

El Granito Los Ratonos como posible fuente de flúor en la formación de sistemas epitermales, Sierra de Fiambalá, Catamarca

Mauro DE LA HOZ^{1,3}, Jorge CONIGLIO² y Alicia KIRSCHBAUM¹

Resumen: *EL GRANITO LOS RATONES COMO POSIBLE FUENTE DE FLÚOR EN LA FORMACIÓN DE SISTEMAS EPITERMALES, SIERRA DE FIAMBALÁ, CATAMARCA.* En la presente contribución se efectúa un estudio sistemático del plutón granítico Los Ratonos (PLR) y otras rocas aflorantes en el área, para evaluar su potencial como fuente de flúor para la formación de sistemas hidrotermales de baja temperatura. El trabajo está basado en datos de química de roca total y petrografía y compara el contenido de flúor de PLR con el de otros plutones graníticos. El contenido de F en roca total del PLR varía desde 500 hasta 8100 ppm, con un promedio de 3825 ppm. Comparando el PLR con otros cuerpos de características similares de Argentina y Brasil, se puede observar que la evolución metalogenética no fue simplemente consecuencia de la cristalización de un magma, sino de múltiples eventos hidrotermales. Esta evolución metalogenética es una característica destacada de los llamados granitos HHP (*high heat production*), dada por los relativamente elevados contenidos en K, Th y U. Las evidencias de campo, mineralógicas y geoquímicas encontradas hasta el momento sugieren que el PLR también se podría situar dentro de esta categoría de granitos HHP. Varios autores han planteado que los granitos HHP podrían aportar F, U y otros metales para las mineralizaciones epitermales postplutónicas y generar convección hidrotermal conducida por una fuente local de calor radiogénico, generada por la desintegración de U, Th y K. Las aguas termales que surgen del granito Los Ratonos atestiguan el dinamismo de este ambiente y probablemente sean la evidencia actual de paleosistemas hidrotermales complejos, polifásicos, sobreimpuestos, con más de 280 Ma de evolución tectónica y térmica, asociados con granitos de alta producción de calor.

Abstract: *THE LOS RATONES GRANITE AS POSSIBLE SOURCE OF FLUORINE IN THE FORMATION OF EPITHERMAL SYSTEMS, SIERRA DE FIAMBALÁ, CATAMARCA.* In the present contribution it is given to know a systematic study of the Los Ratonos granite pluton (LRP) and the rocks that outcropping in the surrounding area in order to evaluate its potential as Fluorine (F) source in the formation of low-temperature hydrothermal systems. This work is based on total rock geochemistry and petrography studies, it also compare the F content of PLR with other similar granitic plutons. The F content in PLR varies between 500 and 8100 ppm, with an average of 3825 ppm. In comparison with other similar plutons from Argentina and Brasil, the PLR metallogenetic evolution was not only related to magma crystallization, but also to several hydrothermal events. This kind of metallogenetic evolution is a typical feature of High Heat Production (HHP) granites, and it is given by the relatively high K, Th and U contents. Field features, mineralogical and geochemistry evidence suggest that LRP could be classified as HHP-Type granite. Many authors propose that HHP granites could be the source of F, U and other metals in the epithermal post-plutonic mineralization, and could generate hydrothermal convection driven by a local source of radiogenic heat by U, Th and K disintegration. The hot springs that emerge from the LRP at the present are the evidence of this environmental dynamism. They probably are the current witness of complex hydrothermal paleosystems that were superimposed during the last 280 Ma of tectonic and thermal evolution associated with this kind of high heat production granites.

Palabras clave: Granitos. Flúor. Sistemas epitermales. Metalogénesis. Fiambalá.

Key words: Granite. Fluorine. Epithermal systems. Metallogenesis. Fiambalá.

¹ - Instituto de Bio y Geociencias del NOA – Universidad Nacional de Salta – CONICET. Mendoza 2 – Salta – Código Postal 4400. E-mail: gm_delahoz@yahoo.com.ar – alikir2003@yahoo.com.ar

² - Departamento de Geología, Universidad Nacional de Río Cuarto. Ruta Nac. 36–Km 601. Código Postal 5804. E-mail: jconiglio@exa.unrc.edu.ar

³ - Instituto de Geociências, Universidad de Brasília, Campus Darcy Riveiro, Brasília DF Brasil.

Introducción

El área de estudio se sitúa a unos 20 km al este de la localidad de Fiambalá, ubicada en el faldeo occidental de la Sierra homónima (figura 1). El plutón Los Ratones (PLR), es un complejo granítico de edad carbonífera de 335 ± 5 Ma método U/Pb (Grissom, 1991), conocido por ser hospedante de una importante cantidad de yacimientos de tipo greisen con paragénesis W-Sn-F (Arrospide, 1985), que ocurren en posición intraplutónica asociados con leucogranitos. Hacia el sector noroeste del plutón y muy próximo a la zona de contacto, afloran depósitos de U y F (vetas con pechblenda y fluorita) conocidos como Proyecto Las Termas (Maidana, 1989); este proyecto está completamente emplazado en metamorfitas de edad neoproterozoica-paleozoica (figura 1) y se destaca por ser uno de los objetivos importantes de prospección-exploración de la CNEA en depósitos de tipología vetiforme (Ferreira *et al.*, 2008). Estas mineralizaciones fueron interpretadas por diversos autores como formadas por un sistema de tipo greisen, abierto, rico en F y genéticamente vinculadas con el sistema magmático-hidrotermal intraplutónico (Burgos, 1999). Sin embargo, edades de 113,6 Ma ($^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$) y otra de 51,4 Ma ($^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$) obtenidas en pechblendas del depósito uranífero Las Termas (Morello, 2008) no sustentan una vinculación genética entre las mineralizaciones vetiformes de uranio y las del tipo greisen, como así tampoco con el emplazamiento del plutón Los Ratones. De la Hoz *et al.*, (2010) basados sobre evidencias de campo, texturales y mineralógicas describen e interpretan las mineralizaciones vetiformes de pechblenda y fluorita del proyecto Las Termas como de origen epitermal.

Las características descriptas sugieren que en la metalogénesis del área de estudio podrían estar involucradas distintas fuentes de elementos y removilizaciones, con diferentes edades y en una compleja historia de formación polifásica, *heterotypic and heterochronous deposits* (Routhier, 1980), similar a la que ocurre con otros granitos devónico-carboníferos de Sierras Pampeanas (Coniglio, 2006 ; Coniglio *et al.*, 2010), como así también de Brasil y Francia (Sallet, 1988).

En este trabajo se efectúa un estudio del contenido de F en roca total, principalmente de los granitos que componen el PLR y de otras rocas ígneas que afloran en el área, para evaluar la posible contribución de estas rocas como fuente de F de las mineralizaciones epitermales mesozoicas. Estos datos han sido complementados con estudios petrográficos y geoquímicos orientados a establecer comparaciones metalogenéticas regionales

Geología del área

La sierra de Fiambalá integra la porción septentrional de las Sierras Pampeanas Noroccidentales del suroeste de la provincia de Catamarca (Caminos, 1979). El PLR forma parte del cinturón peraluminoso de la Zona Batolítica Central en la propuesta de sistematización de las Sierras Pampeanas Noroccidentales (Toselli *et al.*, 1996, 2006). El PLR intruye rocas metamórficas paleozoicas que corresponden principalmente a esquistos, gneises y migmatitas, cuyos protolitos se interpretan como sedimentarios de edad precámbrica (Page *et al.*, 1992).

El emplazamiento de varios stocks graníticos durante el Carbonífero representó el último episodio magmático paleozoico del área (Arrospide, 1985). Se destaca el carácter discordante de los cuerpos carboníferos y su composición mayoritariamente granítica a cuarzo – monzodiorítica (Grissom, 1991; Page *et al.*, 1992).

En el área también se describen numerosos diques melanocráticos de composición andesítica y basáltica, y otros leucocráticos de escasa distribución, con composición riolítica

(Arrospide, 1985; Morello y Rubinstein, 2000; de la Hoz, 2009; Franzoni, 2010). Son diques continuos y en la mayoría de los casos son concordantes con la foliación principal de las metamorfitas.

Geología del plutón Los Ratonés

El PLR es el cuerpo granítico de mayor extensión que aflora en esta área y alcanza aproximadamente 120 km²; presenta una configuración subcircular y exhibe marcadas diferencias texturales. Para Rubinstein y Morello (1999) el PLR presenta dos facies con contactos netos, una porfírica y otra granosa. Además, Guidi (1999) reconoce una tercera facies de grano fino escasamente representada, con relaciones de campo y distribución poco conocidas.

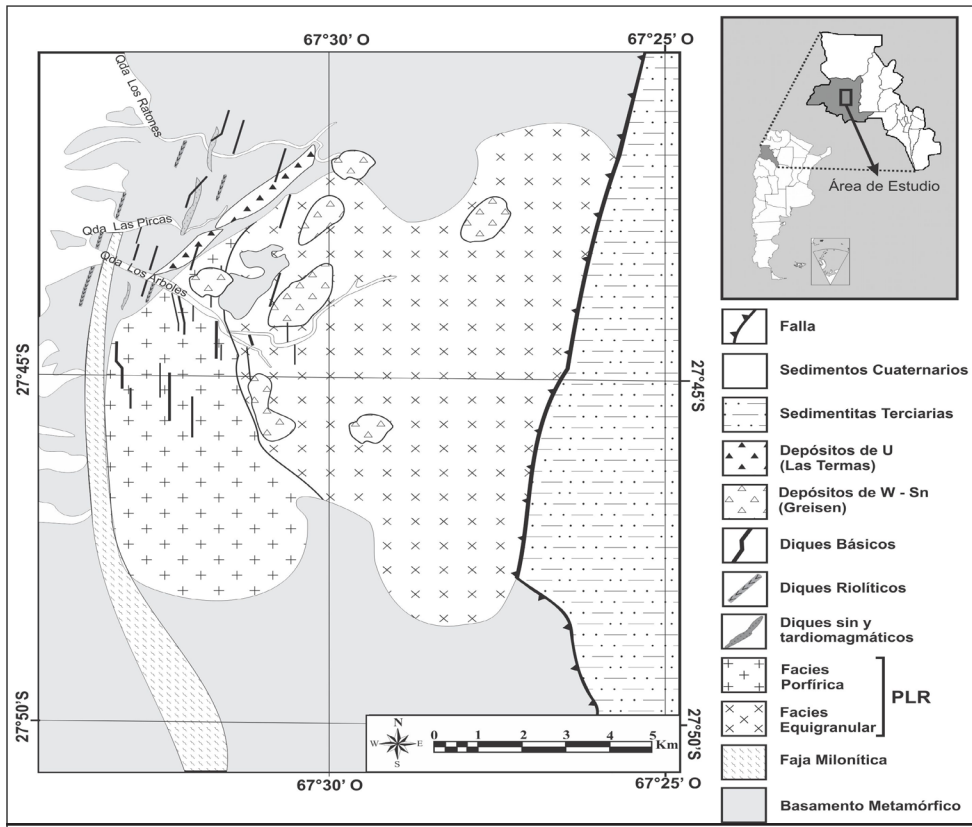


Figura 1: Mapa geológico simplificado del área de estudio (Modificada de De la Hoz, 2009 y Hongn *et al.*, 2010). / **Figure 1:** Simplified geological map of the studied area (Modified from De la Hoz, 2009 and Hongn *et al.*, 2010).

En el presente trabajo la facies granosa ha sido renombrada como equigranular y además de las litologías mencionadas, se han identificado otros conjuntos de diques graníticos y básicos, no siempre cartografiados a escala regional. La figura 1 muestra la geología simplificada del PLR y su entorno encajonante. Las relaciones de yacencia y petrografía de las facies del PLR se describen a continuación:

Facies Porfírica: Aflora como una facies de borde del plutón y el contacto con la roca

de caja es discordante y localmente subconcordante, mientras que con la facies equigranular es transicional y a veces difuso. La textura porfírica está bien desarrollada y los feldespatos alcalinos se presentan en grandes cristales, con tamaños que varían entre 3 a 8 centímetros, la matriz esta compuesta por cuarzo, feldespato y plagioclasa, de textura granosa fina (< 2 mm). Al microscopio poseen textura pertítica y las plagioclasas de tipo albita presentan zonación normal progresiva. Algunos cristales presentan alteración argílica y en otros casos sericitica. La biotita está frecuentemente alterada a clorita y muscovita; presenta inclusiones de circón y minerales opacos y se observa también inclusiones de un mineral radioactivo que genera halos de disturbación, según Morello (1990) se trata de monacita, la que también se encuentra como inclusión en cuarzo y plagioclasa. Dentro de esta facies se observa localmente textura orbicular, como así también miarolas. En las Sierras Pampeanas son muy escasos los ejemplos documentados de granitos con texturas orbiculares y su generación requiere de una combinación inusual de condiciones geológicas, con mayor probabilidad de ocurrir próximo al techo de los cuerpos ígneos (Grosse *et al.*, 2010).

Facies equigranular: Por sectores presenta una gran variación textural a nivel macroscópico, generada por una diferente concentración de biotita y feldespatos. Las muestras menos biotíticas presentan abundante cuarzo subhedro. A nivel microscópico la plagioclasa (albita) tiene zonación progresiva y textura pertítica en parches, algunos cristales se hallan sericitizados, en tanto los individuos de feldespato potásico presentan un color amarillento, con alteración argílica. La biotita se presenta en cristales subhedros de mayor tamaño de grano que el resto de los minerales, con escasa alteración a muscovita y clorita. Presenta inclusiones de circón y opacos, también se observan pequeñas inclusiones de minerales radiactivos rodeados de halos negros. La apatita, de hábito tabular, es escasa y se presenta incluida en biotita. Se observa también fluorita intersticial.

Rubinstein y Morello (1999) describen la presencia de casiterita y fluorita accesorias en ambas facies del PLR, así como biotita con inclusiones de circón y monacita. Reconocen que la facies equigranular es más abundante en minerales de U y Th (monacita, uraninita, uranotothorita, thorita, entre otros), coincidiendo con los datos geoquímicos obtenidos por Arrospide (1985), quien propone que la facies equigranular es la más fraccionada que la facies porfírica debido a los elevados contenidos en Th, U, Ta, Rb, W y Sn.

Diques Graníticos: Se emplazan generalmente en posición intraplutónica y sobre la base de sus texturas, relaciones geométricas y de campo se clasifican como diques sinmagmáticos y tardiomagmáticos. Los diques sinmagmáticos desarrollan potencias menores a 0,5 m y corridas de hasta 5 m. Son microgranitos biotítico-muscovíticos, de textura de grano medio a fino (5 mm a < 2 mm), aunque localmente presentan variaciones hacia tendencias pegmatíticas (aplopegmatitas). Sus límites son irregulares y no muestran bordes enfriados. Se ha observado además que uno de estos diques corta a un dique andesítico que, a su vez, intruye a la facies equigranular. Este dato se considera importante porque indica la presencia de un magmatismo básico coetáneo con el magmatismo granítico, hecho no frecuentemente observado en los granitos devónico-carboníferos de las Sierras Pampeanas.

Los diques tardiomagmáticos poseen límites más netos y rectos y corridas más largas respecto de los sinmagmáticos. Están conformados predominantemente por aplitas y por microgranitos muscovítico-biotíticos. Los microgranitos petrográficamente presentan una textura equigranular de grano medio a fino y una composición mineralógica similar a la de la facies equigranular, aunque con menor cantidad de biotita.

Diques Riolíticos: Afloran casi exclusivamente en la roca metamórfica en sectores periféricos del plutón y muestran potencias de hasta 12 m y corridas continuas que superan el

kilómetro (figura 1). No se encontraron evidencias concretas para vincularlos directamente con el magmatismo del PLR, aunque datos geoquímicos los ubicarían con una composición intermedia entre las facies equigranular y porfírica (de la Hoz, 2009). Estos diques son continuos; en la mayoría de los casos son subconcordantes con la foliación principal de las metamorfitas y muestran diseños irregulares tipo escalonado, con tramos de bordes rectos y paralelos que cambian bruscamente de rumbo siguiendo diferentes heterogeneidades. Al microscopio presentan una textura porfírica, con fenocristales de cuarzo y plagioclasa (oligoclasa) inmersos en una pasta micropoiquilítica, que en partes evidencia una textura esferulítica bien definida; diminutos granos de cuarzo-muscovita rellenan los espacios entre las esferulitas. Los fenocristales de plagioclasa están alterados a sericita y argilominerales. El cuarzo se presenta en fenocristales euhedros agrupados en clusters con fenómenos de corrosión en los bordes (engolfamientos). La biotita es escasa, en pequeños individuos de color pardo y por sectores muscovitizada. Se observa también otra generación de biotita, en pequeños individuos de color pardo, sin alteración. La muscovita es escasa, al igual que fluorita y apatita.

Diques Básicos: Se emplazan tanto en la roca metamórfica como en el PLR siguiendo los juegos de fracturas principales determinadas por diferentes autores (Arrospide, 1985; Burgos, 1996; Baalman, 1998; Hongn *et al.*, 2010). Este último autor plantea un marcado control estructural en el emplazamiento del PLR, con dos juegos principales de fracturas de rumbo N-S y NE-SO; flexiones y quiebres a lo largo de estas estructuras generaron zonas dilatantes en las que se concentró el magmatismo y la mineralización.

Dentro de los diques, Morello y Rubinstein (2000) reconocieron dos grupos, uno subcalcoalcalino, formado por andesitas y riolitas y otro alcalino, constituido por mugaritas y hawaíitas.

Posteriormente, Franzoni (2010) identifica también dos series magmáticas distintas: una subalcalina, que incluye andesitas basálticas, y una alcalina que incluye traquiandesitas basálticas. Ninguno de los diques básicos estudiados presentó anomalías radimétricas importantes ni se detectaron valores significativos de U en los análisis químicos. Las observaciones de campo (greisenización del granito y de un dique básico en sectores con mineralizaciones W-Sn; enclaves ovoidales básicos incluidos en el granito) señalan la existencia de un pulso de magmatismo básico alcalino temporalmente próximo al enfriamiento del Plutón Los Ratonos, cuando este cuerpo aún estaba en estado plástico y previo a la etapa de greisenización. A partir de estas observaciones, Franzoni (2010) propone para el área Los Ratonos la presencia de -al menos- dos pulsos de magmatismo básico alcalino, uno para el Carbonífero tardío - Pérmico inferior temprano y el otro para los tiempos cretácicos.

Las mineralizaciones en el PLR y su entorno metamórfico encajonante

El PLR es un granito metalogénicamente especializado y en Argentina además es un área conocida por sus yacimientos de W, Sn y F asociados con procesos de greisenización (Arrospide, 1985). Más recientemente este sector cobró interés en tareas de prospección y exploración por el descubrimiento de anomalías de uranio (pechblenda y secundarios de uranio) en las proximidades del contacto del PLR (Proyecto Las Termas). Las primeras descripciones de estas mineralizaciones fueron realizadas por Morello (1990) y la génesis fue atribuida a procesos de greisenización, por analogía con los depósitos de W, Sn y F. La principal distribución espacial de estas mineralizaciones se muestra en la figura 1.

Las evidencias de campo muestran que el sistema magmático - hidrotermal del PLR

(ej. vetas subhorizontales de cuarzo con textura maciza a groseramente crustiforme, asociadas con procesos de greisenización) es cortado por un sistema de vetas con buzamiento en alto ángulo que desarrolla texturas epitermales. Estas vetas se presentan dentro del granito y en las metamorfitas próximas a la zona de contacto, aunque las mayores anomalías radiactivas están concentradas en ambiente metamórfico (de la Hoz *et al.*, 2010). En los hastiales estas rocas suelen estar afectadas por procesos de silicificación de tipo jasperoide. Las vetas se emplazan en estructuras que tienen un azimut preferencial N30°- N40°. También se midieron dos juegos menores de azimut N60°- N75° y N130°-N135°. Estas orientaciones coinciden con las estructuras definidas en la zona por Hongn *et al.* (2010), quien describe un sistema de fallas y fracturas integrado por tres juegos principales y un cuarto menos definido: 1) norte - sur a N15°; 2) N30° a N 50°, ambos con buzamientos dominantes entre vertical y 70° hacia el E y SE; 3) N70° a N110° y 4) N315° a N340°.

El espesor de las vetas es en general menor a 50 centímetros. En el granito las morfologías son tabulares y continuas, pero en ambiente metamórfico es frecuente observar que de una estructura principal se desprenden ramificaciones de poca continuidad. Esta particularidad se atribuye a las heterogeneidades que presentan estas rocas. Las vetas están compuestas por fluorita de colores verde, blanco y violeta. Por sectores la calcedonia es dominante y la fluorita se presenta intercrecida en cristales menores a 2 centímetros. Dominan texturas de relleno macizas, bandeadas crustiformes y bandeadas crustiformes - coloformes. También son comunes las texturas brechosas (brechas intraminerales con clastos de fluorita cementados por fluorita). Se han observado también texturas de reemplazo de tipo enrejado laminar "*lattice bladed texture*", con calcedonia reemplazando a fluorita, características de la parte superior del sistema epitermal.

Asimismo, en ambiente metamórfico, dentro de las trincheras donde la CNEA ha realizado los relevamientos de las zonas con mayores anomalías, se observan brechas de fluorita - calcedonia con textura sacaroide y presencia de fluorita fétida (antozonita) asociada con cristales de pirita menores a 2 milímetros. A pesar de no haber encontrado aún afloramientos con un registro más completo de la historia hidrotermal, las texturas identificadas indican claramente una formación polifásica, en condiciones de baja temperatura y profundidad. Este conjunto de evidencias han abierto la posibilidad de plantear una nueva hipótesis para la génesis de la mineralización de U±F del área: un origen epitermal (de la Hoz *et al.*, 2010).

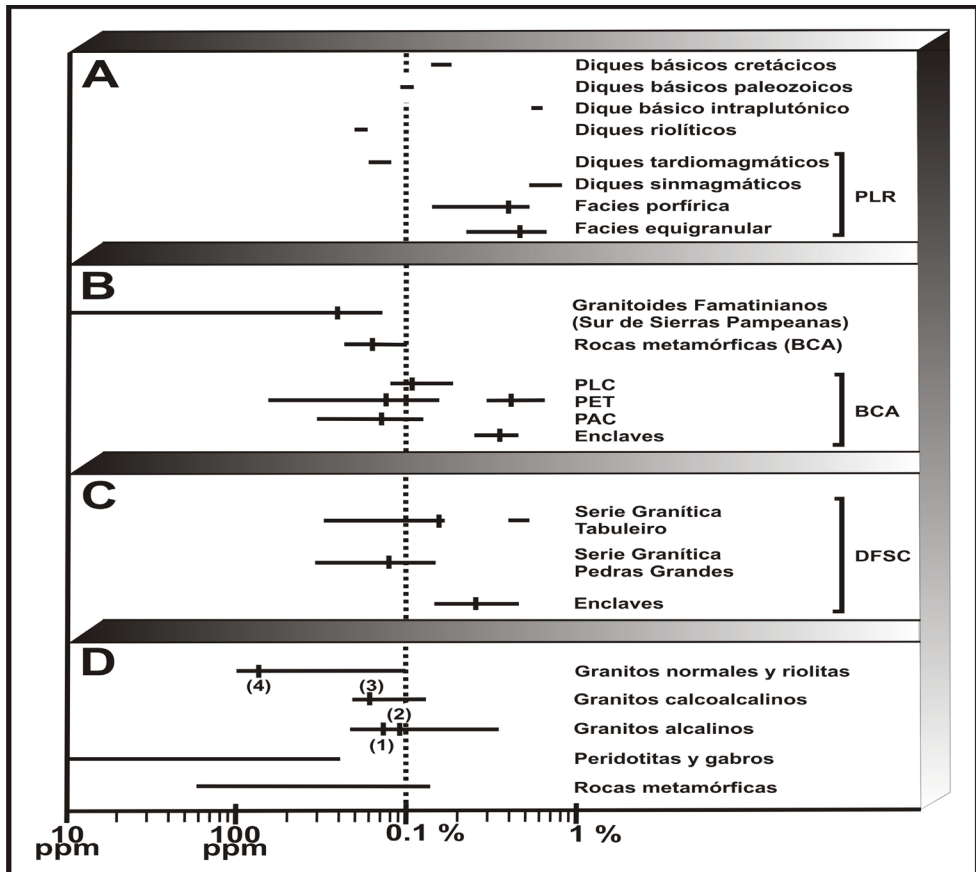
Figura 2: Representación gráfica del contenido de F en PLR y otros similares. **A.** Datos del plutón Los Ratones y otras rocas ígneas aflorantes en el sector (este trabajo). **B.** Datos del batolito Cerro Áspero (BCA) (Sierra de Comechingones, Córdoba), metamorfitas encajantes y granitoides famatinianos (Coniglio *et al.*, 2006). Plutones del BCA: PAC (plutón Alfa Corral), PET (plutón El Talita), PLC (plutón Los Cerros) (Pinotti *et al.*, 2002). **C.** Granitoides de alto K del batolito Pelotas, Distrito Fluorítico Santa Catarina (DFSC) (Sallet, 1988; Sallet *et al.*, 2000). **D.** Valores de contenido de F en diferentes tipos de rocas según Allmann y Koritning (1972) y Christiansen y Lee (1986); (1) = Serie alcalina, (2) = Serie alcalina potásica, (3) = Serie calcoalcalina, (4) = Serie toleítica. La barra vertical pequeña indica valores promedio. La línea de trazo vertical discontinua en el valor de 0,1% es para referencia. Modificada de Coniglio *et al.*, (2006). / **Figure 2:** Graphical representation of F contents in the Los Ratones pluton and other similar rocks. **A.** The Los Ratones Pluton and other igneous rocks outcropping in the studied area (this work). **B.** The Cerro Áspero batholith (CAB), (Sierra de Comechingones, Córdoba), metamorphic country rocks and Famatinian granitoids data (Coniglio *et al.*, 2006). Plutons of the CAB: PAC (Alfa Corral pluton), PET (The Talita pluton), PLC (Los Cerros pluton) (Pinotti *et al.*, 2002). **C.** high-K granitoids of the Pelotas batholith, Santa Catarina Fluoritic District, Brazil (DFSC) (Sallet, 1988, Sallet *et al.*, 2000). **D.** F content in different rocks after Allmann and Koritning (1972) and Lee and Christiansen (1986); (1) = alkaline series, (2) = potassic alkaline series, (3) = calc-alkaline series, (4) = tholeiitic series. The small vertical bar indicates average values. The vertical dashed line at the value of 0.1% is also shown for reference. Modified from Coniglio *et al.*, (2006).

Metodología

Los análisis para determinar el contenido de F en roca total se realizaron en los laboratorios ACTLABS (Activation Laboratories Ltd. Ontario, Canadá), a través del método “Ion Selective Electrode” (ISE). El límite de detección fue de 100 ppm y la reproducibilidad de los análisis en 4 muestras duplicadas fue menor a 40 ppm. Se analizaron un total de 19 muestras de las cuales 8 pertenecen a las principales facies del PLR (4 a la facies porfírica y 4 a la facies equigranular); el resto son muestras tomadas de los diques sin y tardiomagmáticos, las riolitas y los diques básicos. Los elementos minoritarios (Ba, Rb, Sr y U) fueron determinados por “Pressed Pelled-XRF” en el mismo laboratorio.

Resultados

Los datos de contenido de F en roca total de las muestras analizadas en este trabajo se presentan de forma sintetizada comparativa en la figura 2, junto con datos de otros autores. El contenido de F en el PLR varía desde 500 hasta 8100 ppm, con un promedio de 3825 ppm (tabla 1). Los valores más elevados están contenidos en la facies equigranular con un valor promedio cercano a los 5000 ppm. Se observa un valor elevado de 8100 ppm en una muestra tomada del cuerpo aplopegmatítico ubicado en la quebrada Las Pircas (figura 1).



La figura 2 muestra una variación muy amplia del contenido de F en las rocas graníticas del BCA, donde los valores varían entre 150 a 4700 ppm. En el PLR la variación también es amplia pero el rango de contenido de F es sustancialmente más elevado. El alto contenido de F en el PLR supera además, y de manera importante, al de los granitos del DFSC. Es evidente que el PLR y las rocas de otras tipologías que afloran en la zona presentan contenidos de F altos, los que superan los promedios propuestos por Allmann y Koritning (1972) y Christiansen y Lee (1986).

En el diagrama triangular Sr-Ba-Rb (figura 3-A) se observa la evolución de las rocas graníticas del PLR definida por un aumento de Rb y disminución de Sr y Ba. La totalidad de las muestras grafican en el dominio de los granitos muy diferenciados, según los campos definidos por El Bouseily y El Sokkary (1975). Esta tendencia es también característica en otros granitos porfíricos y equigranulares carboníferos de las Sierras Pampeanas Noroccidentales (Grosse, 2007). Las figuras 3-B y C se muestran para fines comparativos y representan series graníticas que hospedan mineralizaciones magmático-hidrotermales y epitermales similares a las que ocurren en PLR y su entorno encajonante.

El comportamiento evolutivo mostrado en las figuras 3-B y C, en su conjunto, es el que presenta la serie granítica de alto K y difiere de las típicas series calcoalcalinas, las que muestran una evolución marcada por un aumento en la relación Ba/Sr acompañado de un muy ligero incremento en Rb que nunca supera el 20%. Las porciones más evolucionadas de estos granitos se sitúan muy próximas al vértice con Rb, característica que presentan los granitos alcalinos ricos en sílice (Imeokparia, 1984; Sallet, 1988; Sallet *et al.*, 2000). En este caso, el concepto de granito alcalino hace referencia a aquellos con plagioclasa con menos de un 5 % de anortita molar, con una alta relación álcalis/calcio en los términos muy diferenciados, ricos en sílice y aluminio (aluminous A-Type granites, King *et al.*, 1997). Esta tipología de granitos tiene altos contenidos de F como conspicua impronta geoquímica (Sallet *et al.*, 2000; Coniglio *et al.*, 2006; Rapela *et al.*, 2008).

En el PLR análisis preliminares de química mineral realizados por Maza Erice (2007) revelan la presencia de biotitas enriquecidas en F ($F = 1,15$ a $1,19\%$), lo cual es coherente con un magma originalmente rico en la relación F/H_2O . Biotitas con procesos de alteración subsólida e inclusiones de minerales radiactivos fueron observadas en las secciones delgadas, acompañadas de otros minerales encargados de fraccionar F, como fluorita (accesoria y subsólida) y apatita. En la figura 4-A se coteja el contenido de P_2O_5 y F en roca total de las facies porfírica y equigranular del PLR, como un modo preliminar de evaluar la mineralogía portadora de flúor. Dicho gráfico muestra una definida correlación negativa entre F y P. Por otra parte, la afinidad geoquímica entre el U y F en el PLR se muestra en la figura 4-C. Se observa una correlación positiva en las muestras de la facies equigranular y una tendencia poco definida para la facies porfírica y diques tardiomagmáticos. La facies equigranular del PLR es probablemente la más importante desde el punto de vista metalogénico para los depósitos magmático-hidrotermales (greisen), debido a su mayor contenido de minerales de radioactivos y porque es geoquímicamente más evolucionada y enriquecida en otros metales (W, Sn, Zn) (Arrospide 1985). En la figura 4 B y D los datos de diques básicos paleozoicos, los diques básicos con Kaersutita (cretácicos) y las riolitas se graficaron para comparación con las rocas del PLR. Las figuras 4-B y D muestran que el dique andesítico emplazado concomitantemente con el magmatismo del PLR posee un contenido de F muy superior al de los otros diques básicos paleozoicos y cretácicos. Deberán profundizarse los estudios para determinar si pertenece o no al mismo magmatismo básico paleozoico distinguido hasta el presente (Franzoni, 2010).

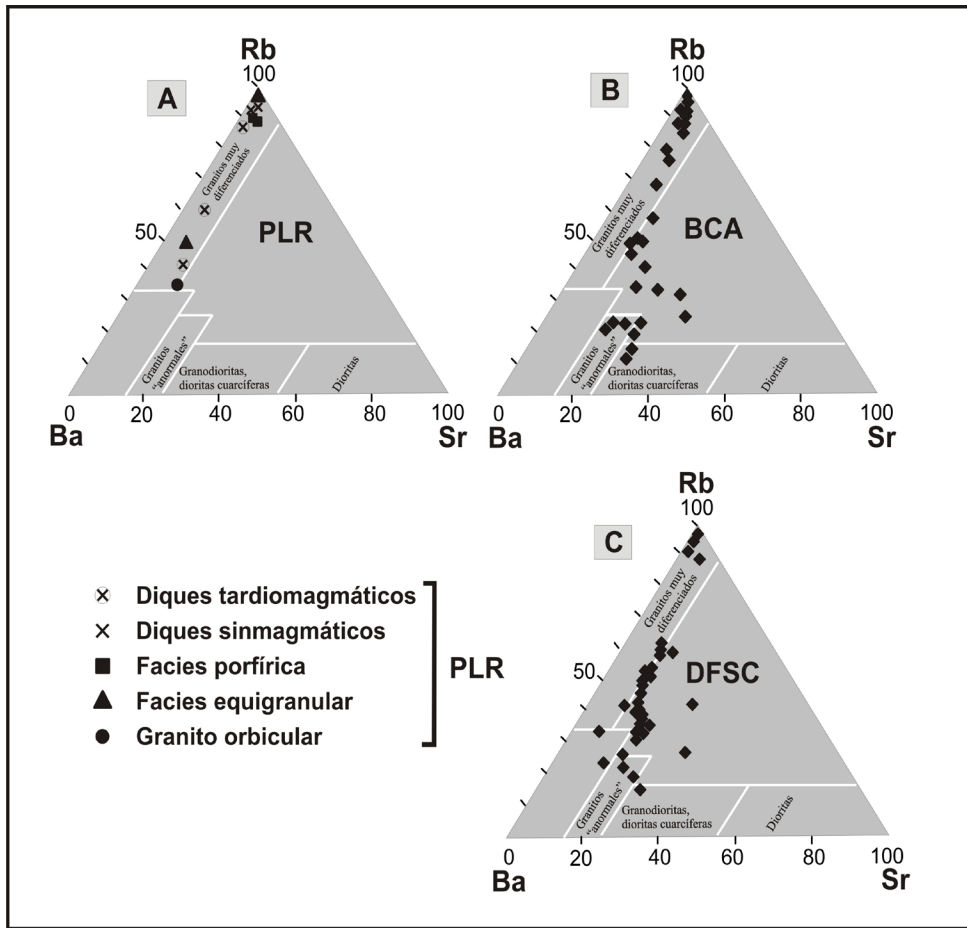


Figura 3. A. Diagrama triangular Sr-Ba-Rb (El Bouseily y El Sökkary, 1975). PLR (Plutón Los Ratones, Catamarca) y comparación con granitos que hospedan similares mineralizaciones de fluorita y uranio. **B.** BCA (Batolito Cerro Áspero, Córdoba, según datos de Coniglio, 2006). **C.** DFSC (Distrito Fluorítico Santa Catarina, batolito Pelotas, según datos de Sallet, 1988). Para el BCA y el DFSC se utilizaron los mismos símbolos, sin discriminar por plutones o facies graníticas. / **Figure 3. A.** Sr-Ba-Rb triangular diagram (El Bouseily and El Sökkary, 1975). PLR (The Los Ratones pluton, Catamarca) and comparison with similar granites that host fluorite and uranium mineralization. **B.** BCA (The Cerro Áspero batholith, Córdoba, after Coniglio, 2006). **C.** DFSC (Santa Catarina Fluoritic District, Pelotas batholith, after Sallet, 1988). The same symbols for the BCA and DFSC were used, without discriminating granitic plutons or facies.

Discusión

El análisis de la figura 3 sugiere que la tendencia evolutiva del magmatismo que formó el PLR posee algunas de las características de la serie granítica de alto K. En particular, todas las rocas analizadas se ubican dentro del campo de los granitos muy diferenciados y no se han encontrado facies menos evolucionadas, como las que presentan el BCA (Córdoba) (Coniglio *et al.*, 2006) y el batolito Pelotas (DFSC, Brasil) (Sallet, 1988; Sallet *et al.*, 2000). Todos estos ejemplos presentan como característica común la riqueza en F, y de manera conspicua el PLR es el que muestra los valores más elevados (figura 2). Normalmente los contenidos extremada

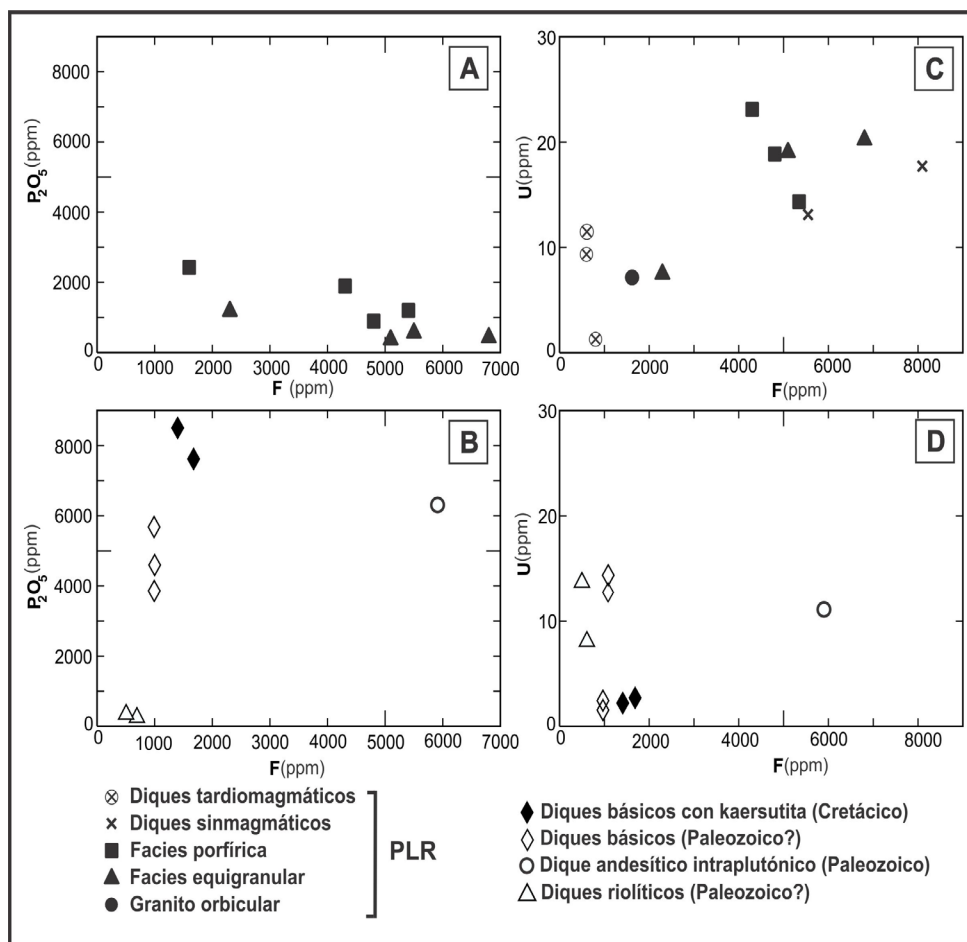


Figura 4. A y B: Diagrama P_2O_5 - F en roca total. C y D: Diagrama U - F en roca total. A y C: PLR (facies porfírica, equigranular y diques sin y tardiomagmáticos). B y D: Diques riolíticos y diques básicos paleozoicos y cretácicos (ver texto). / **Figure 4.** A and B: P_2O_5 vs. F diagram (whole rock data). C and D: U vs. F diagram (whole rock data). A and C: Los Ratones Pluton (PLR) (porphyritic and equigranular facies, synmagmatic dykes and late magmatic dykes). B and D: rhyolitic dykes and Paleozoic and Cretaceous basic dykes (see text).

mente elevados de F coinciden, en los granitos más evolucionados, con la presencia de abundante fluorita accesoria. En la serie granítica de alto K, la formación de fluorita accesoria está favorecida por un comportamiento incompatible del F en el magma y este comportamiento puede ejercer además un control fundamental en la distribución espacial y desarrollo de los depósitos magmático-hidrotermales de W-Sn y otros metales (Coniglio *et al.*, 2008).

Es importante destacar en este marco comparativo regional que una de las características metalogenéticas de la serie granítica de alto K es que frecuentemente desarrollan sistemas magmático-hidrotermales con formación de depósitos tipo greisen y depósitos epitermales ricos en F y U (Coniglio *et al.*, 2008). Ambos sistemas suelen estar separados por un intervalo generalmente mayor a los 250 Ma. En un marco comparativo con casos similares de Argentina y Brasil, se observa que, independientemente de la edad del magmatismo granítico, el sistema epitermal espacialmente asociado se desarrolló de manera consistente durante el Mesozoico y

el Cenozoico (Coniglio *et al.*, 2010).

Considerando la hipótesis de lixiviación hidrotermal de los granitos del PLR como fuente de F de las mineralizaciones epitermales mesozoicas, la correlación negativa entre F y P de la figura 4-A sugiere preliminarmente que los principales aportes de F deberían provenir de la destrucción de biotita y fluorita (accesoria y subsólida), comparativamente mucho más importante que el aporte que podría haber efectuado la apatita. En las fluoritas epitermales vetiformes de las Sierras de Córdoba, hospedadas en el BCA y batolito de Achala, las características geoquímica de las fluoritas (composición isotópica de Sr y Nd) y contenido de ETR, fue aportado principalmente por la alteración hidrotermal de los granitos hospedantes (Galindo *et al.*, 1997; Coniglio *et al.*, 2000, 2006). En estos batolitos las mineralizaciones epitermales son portadoras de F y/o U y en algunos depósitos existen evidencias texturales y mineralógicas de que ambos elementos están temporalmente asociados (Coniglio *et al.*, 2000).

Hu *et al.* (2008) al abordar la metalogénesis del uranio del sur de China han sugerido una asociación espacial y/o genética entre magmatismo básico, extensión cortical durante el Cretácico y Terciario y formación de depósitos vetiformes. Morello *et al.* (2011), sobre la base de edades U/Pb en pechblendas y la relación espacial de la mineralización con el volcanismo alcalino asociado al rifting cretácico que tuvo lugar en el área de Fiambalá, proponen un nuevo modelo genético alternativo en dos etapas: en la primera habría tenido lugar la lixiviación del uranio del granito por acción de la greisenización carbonífera y en la segunda se habría desarrollado un sistema hidrotermal por acción del magmatismo asociado al rifting cretácico, proceso que habría dado origen al yacimiento Las Termas.

Si bien en el área de Los Ratonés la presencia de diques básicos cretácicos, relativamente ricos en F, no puede descartarse como posible fuente de F y U para las mineralizaciones epitermales, es difícil sostener dicha fuente en un modelo descriptivo-genético cuando se realizan comparaciones regionales en Sudamérica. Aunque las rocas básicas alcalinas mesozoicas son relativamente comunes en las Sierras Pampeanas, precisamente en el área del BCA y su entorno encajante no han sido identificadas (Coniglio *et al.*, 2010), como tampoco son importantes en el batolito de Achala (Lira y Kirschbaum, 1990) ni en el DFSC (Sallet, 1988). Por esta razón se considera a las rocas básicas mesozoicas de la zona de Fiambalá como un atributo permisivo, factor presente pero no determinante del modelo descriptivo-genético, de acuerdo a la propuesta de Adams (1985), aunque indudablemente pueden ejercer una influencia como un metalotecto local. La comparación de las figuras 4-C y D muestra que los diques básicos cretácicos poseen muy bajos contenidos de uranio relativos al PLR, y por lo tanto serían rocas menos fértiles para formar depósitos epitermales de uranio por procesos de lixiviación hidrotermal. Estos datos sumados a las evidencias de campo y mineralógicas sugieren que probablemente los depósitos de F y U del área de Los Ratonés respondan a un proceso metalogenético común, probablemente similar al responsable de las mineralizaciones mencionadas para las Sierras de Córdoba.

Como ocurre en los casos comparados del BCA y del DFSC, se observa en el PLR que la evolución metalogenética no fue simplemente consecuencia de la cristalización de un magma, sino el producto de múltiples eventos hidrotermales con más de 280 Ma de evolución tectónica y térmica, de acuerdo a las edades obtenidas por Grissom (1991) y Morello *et al.*, (2011).

Esta larga evolución metalogenética es una característica sobresaliente de los llamados granitos HHP (*high heat production*), dada por los relativamente elevados contenidos en K, Th y U. Ejemplos de este tipo son el batolito de Cornwall, Inglaterra, cuyo flujo calórico se manifiesta por más de 200 Ma, (Jackson *et al.*, 1989), el BCA (Coniglio *et al.*, 2011) y el batolito Pelotas (DFSC) (Sallet, 1988). Preliminarmente también dentro de esta categoría de granitos

HHP se clasificaría el PLR (de la Hoz, datos inéditos).

De este modo los autores citados han sugerido que los granitos HHP podrían aportar F, U y otros metales para las mineralizaciones epitermales postplutónicas y generar convección hidrotermal conducida por una fuente local de calor radiogénico, aportada por la desintegración de U, Th y K. Las aguas termales que surgen del granito Los Ratones atestiguan el dinamismo de este ambiente y probablemente sean la evidencia actual de paleosistemas hidrotermales complejos, sobreimpuestos, asociados con granitos de alta producción de calor.

Conclusiones

Las evidencias de campo, mineralógicas y geoquímicas encontradas indican que el plutón Los Ratones es un granito HHP (*high heat production*).

Este granito es la fuente de F, U y otros metales de las mineralizaciones epitermales postplutónicas asociadas.

La desintegración radiactiva de U, Th y K del plutón produjo una fuente local de calor, generando convección hidrotermal; las aguas termales que surgen del granito Los Ratones atestiguan el dinamismo de este ambiente y probablemente sean la evidencia actual de paleosistemas hidrotermales complejos, polifásicos, sobreimpuestos, con más de 280 Ma de evolución tectónica y térmica, asociados con granitos de alta producción de calor.

Es necesario seguir profundizando los estudios metalogenéticos para fundamentar, con otras evidencias geoquímicas y mineralógicas, el origen del F y U por lixiviación de las rocas graníticas en las mineralizaciones epitermales de la sierra de Fiambalá.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los licenciados Franco Guidi y Luis Ferreira, de la Comisión Nacional de Energía Atómica Regional Noroeste y a su personal, por permitir el acceso al área del yacimiento Las Termas y por el apoyo logístico brindado durante las primeras campañas. A los Drs. Sergio Gorustovich y Fernando Hongn por sus valiosos aportes y recomendaciones para enriquecer este trabajo. A los técnicos Alejandro Nieva y Rodrigo Barrozo de la Universidad Nacional de Salta, que estuvieron a cargo de la preparación de muestras para análisis geoquímicos y cortes delgados respectivamente. El presente trabajo ha sido realizado mediante los proyectos PICTO 7-36673 (UNSA), PICT-1477 y el Programa PPI (2011-2013, SECYT-UNRC).

Referencias

- Adams, S. S., 1985. Mineral deposit modeling in exploration. *Internacional Workshop on Gold Deposits Modeling in Exploration*. Golden, 1985.
- Allmann, A. y Koritnig S. 1972. Fluorine. En: *Handbook of Geochemistry*. Vol.II/1. Cap. 9. Wedepohl, K. H. (Ed.).
- Arrospide, A. 1985. Las manifestaciones de greisen de la sierra de Fiambalá, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 40(1-2): 97-113.
- Baalmann, I., 1998. Análisis comparativo de imágenes satelitarias, fotos aéreas y control de campo en relación con las mineralizaciones de la sierra de Fiambalá (Prov. de Catamarca). *Revista del Instituto de Geología y Minería*. Publicación Especial N° 3: 1-36.
- Burgos, J. 1996. [El Cizallamiento NO-SE que controla las mineralizaciones de estaño-wolframio y uranio. Delimitación de potenciales estructuras en la Sierra de Fiambalá y áreas vecinas, Provincia de Catamarca, Comisión Nacional de Energía Atómica. Departamento Regional Noroeste, Buenos Aires. 6 pp Inédito].

- Burgos, J. 1999. Manifestación Las Termas, distrito uranífero Tinogasta, Catamarca. En: Zappettini, E. (Ed.), *Recursos Minerales de la República Argentina*. Segemar, Anales 35: 601-608.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales, Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja San Juan. En: *Segundo Simposio de Geología Regional Argentina*. Academia Nacional de Ciencias. Córdoba, 1: 225-291.
- Coniglio J. 2006. [Evolución petrológica y metalogénica del batolito Cerro Áspero en relación con el ciclo geoquímico endógeno del flúor. Sierra de Comechingones, Córdoba. Tesis Doctoral. UNRC, 170 pp Inédito].
- Coniglio, J. E., Xavier, R. P., Pinotti, L. and D'Eramo, F., 2000. Ore forming fluid of vein-type fluorite deposits of Cerro Aspero batholith, southern Córdoba Province, Argentina. *International Geology Review*, 42 (4): 368-383.
- Coniglio, J., D'Eramo, F., Pinotti, L., Demartis, M. y Petrelli, H. 2006. Magmatismo devónico de las Sierras de Córdoba: fuente posible de flúor de las mineralizaciones mesozoicas. El ejemplo del batolito Cerro Áspero. Avances en Mineralogía Metalogenia y Petrología. VIII Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Buenos Aires. Actas 1: 227-232, (ISBN 10:987-21577-2-3).
- Coniglio, J., Pinotti, L., D'Eramo, F., Petrelli, H., Demartis, M., Oddino, H. 2008. Fluorita accesoria en granitos de alto potasio: su aplicación en la prospección de mineralizaciones de W-Mo magmáticas hidrotermales. IX Cong. *Mineral. y Metalogenia* (Simposio dentro del Congreso Geológico Argentino), San Salvador de Jujuy, Actas, Tomo 2: 113-120.
- Coniglio, J., D'Eramo, F., Pinotti, L., Demartis, M., Agulleiro Insúa, L. y Petrelli, H., 2010. Control estructural de las mineralizaciones de fluorita del batolito Cerro Áspero, Sierras Pampeanas de Córdoba, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, Vol 67, 4: 507-520.
- Coniglio, J., D'Eramo, F., Pinotti, L., Demartis, M., Petrelli, H., Agulleiro Insúa, L., and de la Hoz, M. 2011. Petrological and metallogenic evolution of the Cerro Áspero batholith, Sierras Pampeanas, Argentina: an example of long-lived hydrothermal history related to high-K, F-rich granites. Society for Geology applied to Mineral Deposits (SGA), 11 th *Biennial Meeting*, Antofagasta, Chile. 4 pp (CD actas).
- Christiansen, E., H. and Lee, D.E. 1986. Fluorine and Chlorine in granitoids from the Basin and Range Province, Western United States. *Economic Geology*, 81: 1484-1494.
- de la Hoz, M. 2009. [Cuerpos y diques ácidos vinculados al yacimiento de uranio Las Termas, sierra de Fiambalá, Departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Salta. 58 pp Inédito].
- de la Hoz M., Coniglio J., Kirschbaum A. 2010. Evidencias de campo de un Sistema Epitermal de F – U en el Área del Granito Los Ratones, Fiambalá, Catamarca, República Argentina. *X Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Río Cuarto*. Comunicación, Actas: 353-354.
- El Bouseily A. y El Sakkary, A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chemical Geology*, 16: 207-219.
- Ferreira, L., Molina, J., Guidi, F., Hongn F., Morello, O., Kirschbaum A. y Rubinstein N. 2008. Aspectos Metalogénicos del Sector Central del Deposito de Uranio Las Termas, Provincia de Catamarca, *XVII Congreso Geológico Argentino*. San Salvador de Jujuy Actas, Tomo 2: 556 – 557.
- Franzoni, M. E. 2010. [Diques Básicos vinculados al yacimiento de uranio Las Termas, sierra de Fiambalá, Departamento Tinogasta, Provincia de Catamarca. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Salta. 80 pp Inédito].
- Galindo, C., Pankhurst, R. J., Casquet, C., Coniglio, J. E., Baldo, E., Rapela, C. W. and Saavedra, J. 1997. Age, Sr and Nd isotope systematics, and origin of two fluorite lodes, Sierras Pampeanas, Argentina. *Internacional Geology Review*, 39: 948-954.
- Grissom, G. C. 1991. [Empirical constrains on thermal processes in the deep crust of magmatic arcs: sierra de Fiambalá, Northwestern Argentina. Informe N° 720/91, Dissertation Department of Geology, Stanford University. U.S.A].
- Grosse, P. 2007. [Los granitos porfíricos y orbiculares del sector centro-oriental de la Sierra de Velasco: Génesis y significación regional. Tesis Doctoral. UNC., 285 pp. Inedito].
- Grosse, P., Toselli, A. J. and Rossi, J. N. 2010. Petrology and geochemistry of the orbicular granitoid of Sierra de Velasco (NW Argentina) and implications for the origin of orbicular rocks. *Geological Magazine*, 147: 451-468.
- Guidi, F. 1999. Caracterización química y mineralógica del granito Los Ratones (Sierras Pampeanas Noroccidentales, provincia de Catamarca). *XIV Congreso Geológico Argentino*, Salta. Actas, Tomo 2: 167-170.
- 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., Bi, X., Zhou, M., Peng, J., Su, W., Liu, S., and Qi, H. 2008. Uranium Metallogenesis in South China and its relationship to crustal extension during the Cretaceous to Tertiary. *Economic Geology*, 103: 583-598.
- Imeokparia, E.G. 1984. Geochemistry of the granitic rocks from the Kwandonkaya complex, northern Nigeria. *Lithos*, 17:103-115.
- Jackson, N., Willis-Richards, J., Manning, D., and Sams, M. 1989. Evolution of the Cornubian ore-field, southwest England: Part II Mineral Deposits and ore-forming processes. *Economic Geology*, 84:1101-1133.

- King, P.L., White, A.J.R., Chappell, B.W. y Allen, C.M. 1997. Characterization and origin of aluminous A-type granites from the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia. *Journal of Petrology*, 38: 371-391.
- Lira, R. y Kirschbaum, A. 1990. Geochemical evolution of granites from the Achala batholith of the Sierras Pampeanas, Argentina. In: Plutonism From Antarctica to Alaska. En: S. Kay and C. Rapela (Eds.) *Geological Society of America, Special Paper* 241: 67-76.
- Maidana, J. S. 1989. [Estudio preliminar petrológico, geoquímico y radimétrico de base del área Los Ratones, sierra de Fiambalá, Dpto Tinogasta, Provincia de Catamarca. CNEA, Inédito].
- Maza Erice M. S. 2007. [Reconocimiento y Caracterización Petrológica y Geoquímica del Granito Los Arboles, Sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. Trabajo Final de Licenciatura. Universidad Nacional de San Juan. 76 pp Inédito].
- Morello, O. 1990. [Estudio mineralógico sobre muestras de la Manifestación Las Termas-Fiambalá, Dpto. Tinogasta. Provincia de Catamarca. Informe DEE 30-90, Comisión Nacional de Energía Atómica, Inédito].
- Morello O. 2008. Edad de la Mineralización de Uranio Las Termas, Fiambalá, Catamarca, *XVII Congreso Geológico Argentino. San Salvador de Jujuy*. Actas, 2: 641.
- 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., Rubinstein N., Hongn F., Ferreira, L., Anesa, J., y Arias, A. 2011. Modelo metalogénico del yacimiento de uranio Las Termas, Fiambalá, Catamarca, Argentina. *Boletín Geológico y Minero*, 122 (3): 325-332.
- Page, S., Page, R. F. y Viruel de Ramírez, M. 1992. El basamento de la sierra de Fiambalá, provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 47(4): 373-388.
- Pinotti, L. P., Coniglio, J. E., Esparza, A. M., D'Eramo, F.J., and Llambías, E. J. 2002. Nearly circular plutons emplaced by stoping at shallow crustal levels. Cerro Aspero Batholith, Sierras Pampeanas de Cordoba, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 15 (2): 251-265.
- Rapela, C. W., Baldo, E. G., Pankhurst, R. J., and Fanning, C. M. 2008. The Devonian Achala Batholith of the Sierras Pampeanas: F-Rich, Aluminous A-Types Granites. En: Linares, E., Cabaleri, N., G., Do Campo, M. D., Ducós, E. I., and Panarello, H.O. (Eds.). *VI South American Symposium on Isotope Geology*. Proceedings in CD-ROM, Paper 53: 8 pp.
- Rubinstein N. y Morello O. 1999. Alteración hidrotermal del Granito Los Ratones, Catamarca, Argentina. *Actas XIV Congreso Geológico Argentino*. Salta. Actas, Tomo 2: 327-328.
- Routhier, P. 1980. Où sont les métaux pour l'avenir?. Mémoire du BRGM, n° 105, Orleans, 410 pp.
- Sallet, R. 1988. [Etude pétrologique et métallogénique d'un secteur du district à fluorine de Santa Catarina, Brésil: Thèse de Doctorat de l'Université Paris 6. 233 pp Inédito.]
- Sallet, R., Moritz, R. and Fontignie, D. 2000. Fluorite $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ and REE constraints on fluid-melt relations, crystallization time span and bulk DSr of evolved high-silica granites. Tabuleiro granites, Santa Catarina, Brazil. *Chemical Geology*, 164: 81-92.
- Toselli, A. J., Durant, F. R., Rossi, J. N., Saavedra, J. y Sial, A. N. 1996. Granitos peraluminosos de la zona batolítica central de las Sierras Pampeanas (NW Argentino): Relaciones y significado geotectónico. *XII Congreso Geológico de Bolivia*, Tarija, Bolivia. Memorias II: 755-768.
- Toselli, A. J., Rossi, J. N., Baez, M. A. y Grosse, P. 2006. Granitos post-orogénicos carboníferos en la Sa de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina. *Actas XI Congreso Geológico Chileno*, Antofagasta, Chile. 2: 561-564.

Recibido: 29 de Diciembre del 2013

Aceptado: 26 de Junio del 2014

Apendice: Tabla 1

Muestra	M016D	M016	IP-4	M014	M-18	M-18A	AGU-3	AGU-4	LA6	M016A	M016B	LA8-GR	LPI-RC	LPI-RW	1-DBF	2-DBP	3-DBP	4-DBF	AM A-1	M-LB2	M016E
Petrología	Dique sin-magmático	Dique tadio-magmático	Dique Sin-magmático	Dique tadio-magmático	Granito porfídico	Granito porfídico	Granito porfídico	Granito porfídico	Granito orbicular	Granito equigranular	Granito equigranular	Granito equigranular	Robla	Robla	Dique básico	Dique básico	Dique básico	Dique básico	Dique básico con keraunita	Dique básico con keraunita	Dique Andesítico
SiO ₂	72.25	74.71	73.85	74.62	75.89	75.83	73.42	74.67	70.45	73.56	73.61	75.58	75.91	75.11	53.56	50.52	49.95	54.15	53.68	51.82	55.87
Al ₂ O ₃	14.31	13.56	12.02	13.48	11.95	11.81	12.93	12.57	13.36	12.53	12.47	12.79	12.58	12.44	15.96	15.66	16.04	16.04	13.84	13.75	14.24
Fe ₂ O ₃	1.72	0.82	2.77	0.84	1.63	1.65	2.02	1.85	3.44	2.47	2.43	1.19	1.73	2.54	4.54	4.54	4.23	4.33	10.66	11.22	9.72
MnO	0.08	0.04	0.09	0.02	0.02	0.02	0.04	0.06	0.06	0.04	0.07	0.02	0.01	0.06	9.43	10.13	10.24	8.90	0.17	0.20	0.20
MgO	0.15	0.02	0.07	0.01	0.03	0.05	0.21	0.17	0.39	0.24	0.24	0.03	0.10	0.33	7.58	9.85	10.16	8.05	2.98	3.76	2.02
CaO	0.72	0.76	0.87	0.62	0.78	0.76	0.76	0.65	1.26	0.88	0.84	0.64	0.18	0.32	2.44	2.44	2.49	2.39	6.70	6.19	5.91
Na ₂ O	3.78	4.35	3.77	4.56	3.25	3.28	3.51	2.94	3.11	2.88	2.92	3.35	2.90	2.67	1.64	1.34	1.48	1.78	4.55	4.14	4.31
K ₂ O	5.12	4.91	5.01	4.88	5.47	5.59	5.93	5.89	6.21	5.89	5.82	5.13	5.64	4.38	1.93	2.20	2.21	2.05	2.27	2.73	2.85
P ₂ O ₅	0.15	0.12	0.20	0.09	0.02	0.01	0.06	0.05	0.11	0.05	0.06	0.03	0.02	0.02	0.45	0.39	0.45	0.59	0.75	0.74	0.63
TiO ₂	0.10	0.13	0.11	0.10	0.14	0.12	0.18	0.19	0.46	0.29	0.28	0.07	0.11	0.20	1.16	0.16	0.17	0.17	2.30	2.22	2.32
PPC	1.62	0.58	1.24	0.78	0.82	0.88	0.94	0.96	1.15	1.17	1.26	1.17	0.82	1.93	1.31	2.77	2.58	1.55	2.10	3.23	1.93
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Rb	940	859	278	706	543	498	341	340	232	729	322	696	372	435	310	67	39	298	86	76	453
Se	22	7	21	9	13	13	80	41	105	8	53	8	404	31	70	545	509	65	728	732	265
Ba	34	12	16	19	50	41	343	159	364	11	270	20	988	50	233	346	320	240	1080	852	311
Th	24.8	81.1	0.3	35.3	88.7	99.5	61.8	49	50.9	86.4	59.3	59.9	63.5	70.7	63.6	4.5	4.7	65	6	7.7	34.8
U	13.8	17.7	1.3	23.1	14.2	18.8	9.2	11.3	7.1	20.3	7.6	19.1	8	13.7	12.9	1	1.4	13.7	2.1	2.6	11.1
F	0.55	0.81	0.08	0.43	0.54	0.48	0.06	0.06	0.16	0.68	0.23	0.51	0.06	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.14	0.17	0.59

Tabla 1: Valores de elementos químicos obtenidos a través de los análisis geoquímicos en roca total.