

## ISÓTOPOS ESTABLES E INCLUSIONES FLUIDAS EN LA PEGMATITA "LA DICHOSA", SIERRA DE AMBATO, LA RIOJA

Curci, Marcela V.<sup>1</sup>; Ramis, Andrea M.<sup>1</sup> y de Barrio, Raúl E.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cátedra de Mineralogía-Instituto de Recursos Minerales, INREMI (Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP), La Plata.

E-mail:marcecurci@yahoo.com

**Resumen.** En este trabajo se realizaron análisis de inclusiones fluidas e isótopos estables en muestras de cuarzo provenientes de la pegmatita La Dichosa (Sierra de Ambato, La Rioja). Los estudios microtermométricos revelan claramente la presencia de tres tipos de inclusiones fluidas. Tipo I correspondiente a fluidos H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl-(CH<sub>4</sub>), con salinidades entre 0% a 5% en peso NaCl equivalente y temperaturas de homogeneización (Th) entre 320°C y 390°C. Tipo II caracterizadas por un fluido de composición H<sub>2</sub>O-NaCl cuya salinidad oscila entre 3,23% y 6,45% en peso NaCl equivalente, mientras que las Th varían entre 230°C y 260°C. Tipo III caracterizadas por un fluido acuoso de baja temperatura (T<sub>h</sub> 140°C-180°C). Asimismo los resultados de isótopos estables revelan valores d<sup>18</sup>O<sub>qz</sub> SMOW entre +13,1‰ y +13,3‰. Recalculados estos valores con la ecuación de fraccionamiento isotópico se obtuvieron valores de d<sup>18</sup>O<sub>fluido</sub> SMOW entre +8,39‰ y +8,59‰ que son congruentes con fluidos de procedencia magmática.

**Palabras clave.** Cuarzo, inclusiones fluidas, microtermometría, isótopos estables, Pegmatita La Dichosa.

**Abstract.** Fluid inclusion analysis and stable isotope data in quartz samples from La Dichosa pegmatite (Sierra de Ambato, La Rioja) are reported in this paper. The study carried out by means of microthermometric analyses, clearly reveals the presence of three types of fluid inclusions. Type I corresponds to a H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl-(CH<sub>4</sub>) fluid, with a salinity between 0%-5 wt % NaCl equiv., and homogenization temperatures (T<sub>h</sub>) between 320°C and 390°C. Type II: characterized by a fluid of H<sub>2</sub>O-NaCl composition with a salinity between 3.23% and 6.45 wt % NaCl equiv, whereas the T<sub>h</sub> varies from 230°C to 260°C. Type III: characterized by a fluid with low temperature (T<sub>h</sub> 140°C-180°C). Also, oxygen stable isotope data from quartz samples reach up values between d<sup>18</sup>O<sub>qz</sub> SMOW entre +13,1‰ y +13,3‰. These values, recalculated by the isotopic fractionation equation reach up d<sup>18</sup>O<sub>fluid</sub> SMOW + 8,39‰ and + 8,59‰ that are congruent with a magmatic signature for the mineralizing fluids.

**Keywords.** Quartz, fluid inclusions, microthermometric data, stable isotopes, La Dichosa pegmatite.

**Introducción.** La pegmatita La Dichosa, Sierra de Ambato, Departamento Arauco, La Rioja, se ubica en el área noroccidental del sistema de Sierras Pampeanas (figura 1a). La geología de la región ha sido estudiada por diversos autores entre los que se pueden citar a González Bonorino, 1950; Quartino y Villar Fabre, 1960 y Caminos, 1979.

La pegmatita La Dichosa se caracteriza por presentarse en cuerpos de formas lenticulares, globosas y tabulares con longitudes individuales de 20 m a 80 m en dirección NNE-SSO (figuras 1b y 1c). Registra estructuras heterogéneas y zonadas, con núcleos centrales de cuarzo y microclino rosado, zonas intermedias de microclino pértico, cuarzo, muscovita, escasa biotita y nidos de andalusita. Delgadas zonas marginales de grano fino presentan además plagioclasas, cuarzo, microclino (gráfico), biotita y muscovita. También han sido citados granates (Garrido *et al.*, 1984) tanto en la zona intermedia como en la marginal. Desde el punto de vista mineralógico la andalusita es el mineral más llamativo (figura 1d). Se presenta en agregados fibroradiales, de coloraciones castaño-rojizas a gris verdosas, distribuidos a modo de lentes preferentemente en las zonas intermedias y en los bordes de las pegmatitas (contacto pegmatita-granito), asociados a cuarzo y microclino (Schalamuk y Ramis, 1999).

Según Schalamuk y Ramis (1999) y en base a la clasificación de Ěrný (1982) esta pegmatita correspondería a una tipología transicional entre las clases Muscovita y Elementos Raros.

El objetivo de esta contribución es presentar nuevos resultados de los estudios de isótopos estables e inclusiones fluidas realizados en muestras de cuarzo de la pegmatita de la mina La Dichosa, Sierra de Ambato, a fin de aportar mayores precisiones acerca de las condiciones físico-químicas de formación del cuerpo pegmatítico.

**Metodología. Inclusiones fluidas.** Se realizaron estudios de inclusiones fluidas sobre pastillas doblemente pulidas (200im de espesor) utilizando un microscopio Nikon y una platina de calentamiento/enfriamiento Linkam THMS 600 que permite operar en un rango comprendido entre - 180°C y + 600 °C, con una precisión de ± 0,1 °C, combinando un sistema de circulación de nitrógeno líquido con una resistencia para calentamiento. Las mediciones fueron realizadas en el laboratorio del Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

**Isótopos estables.** Las relaciones isotópicas <sup>18</sup>O / <sup>16</sup>O fueron determinadas en un espectrómetro de masa de fuente gaseosa, modelo SIRA II equipa-

do con un “cold finger”. Las mediciones fueron realizadas en el Servicio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España.

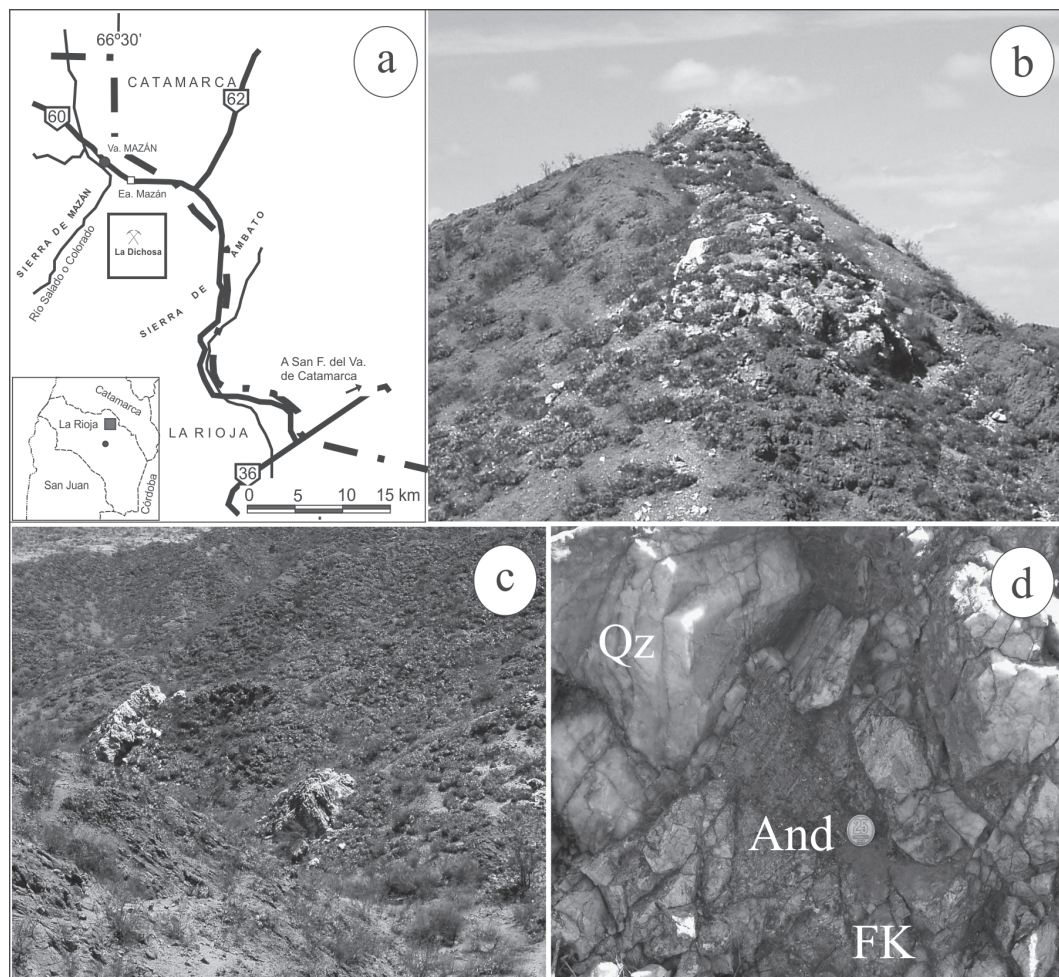
### Resultados obtenidos. Inclusiones fluidas.

Los estudios petrográficos y microtermométricos de las inclusiones fluidas se llevaron a cabo en muestras de cuarzo procedentes del sector central de la pegmatita La Dichosa.

El estudio de las secciones pulidas dio como resultado la presencia de tres tipos de inclusiones fluidas: Tipo I, Tipo II y Tipo III.

Tipo I: Acuosas-Carbónicas  $\text{CO}_2$  - $\text{H}_2\text{O}$  - $\text{NaCl}$  ( $\text{CH}_4$ ). Son inclusiones bifásicas ( $L_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{CO}_2}$ ) y monofásicas ( $V_{\text{CO}_2}$ ). La proporción volumétrica de la fase rica en  $\text{CO}_2$  varía entre 40% - 60% del volumen total de la inclusión, llegando a ocupar el 100% del volumen en las monofásicas. Presentan morfologías irregulares, alargadas y ovoides con tamaños que varían entre 20 y 40 micrones (figura

2 a, b y c). Están distribuidas en grupos conformando arreglos tridimensionales aleatorios (origen primario). La temperatura de fusión del  $\text{CO}_2$  ( $T_{m\text{CO}_2}$ ) tiene lugar entre  $-57^\circ\text{C}$  y  $-62^\circ\text{C}$ . La temperatura de fusión hallada, por debajo del punto triple del  $\text{CO}_2$  puro ( $-56,6^\circ\text{C}$ ) indicaría la presencia de significativas pero variables cantidades de otro componente ( $\text{CH}_4$ ) disueltas en la fase  $\text{CO}_2$  (Hollister y Burruss, 1976). La salinidad del fluido acuoso entrampado en las inclusiones analizadas ha sido determinada a partir de la temperatura de fusión de los clatros; el rango obtenido varía entre  $+10^\circ\text{C}$  y  $+8^\circ\text{C}$ , correspondiéndole salinidades de 0% a 5% en peso  $\text{NaCl}$  equivalente (Bozzo *et al.*, 1973); no obstante, en algunas inclusiones dicha temperatura superó los  $+10^\circ\text{C}$  ( $+15^\circ\text{C}$ ) corroborando la existencia de  $\text{CH}_4$  (Shepherd *et al.*, 1985). Por su parte, la  $T_{h\text{parcial CO}_2}$  (en fase vapor) se encuentra entre  $+1^\circ\text{C}$  y  $-34^\circ\text{C}$  poniendo de manifiesto una densidad menor a la crítica ( $0,468 \text{ g/cm}^3$ ). La  $T_{h\text{total}}$  en fase

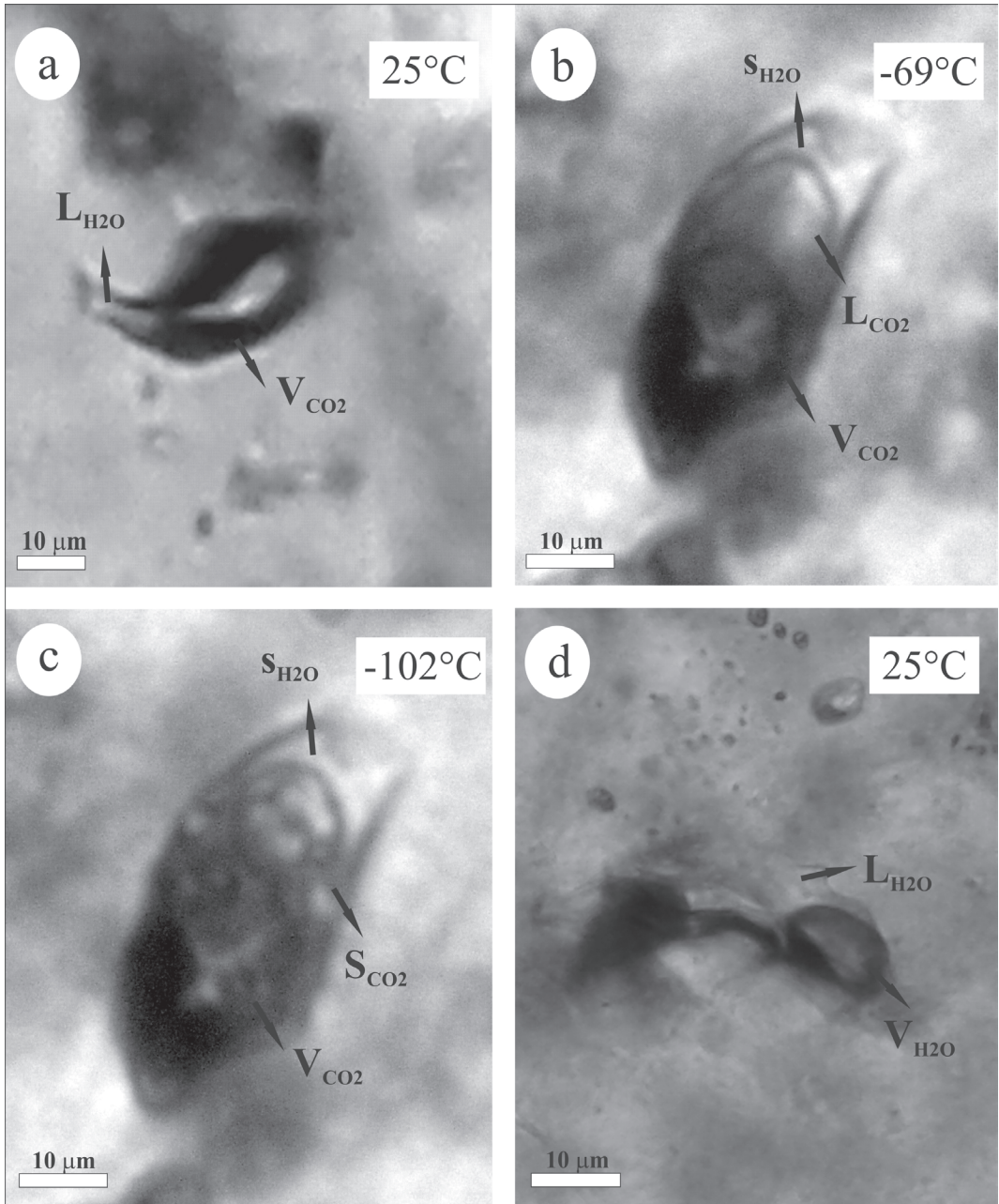


**Figura 1.** a) Mapa de ubicación, b y c) Afloramientos de la pegmatita La Dichosa, d) Detalle de la mineralogía. Qz: cuarzo, And: andalucita y Fk: feldespato potásico.

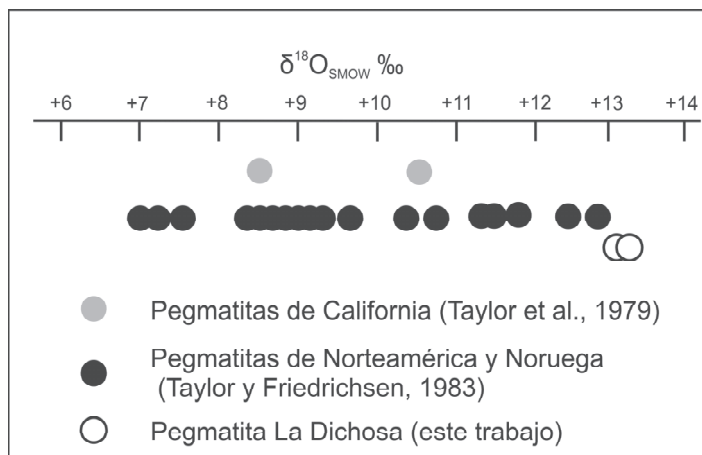
carbónica y crítica fue determinada entre 320°C y 390°C. En aquellas inclusiones con un importante porcentaje de fase vapor (>60%  $V_{total}$ ) dicha temperatura fue difícil de alcanzar debido a la decrepitación de las cavidades por aumento de la presión interna con el aumento de la temperatura.

Tipo II: Son inclusiones bifásicas acuosas, la

fase vapor ocupa entre 20% y 40% del volumen total de la inclusión (figura 2 d). Tienen morfología regular hasta cristal negativo y en ocasiones ovoides. El tamaño de las cavidades varía entre 20 y 50 micrones. Están distribuidas a lo largo de planos de microfisuras y en menor medida al azar, se las interpreta como pseudosecundarias. La Te



**Figura 2.** Fotomicrografías de inclusiones fluidas: a) Tipo I rica en fase vapor de  $CO_2$  a 25°C, b) Tipo I evidenciando la formación de una película de  $CO_2$  líquido durante la etapa criométrica (-69°C) c) Idem b) donde se observa la solidificación del  $CO_2$  (-102°C) d) Tipo II bifásica acuosa a 25°C.



**Figura 3.** Gráfico de comparación de isótopos de oxígeno de pegmatitas graníticas tipo Moscovita de diversas localidades del mundo y de la pegmatita La Dichosa.

(temperatura del eutéctico) ocurre entre  $-22^{\circ}\text{C}$  y  $-20^{\circ}\text{C}$ , evidenciando un sistema  $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ . La temperatura de fusión final de los cristales de hielo ( $T_{\text{hielo}}$ ) varió entre  $-1.9^{\circ}\text{C}$  y  $-4^{\circ}\text{C}$ . La salinidad presenta valores entre 3,23% y 6,45% en peso NaCl equivalente. (Bodnar, 1993). La  $T_{\text{total}}$  osciló entre  $230^{\circ}\text{C}$  y  $260^{\circ}\text{C}$ .

Tipo III: Son inclusiones bifásicas acuosas de muy pequeño tamaño, no superan los 10 micrones y están dispuestas en trenes. Su origen es secundario. Debido al reducido tamaño de las cavidades no siempre fue posible observar los cambios de fase durante los ensayos microtermométricos. En escasas ocasiones pudo determinarse la temperatura de homogeneización ( $T_{\text{liquido}}$ ) arrojando valores comprendidos entre  $140^{\circ}\text{C}$  y  $180^{\circ}\text{C}$ .

**Isótopos estables.** En muestras de cuarzo provenientes de la pegmatita La Dichosa (M-3169, M-5003, M-5015a, M-5015b), se realizaron estudios de isótopos estables ( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ). Los resultados de isótopos de oxígeno están dados en relación al estándar SMOW (Standard Mean Ocean Water). La aplicación del método mencionado se basa en la relación entre la temperatura y el fraccionamiento isotópico entre fases minerales en un ambiente geológico (Cardellach, 1999). Para calcular el fraccionamiento isotópico de las aguas en equilibrio

( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}/\text{SMOW}}$ ) se utilizó la siguiente ecuación:

$$10^3 \ln \alpha_{(\text{Qz}-\text{H}_2\text{O})} = D (10^6) T^{-2} + E (10^3) T^{-1} + F$$

Donde D, E y F son las constantes experimentales propuestas por Zheng (1993). El valor de temperatura corresponde a la temperatura de homogeneización de las inclusiones fluidas tipo I ( $390^{\circ}\text{C}$ ). En la tabla 1 se presentan los valores para el  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  del cuarzo y sus respectivos  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  del fluido en equilibrio. Los resultados obtenidos de  $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$  arrojan valores comprendidos entre  $+8.39\text{‰}$  y  $+8.59\text{‰}$ , indicando una afinidad con fuentes magmáticas.

Comparados los valores  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  de la pegmatita La Dichosa con los de otras pegmatitas tipo Moscovita de Norteamérica y Noruega, también en muestras de cuarzo (Taylor *et al.*, 1979, Taylor y Friedrichsen, 1983) se observa que los datos obtenidos, variables entre  $\delta^{18}\text{O}_{\text{QzSMOW}} +13,1$  y  $+13,3\text{‰}$ , son apenas superiores a los registrados en esas localidades (Fig. 3) que alcanzan a máximos de  $+12,8\text{‰}$ .

#### Consideraciones finales y Conclusiones.

En general las pegmatitas graníticas se caracterizan por presentar composiciones peraluminosas a hiperaluminosas (Ěerný y Hawthorne, 1982). El

**Tabla 1.** Valores de isótopos de oxígeno en muestras de cuarzo.

Míneral cuarzo	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ ‰	T°C (Th IF tipo I)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}/\text{SMOW}}$ ‰
M-3160	13.2	390	+8.49
M-5003	13.3	390	+8.59
M-5015b	13.3	390	+8.59
M-5015a	13.1	390	+8.39

exceso de Al se expresa en la presencia de importantes cantidades de biotita, moscovita y turmalina. En el caso de la pegmatita La Dichosa, de emplazamiento intragránitico (Sardi y Lozano Fernández, 2010), este exceso de Al se manifiesta además por la existencia de andalusita y granates, circunscripta a las zonas marginal e intermedia. El entorno granítico representado por el Granito Mazán, refuerza este ambiente peraluminoso destacándose a la cordierita como uno de los minerales índice producto de un magmatismo calcoalcalino, de composición peraluminosa, emplazado en niveles supracorticales (Toselli *et al.*, 1991).

Los nuevos datos de inclusiones fluidas e isótopos estables han permitido caracterizar con mayor precisión el fluido generador de la pegmatita peraluminosa de La Dichosa. Poseen una composición compleja H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-NaCl-(CH<sub>4</sub>) cuya salinidad corresponde a valores entre 0% y 5% en peso NaCl equivalente.

Las temperaturas de homogeneización de las IF determinadas son consideradas como valores mínimos y oscilan entre 320°C y 390°C. Se estima que el entrapamiento del fluido ocurrió a temperaturas más elevadas.

La presencia de inclusiones monofásicas (CO<sub>2</sub>) y bifásicas acuosas-carbónicas de variado porcentaje de fase vapor, es producto de un proceso de deformación al que ha estado sujeta la pegmatita. Este proceso favoreció la fuga de la solución acuosa generando de esta manera inclusiones con el 100% de CO<sub>2</sub> (Johnson and Hollister, 1995). Estas evidencias son coincidentes con lo sostenido por Galliski (1994) para muchos distritos de pegmatitas de elementos raros de las Sierras Pampeanas, donde se han desarrollado deformaciones post-emplazamiento. Así, las inclusiones acuosas (Tipo II) podrían ser el resultado del entrapamiento durante una etapa de recristalización posterior a la consolidación de la pegmatita.

Condiciones microtermométricas y etapas evolutivas similares a las de la pegmatita La Dichosa han sido reconocidas en pegmatitas estanníferas portadoras de minerales ricos en Al de la sierra de San Luis (Montenegro y Sosa, 2003).

Los resultados obtenidos a partir de los isótopos estables de O son congruentes con fluidos de procedencia magmática, aunque algo superiores a los registrados en pegmatitas graníticas tipo Moscovita de otras localidades del mundo, denotando quizás su transicionalidad a la tipología de pegmatitas de Elementos raros.

**Agradecimientos.** Los autores agradecen al Dr. Clemente Recio (Universidad de Salamanca, España) por las determinaciones isotópicas, a la Dra. Teresita Montenegro (UBA) por facilitar el uso del equipo de microtermometría y al árbitro Dr. F.Sardi por su revisión crítica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Bodnar, R. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H<sub>2</sub>O-NaCl solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 683-684.
- Bozzo, A.; Chen, J. y Barduhn, A. 1973. The properties of the hydrates of chlorine and carbon dioxide. In: 4<sup>th</sup> International Symposium of Fresh Water from the Sea (A. Delyannis y E. Delyannis, Ed.) 3:437-451.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas noroccidentales. Salta, Tucumán, La Rioja y San Juan. *Geología Regional Argentina*: 225-291. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba.
- Cardellach, E. 1999. Geoquímica de los isótopos estables de C, O, H y S. Departamento de Geología. Universidad Autónoma de Barcelona.
- Ěerný, P. 1982. Anatomy and classification of granitic pegmatites. En Ěerný, P. Editor: *Granitic pegmatites in Science and Industry. Mineralogical association of Canada, Short Course, Handbook 8*:1-39. Winnipeg, Canadá.
- Ěerný, P. y Hawthorne, F.C. 1982. Selected peraluminous minerals. En (Ěerný *et al.*, edit.) *Granitic pegmatites in science and industry*. 163-186. Winnipeg.
- Galliski, M.A. 1994. La Provincia Pegmatítica Pampeana. II: Metalogénesis de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 49 (1-2): 113-122. Buenos Aires.
- Garrido, L.; Etcheverry, R.O.; Fernández, R.R. y Schalamuk, I.B. 1984. La andalusita de Mazán (provincia de La Rioja) y sus características tecnológicas. *Revista del Museo de La Plata (Nueva Serie), Sección Geología*, IX (78): 121-140. La Plata.
- González Bonorino, F. 1950. Algunos problemas geológicos de las Sierras Pampeanas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. T V (3): 81-110.
- Hollister, L.S. y Burruss, R.C. 1976. Phase equilibria in fluid inclusions from the Khtada Lake metamorphic complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40: 163-175.
- Johnson, E. and Hollister, L., 1995. Syndeformational fluid trapping in quartz: determining the pressure-temperature conditions of deformation from fluid inclusions and the formation of pure CO<sub>2</sub> fluid inclusions during grain-boundary migration. *Journal of Metamorphic Geology*. 16: 239-249.
- Montenegro, T. y Sosa, G. 2003. Inclusiones fluidas en pegmatitas portadoras de estaño de la Sierra de San Luis, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 58 (3): 347-355.
- Quartino, B. y Villar Fabre, J. 1960. Observaciones sobre el Precámbrico de la zona oriental de

- la Sierra de Velazco, provincia de La Rioja. I Jornadas Geológicas Argentina, II: 279-286.
- Sardi, F. y Lozano Fernández, R. 2010. Estudio geoquímico preliminar sobre la composición de feldespatos potásicos y muscovitas de pegmatitas de las sierras de Velasco y Mazán, provincia de La Rioja. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 233-240. Río Cuarto.
- Schalamuk, I. y Ramis, A. 1999. Pegmatitas andalucíticas de Mazán, Provincia de La Rioja. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, anales 35: 397-400.
- Shepherd T.J; Rankin A.H y Alderton D. 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie. Glasgow and London, 239 pp.
- Taylor, B.E.; Foord, E.E. y Friedrichsen, H. 1979. Stable isotope and fluid inclusion studies of GEM-bearing granitic pegmatite-aplite dikes, San Diego Co., California. Contributions to Mineralogy and Petrology, 68: 187-205.
- Taylor, B.E. y Friedrichsen, H. 1983. Light stable isotope systematic of granitic pegmatites from North America and Northway. Isotope Geoscience 1: 127-167. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Toselli, G.; Saavedra, J.; Córdoba, G. y Medina, M. 1991. Petrología y geoquímica de los granites de la zona Carrizal-Mazán, La Rioja y Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 46 (1-2): 36-50.
- Zheng, Y.F. 1993: Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals; Geochimica et Cosmochimica Acta 57: 1079-1091.