

# EL EXTREMO RICO EN AS DE LA SERIE JORDANITA-GEOCRONITA DE MINA CAPILLITAS, CATAMARCA

María Florencia MÁRQUEZ-ZAVALÍA

IANIGLA-CRICYT (CONICET) Av. Ruiz Leal s/n, Parque Gral. San Martín, CC 330, (5500) Mendoza; Fax 54-261-428-5940; Email: mzavalía@lab.cricyt.edu.ar

## RESUMEN

Jordanita,  $Pb_{14}As_6S_{23}$ , el extremo rico en As de la serie jordanita-geocronita, fue encontrado en veta Bordón, en mina Capillitas, un depósito epitermal vetiforme de metales preciosos y básicos, ubicado en la ladera oriental de la sierra de Capillitas, Catamarca. Se presenta asociado a esfalerita, marcasita y galena en cristales anhedrales, equidimensionales y en agrupaciones microcristalinas de hasta 5 mm; es frágil y su dureza es  $\sim 3$ . Bajo el microscopio de polarización y observándolo con luz reflejada, es un mineral blanco con débil birreflectancia y pleocroismo (blanco brillante a blanco con leve tonalidad grisácea), con dureza de pulido menor que la de esfalerita y poder reflector alto, similar al de galena. La jordanita tiene anisotropía distintiva; sus colores de polarización, en aire, son verde azulado y violeta con suave tonalidad ocrácea. Su composición química, expresada en porcentaje en peso (min-más-promedio) es: S: 17,20–18,49-17,84; As: 10,32–11,44-10,88, Pb: 70,60–71,46-71,03 y Sb: 0,00%. La fórmula estructural, calculada en base a 43 átomos por celda unidad, es:  $Pb_{14,20}As_{5,80}S_{23,00}$ . La jordanita tiene simetría monoclinica y grupo espacial  $P2_1/m$ ; sus líneas de difracción de rayos X más intensas son: ( $d\text{\AA}$ , hkl, I/Io): 2,287, 1 12 1, 100; 1,819, -1 17 1, 80; 3,17, 2 6 0, 60; 2,111, -2 1 4, 50. Los parámetros de su celda unidad, refinados a partir de datos de difractogramas de polvo usando CELREF, son:  $a = 8,933$  (2)  $\text{\AA}$ ,  $b = 31,869$  (4)  $\text{\AA}$ ,  $c = 8,458$  (1)  $\text{\AA}$ ,  $\beta = 117,17^\circ$ ,  $V = 2131$  (1)  $\text{\AA}^3$ .

Palabras clave: *jordanita, sulfosal, epitermal, Capillitas, Argentina.*

## ABSTRACT. *The As-rich end-member of the jordanite-geocronite series of the Capillitas Mine, Catamarca.*

The As-rich end-member of the jordanite-geocronite series of the Capillitas Mine, Catamarca. Jordanite,  $Pb_{14}As_6S_{23}$ , the As-rich end member of the jordanite-geocronite series was found at the Bordón vein, in Capillitas Mine, an epithermal precious- and base-metal vein deposit, located along the eastern slope of the Sierra de Capillitas, Catamarca. It occurs associated with sphalerite, marcasite and galena in anhedral, equidimensional crystals and microcrystalline associations up to 5 mm. It is brittle and its hardness is  $\sim 3$ . Under the polarizing microscope, observed with reflected light, it is white with just noticeable birreflectance and pleochroism (bright white to white with a faint grayish hue). Its polishing hardness is lower than that of sphalerite and its reflectivity is high, similar to galena. Jordanite has noticeable anisotropy (in air) with bluish-green and violet with pale ochraceous tint, internal reflections were not observed. Its chemical composition, expressed in weight percent is (min-max-average): S: 17.20–18.49-17.84; As: 10.32–11.44-10.88, Pb: 70.60–71.46-71.03 and Sb: 0.00%. The structural formula, calculated in base of 43 atoms per unit cell, is:  $Pb_{14,20}As_{5,80}S_{23,00}$ . Jordanite has monoclinic symmetry, space group  $P2_1/m$ , its strongest X-ray diffraction lines are ( $d\text{\AA}$ , hkl, I/Io): 2.287, 1 12 1, 100; 1.819, -1 17 1, 80; 3.17, 2 6 0, 60; 2.111, -2 1 4, 50. The unit cell parameters, refined from powder diffraction data using CELREF, are:  $a = 8.933$  (2)  $\text{\AA}$ ,  $b = 31.869$  (4)  $\text{\AA}$ ,  $c = 8.458$  (1)  $\text{\AA}$ ,  $\beta = 117.17^\circ$ ,  $V = 2131$  (1)  $\text{\AA}^3$ .

Keywords: *jordanite, sulfosal, epitermal, Capillitas, Argentina.*

## INTRODUCCIÓN

La jordanita es el extremo rico en As de la serie jordanita-geocronita:  $Pb_{14}(As,Sb)_6S_{23}$ ,  $P21/m$ . Este mineral fue originalmente descubierto por G. vom Rath en 1864, en muestras procedentes de la cantera Lengenbach, Binnental, Valais, Suiza (Blackburn y Dennen 1997). La jordanita no es un mineral frecuente en Argentina; según la recopilación de Brodtkorb (2002) ha sido descrito únicamente en Veta Tajo, Paramillos de Uspallata, Mendoza (Schalamuk e Iñiguez 1981). La jordanita es un mineral extremadamente raro en la mina Capillitas y, a diferencia de la muestra estudiada en Mendoza, corresponde al miembro extremo de la serie jordanita-geocronita, en donde el Sb está totalmente ausente.

## GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL

La Mina Capillitas es un depósito vetiforme de metales preciosos y básicos de tipo epitermal. El yacimiento se encuentra localizado en la ladera oriental de la sierra de Capillitas, en la provincia de Catamarca, en el sector noroeste de Argentina.

La deformación andina reactivó fábricas estructurales de rumbo NE en el basamento neoproterozoico-cámbrico temprano, desarrollando un sistema de bloques basculados. El bloque de la sierra de Capillitas está limitado al NO y al SE por las fallas inversas Lavadero y El Tigre respectivamente. Las unidades litológicas representadas en el área son: el Granito Capillitas sobre el cual yacen en discordancia tres unidades cenozoicas: la Formación El Morterito compuesta por conglomerados, areniscas y arcilitas del Mioceno medio a superior, el Complejo Volcánico formado por rocas volcánicas miocenas superiores a pliocenas inferiores, y depósitos cuaternarios que suprayacen en discordancia a las unidades anteriores y que están representados principalmente por conglomerados aluviales e intercalaciones de capas arenosas friables. En el área de Capillitas, las rocas del complejo volcánico desarrollaron una diatrema elipsoidal (1.500 x 900 m), con su eje mayor en dirección NE-SO (Fig. 1). Ésta se encuentra rellenada por rocas volcánicas

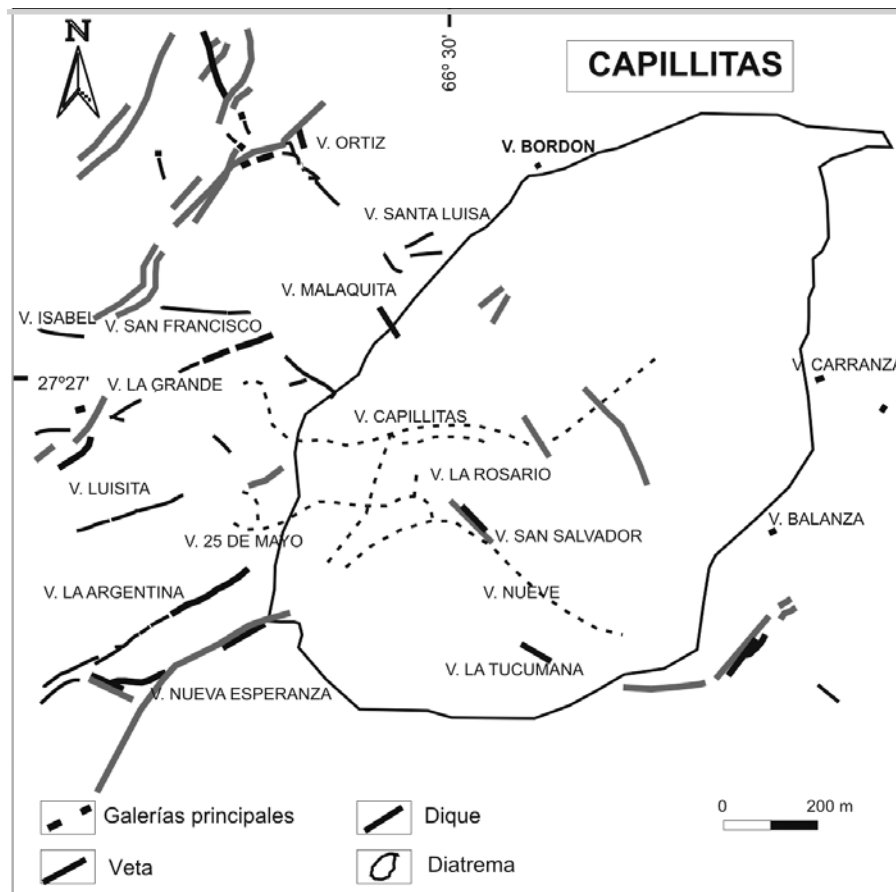
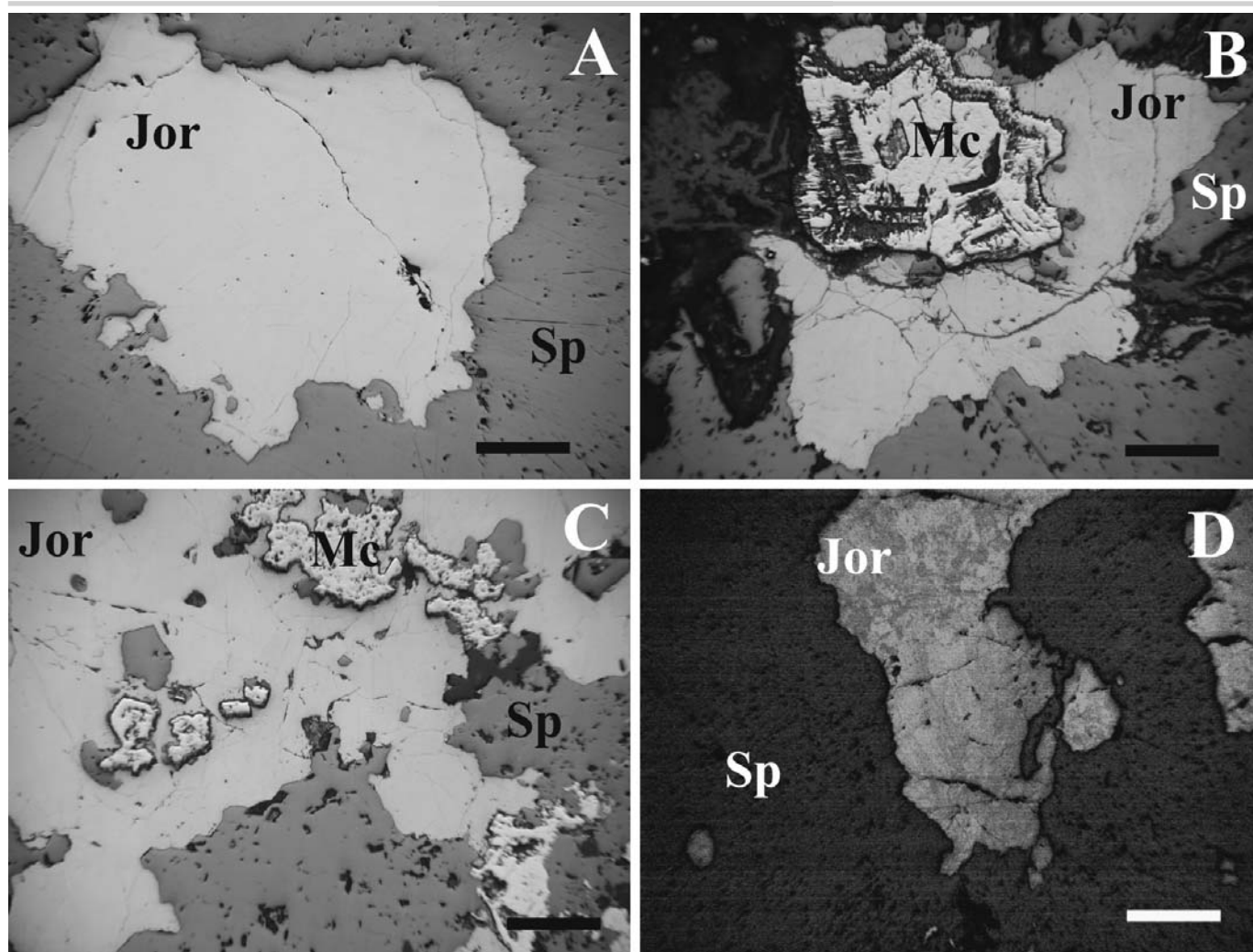


Figura 1: Bosquejo de ubicación de las vetas de Mina Capillitas y contorno de la diatrema.

fragmentadas, que fueron posteriormente penetradas por un domo volcánico, el morro Pan de Azúcar (Márquez-Zavalía 1988, 1999) datado en  $5,16 \pm 0,05$  Ma (Sasso y Clark 1998). La alteración hidrotermal está bien distribuida y varía lateralmente, dependiendo de la litología. En el área del yacimiento se identificó una veintena de vetas que cortan las rocas graníticas y volcánicas con rumbos preferenciales ENE y ONO y que desarrollan diversas texturas, entre las que merecen especial mención las presentaciones bandeadas, brechadas, drúsicas y estalactíticas. El depósito presenta una mineralogía muy variada, con más de ciento veinte especies minerales representadas; sin embargo los minerales más abundantes o más distribuidos se circunscriben a pirita, esfalerita, galena, marcasita, pirrotina, calcopirita, tetraedrita, tennantita, enargita, bornita, oro, calcosina, covelina y pirolusita, en ganga de cuarzo y rodocrosita.

La veta Bordón se encuentra sobre la quebrada del arroyo Restauradora y posee dos galerías desarrolladas sobre veta, en flancos opuestos de la quebrada y con un desnivel de unos cuatro metros entre ellas. Se encuentra encajada en rocas graníticas y las estructuras drúsicas son frecuentes. La longitud de esta veta es de 150 m (Angelelli y Rayces 1946) y su potencia media es de 10 a 15 cm; tiene rumbo  $N70^\circ E$ , buzamiento de  $60-85^\circ S$  y se encuentra a una altitud de 3.080 m s.n.m. Los minerales de mena están representados principalmente por esfalerita, pirita, galena, calcopirita, marcasita, tennantita, enargita, greigita, calcosina, covelina y cuprita. Son accesorios frecuentes: arsenopirita, pirrotina, wurtzita, bournonita, oro, hematita y cerusita, mientras que boulangerita y jordanita son mucho más escasos. La ganga está representada casi exclusivamente por cuarzo lechoso. En los primeros metros de la galería inferior, las paredes están recu-



**Figura 2:** A: Jordanita (n//) asociada a esfalerita y parcialmente reemplazada por ésta; B y C: Jordanita (n//) asociada a esfalerita y marcasita y parcialmente reemplazada por ambos minerales; D: Asociación de dos granos de jordanita (nx) en donde se observa que el superior es policristalino y el inferior se encuentra maclado.

**CUADRO 1:** Análisis químicos de jordanita

% peso	1	2	3	4	5	6
S	18,32	17,89	17,86	18,20	18,55	18,04
As	10,83	10,56	10,80	12,31	11,05	11,00
Sb	0,00	0,00	0,00	n.d.	1,25	0,00
Pb	71,14	71,45	71,01	68,61	69,40	70,96
Total	100,29	99,90	99,67	99,12	100,25	100,00

- 1: Veta Bordón, Mina Capillitas. Análisis # 101 (este trabajo)
- 2: Veta Bordón, Mina Capillitas. Análisis # 105 (este trabajo)
- 3: Veta Bordón, Mina Capillitas. Promedio de 17 análisis (este trabajo)
- 4: Binnental, Suiza (Anthony et al. 1990)
- 5: Veta Tajo, Uspallata, Mendoza (Schalamuk et al. 1981)
- 6:  $Pb_{14}As_6S_{23}$

biertas por abundantes eflorescencias de color amarillito verdoso, constituidas por una masa heterogénea de sulfatos secundarios, entre los que se identificaron: ferricopiapita, goslarita, halotriquita, melanterita, metavoltina, voltaíta y yeso.

## METODOLOGÍA ANALÍTICA UTILIZADA

Las secciones pulidas, realizadas por métodos convencionales, se describieron bajo el microscopio de polarización, con luz reflejada y en aire, antes de ser metalizadas con C para ser analizadas.

Los análisis químicos se realizaron con una microsonda electrónica Cameca SX50 y las condiciones operativas fueron: haz de 1 a 2

$\mu\text{m}$  de diámetro, aceleración de voltaje de 15 kv, corriente de 20 na medida en una copa de Faraday y 20 segundos de tiempo de conteo para cada elemento analizado. Se usaron estándares tanto naturales como sintéticos:  $\text{CuFeS}_2$  (S, Fe, Cu), GaAs (As, Ga),  $\text{PbS}$  (Pb),  $\text{PbTe}$  (Te), Sb (Sb), Ag (Ag), Bi (Bi), InP (In), CdS (Cd), MnSe (Se), Au (Au), ZnS (Zn). Las líneas analíticas seleccionadas fueron:  $K\alpha$  para S, Fe, Cu, Zn y Ga,  $L\alpha$  para As, Se, Ag, Te, Sb, In y Cd y MB para Pb, Bi y Au. Los datos se corrigieron usando la rutina PAP de Pouchou y Pichoir (1984, 1985).

Los difractogramas de polvo se realizaron utilizando un equipo Philips PW-1720, con cámaras de Debye Scherrer de 114,6 y 57,3 mm de diámetro, radiación de  $\text{Cu } K\alpha$  y fil-

**CUADRO 2:** Datos de difracción de rayos X

Jordanita - Mina Capillitas					JCPDS 11-0100		JCPDS 02-1149	
2 $\theta$ obs.	2 $\theta$ calc.	<i>hkl</i>	<i>d</i> (Å)	I/I <sub>0</sub>	<i>d</i> (Å)	I/I <sub>0</sub>	<i>d</i> (Å)	I/I <sub>0</sub>
--	--	--	--	--	7,25	10	--	--
--	--	--	--	--	6,71	10	--	--
--	--	--	--	--	6,03	10	--	--
--	--	--	--	--	4,87	10	--	--
20,21	--	--	4,39	5	4,4	20	--	--
--	--	--	--	--	4,17	20	--	--
--	--	--	--	--	4,01	10	--	--
--	--	--	--	--	3,78	30	--	--
24,11	24,1	-2 1 2	3,69	10	3,65	40	--	--
25,29	25,3	0 8 1	3,47	20	3,47	60	3,49	70
26,67	--	--	3,34	30	3,34	70	3,31	70
28,09	28,11	2 6 0	3,17	60	3,15	80	3,15	70
29,37	--	--	3,04	50	3,06	80	3,01	70
--	--	--	--	--	2,97	90	--	--
31,23	31,22	2 3 1	2,864	30	2,87	40	2,87	70
32,27	32,27	-2 9 1	2,774	5	2,78	50	2,75	40
32,73	--	--	2,737	5	2,63	10	--	--
36,53	36,55	2 6 3	2,460	1	--	--	2,48	30
37,55	--	--	2,395	5	2,390	30	2,36	30
39,39	39,38	1 12 1	2,287	100	2,338	100	2,22	100
42,83	42,83	-2 1 4	2,111	50	2,110	60	2,10	90
44,65	44,65	-2 14 1	2,029	10	2,025	30	2,01	40
--	--	--	--	--	1,999	10	--	--
47,01	47,01	1 16 0	1,933	20	1,912	40	1,93	40
--	--	--	--	--	1,870	40	--	--
50,15	50,15	-1 17 1	1,819	80	1,829	80	1,82	90
--	--	--	--	--	1,784	20	--	--
52,15	52,15	-5 1 3	1,754	40	1,755	50	1,75	70
--	--	--	--	--	Más 10 líneas	--	--	--
--	--	--	--	--	hasta 1,403	--	--	--

**CUADRO 3:** Parámetros de la celda unidad de jordanita

Jordanita - Mina Capillitas				
	1	2	3	4
<i>a</i>	8,933 (2) Å	8,92 Å	8,89 Å	8,89 Å
<i>b</i>	31,869 (4) Å	31,88 Å	31,65 Å	31,71 Å
<i>c</i>	8,458 (1) Å	8,457 Å	8,40 Å	8,42 Å
$\beta$	117,7°	117,43°	118,35°	118,1°
<i>V</i>	2131 (1) Å <sup>3</sup>			

- 1: Veta Bordón, Mina Capillitas (este trabajo)  
 2: Jordanita sintética (Jambor *et al.* 1968)  
 3: JCPDS 02-1149 (JCPDS 1997)  
 4: JCPDS 11-0100 (JCPDS 1997)

tro de Ni. El indexado y el refinamiento de la celda unidad se realizaron utilizando el programa CELREF V3 (Altermatt y Brown 1987).

## PROPIEDADES FÍSICAS Y ÓPTICAS

En Mina Capillitas la jordanita fue identificada en la veta Bordón, asociada a esfalerita (Fig. 2A), marcasita (Figs. 2B y 2C) y galena. Es un mineral opaco, de color gris acero y brillo metálico; se presenta en cristales anhedrales, equidimensionales a irregulares y en agrupaciones microcristalinas (Fig. 2D) que alcanzan un tamaño de 5 mm en casos

excepcionales. Es frágil, su dureza es  $\sim 3$  y es frecuente observar varios juegos de finas fisuras sin patrones cristalográficos evidentes, que surcan los agregados.

Al microscopio presenta color blanco, muy similar al de galena, tiene débil birreflectancia y pleocroísmo de blanco brillante a blanco con leve tonalidad grisácea. Su dureza relativa es menor que la de esfalerita, su poder reflector es similar al de galena, presenta maclas lamelares (Fig. 2D) y no se observaron evidencias de clivaje. Este mineral posee fuerte anisotropía de color, con colores de polarización celeste verdosos y violáceos con débil tinte ocre y no posee reflejos internos. Se presenta en esfalerita y está parcialmente reemplazado por este mineral y por marcasita.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se realizaron 17 análisis químicos cuyos resultados revelan que el mineral de Capillitas es jordanita pura, correspondiente al extremo rico en As y carente de Sb de la serie jordanita-geocronita. Los valores mínimos, máximos y promedio obtenidos para cada elemento y expresados en porcentaje en peso, corresponden respectivamente a: S: 17,20 – 18,49 y 17,84; As: 10,32 – 11,44 y 10,88 y Pb: 70,60 – 71,46 y 71,03. En los análisis seleccionados como representativos del conjunto de datos obtenidos, y que se presentan en el cuadro 1, no se informan los resultados de los elementos analizados que arrojaron valores por debajo de los límites de detección correspondientes, los cuales son: Fe, Cu, Zn, Ga, Se, Ag, Cd, In, Te, Au y Bi.

La composición química de la jordanita de Mina Capillitas concuerda con la composición ideal de ese mineral y con la de la jordanita de Binnental, Suiza. Difiere en cambio con la de Veta Tajo, Mendoza, ya que aquella contiene algo de Sb en reemplazo de As.

Se calculó la fórmula estructural en base a 43 átomos por fórmula unidad para dos de los análisis considerados como representativos del conjunto (BO.101 y BO.105, Cuadro 1), y se obtuvieron las siguientes composiciones: Pb<sub>13,93</sub>As<sub>5,87</sub>S<sub>23,20</sub> y Pb<sub>14,20</sub>As<sub>5,80</sub>S<sub>23,00</sub> respectivamente, que resultan totalmente concordantes con la

fórmula ideal del mineral:  $Pb_{14,00}As_{6,00}S_{23,00}$ . Para comparar las fórmulas estructurales obtenidas en el mineral de Mina Capillitas, se calcularon las de las jordanitas procedentes de Binnental, Suiza ( $Pb_{13,39}As_{6,65}S_{22,96}$ ) y de Mendoza, Argentina ( $Pb_{13,45}(As_{5,92}Sb_{0,41})_6,33S_{23,22}$ ), a partir de los análisis informados en el cuadro 1. Como se puede observar, todos los resultados se encuentran dentro de los valores esperados para este mineral, pero los de Capillitas y Suiza corresponden al extremo de la serie jordanita-geocronita en donde el As es el único semimetal presente.

## CRISTALOGRAFÍA DE RAYOS X

La jordanita tiene simetría monoclinica, con un grupo espacial  $P2_1/m$  y  $Z = 2$ . Los valores obtenidos a partir del diagrama de rayos X se presentan en el cuadro 2, comparando los espaciados del mineral de Capillitas con los de otros equivalentes proporcionados por JCPDS (1997).

Los parámetros de la celda unidad calculados para el mineral de Capillitas son:  $a = 8,933$  (2) Å,  $b = 31,869$  (4) Å,  $c = 8,458$  (1) Å,  $\beta = 117,7^\circ$ ,  $V = 2131$  (1) Å<sup>3</sup>. Estos datos se presentan en el cuadro 3, comparados con los valores de una jordanita de Silesia (JCPDS 02-1149) y de otra de procedencia no informada (JCPDS 11-0100), y coinciden con lo esperado para este mineral.

## CONCLUSIONES

La presencia de jordanita en Capillitas no es inesperada, ya que es un mineral poco frecuente pero factible de encontrar formando

parte de paragénesis ricas en Pb y As en depósitos epitermales. Hasta el momento se lo encontró únicamente en la veta Bordón, pero podría estar presente en otras vetas del yacimiento en donde los minerales con As son abundantes.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con los fondos de los subsidios PIP 319/98 y 5907 de CONICET. Los análisis de microsonda electrónica y los difractogramas de rayos X se realizaron gracias a la atención de los Drs. J. R. Craig y P. Cerný, durante estadías de la autora en los Departamentos de Geología del Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, Estados Unidos y la University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canadá.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Angelelli, V. y Rayces, E. C. 1946. Estudio geológico-minero del distrito cuprífero Capillitas, departamento Andalgalá, provincia de Catamarca. Dirección General de Fabricaciones Militares (informe inédito) 101 p., Buenos Aires.
- Altermatt, U. D. y Brown, I. D. 1987. A real-space computer-based symmetry algebra. *Acta Crystallografica*, A-43: 125-130.
- Blackburn, W.H. y Dennen, W.H. 1997. *Encyclopedia of Mineral Names*. Mineralogical Association of Canada, The Canadian Mineralogist Special Publication 1, 360 p.
- Brodtkorb, M. K. 2002. Las especies minerales de la República Argentina. Asociación Mineralógica Argentina. 1(Clase 1: Elementos, Clase 2: Sulfuros y sulfosa-

les), 246 p.

Jambor, J. L. 1967. New lead sulfantimonides from Madoc, Ontario. Part 3 - Syntheses, paragenesis, origin. *The Canadian Mineralogist* 9(4): 505-521.

JCPDS, 1997. International Centre for Diffraction Data. PCPDFWIN, 1: 30. Márquez Zavalía, M. República Argentina).

Márquez-Zavalía, M.F 1988. Minerología y génesis del yacimiento Capillitas, (Catamarca, república Argentina). Tesis doctoral. Salta, Argentina. Universidad Nacional de Salta, 258 p. (Inédita). salta

Márquez-Zavalía, M.F 1999- El yacimiento Capillitas, provincia de Catamarca. En *Yacimientos Minerales de la República Argentina* (ed. E.O. Zappettini). Secretaría de Geología y Minería de la República Argentina (SEGEMAR) Anales 35: 1643-1652, Buenos Aires.

Sasso, A.M y Clark, A.H 1998. The Farallón Negro Group. NW Argentina: Magmatic, hydrothermal and tectonic evolution and implications for Cu-Au metallogeny in the Andean back-arc. *SEG Newsletter* 34 (1): 8-18.

Schalamuk, I.B. e Iñiguez, A. M. 1981. Presencia de jordanita en Veta Tajo. Paramillos de Uspallata, Provincia de Mendoza, República Argentina. *Revista de la Asociación de Mineralogía Petrología y Sedimentología* 12 (1-2): 11-18.

Recibido: 25 de noviembre, 2005

Aceptado: 14 de abril, 2006