de Las Termas presentan características petrográficas y geoquímicas comparables a las del volcanismo asociado al *rifting* cretácico, por lo que podrían atribuirse a este evento magmático. Cabe destacar que en un área muy próxima aflora el Basalto La Puerta de San

José (González Bonorino, 1972) constituido por coladas de composición alcalina cuya edad (K/Ar) fue establecida en 131,0 ± 4,0 Ma (Rosello *et al.*, 1999).

La edad de la mineralización de uranio y de los diques alcalinos del área del yacimiento permiten sugerir una vinculación genética, tal como ocurre con los depósitos de uranio del SE de China descritos por Hu *et al.* (1993, 2008). De acuerdo a estos autores, las menas de uranio se habrían concentrado debido a la actividad volcánica alcalina relacionada a un *rift* de edad cretácica que habría dado origen a soluciones hidrotermales ricas en CO<sub>2</sub>. El uranio habría sido puesto inicialmente en solución como UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub><sup>2-</sup> y UO<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub><sup>4-</sup>, y posteriormente transportado en los fluidos como UO<sub>2</sub>F<sub>4</sub><sup>2-</sup> y UF<sub>6</sub><sup>2-</sup> (Hu *et al.*, 2008).

Por otra parte, Galindo *et al.* (1997) establecen una edad jurásica superior – cretácica para vetas de fluorita con mineralización de uranio asociada aflorantes en las Sierras Pampeanas de Córdoba, confirmando de esta forma un evento mineralizante de escala regional para dicho lapso de tiempo. Estos autores vinculan genéticamente dicha mineralización con la anomalía térmica producto del magmatismo alcalino cretácico del área (Kay y Ramos, 1996). Sin embargo, Coniglio *et al.* (2000) descartan ese origen y proponen que la fuente térmica sería el calor radiogénico generado por el granito que constituye la roca de caja. Los estudios isotópicos realizados por Coniglio *et al.* (2004) en fluorita de las Sierras Pampeanas de Córdoba confirman un origen meteórico para los fluidos hidrotermales.

Teniendo en cuenta el extenso período de tiempo que media entre el emplazamiento y alteración del granito Los Ratones (330-340 Ma) y la edad de la mineralización de uranio (114 y 51 Ma), es necesario plantear un modelo complejo para este yacimiento. Este modelo incluiría una primera etapa de lixiviación del uranio de los accesorios radiactivos, producto de la greisenización, y una segunda etapa de concentración de uranio genéticamente relacionada al evento magmático cretácico. En este sentido, dicho magmatismo habría aportado el calor necesario y el CO<sub>2</sub> para poner en solución el U como complejo carbonatado. La presencia de ganga de fluorita acompañando a la mineralización sugiere un posterior transporte como complejo fluorurado (Morello y Rubinstein, 2002). El ambiente reductor, dado no solo por la presencia de niveles carbonosos dentro de la secuencia metamórfica sino también por concentraciones de sulfuros asociadas al sistema de greisen, habría favorecido la precipitación de la pechblenda (Rubinstein *et al.*, 2001) a través del mecanismo de sulfidización de los minerales máficos (Cunningham *et al.*, 1998).

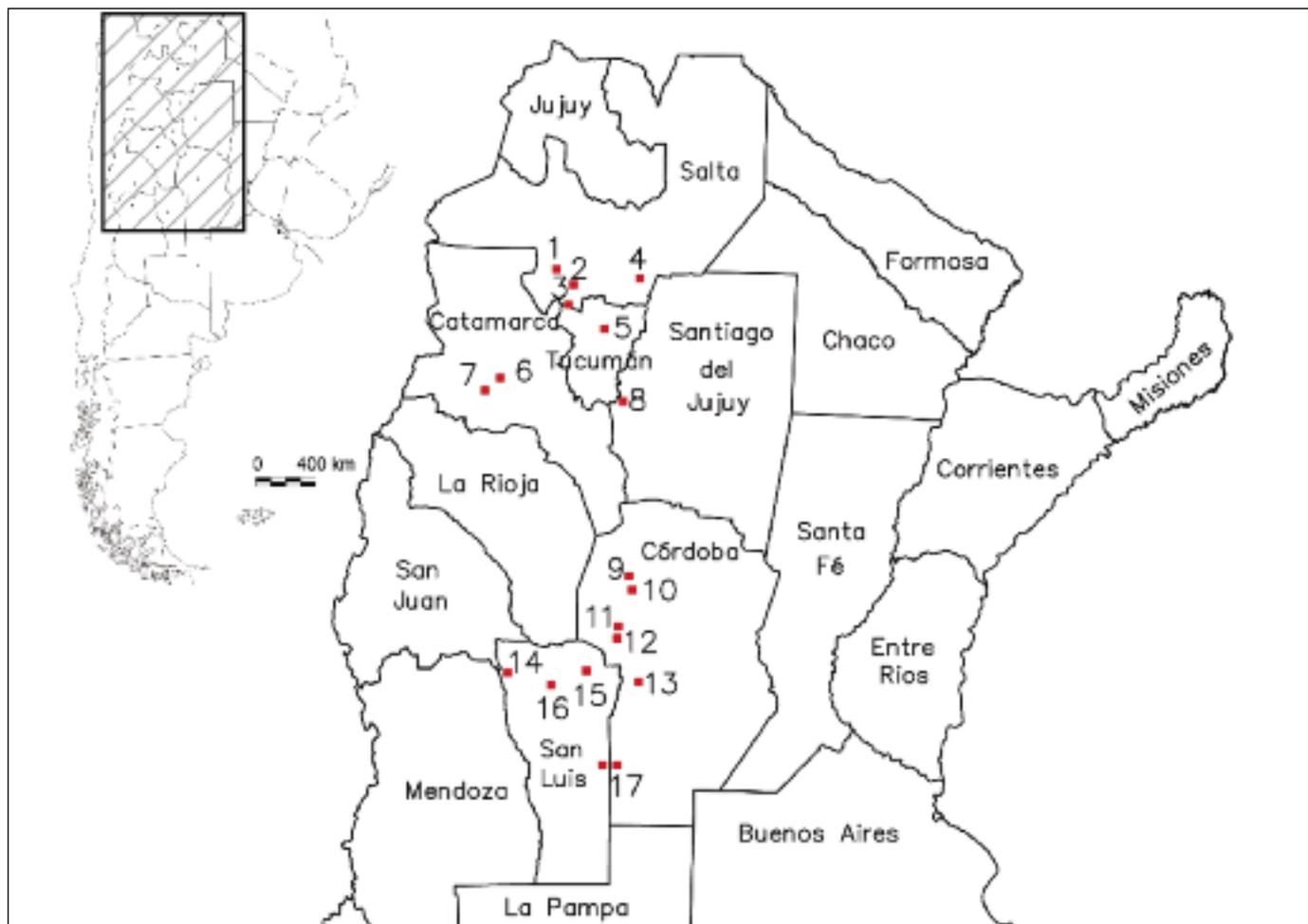


Figura 2. Principales afloramientos del magmatismo efusivo cretácico en el noroeste argentino y en Sierras Pampeanas: 1- Isonza (Viramonte *et al.*, 1999); 2- Alemania (Viramonte *et al.*, 1999); 3- Las Conchas (Viramonte *et al.*, 1999); 4- Cuesta de Cámara (Galliski and Viramonte, 1988); 5- Complejo Alto de Las Salinas-El Cadillal (Bossi y Wampler, 1969); 6- La Puerta de San José (Belén) (Rosello *et al.*, 1999); 7- Las Termas-Fiambalá (Villar, 1975; Morello y Rubinstein, 2000); 8- Sierra de Guasayán (Lucero, 1979); 9- El Pungo (Capilla del Monte) (Kay y Ramos, 1996); 10- La Calera (Kay y Ramos, 1996); 11- Embalse Los Molinos, Despeñaderos (Lagorio, 1998); 12- Embalse Río Tercero, Almafuerde (Kay y Ramos, 1996); 13- Berrotarán (Escayola *et al.*, 1998); 14- Sierra de Las Quijadas (González y Toselli, 1973); 15- Las Chacras-Villa Praga (López y Solá, 1981; Viramonte *et al.*, 1994); 16- Pampa de las Invernadas (Llambías y Brogioni, 1981); 17- Chaján-Villa Mercedes (Co. La Garrapata) (López y Solá, 1981; Allen *et al.*, 1994)

Figure 2. Main outcrops of Cretaceous rift-magmatism in north-western Argentina and Sierras Pampeanas: 1- Isonza (Viramonte *et al.*, 1999); 2- Alemania (Viramonte *et al.*, 1999); 3- Las Conchas (Viramonte *et al.*, 1999); 4- Cuesta de Cámara (Galliski and Viramonte, 1988); 5- Complejo Alto de Las Salinas-El Cadillal (Bossi y Wampler, 1969); 6- La Puerta de San José (Belén) (Rosello *et al.*, 1999); 7- Las Termas-Fiambalá (Villar, 1975; Morello y Rubinstein, 2000); 8- Sierra de Guasayán (Lucero, 1979); 9- El Pungo (Capilla del Monte) (Kay y Ramos, 1996); 10- La Calera (Kay y Ramos, 1996); 11- Embalse Los Molinos, Despeñaderos (Lagorio, 1998); 12- Embalse Río Tercero, Almafuerde (Kay y Ramos, 1996); 13- Berrotarán (Escayola *et al.*, 1998); 14- Sierra de Las Quijadas (González y Toselli, 1973); 15- Las Chacras-Villa Praga (López y Solá, 1981; Viramonte *et al.*, 1994); 16- Pampa de las Invernadas (Llambías y Brogioni, 1981); 17- Chaján-Villa Mercedes (Co. La Garrapata) (López y Solá, 1981; Allen *et al.*, 1994)

## Conclusiones

Las edades recientemente obtenidas para la mineralización de uranio del yacimiento Las Termas permiten plantear un modelo genético alternativo, más complejo que el propuesto originalmente, el cual incluye una primera etapa de lixiviación del uranio del grani-

to fértil, producto de la greisenización carbonífera, y una segunda etapa de concentración, genéticamente vinculada al magmatismo alcalino asociado al *rifting* cretácico que tuvo lugar en el área. Este yacimiento estaría, por lo tanto, vinculado a un sistema hidrotermal desarrollado en un ambiente extensional, siendo la actividad de volátiles, particularmente del fluor,

determinante en su génesis. De esta forma se constituye un nuevo metalotecto de alcance regional que permitirá orientar la exploración de depósitos similares en la provincia geológica de Sierras Pampeanas.

## Agradecimientos

Se agradece al agente S. Tryfon por la realización de las figuras y a S. Page y M. E. Varela y a los árbitros del *Boletín Geológico y Minero*, A. Arribas Moreno y R. Lira, por la constructiva revisión del manuscrito.

## Referencias

- Allen, M., Escayola, M.P., Villar, L.M. 1994. New data on the alkalic volcanic centers of the Chaján region. Provinces of Córdoba and San Luis, Argentina. *VII Congreso Geológico Chileno*, Concepción, 2, 954-956.
- Arrospide, A. 1985. Las manifestaciones de greisen de la Sierra de Fiambalá, Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 40 (12), 97-113.
- Ávila, J.C., Rubinstein, N., Morello, O., Fogliata, A. 2008. Edad y caracterización de una mica de litio asociada a un sistema de greisen en mina La Rosario, Sierra de Fiambalá, Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 63 (1), 43-48.
- Bossi, G.E. y Wampler, M. 1969. Edad del Complejo Alto de las Salinas y Formación El Cadillal según el método K/Ar. *Acta Geológica Lilloana*, 10 (7), 141-160.
- Burgos, J., Gorustovich, S., Guidi, F. 1992. Depósito Las Termas: Modelo filoniano de uranio en metamorfitas pampeanas (Fiambalá, provincia de Catamarca), Argentina. *IV Congreso Nacional y I Congreso Latinoamericano de Geología Económica*, Sierra de la Huerta (Córdoba), 1, 13-14.
- Coniglio, J., Perez Xavier, R., Pinotti, L., D'Eramo, F. 2000. Ore forming fluids of vein-type fluorite deposits of Cerro Aspero Batholith, Southern Córdoba Province, Argentina. *International Geology Review*, 42, 368-383.
- Coniglio, J., Perez Xavier, R., Pinotti, L., D'Eramo, F., 2004. Estudio de isótopos estables aplicado a los depósitos de fluorita del batolito Cerro Áspero, Córdoba. *VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, Río Cuarto, 1, 171-176.
- Cunningham, C.G., Rasmussen, J.D., Steven, T.A., Rye, R.O., Rowley, P.D., Romberger, S.B., Selverstone, J. 1998. Hydrothermal uranium deposit containing molybdenum and fluorite in the Marysvale volcanic field, west central Utah. *Mineralium Deposita*, 33, 477-498.
- Escayola, M.P., Viramonte, J.G., Becchio, R., Franz, G., Arnoso, M., Popridkin, C. 1998. Xenolitos en volcanitas alcalinas cretácicas del sector sur de la sierra de Los Cóndores, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*, Buenos Aires, 2, 314-320.
- Fogliata, A.S., Rubinstein, N., Ávila, J.C., Báez, M. 2009. Depósitos de greisen asociados a granitos carboníferos post-orogénicos con potencial mineralizador, Sierra de Fiambalá, Catamarca, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 119 (4), 509-524.
- Galindo, C., Pankhurst, R.J., Casquet, C., Coniglio, J., Baldo, E., Rapela, C.W., Saavedra, J. (1997): Age, Sr- and Nd-isotope systematics, and origin of two fluorite lodes, Sierras Pampeanas, Argentina. *International Geology Review*, 39, 948-954.
- Galliski, M. A. & Viramonte, J. G. 1988. The Cretaceous paleorift in northwestern Argentina. A petrologic approach. *Journal of South American Earth Sciences*, 1 (4), 329-342.
- González Bonorino, F. 1972. Descripción Geológica de la Hoja 13c, Fiambalá, provincia de Catamarca. Dirección Nacional de Geología y Minería, *Boletín* 127, 73 p.
- González, R. y Toselli, A. 1973. Las rocas efusivas básicas de la Sierra de Las Quijadas al oeste de Hualtarán, provincia de San Luis. *Acta Geológica Lilloana*, 12 (6), 89-104.
- Grissom, G. 1991. Empirical constraints on thermal processes in the deep crust of magmatic arcs: Sierra de Fiambalá, Northwestern Argentina. Ph.D., Stanford University, California, U.S.A., 262 pp. (unpublished).
- Grissom, G., De Bari, S., Page, R., Page, S., Villar, L., Coleman, R., Ramírez, M. V. de 1992. The deep crust of early Paleozoic arc; The Sierra de Fiambalá, northwestern Argentina. in "Andean Magmatism and its Tectonic Setting", Harmon, R. S. & Rapela, C. W. (ed.). *Andean Magmatism and its Tectonic Setting*. Geological Society of America Special Papers 265, 189-200.
- Guidi, F., Burgos, J., Capuccino, S., Maidana, J. S. 1990. Depósitos uraníferos filonianos relacionados al basamento ígneo-metamórfico del área Los Ratones, Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. *11º Congreso Geológico Argentino*, 1, 319-323.
- Höckenreiner, M., Söllner, F., Miller, H. 2003. Dating the TIPA shear zone: an Early Devonian terrane boundary between the famatinian and Pampean systems (NW Argentina). *Journal of South American Earth Sciences*, 16, 45-66.
- Hongn, F., Ferreira, L., Morello, O., Rubinstein, N., Kirschbaum, A., Guidi, F., Anesa, J. 2010. Control estructural sobre el plutón Los Ratones y la mineralización de uranio en la sierra de Fiambalá (Sierras Pampeanas, Catamarca). *Revista Asociación Geológica Argentina*, 67(4): 546-561.
- Hu, R., Li, Ch., Ni, S., Liu, L., Yu, J. 1993. Research on  $\Sigma\text{CO}_2$  source in ore-forming hidrothermal solution of granite-type uranium deposit, South China. *Science in China (Series B)*, 36 (10), 1252-1262.
- Hu, R., Bi, X., Zhou, M., Peng, J., Su, W., Liu, S., Qi, H. 2008. Uranium Metallogenesis in South China and its relationship to crustal extension during the Cretaceous to Tertiary. *Economic Geology*, 103, 583-598.
- Kay, S. y Ramos, V. 1996. El magmatismo Cretácico de las Sierras de Córdoba y sus implicancias tectónicas. *13º Congreso Geológico Argentino y 3º Congreso de Exploración de Hidrocarburos*, Buenos Aires, 3, 453-464.
- Lagorio, S. 1998. Geoquímica y petrogénesis de volcanitas

- cretácicas de la Sierra Chica de Córdoba (Argentina). *10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica*, Buenos Aires, 2, 354-358.
- López, M.G. y Solá, P. 1981. Manifestaciones volcánicas alcalinas de los alrededores de Las Chacras y de la región de Villa Mercedes - Chaján, provincia de San Luis y Córdoba. *8° Congreso Geológico Argentino*, 4, 967-978.
- Lucero Michaut, H. N. 1979. Sierras Pampeanas del norte de Córdoba, sur de Santiago del Estero, borde oriental de Catamarca y ángulo sudeste de Tucumán. En *Academia Nacional de Ciencias, Córdoba (ed.), 2° Simposio de Geología Regional Argentina*, 1, 293-347.
- Llambías, E.J. y Brogioni, N. 1981. Magmatismo mesozoico y cenozoico. Geología de la Provincia de San Luis. *8° Congreso Geológico Argentino. San Luis, Relatorio*, 101-115.
- Morello, O. 1990. *Estudio mineralógico sobre muestras de la Manifestación Las Termas-Fiambalá, Dpto. Tinogasta. Provincia de Catamarca*. Informe inédito DEE 30-90, Comisión Nacional de Energía Atómica.
- Morello, O. 2008. Edad de la mineralización de uranio. Depósito Las Termas, Fiambalá, Catamarca. *17° Congreso Geológico Argentino*, 2, 641-642.
- Morello, O. y Rubinstein, N. 1998. Megacrístales de kaersutita en basaltos alcalinos de la Sierra de Fiambalá, Provincia de Catamarca. *2° Congreso Uruguayo de Geología*, Punta del Este, 142-144.
- Morello, O. y Rubinstein, N. 2000. Los diques alcalinos y subalcalinos del flanco occidental de la sierra de Fiambalá, Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 55 (3), 245-250.
- Morello, O. y Rubinstein, N. 2002. Controles de la mineralización de uranio del depósito Las Termas, Catamarca, Argentina. *15° Congreso Geológico Argentino*. Calafate, CD-ROM, Artículo 111, 2 pp.
- Morello, O., Rubinstein, N., Burgos, J. 1996. Nuevos avances sobre la metalogénesis de la Manifestación Las Termas-Fiambalá, Argentina. *3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia*, La Plata, 153-156.
- Neugebauer, H. y Miller, H. 1993. Las milonitas de la sierra de Fiambalá: sutura oriental del sistema de Famatina (Catamarca, Argentina). *12° Congreso Geológico Argentino*, Mendoza, 3, 32-38.
- Page, S., Page, R., Viruel de Ramírez, M. 1992. El basamento de la Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 47 (4), 373-388.
- Rosello, E.A., Mozetic, M.E., López de Luchi, M.G. 1999. Basalto La Puerta de San José. *14° Congreso Geológico Argentino*, 2, 194-196.
- Rubinstein, N. y Morello, O. 1999. Alteración hidrotermal del Granito Los Ratones, Catamarca, Argentina. *14° Congreso Geológico Argentino*, 2, 327-329.
- Rubinstein, N., Morello, O., Burgos, J. 2001. El yacimiento de uranio Las Termas, Catamarca, Argentina. *Revista Asociación Geológica Argentina*, 56 (1), 91-98.
- Villar, L. 1975. Los basaltos alcalinos de la Sierra de Fiambalá. *6° Congreso Geológico Argentino*, Bahía Blanca, 2, 177-189.
- Villar, L., Godeas, M., Segal, S. 1978. El basamento, facies anfíbolita granolita y la faja ultrabásica de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. *7° Congreso Geológico Argentino*, Neuquén, 2, 521-536.
- Viramonte, J., Deruelle, B., Moor bath, S., Mazzuoli, R., Omarini, R. 1994. El volcanismo alcalino de Chaján - Las Chacras, Córdoba - San Luis, Argentina. *7° Congreso Geológico Chileno*, Concepción, 2, 1273-1277.
- Viramonte, J.G., Kay, S.M., Becchio, R., Escayola, M., Novitski, I. 1999. Cretaceous rift related magmatism in central-western South America. *Journal of South American Earth Sciences*, 12 (2), 109-121.

Recibido: junio 2010

Revisado: diciembre 2010

Aceptado: febrero 2011

Publicado: julio 2011

