



Revista de la Asociación Geológica Argentina

Volumen 73(2)

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

Natalia SALADO PAZ, Ivan A. PETRINOVIC , Julio AVILA , Affonso BROD

Referencia: MS 6504

Recibido: 25 de mayo de 2015

Aceptado: 26 de febrero de 2016

Citar este artículo como:

Salado Paz, N., Petrinovic, I.A., Avila, J., Brod, A. 2016. Geología, mineralogía y estructura de la mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna salteña. Revista de la Asociación Geológica Argentina 73, en prensa.

Este es un archivo PDF de un manuscrito sin editar que ha sido aceptado para su publicación. El mismo será sometido a correcciones de estilo y composición, así como a su revisión en la etapa de prueba de galera antes de que se publique en su forma final. Durante el proceso de producción pueden aparecer errores que podrían afectar el contenido. Todos los derechos pertenecen a la Asociación Geológica Argentina.

Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña

Natalia SALADO PAZ¹, Ivan A. PETRINOVIC², Julio AVILA³, Affonso BROD⁴

¹ *IBIGEO-UNSA-CONICET. Universidad Nacional de Salta, Av. Bolivia 5150, Cp 4400. E-mail: nataliasaladopaz@yahoo.com.ar*

² *CICTERRA-CONICET. Universidad Nacional de Córdoba.*

³ *INSUGEO-CONICET, Tucumán. Universidad Nacional de Tucumán.*

⁴ *IESA - Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Universidade Federal de Goiás, Brasil.*

MANUSCRITO ACEPTADO

Nº total de páginas 19, figuras 6, cuadros 2.

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 vetiforme de Pb-Ag-Zn emplazado en rocas graníticas correspondientes al complejo Eruptivo Oire que posee una corrida de aproximadamente 500 metros y potencia media de 0,60 metros. 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.

Microscopio óptico y de barrido fueron usados en este estudio con el fin de determinar la química mineral de los minerales más abundantes en el vetiforme. La composición química de los minerales determinados en la veta 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 310° e inclinación de 70° al SW 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 coherente con el regional.

Palabras claves: 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 meters long, an average thickness of 0.60 meters. Primary mineralization consists of galena, chalcopyrite, pyrite, stannite and tetrahedrite in gangue 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.

Optical and barred microscopies were used in this study in order to determine the mineral chemistry in the vein. The chemical composition of certain minerals in vein 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 310° 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 distrito minero 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 distritos mineros caracterizados por la presencia de minerales con la asociación Pb-Ag-Zn, como las minas La Poma (Argañaraz y Sureda 1979, Salado Paz *et al.* 2010), Concordia (Zappettini 1999, JICA 1995), El Recuerdo y La Paz (Vallejos 1982), 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-superior (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 distritos mineros previamente mencionados. La mineralización se encuentra en una veta alojada en un plano de falla de rumbo NO con una potencia media de 0,60 metros y una corrida de aproximadamente 500 metros 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, estudiamos 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 pretendemos

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 WDS y un 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 4.

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) intruídas por rocas de composición granodiorítica y porfidos riódacíticos del Complejo Eruptivo Oire de edad Ordovícico inferior (Blasco *et al.* 1996). En el área, rocas volcánicas submarinas de igual edad, intercalan en la secuencia sedimentaria ordovícica (Becchio *et al.* 1999) constituidas 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 Pigua, Cretácico) y calizas, areniscas, pelitas y conglomerados (Subgrupos Balbueno 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 (com.pers. Seggiaro 2015) (fig. 1a). La disposición sigmoidal 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-Azufrero y ii) cuerpos subvolcánicos (domo Concordia entre otros) de edad Mioceno medio-superior (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-ESE (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 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 Pirgua, elevando las rocas graníticas del Complejo Eruptivo Oire por sobre conglomerados del Subgrupo Pirgua y sedimentos fluviales del Subgrupo Santa Bárbara y continúa hacia el N de la zona de falla Calama-Olacapato-El Toro sobreelevando de igual manera roca granítica por sobre el Subgrupo Pirgua en la Quebrada de Piedra Caída (Blasco *et al.* 1996). Por otro lado, estas fallas han sido definidas como metalotectos estructurales que controlan la mineralización de Acazoque y de cobres (Hongn 1992).

Las estructuras ONO-ESE corresponden a zonas de falla transversales al rumbo andino, Calama-Olacapato-Toro, de continuidad regional. En ocasiones, parte de éstas 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 debilidad 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 megacrístales idiomorfos de microclino perfitico (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 Complejo 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 inclinación variable entre 80° a 55° hacia NO.

El yacimiento Acazoque es de tipo vetiforme-epiterno alojado en las rocas del Complejo Eruptivo Oire. Presenta una potencia media de 0,60 metros y longitud de veta de aproximadamente 500 metros, de rumbo N 10° e inclinación de 55° al SO (Meregaglia 1978). Consiste en un plano de fractura homogéneo con variaciones de espesor en la parte central y sur 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 monofásica 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 gradúa 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 metros 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 argentita, 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 anhedrales 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, 3b, 3c y 3d). La esfalerita es anhedral, se encuentra asociada a la galena con tamaños de hasta 300 micras (fig. 3c y 3d) 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 anhedrales 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 principalmente con menores proporciones de calcita, fluorita y adularia (fig. 2b). Los clastos tienen tamaños promedios de 1,4 x 0,8 cm y bordes redondeados.

Microscópicamente la brecha se compone de clastos alterados a cuarzo y muscovita principalmente, con una importante presencia de minerales opacos y adularia rómbica (fig. 4a y 4b). Los clastos presentan bordes definidos y por sectores se distinguen texturas *jigsaw*.

En el cemento los cristales de cuarzo y baritina son euhedrales con crecimientos concéntricos (fig. 4c y 4d) y se presentan como venas policristalinas (fig. 4e y 4f). La baritina presenta cristales de buen desarrollo, alcanzando tamaños promedios de hasta

450 micras (fig 5a y 5b). La fluorita se encuentra en cristales de bordes redondeados, de hasta 275 micras (fig 5a, 5b y 5c). La calcita espática se presenta en venas de hasta 350 micras de espesor (fig 5c y 5d). La adularia es abundante, euhedral, con formas rómbicas y cristales tabulares de hasta 125 micras (fig. 5e y 5f). 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 metros.

Química mineral

La química mineral se determinó en muestras de veta de textura maciza y brachiosa, 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.

Feldespatos: 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 formula 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 tabla 1, análisis A5-C6). Texturalmente los cristales anhedrales y formas redondeadas presentan mayores contenidos de BaO, mientras que los cristales euhedrales de formas rómbicas poseen menos de 1% de BaO.

Sulfatos: 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 mayor jerarquía corresponde a la falla mineralizada de rumbo 300° (ONO) e inclinación variable entre 50° a 60° hacia el SO que corta al Complejo Eruptivo Oire (fig. 6). Los indicadores cinemáticos tomados a lo largo de la corrida del vetiforme (lineaciones y escalones de falla) permiten interpretar un movimiento normal – dextral con direcciones de extensión NO y acortamiento NE (fig. 6). Así mismo, 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 caliza) 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 a 80° 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 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 mineralización (fig. 6). Estas fracturas de dirección NO, tal como lo es el vetiforme de Acazoque, podrían ser interpretadas como 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).

DISCUSION

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 Ambiso, 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 ± 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 superior 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, el vetiforme de Acazoque posee características mineralógicas (ganga y mena) que permiten distinguirlo de las mineralizaciones de las áreas anteriormente nombradas. Al no haber alteración hidrotermal en la roca de caja, siendo un proceso de relleno controlado estructuralmente, interpretamos que la disponibilidad de fluido fue poca al momento de su depositación (evidenciado por la poca continuidad de la veta) o que la reactividad con la roca de caja fue baja produciendo la migración del fluido y depositación del mismo en zonas más reactivas. El yacimiento constituye un típico depósito vetiforme epitermal de relleno de fisura. La presencia de brechas con adularia-baritina -cuarzo, descritas en este trabajo, junto con la asociación metálica indica bajas temperaturas permite proponer al depósito como un epitermal de baja sulfuración según Hedenquist (1987). Así mismo, la presencia de adularia y sus rasgos texturales son indicativos de ebullición, causado por un aumento de pH debido a la pérdida de CO₂ según el modelo de Buchanan (1981).

CONCLUSIÓN

Mina Acazoque posee una mineralización primaria constituida por galena, calcopirita, pirita, tetraedrita y estannita en ganga de fluorita, baritina, adularia 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 correspondiendo a un único pulso de mineralización. No se distinguen 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 COT. 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).

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.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Allmendinger, R.W., Ramos, V. A., Jordan, T. E, Palma, M., and Isacks, B. L. 1983. Paleogeography and Andean structural geometry, northwest Argentina: *Tectonics* 2: 1-16.

Allmendinger, R.W. 2001. FaultKinWin, Version 1.1: a program for analyzing fault slip data for Windows™.

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 (3-4):1-11

Becchio, R., Luchasen, F., Kaseman, S., Franz, G., Viramonte, J.G. 1999. Geoquímica y sistemática isotópica de rocas metamórficas del Paleozoico Inferior. Noroeste de Argentina y norte de Chile (21°-27°S). In: Colombo, Querales and Petrinovic (Eds.) *Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino*. Acta Geológica Hispánica 34 (2-3): 273-301, Madrid.

Blasco, G., Zappettini, E.O. y Hongn, F.L. 1990. 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*. Geological Society Digest 14:237-262, Arizona.

Campuzano, A. y Albison, T. 2006. Depósitos epitermales en México: actualización de sus conocimientos y reclasificación empírica. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Volumen conmemorativo del centenario. Revisión de algunas tipologías de depósitos minerales de México. Tomo LVIII1: 27-81.

Deruelle, B. 1982. Petrology of the plio-quadernary volcanism of the south-central and meridional Andes. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 14: 77-124.

JICA, 1995. Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina, fase 1. Secretaría de Minería de la Nación SEGEMAR, (inédito), 310 p., Buenos Aires.

Harrington, H. y Leanza, A. 1957. Ordovician trilobites of Argentina. Department of Geology University of Kansas, special Publication I, 276 p., Kansas.

Hedenquist, J.W. 1987. Mineralization associated with volcanic-related hydrothermal systems in the Circum-Pacific Basin, en Transactions. 4th Circum Pacific Energy and Mineral Resources Conference, 1-26, Singapore.

Hongn, F.D. 1992. Tectónica y microtectónica del basamento proalevónico de la Puna. Tesis doctoral. Universidad Nacional de Salta (inédito), 228 p., Salta.

Hongn, F., Mon, R., Petrinovic, I., del Papa, C., 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 (1): 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., 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.

Peláyes, 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. In Colombo, F., Queralt I. and

Petrinovic, I.A. (eds.) Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino. (Acta Geológica Hispánica 34: 243–255. Madrid.

Petrinovic, I. A., Mitjavila, J., Viramonte, J.G., Martí, J., Becchio, R., Arnosio, M. and 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). In Colombo, F., Queralt, I. and Petrinovic, I.A. (eds.).

Introducción a la Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino, Acta Geologica Hispánica, 34: 255-272, Madrid.

Petrinovic, I.A., Riller, U. and 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(4): 295-320.

Petrinovic, I.A.; Martí J., Aguirre-Díaz G.J., Guzmán S., Geyer A., 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., 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 N°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(2): 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), 211 p., 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. 1º Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 227-232. Río Cuarto, Córdoba.

Salfity, J.A. 1985. Lineamientos transversales al rumbo andino en el noroeste argentino. 4 Congreso Geológico Chileno, Actas 2: 119-227.

Seggiaro R. 2009. Rasgos estructurales de los Andes del NOA: su control en la localización de recursos minerales. Serie Contribuciones Técnicas SEGEMAR, Recursos Minerales 32, 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(2): 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.

Vieja, 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.

Zappettini, E.O. 1999. Mineralizaciones polimetálicas de los distritos El Queva, La Poma-Incachule y Concordía, 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..

LEYENDAS DE FIGURAS

Figura 1 a) Imagen MED SRTM 1arco/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.

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

Figura 3. Fotomicrografía de veta con textura maciza que aloja a los sulfuros a) Cristales anhedrales de galena alterada a 10 X, nicoles cruzados. b) Cristales anhedrales a subhedrales 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.

Figura 4. Fotomicrografía de brecha monomítica 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 Eruptivo 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.

Figura 5. Fotomicrografía de cemento en brecha a) cristales de fluorita y baritina a 10 X, nicoles paralelos. b) cristales de fluorita y baritina a 10 X, nicoles paralelos. c)

cristales de adularia rómbica y vena de calcita espática, a 10 X nicoles paralelos. d) Cristales de fluorita, baritina y calcita espática a 10 X, nicoles paralelos. e) Abundantes cristales de adularia rómbica, vena de calcita a 10 X, nicoles paralelos. f) Cristales de adularia rómbica de menor desarrollo a 10X, nicoles paralelos. Abreviaciones mineral: Fl: fluorita; Brt: baritina; Adl: adularia; Cal: calcita.

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 falla; cuadrados: puntos estación de diaclasas; triángulos: puntos estación de venas de cuarzo, calcita y diques aplíticos. a) Diagramas estereográficos de medidas de planos y estrías 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 1: Minerales analizados en el vetiforme según la textura en veta.

Cuadro 2. Análisis químicos, valores en % de óxidos y contenidos químicos de los minerales expresados en átomos por unidad de fórmula (a.p.f.u) de los minerales: feldespato (adularia), sulfatos (baritina), carbonatos (calcita y cerusita) y sulfuros (galena).

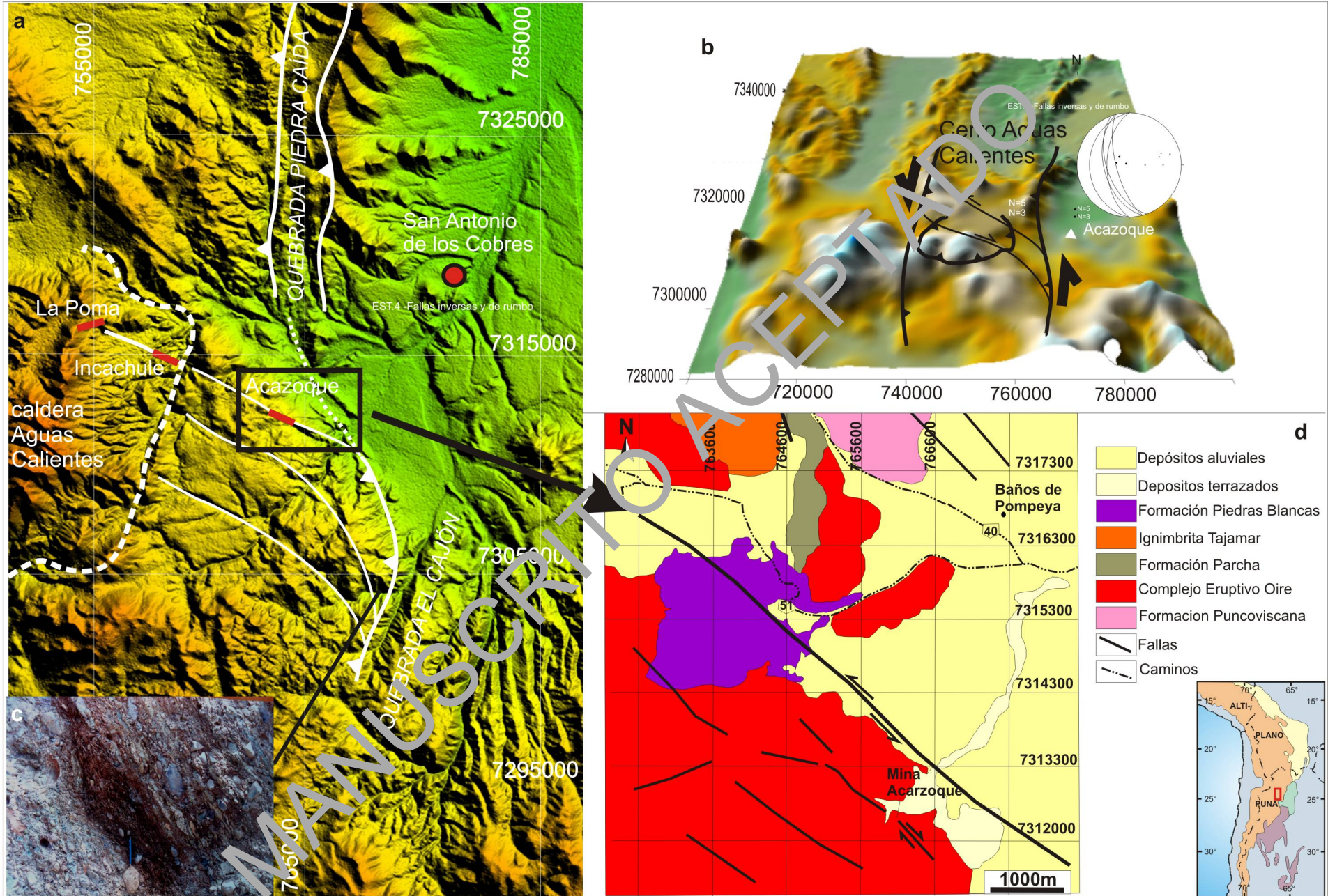


Figura 1. Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña. Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila Julio, Affonso Brod

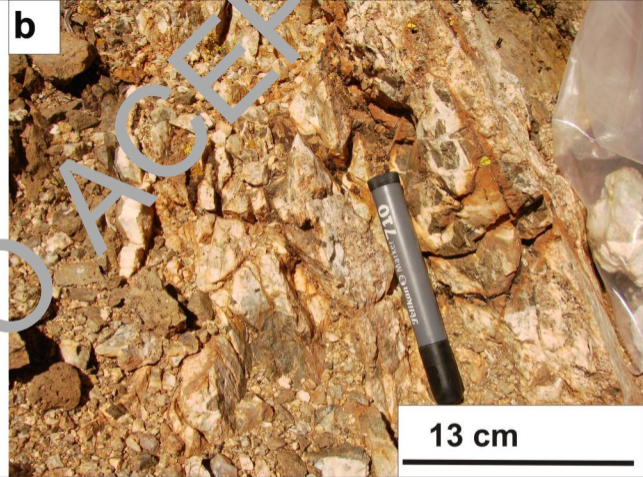


Figura 2. **Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña.** Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila Julio, Affonso Brod

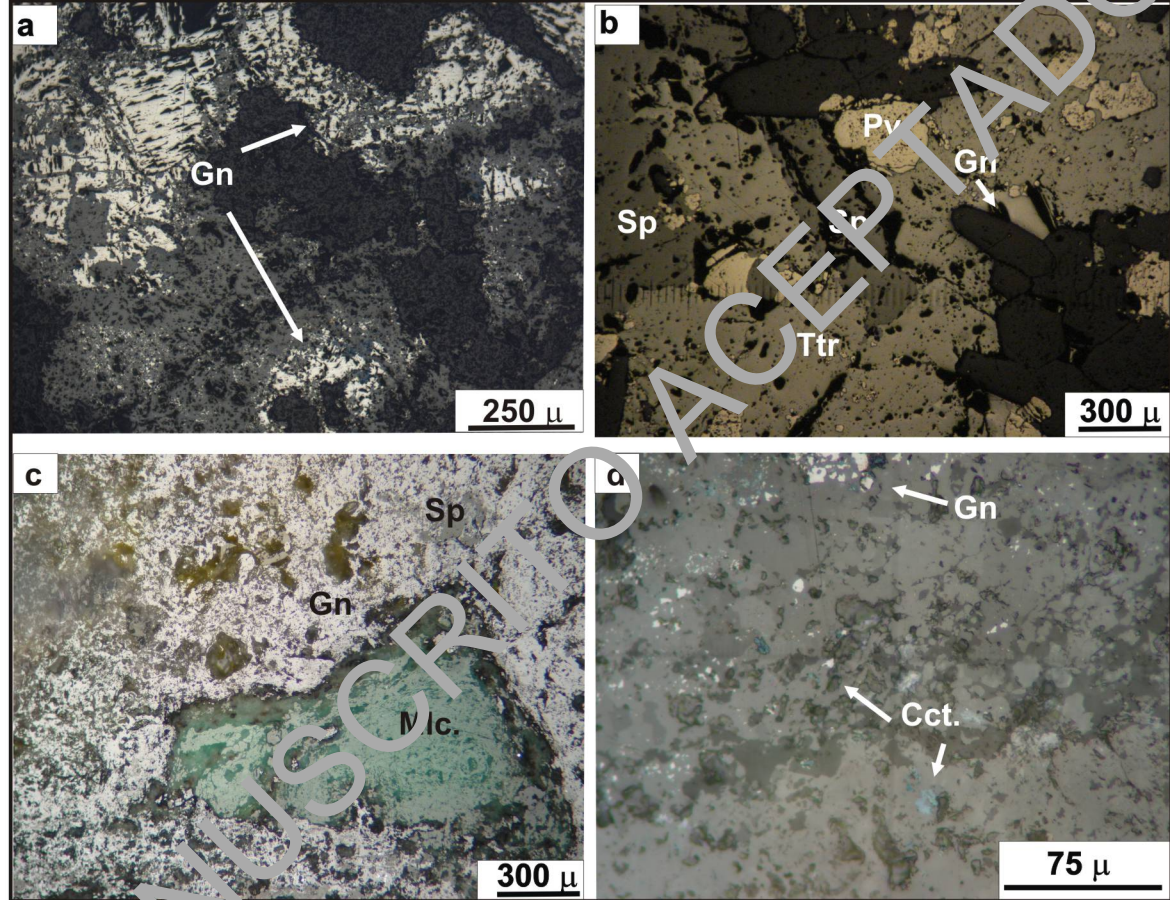


Figura 6. Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salina. Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila Julio, Affonso Brod

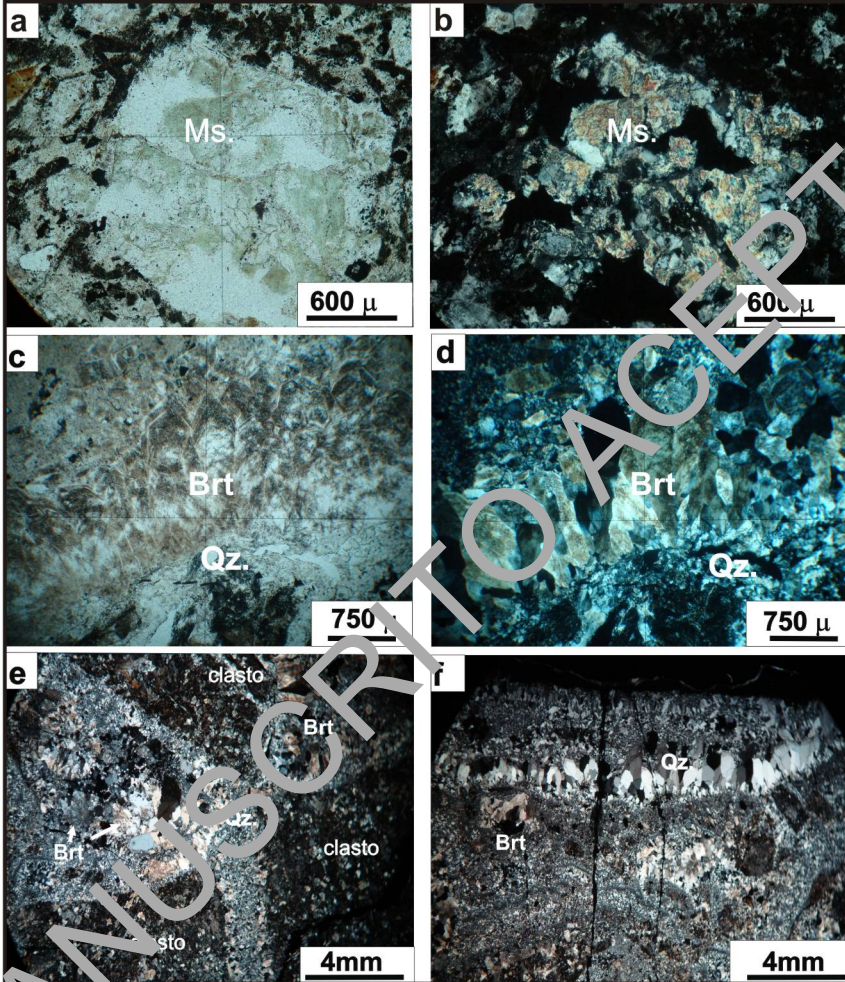


Figura 4. Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña. Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila

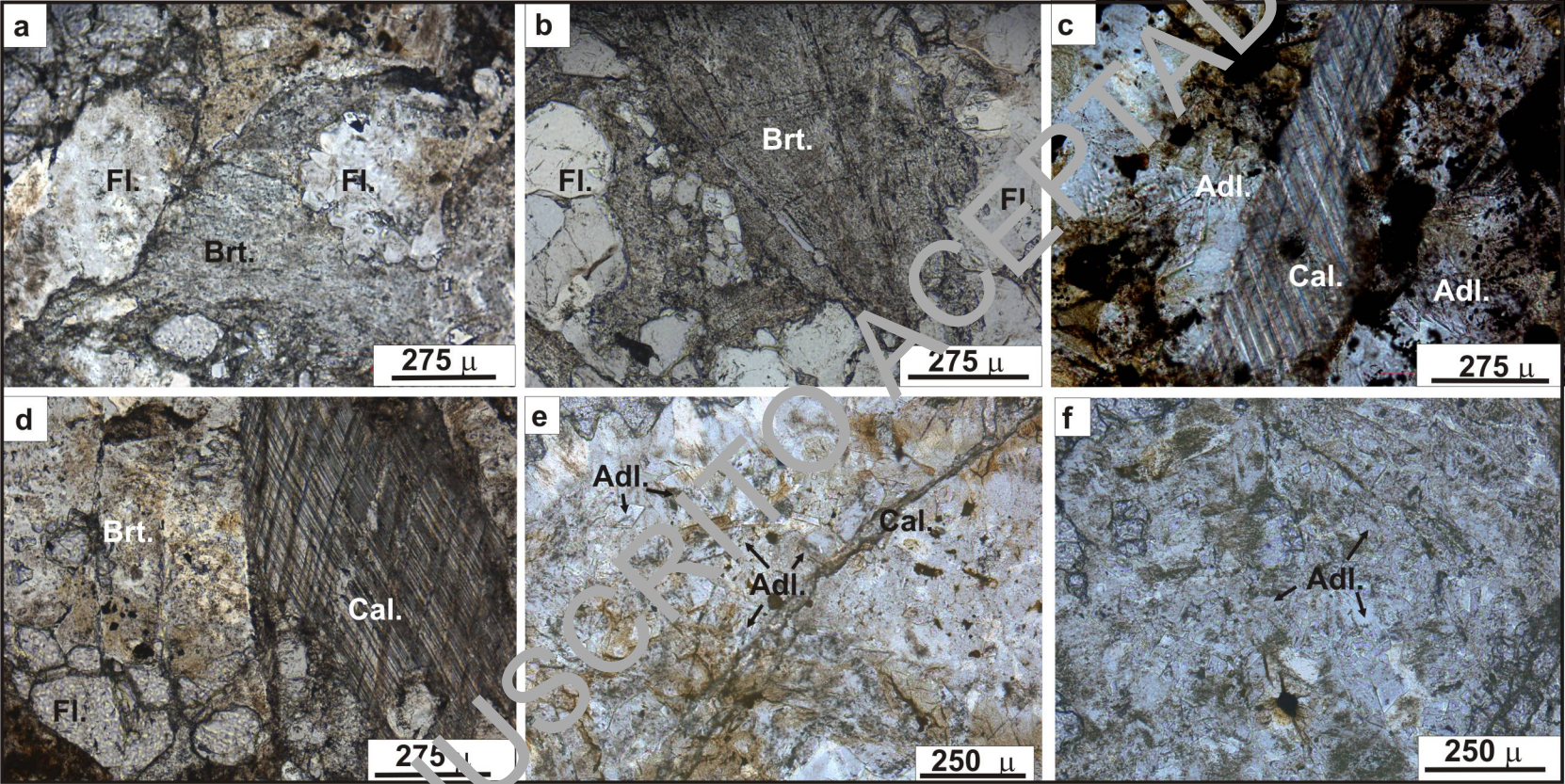


Figura 5. Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña. Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila Julio, Alfonso Brod

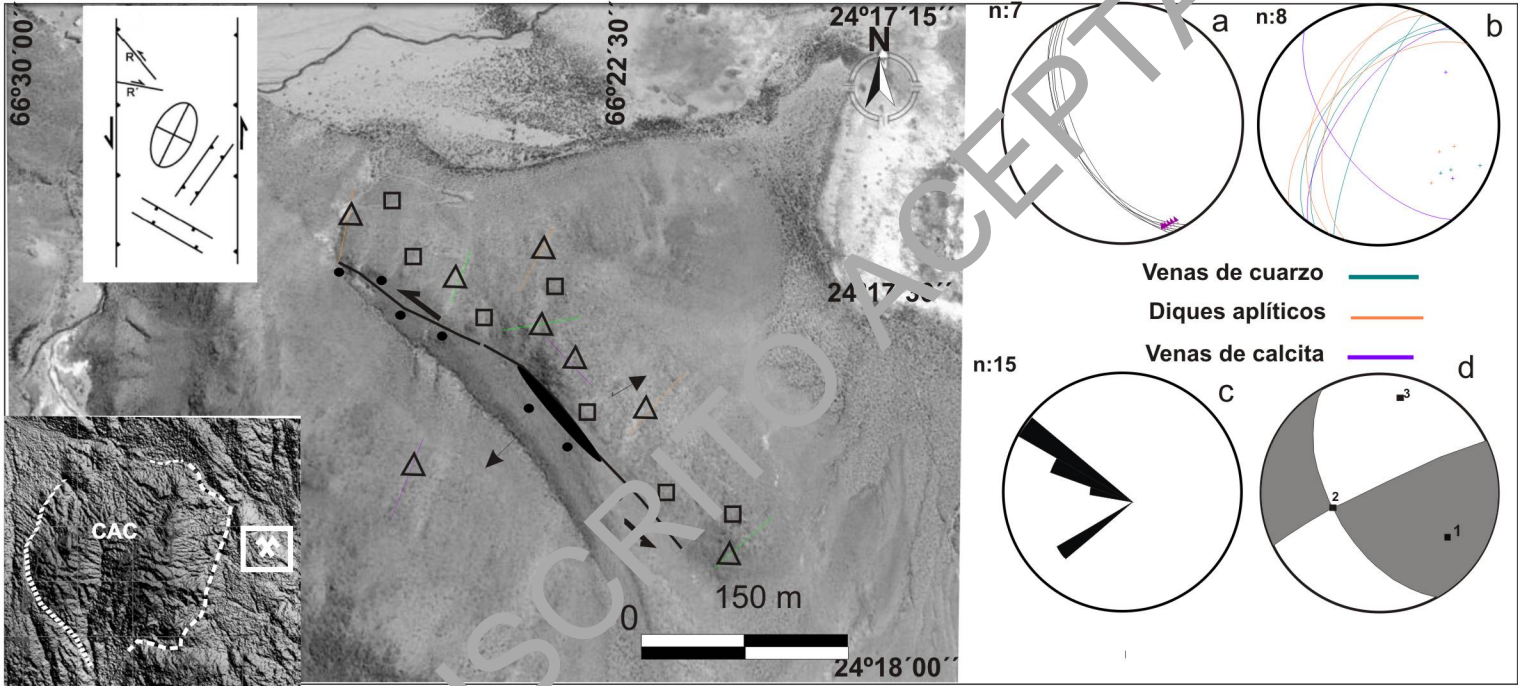


Figura 6. **Geología, mineralogía y estructura de la Mina Acazoque (Pb-Ag-Zn), Puna Salteña.** Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Avila Julio, Affonso Brod

MUESTRA	MINERALOGIA	BRECHA	VETA
A5-C1	Adularia	x	
A5-C2	Adularia	x	
A5-C3	Adularia	x	
A5-C8	Adularia	x	
A5-C9	Adularia	x	
A5-C4	calcita	x	
A5-C5	calcita	x	
A5-C6	calcita	x	
EA1-C1	cerusita		x
EA1-C2	cerusita		x
EA1-C5	galena		x
EA1-C6	galena		x
A1-C1	cerusita		x
A1-C8	Cerusita		x
A1-C5	galena		x
A1-C8	galena		x

Cuadro 1. Geología, mineralogía y estructura de Mina Acazoque, Puna Salteña. Natalia Salado Paz, Ivan Petrinovic, Julio Avila, Affonso Brod

Composición en óxidos representativa de los feldespatos

sample	A5_C3_1	A5_C5_1	A5_C5_2	A5_C6_1	A5_C10_1	A5_C10_2	A5_C11_1
SiO2	69.32	68.68	68.38	64.94	67.13	67.17	64.07
Al2O3	16.99	17.04	16.81	16.10	16.15	16.01	15.88
FeO	0.04	0.34	0.06	2.29	0.20	0.23	0.00
CaO	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	0.04	0.00
Na2O	0.39	0.15	0.14	0.11	0.09	0.11	0.14
K2O	15.87	16.07	15.78	14.80	15.82	15.38	16.09
SrO	0.01	0.07	0.10	0.00	0.00	0.06	0.05
BaO	0.24	0.10	0.29	0.07	0.01	0.00	0.09
Total	102.89	102.45	101.58	98.32	99.43	99.00	96.32
Si	3.09	3.08	3.09	3.06	3.10	3.11	3.08
Al	0.89	0.90	0.90	0.89	0.88	0.87	0.90
Sum Z	3.99	3.98	3.99	3.95	3.98	3.98	3.97
Fe ²⁺	0.00	0.01	0.00	0.09	0.01	0.01	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ba	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
K	0.90	0.92	0.91	0.89	0.93	0.91	0.99
Sum X	0.94	0.95	0.93	0.93	0.95	0.93	1.00
Total	4.93	4.93	4.92	4.94	4.93	4.91	4.97
Ab	3.64	1.35	1.32	1.12	0.84	1.07	1.34
Or	96.36	98.65	98.68	98.68	99.16	98.93	98.66
An	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Composición en óxidos representativa de las baritas

	A5_C1_1	A5_C2_1	A5_C3_1	A5_C8_1	A5_C9_1
SO3	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
Na2O	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
SO3	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
Na2O	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

Composición en óxidos representativa de los carbonatos

	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
Na2O	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	0.03	0.03	0.04	0.02	0.00	0.01
As2O5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	19.03	0.00	16.68
SiO2	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	1.08	0.09	0.00	0.23
Al2O3	0.05	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
CaO	53.20	54.86	53.36	53.93	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	0.01
Fe	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
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

Composición representativa de los sulfuros

	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	0.339	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	79.062	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	0.025	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	0.934	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

Cuadro 2. Geología, mineralogía y estructura de Mina Acazoque, Puna Salteña. Natalia Salado Paz, Iván Petrinovic, Julio Avila, Affonso Brod