



Estudio preliminar de los contenidos de elementos de tierras raras e inclusiones fluidas en fluoritas hidrotermales de la sierra de Ancasti, Catamarca, Argentina

Matías E. IRIARTE¹, Teresita MONTENEGRO², Fernando G. SARDI¹ y Uwe ALTENBERGER³

¹ Instituto Superior de Correlación Geológica (INSUGEO, CONICET-UNT).

² Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA, UBA-CONICET).

³ Institute of Earth and Environmental Science - Universität Potsdam, Alemania.

Emails: me-iriarte@hotmail.com; fgsardi@csnat.unt.edu.ar; mon@gl.fcen.edu.ar; uwe@geo.uni-potsdam.de

Editores invitados: Fernando Colombo y Manuel Demartis

Recibido: 1 de octubre de 2019

Aceptado: 18 de agosto de 2021

RESUMEN

Este artículo presenta un aporte preliminar sobre los contenidos de REE (elementos de tierras raras), petrografía y microtermometría de inclusiones fluidas de vetas de fluorita hidrotermal del distrito fluorítico El Portezuelo - Los Mudaderos, ubicado al noroeste de la sierra de Ancasti, Catamarca, Sierras Pampeanas. Estas vetas se emplazan en los granitos Sauce Guacho (333.9 ± 10.7 Ma) y Los Mudaderos (369.8 ± 5.3 Ma) y en el basamento metamórfico (Formación Ancasti). La microtermometría de inclusiones fluidas se realizó en láminas de exfoliación de fluorita violeta granular de mina Dal, mientras que la composición de REE se analizó en fluoritas de tres vetas distintas, mediante ICP-OES. El contenido de REE varía de 6.70 a 64.33 ppm. Las relaciones $LREE/HREE > 1$, los altos valores La_n/Yb_n y los patrones de distribución indican enriquecimiento en tierras raras livianas, sugiriendo una mineralización a partir de fluidos hidrotermales tempranos y poco fraccionados. La anomalía negativa de Eu indicaría baja fugacidad de oxígeno durante la formación de fluorita. Los contenidos de Tb y La indican origen hidrotermal, concordante con los rasgos geológicos y textural-mineralógicos que, además, muestran más de un pulso mineralizante y bajas temperaturas de formación. Las inclusiones fluidas varían en tamaño y forma, son predominantemente bifásicas y muestran temperatura media de homogeneización de 126 °C. El eutéctico se registró entre -21 °C y -24 °C y la fusión del último cristal de hielo fue metaestable, siempre ≥ 0 °C. Las características texturales de las vetas y de sus rocas de caja indicarían un emplazamiento muy somero de las mismas.

Palabras clave: geoquímica, microtermometría, epitermal, Sierras Pampeanas

ABSTRACT

Preliminary study of the REE composition and fluid inclusions in hydrothermal fluorites of the Ancasti range, Catamarca, Argentina.

This paper is a preliminary contribution of the REE composition, petrography and microthermometry of fluid inclusions of hydrothermal fluorite veins of the El Portezuelo - Los Mudaderos fluoritic district, northwestern Ancasti range, Sierras Pampeanas, Catamarca province. The veins are located in Sauce Guacho (333.9 ± 10.7 Ma) and Los Mudaderos (369.8 ± 5.3 Ma) granites and in the metamorphic basement (Ancasti Formation). The microthermometric data of fluid inclusions were obtained from granular violet fluorite exfoliation plates from Dal mine, while the REE composition was measured by ICP-OES in fluorite from three different veins. The REE content varies from 6.70 to 64.33 ppm. $LREE/HREE > 1$, high La_n/Yb_n values and distribution patterns indicates enrichment in LREE, suggesting mineralization from early and weakly fractionated hydrothermal fluids. Negative Eu anomaly indicate low oxygen fugacity during

fluorite formation. The geochemical data of Tb and La indicate a hydrothermal origin, consistent with the geological and textural-mineralogical features that, in addition, show more than one mineralizing pulse and low formation temperatures. Fluid inclusions vary in size and shape, are predominantly biphasic and show average homogenization temperature of 126 °C. The eutectic was registered between -21 °C and -24 °C and final ice melting was metastable and always ≥ 0 °C. The veins and host rocks textural features show a shallow emplacement for the fluorite veins.

Keywords: geochemistry, microtermometry, epithermal, Sierras Pampeanas.

INTRODUCCIÓN

El distrito fluorítico El Portezuelo - Los Mudaderos ha sido definido por Barber et al. (1994). Ocupa el sector noroeste de la sierra de Ancasti, provincia de Catamarca, perteneciente a la unidad morfoestructural de Sierras Pampeanas. En el ámbito de esta provincia geológica, además del distrito El Portezuelo-Los Mudaderos (EPLM) se pueden encontrar otras áreas similares con mineralizaciones epitermales de fluorita (Fig. 1). Entre ellas, se destaca en las Sierras Pampeanas Orientales de Córdoba un distrito ubicado en la Sierra Grande en los bordes del Batolito de Achala y en el Batolito Cerro Áspero en la sierra de Comechingones (Bonalmi et al. 1999, Coniglio et al. 2000, 2006, 2010) y los distritos Chus-Chus (La Rioja) y Pircas Coloradas (Catamarca) en las Sierras Pampeanas Occidentales de La Rioja y Catamarca (Bordese et al. 2016). Al sur del país, en otras provincias geológicas también se destacan importantes yacimientos de fluorita en el Bloque de San Rafael (Mendoza) (Mallimacci 1999), y en la Patagonia argentina en los Macizos Norpatagónico -Somuncurá (Aliotta 1999, Dill et al. 2016) y Surpatagónico -del Deseado (Márquez et al. 1994).

El distrito El Portezuelo - Los Mudaderos está constituido por vetas y vetillas de fluorita alojadas en granitos de características tipo S del Paleozoico superior (Toselli et al. 2011). Tiene un rumbo general NE y un área aproximada de 150 km². Se extiende desde la cuesta del Portezuelo (departamento Valle Viejo) hasta Guayamba (departamento El Alto) (Fig. 2).

Según el granito encajante de las vetas, pueden distinguirse claramente dos sectores: sector "Sauce Guacho", con la mina Dal (28° 19' 46" S, 65° 27' 29" O) como su representante más importante y el sector "Los Mudaderos" (28° 25' 45" S, 65° 31' 48" O) con diversas vetas alojadas en el granito homónimo (Fig. 3).

Varias vetas del distrito El Portezuelo-Los Mudaderos han sido motivo de explotación a mediados y fines del siglo pasado, siendo la mina Dal la de mayor importancia por el volu-

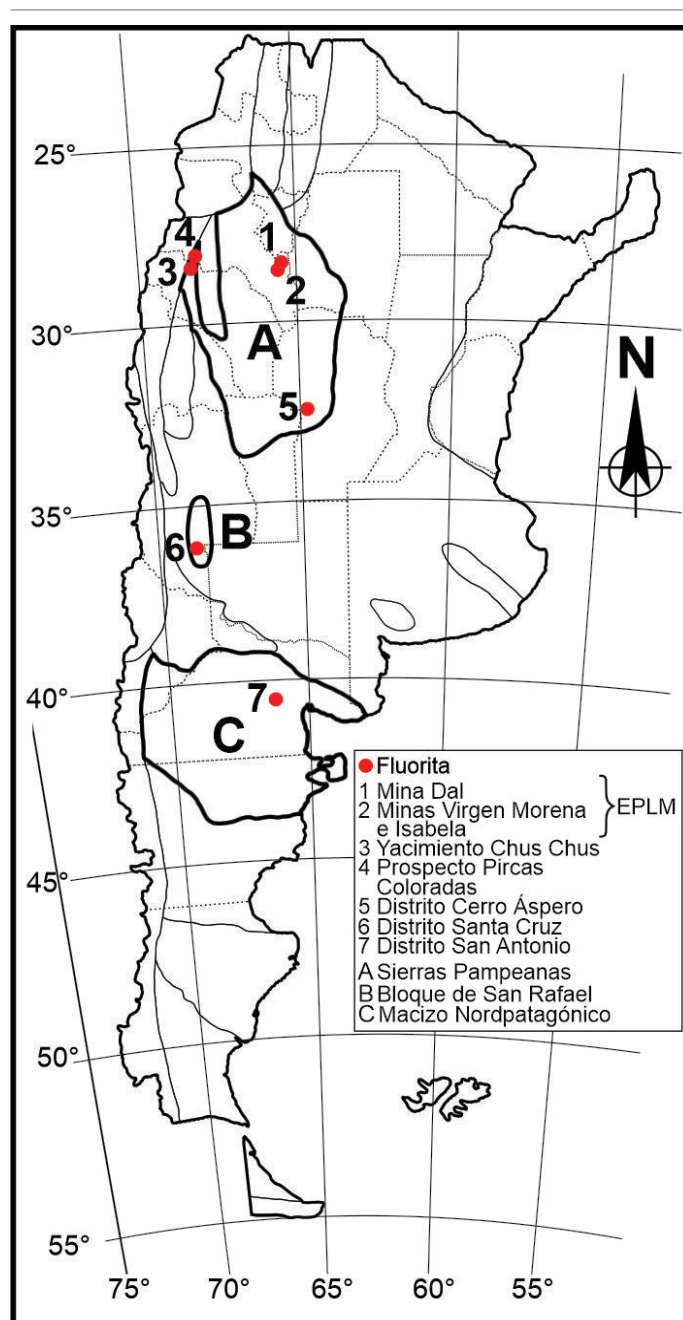


Figura 1. Principales manifestaciones fluoríticas de la República Argentina.

men de mineral extraído tanto a cielo abierto como en forma subterránea, que incluye unos 800 m lineales de labores distribuidas en tres niveles (Schalamuk et al. 1983). La producción era destinada a importantes siderurgias del país. Bazán y Vides de Bazán (1983) mencionan que entre 1965 y 1972 la producción promedio anual de la mina Dal fue de 4000 tn y en 1979 de 190 tn. En cuanto a la ley del yacimiento, Petec (1969) calcula contenidos entre 63 y 74 % de CaF_2 .

No existen estudios mineralógicos ni geoquímicos relacionados a inclusiones fluidas y composición del mineral de mena en términos de elementos de tierras raras en estos yacimientos. El objetivo de este trabajo es dar a conocer los contenidos de elementos de tierras raras de este mineral de algunas vetas del distrito El Portezuelo-Los Mudaderos, además de realizar un análisis microtermométrico utilizando inclusiones fluidas en fluorita de mina Dal y, de esta manera, aportar información respecto a la génesis de este sistema fluorítico vetiforme.

MARCO GEOLÓGICO

Sierra de Ancasti

El basamento metamórfico de la sierra de Ancasti está formado por rocas de diferentes tipos litológicos (Fig. 2): en el flanco oriental y sur de la sierra afloran gneises y migmatitas, mármoles, esquistos y anfibolitas constituyendo el Complejo Sierra Brava (Aceñolaza y Toselli 1977); el sector central de la sierra está dominado por la Formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli 1977) formada esencialmente por esquistos bandeados y en menor medida por micacitas cuarzosas y rocas calcosilicáticas; y hacia el flanco occidental aparecen principalmente gneises y migmatitas reconocidas como Formación El Portezuelo (Aceñolaza y Toselli 1977), recientemente integrado al Complejo metamórfico-ígneo El Portezuelo (Larovere et al. 2011). El material protolítico de estas rocas metamórficas habrían sido esencialmente sedimentos clásticos marinos depositados entre el Precámbrico tardío y el Cámbrico temprano (Aceñolaza y Toselli 1981, Willner 1983).

Durante el Ordovícico temprano y el lapso Devónico tardío - Carbonífero temprano, se producen en la sierra de Ancasti intrusiones de composiciones principalmente graníticas (monzo a sienogranitos, granodioritas) con afinidades geoquímicas de tipo S e I (Knüver 1983, Toselli et al. 1983, 2011, Cisterna 2003, Rapela et al. 2005, Dahlquist et al. 2011, 2012). Las intrusiones de composiciones intermedias y básicas son muy reducidas (Toselli et al. 1983, Cisterna 2003). La sierra de Ancasti contiene, además, un distrito pegmatítico

denominado con el mismo nombre por Galliski (1994) incluyendo cuerpos berilíferos, litíferos, y turmaliníferos (Lottner 1983, Sardi et al. 2013, 2017).

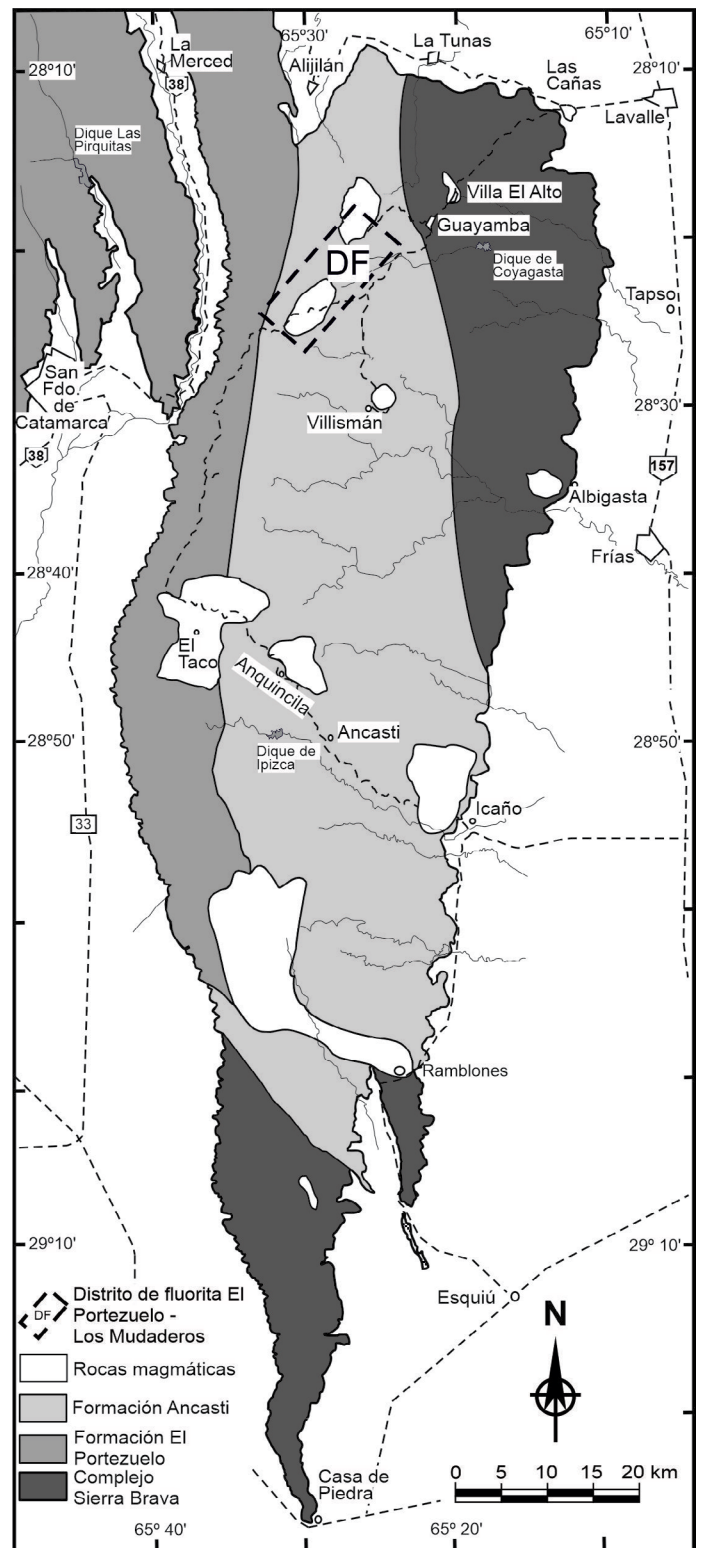


Figura 2. Mapa geológico de la sierra de Ancasti modificado de Sardi et al. (2017), con indicación del distrito fluorítico El Portezuelo – Los Mudaderos.

Distrito fluorítico El Portezuelo-Los Mudaderos

La roca metamórfica de mayor extensión en este distrito corresponde a esquistos bandeados de la Formación Ancasti (Fig. 3). El rumbo de la esquistosidad es en general N-S (valores varían entre N 350° y N 17°) e inclinación vertical a subvertical (60° - 90°).

La Formación Ancasti es intruida por los granitos Sauce Guacho y Los Mudaderos (también denominado Santa Rosa) en el sector NE del distrito fluorítico y hacia la porción SO, respectivamente. El contacto entre la roca de caja y los granitos es neto y no se observan fenómenos de metamorfismo de contacto ni deformativos (Toselli et al. 2011). Ambos cuerpos poseen formas sub-elípticas cuyos ejes mayores tienen dirección general NE-SO y una longitud de unos 7 km para el granito Sauce Guacho y de 8 km para el granito Los Mudaderos.

El granito Sauce Guacho tiene textura equigranular de grano fino a medio y también porfírica con fenocristales de microclino y composición monzo-sienogranítica mientras que el granito Los Mudaderos tiene similar composición litológica y textura y como minerales accesorios aparecen moscovita, biotita, ilmenita, turmalina, apatita, monacita, circón y rutilo (Toselli et al. 2011, Ryziuk et al. 2014).

Geoquímicamente, estos granitos son peraluminosos a fuertemente peraluminosos con afinidad a granitos tipo S (Toselli et al. 2011). Ryziuk et al. (2014) han concluido que estos granitos habrían evolucionado individualmente, intruidos en dos pulsos magmáticos temporal y espacialmente cercanos y en niveles corticales muy someros. La génesis de estos granitos se relacionaría a fenómenos de anatexis cortical en zonas de cizalla durante una tectónica de colisión o de transcurrancia de acuerdo a evidencias geoquímicas e isotópicas de ϵ_{Nd} (Toselli et al. 2011). Acosta Nagle et al. (2017), en base a la geotermometría de circón de Watson y Harrison (1983), determinan que el magmatismo que dio origen a los granitos Sauce Guacho y Los Mudaderos habría tenido una temperatura promedio de 734 °C y 780 °C, respectivamente.

Las dataciones radimétricas en estos granitos fueron realizadas por Knüver (1983) quien obtuvo una isócrona Rb/Sr, dando una relación inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0.716 y edad de 333.9 ± 10.7 Ma para el granito Sauce Guacho y por Toselli et al. (2011) quienes determinan una edad de 369.8 ± 5.3 Ma para el granito Los Mudaderos utilizando metodología U-Pb convencional en monacita. Estos valores encuadran al magmatismo que dio origen a los granitos Los Mudaderos y Sauce Guacho en el período Devónico tardío y Carbonífero temprano correspondiente al evento conocido como Achaliano (Sims et al. 1998) y como 'evento magmático del Carbonífero' (Dahlquist et al. 2010), respectivamente.

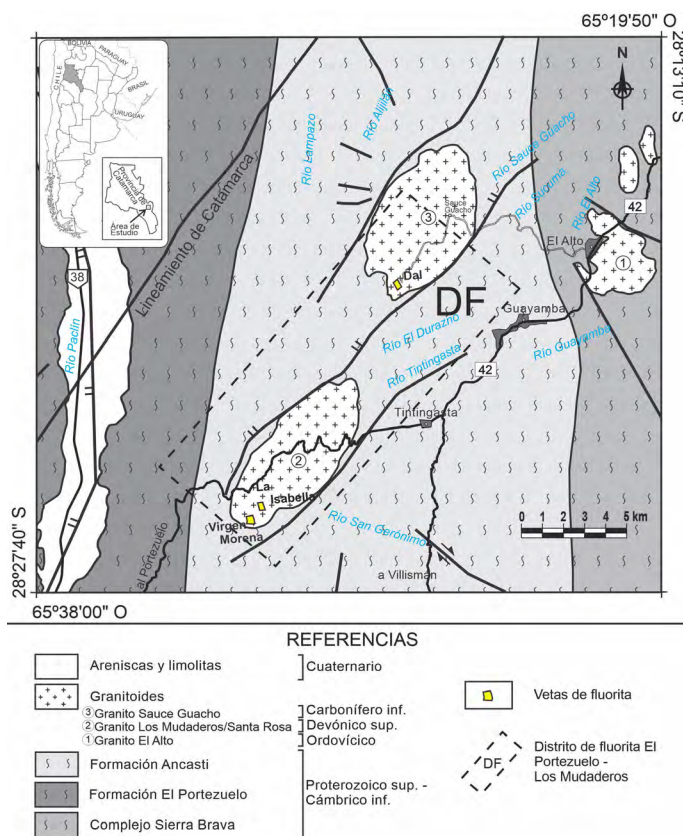


Figura 3. Mapa geológico del distrito fluorítico El Portezuelo – Los Mudaderos, sierra de Ancasti.

Las mineralizaciones de fluorita en el distrito El Portezuelo-Los Mudaderos se encuentran alojadas en los granitos Sauce Guacho y Los Mudaderos, generalmente hacia los bordes de estos cuerpos. En menor medida, las vetas encajan también en rocas metamórficas (Schalamuk et al. 1983). La morfología más común de los depósitos es la vetiforme, mientras que en algunos casos pueden aparecer estructuras en stockwork y brechoides (Schalamuk et al. 1983; Sardi y Ryziuk 2016). Las vetas tienen corridas, aunque discontinuas, de pocos cientos de metros y espesores variables desde vetillas de escala centimétrica hasta 1.60 m. Schalamuk et al. (1983) mencionan corridas de hasta 400 m y espesores de hasta 2.0 m. El contacto con la roca de caja granítica es neto, y se observan en algunos casos drusas tapizadas por cristales idiomórficos de cuarzo. Las alteraciones más comunes son silicificación y cloritización, afectando esta última principalmente a la biotita de la roca de caja (Ryziuk et al. 2014).

Desde el punto de vista mineralógico, la fluorita aparece en forma principalmente granular, y en algunos casos en muy finas bandas crustiformes. El color predominante de la fluorita es el violeta en diferentes tonalidades (Sardi y Ryziuk 2016), encontrándose en menor medida blanca, incolora y verde.

Sardi y Rzyiuk (2016) observan que el cuarzo de las vetas tiene texturas de crecimiento primario tales como masivo, en peine y zonados, y texturas secundarias de recristalización y reemplazo, las cuales se corresponden con yacimientos típicamente epitermales.

METODOLOGÍA

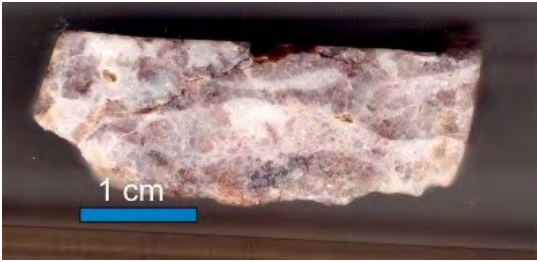
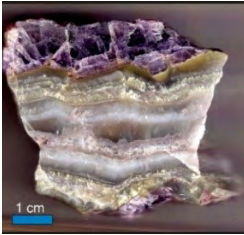



Para el análisis químico, las diferentes fluoritas muestreadas han sido trituradas (chancadas) y a partir de ese material se separaron manualmente pequeños fragmentos de mineral libres de inclusiones e impurezas con la ayuda de pinzas y con observación bajo lupa binocular. El cuadro 1 muestra la procedencia y las características texturales y mineralógicas de las 5 muestras de fluorita analizadas químicamente por

elementos de tierras raras. Luego, las muestras fueron molidas con molino de anillos. Esta etapa fue llevada a cabo en el laboratorio de petrotomía y en la sala de microscopía del INSUGEO (Instituto Superior de Correlación Geológica).

El análisis químico fue llevado a cabo en los laboratorios de geoquímica de GFZ del Centro de Geociencias, Universidad de Potsdam (Alemania) mediante ICP-OES (inductively coupled plasma - optical emission spectrometry), usando un equipo VARIAN Vista MPX (ver detalles de la metodología en Zuleger y Erzinger 1988). Los límites de detección son variables según el número atómico y tienen un rango entre 0.1 y 1.0 ppm.

Por otra parte, el estudio microtermométrico de inclusiones fluidas se realizó en láminas de exfoliación separadas manualmente a partir de una muestra de fluorita violeta de textura granular procedente de Mina Dal. Se utilizó una plati-

Cuadro 1. Procedencia, características y fotografías de las muestras de fluorita analizadas.

Procedencia	Descripción del mineral y macroscópica de la veta	Color fluorita analizada y fotografía
"La Isabella"	Fluorita maciza, de color predominantemente violeta oscuro y a veces violeta claro; también, blanca, verde claro y algunos casos muy raros, con tinte levemente anaranjado. La veta tiene espesor de ~7 cm. Presenta frecuentemente espacios vacíos, que pueden estar ocupados por material silíceo. Éste, en otros sectores, puede presentar textura crustiforme.	004BFIB Violeta claro y blanco 
"Virgen Morena"	Mineralización principalmente de tipo stockwork y en vetas de muy reducidas dimensiones. Vetas de mayor espesor pueden alcanzar hasta unos 8 cm. Se compone de calcedonia y fluorita de color predominantemente violeta; también violeta claro y blanco. Puede presentar zonación, con fluorita violeta con textura granular gruesa en los bordes, y en el centro calcedonia en textura bandeada; en otros sectores, también calcedonia maciza. Aparecen espacios drusiformes en las bandas de calcedonia. También aparece en las vetas y venillas cuarzo en textura granular e idiomorfo.	006Violeta 
		007Blanco y violeta 
Mina Dal	La veta presenta bandeo paralelo, y a su vez, paralelo al contacto con el granito de la caja. Las bandas son de calcedonia algo grisácea, cuarzo y fluorita. Las bandas tienen unos 6-7 mm de espesor como máximo. En las vetas pueden aparecer muy delgadas venillas de cuarzo y calcedonia, en los cuales es frecuente la formación de drusas de dimensiones milimétricas. Estas venillas son generalmente paralelas entre sí, y a veces, anastomosadas. La fluorita es violeta en diferentes tonalidades, semitransparente. También, fluorita blanca y menos común, verde claro. La textura de la fluorita es de aspecto macizo y granular grueso a fino, en cristales idiomorfos, y en otros casos, bandeo paralelo (crustiforme).	028FIB*Violeta (granular grano grueso) 
		028DVioleta claro - blanco (grano fino bandeada) 

*muestra para estudio de inclusiones fluidas.

Cuadro 2. Concentraciones de elementos de tierras raras (expresados en ppm) en fluoritas hidrotermales del distrito El Portezuelo-Los Mudaderos, sierra de Ancasti, Argentina.

Muestra	004BFIB	007FIB	028DFI	006FIMc	028FIB
La	4.93	3.12	3.15	1.37	3.18
Ce	13.65	6.67	14.14	2.92	6.01
Pr	1.35	0.47	n.d.	n.d.	n.d.
Nd	5.05	4.29	1.14	0.74	2.25
Sm	2.37	1.09	0.59	0.45	0.85
Eu	0.33	0.25	n.d.	n.d.	0.23
Gd	3.03	1.20	0.36	0.31	0.92
Tb	0.73	0.22	0.11	0.08	0.23
Dy	6.37	1.08	0.37	0.35	1.06
Ho	1.89	0.19	n.d.	n.d.	0.19
Er	8.31	0.55	0.27	0.22	0.67
Tm	1.62	n.d.	n.d.	n.d.	0.12
Yb	12.68	0.48	0.23	0.22	0.64
Lu	2.02	0.06	0.03	0.03	0.08
ΣREE	64.33	19.67	20.40	6.70	16.44
ΣLREE	27.68	15.88	19.02	5.48	12.52
ΣHREE	36.65	3.78	1.38	1.22	3.92
ΣLREE/ΣHREE	0.76	4.20	13.79	4.51	3.19
(Eu/Eu*) _n	0.38	0.68	0.66	0.81	0.79
(Ce/Ce*) _n	1.27	1.32	2.71	0.85	1.15
Sc	0.54	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Y	59.91	8.68	3.32	2.83	10.60
Y/Ho	31.64	46.25	-	-	55.27
La/Ho	2.60	16.65	31.47	13.73	16.58
Tb/La	0.15	0.07	0.03	0.06	0.07
Tb/Ca	2.07 E-06	6.23 E-07	3.00 E-07	2.39 E-07	6.43 E-07
La _n /Yb _n	0.26	4.36	9.08	4.19	3.33
Tb _n /Yb _n	0.25	2.00	1.99	1.68	1.55

n.d.: no detectado, n: valor normalizado a condrito (Boynton, 1984), *: anomalía.

na de enfriamiento y calentamiento Linkam THMS 600 adosada a un microscopio Leica DMLP del IGEBA, UBA-CONICET (Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales). Debido a la dureza y al excelente clivaje de la fluorita y con la finalidad de minimizar la ruptura de las inclusiones fluidas durante los ensayos de enfriamiento, se realizaron en primera instancia los ensayos de calentamiento. Se estudiaron 10 fragmentos de clivaje, en los que se tomaron datos de temperaturas de homogeneización de un total de 56 inclusiones fluidas. Además, se determinó la salinidad de la fase líquida en sólo dos ocasiones de dichas inclusiones ya que la mayo-

ría de las mismas sufrieron decrepitación durante la etapa de enfriamiento.

RESULTADOS

Geoquímica de REE e itrio

El resultado de los análisis químicos se muestra en el cuadro 2. El contenido de elementos de tierras raras resultante para el distrito fluorítico de la sierra de Ancasti varía de 6.70 a 64.33 ppm, con un promedio de 25.51 ppm. En cuanto a las concentraciones de itrio, se encuentran entre 2.83 y 59.91 ppm, siendo el promedio de 17.07 ppm. Los patrones de distribución, normalizados a valores condriticos propuestos por Boynton (1984), muestran en general (excepto una muestra) un enriquecimiento en LREE, con relaciones LREE/HREE entre 3.2 y 13.8, además de una débil anomalía negativa de europio, con valores entre 0.7 y 0.8, con excepción de la muestra 004BFIB, que exhibe moderada pendiente positiva hacia las tierras raras pesadas y una fuerte anomalía negativa de europio (0.4) (Cuadro 2).

Por otra parte, las relaciones Tb/Ca y Tb/La presentan valores que varían de 2.4×10^{-7} a 2.1×10^{-6} y de 0.03 a 0.14 respectivamente, permitiendo ubicar las muestras estudiadas dentro del campo hidrotermal del diagrama de variación de Möller et al. (1976) (Fig. 4, se tomó para Ca el valor teórico en el mineral).

Por último, se observa que las variaciones de la relación La/Ho son muy significativas, con valores que van de 2.6 a 31.5; mientras que la relación Y/Ho varía de 31.6 a 55.3, considerándose dicha variación como despreciable.

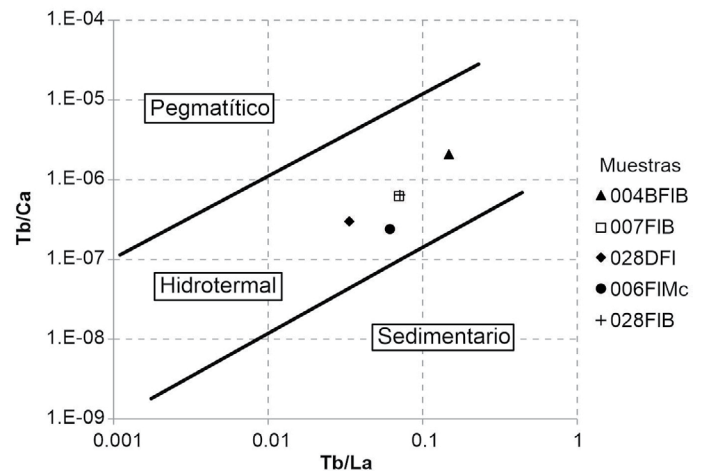


Figura 4. Fluoritas del distrito fluorítico El Portezuelo – Los Mudaderos en el diagrama de Möller et al. (1976).

Inclusiones fluidas

Características petrográficas: La muestra estudiada aloja inclusiones distribuidas irregularmente, en general en trenes de direcciones y diseño variables. Las inclusiones fluidas tienen morfología muy variada, son muy irregulares, con alto grado de inmadurez, o más regulares, con evidencias de estrangulamiento. Un mismo tren puede albergar inclusiones fluidas de diferente morfología. Los tamaños son muy variables, producto de la inmadurez de las mismas, en general entre 5 y 60 µm y el relleno predominante es bifásico, con una burbuja y solución acuosa (Fig. 5). El grado de relleno varía entre 85 y 95 %. Algunas inclusiones fluidas alojan sólidos correspondientes a atrapamientos accidentales (menos de 5% del volumen).

Termometría: El cuadro 3 (en anexo complementario) contiene detalladamente los resultados microtermométricos obtenidos. Las inclusiones fluidas mostraron homogeneización en fase líquida entre 84 y 178° C, con un promedio de 126° C (Fig. 6). La reaparición de la burbuja se verifica en la mayoría de las inclusiones fluidas, pero en algunas no se produce aún a bajas temperaturas. Los sólidos no muestran cambios durante los ensayos de calentamiento y tampoco son recurrentes en todas las inclusiones fluidas, por lo que se infiere que son sólidos atrapados accidentalmente. La temperatura de fusión del eutéctico se registró entre -21° C y -24° C, en las escasas inclusiones fluidas que no se rompieron durante el enfriamiento y la fusión del hielo fue metaestable, siempre ≥ 0° C (entre 0° C y +5.2° C).

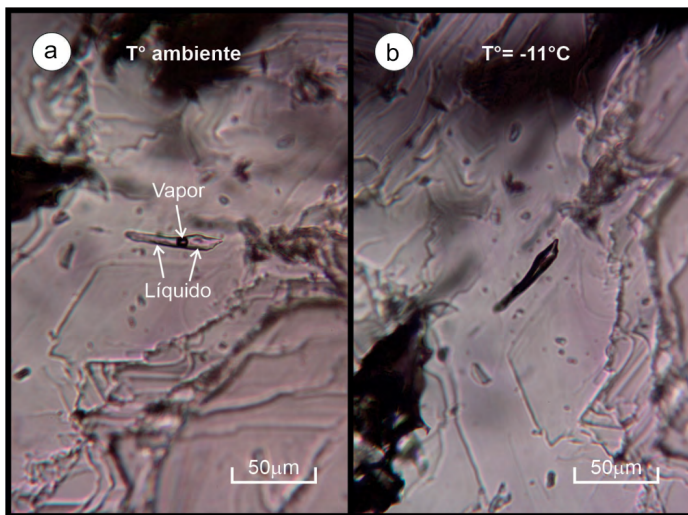


Figura 5. Fotomicrografía de una inclusión fluida de 56 µm de longitud en fluorita: a) Bifásica a temperatura ambiente; b) Temperatura de -11°C, con fuga de líquido por decrepitación a -45°C.

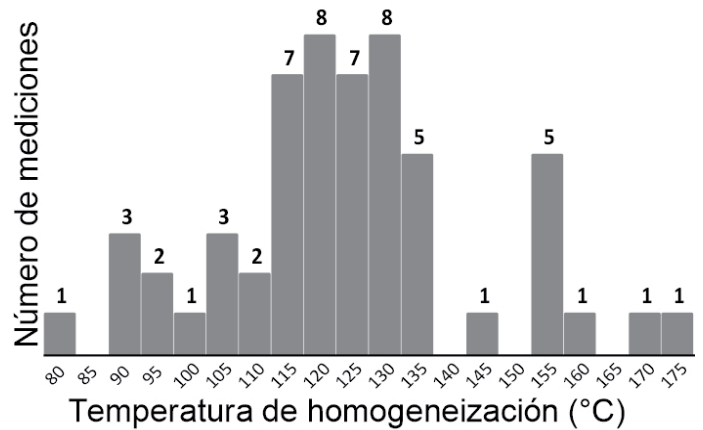


Figura 6. Histograma de temperaturas de homogeneización.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó una comparación de la geoquímica de REE del distrito fluorítico de la sierra de Ancasti con otros existentes en las Sierras Pampeanas y otras provincias geológicas de Argentina (Fig. 7). A partir de allí, se encontró que el contenido total de tierras raras de este distrito es normal o ligeramente bajo (Fig. 8). De acuerdo a lo observado en el diagrama de Möller et al. (1976) (figura 4) las fluoritas de este distrito son de origen hidrotermal, lo cual es concordante con la yacencia y los rasgos textural-mineralógicos de los depósitos. En general los patrones de distribución de REE

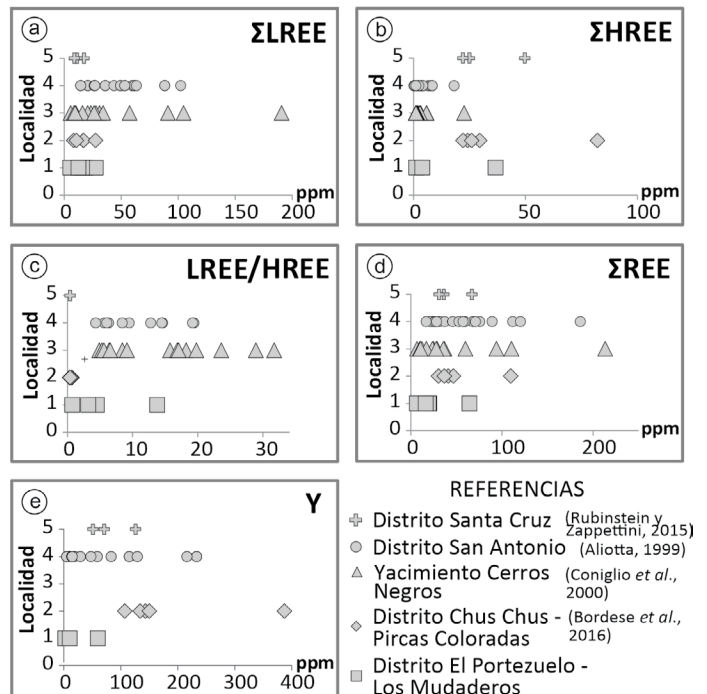


Figura 7. Comparación de la geoquímica de REE y Y de distintas fluoritas de la República Argentina.

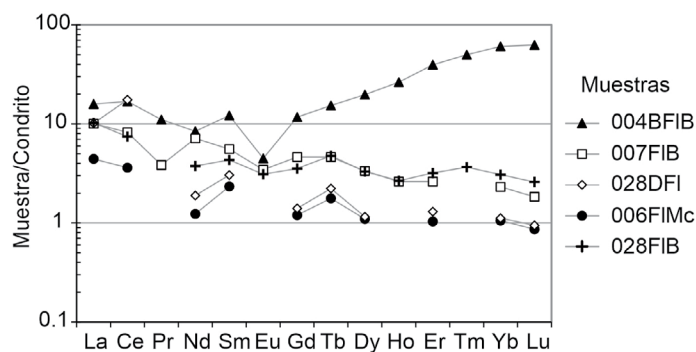


Figura 8. Diagrama de REE normalizadas a condrito (Boynnton 1984).

(Fig. 8), los altos valores La_n/Yb_n (3.33 a 9.08) y las relaciones $LREE/HREE > 1$ (Fig. 7c) indican un enriquecimiento en tierras raras livianas, que sugiere que la mineralización tuvo lugar a partir de fluidos hidrotermales tempranos y poco fraccionados (Möller et al. 1976); sin embargo, cabe destacar que la muestra 004BFIB, única muestra procedente de la veta “La Isabella” (Cuadro 1), presenta un comportamiento diferente, con mayor contenido de REE y enriquecimiento en tierras raras pesadas ($La_n/Yb_n=0.26$ y $LREE/HREE=0.75$), lo cual llevaría a pensar que corresponde a otra generación de fluorita más evolucionada y probablemente más tardía.

La anomalía negativa de Eu permite inferir condiciones reductoras, con baja fugacidad de oxígeno, durante la deposición de estas vetas de fluorita.

Siguiendo a Bau y Dulski (1995), las relaciones Y/Ho y La/Ho permiten interpretar, de manera tentativa, que la generación de vetas de fluorita encajadas en los granitos Sauce Guacho y Los Mudaderos/Santa Rosa corresponderían a un episodio hidrotermal común para ambos casos, aunque esto habría ocurrido en diferentes pulsos de acuerdo a las relaciones texturales observadas en las vetas.

El estudio de inclusiones fluidas realizadas en una muestra de fluorita granular de color violeta procedente de Mina Dal indica que las soluciones mineralizantes que dieron lugar a ese depósito fueron de baja salinidad y baja temperatura, además pone en evidencia la existencia de numerosas inclusiones fluidas metaestables, rasgos que coinciden con una precipitación en condiciones subsuperficiales. Por último, las temperaturas obtenidas para el eutéctico indican que la fase líquida de las inclusiones está compuesta por $H_2O_{(l)} + NaCl_{(ac)}$ y eventualmente $KCl_{(ac)}$. Los datos obtenidos en cuanto a temperatura de homogeneización y salinidad son comparables, en general, con depósitos similares de otros distritos del país, tales como el de Agua Escondida, Mendoza (Montenegro 2013), distrito Chus-Chus / Pirca Colorada, Catamarca (Bordese et al. 2016) y distrito de Cerro Áspero, Córdoba (Coniglio et al. 2010).

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el aporte del Proyecto PIP 642 de CONICET y G/630 PIUNT de la UNT para la realización de los trabajos de campo. También agradecemos a colegas y asistentes del laboratorio de geoquímica del Instituto de Geociencias de la Universidad de Potsdam (Alemania) en donde fueron realizados los análisis químicos presentados en este trabajo. El autor FS agradece especialmente al Dr. Antonio Gutiérrez por facilitar el viaje y estadía en la Universidad de Potsdam (Alemania) mediante el proyecto CUAA-DAHZO12/11 que dirige.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J. 1977. Esquema geológico de la Sierra de Ancasti, provincia de Catamarca. *Acta Geológica Lilloana* 14: 233-259.
- Aceñolaza, F. y Toselli, A. 1981. Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Publicación Especial N° 1287, Tucumán. 212 pp.
- Acosta Nagle, A., Fogliata, A. y Báez, M. 2017. Aplicación del geotermómetro del circón en granitos devónicos-carboníferos de las Sierras Pampeanas Occidentales, Argentina. 20° Congreso Geológico Argentino, Sesión Temática 4 Petrología y Geoquímica de rocas ígneas: 1-6, Tucumán.
- Aliotta, G. 1999. Yacimientos de fluorita de Río Negro y Chubut. En: Zappettini, E. (ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 1239-1247, Buenos Aires.
- Barber, E., Chipulina, M. y Martínez, L. 1994. Hoja Geológica 2966 – II, San Fernando del Valle de Catamarca. Minería. Boletín N° 212, Dirección Nacional del Servicio Geológico, Secretaría de Minería de la Nación, Buenos Aires.
- Bazán, C. y Vides de Bazán, M.E. 1983. Caracteres geográficos generales. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (eds.), Geología de la Sierra de Ancasti. *Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie* 59:13-22, Münster.
- Bau, M. y Dulski, P. 1995. Comparative study of yttrium and rare-earth element behaviours in fluorine-rich hydrothermal fluids. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 119: 213-223.
- Bonalumi, A., Sfragulla, J. y Jerez, D. 1999. Fluorita de las Sierras Pampeanas de Córdoba. En: Zappettini, E. (ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, Anales 35: 1015-1020, Buenos Aires.
- Bordese, S., Lira, R., López Pinto, M., Dalmau, J. y Viñas, N. 2016. Geología y aspectos metalogenéticos de la mineralización de fluorita-bartinita del distrito Chus-Chus – Pirca Coloradas, provincias de La Rioja y Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 73 (1): 37-49.
- Boynnton, N.V. 1984. Cosmochemistry of the rare earth elements: meteoritic

- te studies. En: Henderson, P. (ed.), *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, *Developments in Geochemistry* 2: 63-114.
- Cisterna, C. 2003. Faja intrusiva La Majada, sierra de Ancasti, Catamarca: caracterización petrológica-estructural. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58: 20-30.
- Coniglio, J., Perez Xavier, R., Pinotti, L. y D'Eramo F. 2000. Ore-Forming Fluids of Vein-Type Fluorite Deposits of the Cerro Aspero Batholith, Southern Cordoba Province, Argentina. *International Geology Reviews* 42: 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. 8° Congreso de Mineralogía y Metalogenia – MinMet 2006-. *Actas* 1: 227-232.
- Coniglio, J., D'Eramo, F., Pinotti, L., Demartis, M., Aguleiro Insúa, L. y Petrelli, H. 2010. Control estructural de las mineralizaciones de fluorita del Batolito Cerro Áspero, Sierras Pampeanas de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (4): 507-520.
- Dahlquist, J., Alasino, P., Eby, G., Galindo, C., Casquet, C. 2010. Fault controlled Carboniferous A-type magmatism in the proto-Andean foreland (Sierras Pampeanas, Argentina): geochemical constraints and petrogenesis. *Lithos* 115: 65-81.
- Dahlquist, J., Rapela, C., Baldo, E., Murra, J., Alasino, P. y Colombo, F. 2011. Stock monzogranítico El Chorro (sierra de Ancasti, Catamarca): un ejemplo de magmatismo tipo S con granate ígneo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 195-204.
- Dahlquist, J., Rapela, C., Pankhurst, R., Fanning, M., Vervoort, J., Hart, G. Baldo, E., Murra, J., Alasino, P. y Colombo, F. 2012. Age and magmatic evolution of the Famatinian granitic rocks of Sierra de Ancasti, Sierras Pampeanas, NW Argentina. *Journal of South American Earth Science* 34: 10-25.
- Dill, H., Luna, L., Nolte, N. y Hansen, B. 2016. Chemical, isotopic and mineralogical characteristics of volcanogenic epithermal fluorite deposits on the Permo-Mesozoic foreland of the Andean volcanic arc in Patagonia (Argentina). *Chemie der Erde – Geochemistry* 76 (2): 275-297.
- Galliski, M.A. 1994. La Provincia Pegmatítica Pampeana. 1: Tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49 (1-2): 99-112.
- Knüver, M. 1983. Dataciones radimétricas de rocas plutónicas y metamórficas. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 59: 201-218.
- Larovere, M., de Los Hoyos, C., Toselli, A., Rossi, J., Basei, M. y Beldar, M. 2011. High T/P evolution and metamorphic ages of the migmatitic basement of northern Sierras Pampeanas, Argentina: Characterization of a mid-crustal segment of the Famatinian belt. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 279-297.
- Lottner, U. 1983. Las pegmatitas de la Sierra de Ancasti. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 59: 137-151.
- Mallimacci, H. 1999. Yacimientos de fluorita del bloque de San Rafael, Mendoza. En: Zappettini, E. (ed.), *Recursos minerales de la República Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales. SEGEMAR, *Anales* 35: 881-892, Buenos Aires.
- Márquez, M., Giacosa, R., Pezzuchi, H. y Fernández, M. 1994. Las mineralizaciones portadoras de fluorita en el Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 2° Reunión de Mineralogía y Metalogenia, *Actas*: 225-234, La Plata.
- Möller, P., Parekh, P.P. y Schneider, H.J. 1976. The application of Tb/Ca-Tb/La abundance ratios to problems of fluorite genesis. *Mineralium Deposita* 11: 111-116.
- Montenegro, T. 2013. Estudio de inclusiones fluidas de las fluoritas de Agua Escondida, Mendoza. 11° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, *Actas*: 101-102, San Juan.
- Petec, E. 1969. Informe mina Dal (inédito). Dirección Provincial de Geología y Minería de Catamarca, Catamarca.
- Rapela, C., Fanning, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R. y Murra, J. 2005. Coeval S- and I-type granites in the Sierra de Ancasti, Eastern Sierras Pampeanas, Argentina. *Gondwana* 12. Academia Nacional de Ciencias, *Abstracts*: 303.
- Rubinstein, N.A. y Zappettini, E.O. 2015. Origin and age of rift related fluorite and manganese deposits from the San Rafael Massif, Argentina. *Ore Geology Reviews* 66: 334-343.
- Ryziuk, J., Sardi, F., Báez, M., Fogliata, A. y Steffen, H. 2014. Petrografía y geoquímica de los granitos asociados a manifestaciones de fluorita en la zona de El Alto, sierra de Ancasti, provincia de Catamarca. *Acta Geológica Lilloana* 26 (2): 95-110.
- Sardi, F. y Ryziuk, J. 2016. Estudio preliminar de los rasgos texturales de las vetas hidrotermales de fluorita de la zona de El Alto, Catamarca. *Acta Geológica Lilloana* 28 (1): 318-320.
- Sardi, F.G., Aliaga Pueyrredón, J.M. y Toledo Ceccarelli, J.D. 2013. Estudio geológico preliminar de las pegmatitas litíferas de los grupos Villismán y El Taco, sierra de Ancasti, Catamarca. *Acta Geológica Lilloana* 25 (1-2): 69-73.
- Sardi, F., Marangone, S., Demartis, M. y Altenberger, U. 2017. Pegmatitas litíferas del Grupo Villismán, Distrito Ancasti, Catamarca. I.- Rasgos petrográficos y geoquímicos. 20° Congreso Geológico Argentino, Simposio 2: Geología endógena y exógena del litio en Argentina, *Actas*: 32-37, Tucumán.
- Schalamuk, I., Fernández, R. y Etcheverry, R. 1983. Los yacimientos de minerales no metalíferos y rocas de aplicación de la Región NOA. Ministerio de Economía, Subsecretaría de Minería, *Anales* 20, Buenos Aires.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A. Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R. y Stuart-Smith P. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the

- southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (eds.), The proto-Andean margin of Gondwana. Geological Society of London, Special Publication 142: 259-281.
- Toselli, A.J., Reissinger, F., Durand, F. y Bazán, C. 1983. Rocas graníticas. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (eds.), Geología de la Sierra de Ancasti. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 59: 79-99.
- Toselli, A., Rossi, J., Basei, M. y Passarelli, C. 2011. Petrogenesis of Upper Paleozoic post-collisional peraluminous leucogranites, Sierra de Ancasti, northwest Argentina. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen 261 (2): 151-164.
- Willner, A. 1983. Evolución metamórfica. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (eds.), Geología de la Sierra de Ancasti. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 59:189-200.
- Zuleger, E. y Erzinger, J. 1988. Determination of the REE and Y in silicate materials with ICP-AES. Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie, 332 (2): 140-143.