

CHATKALITA, NEKRASOVITA Y OTROS MINERALES DEL GRUPO DE LA ESTANNITA DE VETA MARÍA EUGENIA, CERRO ATAJO, CATAMARCA

M. F. MÁRQUEZ-ZAVALÍA y M. A. GALLISKI

CONICET - IANIGLA, CRICYT. Av. Ruiz Leal s/n, Parque San Martín - C. C. 330 (5500) Mendoza, Argentina.
E-mail: mzavalia@lab.cricyt.edu.ar / galliski@lab.cricyt.edu.ar

RESUMEN

En veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca, se encontró una asociación de minerales de estaño integrada por: chatkalita $\text{Cu}_6\text{Fe}^{2+}\text{Sn}_2\text{S}_8$, nekrasovita $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Sn,As,Sb})_6\text{S}_{32}$, colusita $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{As,Sn,Sb})_6\text{S}_{32}$, kēsterita $\text{Cu}_2(\text{Zn,Fe})\text{SnS}_4$ y estannoidita $\text{Cu}_8(\text{Fe,Zn})_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$. Estos minerales, incluidos en watanabeíta, están acompañados principalmente por pirita, esfalerita, calcopirita, tetraedrita, bornita y galena; aikinita, enargita, luzonita, marcasita, arsenopirita y pirrotina participan como minerales accesorios. Chatkalita se presenta en agregados irregulares de hasta 40 μm , asociados con kēsterita y estannoidita, es de color rosa-anaranjado claro, birreflectante y anisótropa, con colores de polarización pardos; su composición química (% en peso) es: S=29,76-30,37, Fe=4,53-7,92, Cu=39,13-43,21, Zn=0,75-5,53, As=0,19-2,42, Sn=15,27-20,50 y Sb=0,00-0,32. Nekrasovita es isotrópica, de color pardo con leve tinte rosa-violáceo y está asociada con estannoidita; su composición química es: S=30,29-30,63, Fe=3,41-4,75, Cu=44,26-45,70, Zn=0,56-1,00, As=4,18-4,71, Sn=12,53-13,64 y Sb=0,71-0,77. Colusita es pardo amarillenta, isotrópica, se presenta como parches irregulares y cintas discontinuas en tennantita; su composición química es: S=30,59-30,74, Fe=2,18-3,58, Cu=47,22-48,13, Zn=0,21-0,64, As=6,38-6,61, Sn=9,04-9,33 y Sb=0,49-1,66. Kēsterita es pardo grisáceo, con débil birreflectancia y anisotropía y colores de polarización pardos, a menudo se presenta bordeada por chatkalita; su composición química es: S=28,68-29,14, Fe=1,98-2,14, Cu=31,06-32,51, Zn=9,03-11,57 y Sn=26,39-27,03. Estannoidita es de color castaño, pleocroica (castaño-rosado a pardo-grisáceo) y anisótropa con colores de polarización pardos y pardo-amarillentos, ocurre en parches irregulares y como bandas bordeando tennantita; su composición química es: S=29,11-29,83, Fe=8,45-10,30, Cu=38,05-41,01, Zn=3,18-4,90, y Sn=15,84-18,94. La reflectividad y dureza de pulido de todos estos minerales es similar a las de watanabeíta; en ninguno de ellos se observaron evidencias de clivaje, maclas o reflejos internos.

Palabras clave: *Argentina, mineralogía, epitérmica, chatkalita, nekrasovita.*

ABSTRACT: Chatkalita, nekrasovita y otros minerales del grupo de la estannita de veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca.

The association of tin minerals integrated by: chatkalite $\text{Cu}_6\text{Fe}^{2+}\text{Sn}_2\text{S}_8$, nekrasovite $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Sn,As,Sb})_6\text{S}_{32}$, colusite $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{As,Sn,Sb})_6\text{S}_{32}$, kēsterite $\text{Cu}_2(\text{Zn,Fe})\text{SnS}_4$ and stannoidite $\text{Cu}_8(\text{Fe,Zn})_3\text{Sn}_2\text{S}_{12}$ was found at veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca. These minerals are included in watanabeite and accompanied by pyrite, sphalerite, chalcopyrite, tetrahedrite, bornite and galena as the main minerals, and aikinite, enargite, luzonite, marcasite, arsenopyrite and pyrrhotite as accessory minerals. Chatkalite is light pink with a delicate orange hue, birreflectant and anisotropic with brown polarization colours, occurs as irregular aggregates up to 40 μm , associated to kēsterite and stannoidite; its chemical composition (wt.%) range is: S=29.76-30.37, Fe=4.53-7.92, Cu=39.13-43.21, Zn=0.75-5.53, As=0.19-2.42, Sn=15.27-20.50 and Sb=0.00-0.32. Nekrasovite is isotropic, brown with a violet-pink hue; it is associated with stannoidite, and its chemical composition range is: S=30.29-30.63, Fe=3.41-4.75, Cu=44.26-45.70, Zn=0.56-1.00, As=4.18-4.71, Sn=12.53-13.64 and Sb=0.71-0.77. Colusite is yellowish-brown, isotropic, occurs as irregular patches and discontinuous ribbons in tennantite and its chemical composition range is: S=30.59-30.74, Fe=2.18-3.58, Cu=47.22-48.13, Zn=0.21-0.64, As=6.38-6.61, Sn=9.04-9.33 and Sb=0.49-1.66. Kēsterite is greyish-brown, with a weak birreflectance and brown polarization colours and sometimes is surrounded by chatkalite; its chemical composition range is: S=28.68-29.14, Fe=1.98-2.14, Cu=31.06-32.51, Zn=9.03-11.57 and Sn=26.39-27.03. Stannoidite is brown, pleochroic (pinkish-brown to greyish-brown), anisotropic, with brown and yellowish-brown polarization colours; it occurs as irregular patches or as bands bordering tennantite. Its chemical composition range is: S=29.11-29.83, Fe=8.45-10.30, Cu=38.05-41.01, Zn=3.18-4.90, and Sn=15.84-18.94. The reflectivity and polishing hardness of all these minerals are similar to that of watanabeite; in none of them were observed cleavage, twinning or internal reflections.

Keywords: *Argentina, mineralogy, epithermal, Chatkalite, nekrasovite.*

INTRODUCCIÓN

El distrito minero Farallón Negro (Sasso 1997, Sasso y Clark 1998), también conocido en la literatura más antigua como distrito minero Agua de Dionisio (Peirano 1944,

Angelelli 1984), agrupa un conjunto de yacimientos con una metalogénesis predominante de Cu-Au, vinculados genéticamente con un complejo volcánico-intrusivo de edad miocena superior y naturaleza calcoalina alta en K (Sasso y Clark 1998, Clark y

Sasso 2000) a shoshonítica (Müller y Forrestal 1998, 2000). Del *cluster* (Jones 1994, 1996) participan yacimientos de pórfidos de Cu-Au de clase mundial, intensamente estudiados como Bajo de la Alumbrera (González 1975, Godeas y Segal 1980, Guilbert

1995, Méndez 1997, Wall 1997, Ulrich *et al.* 1999, Ulrich y Heinrich 2001, 2002, Ulrich *et al.* 2001, 2002, Proffert 2004, Brown 2004, Halter *et al.* 2004, 2005, Heinrich 2005, Heinrich *et al.* 2005), de Cu-Au (Mo) como Agua Rica (Koukharsky y Mirré 1976, Navarro 1986, Koukharsky y Morello 1995, Roco y Koukharsky 1999, Landtwing *et al.* 2002, Rojas y Perelló 2004, Franchini *et al.* 2005) y depósitos epitermales como Farallón Negro (Malvicini y Llambías 1963, Sister 1963, Llambías 1970, 1972, JICA 1978-81, Alderete 1999, Montenegro y Morales 2004), Mina Capillitas (JICA 1978-81, Márquez-Zavalía 1988, 1999, Breitenmoser 1999, Hug 1999), Cerro Atajo (JICA 1978-81, Angelelli 1984) y áreas de alteración como Agua Tapada, Las Pampitas, El Espanto, Los Jejenes, San Lucas, El Durazno y Filo Colorado (JICA 1978-81).

La mineralogía de estos depósitos es comparativamente sencilla en Bajo de la Alumbrera: pirita, magnetita, calcopirita, molibdenita, oro, esfalerita, galena, bornita, pirrotina, hematita, covellina, digenita, calcosina (Godeas y Segal 1980), algo más compleja en Agua Rica: pirita, calcopirita, bornita,

molibdenita, magnetita, covellina, enargita, galena, esfalerita y marcasita (Koukharsky y Mirré 1976), polimetálica y muy variada en Mina Capillitas con más de 100 especies minerales identificadas, si bien las más abundantes son: pirita, esfalerita, galena, marcasita, pirrotina, calcopirita, tetraedrita, tennantita, enargita, bornita, calcosina y oro (Márquez-Zavalía 1988, 1999) y menos diversa en Farallón Negro: pirita, esfalerita, calcopirita, galena, tennantita, polibasita, argentita, oro (Malvicini y Llambías 1963) y nagyagita (Schalamuk y Nicolli 1975). En Cerro Atajo se realizaron pocos estudios mineralógicos de detalle (Paar *et al.* 2002, Makovicky *et al.* 2005) y es por eso que se resolvió hacer un muestreo selectivo en el área y las observaciones calcográficas de las muestras permitieron identificar la presencia de algunos minerales poco frecuentes del grupo de la estannita, que merecieron un estudio de más detalle.

UBICACIÓN Y YACENCIA

Cerro Atajo se encuentra ubicado en el departamento de Andalgalá, provincia de Ca-

tamarca, 10 km al E del Bajo de La Alumbrera y 25 km al O de Agua Rica. Para llegar a este depósito existen dos vías de acceso, una partiendo desde Andalgalá por la RN 63 a través de un camino de cornisa enripiado de 54 km y otra desde Santa María, recorriendo 36 km de pavimento por la ruta nacional 40, hasta el cruce con la provincial 47 y luego, siguiendo esa ruta de ripio por 47 km hasta llegar a Capillitas. La entrada a Cerro Atajo está a unos 5 km al N de Capillitas (sobre la ruta Santa María-Andalgalá).

Cerro Atajo es un yacimiento vetiforme epitermal encajado en rocas andesíticas miocenas de la Formación Farallón Negro. Las principales zonas mineralizadas (Carmen, María Eugenia y Triunfo) se encuentran en las zonas de alteración argílica y de silicificación.

La geología del depósito ha sido estudiada como parte de un plan de exploración mayor llevado a cabo por JICA (1978-81) y sus principales características se encuentran reseñadas en Angelelli (1984). La actividad volcánica, que coincide con los principales eventos del área, se desarrolló entre los 8,75

CUADRO 1: Análisis químicos de watanabeíta

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	% peso												
S	27,57	28,15	27,19	26,94	26,97	25,1	23,9	24,3	28,49	26,72	26,2	26,6	26,39
Mn	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,3	0,06	0,12
Fe	2,32	4,56	2,80	2,14	0,18	6,1	3,0	1,9	6,90	2,29	n.a.	n.a.	n.a.
Cu	41,84	43,34	40,19	40,21	41,25	39,2	39,6	37,4	43,57	39,61	41,1	43,2	42,95
Zn	5,88	1,43	4,62	5,49	8,46	0,8	5,0	4,8	0,04	6,35	n.a.	n.a.	n.a.
As	15,12	16,88	15,69	14,48	16,41	12,9	12,1	11,1	19,26	15,53	15,4	20,1	20,02
Ag	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	n.a.	n.a.	0,4	0,04	0,02	0,1	0,04	n.a.
Sb	5,14	0,64	0,22	0,41	1,56	1,8	1,7	0,0	1,03	3,43	14,3	3,9	3,24
Te	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	n.a.	n.a.	n.a.	0,38	0,29	n.a.	n.a.	n.a.
Bi	2,12	4,14	8,41	10,23	4,47	12,5	10,8	19,2	1,05	5,07	2,4	6,5	7,65
Total	99,99	99,14	99,12	99,90	99,57	98,4	96,1	99,1	100,76	99,31	99,8	100,4	100,37
	Contenido atómico calculado en base a 11 átomos por celda unidad												
S	4.968	5.046	5.035	5.020	4.925	4.870	4.751	4.911	4.956	4.936	4.980	4.953	4.949
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,007	0,000
Fe	0,240	0,469	0,298	0,229	0,019	0,680	0,342	0,220	0,689	0,243	0,000	0,000	0,000
Cu	3.804	3.920	3.755	3.781	3.801	3.838	3.972	3.814	3.824	3.693	3.942	4.059	4.064
Zn	0,520	0,126	0,420	0,502	0,758	0,076	0,487	0,476	0,003	0,575	0,000	0,000	0,000
As	1.166	1.295	1.243	1.155	1.282	1.071	1.029	0,960	1.434	1.228	1.253	1.602	1.607
Ag	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000	0,000	0,024	0,002	0,001	0,006	0,002	0,000
Sb	0,244	0,030	0,011	0,020	0,075	0,092	0,089	0,000	0,047	0,167	0,716	0,191	0,160
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,013	0,000	0,000	0,000
Bi	0,059	0,114	0,239	0,292	0,125	0,372	0,329	0,595	0,028	0,144	0,070	0,186	0,220

1 a 4 - Cerro Atajo, Catamarca, Argentina (este trabajo); 5 - Mina Capillitas, Catamarca, Argentina (este trabajo); 6 y 7 - Tennantita, Wittichen, Schwarzwald, Alemania (Springer 1969); 8 - Tennantita, Mangualde, Portugal (Oen & Kieft 1996); 9 y 10 - Tennantita, Golden Sunlight, Whitehall, MN, USA (Spry *et al.* 1997); 11 - Watanabeíta, Mina Teine, Sapporo, Hokkaido, Japón (Shimizu *et al.* 1993); 12 - Watanabeíta, Cerro Atajo, Catamarca (Paar *et al.* 2002); 13 - Bismuthian watanabeíta, Cerro Atajo, Catamarca (Makovicky *et al.* 2005); n.a. = No analizado / No informado.

CUADRO 2: Fórmulas estructurales de watanabeíta.

# Análisis	Fórmula estructural
1	$(\text{Cu}_{3,80}\text{Zn}_{0,52}\text{Fe}_{0,24})_{\Sigma 4,56}(\text{As}_{1,17}\text{Sb}_{0,24}\text{Bi}_{0,06})_{\Sigma 1,47}\text{S}_{4,97}$
2	$(\text{Cu}_{3,92}\text{Fe}_{0,47}\text{Zn}_{0,13})_{\Sigma 4,52}(\text{As}_{1,29}\text{Bi}_{0,11}\text{Sb}_{0,03})_{\Sigma 1,43}\text{S}_{5,05}$
3	$(\text{Cu}_{3,75}\text{Zn}_{0,42}\text{Fe}_{0,30})_{\Sigma 4,47}(\text{As}_{1,24}\text{Bi}_{0,24}\text{Sb}_{0,01})_{\Sigma 1,49}\text{S}_{5,03}$
4	$(\text{Cu}_{3,78}\text{Zn}_{0,50}\text{Fe}_{0,23})_{\Sigma 4,51}(\text{As}_{1,15}\text{Bi}_{0,29}\text{Sb}_{0,02})_{\Sigma 1,46}\text{S}_{5,02}$
5	$(\text{Cu}_{3,80}\text{Zn}_{0,76}\text{Fe}_{0,02})_{\Sigma 4,58}(\text{As}_{1,28}\text{Bi}_{0,12}\text{Sb}_{0,07})_{\Sigma 1,47}\text{S}_{4,92}$
6	$(\text{Cu}_{3,84}\text{Fe}_{0,68}\text{Zn}_{0,08})_{\Sigma 4,60}(\text{As}_{1,07}\text{Bi}_{0,37}\text{Sb}_{0,09})_{\Sigma 1,53}\text{S}_{4,87}$
7	$(\text{Cu}_{3,97}\text{Zn}_{0,49}\text{Fe}_{0,34})_{\Sigma 4,80}(\text{As}_{1,03}\text{Bi}_{0,33}\text{Sb}_{0,09})_{\Sigma 1,45}\text{S}_{4,75}$
8	$(\text{Cu}_{3,81}\text{Zn}_{0,48}\text{Fe}_{0,22})_{\Sigma 4,51}(\text{As}_{0,96}\text{Bi}_{0,59})_{\Sigma 1,55}\text{S}_{4,91}$
9	$(\text{Cu}_{3,82}\text{Fe}_{0,69})_{\Sigma 4,51}(\text{As}_{1,43}\text{Sb}_{0,05}\text{Bi}_{0,03})_{\Sigma 1,51}\text{S}_{4,96}$
10	$(\text{Cu}_{3,69}\text{Zn}_{0,57}\text{Fe}_{0,24})_{\Sigma 4,50}(\text{As}_{1,23}\text{Sb}_{0,17}\text{Bi}_{0,14})_{\Sigma 1,54}\text{S}_{4,94}$
11	$(\text{Cu}_{3,94}\text{Mn}_{0,03}\text{Ag}_{0,01})_{\Sigma 3,98}(\text{As}_{1,25}\text{Sb}_{0,72}\text{Bi}_{0,07})_{\Sigma 2,04}\text{S}_{4,98}$
12	$(\text{Cu}_{4,06}\text{Mn}_{0,01})_{\Sigma 4,07}(\text{As}_{1,60}\text{Sb}_{0,19}\text{Bi}_{0,19})_{\Sigma 1,98}\text{S}_{4,95}$
13	$\text{Cu}_{4,06}(\text{As}_{1,61}\text{Bi}_{0,22}\text{Sb}_{0,16})_{\Sigma 1,99}\text{S}_{4,95}$

CUADRO 3: Análisis químicos de chatkalita

	1	2	3	4	5	6
	% peso					
S	30,35	30,37	29,97	29,76	28,29	27,55
Fe	6,46	7,92	5,89	4,53	2,87	6,00
Cu	42,75	43,21	40,41	39,13	44,02	40,95
Zn	1,20	0,75	4,06	5,53	2,85	n.a.
As	1,94	2,42	0,44	0,19	1,69	n.a.
Sn	16,86	15,27	19,51	20,50	14,93	25,50
Sb	0,32	0,19	0,00	0,00	5,11	n.a.
Mo	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,74	n.a.
Total	99,88	100,13	100,28	99,64	100,50	100,00
	Contenido atómico calculado en base a 17 átomos por celda unidad					
S	8.364	8.287	8.326	8.371	8.029	8.000
Fe	1.022	1.241	0.939	0.732	0.468	1.000
Cu	5.945	5.950	5.665	5.554	6.304	6.000
Zn	0,162	0,100	0,553	0,763	0,397	0,000
As	0,229	0,283	0,052	0,023	0,205	0,000
Sn	1.255	1.126	1.464	1.558	1.145	2.000
Sb	0,023	0,014	0,000	0,000	0,382	0,000
Mo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,070	0,000

1 a 4- Veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca (este trabajo); 5- Kochbulak, Chatkal, Kuramin, Uzbekistan, USSR. Promedio de 8 análisis (Kovalenker *et al.* 1981); 6- Fórmula teórica: $\text{Cu}_6\text{FeSn}_2\text{S}_8$; n.a.= no analizado/ no informado.

CUADRO 4: Fórmulas estructurales de chatkalita

# Análisis	Fórmula estructural
1	$\text{Cu}_{5,95}^{1+}(\text{Fe}_{1,02}\text{Zn}_{0,16})_{\Sigma 1,18}^{2+}(\text{Sn}_{1,26}\text{As}_{0,23}\text{Sb}_{0,02})_{\Sigma 1,51}^{4+}\text{S}_{8,36}$
2	$\text{Cu}_{5,95}^{1+}(\text{Fe}_{1,24}\text{Zn}_{0,10})_{\Sigma 1,34}^{2+}(\text{Sn}_{1,13}\text{As}_{0,28}\text{Sb}_{0,01})_{\Sigma 1,42}^{4+}\text{S}_{8,29}$
3	$\text{Cu}_{5,66}^{1+}(\text{Fe}_{0,94}\text{Zn}_{0,55})_{\Sigma 1,49}^{2+}(\text{Sn}_{1,46}\text{As}_{0,05})_{\Sigma 1,51}^{4+}\text{S}_{8,33}$
4	$\text{Cu}_{5,55}^{1+}(\text{Zn}_{0,76}\text{Fe}_{0,73})_{\Sigma 1,49}^{2+}(\text{Sn}_{1,56}\text{As}_{0,02})_{\Sigma 1,58}^{4+}\text{S}_{8,37}$
5	$\text{Cu}_{7,6}^{1+}(\text{Fe}_{0,47}\text{Zn}_{0,40}\text{Cu}_{0,30})_{\Sigma 1,17}^{2+}(\text{Sn}_{1,14}\text{Sb}_{0,38}\text{As}_{0,21}\text{Mo}_{0,07})_{\Sigma 1,80}^{4+}\text{S}_{8,03}$
6	$\text{Cu}_{7,6}^{1+}\text{Fe}^{2+}\text{Sn}_2\text{S}_8$

$\pm 0,07$ y los $8,41 \pm 0,08$ Ma (Sasso y Clark 1998).

María Eugenia es una de las tres principales vetas de Cerro Atajo, junto con Carmen y Triunfo. La veta María Eugenia tiene rumbo general de $\text{N}45^\circ\text{O}$, buzamiento de 75°

NE, una longitud aproximada de 500 m y se encuentra encajada en brechas tobáceas y tobas andesíticas (JICA 1978-81). Se observa silicificación generalizada, y argilización en las áreas cercanas a las vetas, en muchos de los casos esa alteración enmascara par-

cial o totalmente las características originales de la roca de caja. Los minerales identificados hasta el momento en esta veta son: (a) minerales esenciales: pirita, esfalerita, calcopirita, watanabeíta, tetraedrita, bornita y galena; (b) minerales accesorios: aikinita, colusita, chatkalita, enargita, estannoidita, kesterita, luzonita, marcasita, nekrasovita, arsenopirita y pirrotina; (c) minerales secundarios: calcosina, digenita, covellina, cuprita, malaquita, anglesita y "limonitas" y (d) minerales de ganga: cuarzo, baritina y carbonatos.

En el sector muestreado de veta María Eugenia, la roca de caja consiste en una volcánica completamente sericitizada y silicificada. La roca está surcada por venas de cuarzo hidrotermal de grano fino a medio, con abundantes tablillas de baritina, esfalerita zonada y minerales opacos entre los que se encuentran los del grupo de la estannita que se describen en este trabajo: chatkalita, nekrasovita, colusita, kesterita y estannoidita.

MÉTODOS ANALÍTICOS

Las muestras se prepararon como secciones pulidas convencionales y se estudiaron bajo el microscopio de polarización, con luz reflejada, en aire y en inmersión en aceite. Los análisis químicos de los minerales fueron realizados con una microsonda electrónica CAMECA SX-50, usando los siguientes estándares: CuFeS_2 (S, Fe, Cu), ZnS (Zn), CoAsS (As), SnO_2 (Sn) y Sb_2Te_3 (Sb). Las líneas analíticas elegidas fueron: $\text{K}\alpha$ para S, Fe, Cu y Zn y $\text{L}\alpha$ para As, Sn y Sb. Los análisis fueron realizados con una aceleración de voltaje de 20 kV y corriente de 20 nA medidos en una copa de Faraday; el tiempo de conteo fue de 20 segundos para cada elemento, con un diámetro de haz de 2 μm . Los datos se corrigieron usando la rutina PAP de Pouchou y Pichoir (1984, 1985). En los análisis presentados en los Cuadros 1, 3, 5, 7, 9 y 11 no se informan los resultados de los elementos analizados que presentaron contenidos por debajo de los límites de detección correspondientes (Mn, Ni, Ag, In, Te, Au, Pb y Bi). Lamentablemente no se incluyó en la rutina a V, y esa es la razón por la cual se calcula por diferencia el contenido de este elemento en nekrasovita y colusita. Para comprobar su presencia en

CUADRO 5: Análisis químicos de nekra-sovita

	1	2	3	4
	% peso			
S	30,29	30,30	29,86	29,94
V	1,11	3,14	1,93	1,64
Fe	4,75	3,32	4,11	4,73
Cu	44,26	45,21	44,18	44,50
Zn	1,00	0,48	0,10	0,19
As	4,18	4,57	3,03	3,28
Se	n.a.	n.a.	0,32	n.a.
Sn	13,64	12,34	11,40	10,39
Sb	0,77	0,64	4,20	5,33
Total	100,00	100,00	99,13	100,00
Contenido atómico calculado en base a 66 átomos por celda unidad				
S	31.798	31.541	32.102	31.948
V	0,733	2,057	1.306	1.101
Fe	2.863	1.984	2.537	2.898
Cu	23.447	23.749	23.968	23.962
Zn	0,515	0,245	0,053	0,099
As	2.562	2.777	1.394	1.498
Se	n.a.	n.a.	0,140	n.a.
Sn	3.868	3.470	3.311	2.995
Sb	0,213	0,175	1.189	1.498

1 y 2- Veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca (este trabajo); 3- Khayragatsh, Kuraminskihiye, Uzbekistan, USSR. (Kovalenker *et al.* 1984); 4- Fórmula teórica: $Cu_{26}V_2(Sn,As,Sb)_6S_{32}$; n.a.= no analizado/no informado. **V anadio** por diferencia.

estos dos minerales se realizaron espectros utilizando un microscopio electrónico de barrido (MEB) LEO 1450 VP, con un espectrómetro de energía dispersiva incorporado, EDS Génesis 2000, en el Laboratorio de Microscopía Electrónica y Microanálisis (LabMEM) de la Universidad Nacional de San Luis.

MINERALOGÍA

El mineral que hospeda a la paragénesis de minerales de estaño se presenta en masas irregulares en cuarzo; a veces tiene exsoluciones de calcopirita y abundantes inclusiones anhedrales irregulares de minerales de estaño, de calcopirita y euhedrales de cuarzo; en sectores se encuentra parcialmente reemplazado por digenita y covellina. Este mineral fue identificado como watanabeíta por sus propiedades ópticas, difractograma de rayos X y composición química, pero es preciso destacar que tiene menores contenidos de antimonio, mientras que zinc e hierro participan en su composición con por-

CUADRO 6: Fórmulas estructurales de chatkalita

# Análisis	Fórmula estructural
1	$Cu^{1+}_{18}(Cu_{5,45}Fe_{2,04}Zn_{0,51})^{2+}_{\Sigma 8}(V_{0,73}Fe_{0,82})^{3+}_{\Sigma 1,55}(Sn_{3,87}As_{2,56}Sb_{0,21})^{4+}_{\Sigma 6,64}S_{31,80}$
2	$Cu^{1+}_{18}(Cu_{5,75}Fe_{1,98}Zn_{0,25})^{2+}_{\Sigma 7,98}V^{2+}_{2,06}(Sn_{3,47}As_{2,78}Sb_{0,17})^{4+}_{\Sigma 6,42}S_{31,54}$
3	$Cu^{1+}_{18}(Cu_{5,97}Fe_{1,98}Zn_{0,05})^{2+}_{\Sigma 8}(V_{1,31}Fe_{0,56})^{3+}_{\Sigma 1,87}(Sn_{3,31}As_{1,39}Sb_{1,19}Se_{0,14})^{4+}_{\Sigma 6,03}S_{32,10}$
4	$Cu^{1+}_{18}(Cu_{5,96}Fe_{1,94}Zn_{0,10})^{2+}_{\Sigma 8}(V_{1,10}Fe_{0,96})^{3+}_{\Sigma 2,06}(Sn_{3,00}As_{1,50}Sb_{1,50})^{4+}_{\Sigma 6}S_{31,95}$

CUADRO 7: Análisis químicos de colusita

	1	2	3	4	5	6
	% peso					
S	30,26	30,41	30,29	30,65	31,20	31,20
V	2,52	2,32	3,83	2,28	3,30	2,20
Fe	2,11	2,70	3,48	1,09	n.a.	1,80
Cu	47,62	47,04	46,72	47,99	50,10	47,40
Zn	0,51	0,57	0,15	n.a.	n.a.	n.a.
Ge	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,63	n.a.
As	6,43	6,44	6,22	9,54	13,60	7,50
Sn	8,97	9,17	8,88	6,71	0,26	7,60
Sb	1,58	1,35	0,43	0,19	1,40	1,40
Te	n.a.	n.a.	n.a.	1,26	n.a.	n.a.
Total	100,00	100,00	100,00	99,71	100,49	99,10
Contenido atómico calculado en base a 66 átomos por celda unidad						
S	31.737	31.845	31.471	32.013	31.633	32.598
V	1.664	1.529	2.505	1.499	2.106	1.447
Fe	1.271	1.623	2.076	0.654	0.000	1.080
Cu	25.203	24.858	24.496	25.294	25.633	24.991
Zn	0,262	0,293	0,076	0,000	0,000	0,000
Ge	n.a.	n.a.	n.a.	0,000	0,282	0,000
As	2.886	2.886	2.766	4.264	5.901	3.354
Sn	2.541	2.594	2.492	1.893	0,071	2.145
Sb	0,436	0,372	0,118	0,052	0,374	0,385
Te	n.a.	n.a.	n.a.	0,331	0,000	0,000

1 a 3- Veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca (este trabajo); 4- Butte, Montana, USA (Anthony *et al.*, 1990); 5- Lorano, Italia (Anthony *et al.*, 1990); 6- Chizeuil, Francia (Spry *et al.* 1994); n.a. = no analizado/ no informado. **V anadio** calculado por diferencia.

centajes en peso que están comprendidos entre 5,97 y 9,75, con un promedio de 7,74, entre ambos elementos. Se realizaron 21 análisis químicos de este mineral (Fig.1) y sus valores (mínimo / máximo / promedio) expresados en % en peso son: S = 26,56 / 28,34 / 27,52, Fe = 1,73 / 4,72 / 3,41, Cu = 40,19 / 43,40 / 41,86, Zn = 1,43 / 6,50 / 4,23, As = 13,06 / 19,18 / 15,24, Sn = 0,00 / 2,51 / 0,69, Sb = 0,00-8,26 / 1,88 y Bi = 1,81 / 10,23 / 5,84. En el Cuadro 1 se presentan algunos análisis representativos de Cerro Atajo y uno de Mina Capillitas, comparados con análisis de tennantita rica en Bi descrita por Springer (1969), Oen y Kieft (1976) y Spry *et al.* (1997) y de watanabeíta (Shimizu *et al.* 1993; Paar *et al.* 2002 y Makovicky *et al.* 2005). Con fines comparativos, los contenidos atómicos de todos

los análisis fueron calculados en base a 11 átomos por fórmula unidad, que son los que tiene la estructura de watanabeíta. Las fórmulas estructurales para los análisis químicos presentados (Cuadro 1) se encuentran en el cuadro 2.

Chatkalita

Este mineral cristaliza en el sistema tetragonal, en la clase tetragonal escalenoédrica, su grupo espacial es $P4m2$ y $Z = 1$. Su composición química se expresa como $Cu_6Fe^{2+}Sn_2S_8$. Chatkalita fue aprobada por la IMA (International Mineralogical Association) en el año 1981 y el material tipo proviene del depósito hidrotermal de Au-Ag-Te de Kochbulak, Sierra de Chatkal, Montañas Kuzaminsky, al este de Uzbekistan, Rusia (Kovalenker *et al.* 1981). Posteriormente só-

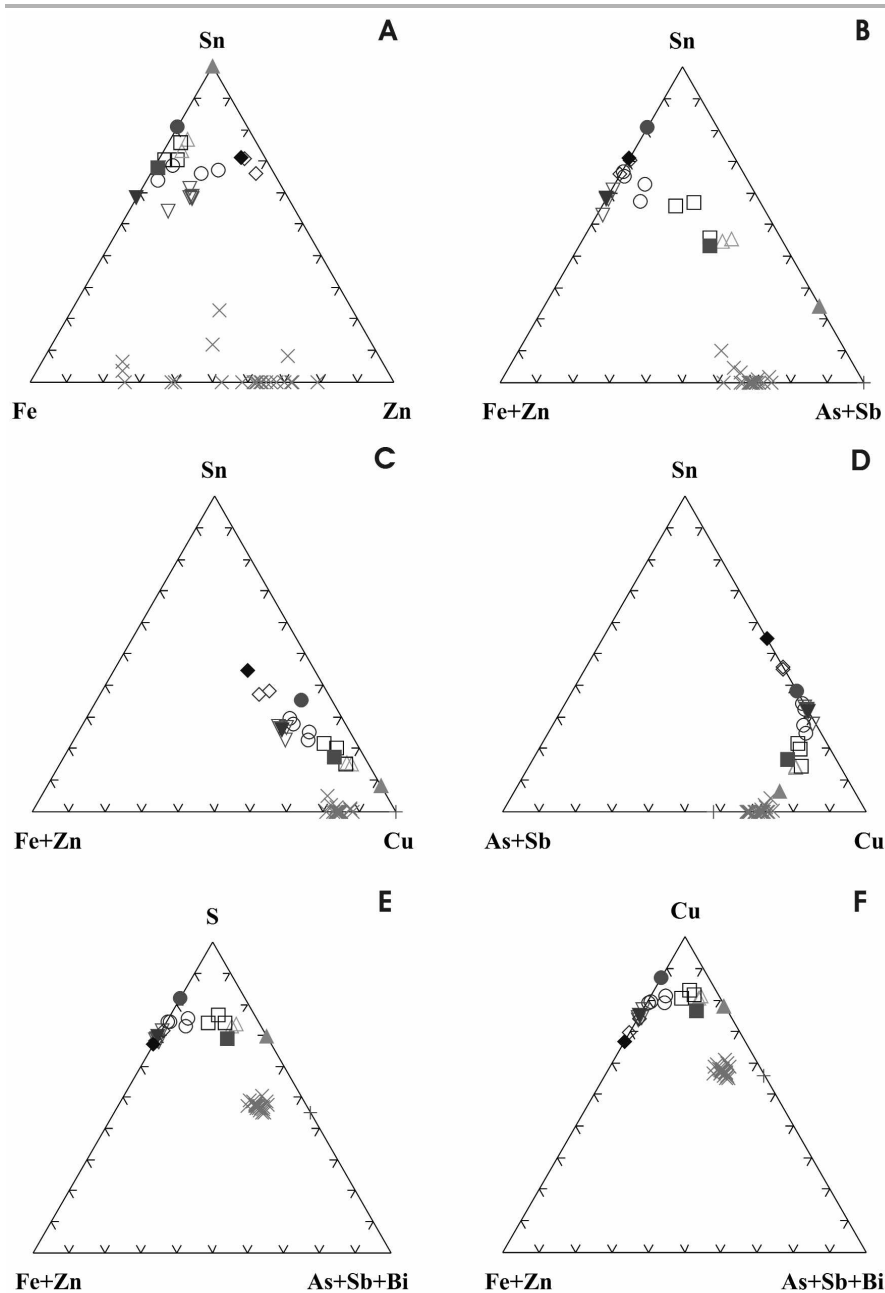


Figura 1: Composición de watanabeíta y de los minerales del grupo de la estannita de Cerro Atajo. Chatkalita: ●, nekrasovita: ■, colusita: ▲, kēsterita: ◆, estannoidita: ▼, watanabeíta: +, X; los símbolos llenos (+ para el caso de watanabeíta) indican la composición ideal del mineral y los vacíos (X para el caso de watanabeíta) los análisis realizados para este trabajo.

lo se encontró en otras dos localidades: mina La Libertad, Quirulvica, provincia de Santiago de Chuco, Perú (Crowley *et al.* 1997) y mina McCoy, distrito de McCoy, Condado de Lander, Nevada, Usa (Castor y Ferdock 2003). Cerro Atajo sería la cuarta localidad mundial en la que este mineral es descripto.

La chatkalita de Cerro Atajo se presenta en

agregados irregulares poligranulares que, en casos excepcionales, alcanzan tamaños de hasta 40 μm , incluidos en watanabeíta (Figs. 2A y B), asociada a kēsterita (Fig. 2C), a veces desarrollando un delgado y discontinuo anillo entre watanabeíta y estannoidita y a menudo bordeada o parcialmente reemplazada por covellina (Fig. 2A). Es de color rosado pálido con leve tonalidad anaranja-

da, posee birreflectancia pero no pleocroísmo; su dureza relativa es similar a la de watanabeíta y adquiere buen pulido. Presenta anisotropía de intensidad con colores de polarización castaños; no se observaron trazas de clivaje, maclas, ni reflejos internos. Se realizaron cuatro análisis químicos (Fig. 1) y sus resultados se presentan en el cuadro 3, comparados con el promedio de otro análisis de chatkalita de la localidad tipo y con los de su composición ideal.

En el cuadro 4 se presentan las fórmulas estructurales para los análisis químicos brindados (Cuadro 3), calculadas en base a un total de 17 átomos por celda unidad.

Nekrasovita

Nekrasovita cristaliza en el sistema cúbico, en la clase hexaquistetraédrica, su grupo espacial es $P\bar{4}3n$ y $Z = 1$. Su composición química ideal se expresa como: $\text{Cu}_{26}\text{V}_2(\text{Sn}, \text{As}, \text{Sb})_6\text{S}_{32}$ o como: $\text{Cu}^{+}_{18}(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Zn})^{2+}_8(\text{V}, \text{Fe})^{3+}_2(\text{Sn}, \text{As}, \text{Sb})_6\text{S}_{32}$.

Este mineral fue aprobado por la IMA en el año 1984 y el material tipo proviene del depósito de Au Kayragach, Montañas Kuraminsky, Angren, Tashkent Viloyati, Uzbekistan, Rusia (Kovalenker *et al.* 1984). En la literatura consultada, sólo se encontraron otras tres localidades en las que se describió la presencia de este mineral: Tavua, Fiji (Eaton y Setterfield 1993), Bisbee, Arizona, Estados Unidos (Graeme 1993) y Neves Corvo, Baixo Alentejo, Portugal (Carvalho *et al.* 1999). La yacencia de Cerro Atajo sería la primera documentada para el país y la quinta localidad mundial en la que este mineral es descripto.

En Cerro Atajo, la nekrasovita se encuentra asociada a watanabeíta (Figs. 2D y E) y estannoidita (Fig. 2E). Este mineral isotrópico es de color pardo con un leve tinte rosa violáceo; su dureza relativa es similar a la de watanabeíta, no presenta evidencias de clivaje y no se observaron maclas ni reflejos internos.

Se realizaron varios análisis químicos (Fig. 1) y los resultados de dos de ellos se presentan en el cuadro 5, comparados con el promedio de otro análisis de nekrasovita de la localidad tipo y con los de su composición ideal.

Las fórmulas estructurales que corresponden a los análisis químicos del cuadro 5,

fueron calculadas en base a un total de 66 átomos por fórmula unidad y se presentan en el cuadro 6. El vanadio no fue analizado, pero su presencia fue comprobada mediante un espectro de EDS (Fig. 3A); su contenido se calculó por diferencia y es posible que se deba a eso el contenido en exceso en el sitio de los cationes trivalentes.

Colusita

Este mineral cristaliza en el sistema cúbico, en la clase hexaquistetraédrica, su grupo espacial es $P\bar{4}3n$, $Z = 1$ y su composición química se expresa como $Cu_{26}V_2(As,Sn, Sb)_6S_{32}$. Esta especie mineral es válida desde 1933, antes de la creación de la Comisión de Nuevos Minerales y Nombres de Minerales de la IMA y fue descubierta en la mina East Colusa, Butte, Montana, USA (Landon y Mogilnor 1933).

La colusita ha sido encontrada en numerosas localidades en el mundo, pero en Argentina, hasta el momento sólo ha sido descrita en la veta Upulungus del distrito La Mejicana, La Rioja (Brodtkorb y Paar 1993 a) y en otra de las vetas de Cerro Atajo: veta Triunfo (Makovicky *et al.* 2005). La colusita de veta María Eugenia se presenta como parches irregulares o cintas discontinuas en watanabeíta (Fig. 2F); es un mineral isótropo, de color pardo amarillento y su poder reflector y dureza relativa son similares a los del mineral que la hospeda.

En la figura 1 y en el cuadro 7 se presentan los resultados de los análisis químicos de colusita, comparados con los de colusita de otras localidades. En el caso de la colusita de Cerro Atajo, el arsénico, si bien es el elemento más abundante del sitio estructural que comparte con estaño y antimonio, no ocupa más del 50 % del mismo sino que su proporción es levemente inferior a ese valor, por lo cual, si bien no deja de ser colusita, su quimismo se acerca al de nekrasovita. La fórmula estructural de cada uno de los análisis (Cuadro 7) fue calculada en base a 66 átomos por fórmula unidad (Cuadro 8). Al igual que para nekrasovita, el contenido de vanadio, que no fue analizado pero sí comprobada su presencia mediante un espectro de EDS (Fig. 3B), se calculó por diferencia y es posible que a eso se deba el contenido en exceso en el sitio de los cationes trivalentes.

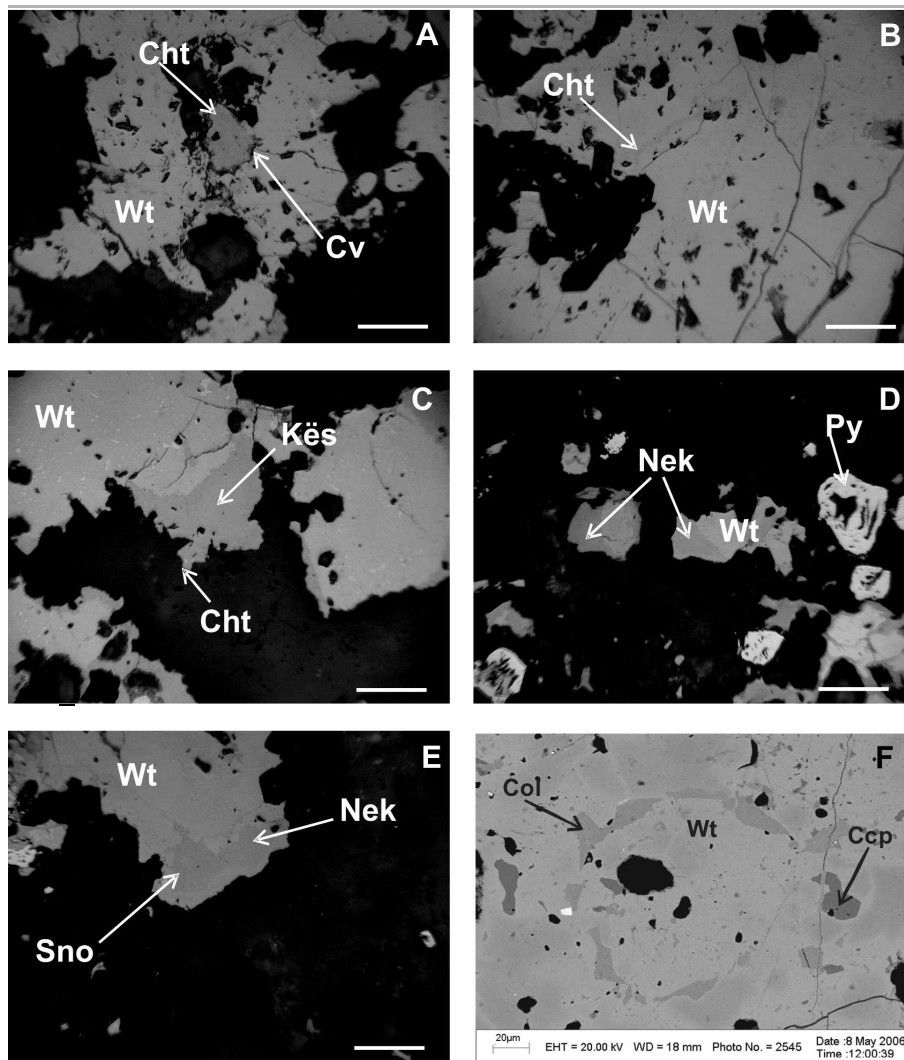


Figura 2: Fotomicrografías de: A. Chatkalita (Cht) en watanabeíta (Wt) y parcialmente reemplazada por covelina (Cv); B. Chatkalita en watanabeíta; C. Kësterita (Kës) incluida en watanabeíta y bordeada por chatkalita; D. Nekrasovita (Nek) en watanabeíta; E. Nekrasovita y estannoidita (Sno) en watanabeíta; La barra de escala representa 50 µm. F. Fotomicrografía (MEB) de colusita (Col) y calcopirita (Ccp) en watanabeíta.

CUADRO 8: Fórmulas estructurales de colusita.

# Análisis	Fórmula estructural
1	$Cu_{25,20}(V_{1,66}Fe_{1,27}Zn_{0,26})^{2+}_{\Sigma 3,19}(As_{2,89}Sn_{2,54}Sb_{0,44})^{3+}_{\Sigma 5,87}S_{31,74}$
2	$Cu_{24,86}(Fe_{1,62}V_{1,53}Zn_{0,29})^{2+}_{\Sigma 3,44}(As_{2,89}Sn_{2,59}Sb_{0,37})^{3+}_{\Sigma 5,85}S_{31,85}$
3	$Cu_{24,50}(V_{2,50}Fe_{2,07}Zn_{0,08})^{2+}_{\Sigma 4,65}(As_{2,77}Sn_{2,49}Sb_{0,12})^{3+}_{\Sigma 5,38}S_{31,47}$
4	$Cu_{25,30}(V_{1,50}Fe_{0,66})^{2+}_{\Sigma 2,16}(As_{4,26}Sn_{1,89}Te_{0,33}Sb_{0,05})^{3+}_{\Sigma 6,53}S_{32,01}$
5	$Cu_{25,63}V_{2,11}(As_{5,90}Sb_{0,38}Ge_{0,28}Sn_{0,07})^{3+}_{\Sigma 6,63}S_{31,63}$

Kësterita

La kësterita cristaliza en el sistema tetragonal, en la clase tetragonal biesfenóidica, su grupo espacial es $I\bar{4}$, $Z = 2$ y su composición química se expresa como $Cu_2(Zn, Fe)SnS_4$.

Este mineral fue encontrado por primera

vez en el depósito de Këster, Yana-Adycha, Verkhoyansk, Sakha (Yakutia), Siberia Oriental, Rusia (Orlova 1956). En Argentina su presencia ha sido confirmada analíticamente en sólo dos depósitos antes de la presente descripción: mina San Martín, Valcheta, Río Negro (Brodtkorb y Paar 1993b)

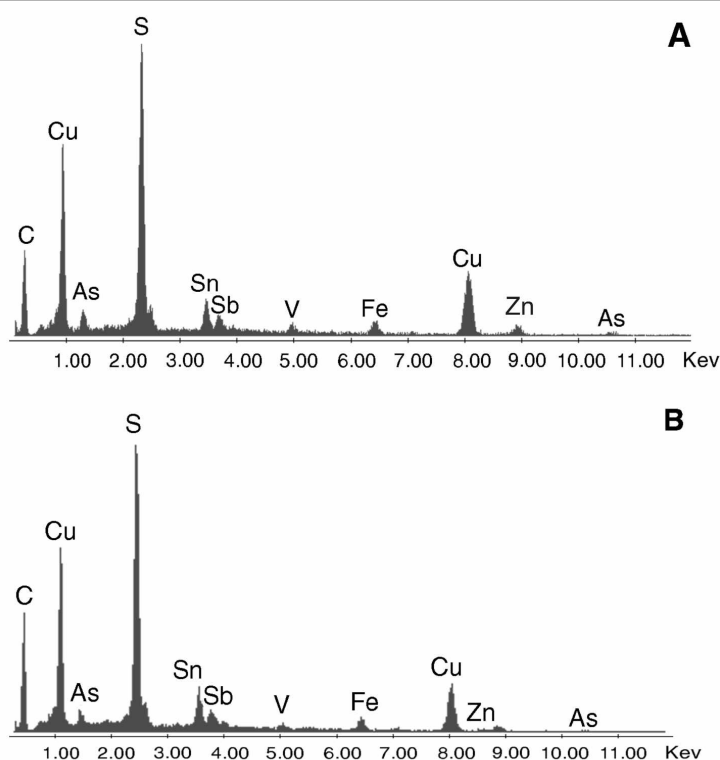


Figura 3: Espectro EDS de A. nekrasovita y B. colusita.

CUADRO 11: Análisis químicos de estannoidita.

	1	2	3	4	5	6
	% peso					
S	29,25	29,11	29,22	29,83	29,2	29,64
Fe	8,48	8,53	8,45	10,30	11,1	12,91
Cu	39,08	39,61	38,05	41,01	38,0	39,16
Zn	4,90	4,62	4,88	3,18	4,1	0,00
Sn	18,72	18,42	18,94	15,84	15,6	18,29
Total	100,43	100,29	99,54	100,16	98,0	100,00
	Contenido atómico calculado en base a 25 átomos por celda unidad					
S	11.929	11.884	12.018	11.975	11.972	12.000
Fe	1.986	1.999	1.995	2.374	2.613	3.000
Cu	8.043	8.160	7.897	8.307	7.862	8.000
Zn	0,980	0,925	0,985	0,626	0,825	0,000
Sn	2.062	2.031	2.104	1.718	1.728	2.000

1 a 4- Veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca (este trabajo); 5- Tingha mine, Australia (Anthony *et al.* 1990); 6- Fórmula teórica: $Cu_8(Fe,Zn)_3Sn_2S_{12}$.

y mina Pirquitas, Jujuy (Paar *et al.* 1996). En Cerro Atajo, la kęsterita se encuentra asociada a watanabeita y bordeada por chatkalita (Fig. 2C); es de color pardo grisáceo, no muestra birreflectancia ni pleocroísmo, adquiere buen pulido y su dureza relativa y poder reflector son similares a los de watanabeita y chatkalita. Presenta muy débil (observada en aire) o débil (observada en aceite) anisotropía de intensidad con colo-

res de polarización pardos.

En la figura 1 y en el cuadro 9 se presentan dos análisis químicos de kęsterita de Cerro Atajo, comparados con otros análisis de este mineral procedente de otras localidades. Las fórmulas estructurales, para las composiciones de los análisis presentados en el cuadro 9, fueron calculadas en base a 8 átomos por fórmula unidad y se presentan en el cuadro 10.

CUADRO 9: Análisis químicos de kęsterita

	1	2	3	4
	% peso			
S	29,14	28,68	27,58	29,19
Fe	1,98	2,14	2,62	3,12
Cu	31,06	32,51	26,69	29,40
Zn	11,57	9,03	10,32	10,18
Sn	26,39	27,03	31,80	28,07
Total	100,14	99,66	99,01	99,96
	Contenido atómico calculado en base a 8 átomos por celda unidad			
S	3.968	3.953	3.926	3.999
Fe	0,155	0,169	0,214	0,245
Cu	2.134	2.261	1.917	2.033
Zn	0,773	0,610	0,720	0,684
Sn	0,971	1.006	1.223	1.039

1 y 2- Veta María Eugenia, Cerro Atajo, Catamarca (este trabajo); 3- Kęster, Rusia (Anthony *et al.* 1990); 4- St. Michael Mount, Cornwall, England (Anthony *et al.* 1990).

CUADRO 10: Fórmulas estructurales de kęsterita.

# Análisis	Fórmula estructural
1	$Cu_{2,13}(Zn_{0,77}Fe_{0,16})_{\Sigma 0,93}Sn_{0,97}S_{3,97}$
2	$Cu_{2,26}(Zn_{0,61}Fe_{0,17})_{\Sigma 0,78}Sn_{1,01}S_{3,95}$
3	$Cu_{1,92}(Zn_{0,72}Fe_{0,21})_{\Sigma 0,93}Sn_{1,22}S_{3,93}$
4	$Cu_{2,03}(Zn_{0,68}Fe_{0,25})_{\Sigma 0,93}Sn_{1,04}S_4$

Estannoidita

La estannoidita, $Cu_8(Fe,Zn)_3Sn_2S_{12}$, cristaliza en el sistema rómbico, en la clase rómbica biesfenóidica, su grupo espacial es $I222$ y $Z = 2$. Este mineral fue aprobado por la IMA en el año 1969 y el material tipo proviene de la mina Konjo, Prefectura de Okayama, Isla de Honshu, Japón (Kato 1969). Luego de su descubrimiento, fue encontrada en numerosos depósitos del mundo. En Argentina, si bien fue mencionada en varios depósitos, su presencia fue comprobada analíticamente sólo en dos de ellos: en la mina San Martín, Valcheta, Río Negro (Brodtkorb y Paar 1993b) y en el distrito minero Cerro Áspero, Sierras Pampeanas, Córdoba (González Chiosa *et al.* 2002). En Cerro Atajo este mineral se presenta asociado (reemplazando?) a watanabeita (Fig. 2e) en forma de aureolas irregulares, más o menos continuas, de crecimiento centripeto o como parches irregulares; a menudo chatkalita participa en esta paragénesis. La es-

CUADRO 12: Fórmulas estructurales de estannoidita

# Análisis	Fórmula estructural
1	1- $\text{Cu}^{1+}_{8,04}(\text{Fe}_{1,99}\text{Zn}_{0,98})^{2+}_{\Sigma 2,97}\text{Sn}_{2,06}\text{S}_{11,93}$
2	2- $\text{Cu}^{1+}_{8,16}(\text{Fe}_{2,00}\text{Zn}_{0,93})^{2+}_{\Sigma 2,93}\text{Sn}_{2,03}\text{S}_{11,88}$
3	3- $\text{Cu}^{1+}_{7,90}(\text{Fe}_{2,00}\text{Zn}_{0,99})^{2+}_{\Sigma 2,99}\text{Sn}_{2,10}\text{S}_{12,02}$
4	4- $\text{Cu}^{1+}_{8,31}(\text{Fe}_{2,37}\text{Zn}_{0,63})^{2+}_{\Sigma 3,00}\text{Sn}_{1,72}\text{S}_{11,97}$
5	5- $\text{Cu}^{1+}_{7,86}(\text{Fe}_{2,61}\text{Zn}_{0,83})^{2+}_{\Sigma 3,44}\text{Sn}_{1,73}\text{S}_{11,97}$
6	6- $\text{Cu}^{1+}_8(\text{Fe}_{3,00}\text{Zn}_{0,00})^{2+}_{\Sigma 3,00}\text{Sn}_2\text{S}_{12}$

tannoidita de esta localidad es de color pardo, pleocroica (pardo rosado a pardo grisáceo); su poder reflector y dureza relativa son similares a los de watanabeíta y adquiere buen pulido. Su anisotropía en aire es distintiva y sus colores de polarización son pardos y pardo amarillentos.

Se realizaron varios análisis químicos (Fig. 1), de los cuales se presentan cuatro en el Cuadro 11, comparados con los de una estannoidita de Australia y con los de su composición ideal.

La fórmula estructural, para las composiciones exhibidas en el cuadro 11 y calculadas en base a 25 átomos por fórmula unidad, se presentan en el cuadro 12.

CONCLUSIONES

En veta María Eugenia se encontró una asociación de minerales de estaño del llamado grupo de la estannita (Strunz y Nickel 2002). Esta paragénesis resultó interesante ya que algunos de sus miembros han sido descriptos en muy pocos lugares en el mundo. Un par de ellos: chatkalita y nekrasovita, constituyen primeras descripciones de estos minerales para la Argentina, mientras que los otros tres corresponderían a la tercera descripción, con yacencia documentada, de esas especies para el país.

Ya se había descripto anteriormente la presencia de otros minerales de estaño: estannita, estannoidita y mawsonita, en un yacimiento cercano, Mina Capillitas (Márquez-Zavalía 1988, 1999), pero tanto ahí como en Cerro Atajo, la participación de ese elemento en los fluidos hidrotermales que dieron lugar a esos depósitos es minoritaria.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con los fondos del subsidio PIP 5907 de CONICET. Los aná-

lisis de microsonda electrónica se realizaron gracias a la atención del Dr P. Cerný, durante una estadía de MFMZ en el Departamento de Geología de la Universidad de Manitoba, Winnipeg, Canadá.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Alderete, M.C. 1999. Distrito Farallón Negro-Alto de la Blenda, Catamarca. En Recursos Minerales de la República Argentina, Zapettini, E.O. (ed.) Instituto de Minería y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1637-1642.

Angelelli, V. 1984. Yacimientos Metalíferos de la República Argentina II. Comisión de Investigaciones Científicas Provincia de Buenos Aires: 401-402, La Plata.

Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W. y Nichols, M.C. 1990. Handbook of mineralogy. 1: Elements, sulfides, sulfosalts. Mineral Data Publishing, 588 p., Tucson.

Breitenmoser, T. 1999. Geology and geochemistry of the calc-alkaline Farallón Negro Volcanic Complex at Capillitas, NW Argentina. M.Sc. thesis, ETH Zürich, (inédito) 105 p.

Brodtkorb, M.K. de y Paar, W. 1993a. Presencia de colusita y consideraciones mineralógicas en el distrito La Mejicana, Provincia de la Rioja, Argentina. 12º Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 87-70, Mendoza.

Brodtkorb, M.K. de y Paar, W. 1993b. Redefinición de cuatro minerales del yacimiento San Martín, Valcheta, provincia de Río Negro, Argentina. 12º Congreso Geológico Argentino, 5: 90-91, Mendoza.

Brown, S. 2004. Geología y mineralización del yacimiento de cobre-oro de Bajo de la Alumbrera. En Márquez-Zavalía, M.F. (ed.) Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG 2004, Guía de campo, 101-120, Mendoza.

Carvalho, D., Barriga, F.J.A.S. y Munhá, J. 1999. Bimodal-siliciclastic systems. The case of the Iberian Pyrite Belt. En Barrie, T. y Hannington, M. (eds.) Volcanic associated massive sulfide deposits: Processes and examples in modern and ancient systems. Reviews in Economic Geology 8(16): 375-408.

Castor, S.B. y Ferdock, G.C. 2003. Minerals of Nevada. Nevada Bureau of Mines and Geology Special Publication 31, 560 p.

Clark A. H. y Sasso, A. M. 2000. The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la A-

lumbrera, Catamarca province, Argentina by D. Müller y P. Forrestal: A discussion. Mineralogy and Petrology 68: 297-304.

Crowley, J.A., Currier, R.H. y Szenics, T. 1997. Mines and minerals of Perú. Mineralogical Record 28(4): 1-98.

Eaton, P.C. y Setterfield, T.N. 1993. The relationships between epithermal and porphyry systems within the Tavua caldera, Fiji. Economic Geology 88: 1053-1083.

Franchini, M., Impicini, A., Schalamuk, I.B., Ríos, J. y O'Leary, M.S. 2005. El depósito de Cu-Mo-Au Agua Rica, Catamarca: Mineralogía y petrografía de las alteraciones en la sección transversal N 6969400. En Cabaleri N., Cingolani, C.A., Linares, E., López de Luchi, M.G., Ostera, H.A. y Panarello, H.O. (eds.) 15º Congreso Geológico Argentino, Actas CD-ROM. Artículo N° 792 . 8p.

Godeas, M. y Segal, S. 1980. Alteración hidrotermal y mineralización en el Bajo de la Alumbrera, provincia de Catamarca. Revista de la Asociación Geológica Argentina 35(3): 318-331.

González, O.E. 1975. Geología y alteración en el cobre porfídico "Bajo la Alumbrera", República Argentina. 2º Congreso Ibero-Americano de Geología Económica, Actas 247-270, Buenos Aires.

González Chiosa, S. Wiechowski, A. y Brodtkorb, M.K. de 1993. Determinaciones mineralógicas en la fase de sulfuros del distrito minero Cerro Áspero, Sierras Pampeanas, Córdoba. 6º Congreso de Mineralogía y Metalogenia, 169-172, Buenos Aires.

Graeme, R. (1993). Bisbee revisited, Mineralogical Record 24: 421-436.

Guilbert, J.M. 1995. Geology, alteration, mineralization and genesis of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca province, Argentina. En Pierce, F.W. y Bloom, J.G. (eds.) Porphyry Copper Deposits of the American Cordillera, Arizona Geological Society Digest 20: 646-656.

Halter, W.E., Bain N., Becker K., Heinrich C. A., Landtwing, M. R., Von Quadt A., Clark A. H., Sasso, A. M., Bissig, T. y Tosdal, R.M. 2004. From andesitic volcanism to the formation of a porphyry Cu-Au mineralizing magma chamber: The Farallón Negro Volcanic Complex, northwestern Argentina. Journal of Volcanology and Geothermal Research 136: 1-30.

Halter, W.E., Heinrich, C.A. y Pettke, T. 2005.

- Magma evolution and the formation of porphyry Cu-Au ore fluids: evidence from silicate and sulfide melt inclusions. *Mineralium Deposita* 39: 845-863.
- Heinrich, C.A. 2005. The physical and chemical evolution of low-salinity magmatic fluids at the porphyry to epithermal transition: a thermodynamic study. *Mineralium Deposita* 39: 864-889.
- Heinrich, C.A., Halter, W., Landtwing, M.R. y Pettko, T. 2005. The formation of economic porphyry copper (-gold) deposits: Constraints from microanalysis of fluid and melt inclusions. Geological Society of London. *Fermor Volume* (en prensa).
- Hug, A. 1999. Petrography and genesis of the Capillitas diatreme, Farallón Negro Volcanic Complex, NW Argentina. M.Sc. thesis, ETH Zürich, (inédito) 57 p..
- JICA (Japan International Cooperation Agency) 1978-81. Informe de estudios básicos sobre la explotación de recursos minerales en la zona norte de la República Argentina. Cuatro etapas. Dirección General de Fabricaciones Militares, (informe inédito), Buenos Aires.
- Jones, J.P. 1994. The Farallón Negro-Bajo de la Alumbrera volcano-plutonic cluster. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 1571-1575.
- Jones, J.P. 1996. The Farallón Negro-Bajo de la Alumbrera volcano-plutonic cluster. 13 Congreso Geológico Argentino, 3: 17-27.
- Kato, A. 1969. Stannoidite, $Cu_8(Fe,Zn)_3Sn_2S_{12}$, a new stannite-like mineral from the Konjo mine, Okayama Prefecture, Japan. *Bulletin of the National Science Museum* 12: 165-172, Tokyo.
- Koukharsky, M. y Mirré, J. C. 1976. Mi Vida prospect: a porphyry copper type deposit in northwestern Argentina. *Economic Geology* 71 (5): 849-863.
- Koukharsky, M. y Morello, O. 1995. Paragénesis hidrotermal con andalucita y corindón en el área de Agua Rica (ex Mi Vida), provincia de Catamarca. 5° Congreso Nacional de Geología Económica, Actas 409-413, San Juan.
- Kovalenker, V.A., Evstigneeva, T.L., Malov, V.S. y Vyal'sov, L.N. 1981. Chatkalite, $Cu_6Fe^{2+}Sn_2S_8$, a new mineral. *Mineral Zhurnal* 3 (5): 79-86 [en ruso]. Abstract. En *American Mineralogist* 67: 621-622.
- Kovalenker, V.A., Evstigneeva, T.L., Malov, V.S., Tubkin, N.V., Gorshkov, A.I. y Geinke, V.R. 1984. Nekrasovite, $Cu_{26}V_2(Sn,As,Sb)_6S_{32}$, a new mineral of colusite group. *Mineral Zhurnal* 6 (2): 88-97 [en ruso]. En Dunn, P.J., Gobel, V., Grice, J.D., Puziewicz, J., Vanko, D.A. y Zilcher, J. 1985. New mineral names. *American Mineralogist* 70: 437.
- Landon, R.E. y Mogilnor, A.H. 1933. Colusite, a new mineral of the sphalerite group. *American Mineralogist* 18(12): 528-533.
- Landtwing, M.R., Dillenbeck, E.D.; Leake, M.H. y Heinrich, C.A. 2002. Evolution of the breccia-hosted porphyry Cu-Mo-Au deposit at Agua Rica, Argentina: Progressive unroofing of a magmatic hydrothermal system. *Economic Geology* 97: 1273-1292.
- Llambías, E.J. 1970. Geología de los Yacimientos Mineros Agua de Dionisio, Provincia de Catamarca, República Argentina: Revista de la Asociación de Mineralogía y Petrología Sedimentología 1: 2-32.
- Llambías, E.J. 1972. Estructura del Grupo Volcánico Farellón Negro, Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 27: 161-169.
- Makovicky, E., Karanović, L., Poletti, D. y Balić-Zunik, T. 2005. Crystal structure of copper-rich unsubstituted tennantite, $Cu_{12.5}As_4S_{13}$. *Canadian Mineralogist* 43 (2):679-688.
- Malvicini, L. y Llambías, E. 1963. Mineralogía y origen de los minerales de manganeso y sus asociados en Farallón Negro, Alto de la Blenda y Los Viscos, Hualfín, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 18: 177-200.
- Márquez-Zavalía, M.F. 1988. Mineralogía y génesis del yacimiento Capillitas (Catamarca, República Argentina): Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta, (inédito) 179 p., Salta.
- Márquez-Zavalía, M.F. 1999. El yacimiento Capillitas, provincia de Catamarca. En *Recursos Minerales de la República Argentina*, Zappettini, E.O. (ed.) Instituto de Minería y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1643-1652.
- Mendez, V. 1997. Yacimiento Bajo La Alumbrera, provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas* 11: 15-30.
- Montenegro, N. y Morales, F. 2004. Distrito mineralizado Farallón Negro. Yacimientos Mineros Agua de Dionisio, Departamento Belén, provincia de Catamarca, República Argentina. En Márquez-Zavalía, M.F. (ed.) *Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG 2004, Guía de Campo* 83-99. Mendoza.
- Müller, D. y Forrestal, P. 1998. The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca province, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 64: 47-64.
- Müller, D. y Forrestal, P. 2000. The shoshonite porphyry Cu-Au association at Bajo de la Alumbrera, Catamarca province, Argentina: A reply. *Mineralogy and Petrology* 68: 305-308.
- Navarro, H. 1986. Geología general y económica del pórfido de Cu-Mo "Mi Vida". Universidad Nacional de Jujuy, *Revista del Instituto de Geología y Minería*, 6: 127-154.
- Oen, I.S. y Kieft, C. 1976. Bismuth-rich tennantite and tetrahedrite in the Manualde pegmatite, Viseu district Portugal. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte* 94-96.
- Orlova, Z.V. 1956. Collection of chemical analyses of ores and minerals from mineral deposits in the northwestern USSR. *Trudy Vsesoyuznyj Magadansk Nauchno-Issledovatel'skogo Instituta Magadan* 2: 76 [en ruso] Abstract en *American Mineralogist* 43: 1222-1223.
- Paar, W., Brodtkorb, M.K. de, Topa, D. y Sureda, R.J. 1996. Caracterización mineralógica y química de algunas especies metalíferas del yacimiento Piriquitas, provincia de Jujuy, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 141-158, Buenos Aires.
- Paar, W.H., Topa, D., y Sureda, R.J. 2002. Watanabeita, $Cu_4(As,Bi,Sb)_2S_5$, con una nueva fase mineral " Cu_3AsS_3 " en Cerro Atajo, provincia de Catamarca, Argentina. *Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) Mineralogía y Metalogenia* 2002, Actas: 329-332, Buenos Aires.
- Peirano, A. 1944. Agua de Dionisio. Un centro volcánico moderno en el distrito de Hualfín, departamento de Belén, provincia de Catamarca. *Cuadernos de Mineralogía y Geología*, 3: 12, Tucumán.
- Pouchou, J.L. y Pichoir, F. 1984. A new model for quantitative analysis. A. Application to the analysis of homogeneous samples. *Recherche Aérospatiale* 5: 47-65.
- Pouchou, J.L. y Pichoir, F. 1985. PAP" (Z) correction procedure for improved quantitative microanalysis. En Armstrong, J.T. (ed.) *Microbeam Analysis*. San Francisco Press: 104-106, San Francisco.

- Proffett, J.M. 2004. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Argentina. *Economic Geology* 98 (8): 1535-1574.
- Roco, R. y Koukharsky, M. 1999. El pórfiro cupro-molibdenífero Agua Rica y las manifestaciones hidrotermales asociadas, Catamarca. En Zappettini, E.O. (ed.) Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Minería y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1479-1492.
- Rojas, N. y Perelló, J. 2004. El yacimiento de Agua Rica, un depósito de cobre, molibdeno y oro, provincia de Catamarca, Argentina. En Márquez-Zavalía, M.F. (ed.) Curso Latinoamericano de Metalogenia UNESCO-SEG 2004. Guía de Campo 121-144, Mendoza.
- Sasso, A.M. 1997. Geological evolution and metallogenetic relationships of the Farallón Negro Volcanic Complex, NW Argentina. Ph.D. thesis, Queen's University (inédito) 841 p., Kingston.
- Sasso, A.M. y Clark A. H. 1998. The Farallón Negro Group, northwest Argentina: Magmatic, hydrothermal and tectonic evolution and implications for Cu-Au metallogeny in the Andean back-arc. *Society of Economic Geologists, SEG Newsletter* 34(1): 8-18.
- Schalamuk, I. B. A. y Nicolli, H. B. 1975. Hallazgo de nagyagita en Farallón Negro, Provincia de Catamarca, República Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 30: 384-387.
- Shimizu, M., Kato, A., Matsubara, S., Criddle, A.J. y Stanley, C.J. 1993. Watanabeite, Cu₄(As,Sb)₂S₅, a new mineral from the Teine mine, Sapporo, Hokkaido, Japan. *Mineralogical Magazine* 57: 643-649.
- Sister, R.G. 1963. Informe geológico-económico de Farallón Negro y zona adyacente, distrito Hualfín, dpto. Belén, provincia de Catamarca. Universidad Nacional de Tucumán, Opera Lilloana 8: 1-164.
- Springer, G. 1969. Electronprobe analyses of tetrahedrite. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte* 24-32.
- Spry, P.G., Merlino, S., Wang, S., Zhang, X. y Buseck, P.R. 1994. New occurrences and refined crystal chemistry of colusite, with comparisons to arsenosulvanite. *American Mineralogist* 79(7-8): 750-762.
- Spry, P.G., Foster, F., Truckle, J.S. y Chadwick, T.H. 1997. The mineralogy of Golden Sunlight gold-silver telluride deposit, Whitehall, Montana, USA. *Mineralogy and Petrology* 59: 143-164.
- Strunz, H. y Nickel, E.H. 2002. *Strunz Mineralogical Tables. Chemical Structural Mineral Classification System*. 9th ed. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, ix + 870 p., Stuttgart.
- Ulrich, T. y Heinrich, C.A. 2001. Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 96: 1719-1742. (correctly reprinted in 2002: *Economic Geology*, 97 (8): 1865-1888).
- Ulrich, T. y Heinrich, C.A. 2002. Geology and alteration geochemistry of the porphyry Cu-Au deposit at Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 97 (8): 1865-1888.
- Ulrich, T., Gunther, D., y Heinrich, C.A. 1999. Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits. *Nature* 399 (6737): 676-679.
- Ulrich, T., Gunther, D., y Heinrich, C. A. 2001. Evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 96: 1743-1774 (correctly reprinted in 2002: *Economic Geology*, 97(8): 1889-1920).
- Ulrich, T., Günther, D. y Heinrich, C.A. 2002. The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de La Alumbrera, Argentina. *Economic Geology*, 97 (8): 1889-1920.
- Wall, V. 1997. Bajo de la Alumbrera (Argentina). A world class copper-gold deposit. *Revista de la Asociación Argentina de Geólogos Economistas* 11: 92-93.

Recibido: 1 de octubre, 2006

Aceptado: 15 de noviembre, 2006