

# GEOLOGÍA, MINERALOGÍA Y ESTRUCTURA DE LA MINA ACAZOQUE (PB-AG-ZN), PUNA SALTEÑA

Natalia SALADO PAZ<sup>1</sup>, Iván A. PETRINOVIC<sup>2</sup>, Julio AVILA<sup>3</sup> y Affonso BROD<sup>4</sup>

<sup>1</sup> IBIGEO -Instituto de Bio y GeoCiencias del NOA- CONICET, Universidad Nacional de Salta. E-mail: nataliasaladopaz@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> CICTERRA-Centro de investigaciones en Ciencias de la Tierra-CONICET, Universidad Nacional de Córdoba.

<sup>3</sup> INSUGEO-Instituto Superior de Correlación Geológica-CONICET, Universidad Nacional de Tucumán.

<sup>4</sup> IESA - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Universidade Federal de Goiás, Brasil.

## RESUMEN

Mina Acazoque, ubicada en la Puna salteña (24° S), corresponde a un depósito epitermal de baja sulfuración relacionada con la actividad magmática miocena. Es un yacimiento de Pb-Ag-Zn emplazado en rocas graníticas correspondientes al Complejo eruptivo Oire que posee una corrida de aproximadamente 500 m y potencia media de 0,60 m. La mineralización primaria está constituida por galena, calcopirita, pirita, tetraedrita y estannita en ganga de fluorita, baritina, adularia, calcita y cuarzo. La mineralización secundaria está representada por cerusita, covelina, calcosina, azurita, malaquita y limonita. La veta tiene un contacto neto con la roca de caja y muestra textura maciza variando a brechosa. Microsonda electrónica de barrido fue usada en este estudio con el fin de determinar la química de los minerales más abundantes en la veta. La composición química de los minerales son: adularia:  $K_{0.92} Al_{0.89} Si_{3.09} O_8$ , baritina:  $Ba_{0.97} Sr_{0.03} SO_4$ , calcita:  $Ca_{1.87} Mn_{0.01} (CO_3)_2$ , cerusita:  $Pb_{1.47} Ca_{0.01} CO_3$ , galena:  $Pb_{0.97} S_1$ . El control de la mineralización es estructural, emplazándose en planos de falla de rumbo N 50° e inclinaciones de 70° al SO con desplazamiento relativo de bloques oblicuo (normal-dextral). Nuestros datos indican que el emplazamiento de la mineralización fue sin-deformacional, relacionado con la evolución de la caldera del cerro Aguas Calientes (10,3 Ma). El campo de esfuerzos local determinado resulta consistente con el regional.

**Palabras clave:** *Acazoque, polimetálico, caldera Aguas Calientes, Puna salteña*

## ABSTRACT

*Geology, mineralogy and structure of Acazoque ore deposit (Pb-Ag-Zn), Puna salteña*

Acazoque mine, located in the Puna salteña corresponds to a low sulphidation epithermal deposit related to miocene magmatic activity. It is a veined system Ag-Pb-Zn located in granitic rocks corresponding to Complejo eruptivo Oire, it is approximately 500 m long, and an average thickness of 0.60 m. Primary mineralization consists of galena, chalcopryrite, pyrite, stannite and tetrahedrite in gangue of fluorite, barite, adularia, calcite and quartz. Secondary mineralization is represented by cerussite, covellite, chalcocite, azurite, malachite and limonite. The vein has a net contact with the country rock and shows a brecciated texture varying transitionally. Scanning electron microscopy was used in this study in order to determine the mineral chemistry in the vein. The chemical composition of analyzed minerals are adularia:  $K_{0.92} Al_{0.89} Si_{3.09} O_8$ , barite:  $Ba_{0.97} Sr_{0.03} SO_4$ , calcite:  $Ca_{1.87} Mn_{0.01} (CO_3)_2$ , cerussite:  $Pb_{1.47} Ca_{0.01} CO_3$ , galena:  $Pb_{0.97} S_1$ . The mineralization is located in a fault plane N 50° trend and 70°SW dip with relative displacement of blocks oblique (normal-dextral). Our data indicate that mineralization is sin-deformational, related to evolution of the caldera Aguas Calientes (10.3 Ma). The interpreted local stress field is consistent with that regional one.

**Keywords:** *Acazoque, polimetálico, Aguas Calientes collapse caldera, Puna salteña*

## INTRODUCCIÓN

El depósito vetiforme de Acazoque (24,290562°S - 66,378341°O) se ubica próximo al borde oriental de la Puna, en el departamento Los Andes a 10 km al oeste de San Antonio de los Cobres, provincia de Salta. Se encuentra en las cercanías de otros depósitos caracterizados por la presencia de minerales con la

asociación Pb-Ag-Zn, tales como las minas La Poma (Argañaraz y Sureda 1979, Salado Paz *et al.* 2010), Concordia (Zappettini 1999, *Japan International Cooperation Agency* 1995), El Recuerdo y La Paz (Vallejos 1983), La Olvidada y Socaimán (Zappettini 1999). Las mineralizaciones de Pb-Ag-Zn se alojan en los cuadrantes dilatantes de un esquema estructural transpresivo del Mioceno medio-tardío

(Petrinovic *et al.* 2010) que ha controlado la geometría y desarrollo de los diferentes ciclos de colapso de la caldera del cerro Aguas Calientes. El sistema mineralizado de Acazoque es de tipo polimetálico de Pb-Ag-Zn cuyas características mineralógicas y estructurales permiten diferenciarlo de los otros depósitos previamente mencionados. La mineralización constituye una veta alojada en un plano de fa-

lla de rumbo NO con una potencia media de 0,60 m y una corrida de aproximadamente 500 m y ha sido explotada de manera rudimentaria en galerías y trincheras. Aportaba mineral en la década del 60 a la compañía Mina Pirquitas con leyes del orden de 5,1 % Pb y 41 g/t Ag (Meregaglia 1978).

Hasta el presente, el depósito ha sido vinculado al intenso magmatismo mioceno del área (Meregaglia 1978, Ramallo *et al.* 2011), sin embargo no existen evidencias petroquímicas ni edades que permitan determinar la relación directa con algún cuerpo magmático en particular.

En este trabajo, se estudia la relación de la mineralización con las estructuras locales y regionales, a fin de obtener consideraciones respecto a la edad, distribución y significado geológico de la misma. De igual manera, se espera contribuir al conocimiento geológico-mineralógico del depósito mineral caracterizando la mineralogía primaria-secundaria de la veta y su composición química.

## METODOLOGÍA

Los resultados dados a conocer en el marco de esta investigación, fueron obtenidos a partir de estudios de muestras provenientes de superficie y de laboreos de mina. Se hicieron estudios petrográficos y calcográficos con el objeto de definir la mineralogía de mena y ganga de la veta en los sitios estudiados. Para determinar el movimiento relativo de los bloques de la falla mineralizada y analizar las direcciones de extensión-acortamiento se tomaron datos del plano de falla e indicadores cinemáticos (estrías y escalones de falla) en 7 estaciones a lo largo de la corrida de la veta. Se tomaron en la roca de caja, datos de rumbos de diaclasas en 15 estaciones y fracturas rellenas en 8 estaciones con el fin de determinar las direcciones predominantes por donde circularon los fluidos. Los datos estructurales en la falla mineralizada, fracturas rellenas y diaclasas en áreas circundantes, relevados suman un total de 30 estaciones con datos, representando los predominantes en cada estación. Para la interpretación

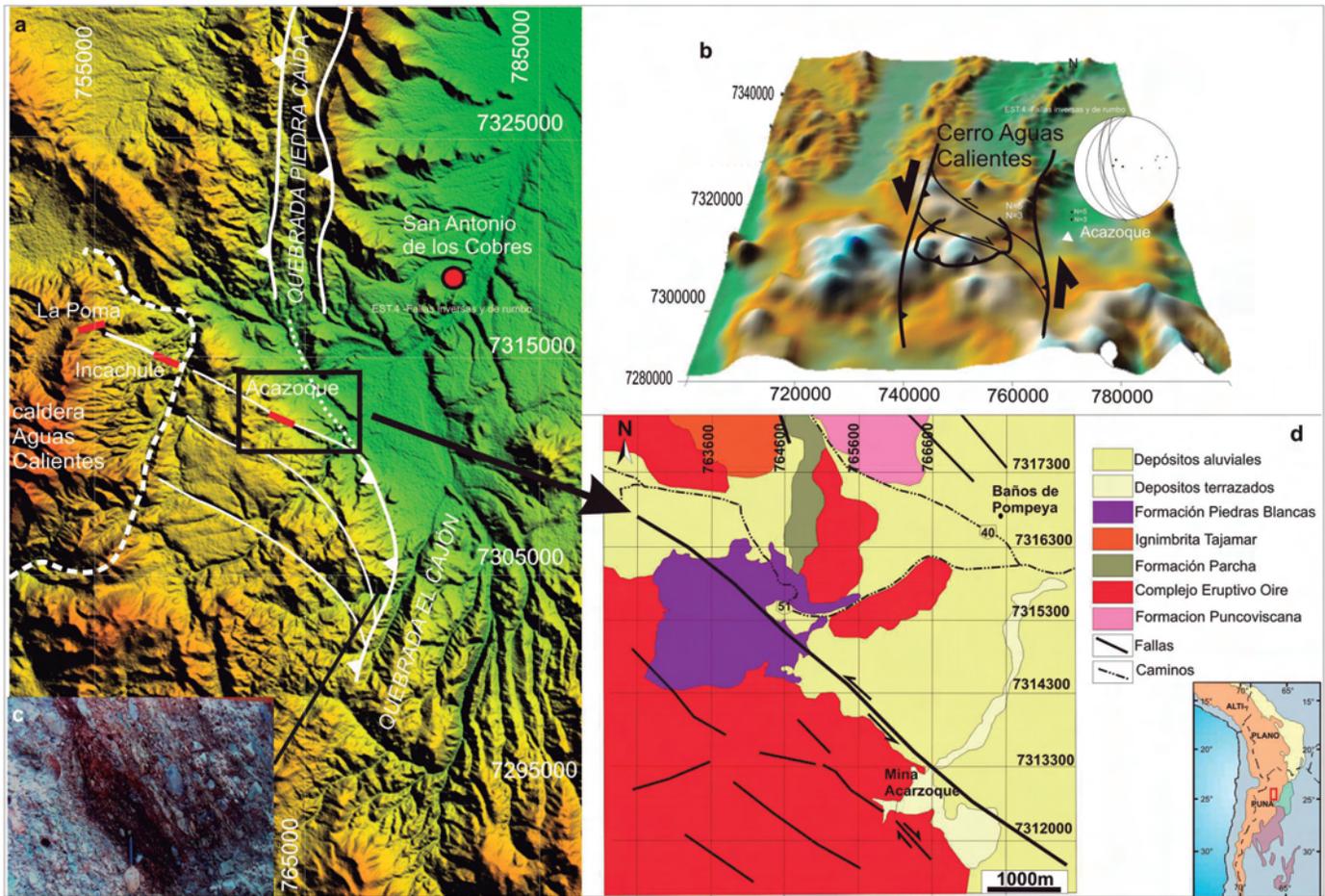
de los datos estadísticos se utilizaron los *freewares* Stereonet y FaultKinwin (Allmendinger 2001). Los análisis químicos de los minerales fueron llevados a cabo en los laboratorios del Instituto de Geociencias de la Universidad Federal de Brasilia. La microsonda es un equipo Jeol JXA-8230, posee 5 espectrómetros de longitudes de onda (WDS) y un espectrómetro de dispersión de energías (EDS), con cristales analizadores (TAPJ, LIF, LIFH, PETJ, PETH, LDE1 e LDE2) que permiten la detección y análisis de todos los elementos químicos con número atómico superior a cuatro. Las condiciones estándar del equipo son las siguientes: para silicatos, carbonatos y sulfatos (voltaje de aceleración: 15 kV, corriente: 10 nA, tiempo de conteo en pico: 10 s, tiempo de conteo en *backgrounds* superior e inferior: 5 s diámetro de haz de electrones: 1 um). Para sulfuros: voltaje de aceleración: 20 kV, corriente: 20 nA, tiempo de conteo en pico: 10 s, tiempo de conteo en *backgrounds* superior e inferior: 5 s, diámetro de haz de electrones: 1 um. Los Patrones utilizados son los siguientes: Na: albita, Mg: olivino, F: topacio, Si: wollastonita, Al: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K: microclina, Cl: vanadinita, Ca: wollastonita, Zn: óxido de Zn, Fe: hematita, Mn: pirofanita, Ti: pirofanita, Ba: barita, Sr: celestina, Cu: CuO, S: pirita (en caso de análisis de galena, el patrón para S es galena), Fe: pirita (en caso de análisis de calcopirita, el patrón para Fe es calcopirita), As: AsGa, Zn: esfalerita, Cu: calcopirita Pb: galena. Para Au, Ag, Sb, Co, Pt y otros metales, los patrones son esos mismos metales nativos.

## GEOLOGÍA REGIONAL

El sector de estudio se encuentra en las cercanías del borde oriental de la Puna, al suroeste de la localidad de San Antonio de los Cobres (Fig. 1a). El basamento de la región está constituido por secuencias sedimentarias y metasedimentarias marinas profundas de la Formación Puncoviscana (Precámbrico superior- Cámbrico inferior) intruidas por rocas de composición granodiorítica y porfidos riódacíticos del Complejo erup-

tivo Oire de edad Ordovícico Temprano (Blasco *et al.* 1996). En el área, rocas volcánicas submarinas de igual edad, se intercalan en la secuencia sedimentaria ordovícica (Becchio *et al.* 1999) constituida por sedimentitas marinas de la Formación Parcha (Harrington y Leanza 1957, Rolleri y Mingramm 1968). Por encima y en discordancia angular, se apoya una secuencia de conglomerados continentales (Subgrupo Pirgua, Cretácico) y calizas, areniscas, pelitas y conglomerados (Subgrupos Balbuena y Santa Bárbara, Cretácico-Paleoceno), que afloran desde la quebrada de Piedra Caída (en los alrededores del yacimiento La Concordia), extendiéndose al sur hasta la quebrada de Cajón (Seggiaro com. pers. 2015) (Fig. 1a). La disposición sigmoidea de estos afloramientos mesozoicos (Blasco *et al.* 1996) ha sido utilizada para argumentar el carácter levógiro del sistema de fallas Calama-Olcapato-El Toro (Allmendinger *et al.* 1983).

El Neógeno fue un periodo con intensa actividad volcánica de composición predominantemente dacítico-andesítica que conformó: i) extensos mantos ignimbríticos provenientes de la caldera de colapso del cerro Aguas Calientes (Petrinovic 1999, Petrinovic *et al.* 2010) y del centro efusivo del Quevar-Azufre y ii) cuerpos subvolcánicos (domo Concordia entre otros) de edad Mioceno medio-tardío (Petrinovic *et al.* 1999). Durante el Plioceno-Cuaternario extruyeron cuerpos de composición basáltica como cerro Negro de Chorrillos y San Gerónimo (Deruelle, 1982) conformando centros monogénicos agrupados en la Formación Piedras Blancas (Turner 1960, Blasco *et al.* 1996). Estructuralmente el área se halla en la intersección de dos zonas de fallamiento regional, uno de rumbo N-S y otro de rumbo ONO (Fig. 1b). El primero se caracteriza por planos de fallas de alto ángulo a intermedio que elevan bloques de basamento por sobre los sedimentos cretácicos y las rocas volcánicas terciarias; rasgo característico en la mayoría de los valles de toda la Puna y Altiplano. Esta falla reversa de alto ángulo, eleva las serranías meridionales que delimitan por el



**Figura 1:** a) Imagen MED SRTM 1arc/segundo. Estructuras regionales de Petrinovic *et al.* (2010) modificadas. En rojo se representa la orientación de los sistemas vetiformes de La Poma, Incachule y Acazoque. En recuadro, zona de estudio, Acazoque; b) Modelo regional transpresivo (Petrinovic *et al.* 2010) con diagrama estereográfico de las fallas inversas N-S y de rumbo ONO-ESE; c) Afloramiento de la brecha de zona de falla en Quebrada de Cajón, lapicera 12 cm; d) Mapa geológico local del área de mina Acazoque modificado de Blasco *et al.* 1999.

O al valle de San Antonio de los Cobres. Se la puede observar en la quebrada del Cajón, al sur de Acazoque, donde se distingue una zona de brecha de falla de más de 10 m constituida por clastos mayoritariamente graníticos en una matriz arenoso-pelítica hidrotermal perteneciente al Subgrupo Santa Bárbara (Fig. 1c). Esta estructura corta los afloramientos del Subgrupo Pírgua, elevando las rocas graníticas del Complejo eruptivo Oire por sobre conglomerados del Subgrupo Pírgua y sedimentos fluviales del Subgrupo Santa Bárbara y continúa hacia el N de la zona de falla Calama-Olapato-El Toro sobreelevando de igual manera roca granítica por sobre el Subgrupo Pírgua en la quebrada de Piedra Caída (Blasco *et al.* 1996). Por otro lado, estas fallas han sido definidas como metalotectos estruc-

turales que controlan la mineralización de Acazoque y de cobres (Hongn 1992). Las estructuras ONO corresponden a zonas de falla transversales al rumbo andino, Calama-Olapato-Toro, de continuidad regional. En ocasiones, parte de estas zonas de falla regionales son utilizados como transferencias entre planos meridianos (Seggiaro 2009, Petrinovic *et al.* 2010) desarrollándose casi siempre en zonas de anisotropías o debilidades paleozoicas (Salfity 1985, Hongn *et al.* 2010, Payrola *et al.* 2012).

## EL YACIMIENTO ACAZOQUE

El entorno geológico del yacimiento está constituido mayoritariamente por rocas perteneciente al Complejo eruptivo Oire

definidas como granodioritas y porfidos riódacíticos caracterizados por la presencia de megacristales idiomorfos de microclino pertítico (Fig. 1d). Al norte del área, se observan depósitos de lutitas de la Formación Parcha y pelitas de la Formación Puncoviscana. Al NO de la zona de vetas, se reconocen rocas basálticas plio-cuaternarias del centro monogenético Negro de Chorillos y al NE depósitos terrazados actuales (Vilela 1969, Blasco *et al.* 1996) (Fig. 1d). En la mina Acazoque las rocas graníticas del Complejo eruptivo Oire presentan estructura porfírica con fenocristales de feldespato potásico de hasta 8 cm de longitud (eje mayor) inmersos en una matriz gris verdosa de color oscura constituida por cuarzo y biotita (Meregaglia 1978). Al S y SE del yacimiento, en las inmediaciones del mismo, el Comple-

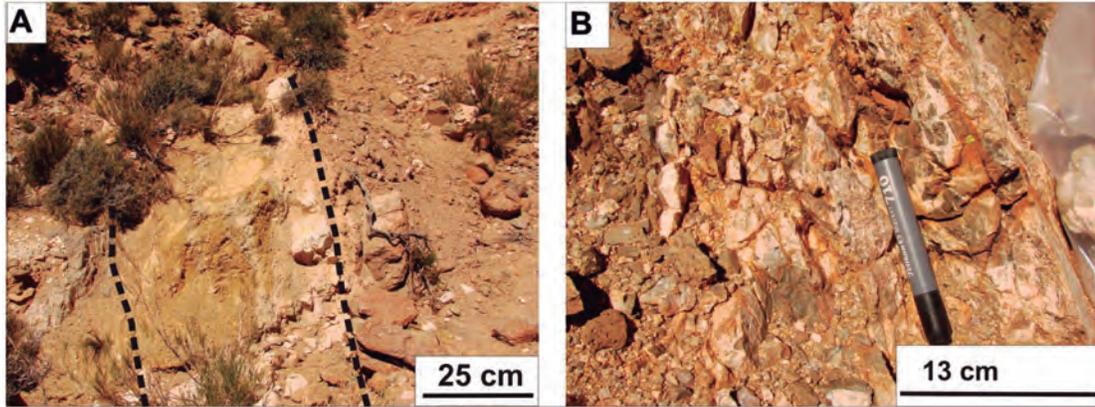


Figura 2: a) Contacto de la veta mineralizada con la roca de caja en afloramiento; b) Brecha monomítica en afloramiento.

jo eruptivo Oire aflora conformando filones leucocráticos de grano fino descritos como aplitas, microgranitos y venas de cuarzo (Meregaglia 1978, Blasco *et al.* 1996). Estos presentan 3,5 m de espesor y 30 m de largo con rumbo N 30°E e inclinación variable entre 80° a 55° hacia NO. El yacimiento Acazoque es de tipo vetiforme-epitermal alojado en las rocas del Complejo eruptivo Oire. Presenta una potencia media de 0,60 m y longitud de veta de aproximadamente 500 m, de rumbo N500° e inclinación de 55° al SO (Meregaglia 1978). Consiste en un relleno de fractura homogéneo con variaciones de espesor en la parte central y sureste de su corrida, donde gradúa a una brecha. La veta tiene un contacto neto con la roca de caja sin halos de alteración hidrotermal (Fig. 2a). La estructura interna de la veta presenta una historia hidrotermal con un único evento de relleno de fractura, caracterizada en el hastial NE por una textura maciza de mineral con 0,40 m de espesor promedio en contacto con la roca de caja, que pasa hacia los hastiales a una brecha monomítica de 0,20 m de espesor (Fig. 2b) cementada por la ganga en el hastial SO. La corrida veta-brecha presenta longitudes de hasta 70 m en afloramientos centrales alcanzando 0,60 m de espesor en la estructura vetiforme. La textura maciza presenta la mineralización de sulfuros con galena, esfalerita, tetraedrita, pirita, calcopirita y estannita en ganga de baritina, fluorita, adularia, calcita y cuarzo. Se observan escasos minerales secundarios representados por argen-tita, cerusita, covellina, calcosina, azurita,

malaquita, wulfenita, limonitas y yeso (Meregaglia 1978).

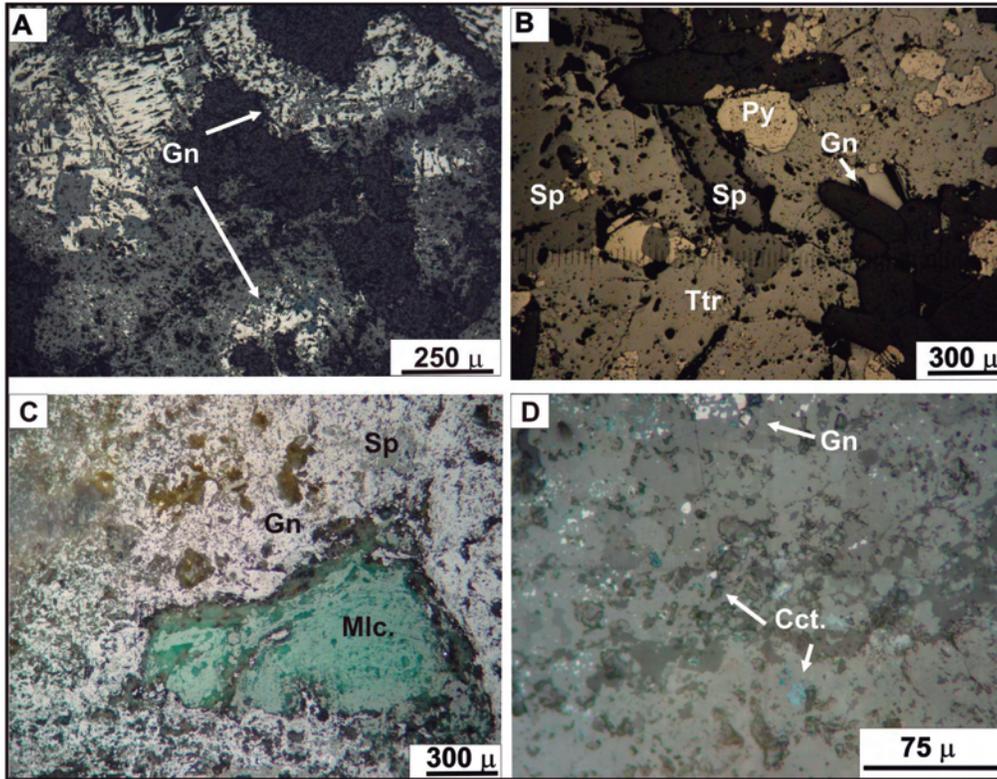
En este trabajo se distinguió el siguiente orden de abundancia: galena, esfalerita, tetraedrita y escasa pirita, calcosina azul y malaquita. Los cristales de galena se presentan alterados, generalmente anhedral y de bordes redondeados. La galena es el constituyente mineral más abundante, se presenta en mosaicos y venas de 30 micras de espesor. Los cristales alcanzan tamaños promedios de hasta 500 micras (Fig. 3a-d). La esfalerita es anhedral, se encuentra asociada a la galena con tamaños de hasta 300 micras (Fig. 3c, d) al igual que la tetraedrita, que se presenta en mosaicos de tamaños de entre 250 a 300 micras. Esta última es escasa, aunque se distingue algunos sectores con mayor abundancia (Fig. 3b). La pirita es escasa y se encuentra en cristales subhedrales a euhedrales de hasta 150 micras (Fig. 3b). La calcosina azul es escasa y se encuentra asociada a galena (Fig. 3d). La malaquita, se presenta en cristales anhedral y junto con silicatos de Cu y Zn (Fig. 3c).

La textura brechada es monomítica, compuesta de clastos de granito del Complejo eruptivo Oire silicificados de manera parcial a total, cementados por baritina blanca y cuarzo, con menores proporciones de calcita, fluorita y adularia (Fig. 2b). Los clastos tienen tamaños promedios de 1,4 por 0,8 cm y bordes redondeados. La brecha se compone de clastos alterados a cuarzo y muscovita principalmente, con una importante presencia de minerales opacos y adularia rómbica (Fig. 4a, b). Los clastos presentan bordes definidos y

CUADRO 1: Minerales analizados en la veta según la textura.

MUESTRA	MINERAL	BRECHA	VETA
A5-C3-2	Adularia	x	
A5-C5-1	Adularia	x	
A5-C5-2	Adularia	x	
A5-C6-2	Adularia	x	
A5-C10-1	Adularia	x	
A5-C10-2	Adularia	x	
A5-C11-1	Adularia	x	
A5-C1-1	Baritina	x	
A5-C2-1	Baritina	x	
A5-C3-1	Baritina	x	
A5-C8-1	Baritina	x	
A5-C9-1	Baritina	x	
A5-C4-1	Calcita	x	
A5-C5-1	Calcita	x	
A5-C6-1	Calcita	x	
A5-C4-2	Calcita	x	
A5-C4-3	Calcita	x	
EA1-C1-1	Cerusita		x
EA1-C2-1	Cerusita		x
A1-C1-1	Cerusita		x
A1-C8-1	Cerusita		x
EA1-C4-1	Galena		x
EA1-C4-2	Galena		x
EA1-C9-1	Galena		x
EA1-C9-2	Galena		x
A1-C6-2	Galena		x
A1-C6-3	Galena		x
A1-C5-3	Galena		x
A1-C6-1	Galena		x

por sectores se distinguen texturas *jigsaw*. En el cemento los cristales de cuarzo y baritina son euhedrales con crecimientos concéntricos (Fig. 4c, d) y se presentan como venas policristalinas (Fig. 4e, f). La baritina presenta cristales de buen desarrollo, alcanzando tamaños promedios de hasta 450 micras (Fig. 5a, b). La fluorita se encuentra en cristales de bordes re-



**Figura 3:** Fotomicrografía de veta con textura maciza que aloja a los sulfuros a) Cristales anhedral de galena alterada a 10 X, nicoles cruzados; b) Cristales anhedral a subhedral de tetraedrita, esfalerita, pirita y galena a 10 X, nicoles cruzados; c) Cristal anhedral de malaquita en matriz de galena y esfalerita a 10 X, nicoles cruzados; d) Cristales de calcosina azul y galena a 40 X, nicoles cruzados. Abreviaciones mineral: Gn: galena; Sp: esfalerita; Py: pirita; Ttr: tetraedrita; Mlc: malaquita; Cct: calcosina.

dondeados, de hasta 275 micras (Fig. 5a-c). La calcita espática se presenta en venas de hasta 350 micras de espesor (Fig. 5c, d). La adularia es abundante, euhedral, con formas rómbicas y cristales tabulares de hasta 125 micras (Fig. 5e, f). Cortan al cemento y a los clastos, finas venillas de cuarzo, baritina y calcita pura, de 30 cm de espesor y corridas de hasta 6 m.

### Química mineral

Se determinó la química mineral de los minerales predominantes en muestras de veta de textura maciza y brechosa, con mineralogía de ganga caracterizada por la asociación baritina-adularia- carbonatos y galena como sulfuro dominante (Cuadro 1). Los análisis en óxidos y las formulas en átomos por unidad (*a.p.f.u*) de los siguientes minerales se muestran en la cuadro 2-5.

**Adularias:** la composición determinada para estos minerales es homogénea, todas quedan proyectadas en el campo de la ortoclasa, definiendo la presencia de adularia en el depósito. La fórmula mineral promedio es  $K_{0.92}Al_{0.89}Si_{3.09}O_8$ . Algunos cristales presentan inclusiones de

óxidos de hierro que incrementan notablemente el contenido de FeO (ver cuadro 2, análisis A5-C6). Texturalmente los cristales anhedral y formas redondeadas presentan mayores contenidos de BaO, mientras que los cristales euhedrales de formas rómbicas poseen menos de 1% de BaO.

**Baritina:** se ha determinado baritina en agregados tabulares. Este mineral presenta una formula promedio de  $Ba_{0.97}Sr_{0.03}SO_4$ .

**Carbonatos:** se han determinado calcita y cerusita. La composición química promedio de las calcitas es  $Ca_{1.87}Mn_{0.01}(CO_3)_2$ . La composición química promedio de la cerusita es  $Pb_{1.45}Ca_{0.01}CO_3$ . Se observa la presencia de contenidos de As en dos cristales de cerusita.

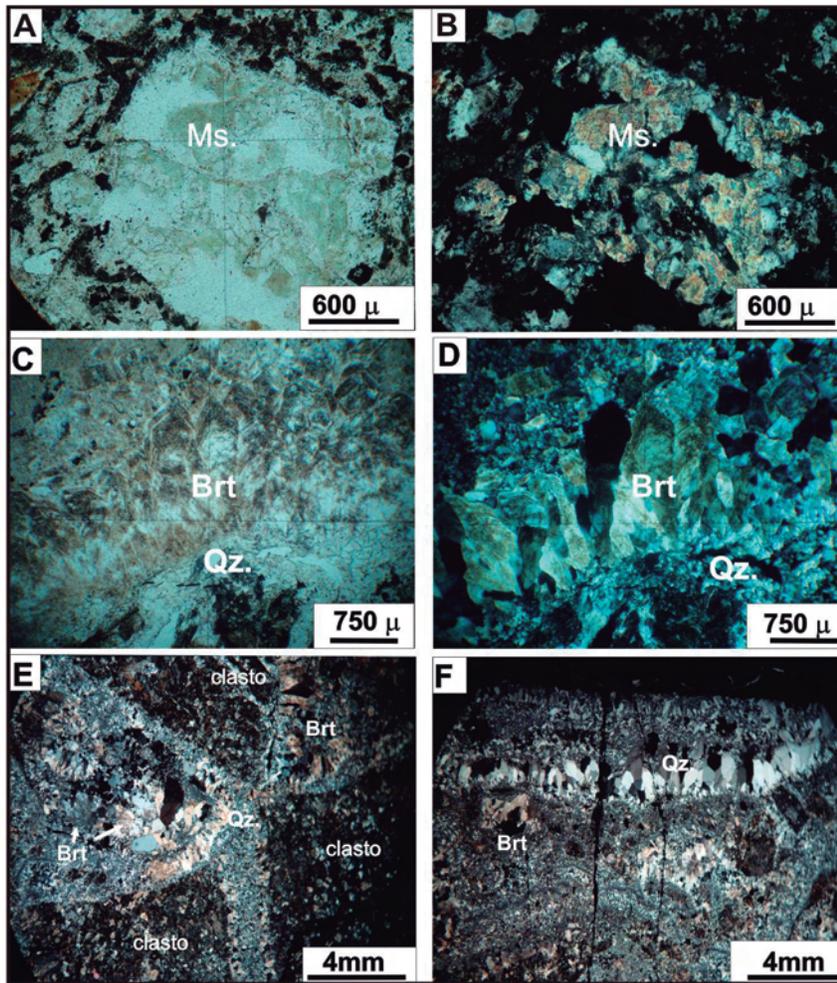
**Sulfuros:** solo se ha determinado galena cuya fórmula promedio es  $Pb_{0.97}S_1$ . Este mineral se asocia a la baritina en cristales parcialmente oxidados por lo que la suma total de sus óxidos presenta valores bajos.

### Análisis estructural

Las estructuras analizadas pueden ser clasificadas en dos jerarquías. La de ma-

yor jerarquía corresponde a la falla mineralizada de rumbo  $300^\circ$  (ONO) e inclinación variable entre  $50^\circ$  a  $60^\circ$  hacia el SO que corta al Complejo eruptivo Oire (Fig. 6). Los indicadores cinemáticos tomados a lo largo de la corrida de la veta (lineaciones y escalones de falla) permiten interpretar un movimiento normal – dextral con direcciones de extensión NO y acortamiento NE (Fig. 6). Asimismo, hacia los sectores centrales de la estructura, donde aflora la veta y la brecha, se distingue un aumento de espesor de la veta que corresponde a una zona de extensión local dentro de un sistema transcurrente (Fig. 6). Las estructuras menores analizadas corresponden a fracturas rellenas (venas de cuarzo, diques aplíticos, venas de calcita) y diaclasas alojadas en el Complejo eruptivo Oire que hace de roca de caja. Las fracturas rellenas tienen rumbos NE e inclinación variable entre  $50^\circ$  a  $80^\circ$  hacia el NO (Fig. 6). Las diaclasas se clasificaron en dos órdenes de acuerdo a los rumbos predominantes, las de primer orden tienen rumbo NO, y las de segundo orden rumbo NE (Fig. 6).

La relación de los rumbos entre la falla



**Figura 4:** Fotomicrografía de brecha monomíctica con clastos de roca de caja alterados y cemento mineral a) alteración fílica y silícica en clastos a 10 X, nicoles paralelos; b) Idem a A, nicoles cruzados; c) Venas de cuarzo euhedrales a 4 X, nicoles paralelos; d) Idem a C, nicoles cruzados; e) Clastos del complejo Erupitivo Oire alterados y cortados por venas de cuarzo y baritina policristalino, a 4 X, nicoles cruzados; f) Venas de cuarzo y baritina a 4X, nicoles cruzados. Abreviaciones mineral: Ms: muscovita; Brt: baritina; Qz: cuarzo.

mineralizada y las diaclasas indica que el fracturamiento cenozoico, que controló el emplazamiento de la mineralización, es de rumbo NO, mientras que las fracturas rellenas de rumbo NE estuvieron controladas por anisotropías previas del basamento.

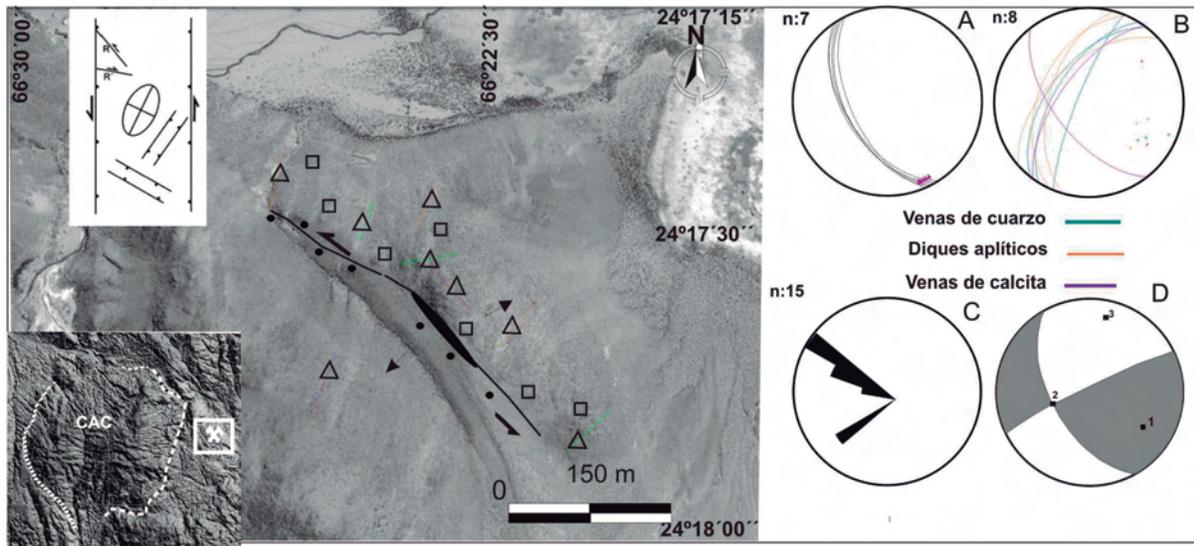
Se destaca que el área mineralizada de Acazoque se encuentra en una zona de transferencia de dirección NO-SE que disectan el interior de la caldera del cerro Aguas Calientes (Petrinovic *et al.* 2010). La intersección de estas fallas con fallas verticales reversas de rumbo meridional, se resuelven en un sistema de fallas menores de rumbo NO que alojan la mi-

neralización (Fig. 6). Estas fracturas de dirección NO, tal como lo es la veta de Acazoque, podrían ser interpretadas como de tipo riedel en el sistema de transferencia propuesto por Petrinovic *et al.* 2010 (Fig. 6). La integración de las relaciones cinemáticas de las estructuras descritas, la edad de la deformación interpretada en el área del cerro Aguas Calientes y de las mineralizaciones asociadas espacialmente (Mina La Poma e Incachule y Acazoque) permite interpretar que el emplazamiento de las vetas ocurrió durante las etapas póstumas del último ciclo de colapso de la caldera del cerro Aguas Calientes (10,3 Ma Petrinovic *et al.* 2010).

## DISCUSIÓN

Los factores que mayormente controlan el tipo de depósito hidrotermal resultante son la estratigrafía, la estructura, las intrusiones a las que se asocia la mineralización y la naturaleza de dichas rocas (Camprubi y Albison 2006). Mina Acazoque ha sido vinculada genéticamente al magmatismo mioceno (Meregaglia 1978), sin embargo persiste su interrogante sobre la relación de este depósito tanto con un cuerpo magmático particular así como con los otros depósitos de Pb-Ag-Zn del área, debido a la falta de datos isotópicos que permitan vincular los episodios magmáticos con los mineralizantes. Así mismo, no se observa continuidad de la estructura mineralizada que permita relacionarla con las mineralizaciones polimetálicas de mina la Poma (Mioceno (Pelayes 1981, Argañaraz y Sureda 1979,  $10,76 \pm 0,30$  Ma (Salado Paz 2014), Concordia (Miocena (Vallejos 1983)), y Organullo (9-13 Ma: Petrinovic *et al.* 2005). No obstante, dado el emplazamiento sindeformacional y las edades de deformación dentro del sistema estructural regional, se puede vincular temporalmente el emplazamiento de la veta de Acazoque con uno de los episodios de deformación que tuvieron lugar en el sistema de la caldera de Aguas Calientes (Mioceno). Como en trabajos previos (Petrinovic *et al.* 2010) se llegó a conclusiones similares para las mineralizaciones de La Poma e Incachule, se sugiere incluir en el sistema hidrotermal asociado a la Caldera Aguas Calientes al depósito Acazoque. Las direcciones de extensión-acortamiento para Acazoque están en coincidencia con las direcciones de extensión propuestas para la caldera de Negra Muerta por Riller *et al.* (2001) para el Mioceno tardío y la misma dirección propuesta por Petrinovic y Colombo (2006) para el área de Tocomar durante el Cuaternario. Debido a que el emplazamiento de las mineralizaciones de Negra Muerta es sindeformacional (Petrinovic *et al.* 2005), estimamos que el análisis estructural de la mineralización trasciende la escala local, siendo de aplicación regional. Por otro lado, la veta de Acazoque posee características





**Figura 6:** Imagen satelital en donde con trazo negro se destaca la veta Acazoque con esquema estructural transpresivo propuesto por Petrinovic *et al.* 2010. En círculos llenos: puntos estación de la veta; cuadrados: puntos estación de diaclasas; triángulos: puntos estación de venas de cuarzo, calcita y diques aplíticos. a) diagramas estereográficos de medidas de planos y estrias de fallas; b) diagrama estereográfico de orientaciones de venas de cuarzo, calcita y diques aplíticos; c) Diagrama de rosa de los vientos con las orientaciones predominantes de los sistemas de diaclasas; d) diagrama de P (presión) y T (tensión). Los cuadrados negros corresponden a los ejes bingham ligados (1: extensión, 2: intermedio, 3: acortamiento). Cuadrantes en gris: campo de estiramiento; cuadrantes en blanco: campo de acortamiento.

**CUADRO 3:** Análisis químicos, valores en % de óxidos y contenidos químicos expresados en átomos por unidad de fórmula (*a.p.f.u*) de baritina.

	A5_C1_1	A5_C2_1	A5_C3_1	A5_C8_1	A5_C9_1
SO <sub>3</sub>	34,11	34,10	34,04	34,72	33,97
CaO	0,04	0,09	0,04	0,00	0,08
SrO	1,96	1,88	1,15	1,48	1,40
Na <sub>2</sub> O	0,16	0,18	0,18	0,12	0,21
PbO	0,16	0,00	0,00	0,04	0,00
FeO	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00
MnO	0,03	0,01	0,03	0,08	0,11
BaO	63,08	64,53	64,72	63,99	63,66
ZnO	0,11	0,21	0,02	0,23	0,00
Total	100,00	101,05	100,35	100,69	100,00
SO <sub>3</sub>	0,99	0,99	0,99	1,00	0,99
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SrO	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Na <sub>2</sub> O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
PbO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BaO	0,96	0,98	0,99	0,96	0,97
ZnO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00

y cuarzo. La mineralización secundaria está representada por cerusita, covelina, calcosina, azurita, malaquita, limonitas. Las vetas tienen un contacto neto con la roca de caja con tres estadios de evolución

del depósito: 1) baritina + cuarzo+ fluorita+ sulfuros en veta maciza, 2) brechamiento, 3) baritina + adularia + cuarzo+ escaso carbonatos con ebullición, liberación de CO<sub>2</sub> y aumento de Ph. No se dis-

tinguen halos de alteración hidrotermal en la roca de caja asociada. La presencia de sectores de brechas con clastos silicificados con adularia y matriz de cuarzo-baritina y calcita, constituyen un contacto discontinuo de alteración. La asociación mineral define al depósito como epitermal vetiforme de baja sulfuración. Acazoque es la mineralización más oriental del sistema estructural transpresivo regional, allí donde los planos de falla oblicuos e internos del sistema transpresivo se transfieren a las fallas meridionales principales que lo delimitan. La mineralización tuvo un emplazamiento sindeformacional, alojándose en planos de falla oblicuos con componente dilatacional y dextral combinadas, definiendo un eje de extensión coherente con el campo de esfuerzos regional durante el Mioceno. Así las vetas se emplazan localmente en la dirección de la zona de falla Calama Olacapató Toro. La edad de la mineralización, en base al análisis estructural realizado local y regionalmente correspondería a las etapas póstumas de la caldera del cerro Aguas Calientes (10,3 Ma).

**CUADRO 4:** Análisis químicos, valores en % de óxidos y contenidos químicos expresados en átomos por unidad de fórmula (*a.p.f.u*) de carbonatos (calcita y cerusita).

	A5_C4_1	A5_C4_2	A5_C4_3	A5_C5_1	A5_C6_1	EA1_C1_1	EA1_C2_1	A1_C1_1	A1_C8_1
Na <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,04	0,10
MgO	0,08	0,08	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	0,00	0,01
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	19,03	0,00	16,68
SiO <sub>2</sub>	0,01	0,02	0,05	0,03	0,02	1,08	0,09	0,00	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
CaO	53,20	54,86	53,30	56,93	55,60	0,25	0,15	0,15	2,14
PbO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,07	76,43	65,44	77,79	67,25
SrO	0,18	0,17	0,08	0,00	0,31	0,37	0,04	0,14	0,06
FeO	0,05	0,04	0,01	0,00	0,11	0,01	0,00	0,02	0,58
MnO	0,52	0,52	0,58	0,57	0,71	0,00	0,00	0,00	0,08
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ca	1,87	1,96	1,87	2,06	2,01	0,02	0,01	0,01	0,19
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	1,32	1,56	1,47
Sr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00
Fe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Mn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
C	2,05	2,01	2,05	1,96	1,98	2,15	1,40	2,21	1,24
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,01	0,00	0,02
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
As	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74	0,00	0,71

**CUADRO 5:** Análisis químicos, valores en % de óxidos y contenidos químicos expresados en átomos por unidad de fórmula (*a.p.f.u*) de sulfuros (galena).

	A1_C5_3	A1_C6_1	A1_C6_2	A1_C6_3	EA1_C4_1	EA1_C4_2	EA1_C9_1	EA1_C9_2
S	12,844	12,656	12,625	12,843	12,803	13,182	12,712	12,819
Bi	0,486	0,406	0,466	0,456	0,336	0,389	0,375	0,458
Ag	0	0	0	0	0	0,184	0	0
Pb	80,59	80,013	80,465	80,432	79,858	76,062	79,534	80,622
Cd	0,058	0,047	0,039	0,012	0,123	0,197	0,032	0,015
Cu	0,026	0,001	0,031	0	0,04	1,681	0,02	0,034
Zn	0	0	0	0	0	0,062	0	0
Sb	0	0	0	0	0	1,185	0	0,008
Fe	0,002	0	0,021	0,018	0,035	0,012	0,024	0,042
Au	0	0	0,008	0	0	0,012	0,141	0,021
Co	0	0,002	0	0	0,033	0,018	0	0
Ni	0,007	0,03	0,021	0,008	0	0,026	0,009	0,022
Pt	0,013	0,088	0	0,022	0	0,016	0	0,039
Total	94,026	93,243	93,676	93,791	93,228	93,026	92,847	94,08
S	1,002	0,987	0,984	1,001	0,998	1,028	0,991	1
Bi	0,006	0,005	0,006	0,005	0,004	0,005	0,004	0,005
Ag	0	0	0	0	0	0,004	0	0
Pb	0,972	0,965	0,971	0,97	0,964	0,918	0,96	0,973
Cd	0,001	0,001	0,001	0	0,003	0,004	0,001	0
Cu	0,001	0	0,001	0	0,002	0,066	0,001	0,001
Zn	0	0	0	0	0	0,002	0	0
Sb	0	0	0	0	0	0,024	0	0
Fe	0	0	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002
Au	0	0	0	0	0	0	0,002	0
Co	0	0	0	0	0,001	0,001	0	0
Ni	0	0,001	0,001	0	0	0,001	0	0,001
Pt	0	0,001	0	0	0	0	0	0

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con subsidios provenientes del PIP N° 781, N° 0489 (CONICET), PICT 0407 (ANPCyT) y CAPES\_MINCyT 009/12. Los autores agradecen al laboratorio de microscopía de la UnB, Brasilia. Se agradece el aporte y sugerencias de los revisores: Dra Mutti y Dr. Gozalvez, las cuales han mejorado notablemente el manuscrito. Los comentarios de Gozalvez enriquecieron la descripción del texto.

## TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- Allmendinger, R.W., Ramos, V. A., Jordan, T. E., Palma, M. e Isacks, B. L. 1983. Paleogeography and Andean structure geometry, northwest Argentina. *Tectonics*: 1-16.
- Allmendinger, R.W. 2001. FaultKinWin, Version 1.1: a program for analyzing fault slips data for Windows™ ([www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs.html](http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/programs.html)).
- Argañaraz, P. y Sureda, R. 1979. El yacimiento plumbífero "La Esperanza", departamento La Poma, Provincia de Salta, República Argentina. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 10: 1-11.

- Becchio, R., Luchasen, F., Kaseman, S., Franz, G. y Viramonte, J.G. 1999. Geoquímica y sistemática isotópica de rocas metamórficas del Paleozoico Inferior. Noroeste de Argentina y norte de Chile (21°-27°S). *Acta Geológica Hispánica* 34: 273-301.
- Blasco, G., Zappettini, E.O. y Hongn, F.D. 1996. Hoja Geológica 2566-II, San Antonio de los Cobres, 1:250.000. Secretaría de Minería de la Nación, Boletín 217, Buenos Aires.
- Buchanan, L. 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. En: Dickinson, W. y Payne, W. (eds.), *Relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera, Arizona*. Geological Society Digest 14:237-262.
- Camprubi, A. y Albison, T. 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de sus conocimientos y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* 58: 27-81.
- Deruelle, B. 1982. Petrology of the plio-quaternary volcanism of the south-central and meridional Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 14: 77-124.
- Japan International Cooperation Agency 1995. Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina, fase 1. Secretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR (inédito), 127 p., Buenos Aires.
- Harrington, H. y Leanza, A. 1957. Ordovician trilobites of Argentina. Special Publication, Department of Geology, University of Kansas, 276 p., Lawrence.
- Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin. *Transactions 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference*, 1-26, Singapore.
- Hongn, F.D. 1992. Tectónica y microtectónica del basamento predevónico de la Puna. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta (inédito), 228p., Salta.
- Hongn, F., Mon, R., Petrinovic, I., del Papa, C. y Powell, J. 2010. Inversión y reactivación tectónicas cretácico-cenozoicas en el noroeste argentino: Influencia de las heterogeneidades del basamento neoproterozoico-paleozoico inferior. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 38-53.
- Meregaglia, J. 1978. Estudio geológico minero yacimiento Acazoque, Departamento Los Andes, Provincia de Salta. Tesis de grado, Universidad Nacional de Salta (inédito), 36 p., Salta.
- Payrola, P., Hongn, F., Cristallini, E., García, V. y Del Papa, C. 2012. Andean oblique folds in the Cordillera Oriental e Northwestern Argentina: Insights from analogue models. *Journal of Structural Geology* 42: 194-211.
- Pelayer, H.A. 1981. Estudio geológico-económico de los depósitos minerales La Poma y Diana, departamento La Poma, provincia de Salta. Tesis profesional, Universidad Nacional de Salta (inédito), 75 p., Salta.
- Petrinovic, I.A. 1999. La Caldera de colapso del Cerro Aguas Calientes, Salta. República Argentina, *Evolución y Esquema Estructural*. *Acta Geológica Hispánica* 34: 243-255.
- Petrinovic, I. A., Mitjavila, J., Viramonte, J.G., Martí, J. Becchio, R., Arnosio, M. y Colombo, F. 1999. Descripción geoquímica y geocronológica de secuencias volcánicas neógenas de Trasarco, en el extremo oriental de la Cadena Volcánica Transversal del Quevar (Noroeste de Argentina). *Acta Geológica Hispánica* 34: 255-272.
- Petrinovic, I.A., Riller, U. y Brod, A. 2005. The Negra Muerta volcanic complex, southern Central Andes: geochemical characteristics and magmatic evolution of an episodic volcanic centre. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 140: 295-320.
- Petrinovic, I.A., Martí J., Aguirre-Díaz G.J., Guzmán S., Geyer A. y Salado Paz, N. 2010. The Cerro Aguas Calientes caldera, NW Argentina: an example of a tectonically controlled, polygenetic collapse caldera, and its regional significance. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 194: 15-26.
- Ramallo, E., Becchio, R. y Bercheñi, V. 2011. Carta Minero-Metalogenética 2566-I, San Antonio de Los Cobres. Provincias de Salta y Jujuy. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 394, 128 p. Buenos Aires.
- Riller, U., Petrinovic, I., Ramelow, J., Greskowiak, J., Strecker, M., y Oncken, O. 2001. Late Cenozoic tectonism, caldera and plateau formation in the central Andes. *Earth and Planetary Science Letters* 188: 299-311.
- Rolleri, E. y Mingramm, A. 1968. Sobre el hallazgo del Ordovícico inferior al oeste de San Antonio de los Cobres (Provincia de Salta). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 101-103.
- Salado Paz, N. 2014. Mineralización epitermal asociada a colapso de caldera: caso de estudio en la caldera del Cerro Aguas Calientes (Mioceno Medio-Superior) Puna Central. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Tucumán (inédito), 211p., Tucumán.
- Salado Paz, N., Petrinovic, I., Avila J.C. 2010. Asociaciones de minerales supergénicos en la zona de oxidación de mina La Poma (Pb-Ag-Zn), provincia de Salta. 10 Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 227-232, Córdoba.
- Salfty, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. 4 Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 119-227, Antofagasta.
- Seggiaro R. 2009. Rasgos estructurales de los Andes del NOA: su control en la localización de recursos minerales. Serie contribuciones Técnicas, Recursos Minerales 32, SEGEMAR, 37 p., Buenos Aires.
- Turner, J.C. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 41: 163-196, Córdoba.
- Vallejos, E. 1983. Geología, metalogénesis y minería del sector sur de la Sierra de Cobres, Departamento Los Andes, provincial de Salta. Tesis de grado, Universidad Nacional de Tucumán (inédito), 43 p., Tucumán.
- Vilela, C.R. 1969. Descripción geológica de la Hoja 6c, San Antonio de los Cobres. Provincias de Salta y Jujuy. Dirección Nacional de Geología y Minería, Boletín 110, Buenos Aires.
- Zappettini, E.O. 1999. Mineralizaciones polimetálicas de los distritos El Queva, La Poma-Incachule y Concordia, Salta. En Zappettini, E.O (ed) *Recursos Minerales de la República Argentina*, Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR, Anales 35:1603-1611, Buenos Aires.

Recibido: 25 de mayo, 2015

Aceptado: 26 de febrero, 2016