

# MINERALES DE MENA DEL DEPÓSITO EPITERMAL DE BAJA SULFURACIÓN DON SIXTO, MENDOZA

Ana Cecilia MUGAS LOBOS, María Florencia MÁRQUEZ-ZAVALÍA y Miguel Ángel GALLISKI

IANIGLA - CCT Mendoza, CONICET. Mendoza. E-mails: amugas@mendoza-conicet.gob.ar, mzavalia@mendoza-conicet.gob.ar, galliski@mendoza-conicet.gob.ar

## RESUMEN

El proyecto minero Don Sixto es un depósito epitermal de baja sulfuración de Au-Ag, ubicado en el bloque de San Rafael, en el SE de la provincia de Mendoza. En este depósito, cuyo recurso aurífero es próximo a las 900.000 onzas, se ha identificado una asociación de minerales de metales preciosos que incluye: uytenbogaardtita, stromeyerita, naumannita, acantita, polibasita, stützita y cervelleita. Estos minerales son escasos y se encuentran frecuentemente asociados a oro y plata de variable finenza, diseminados en vetas de cuarzo hidrotermal y en unidades volcánicas-piroclásticas de los Grupos Choiyoi y El Portillo. En este depósito se encuentra abundante pirita, con cantidades menores de arsenopirita, calcopirita, esfalerita, magnetita, hematita y, en forma subordinada, pirrotina, galena, marcasita, bornita y boulangerita, junto con calcosina, digenita y covellina. La presencia de uytenbogaardtita, stützita, cervelleita y polibasita constituye la primera mención de estos minerales para la provincia de Mendoza.

**Palabras clave:** *Seleniuros, telururos, acantita, polibasita, uytenbogaardtita.*

## ABSTRACT

*Ore minerals from Don Sixto, a low sulfidation epithermal deposit from Mendoza.*

The Don Sixto mining project is a low sulfidation Au-Ag deposit, with a gold resource close to 900,000 ounces, located in the San Rafael Massif, in the SE of Mendoza province. Recently, it was found a precious-metal mineral association including uytenbogaardtite, stromeyerite, naumannite, acanthite, polybasite, stützite and cervelleite. These minerals are scarce and are commonly related to gold and silver of variable fineness, disseminated in hydrothermal quartz veins and volcanic-pyroclastic rock units from the Choiyoi and El Portillo Group. The most common mineral is pyrite associated with subordinated arsenopyrite, chalcopyrite, sphalerite, magnetite and hematite; lesser amounts of pyrrhotite, galena, marcasite, bornite, boulangerite, chalcocite, digenite and covellite were also recognized. This is the first mention in Mendoza province for uytenbogaardtite, stützite, cervelleite and polybasite.

**Keywords:** *Selenides, tellurides, acanthite, polybasite, uytenbogaardtite.*

## INTRODUCCIÓN

El proyecto minero Don Sixto es un depósito epitermal de Au-Ag de baja sulfuración ubicado en el bloque de San Rafael, provincia de Mendoza. El mismo se extiende por ~4 km<sup>2</sup> y posee un recurso aurífero próximo a las 900.000 onzas, calculado en base a una ley de corte de 0,5 g/t (Delendatti 2005). En este proyecto minero, los minerales de mena se presentan diseminados en vetas de cuarzo hidrotermal y también, en unidades de roca volcánica y piroclástica de edad permo-triásica (Carpio *et al.* 2001, Rubins-

tein *et al.* 2001, Godeas y Rubinstein 2004, Rubinstein y Gargiulo 2005, Delendatti 2005, Narciso *et al.* 2007 y Mugas Lobos *et al.* 2010), incluidas en los Grupos Choiyoi (Stipanovic *et al.* 1968) y El Portillo (Llambías *et al.* 1993, *nom. subst.* Zanettini 1998).

La mineralización en este proyecto minero es de oro, con plata minoritaria y cantidades traza de metales base, contenida en vetas, brechas, estructuras silicificadas y *stockwork* de sílice en roca de caja alterada a sílice-sericita (Delendatti 2005). Rubinstein *et al.* (2001) reconocen la presencia de pirita, esfalerita, galena, hematita

especular y *electro*, posteriormente Delendatti (2005) identifica además arsenopirita, con calcopirita, marcasita, covellina, calcosina, magnetita, pirrotina, pirargirita y rutilo subordinados, y menciona que el oro se encuentra libre y como *electro*, en sílice, pirita y/o arsenopirita y goethita, mientras que la plata se halla libre, como chispas en cuarzo e incluida en galena. Townend (2005) menciona la presencia de fischerita (Ag<sub>3</sub>AuSe<sub>2</sub>) y naumannita (Ag<sub>2</sub>Se) asociados a goethita y *electro* respectivamente.

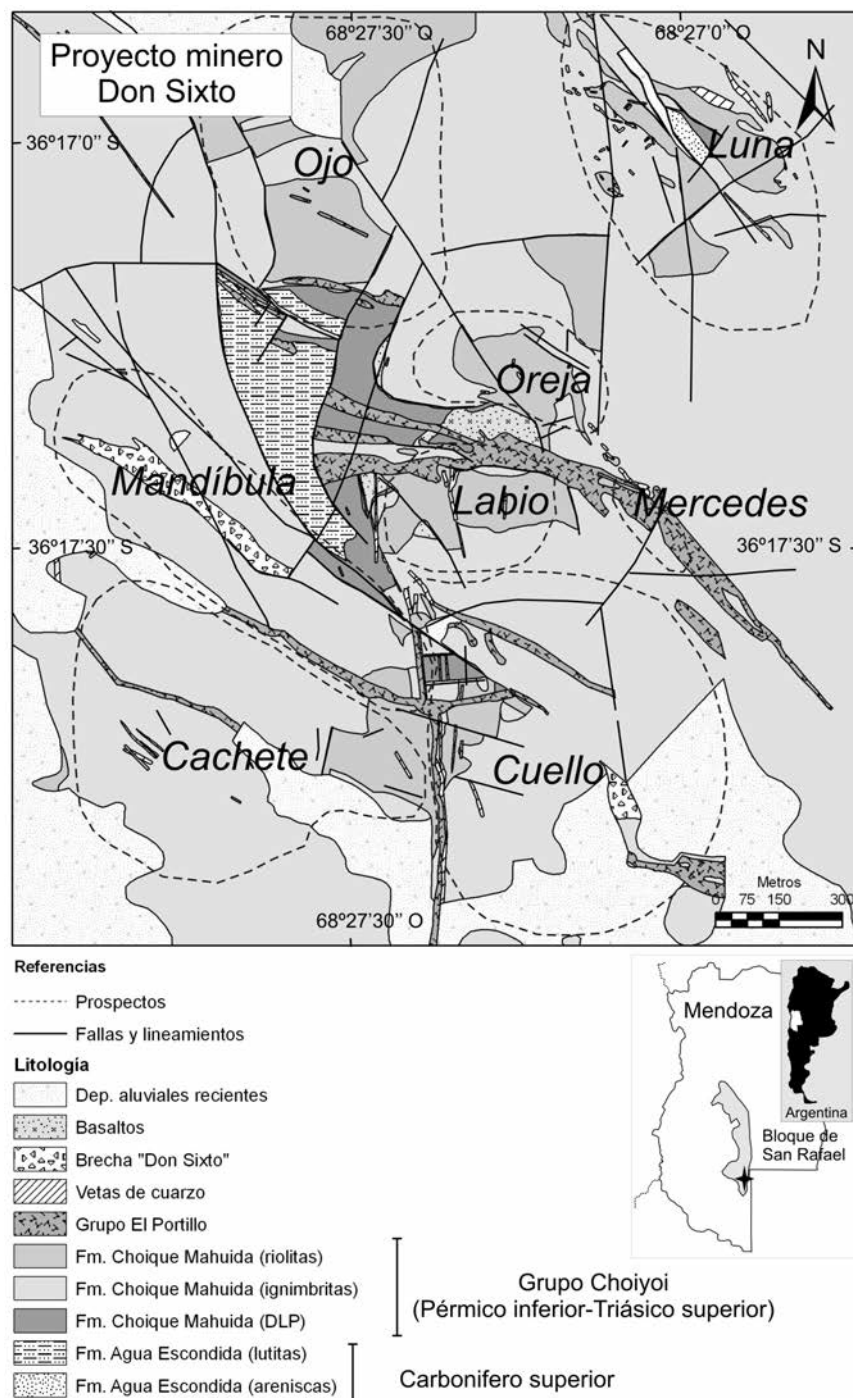
Respecto a la metalogénesis del depósito, Zappettini (1999) indica que un impor-

tante episodio metalogénico está vinculado al magmatismo del Grupo Choiyoi, incluyendo el desarrollo de mineralizaciones de tipo epitermal a transicional polimetálico. Específicamente, en el área de estudio, las rocas más abundantes corresponden a la sección superior de este Grupo e incluye a la Formación Choique Mahuida (Linares *et al.* 1978).

En esta contribución se describirán la yacencia y las relaciones paragenéticas de los principales minerales de mena del proyecto minero Don Sixto, especialmente los minerales de metales preciosos descubiertos en el área.

## GEOLOGÍA LOCAL

La geología local (Fig. 1) ha sido recientemente descrita por Mugas Lobos *et al.* (2010) e incluye rocas clásticas de ambiente marino marginal, con areniscas cuarzosas intercaladas con lutitas negras a gris oscuro algo azuladas correspondientes a la Formación Agua Escondida (González Díaz y García 1966), del Carbonífero superior. Sobre estas rocas se disponen, en relación de discordancia, las secuencias volcánicas y piroclásticas de la Formación Choique Mahuida del Pérmico inferior-Triásico superior, equivalentes a la Formación Cerro Carrizalito, datada por el método U/Pb (SHRIMP) en circones con una edad de  $252,3 \pm 3,8$  Ma (Rocha-Campos *et al.* 2006). En el área de estudio la Formación Choique Mahuida está representada por coladas y apófisis de riolita, intercaladas con mantos ignimbríticos y niveles aislados de depósitos lenticulares piroclásticos (sus componentes más gruesos no superan el tamaño de lapillo). Estas rocas están intruidas por diques subverticales de rumbo general noroeste-sureste y norte-sur, de riolitas porfíricas del Grupo El Portillo, del Pérmico superior alto-Triásico inferior, con una edad promedio de entre 250 y 240 Ma para el bloque de San Rafael (Narciso *et al.* 2007). Se reconocieron además, dos unidades de brecha de extensión local, entre las que se distingue la “Brecha Don Sixto” (Delendatti 2005) y la



**Figura 1:** Esquema geológico del proyecto minero Don Sixto modificado de Delendatti y Williams (2007) y Van der Heyden *et al.* (2007).

“Brecha Sílicea” (Mugas Lobos *com. pers.*). La mineralización en el área está hospedada, principalmente, por la Formación Choique Mahuida, incluida en la sección superior del Grupo Choiyoi y en el Grupo El Portillo.

La geoquímica de las rocas gondwánicas del área de estudio (Mugas Lobos *et al.* 2010), indica que estas rocas se comportan como una suite genéticamente asociada, relacionada a magmas diferenciados. Las fuertes anomalías negativas de

Eu, Ba, Sr, Ti y débil anomalía de Nb, reconocidas en estas rocas (Mugas Lobos *et al.* 2010), son más pronunciadas que las observadas para otras rocas de la sección superior del Choiyoi en el bloque de San Rafael (Kleiman y Japas 2009); esto es interpretado como un mayor grado de diferenciación magmática (Mugas Lobos *et al.* 2010).

## METODOLOGÍA

Los análisis químicos de los minerales de metales preciosos fueron realizados con una microsonda electrónica CAMECA SX-100, con una aceleración de voltaje de 20 kV y corriente de 10 nA, medidos en una copa de Faraday; el tiempo de conteo fue de 20 segundos para cada elemento y de 10 segundos para el fondo. El diámetro del haz de electrones usado fue de 1  $\mu\text{m}$ . Los estándares, espectrómetros y líneas analíticas seleccionados fueron: S ( $\text{CuFeS}_2$  / Sp3 /  $K\alpha$ ), Mn (Alabandita / Sp5 /  $K\alpha$ ), Fe ( $\text{CuFeS}_2$  / Sp5 /  $K\alpha$ ), Cu ( $\text{CuFeS}_2$  / Sp5 /  $K\alpha$ ), Zn ( $\text{ZnS}$  / Sp5 /  $K\alpha$ ), Ga (GaAs / Sp1 /  $L\alpha$ ), Ge (Ge / Sp1 /  $L\alpha$ ), As (GaAs / Sp1 /  $L\alpha$ ), Se ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  / Sp1 /  $L\beta$ ), Ag ( $\text{Au}_{20}\text{Ag}_{80}$  / Sp4 /  $L\alpha$ ), Cd ( $\text{CdSe}$  / Sp3 /  $L\alpha$ ), In ( $\text{InAs}$  / Sp3 /  $L\alpha$ ), Sn ( $\text{SnO}_2$  / Sp4 /  $L\beta$ ), Sb (estibina / Sp3 /  $L\alpha$ ), Te ( $\text{PbTe}$  / Sp4 /  $L\alpha$ ), W ( $\text{CaWO}_4$  / Sp1 /  $M\alpha$ ), Au ( $\text{Au}_{80}\text{Ag}_{20}$  / Sp4 /  $M\alpha$ ), Pb ( $\text{PbTe}$  / Sp4 /  $M\alpha$ ) and Bi ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  / Sp3 /  $M\alpha$ ). Los datos se redujeron utilizando la rutina PAP de Pouchou y Pichoir (1984). Las abreviaturas son según Chace (1956).

## MINERALIZACIÓN EN EL PROYECTO MINERO DON SIXTO

La mineralogía de mena es bastante sencilla en el área de estudio, se trata de una mineralización de oro y plata subordinada, con cantidades variables de metales base. La asociación mineral típica incluye abundante pirita con hematita subordinada relacionada con las alteraciones propiética y filica, con cantidades menores de arsenopirita, calcopirita, esfalerita y mag-

netita. En forma subordinada se reconocieron granos anhedrales de pirrotina, galena, marcasita y escasa boulangerita. Los cristales de acantita, stromeyerita, naurmannita y uytenbogaardita, se encuentran frecuentemente asociados a oro y plata. La calcopirita se presenta en general, parcial a totalmente reemplazada por bornita, calcosina, digenita y covellina. También se reconocieron cristales anhedrales de stützita y cervelleita estrechamente asociados a plata.

A continuación se describirán los minerales opacos del proyecto minero Don Sixto, comenzando por los minerales más frecuentes y luego, con mayor detalle se describirán los minerales de metales preciosos, los enriquecidos en selenio y telurio. La presencia de acantita y polibasita enriquecidas en Se es novedosa, como así también lo es la de los telururos de Ag y sulfuros de metales preciosos.

### Sulfuros y óxidos mayoritarios

**Pirita -  $\text{FeS}_2$ :** La pirita es el sulfuro más abundante en el área de estudio. Se reconocieron dos generaciones, la primera es euedral a subhedral (10 a 600  $\mu\text{m}$ ) y se presenta a menudo zonada, como cristales aislados y formando agregados irregulares (<1,5 mm) (Figs. 2a y b). Esta pirita es en general compacta y presenta distintos grados de fracturamiento, con desarrollo de textura craquelada; frecuentemente posee inclusiones de hasta 50  $\mu\text{m}$  de pirrotina, calcopirita, arsenopirita, hematita y metales preciosos. En este último caso, los metales preciosos suelen desarrollar texturas de intercrecimiento gráfico y/o mirmequítico con la pirita (Fig. 2c).

La segunda generación se diferencia en base a relaciones texturales y paragenéticas. Esta pirita es subhedral y más porosa que la primera. Las dos generaciones de pirita se ponen de manifiesto en algunos sectores donde fragmentos con textura zonada o con palimpsestos de crustificación de la primera generación, son recubiertos por frisos irregulares de pirita más porosa de la segunda generación. En algunos sectores es frecuente obser-

var que la pirita es parcialmente reemplazada por marcasita, desarrollando como resultado una textura en escamas. Es frecuente que la pirita esté parcial a totalmente limonitizada; en el caso de los cristales zonados, el reemplazo es selectivo y afecta sólo a algunas de las zonas de pirita, dejando a otras totalmente frescas.

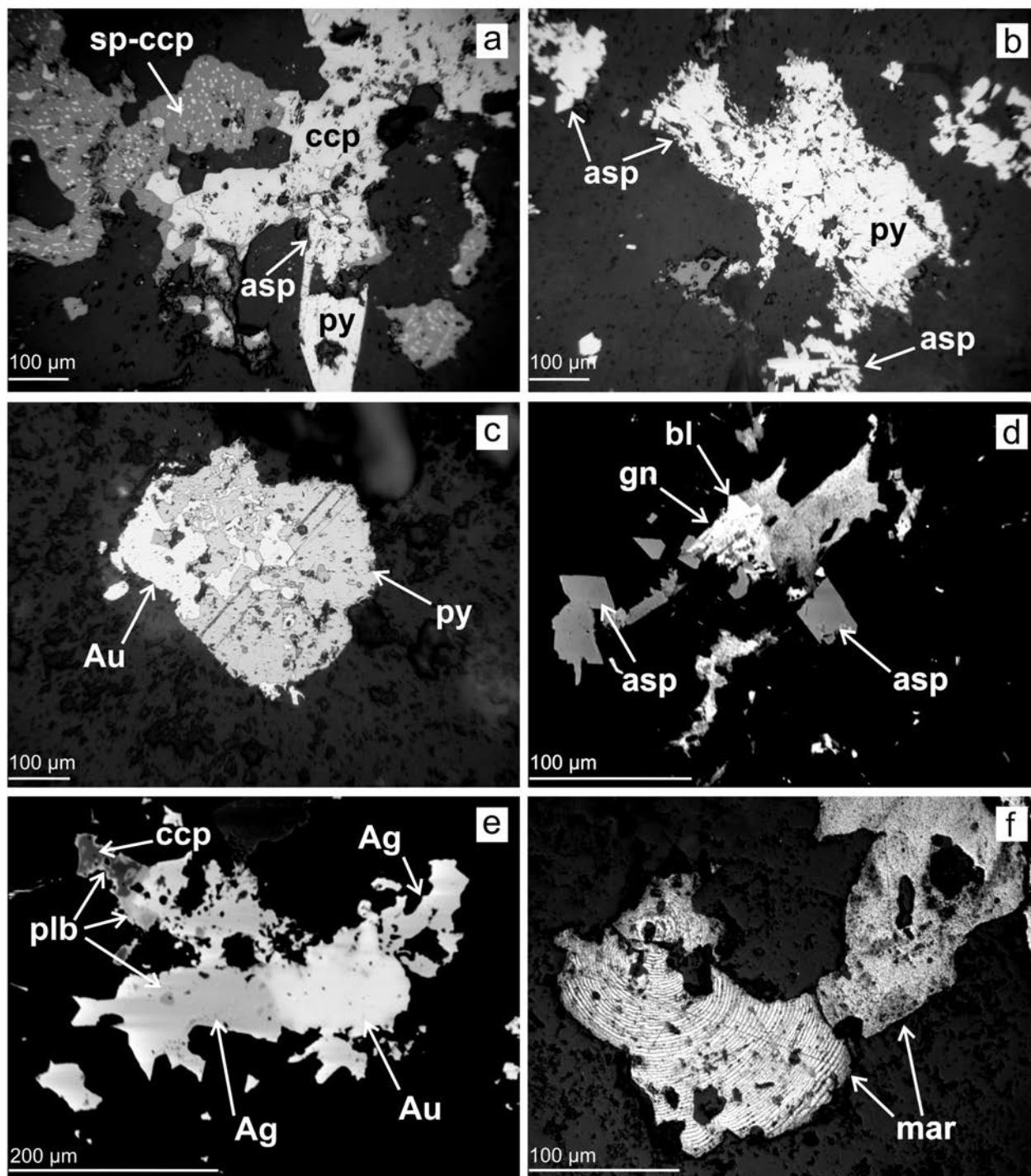
**Arsenopirita -  $\text{FeAsS}$ :** Los cristales de arsenopirita se presentan euhedrales a subhedrales en secciones rómbicas (15 a 200  $\mu\text{m}$ ) y formando agregados irregulares (150 a 900  $\mu\text{m}$ ), con desarrollo de maclas en estrella y reloj de arena (Figs. 2a, b y d). Es frecuente que la arsenopirita tenga pequeñas inclusiones de bornita (5 a 10  $\mu\text{m}$ ) o se presente formando intercrecimientos con pirita o desarrollando crustificaciones en sus bordes (Fig. 2b) y a veces reemplazándola parcialmente; a menudo la arsenopirita se encuentra zonada y parcialmente reemplazada por "limonita"  $\pm$  covellina. La composición química de algunos cristales de arsenopirita (Cuadro 1), indica un leve enriquecimiento en Au. **Calcopirita -  $\text{CuFeS}_2$ :** La calcopirita se encuentra en granos anhedrales aislados (7 a 250  $\mu\text{m}$ ), pero principalmente se presenta asociada a esfalerita desarrollando textura empolvada, bimodal y de sandía "chalcopyrite disease" (Fig. 2a). Frecuentemente, este mineral se encuentra parcialmente reemplazado por polibasita (Fig. 2e) y bornita y parcial a totalmente reemplazado en forma pseudomórfica, por calcosina, digenita y covellina.

**Esfalerita -  $(\text{Zn,Fe})\text{S}$ :** La esfalerita se presenta en granos anhedrales (30 a ~1000  $\mu\text{m}$ ), formando agregados irregulares (<2 mm), frecuentemente está asociada a calcopirita (Fig. 2a) y, en ocasiones, está parcialmente reemplazada por digenita y/o covellina.

En el cuadro 1 se presentan análisis representativos de la composición química de este mineral.

**Marcasita -  $\text{FeS}_2$ :** La marcasita se encuentra en estrecha relación con pirita, reemplazándola parcial a totalmente en forma pseudomórfica a lo largo de fisuras y desde sus bordes, en sentido centripeto, desarrollando textura en escamas (Fig. 2f). En





**Figura 2:** Fotomicrografía de: a) Granos de calcopirita (ccp), esfalerita (sp) y calcopirita con textura bimodal, pirita (py) y arsenopirita (asp). b) Agregado de pirita y arsenopirita intercrecidas; nótese la costra de arsenopirita que rodea a la pirita y los cristales de arsenopirita con macla en estrella. c) Pirita intercrecida con Au (electro) desarrollando textura mirmequítica. Imagen BSE de: d) Arsenopirita (asp) y granos de galena (gn) con pequeñas inclusiones de boulangierita (bl). e) Un agregado de Au asociado a Ag; en el sector superior de la imagen, se observa calcopirita con reemplazo parcial por polibasita enriquecida en Se (plb). f) Fotomicrografía de marcasita (mar) con textura en escamas (centro derecha de la imagen) y en otro sector (centro izquierda de la imagen) se observa el desarrollo de una textura de bandeamiento concéntrico producto del reemplazo de marcasita (?) por “limonitas”.

menor medida, se reconocieron granos aislados subtabulares (20 a 270  $\mu\text{m}$ ), generalmente con macla lamelar. Se encon-

tró un sector en el que se observa un bandeamiento rítmico concéntrico en donde bandas de marcasita (?) son reemplazadas en

forma pseudomórfica por “limonita” (Fig. 2f).

*Pirrotina* -  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  ( $x=0-0,17$ ): La pirrotina

es anhedral (10 a 400  $\mu\text{m}$ ) y compacta y se presenta generalmente aislada o asociada a pirita y a menudo parcialmente reemplazada por este mineral y marcasita (Fig. 2f).

**Galena -  $\text{PbS}$ :** La galena se presenta anhedral (<100  $\mu\text{m}$ ), en granos aislados o paragenéticamente vinculados a esfalerita, pirita, arsenopirita y, en menor medida, a boulangerita (Fig. 2d). La galena está a menudo parcialmente reemplazada por anglesita y covellina. En base a su composición química (Cuadro 1) puede indicarse que la galena posee cantidades menores de plata (0,04 a 0,52%) y, en ocasiones, un leve enriquecimiento en Sb (3,59%), en comparación con su composición química ideal.

**Bornita -  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ :** La bornita es escasa y se presenta reemplazando en forma selectiva a calcopirita a lo largo de pequeñas fisuras, desde sus bordes en sentido centripeto y en forma pseudomórfica, a su vez es parcialmente reemplazada por digenita y covellina.

**Boulangerita -  $\text{Pb}_5\text{Sb}_4\text{S}_{11}$ :** La boulangerita es muy escasa; se presenta en forma de pequeñas inclusiones anhedrales, redondeadas a alargadas en galena. En el cuadro 1 se observa que presenta un leve empobrecimiento en plomo y enriquecimiento en arsénico, en comparación con su composición química ideal.

**Magnetita -  $\text{Fe}^{+2} \text{Fe}^{+3}_2 \text{O}_4$ :** Los granos de magnetita se presentan anhedrales (<50  $\mu\text{m}$ ), aislados y formando agregados irregulares (<400  $\mu\text{m}$ ), junto a pirita y asociados con hematita (Fig. 3a).

**Hematita -  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ :** La hematita hipogénica es escasa y se presenta en cristales eu-hedrales subtabulares (10 a 130  $\mu\text{m}$ ), formando agregados semirradiales (<350  $\mu\text{m}$ ) y como pequeñas inclusiones en pirita. En otras ocasiones está íntimamente asociada a magnetita (Fig. 3a) o reemplazando a pirita.

**Calcosina -  $\text{Cu}_2\text{S}$ :** La calcosina se presenta en estrecha relación con digenita y covellina (Fig. 3b), reemplazando a calcopirita. En sectores, la calcosina -pseudomorfa según calcopirita- se encuentra intercrecida con stromeyerita; es frecuente el

**CUADRO 1:** Composición química de los minerales opacos del proyecto minero Don Sixto.

Análisis	asp	sp		gn		bl
Fe %	34,43	6,82	6,04	0,00	0,07	0,33
Cu	0,00	0,34	1,42	0,00	0,18	0,02
Ag	0,00	0,02	0,05	0,52	0,04	0,00
Au	0,13	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.
Zn	<l. d.	58,83	58,72	0,02	0,00	<l. d.
Cd	<l. d.	0,50	0,49	0,04	0,05	<l. d.
Pb	0,00	0,00	0,00	84,60	85,73	48,66
As	45,33	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	1,03
Sb	0,99	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	29,52
S	19,90	33,86	33,54	13,64	13,65	19,73
Se	0,00	0,00	0,03	0,18	0,20	0,00
Te	<l. d.	0,00	0,04	0,02	0,00	<l. d.
Total	100,78	100,37	100,33	99,02	99,92	99,29
Fe <i>apfu</i>	0,999	0,117	0,104	0,000	0,003	0,106
Cu	0,000	0,005	0,021	0,000	0,007	0,006
Ag	0,000	0,000	0,000	0,011	0,001	0,000
Au	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	0,000	0,862	0,863	0,001	0,000	0,000
Cd	0,000	0,004	0,004	0,001	0,001	0,000
Pb	0,000	0,000	0,000	0,970	0,977	4,221
As	0,981	0,000	0,000	0,000	0,000	0,247
Sb	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	4,358
S	1,006	1,012	1,006	1,011	1,005	11,062
Se	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006	0,000
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Total	3,000	2,000	2,000	2,000	2,000	20,000

asp= arsenopirita; sp=esfalerita; gn= galena; bl= boulangerita.

reemplazo parcial de calcosina por digenita y covellina.

**Digenita -  $\text{Cu}_9\text{S}_5$ :** La digenita se presenta frecuentemente reemplazando a calcopirita y/o a calcosina pseudomorfa según calcopirita. La digenita suele encontrarse reemplazada parcialmente por covellina (Fig. 3b).

**Covellina -  $\text{CuS}$ :** La covellina se presenta reemplazando a gran parte de los minerales antes descriptos, en ocasiones se encuentra como granos anhedrales de 50 a 500  $\mu\text{m}$ , pseudomorfo según calcopirita; está frecuentemente asociada a "limonita".

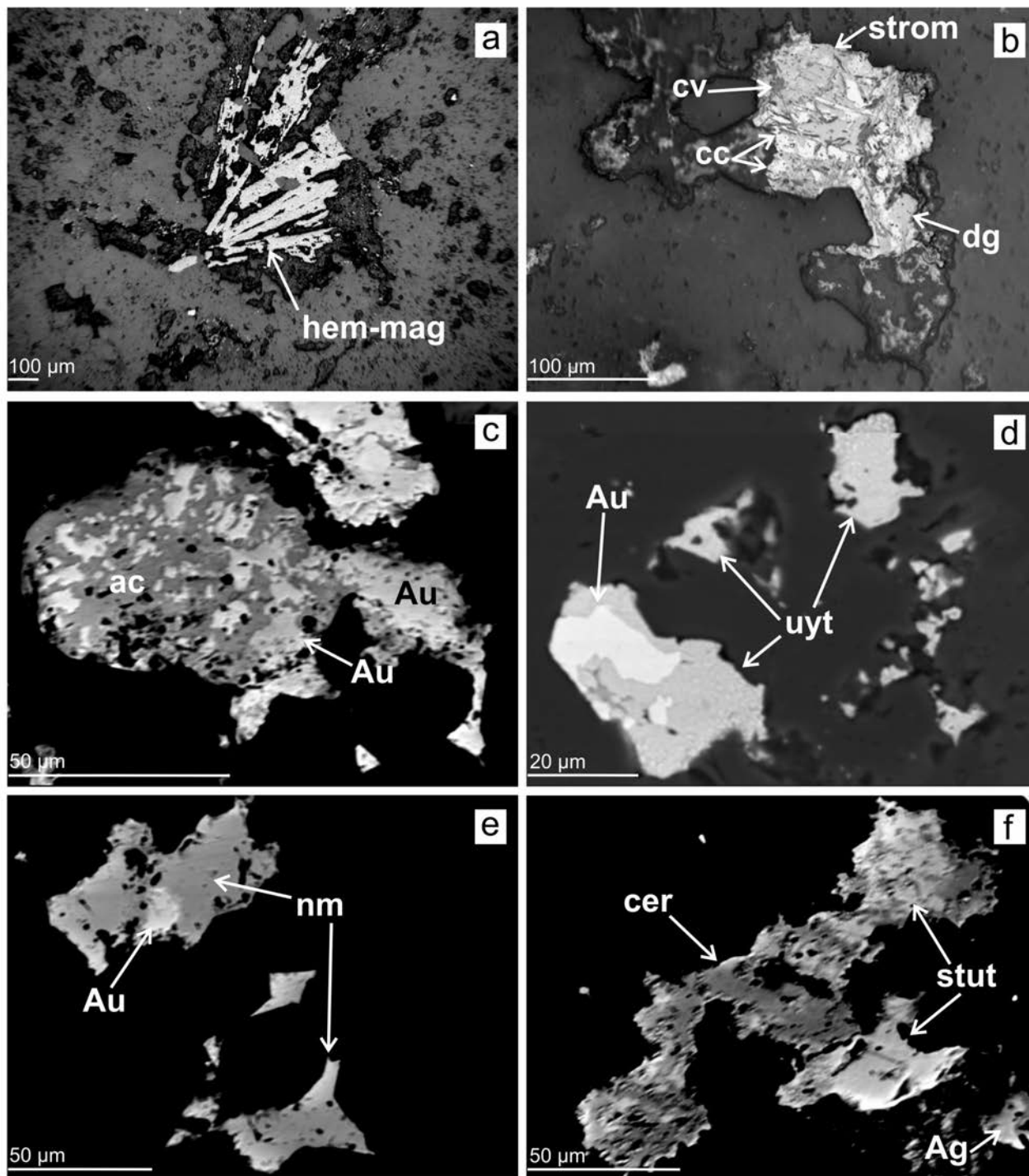
### Metales preciosos

Los metales preciosos se presentan estrechamente vinculados a las vetas de cuarzo hidrotermal, como granos anhedrales libres, diseminados y como inclusiones en pirita parcial a totalmente limonitizada. Se reconoce abundante oro, especialmente como *electro* y en menor medida, oro de alta fineza y plata (Cuadro 2).

**CUADRO 2:** Fineza de los metales preciosos del proyecto minero Don Sixto.

Análisis	Au			Ag	
Cu %	0,02	0,00	0,00	0,06	0,07
Ag	15,75	39,42	60,81	98,30	99,04
Au	83,78	60,10	39,30	1,71	0,19
Total	99,55	99,52	100,11	100,07	99,30
Cu <i>apfu</i>	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Ag	0,255	0,545	0,739	0,990	0,998
Au	0,744	0,455	0,261	0,009	0,001
Total	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

**Oro -  $\text{Au}$ :** El oro es abundante y está ampliamente distribuido en todo el proyecto minero. El oro de alta fineza es menos abundante que el *electro* y se encuentra diseminado como granos aislados o agregados ( $\leq 45 \mu\text{m}$ ) en cuarzo hidrotermal. Granos de oro anhedral, de forma laminar y dendrítica, como así también, cristales eu-hedrales octaédricos y dodecaédricos (0,25 a 0,7 mm), se encontraron tapizando fracturas y pequeñas cavidades



**Figura 3:** Fotomicrografías de: a) Agregado semirradial de hematita (hem) asociada a magnetita (mag). b) Grano de stromeyerita (strom) con textura en hojas de laurel, intercrecido con calcosina (cc); digenita (dg) y covellina (cv) reemplazan a la stromeyerita en forma selectiva y pseudomórfica. Imágenes BSE de: c) Au (*electro*) intercrecido con acantita (ac) enriquecida en Se. d) Granos de uytnebogaardita (uyt) intercrecidos con Au. e) Granos de naumannita (nm) con una inclusión de Au. f) Grano de stützita (stut) reemplazada parcial y pseudomórficamente por cervelleita (cer).

en las vetas de cuarzo hidrotermal. El *electro* (Figs. 2c y e; 3c, d y e) se presenta como granos anhedrales aislados (7 a 200

µm) en vetas de cuarzo hidrotermal y como inclusiones (<50 µm) en pirita. A menudo, *electro* y pirita desarrollan texturas

simplectíticas, en ocasiones siguiendo patrones cristalográficos (Fig. 2c).

*Plata - Ag:* La plata es levemente más



**CUADRO 3:** Composición química de los minerales de metales preciosos del proyecto minero Don Sixto.

Análisis	uyt		strom		nm		ac			plb		stut		cer	
Fe %	<l. d.	<l. d.	0,03	0,00	0,00	0,00	<l. d.	<l. d.	0,07	0,01	0,01	0,00	0,02	0,08	
Cu	<l. d.	<l. d.	45,59	38,74	0,03	0,00	<l. d.	<l. d.	0,05	5,88	0,00	0,01	0,04	0,00	
Ag	59,14	59,68	34,58	41,66	73,87	73,93	81,92	83,86	80,58	67,50	61,18	62,76	73,61	73,69	
Au	28,78	27,13	<l. d.	<l. d.	0,14	0,20	0,05	0,01	0,41	0,04	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	
Zn	<l. d.	<l. d.	0,00	0,00	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	0,00	0,00	0,08	0,00	
Cd	<l. d.	<l. d.	0,00	0,00	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	0,02	0,06	0,02	0,02	
Pb	<l. d.	<l. d.	0,11	0,00	0,08	0,01	<l. d.	<l. d.	0,06	<l. d.	1,54	0,00	0,11	0,10	
Bi	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	0,02	0,00	<l. d.	<l. d.	1,54	0,30	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	
As	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	0,00	0,02	<l. d.	<l. d.	0,00	0,22	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	
Sb	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	0,00	9,70	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	
S	11,73	12,95	15,98	17,28	1,40	0,96	13,43	10,41	8,80	12,61	0,31	0,12	7,24	7,17	
Se	0,06	0,00	0,00	0,04	24,61	24,56	0,00	4,63	5,19	4,18	0,14	0,02	0,00	0,00	
Te	<l. d.	<l. d.	0,00	0,00	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	<l. d.	36,71	36,69	17,98	17,98	
Total	99,71	99,76	96,29	97,72	100,15	99,68	95,40	98,91	96,70	100,44	99,91	99,66	99,10	99,04	
Fe <i>apfu</i>	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,004	0,002	0,000	0,002	0,008	
Cu	0,000	0,000	1,400	1,191	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	2,149	0,000	0,001	0,004	0,000	
Ag	3,101	3,032	0,626	0,755	1,972	2,001	1,933	2,009	2,039	14,530	5,191	5,325	3,892	3,905	
Au	0,826	0,755	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001	0,000	0,006	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	
Zn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	
Cd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,005	0,001	0,001	
Pb	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,068	0,000	0,003	0,003	
Bi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000	
As	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,068	0,000	0,000	0,000	0,000	
Sb	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,850	0,000	0,000	0,000	0,000	
S	2,069	2,213	0,972	1,053	0,126	0,087	1,066	0,839	0,749	9,132	0,088	0,034	1,288	1,278	
Se	0,004	0,000	0,000	0,001	0,897	0,908	0,000	0,152	0,179	1,229	0,016	0,002	0,000	0,000	
Te	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	2,633	2,632	0,804	0,805	
Total	6,000	6,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	3,000	29,000	8,000	8,000	6,000	6,000	

uyt= uyténbogaardtita; strom= stromeyerita; nm= naumannita; ac= acantita; plb= polibasita; stut= stützita; cer= cervelleita.

abundante que el oro de alta fineza y está bien representada en el sector central del proyecto minero (prospecto Cuello). Se encuentra como granos anhedrales diseminados (10 a 150  $\mu\text{m}$ ) y como agregados y parches en las vetas de cuarzo hidrotermal. La plata se encuentra, en general, relacionada a *electro*, formando intercrecimientos y agregados irregulares (Fig. 2e) y también, asociada a stützita y cervelleita (Fig. 3f).

#### Sulfuros y sulfosales ricos en plata

*Acantita - Ag<sub>2</sub>S*: La acantita se presenta en granos anhedrales (8 a 50  $\mu\text{m}$ ) de color gris medio, generalmente asociada a oro y uyténbogaardtita. En base a su composición química (Cuadro 3), se reconoció una acantita enriquecida en Se, que se presenta intercrecida con Au en granos anhedrales de hasta 65  $\mu\text{m}$  (Fig. 3c), y como pequeños granos aislados de hasta 10  $\mu\text{m}$ . Bajo la luz reflejada, la acantita enri-

quecida en Se es levemente más oscura que la acantita normal. En algunos sectores es común la asociación de uyténbogaardtita, oro y acantita. Los bajos totales en los análisis químicos de acantita (Cuadro 3) se deben al daño causado por el haz de *electrones*.

*Uyténbogaardtita - Ag<sub>3</sub>AuS<sub>2</sub>*: En el área de estudio, la uyténbogaardtita se presenta como pequeños granos anhedrales (<37  $\mu\text{m}$ ) de color gris medio con un tinte pardo distintivo, diseminada en vetas de cuarzo hidrotermal, estrechamente vinculada a Au y acantita (Fig. 3d). En general, este mineral se encuentra asociado a cantidades menores de pirita limonitizada, calcopirita parcialmente reemplazada por covellina ( $\pm$  "limonita") y pirrotina.

La composición química de la uyténbogaardtita (Cuadro 3), indica un leve enriquecimiento en Ag y empobrecimiento en Au, en comparación con su composición química ideal. La fórmula empírica

de uyténbogaardtita es Ag<sub>3,10</sub> Au<sub>0,83</sub> S<sub>2,07</sub>. *Stromeyerita - AgCuS*: En el área de estudio la stromeyerita se encuentra diseminada en el cuarzo hidrotermal, conjuntamente con cristales aislados de pirita y calcopirita y con la asociación calcosina-digenita-covellina (ex calcopirita). La stromeyerita se presenta formando agregados irregulares (10 a 120  $\mu\text{m}$ ) e intercrecida con calcosina -pseudomórfa según calcopirita-desarrollando textura mirmequítica que, en ocasiones, sigue el clivaje de la stromeyerita (Ramdohr 1980, Bergstöl y Vokes 1974). Este mineral se distingue por su color gris claro a medio, con leve tinte lavanda, y distintiva reflectancia y anisotropía; algunos agregados presentan la típica macla en hoja de laurel (Fig. 3b) y se encuentra reemplazado pseudomórficamente por digenita y covellina.

La composición química de la stromeyerita de Don Sixto (Cuadro 3), comparada con su composición ideal, indica un leve

enriquecimiento en Cu (38,74 a 45,59%). Los totales de los análisis son bajos debido a la volatilización de la plata producida por el daño causado por el haz de electrones.

### Minerales ricos en selenio

En el proyecto minero Don Sixto fueron recientemente identificados naumannita y dos minerales enriquecidos en Se: acantita y polibasita. Si bien estos minerales no son abundantes en el área de estudio, se los encuentra generalmente diseminados en el sector central (prospectos Labio y Cuello) de este proyecto minero, comúnmente asociados a oro, *electro* y plata.

*Naumannita* -  $Ag_2Se$ : La naumannita se presenta en pequeños granos anhedrales, de 20 a 100  $\mu\text{m}$  de tamaño, frecuentemente asociados a oro (Fig. 3e). El color de este mineral es gris claro con un leve tinte azul en sus márgenes. Previamente, para el área de Don Sixto, Townend (2005) reportó la presencia de granos de naumannita de hasta  $\leq 40 \mu\text{m}$ , generalmente asociados a *electro* y plata. En el cuadro 3 se encuentran análisis químicos representativos de este mineral y, en base a ellos, se calculó su fórmula empírica  $Ag_{2,00}(Se_{0,91}S_{0,09})_{\Sigma=1,00}$ .

*Polibasita* -  $[Ag_9CuS_4]([Ag,Cu]_6(Sb,As)_2S_7)$ : Los granos de polibasita enriquecida en selenio presentan un color gris medio y un tinte azul oscuro distintivo cuando se encuentra junto a plata y oro y levemente verdoso en contacto con calcopirita. En este último caso, la polibasita reemplaza en forma selectiva desde sus bordes y en sentido centripeto a calcopirita (Fig. 2e). El cuadro 3 exhibe un análisis químico representativo de este mineral.

### Minerales ricos en telurio

En el área del proyecto minero Don Sixto se identificaron los telururos de plata stützita y cervelleita, que se encuentran siempre estrechamente asociados entre sí. *Stützita* -  $Ag_{5-x}Te_3(x=0,24-0,36)$ : La stützita se presenta diseminada en vetas de cuarzo hidrotermal, en granos anhedrales aislados de hasta 400  $\mu\text{m}$  y formando agregados asociados a cervelleita, plata y can-

tidades menores de piritita euhedral a subeuhedral. La fórmula empírica de la stützita de Don Sixto es  $Ag_{5,33}Te_{2,63}S_{0,03}$ ; en el cuadro 3 se observa que presenta contenidos traza de Se ( $<0,14\%$ ).

*Cervelleita* -  $Ag_4TeS$ : La cervelleita se presenta con un color azul-celeste grisáceo y se encuentra estrechamente vinculada a stützita, reemplazándola a través de líneas de fractura y a lo largo de sus bordes, en sentido centripeto (Fig. 3f). La composición química de la cervelleita (Cuadro 3) indica valores estándar de Ag y un leve enriquecimiento en S a expensas de Te; su fórmula empírica es  $Ag_{3,91}Te_{0,81}S_{1,28}$ .

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el proyecto minero Don Sixto, los minerales opacos más frecuentes son piritita, arsenopiritita, calcopirita, esfalerita y en menor medida pirrotina, galena, marcasita, hematita, magnetita, calcosina, digenita y covellina, con polibasita, bornita, stromeyerita y boulangerita subordinados.

La asociación de minerales enriquecidos en selenio que incluye acantita, polibasita y naumannita se encuentra, en general, estrechamente relacionada a Au (*electro*), Ag, uyttenbogaardtita y calcopirita. La asociación de stützita y cervelleita se encuentra principalmente vinculada a plata.

La acantita es un mineral común en los depósitos epitermales de Au-Ag de baja sulfuración y en ella el selenio es un componente traza frecuente (Shikazono 1978, Simon *et al.* 1997). Petruk *et al.* (1974) indicaron que las acantitas de Guanajuato (México) pueden contener hasta 2,2% de Se, y sugirieron que el límite de solubilidad del selenio en estas acantitas, puede alcanzar alrededor de 4,7%. Kieft y Oen (1973) publicaron contenidos de Se similares ( $<4\%$ ) para acantitas hipogénicas de Salida (Indonesia). Shikazono (1978) indicó que las acantitas de depósitos vetiformes de Au-Ag muestran un rango más amplio en su contenido de Se (0,0 a 10,1%), comparados con los depósitos de Pb-Zn, donde el selenio en acantitas está presente solo en cantidades menores. Es-

te autor relacionó esto a la formación de los primeros bajo condiciones oxidantes, en estrecha relación con adularia, posiblemente derivados de fluidos mineralizantes con alta relación de Se/S. De acuerdo a estos resultados, los contenidos de Se de los minerales de Don Sixto estarían dentro del límite superior del rango establecido.

Los granos de polibasita enriquecidos en selenio, reconocidos en el área del proyecto minero Don Sixto, constituyen la segunda mención en Argentina, luego de la polibasita-*Tac* enriquecida en selenio de mina Martha (Márquez-Zavalía *et al.* 2008). Si se compara sus contenidos de selenio, resulta que son similares o mayores (4,18%) en la polibasita de Don Sixto que en la de mina Martha (3,00%).

Considerando la composición química de los anteriores, se puede indicar que el enriquecimiento en selenio observado en las muestras de acantita y polibasita del proyecto minero Don Sixto puede deberse, en forma parcial, a un reemplazo del azufre por selenio, considerando que este último es un elemento fuertemente calcófilo y generalmente sustituye al azufre en la mayoría de los sulfuros (Simon *et al.* 1997). El reemplazo temprano del azufre por el selenio en los sulfuros preexistentes, impediría el incremento de este elemento en el fluido hidrotermal hasta los niveles necesarios para que precipiten otros seleniuros además de los de Ag (Simon *et al.* 1997).

El telurio, comparado con el selenio, es menos compatible en la estructura de los sulfuros debido a que el ión  $Te^{2-}$  posee un radio iónico mayor. Por esta razón, el  $Te^2$  tenderá a formar telururos en los depósitos con mineralización de sulfuros, generalmente durante los últimos estadios de mineralización donde la relación de  $fTe_{2(g)}/fS_{2(g)}$  en el fluido hidrotermal se ha incrementado por la precipitación temprana de sulfuros (Simon *et al.* 1997). La presencia de stützita y cervelleita en Don Sixto es compatible con la interpretación anterior. En Argentina, la stützita fue previamente reconocida en el distrito La Mexicana, La Rioja (Paar *et al.* 1998) y



en mina Capillitas, Catamarca (Márquez-Zavalía y Craig 2000) y la cervelleita, en mina San Martín, Río Negro (Paar y Brodtkorb 1996) y en mina Ángela, Chubut (Arizmendi *et al.* 1996).

La stromeyerita por su parte ha sido previamente identificada en tres depósitos argentinos: yacimiento Manantial Espejo, Santa Cruz (Schalamuk *et al.* 1998, en Brodtkorb 2002), mina Providencia, Jujuy (Peralta y Sureda 1992) y en veta La Salvadora, Mendoza (Rubinstein *et al.* 2000, Rubinstein y Bevins 2004). En el área de estudio, la stromeyerita se encuentra en las vetas de cuarzo, frecuentemente asociada a calcosina, digenita y covellina.

La uytenbogaardtita es un mineral que se halla en depósitos epitermales de baja temperatura, en vetas de Au-Ag de cuarzo hidrotermal, comúnmente asociado a acantita, aleaciones de Au-Ag, naumannita, clorargirita y cuarzo (Anthony *et al.* 2003). Este mineral sólo se encontró previamente en tres depósitos epitermales argentinos: La Mexicana, provincia de La Rioja (Brodtkorb y Paar 2002) y en Cerro Vanguardia y Manantial Espejo, provincia de Santa Cruz (Schalamuk *et al.* 1998, en Brodtkorb 2002). La uytenbogaardtita identificada y estudiada en esta contribución es la primera mención de este mineral para la provincia de Mendoza. Basados en los resultados de Barton *et al.* (1978), se propone un origen hipogénico para la asociación de uytenbogaardtita-Au ( $\pm$  *electro*)-acantita. Estos autores indicaron que posiblemente, la coexistencia de estos tres minerales podría deberse a la exsolución de la uytenbogaardtita provocada por desequilibrio durante el enfriamiento de la asociación de alta temperatura: argentita enriquecida en Au + *electro*. Durante el enfriamiento, la argentita habría exsuelto a la uytenbogaardtita, dejando una asociación de *electro* rico en Ag con acantita + uytenbogaardtita.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a P. Černý por facilitar a MFMZ el uso de la Microsonda Electrónica del Departamento de Cien-

cias Geológicas de la Universidad de Manitoba, Winnipeg, Canadá. Se agradece a CONICET por el financiamiento a través de los PIP 5907 y PIP 100857. Asimismo, se agradece a *Extorre Gold Mines Limited* por dar acceso al proyecto minero Don Sixto y autorizar la publicación de este manuscrito. Esta contribución forma parte de la tesis doctoral de ACML, becaria doctoral de CONICET.

#### TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Anthony, J.W., Bideaux, R.A., Bladh, K.W. y Nichols, M.C. 2003. Handbook of Mineralogy, Mineralogical Society of America. Versión electrónica de libre acceso: <http://www.handbookofmineralogy.org/index.html>
- Arizmendi, A., Brodtkorb, M.K. de y Bernhardt, H.J. 1996. Paragénesis mineral de la mina Ángela, Gastre, provincia de Chubut. 3º Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, UNLP. Publicación 5: 1-7, La Plata.
- Barton, M.D., Kieft, C., Burke, E.A.J. y Oen, I.S. 1978. Uytenbogaardtite, a new silver-gold sulfide. *The Canadian Mineralogist* 16: 651-657.
- Bergstöl, S. y Vokes, F.M. 1974. Stromeyerite and McKinstryite from the Godejord Polymetallic Sulphide Deposit, Central Norwegian Caledonides. *Mineralium Deposita* 9: 325-337.
- Brodtkorb, M.K. de 2002. Las especies minerales de la República Argentina (1º ed.), Asociación Mineralógica Argentina: Tomo 1, 159 p., Buenos Aires.
- Brodtkorb, M.K. de y Paar, W. 2002. Nuevos hallazgos mineralógicos en La Mejicana, La Rioja. 6º Congreso de Mineralogía y Metalogenia: 43-49, Buenos Aires.
- Carpio, F., Mallimacci, H., Rubinstein, N., Salvarredi, J., Sepúlveda, E., Centeno, R., Rosas, M. y Vargas, D. 2001. Metalogenia del bloque de San Rafael, Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, Serie Contribuciones Técnicas, Recursos Minerales 20, 109 p., Buenos Aires.
- Delendatti, G.L. 2005. La Cabeza: Un Depósito Epitermal Aurífero de Baja Sulfuración en el bloque de San Rafael, Mendoza, Argentina. 8º Congreso Argentino de Geología Económica. Actas 1: 199-206, Buenos Aires.
- Delendatti, G.L. y Williams, M.T. 2007. Don Sixto Project, Solid Geology 1225m RL. Unpublished Internal Report, Exeter Resource Corporation. 1 p., Mendoza.
- Godeas, M. y Rubinstein, N. 2004. Buddingtonita en el depósito epitermal El Pantanito, Mendoza. 7º Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 61-62, Río Cuarto.
- González Díaz, E.F. y García, H.H. 1966. El hallazgo del Neopaleozoico plantífero en el área de Agua Escondida (SE de Mendoza y NO de La Pampa). 3º Jornadas Geológicas Argentinas, Actas 1: 341-354, Buenos Aires.
- Kleiman, L.E. y Japas, M.S. 2009. The Choiyoi volcanic province at 34°S-36°S (San Rafael, Mendoza, Argentina): Implications for the Late Paleozoic evolution of the southwestern margin of Gondwana. *Tectonophysics* 473: 283-299.
- Linares, E., Llambías, E.J. y Latorre, C.O. 1978. Geología y Geocronología de las rocas eruptivas de la provincia de La Pampa, República Argentina. 7º Congreso Geológico Argentino, Acta 1: 795-808, Buenos Aires.
- Llambías, E.J., Kleiman, L.E. y Salvarredi, J.A. 1993. El magmatismo Gondwánico. En Ramos, V. A. (ed.) *Geología y Recurso Naturales de Mendoza*. 12º Congreso Geológico Argentino y 2º Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Relatorio 1 (6): 53-64, Mendoza.
- Márquez-Zavalía, M.F. y Craig, J.R. 2000. Paragénesis de telururos de mina Capillitas, Catamarca, Argentina. 5º Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, UNLP. Publicación 7: 287-294, La Plata.
- Márquez-Zavalía, M.F., Bindi, L., Márquez, M. y Menchetti, S. 2008. Se-bearing polybasite-Tac from the Martha mine, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 94: 145-150.
- Mugas Lobos, A.C., Márquez-Zavalía, M.F. y Galliski, M.A. 2010. Petrografía y geoquímica de las rocas gondwánicas del proyecto minero "Don Sixto", Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67: 392-402.
- Narciso, V., Zanettini, J.C., Santamaría, G. y Mallimacci, H.S. 2007. Hoja Geológica 3769-II, Agua Escondida, Provincias de Mendoza y La Pampa. Instituto de Geología y Recursos Minerales. Servicio Geológico Minero Argentino (2º ed. Revisada), Boletín 300, 54 p., Buenos Aires.

- Paar, W. y Brodtkorb, M.K. de 1996. Presencia de cervelleita y hessita en la galena del yacimiento San Martín, Valcheta, provincia de Río Negro. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales. Publicación 5: 173-175, La Plata.
- Paar, W., Brodtkorb, M.K. de y Topa, D. 1998. Los telururos de oro y plata de la mina La Mejicana, provincia de La Rioja, Argentina. 4° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Acta: 207-211, Bahía Blanca.
- Peralta, C.M. y Sureda, R.J. 1992. Mina La Providencia, un yacimiento argentífero en la Puna de Jujuy, República Argentina. 4° Congreso Nacional y 1° Latinoamericano de Geología Económica, Actas 1: 116-125. Huerta Grande.
- Petruk, W., Owens, D.R., Stewart, J.M. y Murray, E.J. 1974. Observations on Acanthite, Aguilrite and Naumannite. The Canadian Mineralogist 12: 365-369.
- Ramdohr, P. 1980. The ore minerals and their intergrowths (2° ed.). Pergamon press, Volume 2: 482-483, Frankfurt.
- Rocha-Campos, A.C., Basei, M.A.S., Nutman, A.P. y dos Santos, P.R. 2006. Shrimp U-Pb zircon geochronological calibration of the Late Paleozoic Supersequence, Paraná Basin, Brazil. 5° South American Symposium on Isotope Geology: 322-325.
- Rubinstein, N. y Bevíns, R. 2004. Mineralization of La Salvadora deposit, province of Mendoza, Argentina. Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte 6: 241-252.
- Rubinstein, N. y Gargiulo, M.F. 2005. Análisis textural de cuarzo hidrotermal del depósito El Pantanito, provincia de Mendoza: Nuevos aportes sobre su génesis. Revista de la Asociación Geológica Argentina 60: 96-103.
- Rubinstein, N., Brodtkorb, M.K. de, Carpio, F. y Mallimacci, H. 2000. Mineralización de la veta La Salvadora, Distrito minero El Nevado, provincia de Mendoza. 5° Congreso de Mineralogía y Metalogenia. Publicación 7: 454-456, La Plata.
- Rubinstein, N., Carpio, F. y Mallimacci, H. 2001. El depósito epitermal El Pantanito, provincia de Mendoza. Revista del Instituto de Geología y Minería, Universidad Nacional de Jujuy 14: 59-61.
- Shikazono, N. 1978. Selenium content of Acanthite and the Chemical Environments of Japanese Vein-Type Deposits. Economic Geology 73: 524-533.
- Simon, G., Kesler, S.E. y Essene, E.J. 1997. Phase Relations among Selenides, Sulfides, Tellurides, and Oxides: II. Applications to Selenide-Bearing Ore Deposits. Economic Geology 92: 468-484.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F.O.L. y Martínez, C.G. 1968. Las Formaciones presenonianas en el denominado Macizo Nordpatagónico y regiones adyacentes. Revista de la Asociación Geológica Argentina 23: 67-98.
- Townend, R. 2005. La Cabeza Project, Argentina: Mineralogical Examination of Cuello, Ojo and Luna deposit composites. Company's Internal Report (inédito), 20 p., Santiago de Chile.
- Van der Heyden, A., Yeo, W., Delendatti, G.L.A. y Williams, M.T., 2007. Technical Report: 2007 Revised Resource Estimation, Don Sixto Gold Project, Mendoza province, Argentina. September 14, 2007. Prepared for Exeter Resource Corporation, Vancouver, Canada: 638 p., Mendoza.
- Zanettini, J.C.M. 1998. Hoja Geológica 3772-II, Las Ovejas, provincia de Neuquén. Servicio Geológico Minero Argentino, 55 p., Buenos Aires.
- Zappettini, E.O. 1999. Evolución geotectónica y metalogénesis de Argentina. En Recursos Minerales de la República Argentina. Zappettini, E.O. (ed.). Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 51-73, Buenos Aires.

Recibido: 18 de mayo, 2011.  
Aceptado: 4 de marzo, 2012.