



Crisoberilo de la pegmatita Tablada I, Grupo pegmatítico Pocho, distrito Altautina (provincia de Córdoba, Argentina)

Fernando COLOMBO^{1,2}, Jorge SFRAGULLA³, José GONZÁLEZ DEL TÁNAGO⁴ y Elisa V. PANNUNZIO MINER¹

¹Centro de Investigaciones en Ciencias de la Tierra (CONICET-UNC)

²Cátedra de Mineralogía, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales - Pabellón Geología. Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.

³Secretaría de Minería de Córdoba y Cátedra de Petrología Ígnea y Metamórfica (Universidad Nacional de Córdoba), Córdoba, Argentina.

⁴Departamento de Petrología y Geoquímica, Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense, Madrid, España.

Email: fosfatos@yahoo.com.ar; sfragulla@gmail.com; tanago@geo.ucm.es,

Editores invitados: Raúl Lira y Manuel Demartis

Recibido: 23 de julio de 2020

Aceptado: 25 de agosto de 2020

RESUMEN

En la pegmatita Tablada I (31° 26' 07.3" S - 65° 18' 11.5" O), perteneciente al Grupo pegmatítico Pocho, distrito Altautina (Córdoba), se encontró crisoberilo, idealmente BeAl_2O_6 . Aparece en la zona intermedia media, asociado a cuarzo y (raramente) microclino, en cristales tabulares amarillo verdosos que alcanzan 40 mm • 2 mm. Además de Al, los análisis por microsonda de electrones (WDS) mostraron Fe (2.31-3.88 %p Fe_2O_3 , 0.037-0.062 *apfu* Fe^{3+}) y Ti (<0.04-0.71 %p TiO_2 , hasta 0.011 *apfu* Ti). El contenido de Fe es inusualmente elevado para crisoberilo. La mayor parte se supone que es trivalente; sin embargo, una pequeña fracción podría ser divalente e incorporarse asociado a Ti según la sustitución $2\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$. Se detectaron bajas concentraciones de Ga, Sn y Ta (hasta 599, 207 y 345 ppm, respectivamente), lo que es coherente con la signatura geoquímica de la pegmatita. Hay buena correlación entre Sn y Ta. Las dimensiones de celda unidad del crisoberilo (grupo espacial *Pbnm*) son $a = 4.4312(4)$, $b = 9.4216(7)$, $c = 5.4843(4)$ Å, $V = 228.97(4)$ Å³. La paragénesis crisoberilo + cuarzo es magmática y se formó bajo $P_{\text{H}_2\text{O}} < P_{\text{total}}$. Las evidencias texturales sugieren que el crisoberilo no procede del metamorfismo de berilo magmático. Los bordes de los cristales de crisoberilo están reemplazados por muscovita y berilo de grano fino, reflejando una reacción en sistema abierto. Mediante WDS se confirmó la presencia de escasa bertrandita incluida en cuarzo.

Palabras clave: crisoberilo, berilo, berilio, pegmatita, Argentina.

ABSTRACT

Chrysoberyl from the Tablada I pegmatite, Pocho pegmatitic Group, Altautina district (Córdoba province, Argentina).

Chrysoberyl, ideally BeAl_2O_6 , has been found at the Tablada I pegmatite (31° 26' 07.3" S - 65° 18' 11.5" W), belonging to the Pocho pegmatite Group, Altautina district, Córdoba Province. It occurs in the middle intermediate zone, associated with quartz and (rarely) microcline, as tabular greenish yellow crystals reaching 40 mm • 2 mm. In addition to Al, electron microprobe analyses showed Fe (2.31-3.88 wt.% Fe_2O_3 , 0.037-0.062 *apfu* Fe^{3+}) and Ti (<0.04-0.71 wt.% TiO_2 , up to 0.011 *apfu* Ti). The Fe content is unusually high for chrysoberyl. Most Fe is assumed to be trivalent; however, a small fraction could be divalent and enter associated to Ti according to the scheme $2\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$. Gallium, Sn and Ta are present at low levels (up to 599, 207 and 345 ppm, respectively) consistent with the geochemical signature of the pegmatite. There is a good correlation between Sn and Ta. Unit cell dimensions of chrysoberyl (in space group *Pbnm*) are $a = 4.4312(4)$, $b = 9.4216(7)$, $c = 5.4843(4)$ Å, $V = 228.97(4)$ Å³. The paragenesis chrysoberyl + quartz is

magmatic and formed under $P_{H_2O} < P_{total}$. Textural evidences suggest that chrysoberyl does not derive from metamorphism of magmatic beryl. Chrysoberyl crystal rims are replaced by fine-grained muscovite and beryl, reflecting an open- system reaction. Scarce bertrandite has also been confirmed by WDS, included in quartz.

Palabras clave: chrysoberyl, beryl, beryllium, pegmatite, Argentina.

INTRODUCCIÓN

En el oeste de la provincia de Córdoba se encuentra ubicado el distrito Altautina (Galliski 1994a,b, Galliski y Sfragulla 2014), que comprende pegmatitas graníticas muy dispares desde el punto de vista mineralógico y geoquímico. Entre ellas se encuentran algunas portadoras de litio, como la pegmatita Las Tapias (Angelelli 1984) o La Juana (Gay et al. 1990), junto a otros cuerpos con un grado evolutivo mucho menor (Colombo et al. 2012).

El Grupo Pocho es parte del distrito, y está compuesto por pegmatitas deformadas, moderadamente diferenciadas, que se caracterizan geoquímicamente por los elevados contenidos de Mg en algunos minerales primarios (Colombo et al. 2019a). En estos cuerpos el Be es moderadamente abundante, principalmente como berilo.

En el marco de un proyecto dedicado a caracterizar la geología, mineralogía y geoquímica de pegmatitas representativas del distrito, se encontró crisoberilo, un mineral de Be mucho menos abundante que el berilo y del cual hay solo dos hallazgos previos en Argentina. En esta contribución se brinda información textural, química y estructural del mineral y especies asociadas, y se sugieren los procesos que condujeron a la formación de esta asociación. Un resumen de estas

investigaciones fue presentado por Colombo et al. (2019b).

MARCO GEOLÓGICO Y DESCRIPCIÓN DE LA PEGMATITA TABLADA I

El crisoberilo se encontró en la pegmatita Tablada I, localizada en la sierra de Pocho (departamento homónimo, al oeste de la provincia de Córdoba, $31^{\circ} 26' 07.3''$ S - $65^{\circ} 18' 11.5''$ O, Fig. 1a). El acceso más directo es a través de la ruta provincial N°28 hasta la intersección con un camino de tierra que conduce al pueblo de Las Palmas. Dicho camino continúa hacia el sur, hacia la localidad La Tablada. A 7.4 km al sur de Las Palmas se encuentra un desvío al oeste que conduce a las proximidades de la pegmatita. El último tramo debe ser recorrido a pie (Fig. 1 b).

La pegmatita Tablada I se encuentra intruida en el Complejo metamórfico Guasapampa, conformado por metatexitas estromatíticas denominadas “Gneis Las Palmas” (con granate-sillimanita) con intercalaciones de diatexitas cordieríticas llamadas “Migmatita Piedras Rosadas” (con feldespato potásico-cordierita-granate; Guerreschi y Martino 2014).

Esta pegmatita es un cuerpo discordante, emplazado en el paragneis Las Palmas. Posee forma de lente plegada, de

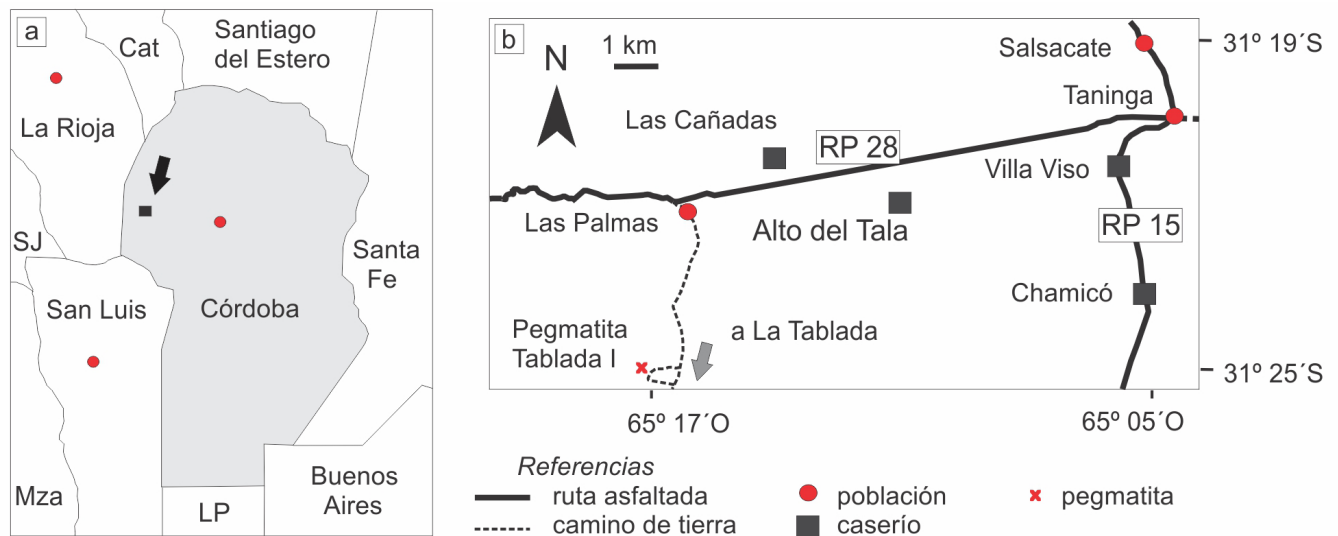


Figura 1. a) Provincias de la zona central de Argentina. El rectángulo negro señalado con una flecha en la provincia de Córdoba corresponde a la zona ampliada en la figura 1b. Abreviaturas: SJ: San Juan; Cat: Catamarca; LP: La Pampa. Las capitales provinciales se muestran como círculos rojos; b) Esquema de ubicación y acceso a la pegmatita Tablada I. Sólo se han marcado los caminos de tierra relevantes para este trabajo.

unos 30 m de largo por 15 m de ancho, con rumbo N160°E y con buzamiento vertical. La pegmatita está afectada por deformación, la cual se manifiesta (entre otras formas) por extinción ondulosa y subgranulado en cuarzo, y por la trituración del contacto entre la pegmatita y la roca de caja. Se observan tres zonas intermedias (externa, media e interna), caracterizadas por diferentes granometrías y texturas de sus minerales accesorios, que rodean un núcleo de cuarzo y feldespato potásico. Los minerales volumétricamente dominantes que conforman la pegmatita son cuarzo, microclino perfitico con diferentes grados de ordenamiento Al-Si, plagioclasa y muscovita. Las fases accesorias están constituidas por biotita, granate (almandino-spessartina, con hasta 1.10 % P_2O_5 , Colombo et al. 2012), fluorapatita, minerales del grupo de la grafitonita, chladniíta (Vallcorba et al. 2017), berilo y crisoberilo. Hay además varios fosfatos secundarios (mitridatita, jahnsita-(CaMnMg), triploidita), producto de un metasomatismo en condiciones oxidantes de minerales del grupo de la grafitonita.

La pegmatita Tablada I podría ser clasificada dentro de la clase Muscovita-Elementos Raros o en la clase Elementos Raros en el esquema de Černý y Ercit (2005), dependiendo de los criterios considerados (principalmente geoquímica y grado metamórfico de las rocas encajantes). De manera preliminar, y considerando especialmente su mineralogía (abundancia de fosfatos y berilo), se la clasifica dentro de la clase Elementos Raros, subclase REL-Li, tipo berilo, subtipo berilo-columbita-fosfato, dentro de la familia petrogenética LCT. Sin embargo, su relación con rocas metamórficas de alto grado es más típica de pegmatitas de la clase Muscovita-Elementos Raros.

Debido a que no se han encontrado granitos aflorantes en las inmediaciones de la pegmatita, la relación genética frecuentemente asignada entre pegmatitas y granitoides no pudo ser verificada para el cuerpo Tablada I basándose en criterios de campo.

MÉTODOS

Los estudios texturales y de propiedades ópticas se hicieron sobre secciones delgadas estándares, usando microscopía de luz polarizada. Los análisis químicos y los estudios texturales de mayor detalle se realizaron con una sonda de electrones JEOL JXA-8230, ubicada en el LAMARX (FaMAF-UNC). Las condiciones para los análisis fueron 15 kV, 20 nA, con un diámetro del haz de 1 μ m (crisoberilo) y 5 μ m (berilo y muscovita). Los patrones, elementos medidos y cristales monocromadores empleados para crisoberilo fueron

albita (Na y Al, TAP), forsterita (Mg, TAP, y Si, PETH), anortita (Ca, PETH), Ti metálico o ilmenita (Ti, LiF), crocoíta (Cr, LiF), pirolusita (Mn, LiF) y hematita (Fe, LiF). Para berilo se emplearon los mismos patrones, salvo por la ortoclasa (Si y K en PETH), ZnO (Zn, LiF), polucita (Cs, PETJ) y anortita (Al en TAP); en los análisis de muscovita, a los patrones empleados para el crisoberilo se añadieron baritina (Ba, LiF), ortoclasa (K, PETH) y sodalita (Cl, PETH). Las líneas medidas fueron $K\alpha$, excepto para Cs y Ba ($L\alpha$). El tiempo de conteo fue de 10 s en el pico y 5 s en cada posición del fondo. Los datos se procesaron con la rutina PRZ provista por JEOL, agregando cantidades teóricas de BeO y H₂O (en los minerales hidratados) a los efectos de una adecuada corrección por matriz. Los elementos trazas se midieron con una corriente de 100 nA y un tiempo de conteo de 30 s en el pico y 15 s en cada posición del fondo. Las posiciones fueron exactamente las mismas que para los análisis previos, a fin de contar con datos de elementos trazas y mayoritarios del mismo punto. Para correcciones adecuadas por matriz de los elementos trazas se ingresó una composición fija. Los patrones, líneas y cristales monocromadores fueron Ta metálico (Ta, $M\alpha$ PETH), casiterita (Sn, $L\alpha$, PETJ) y Gd₃Ga₅O₁₂ (Ga, $L\alpha$, TAP). Los límites de detección (1σ , en ppm) fueron de 130 (Ga), 39 (Sn) y 43 (Ta). El contenido de Be se calculó restando la cantidad de Si (en átomos por fórmula unidad, *apfu*) a 1 (el número de *apfu* de Be en crisoberilo teórico).

Los datos de difracción de rayos X de polvo se obtuvieron en un difractómetro PANalytical X'PERT Pro (INFI-CQ-FCQ-UNC), con radiación $CuK\alpha$ obtenida a 40 kV y 40 mA. Las dimensiones de celda unidad se obtuvieron mediante refinamiento Rietveld con el programa Fullprof (Rodríguez-Cavajal 1993), usando las estructuras publicadas por Hazen (1987, crisoberilo), Artioli et al. (1993, berilo), Norby (1997, cuarzo) y Catti et al. (1994, muscovita $2M_1$). Solo se modelaron los parámetros de perfil, fondo y escala. Las posiciones atómicas no fueron modificadas. Los errores asociados a los valores informados han sido multiplicados por el parámetro SCOR (Bézar y Lelann 1991).

CRISOBERILO: DESCRIPCIÓN Y PARAGÉNESIS

El crisoberilo se encontró en la zona intermedia media de la pegmatita, incluido en cuarzo grisáceo y raramente en microclino rosado (con grado de ordenamiento intermedio), al que se asocia muscovita en láminas gruesas. Este ha sido el único hallazgo de crisoberilo en toda la pegmatita. A algunos

centímetros aparece berilo en pequeños cristales prismáticos hexagonales de color amarillo, pero no en contacto con crisoberilo. El berilo primario no muestra evidencias de alteración y, si bien es escaso en las proximidades del crisoberilo, es mucho más abundante cuando se considera la pegmatita en su conjunto.

El crisoberilo forma monocristales tabulares, agrupados ocasionalmente en agregados divergentes (aunque sin relación de maclado aparente) o entrecruzados, y presentan una fina película superficial blanquecina de alteración a muscovita y berilo. El cristal mayor mide 40 mm de longitud por 2 mm de ancho. Su color, levemente heterogéneo, es amarillo verdoso, a veces con tinte verde oliva; posee brillo vítreo, y es translúcido.

En sección delgada el crisoberilo tiene relieve alto y es biáxico (+). Los cristales están muy fracturados pero la extinción es homogénea, en contraste con el cuarzo que lo rodea

que exhibe extinción ondulosa y subgranulado. El crisoberilo en secciones normales a los ejes ópticos muestra colores de interferencia anómalos (azul Berlín a pardo verdoso); en otras orientaciones se observan una zonación irregular, en parches acuñaados, aproximadamente paralela a las caras de mayor desarrollo de los cristales (Fig. 2 a y 2 b).

La composición química ideal del crisoberilo es BeAl_2O_8 . Se realizaron 20 análisis químicos (algunos de los cuales aparecen en el Cuadro 1), los que muestran que, además del Al, contiene Fe (2.31-3.88 %p $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{Total}}$, 0.037-0.062 átomos por fórmula unidad Fe^{3+}) y Ti (<0.04-0.71 %p. TiO_2 , hasta 0.011 apfu Ti). Otros elementos ocasionalmente detectados en cantidades muy minoritarias son (en %p. de óxidos): Si (≤ 0.04), Cr (≤ 0.10), Mn (≤ 0.06), Ca (≤ 0.02), Na (≤ 0.13) y Mg (≤ 0.07).

En el crisoberilo, el Fe^{3+} sustituye al Al^{3+} , ubicándose con preferencia (si bien no exclusivamente) en los sitios Al2 por sus distancias <Al-O> levemente superiores a las equivalen-

Cuadro 1. Análisis químicos representativos de crisoberilo.

%p óxido	#2	#21	#22	#23	#25	#28	#29	#30	#31
SiO_2	0.03	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	0.04	<0.02	<0.02	<0.02
TiO_2	0.40	<0.06	0.63	0.62	0.04	0.31	0.10	0.04	0.71
Al_2O_3	76.34	78.09	77.00	76.76	76.43	76.43	77.36	78.08	76.79
Cr_2O_3	0.08	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Fe_2O_3^*	3.27	2.71	2.99	3.18	3.90	3.27	3.38	2.69	3.69
FeO^*	0.19	0.00	0.66	0.11	0.00	0.34	0.09	0.00	0.03
MnO	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
MgO	0.06	<0.04	0.04	0.07	<0.04	<0.04	<0.04	0.06	<0.04
CaO	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
BeO calc	19.20	19.44	19.41	19.33	19.15	19.19	19.36	19.45	19.39
Na_2O	0.04	<0.02	<0.02	0.07	0.04	0.02	<0.02	<0.02	0.13
Total ppm	99.62	100.24	100.79	100.15	99.57	99.61	100.29	100.31	100.74
Ga		<130	269	341	289	372	<130	351	248
Sn		42	<38	125	207	39	<38	41	<38
Ta		168	<41	345	86	138	134	140	<41
Fórmula basada en 2 cationes (excluyendo Be) y 3 O (apfu)									
Si	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ti	0.007	0.000	0.010	0.010	0.001	0.005	0.002	0.001	0.011
Al	1.932	1.957	1.929	1.932	1.938	1.935	1.943	1.956	1.924
Cr	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe^{3+}	0.053	0.043	0.048	0.051	0.063	0.053	0.054	0.043	0.059
Fe^{2+}	0.003	0.000	0.012	0.002	0.000	0.006	0.002	0.000	0.001
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.002	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Be _{calc}	0.999	1.000	0.999	1.000	1.000	0.999	1.000	1.000	1.000
Na	0.002	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.000	0.000	0.005

*: relación $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ calculada con el método de Droop (1987). Ver texto para el método de cálculo del Be. Límites de detección calculados para 2σ (mayoritarios y minoritarios) o 1σ (trazas). En blanco: no medido.

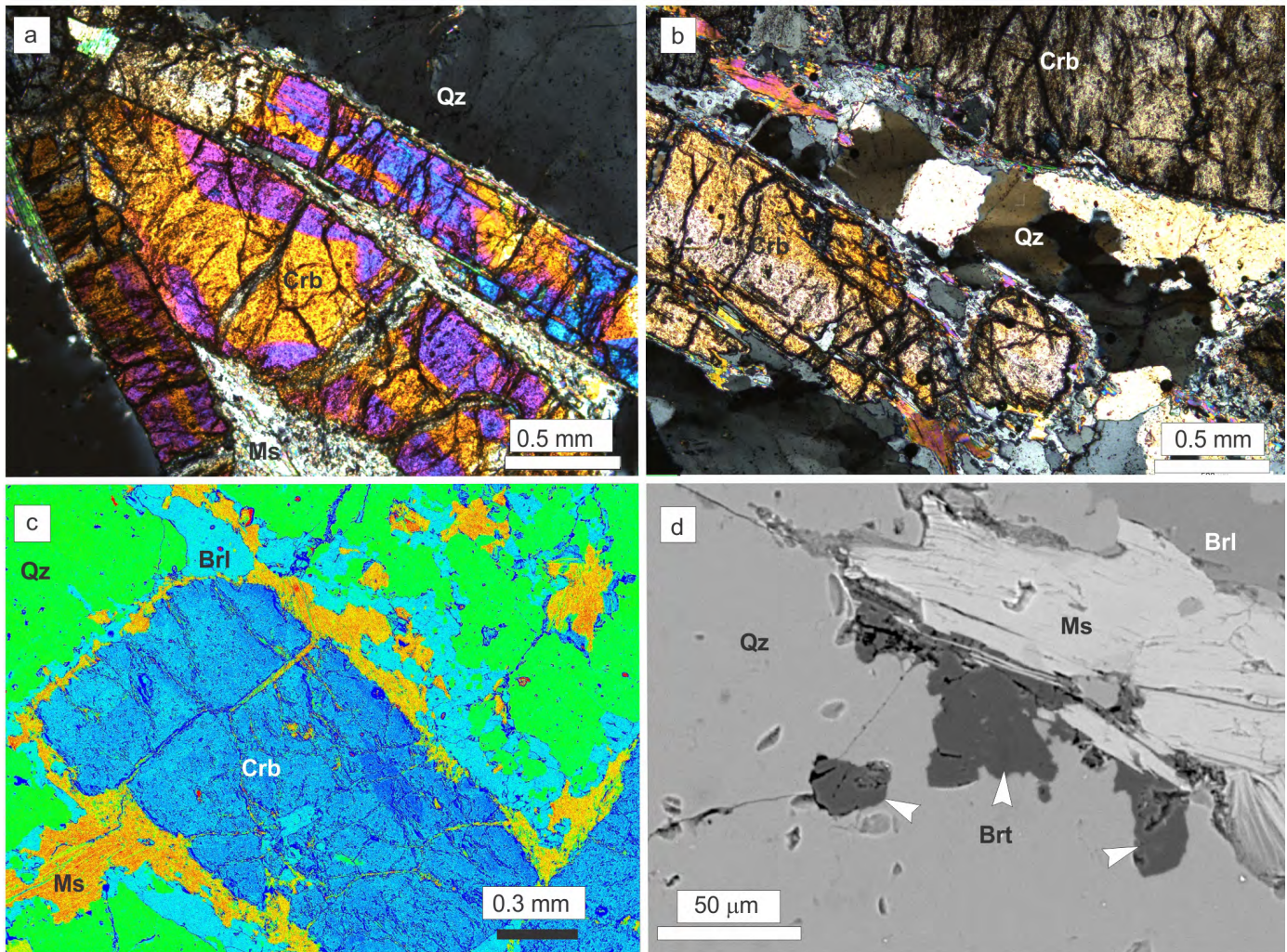


Figura 2. a) Cristales de crisoberilo mostrando la zonación en colores de interferencia, relacionada a variaciones en el contenido de Fe; b) Cristales de crisoberilo incluidos en cuarzo afectado fuertemente por deformación; el crisoberilo muestra intensa fracturación pero no extinción ondulosa ni subgrinado; c) Cristal de crisoberilo (azul) reemplazado en su periferia por un agregado de muscovita (amarillo) y berilo hidrotermal (celestes), rodeados de cuarzo (verde). Imagen original en tonos de gris, coloreada para resaltar las diferencias; d) Granos de bertrandita asociados a muscovita e incluidos en cuarzo. A y B: fotomicrografías con luz polarizada (con analizador insertado); c y d: imágenes de SEM-BSE. Abreviaturas: Crb: crisoberilo; Brl: bertrandita. Otras según Whitney y Evans (2010).

tes del sitio Al1 (Newnham et al. 1964). El contenido de Fe del material de la pegmatita Tablada I es superior a la mayor parte de los valores reportados para análisis de este óxido (ver referencias al pie de la figura 3). Con la excepción de los valores de hasta 6.25 %p Fe_2O_3 hallados en muestras de las pegmatitas en Kalanga Hill, Zambia (Žaček y Vrána 2002), la mayoría del crisoberilo de origen ígneo o metasomático raramente supera 2.00 %p Fe_2O_3 (ver Žaček y Vrána 2002, y figura 3). En crisoberilo de origen metamórfico se ha encontrado un contenido de Fe_2O_3 mayor (Downes y Bevans 2002), pero la escasez de datos publicados no permite confirmar si esta es una característica típica de material de este origen, o un valor anómalo.

Aunque el Fe es mayormente trivalente en crisoberilo,

Farrell y Newnham (1965) han demostrado que un pequeño porcentaje de Fe puede entrar como Fe^{2+} . Normalizando los análisis del material de la pegmatita Tablada I empleando el método de Droop (1987) para calcular la relación $\text{Fe}^{2+}/(\text{Fe}^{2+} + \text{Fe}^{3+})$ se obtuvieron valores variables entre 0 y 26 %, con un promedio de 6 %. A pesar de que los valores son estimativos cuando el contenido de Fe^{2+} es muy bajo, los resultados sugieren que sí es posible que parte del hierro sea divalente. Los contenidos de Ti en crisoberilo de la pegmatita Tablada I son anormalmente elevados comparados con la mayor parte de los valores disponibles en la literatura. Un esquema tentativo de incorporación de Ti es: $2\text{Al}^{3+} \leftrightarrow \text{Ti}^{4+} + \text{Fe}^{2+}$. La relación $(\text{Fe}_{\text{total}} + \text{Ti})$ vs. Al (en átomos por fórmula unidad, *apfu*) posee un coeficiente de correlación muy alto ($r^2 = 0.985$); este valor

Cuadro 2. Datos de difracción de rayos X de polvo de crisoberilo.

Crisoberilo Tablada I			Crisoberilo ficha 1-78-1448 (Dudka et al. 1985)	
d [Å]	I/I ₀	h k l	d [Å]	I/I ₀
4.70740	4.75	0 0 2	4.70350	5.1
4.00759	34.08	0 1 1	4.00671	55.0
3.57303	2.66	1 0 2	3.56859	1.7
3.44618	2.46	1 1 0	3.44392	2.8
3.23512	85.51	1 1 1	3.23400	100.0
2.78062	2.42	1 1 2	2.77869	2.0
2.74072	1.61	2 0 0	2.73905	1.0
2.56095	74.47	0 1 3	2.55910	57.0
2.36875	9.33	2 0 2	2.36695	9.7
2.35431	4.40	0 0 4	2.35175	3.7
2.32039	41.29	1 1 3	2.31859	33.6
2.26268	38.96	2 1 1	2.26119	49.9
2.21585	0.58	0 2 0	2.21425	0.3
2.16358	5.16	1 0 4	2.16103	3.7
2.15594	2.39	0 2 1	2.15535	3.8
2.08901	100.00	2 1 2	2.08749	91.6
2.07914	62.03	0 1 4	2.07704	51.9
2.00679	2.98	1 2 1	2.00569	3.8
1.94417	0.67	1 1 4	1.94213	0.4
1.88269	1.46	1 2 2	1.88149	1.6
1.87184	5.97	2 1 3	1.86994	7.1
1.81076	0.58	0 2 3	1.80874	0.7
1.73372	1.22	0 1 5	1.73161	1.2
1.70463	0.53	3 0 2	1.70225	0.5
1.66316	10.85	3 1 1	1.66161	11.5
1.65315	9.69	1 1 5	1.65109	7.4
1.65315	9.69	2 2 2	1.61700	92.0
1.61332	34.24	0 2 4	1.61213	75.7
1.58982	0.46	3 1 2	1.58891	1.3
1.56999	0.26	0 0 6	1.56783	0.2
1.54791	6.07	1 2 4	1.54655	6.9
1.50957	7.97	1 0 6	1.50732	6.6
1.48777	5.16	3 1 3	1.48643	7.3
1.47934	0.52	0 1 6	1.47794	0.5
1.46541	15.02	2 1 5	1.46365	17.8
1.44397	1.72	3 0 4	1.44231	2.3
a = 4.4312(4) Å		a = 4.4285 Å		
b = 9.4216(7) Å		b = 9.4070 Å		
c = 5.4843(4) Å		c = 5.4781 Å		
V = 228.97(4) Å ³		V = 228.21 Å ³		

Se muestran solo las líneas hasta 65° (2θ). Índices de Miller originalmente dados en el grupo espacial *Pnma*, intercambiados para coincidir con el grupo espacial *Pbnm* en el que se hizo el cálculo de celda unidad.

es más elevado que si se considera solamente la relación Fe³⁺-Al (r² = 0.802).

Se han analizado además tres elementos que se encuen-

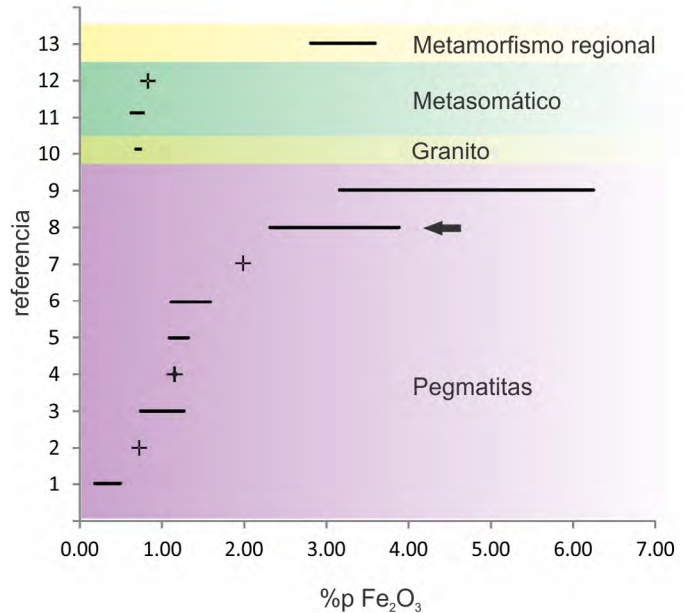


Figura 3. Porcentaje en peso de Fe₂O₃ de crisoberilo de diferentes localidades, agrupados por ambiente de formación. Localidades: 1: Virorco, Argentina (Galliski et al. 2012), 2) Malga Garbella, Italia (Vignola et al. 2018); 3) Sierra Albarrana, España (González del Tánago 1991); 4) Trivandrum, India (Soman y Nair 1985); 5) Mamfe, Camerún (Kanouo et al. 2016); 6) Lavra de Hematita, Brasil (Proctor 1988); 7) Marsikov, República Checa (Franz y Morteani 1984); 8) La Tablada, Argentina (este trabajo); 9) Kalanga Hill, Zambia (Žáček y Vrána 2002); 10) Monroy de Belvis, España (Merino et al. 2013); 11) Lake Manyara, Tanzania (Schmetzer y Malsy 2011); 12) Franqueira, España (Martín-Izard et al. 1995); 13) Dowerin, Australia (Downes y Bevan 2002). La flecha señala el rango abarcado por el crisoberilo de la pegmatita Tablada I.

tran a nivel de trazas en crisoberilo: Ga, Sn y Ta. El Ga alcanza 599 ppm, mientras que el Ta llega a 345 ppm y el Sn a 207 ppm, si bien generalmente los contenidos son bastante menores (Cuadro 1). Estos valores coinciden con la signatura geoquímica de la pegmatita y del distrito en general, donde el Sn y Ta son muy escasos.

Los datos de difracción de rayos X (Cuadro 2) muestran muy buena concordancia con los calculados a partir de los datos publicados por Dudka et al. (1985), informados en la ficha 1-78-1448 de *Powder Diffraction Files* y correspondiente a crisoberilo sintético. Las dimensiones de celda unidad (Cuadro 2), se encuentran hacia el límite superior de los informados para crisoberilo (cf. Žáček y Vrána 2002), probablemente reflejando los contenidos anómalos de Fe.

Minerales asociados

Los minerales primarios directamente asociados al crisoberilo son cuarzo, muscovita y feldespato potásico. Los cristales de crisoberilo se encuentran parcialmente reemplazados en los bordes por una asociación de berilo hidrotermal (BH) y muscovita de grano fino (Fig. 2 c); ambos se encuentran en

granos anhedrales, sin relación cristalográfica con el crisoberilo. Mediante análisis cuantitativos con microsonda se identificó además escasa bertrandita, como granos anhedrales de hasta 20 μm de longitud incluidos en cuarzo (Fig. 2 d).

Se hicieron 15 análisis químicos al berilo primario (BP, de origen magmático) y 6 al berilo hidrotermal (BH); análisis representativos aparecen en el Cuadro 3. La mayor diferencia composicional radica en que el berilo de origen hidrotermal posee rangos un poco más amplios de concentraciones. Ambos están enriquecidos en Fe (BH: 0.61-1.20, BP: 0.39-0.63 %p Fe_2O_3) y especialmente en Mg (BH: ≤ 0.01 -1.10, BP: 0.36-0.82 %p MgO). El Na (como %p Na_2O) oscila entre 0.14 y 0.75 (BH) y 0.44-0.62 (BP). El contenido de Cs en ambos casos es menor que 250 ppm (el límite de detección de la microsonda). Los totales analíticos cercanos a 100% (incluyendo BeO calculado) indican que el contenido de volátiles en este berilo es muy bajo.

Las dimensiones de celda unidad del berilo hidrotermal, refinadas en el grupo espacial $P6/mcc$, son $a = 9.224(2)$, c

$= 9.193(4)$ Å, $V = 677.3(4)$ Å³, mientras que los parámetros de red del berilo magmático son $a = 9.217(1)$, $c = 9.193(1)$ Å, $V = 676.4(2)$ Å³. La relación c/a de ambos es de 0.997, en el límite inferior del rango establecido por Aurisicchio et al. (1988) para berilo donde hay sustituciones menores de Al (y eventualmente Be) por otros metales.

Se hicieron 12 análisis químicos a muscovita formada por desestabilización de crisoberilo (algunos de los cuales aparecen en el Cuadro 4). Este filosilicato posee cantidades apreciables de Fe (2.14-3.73 %p FeO) y Mg (0.42-1.35 %p MgO), definiendo una incipiente solución sólida hacia celadonita.

La composición química de la bertrandita (basada en tres análisis) es muy próxima a la ideal, $\text{Be}_4(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2$, con trazas de Na (≤ 0.04 %p Na_2O) y de Fe (≤ 0.11 %p Fe_2O_3). Otros metales analizados (Mg, Al, Ti, Mn, Zn, K) están en o por debajo de los límites de detección. Un análisis representativo es el siguiente: (%p): SiO_2 50.92, Fe_2O_3 0.03, BeO_{calc} 42.39, CaO 0.02, Na_2O 0.02, $\text{H}_2\text{O}_{\text{calc}}$ 7.63, total 101.01.

Cuadro 3. Análisis químicos representativos de berilo.

%p óxido	Berilo magmático (muestra LT 22)					Berilo hidrotermal (muestra Crb A)			
	#36	#39	#42	#1	#4	#22	#23	#24	#27
SiO_2	66.58	66.38	66.50	65.32	66.41	65.98	65.66	65.27	65.59
TiO_2				0.09	<0.06	<0.06	0.06	<0.06	0.06
Al_2O_3	17.58	18.17	17.92	17.95	18.39	19.56	18.66	18.35	18.44
Fe_2O_3	0.75	0.60	0.78	0.59	0.67	0.69	0.68	1.34	0.86
MnO	<0.03	0.06	0.06	<0.03	0.03	0.05	<0.03	<0.03	<0.03
MgO	0.62	0.38	0.39	0.78	0.82	0.10	0.44	1.11	0.62
CaO	0.04	0.02	0.02	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01	<0.01
ZnO	0.14	0.07	0.10	<0.04	<0.04	<0.04	0.05	<0.04	<0.04
BeO_{calc}	13.88	13.88	13.89	13.72	13.97	13.96	13.85	13.89	13.85
Na_2O	0.60	0.48	0.52	0.44	0.45	0.14	0.55	0.75	0.63
K_2O	0.01	0.02	<0.01	0.01	0.01	0.01	<0.01	0.01	0.01
Total	100.19	100.07	100.18	98.89	100.76	100.49	99.96	100.73	100.07
Fórmula basada en 15 O (sin contar berilio) (apfu)									
Si	5.990	5.972	5.980	5.947	5.937	5.903	5.919	5.867	5.913
Ti	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.004	0.000	0.004
Al	1.864	1.927	1.899	1.926	1.938	2.063	1.982	1.944	1.959
Fe^{3+}	0.050	0.041	0.053	0.040	0.045	0.047	0.046	0.090	0.058
Mn	0.000	0.005	0.005	0.000	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000
Mg	0.083	0.050	0.052	0.106	0.109	0.013	0.060	0.148	0.084
Ca	0.004	0.002	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000
Zn	0.009	0.005	0.007	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
Be _{calc}	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000
Na	0.104	0.084	0.091	0.077	0.078	0.024	0.096	0.131	0.110
K	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001

En blanco: no medido. BeO calculado para dar 3.000 apfu Be. Límites de detección calculados para 2 μ .

Cuadro 4. Análisis químicos representativos de muscovita hidrotermal (muestra Crb A).

%p óxido	#30	#32	#36	#38
SiO ₂	46.65	46.58	45.10	44.90
TiO ₂	0.18	0.17	0.24	0.11
Al ₂ O ₃	32.26	33.78	35.48	36.11
FeO	3.73	2.91	2.89	2.34
MnO	0.04	0.05	<0.04	0.05
MgO	1.35	0.99	0.49	0.65
CaO	0.02	0.06	0.01	0.01
BaO	<0.10	<0.10	0.10	<0.10
Na ₂ O	0.13	0.13	0.27	0.36
K ₂ O	10.95	10.78	10.94	10.98
H ₂ O _{calc}	4.44	4.47	4.46	4.47
Total	99.74	99.96	99.98	100.03
Sitios T				
Si	3.150	3.121	3.030	3.009
Al ⁽⁴⁾	0.850	0.879	0.970	0.991
Σ sitio T	4.000	4.000	4.000	4.000
Sitios octaédricos				
Al ⁽⁶⁾	1.718	1.789	1.839	1.860
Ti	0.009	0.008	0.012	0.006
Fe	0.211	0.163	0.162	0.131
Mn	0.002	0.003	0.000	0.003
Mg	0.136	0.099	0.049	0.065
Σ sitio O	2.076	2.062	2.063	2.065
Ca	0.001	0.004	0.001	0.001
Na	0.017	0.017	0.035	0.047
K	0.943	0.921	0.938	0.939
Ba	0.000	0.000	0.003	0.001
Σ intercapa	0.961	0.943	0.976	0.986
OH calc	2.000	2.000	2.000	2.000

Cl por debajo del límite de detección (60 ppm, 2σ).

DISCUSIÓN

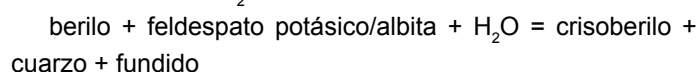
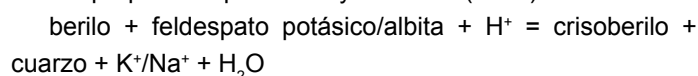
El crisoberilo es un mineral típicamente pegmatítico, normalmente relacionado con altos contenidos de aluminio. También es frecuente que se forme por metamorfismo de contacto (ya sea por metasomatismo o durante eventos de metamorfismo regional) entre pegmatitas y rocas encajantes ultrabá-

sicas (Martín-Izard et al. 1995, Gübelin 1976, Schmetzer y Malsy 2011). Ha sido reportada su presencia en rocas metamórficas de protolitos pelíticos (Downes y Bevans 2002) y en skarns (Vlasov 1966, Sainsbury 1969), y excepcionalmente ha sido encontrado como fase accesoria en un granito peraluminoso altamente evolucionado (Merino Martínez et al. 2013).

Žáček y Vrána (2002) encontraron en Zambia crisoberilo con contenidos muy elevados de Fe³⁺, y postularon como hipótesis que esto podría deberse a una elevada fugacidad de oxígeno al momento de cristalizar en la pegmatita. Una f_{O_2} más alta que lo normal podría quizás explicar la cantidad de Fe detectada en el crisoberilo de la pegmatita Tablada I, si bien por el momento no se pudo cuantificar la f_{O_2} existente al momento de cristalizar el fundido.

El sistema Al-Be-Si-H-O ha sido investigado por Burt (1978), Franz y Morteani (1981, 1984), Barton (1986) y Even- sen et al. (1999), entre otros. En los casos en que se encuentra crisoberilo asociado a berilo puede darse una coexistencia en equilibrio, o bien que una de las fases provenga de la otra. Estudios experimentales han demostrado que la paragénesis encontrada en la pegmatita Tablada I (crisoberilo + cuarzo, o crisoberilo + cuarzo + berilo + feldespato potásico considerando un volumen un poco mayor) es estable en condiciones magmáticas, y que no es indispensable un evento deformacional para generar crisoberilo. Barton (1986) muestra que la posición de la reacción berilo + 2 Al₂SiO₅ = 3 crisoberilo + 8 cuarzo depende fuertemente de la relación entre P_{H_2O} y P_{total} , con un desplazamiento hacia menores temperaturas a medida que la P_{H_2O} es cada vez menor en proporción a la P_{total} . La temperatura calculada para la zona intermedia de la pegmatita Tablada I es de aproximadamente 420°C (Colombo et al. 2012); aún en la eventualidad de que este valor estuviera subestimado, no parece muy probable que llegue a temperaturas cercanas a 700°C, en donde se verifica que la reacción se produce a $P_{H_2O} = P_{total}$. Por lo tanto, se puede inferir que al momento de cristalizar crisoberilo, $P_{H_2O} < P_{total}$, y posiblemente la presión de H₂O haya sido cercana o inferior a la mitad de la presión total.

A pesar de que la pegmatita Tablada I está deformada, no hay evidencias que sugieran que el crisoberilo se originó por desestabilización de un berilo anterior de acuerdo a las reacciones propuestas por Franz y Morteani (1984):



Entre los argumentos podrían citarse: 1) el cuarzo que rodea al crisoberilo muestra contactos irregulares con el mi-

croclino que lo incluye, sin evidencias de ser pseudomórfico según berilo; 2) se encuentra crisoberilo incluido en feldespato potásico, si bien es escaso; 3) no hay relictos de berilo primario en la asociación, y el berilo que aparece a pocos centímetros carece de evidencias de alteración; 4) no hay paragénesis minerales que sugieran que son el resultado de cristalización de un fundido anatéctico originado con posterioridad a la consolidación del cuerpo (cf. las descritas por Franz y Morteani 1984). Reacciones similares involucrando la muscovita como reactivo producen silicatos de aluminio (sillimanita) como productos finales, los cuales no han sido encontrados en Tablada I.

Las evidencias texturales, en el caso del crisoberilo de la pegmatita Tablada I, indican claramente que el berilo asociado a crisoberilo es hidrotermal y el producto de la reacción propuesta por Franz y Morteani (1981): $\text{crisoberilo} + \text{cuarzo} + \text{K}^+\text{aq} \rightarrow \text{muscovita} + \text{berilo}$. La presencia de cantidades apreciables de Na, Mg y Fe en los productos indica un sistema abierto con aporte de otros elementos.

La bertrandita representa el último estadio de alteración de minerales con Be en este cuerpo, ya que es un mineral solo estable a temperaturas relativamente bajas (Barton 1986). Sin embargo, es necesario notar que se ha logrado sintetizar bertrandita a temperaturas muy diferentes (hasta 500 °C) pero siempre a presiones menores a 400 MPa (Franz y Morteani 1981).

CRISOBERILO EN OTRAS PEGMATITAS ARGENTINAS

Además de la pegmatita Tablada I, el crisoberilo ha sido encontrado en otras dos pegmatitas argentinas, aunque su origen inferido es diferente.

Gay y Galliski (1978) y Galliski et al. (2012) estudian crisoberilo en diques pegmatíticos de Virorco (San Luis), en donde se encuentra en cristales de hasta 500 μm asociado a masas fibrosas de holtita y dumortierita, y en granos anhedrales incluidos en berilo. Su composición se acerca más a la ideal que a la del mineral de Tablada I, con algo de Fe (hasta 1.44 %p Fe_2O_3).

También se ha encontrado crisoberilo en la pegmatita Ethel Mary (Córdoba), dentro del batolito de Achala. En esta pegmatita el óxido forma cristales tabulares según {001}, ocasionalmente maclados, de hasta 15 mm de largo por 2 mm de ancho. La relación textural con berilo, si bien no es totalmente clara, sugiere un origen por reemplazo de berilo (Lira y Sfragulla 2011).

AGRADECIMIENTOS

La Secretaría de Minería de la Provincia de Córdoba permitió el empleo de vehículos para llegar al área de estudio. A. Kriscautzky nos envió publicaciones de difícil acceso. Este trabajo fue parcialmente subsidiado con fondos de los proyectos "Anatexis y magmatismo peraluminoso paleozoico de las Sierras Pampeanas Orientales (Argentina): procesos petrogenéticos involucrados en el reciclado de corteza continental" (financiado por SECyT-UNC) y "Procesos geodinámicos, geoquímicos y biológicos en la conformación y evolución del sector austral de Sudamérica y Antártida", Proyecto UE-CO-NICET. Agradecemos los valiosos aportes de los revisores Julio C. Oyarzábal y Miguel Á. Galliski, y el trabajo editorial y las sugerencias de Manuel Demartis y Raúl Lira.

REFERENCIAS

- Angelelli, V. 1984. Yacimientos metalíferos de la República Argentina. Volumen I. Comisión de Investigaciones Científicas, 392 p., La Plata.
- Artioli, G., Rinaldi, R., Stahl, K. y Zanazzi, P.F. 1993. Structure refinements of beryl by single-crystal neutron and X-ray diffraction. *American Mineralogist* 78: 762-768.
- Aurischio, C., Fioravanti, G., Grubesi, O. y Zanazzi, P.F. 1988. Reappraisal of the crystal chemistry of beryl. *American Mineralogist* 73: 826-837.
- Barton, M.D. 1986. Phase equilibria and thermodynamic properties of minerals in the $\text{BeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ (BASH) system, with petrologic applications. *American Mineralogist* 71: 277-300.
- Bérar, J. F. y Lelann, P.E. 1991. ESD's and estimated probable error obtained in Rietveld refinements with local correlations. *Journal of applied crystallography* 24: 1-5.
- Burt, D.M. 1978. Multisystem analysis of beryllium mineral stabilities: the system $\text{BeO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$. *American Mineralogist* 63: 664-676.
- Catti, M., Ferraris, G., Hull, S. y Pavese, A. 1994. Powder neutron diffraction study of 2M1 muscovite at room pressure and at 2 GPa. *European Journal of Mineralogy* 6: 171-178.
- Černý, P. y Ercit, T. S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. *The Canadian Mineralogist* 43: 2005-2026.
- Colombo, F., Sfragulla, J. y González del Tánago, J. 2012. The garnet-phosphate buffer in peraluminous granitic magmas: a case study from pegmatites in the Pocho district, Córdoba, Argentina. *The Canadian Mineralogist* 50: 1555-1571.
- Colombo, F., Sfragulla, J. y González del Tánago, J. 2019b. Crisoberilo de la pegmatita Tablada I, Grupo Pocho, Distrito Altautina (Provincia de Córdoba, Argentina). XIII Congreso de Mineralogía, Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis, Actas: 400-401, Córdoba.
- Colombo, F., Sfragulla, J., Verdecchia, S., González del Tánago, J. y Pan-

- nunzio Miner, E.V. 2019a. Mineralogía y geoquímica de pegmatitas del Grupo Pocho, Distrito Altautina (Córdoba). XIII Congreso de Mineralogía, Petrología Ígnea y Metamórfica, y Metalogénesis, Actas: 402-403, Córdoba.
- Downes, P.J. y Bevan, W.R. 2002. Chrysoberyl, beryl and zirconian spinel mineralization in granulite-facies Archaean rocks at Dowerin, Western Australia. *Mineralogical Magazine* 66: 985-1002.
- Droop, G.T.R. 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine* 51: 431-435.
- Dudka, A.P., Sevast'yanov, B.K. y Simonov, V.I. 1985. Refinement of the atomic structure of alexandrite. *Kristallografiya* 30: 480-483.
- Evensen, J.M., London, D. y Wendlandt, R.F. 1999. Solubility and stability of beryl in granitic melts. *American Mineralogist* 84: 733-745.
- Farrell, E.F y Newnham, R.E. 1965. Crystal-field spectra of chrysoberyl, alexandrite, peridot, and sinhalite. *American Mineralogist* 50: 1972-1981.
- Franz, G. y Morteani, G. 1981. The system BeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O: Hydrothermal investigations of the stability of beryl and euclase in the range from 1 to 6 kbar and 400 to 800 °C. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen* 140: 273-299.
- Franz, G. y Morteani, G. 1984. The Formation of Chrysoberyl in Metamorphosed Pegmatites. *Journal of Petrology* 25: 27-52.
- Galliski, M.Á. 1994a. La Provincia Pegmatítica Pampeana. I: Tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 99-112.
- Galliski, M.Á. 1994b. La Provincia Pegmatítica Pampeana. II: Metalogénesis de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 113-122.
- Galliski, M. Á., Márquez-Zavallá, M. F., Lira, R., Cempírek, J. y Škoda, R. 2012. Mineralogy and origin of the dumortierite-bearing pegmatites of Virorco, San Luis, Argentina. *The Canadian Mineralogist* 50: 873-894.
- Galliski, M.Á. y Sfragulla, J. 2014. Las pegmatitas graníticas de las Sierras de Córdoba. *Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*, 365-388. Córdoba.
- Gay, H.D. y Galliski, M.Á. 1978. Dumortierita, crisoberilo y minerales asociados de Virorco, San Luis. VII Congreso Geológico Argentino, Actas II, 327-335.
- Gay, H.D., Sfragulla, J. y Becchio, R. 1990. Micas litíferas, microlita y elbaíta en los afloramientos pegmatíticos "La Juana", Departamento San Javier, Córdoba, Argentina. XI Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 418-421, San Juan.
- González del Tánago, J. 1991. Las pegmatitas graníticas de Sierra Albarrana (Córdoba, España). *Mineralizaciones de Berilio. Boletín Geológico y Minero* 102-4: 90-115.
- Gübelin, E. 1976. Alexandrite from Lake Manyara, Tanzania. *Gems & Gemology* 15: 203-209.
- Guereschi, A.B y Martino, R.D. 2014. Las migmatitas de las Sierras de Córdoba. En: Guerreschi, A.B y Martino, R.D. (eds.), *Geología y Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba*. 19º Congreso Geológico Argentino, Relatorio, 67- 94, Córdoba.
- Hazen, R.M. 1987. High-pressure crystal chemistry of chrysoberyl, Al₂BeO₄: insights on the origin of olivine elastic anisotropy. *Physics and Chemistry of Minerals* 14: 13-20.
- Kanouo, N.S., Ekomane, E., Yongue, R.F., Njonfang, E., Zaw, K., Changqian, M., Ghogomu, T.R., Lentz, D.R, y Venkatesh, A.S. 2016. Trace elements in corundum, chrysoberyl, and zircon: Application to mineral exploration and provenance study of the western Mamfe gem clastic deposits (SW Cameroon, Central Africa). *Journal of African Earth Sciences* 113: 35-50.
- Lira, R. y Sfragulla, J. 2011. Granitic pegmatite chrysoberyl in a shear zone of the Achala Batholith, Córdoba, Argentina. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial N°14*: 127-130, Buenos Aires.
- Martín-Izard, A., Paniagua, A., Moreiras, D., Acevedo, R. y Marcos-Pascual, C. 1995. Metasomatism at a granitic pegmatite-dunite contact in Galicia: the Franqueira occurrence of chrysoberyl (alexandrite), emerald and phenakite. *The Canadian Mineralogist* 33: 775-792.
- Merino Martínez, E., Orejana, D., Villaseca, C., Jeffries, T. 2013. Gahnite, chrysoberyl and beryl co-occurrence as accessory minerals in a highly evolved peraluminous pluton: The Belvis de Monroy leucogranite (Cáceres, Spain). *Lithos* 179: 137-156.
- Newnham, R., Santoro, R., Pearson y Jansen, C. 1964. Ordering of Fe and Cr in chrysoberyl. *American Mineralogist* 49: 427-430.
- Norby, P. 1997. Synchrotron powder diffraction using imaging plates: crystal structure determination and Rietveld refinement. *Journal of Applied Crystallography* 30: 21-30.
- Proctor, K. 1988. Chrysoberyl and alexandrite from the pegmatite districts of Minas Gerais, Brazil. *Gems & Gemology* 24: 16-32.
- Rodríguez-Carvajal, J. 1993. Fullprof Program. *Physica B* 55: 192
- Sainsbury, C.L. 1969. *Geology and Ore Deposits of the Central York Mountains, Western Seward Peninsula, Alaska*. United States Geological Survey Bulletin, 1287. Washington D.C.
- Schmetzer, K. y Malsy, A.-K. 2011. Alexandrite and colour-change chrysoberyl from the Lake Manyara alexandrite-emerald deposit in northern Tanzania. *The Journal of Gemology* 32: 179-209.
- Vallcorba, O., Casas Duocastella, L., Colombo, F., Frontera, C. y Rius, J. 2017. First terrestrial occurrence of the complex phosphate chladniite: crystal structure refinement by synchrotron though-the-substrate microdiffraction. *European Journal of Mineralogy* 29: 287-294.
- Vignola, P., Zucali, M., Rotiroti, N., Marotta, G., Risplendente, A. y Pavese, A. 2018. The chrysoberyl-and phosphate-bearing albite pegmatite of Malga Garbella, Val di Rabbi, Trento province, Italy. *The Canadian Mineralogist* 56: 411-424.
- Vlasov, K. A. 1966. *Geochemistry of rare elements. Israel program for scientific translations*, Jerusalén.

Whitney, D.L. y Evans, B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185-187.

Žáček, V. y Vrána, S. 2002. Iron-rich chrysoberyl from Kalanga Hill, Mu-yombe District, north-eastern Zambia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte* 12: 529-540.