

ANÁLISIS LITOFACIAL Y MINERALIZACIÓN EPITERMAL ASOCIADA EN EL PROSPECTO PUESTO OLGUÍN, LA CAROLINA, SAN LUIS

María Cecilia GALLARD-ESQUIVEL¹, Oscar Damián IBÁÑES¹, María Belén ROQUET², Patricia SRUOGA³ y Nilda Esther URBINA²

¹ CONICET-Universidad Nacional de San Luis, San Luis. E-mail: mcgallard@unsl.edu.ar

² Universidad Nacional de San Luis, Departamento de Geología, San Luis

³ CONICET- SEGEMAR, Buenos Aires

RESUMEN

El prospecto Puesto Olgúin está situado en el sector centro oriental del campo volcánico La Carolina, perteneciente a la Faja Volcánica Terciaria de San Luis. El análisis litofacial de las volcanitas aflorantes y de subsuelo presentes en el área, reveló el arreglo secuencial de las facies volcanoclásticas y lávicas, las que evidencian una actividad inicial hidromagmática explosiva y recurrente que culmina con el emplazamiento de domos y coladas asociadas. Para el estudio del sector mineralizado, se realizó un análisis de detalle de la perforación DDH-42 de 161 metros de profundidad con un azimut de 81° y buzamiento de 45°. La mineralogía de mena identificada corresponde a pirita, pirrotina, melnikovita, marcasita, galena, esfalerita, calcopirita, un mineral intermedio de la serie tennantita-tetraedrita, covellina y goethita. La ganga que acompaña es cuarzo y calcita. Los datos de química mineral han permitido detectar las fases portadoras de Au y Ag además de identificar una zonación química en sentido vertical del contenido de Fe, Zn, Ag y Bi. Las asociaciones minerales del área Puesto Olgúin se clasifican como de tipo epitermal de baja sulfuración ricas en sulfuros de metales base.

Palabras clave: *Brechas freáticas, base surges, brechas hidrotermales, baja sulfuración, La Carolina*

ABSTRACT

Volcanic lithofacies and epithermal mineral deposits at Puesto Olguin Prospect, La Carolina, San Luis

Puesto Olgúin prospect is located in the central-eastern La Carolina volcanic field, belonging to the San Luis Tertiary Volcanic Belt. Lithofacies analysis has been carried out, combining field work and data from subsurface cores. The sequence of volcanoclastic and lava facies show an initial hydromagmatic explosive activity followed by the emplacement of domes and associated lava flows. The mineralization in core samples from 161 meters-deep drill hole consists of pyrite, pyrrhotite, melnickovite, marcasite, galena, sphalerite, chalcopyrite, tennantite-tetraedrite, covellite, goethite, quartz and calcite. Mineral chemistry data have allowed to identify the minerals hosting the Au and Ag as well as to determine a vertical chemical zonation of the Fe, Zn, Ag, and Bi contents. According to the characteristic geochemical signatures of the ores, textures, and volcanic setting, the Puesto Olgúin mineralization have been classified as a low-sulfidation base metal sulfide-rich, gold and silver epithermal deposit.

Keywords: *Phreatic breccias, base surges, hydrothermal breccias, low sulfidation, La Carolina*

INTRODUCCIÓN

El prospecto Puesto Olgúin está localizado en el sector centro-este del campo volcánico La Carolina (32°47'31''-32°46'47''S y 66°04'38''-66°03'29'' O), a 90 km al NNE de la ciudad capital y 4,5 km de La Carolina, Departamento Pringles, provincia de San Luis. Abarca un área de 2,5 km² constituida por rocas volcánicas neógenas que presentan una marcada alteración hidrotermal asociada a manifestaciones minerales. En la década del '90, fue blanco de exploración de Fabrica-

ciones Militares, que oportunamente llevó a cabo programas de perforación en el área, de las cuales se obtuvieron los testigos de perforación para su estudio. Posteriormente, La Carolina ha sido objeto de prospección por parte de numerosas empresas mineras hasta el año 2008.

El campo volcánico La Carolina constituye la expresión más occidental de la Faja Volcánica Terciaria (FVT) de San Luis, producto de la somerización de la placa de Nazca y consecuente desplazamiento del arco volcánico hacia el este. En este sector, el volcanismo fue activo entre los

8,2 y 6,3 Ma (Sruoga *et al.* 1996), con el emplazamiento de pequeños volúmenes de magmas de composición andesítica a traquítica en forma de domos, colada, diques y términos piroclásticos asociados. En el distrito La Carolina las mineralizaciones corresponden a depósitos epitermales de baja sulfuración de oro-plata, ricos en sulfuros de metales base (Urbina y Sruoga 2009).

La importancia económica del prospecto Puesto Olgúin dentro del distrito La Carolina radica en las leyes de Zn-Pb-Ag que exhibe y la notable escasez de Au. Se-

gún los datos de las perforaciones de Fabricaciones Militares realizadas en este prospecto, Puesto Olgúin, presenta leyes medias ponderadas de: 14,02 g/T Ag @ 27 m, 0,15 % Zn @ 51m, 0,1 %Pb @ 6 m (DDH-41 de 160,5 m de profundidad, azimut de 146°30' y un buzamiento de 45°); 2,9 % Zn @ 127,5 m y 0,41 % Pb @ 142 m (DDH-42 160,45 m de profundidad, azimut de 81°30' y un buzamiento de 45°) sin presentar anomalías de Au. Solo se observa una anomalía de Au en la perforación DDH-44 (de 111 m de profundidad, con un azimut 127° y un buzamiento de 55°) a los 101 m de profundidad, en rocas del basamento metamórfico, de 1,86 g/T Au @ 6 m, sin presentar anomalías de ningún otro elemento en toda la perforación.

En este trabajo se presenta el análisis litofacial de las unidades volcánicas de superficie y subsuelo, con el fin de tipificar el volcanismo y reconstruir el arreglo secuencial en relación a la mineralización. Además, se describe detalladamente la mineralogía de mena y ganga a lo largo de la perforación DDH-42 de 161 m de profundidad y se presentan los análisis de química mineral que permiten realizar inferencias acerca de la evolución de las condiciones físico-químicas del fluido hidrotermal.

MARCO GEOLÓGICO

La Faja Volcánica Terciaria de San Luis se encuentra a ~ 750 km de la trinchera oceánica en el extremo SE del segmento de subducción horizontal pampeano 27°-33°S (Jordan *et al.* 1983, Kay *et al.* 1987, entre otros), caracterizado por la ausencia de manifestaciones volcánicas modernas. El arribo e indentación de la dorsal asimétrica de Juan Fernández, ocurrida a los 18 Ma, marcó el inicio de un período de subducción horizontal en este segmento de los Andes Centrales (Barazangui e Isacks 1976). Como consecuencia de la somerización de la placa, el volcanismo migró hacia el antepaís desde la cordillera de los Andes hasta las Sierras Pampeanas. Este volcanismo y las mineralizaciones asociadas, de edad mio-pliocena, se distribuyen a lo largo de 80 km en una faja de orien-

tación ONO, dispuesta casi perpendicularmente a las fallas inversas que delimitan el borde occidental de las sierras de San Luis. Cabe destacar que las mineralizaciones y alteraciones hidrotermales presentes, se hospedan en las rocas volcánicas neógenas y en menor medida en el basamento cristalino ígneo-metamórfico de edad precámbrico-paleozoica.

La Faja Volcánica Terciaria de San Luis está caracterizada por una actividad volcánica-hidrotermal mio-pliocena (Ramos *et al.* 1991, Urbina *et al.* 1995, Sruoga *et al.* 1996) que se desarrolló durante un lapso de aproximadamente 10 a 11 Ma. Se inició en la mitad occidental de la faja, específicamente en Cañada Honda entre los 12 y 13 Ma, desplazándose hacia el SE para finalizar a los 1,9 Ma en la sierra de El Morro (Urbina y Sruoga 2009). Dicha actividad está representada por emplazamientos saltuarios de domos, coladas, diques, sills, facies volcanoclásticas asociadas, amplias zonas de alteración hidrotermal y varios depósitos minerales de tipo epitermal y porfirico (Llambías y Brogioni 1981, Sruoga *et al.* 1996, Urbina *et al.* 1997, Urbina y Sruoga 2009). A lo largo de la Faja Volcánica Terciaria es posible distinguir de O a E, cuatro campos volcánicos: La Carolina, Cañada Honda, Cerros Largos-Cerros del Rosario y El Morro.

Para el campo volcánico La Carolina, Sruoga *et al.* (1996), hacen referencia por primera vez a la existencia de brechas de explosión, que sumado a la presencia de depósitos de tipo *base surge*, les permitió establecer un modelo de ambiente volcánico de tipo *maar*-diatrema-domo. Estas autoras también estudiaron las mineralizaciones hospedadas por las rocas volcánicas y las definieron como depósitos de oro epitermal del tipo adularia-sericita, y posteriormente (Urbina *et al.* 1997) las clasificaron como depósitos pertenecientes a la clase epitermal de baja sulfuración. Estudios geoquímicos realizados en la faja volcánica por Brogioni (1987), Urbina *et al.* (1997) y Gallard (2007) indican que los magmas mesosilícicos corresponden a las series calcoalcalinas normales a alto potasio y shoshoníticas y muestran un progresivo incremento en el contenido de

potasio con la disminución de la edad, concluyendo que los magmas son compatibles con un ambiente de arco vinculado a subducción en margen continental.

METODOLOGÍA

El análisis litofacial de las rocas volcánicas aflorantes en el prospecto Puesto Olgúin se realizó durante una campaña, donde se relevó la sección N-S utilizando cinta métrica y jalón. Posteriormente, en laboratorio, se observaron los testigos correspondientes a la perforación DDH-42 sobre la cual se realizó un muestreo tipo sistemático, cada cinco metros, para la confección de 33 secciones delgadas y 33 probetas calcográficas.

La determinación química de los sulfuros se realizó mediante el uso de la microsonda electrónica de la Universidad de Oviedo, España, con un equipo CAMEBAX SX-100 que cuenta con 5 espectrómetros WDS, un EDS, y también con detectores de electrones secundarios, retrodispersados y absorbidos, y catodoluminiscencia. Las condiciones de trabajo fueron 20 Kv de voltaje de aceleración y 15 nA de corriente de sonda. Para los estudios de microsonda electrónica se seleccionaron cuatro niveles de la perforación DDH-42 que son los ubicados a los 37, 64, 105 y 139 m de profundidad. En éstos la mineralización se encuentra diseminada alcanzando un total de hasta 5 % de sulfuros en la roca.

ANÁLISIS LITOFACIAL DEL PROSPECTO PUESTO OLGUÍN

Litofacies volcánicas en superficie

En el área de estudio, en base a las observaciones de campo y al análisis meso y microscópico, se han identificado las siguientes litofacies volcánicas: 1) lávicas: domos y coladas de lava y 2) volcanoclásticas: brechas freáticas, depósitos de *base surge* y brechas autoclásticas. Los domos comprenden los cerros El Quemado y Porongo que se encuentran en un bajo estructural conocido como el Valle de Los Quesillos (Fig. 1). Las coladas asociadas

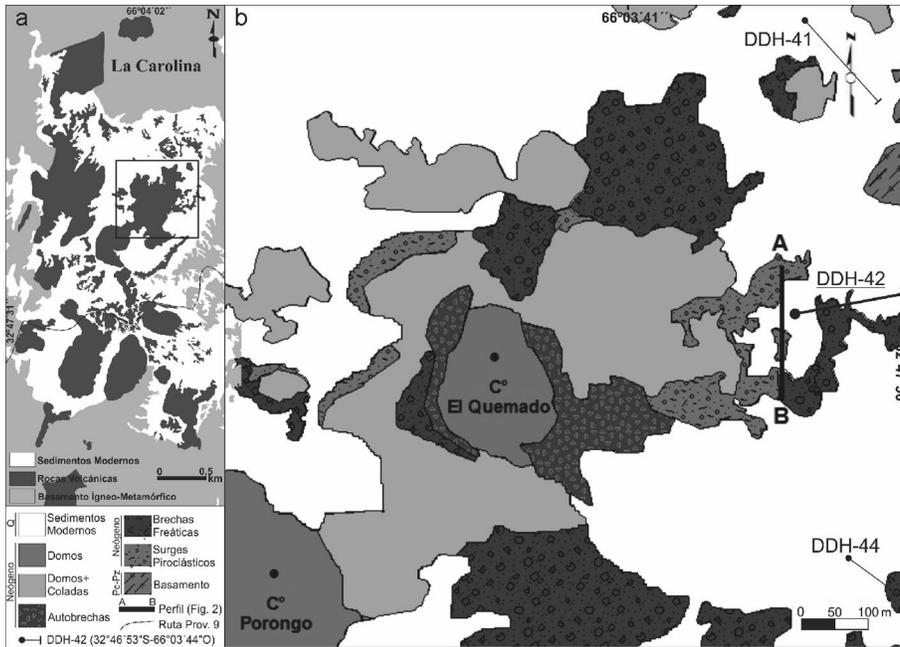


Figura 1: Mapa litofacial del área de estudio.

afloran al E y NE del cerro Porongo. Las brechas autoclasticas se concentran en los frentes y laterales de las coladas.

Los depósitos de *base surge* (Sruoga *et al.* 1996, Ibañes 2009, Ibañes *et al.* 2011 y Gallard-Esquivel *et al.* 2012) y las brechas freáticas se encuentran rodeando al cerro El Quemado de manera saltuarria en el sector ENE y en el flanco oeste del mismo en forma continua hacia el norte y en el faldeo oeste del cerro Porongo. Debido al buen grado de exposición, se confeccionó un perfil N-S en el faldeo oriental del cerro El Quemado (Fig. 1), denominado sección Puesto Olguín.

Sección Puesto Olguín (espesor total: 30 m): está constituida por tres litotipos: brechas monomícticas, brechas polimícticas y tobas lapillíticas (Fig. 2).

0,5 -1 m: Brecha monomíctica de color blanquecino, matriz soportada (60 % de matriz), y pobre selección textural. Los litoclastos son de composición lacítica; los de mayor tamaño (60-90 cm) son redondeados mientras que los de menor tamaño (15 cm) son angulosos (Fig. 2a). Este depósito es interpretado como *block and ash* (Cas y Wright 1987) en el cual los componentes vítreos de la matriz han sido completamente afectados por una fuerte alteración hidrotermal del tipo sericitica.

4 - 5 m: Brechas polimícticas (Fig. 2b) forman un banco masivo de color blanco-grisáceo. Estas brechas son de tipo matriz sostén (50-60 % de matriz) y engloban líticos derivados del basamento ígneo-metamórfico (micasquistos y metacuarcitas) de morfología subangulosa y de volcánitas (andesitas y lacitas) alteradas hidrotermalmente (silicificación, carbonatación y sericitización) con formas subredondeadas a subangulosas. El tamaño de los líticos varía de 0,5 a 35 cm. La distribución de los líticos dentro de la matriz es caótica, pero hacia el techo del banco se observa un nivel de concentración de líticos de 10-15 cm de tamaño promedio.

2 - 3 m: Brechas polimícticas blanco amarillentas dispuestas en contacto irregular levemente erosivo. Son muy similares a las anteriores pero la diferencia radica en que éstas presentan mayor porcentaje de matriz (70 a 90 %). Engloban litoclastos volcánicos (andasitas y lacitas) subredondeados a subangulosos y de brechas volcánicas, con fuerte alteración fílica y silicificación, acompañados por litoclastos angulosos del basamento metamórfico (metacuarcitas, esquistos y metagranitoide). La matriz es compacta, de color blanco amarillento debido a pátinas de limonitas.

Al microscopio, la matriz de ambos bancos de brechas lapillíticas líticas está compuesta por pequeños litoclastos subredondeados de lacitas y andesitas sericitizadas en grado variable y litoclastos angulosos a subangulosos de metacuarcitas y esquistos con texturas granoblásticas y lepidogranoblásticas y cristoclastos de sanidina, cuarzo, muscovita y plagioclasa. Se presenta afectada por intensa impregnación de minerales opacos y alteración hidrotermal de tipo carbonática y sericitica con venillas de cuarzo.

La ausencia de vitroclastos (trizas y/o pómez) y la presencia de litoclastos fuertemente afectados por alteración hidrotermal permiten interpretar a estas brechas polimícticas como brechas hidrovolcánicas del subtipo freáticas (Cas y Wright 1987) (Fig. 2).

1,2 - 1,5 m: Tobas lapillíticas litocristalinas dispuestas en contacto neto levemente erosivo. Son de color gris claro a amarillento, exhiben estratificación plano paralela y entrecruzada de bajo ángulo (Fig. 2c y d). Se observó la presencia de fragmentos de impacto balístico (*bombsag*) de hasta 7 cm que perturban la estratificación (Fig. 2e). El depósito presenta una laminación discreta de capas con diferentes contenidos relativos de fenocomponentes, diferenciándose así dos términos, uno con mayor porcentaje de carga lítica (tobas líticas) y otro con predominancia de carga cristalina (tobas cristalinas). Se reconocen litoclastos subangulosos a redondeados, con tamaño promedio de 1,76 mm, de volcánitas porfíricas con fenocristales de plagioclasa, sanidina, anfíboles y opacos en pastas pilotácicas a microfelsíticas con grado moderado a fuerte de alteración sericitica, carbonática y arcillosa. Además, se reconocen litoclastos derivados del basamento metamórfico de morfología angulosa a subangulosa, con tamaños entre 0,08 a 4,2 mm. Comprenden fragmentos de metacuarcitas constituidas por cuarzo, biotita y muscovita con textura granoblástica, esquistos con textura granolepidoblástica compuesto por cuarzo con bordes suturados, muscovita y biotita con escasos minerales opacos y fragmentos de metagranitoides constitui-

dos por cuarzo con inclusiones de circón, microclino, biotita, plagioclasa y opacos con textura granoblástica. La matriz está compuesta mayormente por componentes cristalinos, líticos y en menor proporción por componentes vítreos. Presenta una coloración blanco amarillenta y pardo clara, como consecuencia de la fuerte alteración en agregados sericiticos-carbonáticos y polvo arcilloso intersticial y en determinados sectores un color rojizo, producto de la intensa oxidación que afecta el depósito. Los cristaloclastos presentes son cuarzo, plagioclasa, sanidina, muscovita, biotita, minerales opacos, apatita, circón y microclino. Los vitroclastos de color pardo amarillento se hallan muy alterados y presentan textura blocosa. Cabe mencionar que a 70 cm de la base del depósito se intercala un banco de 10 cm de potencia, clasto soportado, bien seleccionado, monomictico, compuesto exclusivamente por litoclastos subredondeados de esquistos cuarzo-muscovíticos de 1 a 3 cm de tamaño.

En función de sus características estos depósitos han sido interpretados como flujos piroclásticos diluidos, húmedos y de baja temperatura del tipo *base surge* (Cas y Wright 1987). Este tipo de depósitos indican un carácter proximal respecto del centro emisor y constituyen las facies principales en la construcción de los anillos de toba y maers (Sruoga *et al.* 1996, Ibañes 2009, Ibañes *et al.* 2011 y Gallard-Esquivel *et al.* 2012).

La unidad descrita anteriormente se repite en 6 ciclos consecutivos con espesores de 5,72 m, 2,8 m, 1,77 m, 1,5 m, 4,5 m y 6,27 m respectivamente (Fig. 2). En los dos últimos ciclos se produce una mayor participación de las tobas lapillíticas líticas que llegan a alcanzar en el último ciclo una potencia de 6,5 m.

Por encima del sexto ciclo, en contacto neto, se dispone un depósito de brechas polimicticas, matriz soportadas (80-90 % de matriz), en un banco de 1,77 m de potencia, el cual es masivo y homogéneo muy similar al anteriormente descrito. La sección finaliza con un depósito de 3,41 m de espesor de brechas polimicticas que contienen menor proporción de ma-

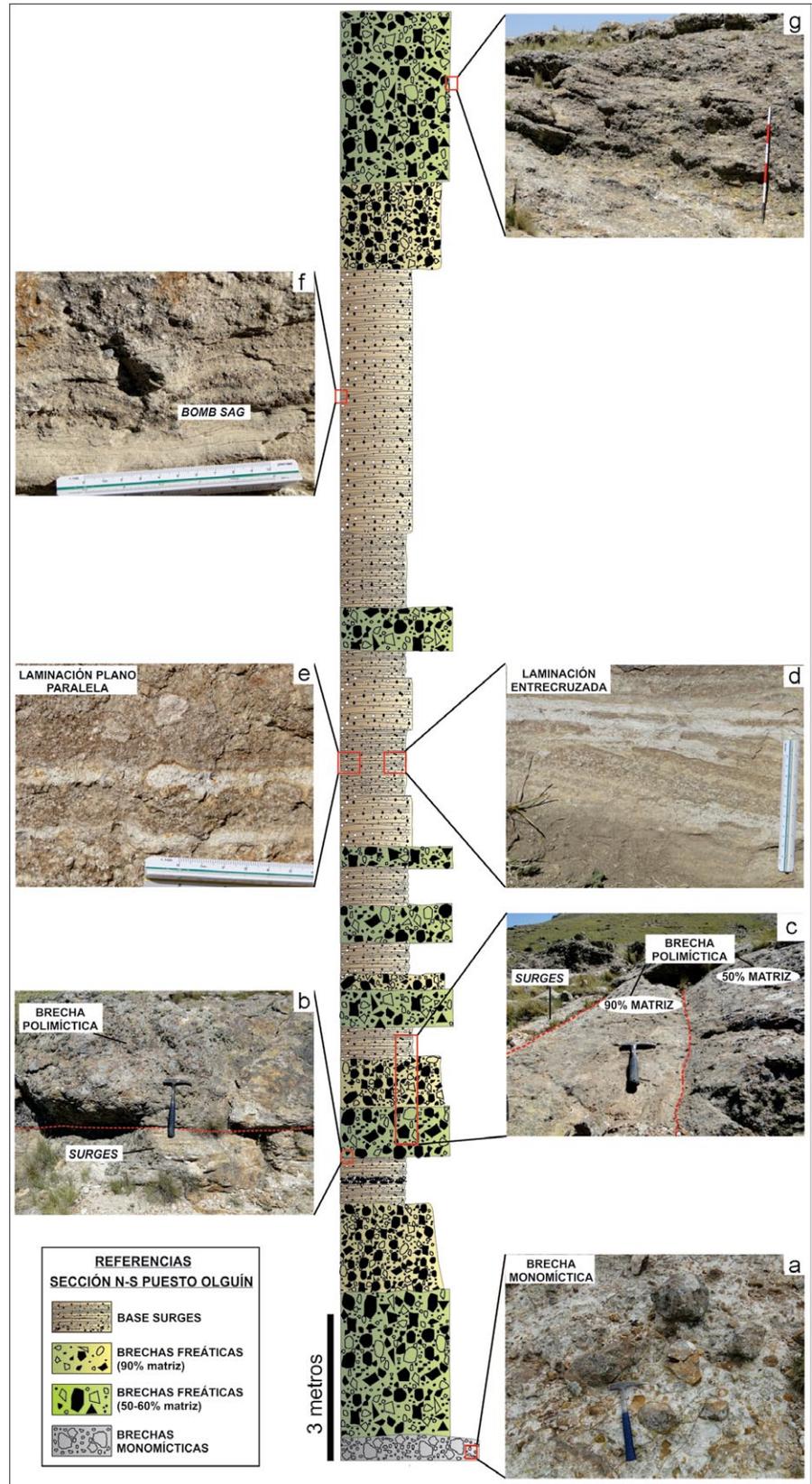


Figura 2: Sección A-B Puesto Olguín. a) Brecha monomictica; b) Contacto entre los surges c y las brechas polimicticas; c) Contacto entre ambos tipos de brechas polimicticas y los surges; d) Laminación entrecruzada; e) Laminación planoparalela, f) Bombsag; g) Brechas polimicticas con grosera estratificación planar.

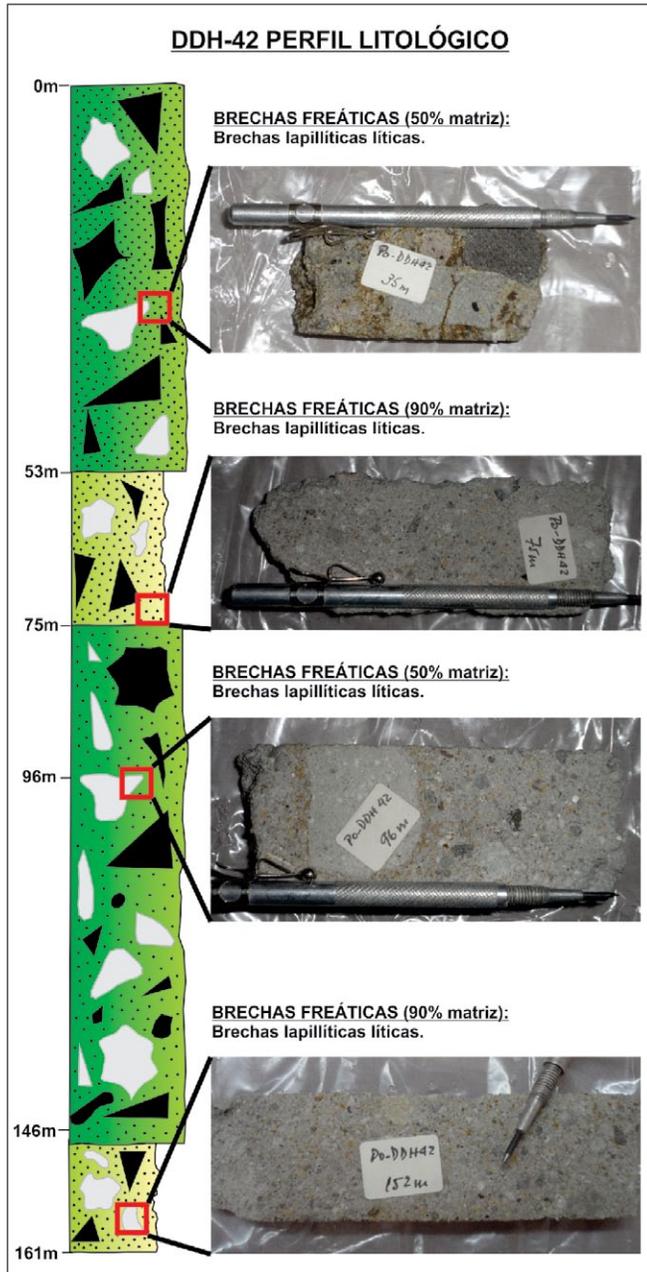


Figura 3: Perfil litológico de la perforación DDH-42 que muestra el predominio de brechas y la alternancia de dos tipos de brechas según la proporción de matriz y el tamaño de los litoclastos.

triz (50-60 % matriz) y exhiben una gruesa estratificación planoparalela (Fig. 2f).

Litofacies volcánicas de subsuelo

Para determinar las litofacies volcánicas y la mineralización asociada se estudió la perforación de Fabricaciones Militares DDH-42 que alcanza una profundidad de 161 metros con un azimut de 81° y buzamiento de 45°. Dicha perforación se encuentra al este del cerro El Quemado coincidiendo aproximadamente con el sector donde se relevó el perfil N-S antes expuesto y es importante remarcar que

no llega a cortar rocas del basamento ígneo-metamórfico.

Se observó que predominan las brechas polimícticas semejantes a las que se observan en superficie y es notable la ausencia de tobas lapillíticas litocristalinas. Desde boca a fin de pozo se definió la alternancia de dos tipos de brechas según la proporción de matriz y el tamaño de los litoclastos, reconociéndose dos ciclos (Fig. 3). 0 a -53 m: Brecha polimíctica de coloración blanco-grisáceo, masiva, matriz sostenida (50-60 % de matriz), contiene líticos de micaesquistos y metacuarcitas de mor-

fología subangulosa y de andesitas y lacitas alteradas hidrotermalmente (silicificación, carbonatación y sericitización) con formas subredondeadas a subangulosas. El tamaño de los líticos alcanza 5 cm. La matriz está compuesta por cristoclastos de plagioclasa sericitizada en grado variable, sanidina, muscovita, biotita y cuarzo, también por fragmentos líticos de igual composición que los de los constituyentes mayores de la brecha. A su vez, tanto la matriz como los litoclastos presentan una marcada impregnación de limonitas derivadas de la desferritización de los minerales máficos (Fig. 3).

53 a -75 m: Brecha polimíctica, de color blanco amarillento. Esta litofacies es muy semejante a la anterior pero presenta un marcado incremento en la proporción de matriz (hasta 90 %) y la disminución en el tamaño de los líticos (0,5 a 1,5 cm) (Fig. 3).

76 a -146 m: Brecha polimíctica muy similar a la descrita en el tramo 0-53 m. 146 a -161 m: Brecha polimíctica muy similar a la descrita en el tramo 53-75 m. Es importante remarcar que en ambos tipos de brechas polimícticas los líticos volcánicos se encuentran afectados por alteración hidrotermal, principalmente del tipo sericitica acompañada en menor medida por carbonatación y silicificación. Mientras que la mayoría de los líticos de basamento metamórfico carecen de alteración, existiendo excepciones que muestran una débil sericitización. En base a esto y a la notable ausencia de vitroclastos (trizas y pómez) estas brechas han sido interpretadas como brechas hidrovolcánicas del subtipo freáticas correlacionables con las que afloran en superficie.

MINERALIZACIÓN DEL PROSPECTO PUESTO OLGUÍN

La mineralogía de mena identificada es muy sencilla y está representada por abundante pirita, acompañada por marcasita, pirrotina y melnikovita, menores proporciones de galena, esfalerita y cantidades subordinadas de calcopirita, tennantita-tetraedrita, covellina y goethita. La ganga está constituida por calcita y cuarzo. A

continuación se describen los minerales presentes en el sector de Puesto Olgúin a partir de los datos obtenidos en la perforación DDH-42 (Fig. 4 y 5). Es importante aclarar que en superficie no hay mineralización observable solo intensa alteración sericitica que afecta a las rocas volcánicas aflorantes.

Sulfuros, óxidos, hidróxidos y carbonatos

Pirita: Es el sulfuro más abundante (Fig. 4). Se identificaron dos generaciones. La primera y más antigua se halla restringida a clastos del basamento en forma de granos idiomórficos a subidiomórficos diseminados (10 a 140 μm) y a venillas que exhiben texturas miméticas con la esquistosidad de las metamorfitas. Esta pirita es compacta, no posee minerales meta-líferos asociados y se encuentra en algunas ocasiones cataclastizada. La segunda generación, más joven y abundante, se diferencia en base a relaciones texturales y paragenéticas. Esta pirita se halla diseminada uniformemente por toda la roca como granos idiomórficos a subidiomórficos (con tamaño promedio de 40 a 80 μm), formando mosaicos (400 μm) y venillas de hasta 2 mm. Frecuentemente presenta inclusiones de hasta 80 μm de pirrotina (*blebs*), esfalerita, galena y calcopirita.

Cuarzo: Es el mineral de ganga más abundante y se halla en todos los niveles de la perforación. Está presente como cemento de la brecha hidrotermal. En superficie es criptocristalino encontrándose relacionado a la harina de roca y alteración hidrotermal, mientras que en niveles más profundos se presenta formando venillas asociado a sulfuros de metales base y desarrollando metacristales.

Pirrotina: Se observó aislada como gotas *blebs* ($\leq 40 \mu\text{m}$) incluidas en pirita, aunque a veces, está asociada a calcopirita en cuerpos de exsolución dentro de pirita.

Melnikovita: Se encuentra vinculada a pirita a la cual reemplaza centrípetamente, muchas veces, con textura en escamas.

Marcasita: Se halla íntimamente asociada a pirita y melnikovita, reemplazándolas en forma centrípeta. Es frecuente observar el reemplazo parcial o total de pirita

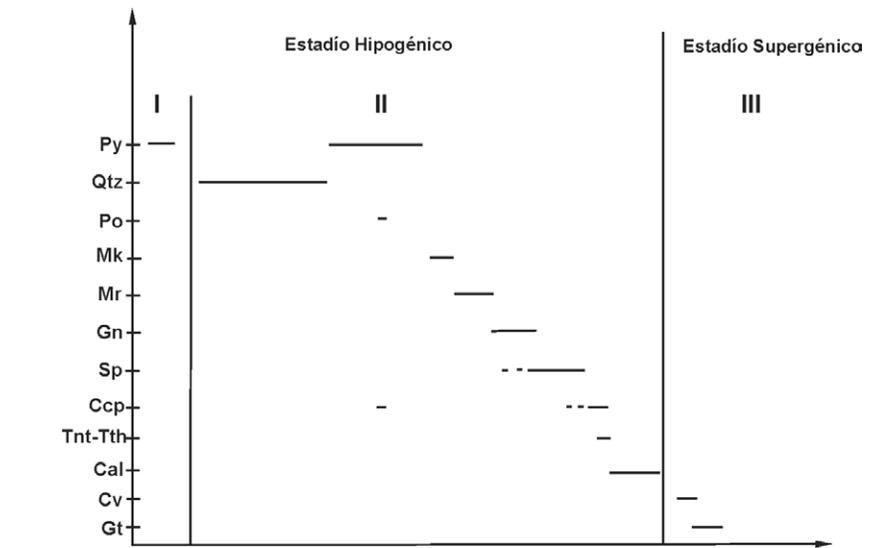


Figura 4: Cuadro paragenético de la perforación DDH-42 (modificado de Ibañez 2009). Estadio hipogénico hidrotermal I: corresponde al primer brechamiento. II: Corresponde al episodio principal de brechamiento con la mayor introducción de mineralización. Estadio Supergénico III: Corresponde a procesos de oxidación secundaria. Abreviaturas minerales de Siivola y Schmid (2007): Gt: goethita; Py: pirita; Po: pirrotina; Mr: marcasita; Mk: melnikovita; Sp: esfalerita; Gn: galena; Ccp: calcopirita; Tnt-Tth: tennantita-tetraedrita; Cv: covellina; Cal: calcita y Qtz: cuarzo.

según marcasita generando reemplazos pseudomórficos.

Galena: Se presenta en masas relicticas incluidas en otros sulfuros y reemplazando a pirita con contacto inverso de caries (Fig. 5a) y según *parting*. Con esfalerita posee una relación de reemplazo mutuo sugiriendo coprecipitación parcial.

Esfalerita: Existen dos generaciones. La primera generación es la más abundante, presenta reflejos internos claros de color ámbar y se halla a lo largo de todo el pozo (Fig. 5b, c, d). Está diseminada junto con otros minerales metalíferos, especialmente pirita y galena junto a cuarzo y calcita cementando la brecha. También se dispone en venillas. Tanto en forma masiva como en venillas reemplaza a pirita y en ocasiones a galena. La segunda generación posee calcopirita como fase exsuelta y reflejos internos rojizos y aparece a los 105 m de profundidad.

Calcopirita: Se encuentra diseminada junto con el resto de sulfuros. Reemplaza a pirita centrípetamente (Fig. 5b y d) y según *parting*. Con esfalerita exhibe relaciones de reemplazos mutuos y texturas de exsolución, indicando precipitación parcialmente contemporánea. La asociación con pirrotina en cuerpos de exsolución también sugiere precipitación en parte si-

multánea de ambos minerales. No obstante, la mayor proporción de calcopirita precipita masivamente reemplazando a pirita, galena y esfalerita.

Tennantita-Tetraedrita: Un mineral intermedio de esta serie, se encuentra como pequeñas inclusiones ($\leq 2 \mu\text{m}$) dentro de masas irregulares de pirita y a veces reemplazándola. Sin embargo, generalmente reemplaza de modo selectivo a calcopirita (Fig. 5d).

Calcita: Este carbonato está subordinado respecto del cuarzo hidrotermal, presentándose en forma granular y como masas irregulares que forman parches en el cemento de la brecha. Se observa en forma de agregados constituidos por cristales de la variedad espática y en agrupaciones irregulares de calcita a modo de mosaicos.

Covellina: Se encuentra en escasas proporciones y siempre reemplazando de modo selectivo a calcopirita en una etapa supergénica (Fig. 5d).

Goethita: Se presenta como pátina impregnando la roca en los niveles menos profundos de la perforación (hasta los 46 m de profundidad). Reemplaza a pirita pseudomórficamente y en ocasiones centrípetamente desde los límites de granos y siguiendo el *parting*. Es producto de oxidación supergénica.

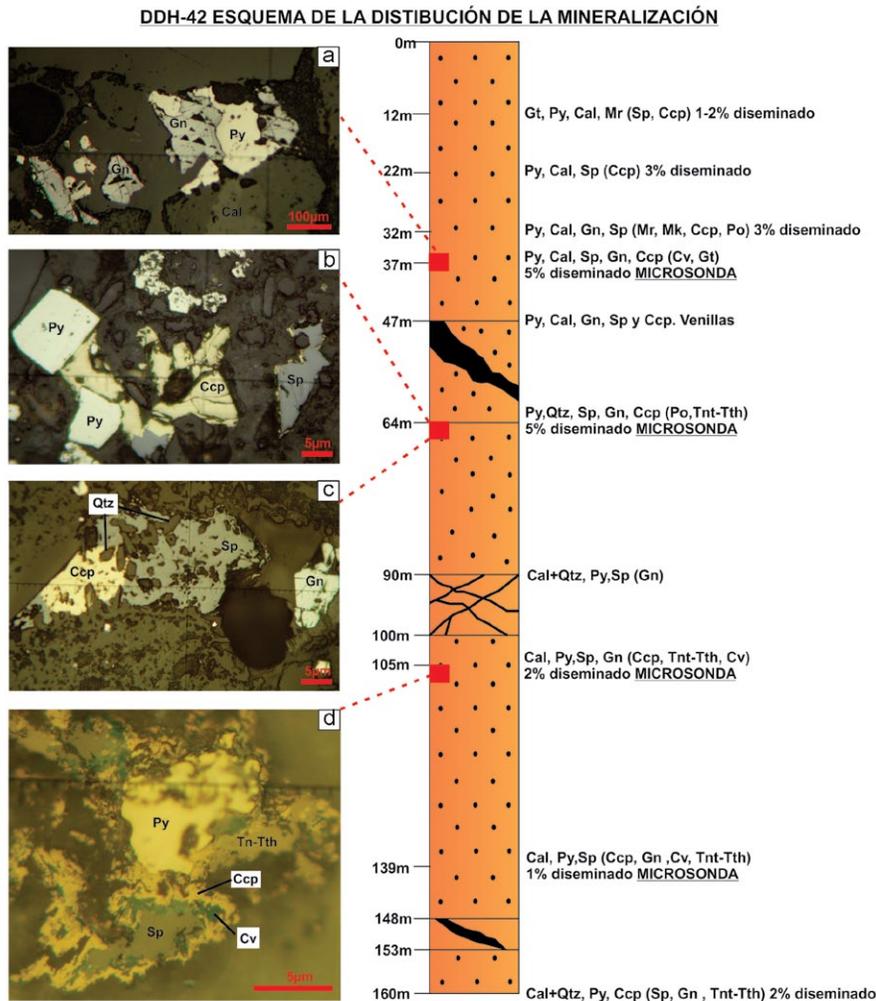


Figura 5: Esquema de la perforación DDH-42 que muestra el modo de yacencia y distribución de la mineralización a lo largo de toda la perforación. a) Fotomicrografía a 10x del metro 37 donde se observa galena reemplazando a pirita; b) Fotomicrografía a 20x del metro 64 con calcopirita reemplazando a pirita y centripetamente a esfalerita; c) Fotomicrografía a 20x del metro 64 donde se observan metacristales de cuarzo creciendo sobre esfalerita y calcopirita; d) Fotomicrografía a 50x al metro 105 donde se observa calcopirita reemplazando centripetamente a esfalerita y pirita, covellina selectivamente a calcopirita y un mineral de la serie tennantita-tetraedrita selectivamente a calcopirita. Abreviaturas minerales de Siivola y Schmid (2007): Gt: goethita; Py: pirita; Po: pirrotina; Mr: marcasita; Mk: melnikovita; Sp: esfalerita; Gn: galena; Ccp: calcopirita; Tnt-Tth: tennantita-tetraedrita; Cv: covellina; Cal: calcita y Qtz: cuarzo.

Secuencia de depositación de los minerales

En la figura 4 se muestra la secuencia paragenética de Puesto Olgúin construida en función de las texturas observadas tanto macro como microscópicamente. En una primera etapa y luego de una fracturación inicial, se produce la introducción de pirita correspondiente a la primera generación que se dispone con texturas miméticas respecto de la fábrica del basamento. La segunda fracturación es la más importante ya que produce el brechamiento más

significativo permitiendo el ingreso de una segunda generación de pirita y de toda la mineralización de mena y ganga presente en el depósito. La oxidación y enriquecimiento supergénico desarrollados posteriormente, son procesos muy restringidos.

Química mineral

Los resultados de los estudios de microsonda electrónica permitieron conocer la química mineral de esfalerita, galena, calcopirita y pirita, presentes en los metrajados

37, 64, 105 y 139 desde boca de pozo de la perforación DDH-42. Mientras que las especies minerales de cobre (un mineral de la serie tennantita-tetraedrita y covellina), fueron determinadas ópticamente con un aumento 50 x y en algunas ocasiones de 100 x bajo inmersión en aceite. Su medición mediante microsonda resultó imposible puesto que se hallan en muy bajas proporciones y con un tamaño de grano menor a dos micrones.

A los 37 m se analizaron 14 puntos en esfalerita que muestran un contenido de Zn desde 53,43 % hasta 66,01 % y de Fe desde 8,29 % hasta 1,20 % en peso. Además porta hasta 0,36 % Cd, 0,09 % Mn, 0,26 % Bi; 0,11 % Cu y 0,07 % Ag. En galena se analizaron 9 puntos que evidencian contenidos de plomo desde 82,27 % a 85,98 % en peso, hasta 0,77 % Bi, 0,09 % Ag, 0,08 % Au y 0,04 % Cu. Se efectuaron 9 análisis en pirita observándose que algunas portan metales preciosos hasta 0,11 % en peso de Au y 0,09 % en peso de Ag y trazas de Se y Te hasta un 0,04 % en peso (Cuadro 1).

En la muestra correspondiente al nivel de 64 m se realizaron 14 mediciones en esfalerita que muestran variación de Zn desde 63,33 % hasta 65,70 % en peso, el contenido de Fe varía desde un mínimo de 1,06 % hasta un máximo de 2,18 % en peso, y cantidades traza de hasta 0,23 % Mn, 0,91 % Cd, 0,30 % Cu y 0,30 % Bi. En galena los 3 análisis efectuados muestran que es portadora de Ag hasta un 0,19 % en peso y un notable incremento en el contenido de Bi, hasta 1,19 % en peso. En calcopirita se hicieron 12 mediciones que reflejan que su composición promedio es: 34,96 % Cu, 34,14 % S, 29,89 % Fe, 0,14 % Zn, 0,05 % As y 0,02 % Se. Las 12 mediciones en pirita muestran una composición promedio de 52,67 % S, 46,12 % Fe, 0,11 % As y 0,01 % Se y sólo unas pocas, contenido de Au de 0,11 % en peso (Cuadro 1).

En los niveles de 105 m y 139 m únicamente se midió esfalerita que, al igual que en los casos anteriores, posee trazas de Mn y Cd. En el metro 105 se efectuaron 5 análisis y se observó que el contenido de Zn varía desde 63,08 % hasta 64,93 % en peso y el de Fe desde 1,64 % hasta 3,26

% en peso y posee 0,12 % de Mn y 0,27% Cd. En el metro 139 se realizaron 7 determinaciones y el Zn varía desde 65,55 % hasta 66,23 % en peso y el Fe fluctúa de 0,77 % a 0,86% en peso y contiene trazas de 0,11 % Mn y 0,33 % Cd (Cuadro 1). Finalmente, los datos analíticos expuestos permiten determinar que existe una zonación química en sentido vertical del contenido de Fe y Zn en esfalerita. A los 37 m la esfalerita es más rica en Fe presentando hasta un 8,29% en peso mientras que a los 139 m de profundidad no alcanza el 1% en peso con un promedio de 0,80%. El Zn aumenta sincrónicamente a medida que disminuye el contenido de hierro desde 63,92% a los 105 m hasta 65,94% en peso a los 139 m. Del mismo modo, en función de los datos obtenidos, se percibe que el contenido en Ag y Bi de galena se incrementa con la profundidad.

DISCUSIÓN

Si bien es necesario ahondar en el estudio detallado de la paragénesis mineral, las alteraciones hidrotermales y datos de inclusiones fluidas, estudios preliminares permitieron determinar una zonación vertical en el contenido de Fe en esfalerita, que sumado al aumento en la abundancia de sulfuros de metales base y sulfosales como tennantita-tetraedrita en profundidad, estarían sugiriendo una leve tendencia de los fluidos hidrotermales a evolucionar fisicoquímicamente de condiciones de sulfuración intermedia en profundidad hacia términos de más baja sulfuración en niveles superficiales. Esta abundancia en metales base fue observada primeramente por Urbina (2005), siendo Gallard-Esquivel *et al.* (2012, 2013a) quienes profundizaron en el estudio de estas mineralizaciones.

La tendencia de los fluidos a ser neutralizados hacia niveles superficiales también ha sido observado en varios depósitos epitermales en México que exhiben características compuestas de estilos de mineralización tanto de sulfuración intermedia (SI) como de baja sulfuración (BS) y que no pueden caracterizarse simplemente como depósitos de SI (depósi-

CUADRO 1: Composición química promedio de pirita (Py), esfalerita (Sp), galena (Gn) y calcopirita (Ccp) extraídas a 37, 64, 105 y 139 metros de la boca del pozo DDH-42.

Mineral	Py		Sp				Gn		Ccp
	-37	-64	-37	-64	-105	-139	-37	-64	-64
Profundidad (m)	-37	-64	-37	-64	-105	-139	-37	-64	-64
N° determinaciones	9	12	14	14	5	7	9	3	12
Fe	46,55	46,12	2,56	1,50	2,49	0,80	0,43	0,04	29,89
Cu	0,01	0,16	0,04	0,11	0,11	0,00	0,01	0,00	34,96
Ag	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,00	0,02	0,13	0,04
Au	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03
Zn	0,01	0,11	63,49	64,11	63,92	65,94	0,21	0,01	0,14
Cd	0,02	0,01	0,33	0,55	0,28	0,34	0,00	0,00	0,01
Mn	0,00	0,00	0,15	0,16	0,12	0,11	0,00	0,00	0,00
Pb	0,00	0,06	0,02	0,01	0,00	0,01	85,20	85,76	0,02
Bi	0,05	0,07	0,04	0,08	0,04	0,01	0,57	0,89	0,09
As	0,05	0,12	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Sb	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,06	0,05	0,03
S	53,76	52,67	33,20	33,99	32,89	32,37	13,34	13,31	34,15
Se	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,01	0,03	0,02
Te	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00
Total	99,55	99,40	99,95	100,62	99,94	99,65	99,90	100,24	99,43

tos polimetálicos asociados con las salmueras más salinas) o depósitos de BS (fundamentalmente depósitos de Ag y Au asociados con salmueras demás baja salinidad). Corresponden a depósitos que muestran características predominantemente de BS pero que contienen raíces polimetálicas de SI (Zn-Pb) (Camprubí y Albinson 2006). Por ejemplo, el depósito La Guitarra en el distrito de Temascaltepec muestra claramente ese tipo de evolución (Camprubí *et al.*, 2001a), la veta Santo Niño en el distrito de Fresnillo también exhibe tendencias similares a éstas (Gemmell *et al.* 1988, Simmons, 1991) y la veta El Herrero en el distrito de Baccís, Durango, exhibe una etapa temprana de formación de sulfuros de metales base (con valores bajos de metales preciosos) que sólo se presenta en los niveles más profundos del depósito y una etapa posterior con la formación de minerales de metales preciosos (Albinson *et al.* 2001).

CONCLUSIONES

El análisis de las facies volcánicas en el área de Puesto Olguín, combinando relevamientos de superficie y de subsuelo ha permitido identificar una secuencia de eventos volcánoclasticos y lávicos. La alternancia cíclica de potentes depósitos de brechas freáticas y de *base surge* esta-

ría registrando actividad hidromagmática explosiva y recurrente. Posteriormente y debido a la progresiva desgasificación del sistema, tuvo lugar el emplazamiento de domos (cerro El Quemado y cerro Porongo), coladas y brechas autoclasticas asociadas. Tentativamente, el episódico colapso de domos habría generado flujos piroclásticos de tipo *block and ash*, en un ciclo previo a la actividad hidromagmática. La mineralogía de mena identificada en el pozo DDH-42 está representada por abundante pirita, acompañada por marcasita, pirrotina y melnikovita, con cantidades subordinadas de galena y esfalerita (calcopirita, tennantita-tetraedrita, covellina y goethita). La ganga está constituida por calcita y cuarzo.

Los análisis de química mineral revelan la presencia de pirita aurífera y la existencia de una zonación química en sentido vertical del contenido de Fe y Zn en esfalerita. Ambos elementos oscilan sus contenidos disminuyendo el Fe y aumentando el Zn, de modo general, desde boca a piso de la perforación. Del mismo modo, el contenido en Ag y Bi de galena aumenta con la profundidad. Esta zonación, en particular la variación del contenido de Fe en esfalerita ligado al aumento de abundancia de sulfuros de metales base y sulfosales como tennantita-tetraedrita en profundidad, podría estar indicando una evolución

del carácter físico-químico de los fluidos hidrotermales desde condiciones de sulfuración intermedia en profundidad hacia términos de más baja sulfuración, más equilibrados con la roca por neutralización, en niveles superficiales. Las asociaciones minerales del área Puesto Olguín, su composición química y relaciones texturales, permiten clasificar a estos depósitos como pertenecientes al tipo epitermal de la clase baja sulfuración de oro y plata, ricos en sulfuros de metales base, esto podría estar representando un sector relativamente profundo del sistema.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Dres. Agustín Martín Izard y Andrés Cuesta Fernández por facilitar el uso del servicio de Microsonda Electrónica y Microanálisis de la Universidad de Oviedo, España. Especialmente al Ing. Miguel Ángel Fernández González por su gran ayuda durante la realización de los análisis. Se agradece a la Universidad Nacional de San Luis por el financiamiento parcial de los estudios (Proyecto 348903 y Ord CS 32/11) y a Fabricaciones Militares por ceder oportunamente los testigos de perforación. Especialmente a los Dres. Martín Gozávez y Diego Guido por las correcciones y sugerencias realizadas en el presente trabajo que sirvieron para su mejoramiento. Esta contribución forma parte de la tesis de posgrado de MCGE, becaria doctoral de CONICET.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Barazangui, M. e Isacks B.L. 1976. Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca plate beneath South American. *Geology* 4: 686-692.
- Albinson, T., Norman, D.I., Cole, D., Chomiak, B.A. 2001. Control on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: constraints from fluid inclusion and stable isotope data: *Society of Economic Geologists, Special Publication* 8: 1-32.
- Brogioni, N. 1987. Petrología y vulcanismo Mioceno de la Provincia de San Luis. *Revista del Museo de La Plata. Sección Geológica* 10, vol 83: 71-100.
- Camprubí, A., Canals, À., Cardellach, E., Prol-Ledesma, R.M., Rivera, R. 2001a. The La Guitarra Ag-Au low sulfidation epithermal deposit, Temascaltepec district, México: vein structure, mineralogy, and sulfide-sulfosalts chemistry: *Society of Economic Geologists, Special Publication* 8: 133-158.
- Camprubí, A. y Albinson, T. 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, volumen conmemorativo del centenario. Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales de México* 58: 27-81 p.
- Cas, R.A.F. y Wrigth, J.V. 1987. *Volcanics Succession, modern and ancient*. Chapman & Hall, 526p., London, U.K.
- Gallard C., 2007. *Geología y Metalogénesis del sector sureste del distrito aurífero La Carolina, provincia de San Luis*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 110 p. y anexos, San Luis.
- Gallard-Esquivel, M. C. Urbina, N.E., Sruoga, P. y Japas, M.S. 2012. Depósitos epitermales de baja sulfuración ricos en sulfuros de metales base, distrito aurífero La Carolina, San Luis, Argentina. *Aportes al magmatismo y metalogénesis asociada de la República Argentina. Serie de Correlación Geológica* 28: 91-102.
- Gallard-Esquivel M.C., Urbina N.E., Cepedal A., Fuentes-Fuentes M., Martín-Izard A. 2013. La mineralización de los depósitos epitermales de baja sulfuración del distrito aurífero La Carolina, San Luis, Argentina. 2° Simposio sobre Petrología Ígnea y Metalogénesis Asociada, Resúmenes: 28-19, San Luis.
- Gemmell, J.B., Simmons, S.F., Zantop, H., 1988. The Santo Niño silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico: part I. Structure, vein stratigraphy, and mineralogy: *Economic Geology* 83: 1597-1618.
- Ibañes, O.D. 2009. *Geología y metalogénesis del sector noreste del distrito aurífero La Carolina, provincia de San Luis*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de San Luis (inédita), 106p., San Luis.
- Ibañes, O.D., Sruoga P. y Urbina N.E., 2011. Vulcanismo mioceno y mineralización asociada en el sector noreste del distrito La Carolina, San Luis, Argentina. 18° Congreso Geológico Argentino, Actas en CD-ROM, S 16, Neuquén.
- Jordan, T.E., Isacks, B.L., Allmendinger, R.W., Brewer, J.A., Ramos, V.A. y Ando, C.J. 1983. Andean tectonics related to geometry of subducted Nazca plate. *Geological Society of America Bulletin* 94: 341-361.
- Kay, S.M., Maksiyev, V., Moscoso, R., Mpodozis, C. y Nasi, C. 1987. Probing the evolving Andean lithosphere: Mid-late Tertiary magmatism in Chile (29°-30°30' S) over the modern zone of subhorizontal subduction. *Journal of Geophysical Research* 92: 6173-6189.
- Llambías, E. J. y Brogioni, N. 1981. Magmatismo Mesozoico y Cenozoico. En: Yrigoyen, M. (Ed.): *Geología y Recursos Naturales de la provincia de San Luis*. 8° Congreso Geológico Argentino, Relatorio: 101-115. San Luis.
- Ramos, V. A., Munizaga, F. y Kay, S. M. 1991. El magmatismo Cenozoico a los 33° S de latitud: Geocronología y Relaciones tectónicas. 6° Congreso Geológico Chileno. Resúmenes Expandidos: 892-896, Viña del Mar.
- Simmons, S.F. 1991. Hydrologic implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo District, Mexico. Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn ore bodies: *Economic Geology* 86: 1579-1601.
- Sruoga, P., Urbina, N. E. y Malvicini, L. 1996. El volcanismo Terciario y los depósitos hidrotermales (Au, Cu) asociados en La Carolina y Diente Verde, San Luis, Argentina. 13° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 89-100, Buenos Aires.
- Urbina, N. E., Sruoga, P. y Malvicini, L. 1995. El volcanismo Mioceno y la mineralización aurífera asociada en La Carolina y Diente Verde, Provincia de San Luis, Argentina. 9° Congreso Latinoamericano de Geología, Actas CD: 1-13, Caracas.
- Urbina, N. E., Sruoga, P. y Malvicini, L. 1997. Late Tertiary Gold-Bearing Volcanic Belt in the Sierras Pampeanas of San Luis, Argentina. *International Geology Review* 39: 287-306.
- Urbina, N.E. y Sruoga, P. 2009. La Faja Metalogénica de San Luis (FMSL), Sierras Pampeanas, Argentina: mineralización y geocronología en el contexto metalogenético regional. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64: 635-645.

Recibido: 5 de diciembre, 2013

Aceptado: 9 de enero, 2015