

## COMUNICACIÓN

## HALLAZGO DE BADDELEYITA EN JUJUY: DATOS MINERALÓGICOS Y EDAD U/Pb SHRIMP

Eduardo O. ZAPPETTINI<sup>1</sup> y Joao O. SANTOS<sup>2</sup><sup>1</sup> Servicio Geológico Minero Argentino, Buenos Aires, Email: ezappe@mecon.gov.ar<sup>2</sup> University of Western Australia, Redstone Resources

## RESUMEN

Se dan a conocer datos mineralógicos, químicos y edad U/Pb de muestras de baddeleyita (ZrO<sub>2</sub>), descrita por primera vez en Argentina. Los cristales microscópicos de baddeleyita fueron hallados en un dique gábrico de edad ordovícica, que forma parte del magmatismo de retroarco famatiniano en la Puna jujeña.

Palabras clave: *Baddeleyita, Jujuy, Magmatismo famatiniano, Retroarco.*

**ABSTRACT:** *Finding of baddeleyite in Jujuy: Mineralogical data and U/Pb SHRIMP age.* Mineralogical, chemical data and U/Pb age of

baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>) samples are presented for the first time in Argentina. Microscopic crystals of baddeleyite were found as an accessory mineral in a gabbroic dike of Ordovician age that is part of the back-arc Famatinian magmatism in the Puna of Jujuy.

Keywords: *Baddeleyite, Jujuy, Famatinian magmatism, Retroarc.*

## INTRODUCCIÓN

La baddeleyita (ZrO<sub>2</sub>), es un mineral poco frecuente que se encuentra como mineral accesorio en diversos ambientes, tales como rocas volcánicas alcalinas, carbonatitas, rocas básicas, impactitas y rocas lunares. En la Argentina sólo fue identificada a la fecha como producto del impacto de meteoritos contra la superficie terrestre en Río Cuarto, provincia de Córdoba (Koebel y Schultz 1992) y entre Mar del Plata y Bahía Blanca, provincia de Buenos Aires (Schultz *et al.* 1998); en estos casos, el vidrio generado por la onda de calor contiene pequeños cristales de baddeleyita que se han formado por *shock* térmico a altas temperaturas (> 1700 °C) de cristales de circón que se descompusieron en baddeleyita y sílice. Asimismo, fue identificada y datada por Teixeira *et al.* (2002) en un dique precámbrico del sistema de Tandilia, si bien no incluyeron una descripción mineralógica de la misma.

En este trabajo se describe por primera

vez baddeleyita natural, identificada como mineral accesorio en un gabro aflorante en la localidad de Santa Ana, provincia de Jujuy (23°07' L.S., 66°03'30" L.O.).

El gabro forma parte del complejo espilitico-queratofirico Santa Ana (Zappettini 1989). En el área investigada las rocas se presentan como dos filones capa emplazados en sedimentitas ordovícicas. El mayor tiene 5 km de longitud y hasta 500 m de potencia y se encuentra plegado. Se presenta como una roca de estructura granosa mediana, color gris verdoso y textura granoblástica. Está compuesto por prehnita, diópsido, tremolita, agregados de clorita variedad penina, epidoto y oligoclasa poikilitica en relación con el piroxeno. Como accesorios hay agregados de titanita, rutilo, magnetita y apatita. Esta composición, correspondiente a un queratófiro, se interpreta como originada por metasomatismo de una roca gábrica, preservada en el núcleo del dique. En ese sector el gabro se presenta con estructura granosa gruesa y bandeado magmático

vinculado con variaciones en las proporciones de los minerales constitutivos. Presenta textura intergranular y está compuesto por andesina (An<sub>36-40</sub>), fuertemente epidotizada, argilizada y sericitizada, augita en cristales subidiomorfos, olivina en parte serpentinizada y mafitos cloritizados. Hay numerosos cristales de apatita, titanita e ilmenita. Como accesorios se identificó circón y baddeleyita. Hay asociadas venas de calcita y epidoto.

## DATOS MINERALÓGICOS Y COMPOSICIÓN QUÍMICA

La baddeleyita cristaliza en el sistema monoclinico, grupo espacial P 2(1)/c. En la localidad estudiada se presenta en cristales euhedrales prismáticos de 30 a 75 micrones a lo largo del eje c, en los que predominan las formas {100}, {001} y {110}, con clivaje característico {001} (Fig. 1). Presenta color castaño a incoloro y es transparente. Es ópticamente biáxica y muestra una fuerte dispersión  $r > v$ .

Se realizaron análisis mediante microsonda electrónica de 6 granos de mineral, y los resultados se muestran en el cuadro 1. Las imágenes de electrones retrodifundidos indican que la baddeleyita estudiada es químicamente homogénea. Desde un punto de vista composicional, la baddeleyita natural presenta bajas concentraciones de otros elementos aparte del Zr (Heaman y LeCheminant 1993, Bellatreccia *et al.* 1998), por lo que su fórmula es próxima a  $ZrO_2$ . Los datos presentados en la literatura indican que los contenidos en Hf, Ti, Fe y Zr varían de acuerdo con el ambiente de formación de la baddeleyita (Heaman y LeCheminant 1993). Los contenidos determinados en Hf (0,95% promedio) y Ti (0,98% promedio) son los normales para las baddeleyitas vinculadas con rocas básicas. Si se comparan los valores con los de baddeleyitas asociadas a rocas alcalinas, se observa que los contenidos en Hf, U y Nb son más bajos y los de Ti más altos. Estas variaciones en los contenidos de elementos traza según el origen de las rocas portadoras

de baddeleyita se destacan cuando se comparan las relaciones Zr/Hf y Ti/Hf según se indica en el cuadro 1.

## EDAD U/PB

Debido a que la baddeleyita incorpora U

en su estructura, es un mineral que ha sido utilizado en dataciones U/Pb de rocas ígneas máficas (Heaman and LeCheminant 1993, Wingate *et al.* 2000, Santos *et al.* 2002). La baddeleyita es un geocronómetro ideal para este tipo de rocas ya que presenta concentraciones relativa-

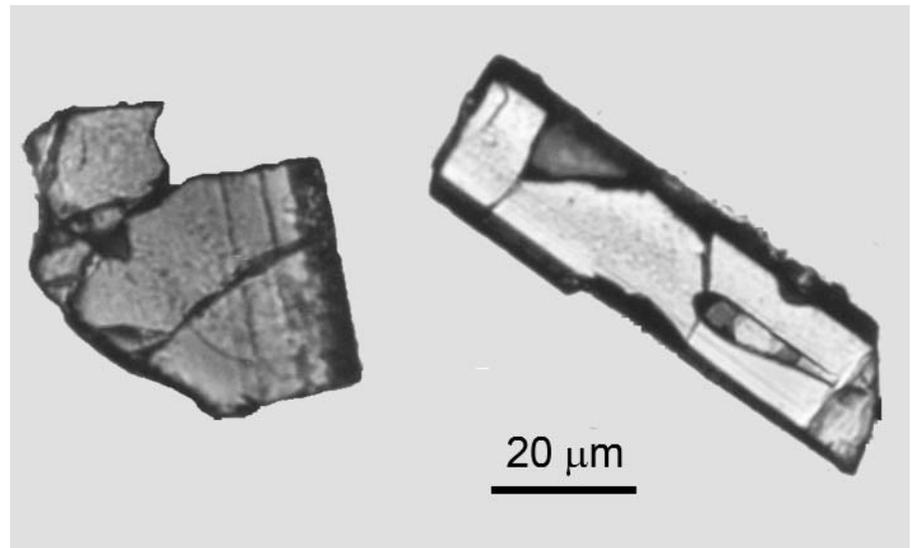


Figura 1: Cristales de baddeleyita. Nótese el clivaje 001característico.

CUADRO 1: Análisis químicos de baddeleyita.

Muestra	Santa Ana (Jujuy)							Tre Croci (Italia)	Alban (Italia)	Ponza (Italia)	Artico	Sitio LEG 153	Benfontein Sudáfrica
	2a	2b	8	3	5	4	Promedio						
Roca			Gabro					Piroclasto alcalino	Piroclasto alcalino	Sienita	Gabro	Gabro	Kimberlita
SiO <sub>2</sub>	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0	0,08	0	0,04-0,19
TiO <sub>2</sub>	0,49526	1,9623	0,93643	1,001	0,43367	1,0365	0,977527	0,37	0,11	0,17	0,56	1,635	0,32-0,80
ZrO <sub>2</sub>	94,664	92,4	93,707	95,831	95,371	93,766	94,28983	97,56	97,13	96,71	97,8	96,575	96,4
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,006029	0,11058	0,000102	0	0	0	0,019452	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.
HfO <sub>2</sub>	0,99097	0,9248	1,0094	0,94592	0,87995	0,96185	0,952148	1,73	1,66	1,49	0,93	1,65	1,72
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,048686	0,039795	0,024861	0,053456	0,028781	0,053258	0,041473	0,08	n.a.	0,02	n.a.	n.a.	n.a.
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,014561	0,029063	0,002568	0,017483	0,002676	0,00026	0,011102	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0	0	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
ThO <sub>2</sub>	0,003603	0,031299	0,004856	0	0,005272	0,003949	0,008163	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
UO <sub>2</sub>	0,058833	0,27119	0,047042	0,035896	0,19054	0,020245	0,103958	0,37	n.d.	1,11	n.a.	n.a.	n.a.
CaO	0,001312	0	0,000176	0,003073	0	0	0,00076	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,01	0,31-0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,1311	0,17221	0,16273	0,17391	0,17803	0,21176	0,171623	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0,15741	0,009057	0	0	0	0,027744	0,32	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.d.
Otros óxidos									0,1	0,89	0,14	1,3	0,49
0,50-1,72													
TOTAL	96,414	96,098	95,904	98,061	97,09	96,054	96,60378	100,51	99,93	100,38	100,67	100,36	100,3
Zr/Hf*	83,34	87,17	80,99	88,39	94,56	85,05	86,40	49,202	51,05	56,63	91,75	51,58	48,90
Ti/Hf*	0,35	1,50	0,66	0,75	0,35	0,76	0,73	0,15	0,05	0,08	0,43	0,73	0,33

Notas: (\*) Como elementos. Se indica para comparación la composición promedio de baddeleyitas asociadas a rocas alcalinas de Tre Croci, Alban y Ponza (Bellatreccia *et al.*, 1998), a rocas gábricas del ártico canadiense (Kei y Fricker, 1984) y de la dorsal atlántica (Karson *et al.*, 1997) y a rocas kimberlíticas de Benfontein, Sudáfrica (Scatena-Wachel y Jones, 1984). n.a.: no analizado. n.d.: no detectado

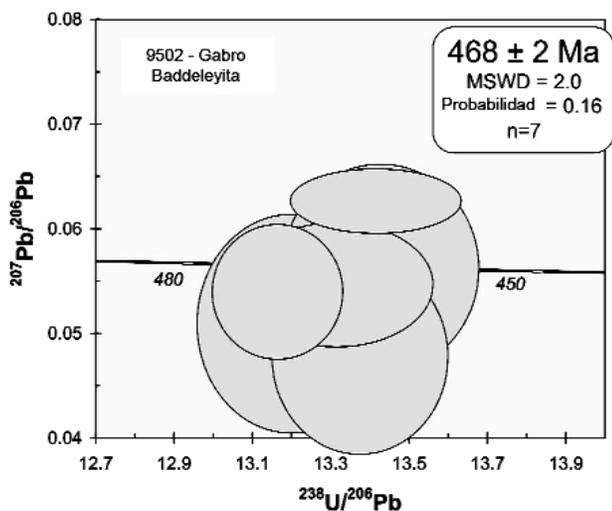
**CUADRO 2:** Datos isotópicos U-Pb SHRIMP de baddeleyita y circón del gabro del Complejo Espilitico-Queratofirico Santa Ana, Jujuy.

spot	U ppm	Th ppm	Th U	Relaciones isotópicas		Edades					Correl. Coefic.	Disc. %
				4f206 (%)	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>208</sup> Pb	<sup>207</sup> Pb	<sup>206</sup> Pb		
						<sup>238</sup> U	<sup>235</sup> U	<sup>232</sup> Th	<sup>208</sup> Pb	<sup>238</sup> U		
<b>Baddeleyita</b>												
D.2-1	95	4	0.04	0.00	0.06266 ± 3.24	0.0745 ± 1.08	0.6441 ± 3.42	- ± -	697 ± 69	463.5 ± 4.8	0.315	33
D.2-2	246	26	0.11	2.81	0.05397 ± 7.89	0.0760 ± 0.83	0.5653 ± 7.93	- ± -	370 ± 178	472.0 ± 3.8	0.105	-28
D.3-1	173	3	0.02	1.99	0.04782 ± 12.78	0.0748 ± 1.11	0.4930 ± 12.83	- ± -	90 ± 303	464.8 ± 5.0	0.086	-414
D.3-2	174	2	0.01	3.64	0.05093 ± 13.53	0.0758 ± 1.20	0.5320 ± 13.58	- ± -	237 ± 312	470.8 ± 5.5	0.089	-98
D.4-1	145	82	0.58	4.30	0.05621 ± 11.73	0.0745 ± 1.24	0.5772 ± 11.80	- ± -	461 ± 260	463.1 ± 5.5	0.105	-1
D.6-1	51	1	0.02	5.14	0.03073 ± 40.42	0.0759 ± 1.81	0.3216 ± 40.46	- ± -	-1086 ± 1221	471.6 ± 8.2	0.045	143
D.7-1	149	27	0.18	1.27	0.05465 ± 7.16	0.0751 ± 1.22	0.5660 ± 7.27	- ± -	398 ± 161	466.9 ± 5.5	0.168	-17
D.8-1	155	5	0.03	1.84	0.05488 ± 7.04	0.0776 ± 0.85	0.5870 ± 7.09	- ± -	407 ± 157	481.6 ± 4.0	0.120	-18
<b>Circón</b>												
E.1-1	2623	4987	1.96	2.54	0.05614 ± 0.78	0.0743 ± 1.04	0.5754 ± 1.30	0.0216 ± 1.09	458 ± 17	462.2 ± 4.6	0.801	-1
E.3-1	3337	6109	1.89	2.34	0.05559 ± 0.72	0.0646 ± 1.04	0.4952 ± 1.27	0.0188 ± 1.10	436 ± 16	403.5 ± 4.1	0.820	7
E.4-1	3159	5122	1.68	0.36	0.05597 ± 0.94	0.0729 ± 1.04	0.5630 ± 1.40	0.0213 ± 1.10	451 ± 21	453.9 ± 4.6	0.742	-1
E.6-1	263	58	0.23	0.63	0.05424 ± 4.49	0.0756 ± 1.21	0.5657 ± 4.65	0.0191 ± 10.84	381 ± 101	470.1 ± 5.5	0.261	-23

Notas: Los errores en las relaciones isotópicas son en %. Las incertidumbre son 1 .

Todas las relaciones Pb están corregidas por <sup>204</sup>Pb (granos de origen magmático) y por <sup>208</sup>Pb (granos de origen metamórfico).

disc. = discordancia,  $100 - 100 \{t^{[206\text{Pb}/^{238}\text{U}]} / t^{[207\text{Pb}/^{206}\text{Pb}]}\} - f_{206} = (^{206}\text{Pb no radiogénico}) / (^{206}\text{Pb total medido})$  basado en <sup>204</sup>Pb medido.



**Figura 2:** Diagrama de concordia U/Pb en baddeleyita. Edad de cristalización magmática calculada sobre 7 cristales

mente altas de U (200 a 1.000 ppm), irrelevante contenido en Pb no radiogénico y es muy resistente a la pérdida de Pb radiogénico (Heaman and LeCheminant 1993). Una limitante es que los cristales de baddeleyita pueden ser más pequeños que el diámetro del spot analítico (SHRIMP y LA-ICP-MS).

Para la muestra de gabro estudiada se procesó 1 kg de muestra por los métodos convencionales, habiéndose recuperado 13 cristales de baddeleyita y seis de circón. Los granos de circón (80-120 μm) son muy ricos en U (2600-3300 ppm) y en Th (hasta 0,6%), están fracturados y

son parcialmente metamórficos: sólo cuatro fueron analizados (Cuadro 2). Debido a que la roca es pobre en Zr, la mayoría del U disponible en el magma se concentró durante la cristalización en una pequeña cantidad de granos.

Respecto de la baddeleyita, ocho de los granos pudieron ser analizados. La edad obtenida de la baddeleyita es de  $468 \pm 2$  Ma (fig. 2). La combinación de las edad de los circones y la baddeleyita da una edad media de  $467,2 \pm 3,1$  Ma, correspondiente al Ordovícico medio (límite Arenigiano-Llanvirniano). Todas las edades son edades <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U.

## CONDICIONES DE CRISTALIZACIÓN

El contenido en U de la baddeleyita de Santa Ana es relativamente bajo (promedio 149 ppm) al igual que el del Th (inferior a 82 ppm) y mucho menor que el contenido en los circones. Esto evidencia que el circón cristalizó antes que la baddeleyita y que el fundido estuvo subsaturado en sílice justo antes del enfriamiento final, lo que explica su formación intersticial en una etapa tardía de la cristalización del magma.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Bellatreccia, F., Della Ventura, G., Williams, T.C. y Parodi, G.C. 1998. Baddeleyite from the Vico volcanic complex, Latium Italy. Rendiconti Lincei Scienze Fisiche e Naturali 9: 27-33.
- Heaman L.M. y LeCheminant A.N. 1993. Paragenesis and U-Pb systematics of baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>). Chemical Geology 110: 95-126.
- Keil, K. y Fricker, P. 1974. Baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>) in Gabbroic Rocks from Axel Heiberg Island, Canadian Arctic Archipelago. American Mineralogist 59: 249-253.
- Koerberl, C. y Schultz, P. 1992. Chemical composition of meteoritic and impactite samples from the Río Cuarto craters, Argentina. Lunar

- and Planetary Science, 23: 707-708
- Ross, K. y Elthon, D. 1997. Cumulus and postcumulus crystallization in the oceanic crust: major and trace element geochemistry of LEG 153 gabbroic rocks. En Karson *et al.* (eds.) Proceedings of the Ocean Drilling Program. Scientific Results Vol. 153: 333-350.
- Santos, J.O.S., L.A., McNaughton, N.J. y Fletcher, I.R. 2002. Timing of mafic magmatism in the Tapajós Province (Brazil) and implications for the evolution of the Amazon Craton: evidence from baddeleyite and zircon U-Pb SHRIMP geochronology. Journal of South American Earth Sciences 15: 409-429.
- Scatena-Wachel, D. y Jones, A. 1984. Primary baddeleyite (ZrO<sub>2</sub>) in kimberlite from Benfontein, South Africa. Mineralogical Magazine 48: 257-261.
- Schultz, P.H., Zárate, M. y Hames, W.E. 1998. Three new Argentine impact sites: implications for Mars. Lunar and Planetary Science 20: 1898.
- Teixeira, W., Pinese, J., Iacumin, M., Girardi, V., Piccirillo, E., Echeveste, H., Ribot, A., Fernández, R., Renne, P. y Heaman, L. 2002. Calc-alkaline and tholeiitic dyke swarms of Tandilia, Río de la Plata craton, Argentina: U-Pb, Sm-Nd, and Rb-Sr <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar data provide new clues for intraplate rifting shortly after the Trans-Amazonian orogeny. Precambrian Research 119: 329-353.
- Wingate, M.T.D., Campbell, I.H. y Harris, L.B. 2000. SHRIMP baddeleyite age for the Fraser dike swarm, southeast Yilgarn craton, Western Australia. Australian Journal of Earth Sciences 47: 309-313.
- Schultz P., Zárate, M., Hames, W. y Camilión, C. 1998. A 3.3-Ma impact in Argentina and possible consequences. Science 282: 2061-2063.
- Zappettini, E. 1989. Geología y metalogénesis de la región comprendida entre las localidades de Santa Ana y Cobres, provincias de Jujuy y Salta, República Argentina. Tesis doctoral, Universidad de Buenos Aires, (inérita), 180 p., Buenos Aires.

Recibido: 01 de septiembre, 2008

Aceptado: 01 de marzo, 2009