

# Mineralogía de alteración hidrotermal y mineralización del área de mina La Poma (Pb-Ag-Zn), Puna Central, provincia de Salta

Natalia SALADO PAZ<sup>1</sup>, Julio Cesár AVILA<sup>2</sup>, Valmir SILVA DA SOUZA<sup>3</sup> y Klaus WEMMER<sup>4</sup>

**Resumen:** MINERALOGIA DE ALTERACION HIDROTHERMAL Y MINERALIZACION DEL AREA DE MINA LA POMA (PB - AG - ZN). PUNA CENTRAL, PROVINCIA DE SALT A. Mina La Poma se localiza en el borde NE de la Caldera del Cerro Aguas Calientes (17.5 a 10.8 Ma), dentro de la provincia geológica de la Puna, Salta - Argentina. Se aloja en la Ignimbrita Verde (17.3 Ma) en forma de vetas portadoras de minerales de Pb - Ag - Zn. La alteración hidrotermal observada en superficie corresponde a los tipos: filica (mica potásica - clorita - esmectita), silícica, argílica (caolinita - esmectita - illita y yeso) y propilítica (clorita - montmorillonita - carbonato). La alteración hidrotermal observada en sondeos corresponde a propilítica (clorita/esmectita, montmorillonita - illita/esmectita - caolinita) con franjas filico - argílicas con probable mineralización en profundidad. Asociada a estos procesos de hidrotermalismo se depositó la mineralización en forma de vetas representada por la asociación galena argentífera, esfalerita, calcopirita, pirita, bornita y tetraedrita, en ganga de cuarzo, calcita, rodocrosita y siderita con óxidos de manganeso y hierro. La mineralogía de mena - ganga y de alteración hidrotermal definen un sistema epitermal de sulfuración intermedia. Asimismo se documentaron las primeras edades de alteración hidrotermal para la zona, acotadas entre 10.76 - 11.45 Ma mediante dataciones K - Ar en illitas hidrotermales, determinando que las mineralizaciones de Mina La Poma se encuentran asociadas a eventos de tumescencia del segundo evento de colapso de la caldera.

**Abstract:** HYDROTHERMAL ALTERATION MINERALOGY AND MINERALIZATION FROM MINA LA POMA (PB - AG - ZN), CENTRAL PUNA, SALT A PROVINCE. La Poma mine is located in the NE edge of the Cerro Aguas Calientes collapse caldera (17.5 to 10.8 Ma), in the geologic province of Puna, Salta - Argentina. It is hosted in Verde Ignimbrite (17.3 Ma) as Pb - Ag - Zn veins. The hydrothermal alteration observed at surface corresponds to: phyllic (potassic mica - chlorite - smectite), silicic, argillic (kaolinite - smectite - illite - gypsum) and propylitic (chlorite - montmorillonite - carbonate). The hydrothermal alteration observed in drill core corresponds to propylitic (chlorite/smectite, montmorillonite - illite/smectite - kaolinite) with phyllic - argillic bands probably mineralized at depth. Associated to the hydrothermal process, ore minerals were deposited with argentiferous galena, sphalerite, chalcopyrite, pyrite, bornite, tetraedrite in gangue of quartz, calcite and siderite with manganese and iron oxides. The ore-gangue and hydrothermal alteration mineralization define an intermediate sulphidation epithermal system. It's document the first ages of hydrothermal alteration between 10.76 - 11.45 Ma by K - Ar dating in hydrothermal illite. The mineralization of La Poma mine are associated with tumescence during the second event of collapse of the caldera.

**Palabras clave:** Epitermal. Sulfuración intermedia. Puna. Argentina.

**Key words:** Epithermal. Intermediate sulphidation. Puna. Argentina.

## Introducción

El estudio de la paragénesis mineral de alteración y mineralización permite caracterizar la composición química de los fluidos que depositaron la mena mineral. Con esta información se puede modelar la zonación del depósito y definir un modelo metalogénico. Tal es el caso de

<sup>1</sup> IBIGEO-UNSA-CONICET. Museo de Ciencias Naturales, Mendoza n°2, CP.4400. nataliasaladopaz@yahoo.com.ar

<sup>2</sup> INSUGEO-CONICET. Universidad Nacional de Tucumán. Miguel Lillo 205, CP.4000. San Miguel de Tucumán. jcvila@csmat.unt.edu.ar

<sup>3</sup> Instituto de Geociencias. Universidad de Brasilia. Campus Universitário Darcy Ribeiro, Brasilia - CEP 70910-900.

<sup>4</sup> Geowissenschaftliches Zentrum der Universität Göttingen, Germany. Göttingen, Germany.

Mina La Poma, que presenta una marcada franja de alteración hidrotermal vinculada a depósitos de Pb - Ag - Zn, y que fue definida previamente como un yacimiento epitermal de baja sulfuración (Argañaraz y Sureda, 1979). La mineralización se aloja en la Ignimbrita Verde del Cerro Aguas Calientes (Coira y Paris, 1981; Petrinovic, 1992; Petrinovic *et al.*, 2010), Puna Central, hacia el suroeste de la localidad de San Antonio de los Cobres.

Mina La Poma corresponde a un sistema de vetas (La Negra, Nueva Esperanza, Vieja Esperanza, El Porvenir, Zeta, La Rosa) de rumbo N70°E con espesores variables entre 0.60 a 1.80 metros y aproximadamente 1500 metros de longitud. La mineralización primaria consiste en galena argentífera, pirita, calcopirita y esfalerita a las que se asocian tetraedrita, bornita, ullmanita y marcasita en ganga de cuarzo, calcita y siderita (Argañaraz y Sureda, 1979; JICA, 1995). La mineralización secundaria está dada por malaquita, azurita, anglesita, tenorita, hematita, limonitas, cerusita, yeso, calcantita, piromorfita, brochantita, linarita, duftita, goethita y hemimorfita (Argañaraz y Sureda, 1979; Salado Paz *et al.*, 2010). Ha sido explotada desde comienzos del siglo XX hasta 1964, principalmente en labores subterráneas y también a cielo abierto. Las leyes determinadas por Argañaraz y Sureda (1979) son 11.02% de Pb, 190.8 gr/tn de Ag y 2% de Cu con reservas de 260.000 tn de mineral. En 1995, Japan International Corporation Agency declara leyes de Ag de 716.2 gr/tn y de Au 2.25 gr/tn. Recientemente Cardero Resource Corporation (2007) confirma una alta ley con resultados de 280 gr/tn de Ag, 6.05% de Pb y 0.31% de Cu. En la actualidad toda el área se encuentra inactiva.

La alteración hidrotermal reconocida por Argañaraz y Sureda (1979) que acompaña el emplazamiento de las vetas incluye sericitización y argilitización, la cual está circunscripta a los hastiales y afecta una franja reducida de las rocas de caja. En otros sectores como en El Porvenir, se puede ver propilitización con formación de clorita, sericita, pirita, goethita y hematita. También se ha descrito la presencia de minerales arcillosos y micas en el sector de veta La Negra (JICA, 1993). De acuerdo a mediciones reflectométricas *in situ*, análisis por difracción de Rayos X y clasificación supervisada sobre imágenes ASTER, Kafino (2009) determinó dos asociaciones minerales de alteración para el área de mina La Poma: caolinita - clorita y caolinita - illita.

En este trabajo, se estudia la mineralogía de cada tipo de alteración encontrada en superficie y en profundidad mediante análisis de imágenes SWIR (short - wave infrared), DRX (difracción de rayos X) y análisis geoquímicos que determinan los metales presentes en cada alteración. De igual manera se describen los minerales de mena - ganga y se da a conocer sus composiciones para contribuir al conocimiento mineralógico - metalogénico del depósito mineral. Se presentan las primeras edades absolutas K/Ar en minerales hidrotermales de la fracción fina (illita), con el fin de relacionar las edades de mineralización con los procesos magmáticos del área.

## Metodología

Para caracterizar las alteraciones hidrotermales del área de mina La Poma se estudiaron muestras de superficie (15 muestras de veta y roca) y muestras de sondeos (45 muestras de roca) realizados por JICA (1995), se describieron láminas delgadas (15 muestras de superficie y 15 muestras de sondeo), probetas calcográficas (9 muestras de superficie) y se efectuaron análisis de DRX total (11 muestras) y orientados (7 muestras), SWIR (10 muestras), SEM - EDS (4 muestras) y dataciones K - Ar (2 muestras).

Los análisis de espectrometría de reflectancia (SWIR) fueron realizados por la Dra. Marta Godeas (SEGEMAR, Buenos Aires). Las determinaciones por (DRX) fueron realizadas

en un difractor Rigaku modelo MiniFlex de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Córdoba, empleándose radiación de Cu y filtro de Ni, a 30 kV, 15 mA y con una velocidad de barrido de 1°/min entre 4 y 60° 2 $\theta$ .

Para los análisis de SEM - EDS (espectrometría de rayos X dispersiva en energía acoplada con microscopía electrónica de barrido) se utilizó un microscopio electrónico de barrido de la Universidad Nacional de Salta, marca JEOL modelo JMS 6489 LV, con una capacidad de aceleración de voltaje entre 0.2 a 300 Kv y analizador de energía dispersiva de rayos X, marca Thermo Electron, modelo NORAM system SIXNSS - 100.

Los análisis químicos de elementos mayores y trazas se hicieron por FRX (fluorescencia de rayos X) e ICP - MS (espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente) en el laboratorio ACMELABS (Canadá) previa molienda en molino de ágata pasante #200 siguiendo las rutinas de este laboratorio. Se analizaron 8 muestras de rocas afectadas por diferentes tipos de alteración hidrotermal.

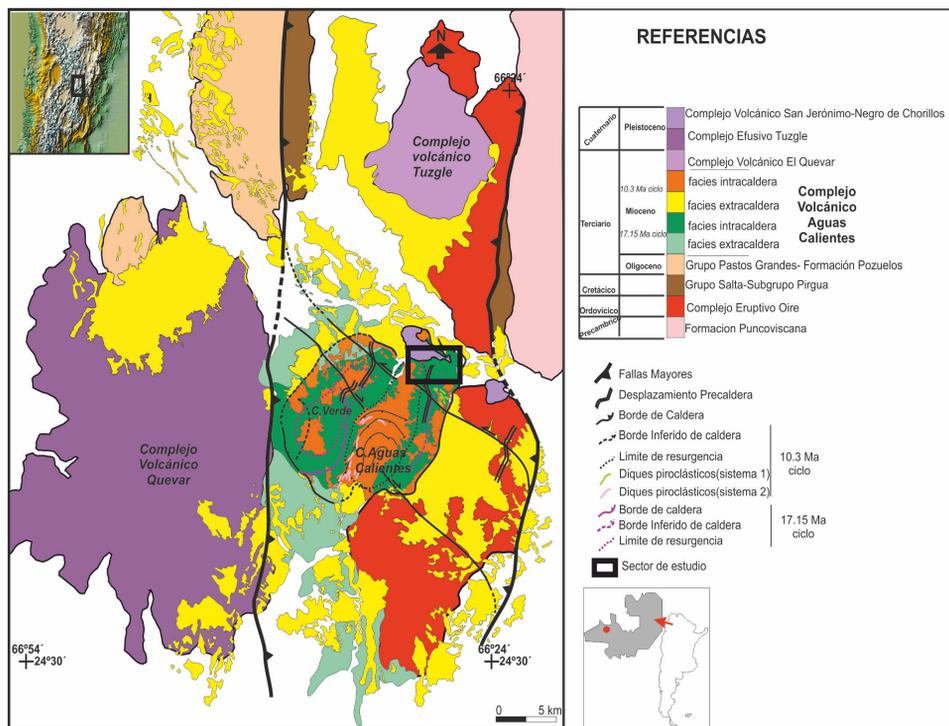
Los detalles de la metodología de separación de la fracción fina (illita) y el procedimiento para la determinación de las edades por el método K/Ar están suministrados en Wemmer (1991). Las dataciones fueron realizadas en Geowissenschaftliches Zentrum de la Universidad de Göttingen, Alemania.

## Geología Regional

La región de estudio se encuentra dentro de la provincia geológica de la Puna (Turner, 1972), la cual se caracteriza por una tectónica de piel gruesa que involucra unidades del basamento neoproterozoico - eopaleozoico en las grandes fallas inversas que conforman cordones montañosos (Jordan y Alonso, 1987; Isacks, 1988; Allmendinger *et al.*, 1997). La dirección estructural predominante es N - S o NNE - SSO, aunque también coexisten lineamientos regionales y fallas inversas locales con dirección oblicua NO - SE y, en menor proporción con dirección NE - SO que en algunos casos presentan componentes de rumbo (Mon y Salfity, 1995; Urreiztieta *et al.*, 1996; Ramos, 1999; Riller y Oncken, 2003; Payrola *et al.*, 2012). El área de estudio se localiza sobre la traza del Lineamiento El Toro (Mon, 1979) o Lineamiento Calama-Olapapato-El Toro (Salfity *et al.*, 1975).

El basamento de la región está representado por la Formación Puncoviscana (Turner, 1960) de edad Proterozoico superior - Cámbrico inferior integrada en la región de San Antonio de los Cobres por secuencias sedimentarias y metasedimentarias marinas profundas (Omarini, 1983). Afloran en la Sierra de Cobres desde la localidad de San Antonio de los Cobres hasta Cobres y desde el Abra de Acay hacia el norte (Aceñolaza y Toselli, 1981; Omarini, 1983) (Figura 1). Asociados al mismo ambiente de depositación se han reconocido un gran número de eventos magmáticos de distinta importancia. Coira (1973, 1975), Schwab (1973), Koukharsky *et al.* (1987), Mirré (1974), Zappetini (1989) y más recientemente Becchio *et al.* (1999), han descrito diferentes unidades magmáticas intercaladas en las secuencias sedimentarias. Lavas almohadilladas, rocas piroclásticas y epiclásticas han sido descritas por estos autores.

El Paleozoico inferior está representado por el Complejo Eruptivo Oire (Turner, 1960) equivalente a la Faja Eruptiva de la Puna (Mendez *et al.*, 1973; Omarini *et al.*, 1984). Hacia el norte del lineamiento Calama - Olapapato - El Toro, el complejo Oire (Fig. 1) está representado por rocas hipabisales y pórfidos riódacíticos (Balhburg, 1990), mientras que al sur del mismo es un cinturón de granitoides altamente deformados (Omarini *et al.*, 1984).



**Figura 1.** Mapa geológico regional y zona de estudio. Modificado de Petrinovic *et al.*, (2010)./ **Figure 1.** Regional geologic map and study zone.

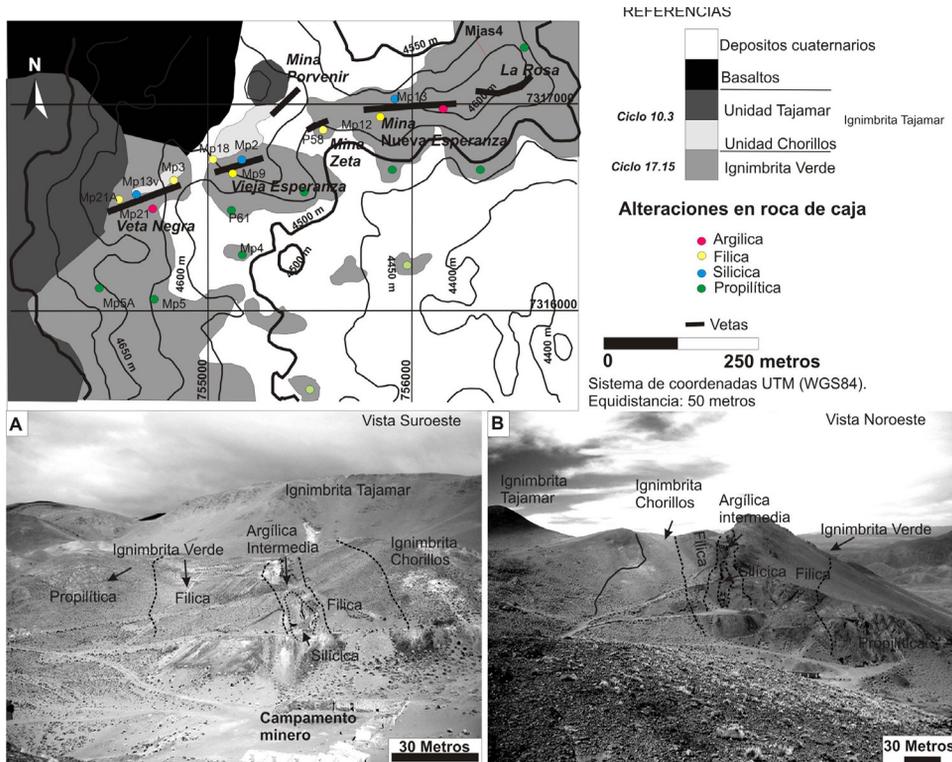
Asociado a este evento eruptivo se encuentran depósitos piroclásticos submarinos, lavas y unidades epiclásticas intercalados en la secuencia sedimentaria ordovícica (Becchio *et al.*, 1999).

Cubren en parte a la secuencia proterozoica-paleozoica, sucesiones sedimentarias continentales equivalentes al Grupo Salta (Turner, 1960) de edad Cretácico - Paleoceno. Particularmente, el Subgrupo Pirgua (Cretácico) es la unidad mejor expuesta al norte de mina Concordia y en la quebrada de Piedra Caída - Cajón (Vilela, 1969) (Fig. 1).

El Terciario presenta un amplio registro de rocas volcánicas miocenas-pliocenas de composición dacítica - andesítica, generalmente con alto contenido en potasio, que constituyen extensos mantos ignimbríticos y lávicos provenientes de la caldera de colapso del cerro Aguas Calientes, del centro efusivo del Quevar - Azufrero y de centros eruptivos menores (Petrinovic *et al.*, 1999). La caldera del cerro Aguas Calientes comprende dos eventos (Petrinovic *et al.*, 2010). El primero de edad 17.15 Ma (K/Ar en biotita) constituido por el evento que produjo la Ignimbrita Verde y el segundo por el evento conformado por la Ignimbrita Tajamar de 10.3 Ma (K/Ar en biotita) (Fig. 1).

En las cercanías del Cerro Aguas Calientes se reconocen cuerpos subvolcánicos (domo Concordia, domo Organullo) de edad Mioceno medio - Superior (Petrinovic *et al.*, 1999), estratovolcanes (Complejo volcánico Quevar) de edad Miocena superior (Petrinovic *et al.*, 1999) y centros monogenéticos de composición basáltica (Cerro Negro de Chorrillos y Cerro San Jerónimo) de edad Plioceno-Cuaternario (Deruelle, 1982).

Entre los eventos magmáticos del Mioceno y Plioceno tuvo lugar una actividad hidrotermal que depositó al menos cuatro tipos de mineralizaciones (Pb - Ag, Pb, Sb - Au y Mn - Fe) en fracturas de rumbos variables (Zappettini, 1999). Muchos de los yacimientos están controlados por estructuras de carácter regional y local asociadas a la caldera de colapso del Cerro de Aguas Calientes (Petrinovic, 1992). Tal es el caso de mina La Poma, objeto de este estudio, vinculada a fracturas de borde de caldera (Fig. 2).



**Figura 2.** Mapa local, sector de mina La Poma y sus manifestaciones vetiformes. **A)** Afloramientos suroeste con zonación de alteraciones. **B)** Afloramientos noroeste con zonación de alteraciones. / **Figure 2.** Local map, La Poma mine and veins forms. **A)** Outcrops with hydrothermal alteration zonation southwest. **B)** Outcrops with hydrothermal alteration zonation northwest.

## Resultados

### Alteración hidrotermal

#### *En superficie*

Se definen las siguientes alteraciones:

**Alteración silícica:** En mina La Poma, el cuarzo es la ganga principal de la mineralización (Argañaraz y Sureda, 1979). Aparece en tres generaciones: un primer evento, el cual aloja la mineralización principal con cuarzo de aspecto macizo y grano fino. Los dos eventos posteriores corresponden a uno al relleno de oquedades constituyendo geodas de cristales incoloros, y el evento póstumo compuesto de cuarzo tipo calcedónico-opalino de grano muy fino en el cual puede observarse mineralización escasa (Salado Paz, 2014).

Al microscopio se han observado texturas primarias y secundarias de cuarzo según Dong *et al.* (1995) y Morrison *et al.* (1990) en la roca alterada aledaña a las vetas. Las texturas primarias corresponden a calcedonia maciza y costriforme y las secundarias o de recristalización corresponden a cuarzo plumoso y en enrejado. La textura costriforme (Fig. 3 A) se identifica por la presencia de bandas concéntricas. La de enrejado o *lattice bladed*, producto del reemplazo pseudomorfo de calcita por cuarzo, está representada por hojas de sílice que se intersectan dejando espacios triangulares entre ellas, estas cavidades también se encuentran rellenas de cuarzo (Fig. 3B).

La alteración es de intensidad fuerte a moderada. En el tabla 1 se observa que la alteración silícica presenta altos contenidos de Ag, Pb, Cu. Así mismo, se determinaron altas concentraciones de metales como As, Sb, Mo, Bi, los cuales se presentan en sulfuros y sulfosales. Algunos altos valores analíticos de Mn coinciden con muestras con carbonatos de Mn. Se reconocen altas relaciones Ag/Au para las muestras en general.

Alteración filica: Es caracterizada por la asociación cuarzo-illita-pirita (Pirajno, 1992). En mina La Poma, a escala de afloramiento, se encuentra vinculada a la mineralización, bordeando las vetas y otorgando a la roca color blanco amarillento (Fig. 2 A-B).

El estudio óptico diagnosticó abundante illita que reemplaza a plagioclasas y en sectores a la matriz de la roca (Fig. 3 C-D). La alteración es de intensidad moderada a fuerte y selectiva.

Mediante el estudio de SWIR se determinó la siguiente composición: 90% y 80% de illita y entre 20 a 10% de clorita de Fe (muestras Mp9, Mp8, Mp11) (Godeas, 2010). También se han detectado interestratificados illita/esmectita en las transiciones filica-silícica y filica-propilítica (Mp12, Mp3).

El estudio de DRX orientado identificó la presencia de esmectita, clorita, illita, cuarzo y plagioclasa para muestras de la alteración filica (Mp9). También se observó esmectita, clorita, caolinita, cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico en muestras de zona de transición a la alteración silícica (Mp12).

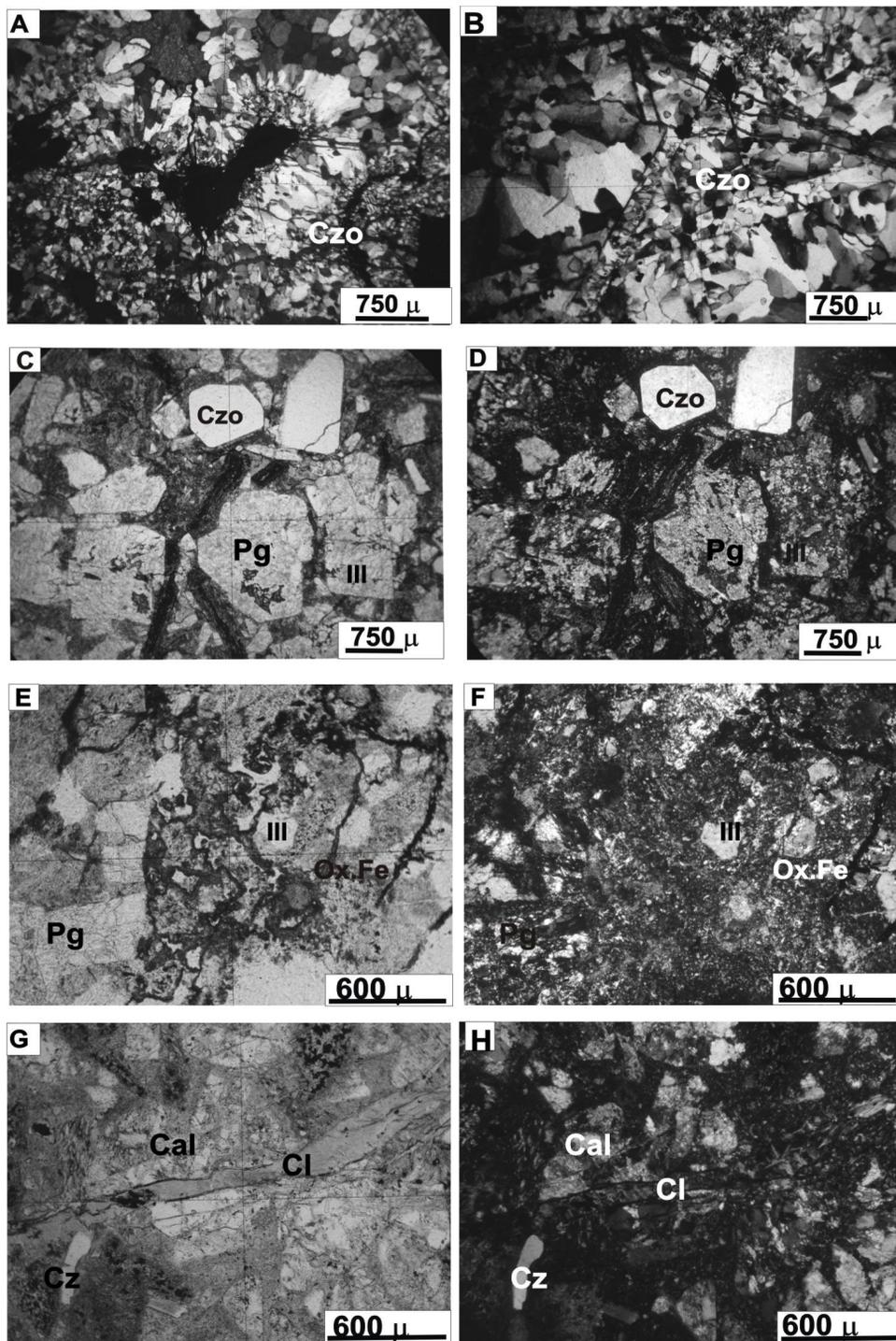
En las transiciones silícica-filica (Mp12) y filica-argílica (Mp21) se observan contenidos importantes de Ag, Pb y Cu.

Alteración Argílica: Está caracterizada por la formación de minerales arcillosos como caolinita, esmectita, montmorillonita, illita. Se encuentra en el techo de la veta con un espesor aproximado de 10 metros (Fig. 2). Microscópicamente se observa una roca completamente alterada con minerales arcillosos, illita - moscovita y localmente biotita y clorita de grano fino. La alteración es de intensidad fuerte, penetrativa y reemplaza tanto a matriz como a cristales. Por sectores es selectiva reemplazando a fenocristales de plagioclasas (Fig. 3 E-F).

Asociada a esta alteración, hay venillas de óxidos que cortan a la roca alterada (Fig. 3 E-F).

---

**Figura 3.** Fotomicrografías petrográficas: **A)** alteración silícica, textura coloiforme con bandas de cuarzo y cerusita, a 10X, nicoles cruzados. **B)** alteración silícica de recristalización en enrejado, a 10X, nicoles cruzados. **C-D)** alteración filica de feldespatos alterados a sericita-illita, a 4X, nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. **E-F)** alteración argílica con venas de óxidos de hierro, a 10X nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente. **G-H)** alteración propilítica, feldespatos alterados a calcita y venas de clorita y calcita, a 10X, nicoles paralelos y nicoles cruzados, respectivamente. Abreviaturas: czo: cuarzo; pg: plagioclasa; Ill: illita; Ox.Fe: óxidos de hierro; cal: calcita; cl: cloritas. /**Figure 3.** Petrographic photomicrographs: **A)** Silicic alteration, colloform texture with bands of quartz and cerusite, 10X, crossed nicols. **B)** Silicic alteration, recrystallization texture lattice-bladed, 10X, crossed nicols. **C-D)** Pyllic alteration of feldspars altered to sericite-illite, 4X, parallel nicols and crossed nicols. **E-F)** argillitic alteration with Fe-oxides veins, 10X, parallel nicols and crossed nicols. **G-H)** Propylitic alteration, feldspar altered to calcite and chlorite vein, 10X, parallel nicols and crossed nicols. Abbreviations references: Qz: quartz; pg: plagioclase; ill: illite; Ox.Fe: Fe-oxides; Cal: calcite; Cl: chlorite.



Muestra	MP13V	MP12	MP18	MP9	MP21	MP3	MP4	MP5
Alteración	Silfílica	Silfílica-Fílica	Fílica	Fílica	Fílica-Argílica	Fílica-Propilfílica	Propilfílica	Propilfílica
Ba (ppm)	5,00	150,00	29,00	902,00	1241,00	1073,00	541,00	520,00
Co (ppm)	26,80	14,20	6,40	11,30	2,40	10,30	9,60	10,60
Cs (ppm)		9,10		17,70	31,40	20,60	10,10	13,60
Sn (ppm)		2,00		4,00	4,00	7,00	7,00	3,00
Sr (ppm)	8,60	33,90	6,20	101,20	62,50	124,40	314,50	294,20
W (ppm)	26,20	148,60	3,00	2,80	7,80	10,80	3,40	2,40
Mo (ppm)	13,54	24,00	14,16	0,70	2,50	0,80	0,90	1,00
Cu (ppm)	5832,56	4115,30	18,08	21,20	101,00	15,30	40,20	16,20
Pb (ppm)	>10000,00	10000,00	64,49	367,50	10000,00	320,90	401,80	17,80
Zn (ppm)	308,50	248,00	38,80	689,00	234,00	863,00	71,00	52,00
As (ppm)	1170,20	673,30	1284,10	13,50	2663,50	52,00	46,50	74,90
Cd (ppm)	14,03	2,00	0,15	0,30	0,40	0,30	0,10	0,10
Sb (ppm)	1570,69	37,90	135,76	1,70	14,90	1,90	8,10	0,70
Bi (ppm)	54,88	750,10	0,62	1,10	13,40	1,10	4,00	0,90
Ag (ppb)	100000,00	102,00	223,00	0,90	3,70	1,50	1,40	0,09
Au (ppb)	98,10	253,50	7,70	1,90	1,20	0,40	0,40	0,40
Hg (ppm)	3,28	0,65	0,08	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Tl (ppm)	0,19	0,40	2,25	0,20	2,00	0,20	0,20	0,10
Mn (ppm)	269,00	462,00	325,00	169,00	no determinado			

**Tabla 1.** Contenidos de metales según la alteración hidrotermal. **Table 1.** Metal concentration according hydrothermal alteration.

Mediante los estudios de SWIR se determinó montmorillonita 90% y yeso 10% (Mp21) (Godeas, 2010).

Alteración Propilfílica: esta alteración esta conformada por la asociación clorita-carbonato. A escala de afloramiento se observa una roca verdosa blanquecina. La alteración es leve y selectiva, alterando principalmente a plagioclasas y hornblenda. Las plagioclasas se alteran a calcita y la hornblenda a clorita, biotita y óxidos de hierro (Fig. 3 G-H). La clorita como mineral de alteración, además de alterar a hornblenda, se presenta en matriz y en fracturas de los minerales. Mediante el estudio de SWIR se observó también, la presencia de montmorillonita (Mp4).

## En profundidad: descripción de sondeos

Las tareas de perforación realizadas por la JICA en 1993, incluyeron dos pozos (MJAS-3 y MJAS-4) de diámetros variables a medida que aumenta la profundidad. La perforación de la zona superficial se realizó con tricono 55/8'' y, al llegar a zona de roca fresca, se utilizó corona HX-WL continuando con corona NX-WL. Ambos pozos poseen una longitud total perforada de 700 metros y no cortan mineralización. A lo largo del sondeo, la roca presenta variaciones texturales y alteración hidrotermal del tipo propilfílica (de diferentes intensidades) y argílica-fílica en zonas de fracturas con venillas de diferentes mineralogías que se describen a continuación.

El pozo analizado en este trabajo corresponde al MJAS-4, de rumbo S 10° E, inclinación -50 °, longitud perforada de 350,20 metros con una longitud de testigo de 320,85 metros y una recuperación de testigos del 99,2 % (Fig. 2). Los primeros 28 metros corresponden a derrubio de roca, luego se observa la Ignimbrita Verde (Petrinovic, 1999) en la totalidad de metros perforados restantes (Fig. 4 A-B). La ignimbrita presenta fragmentos juveniles: pómez y aglomerados de plagioclasa - cuarzo y fragmentos líticos metamórficos (metapelíticos) e igneos



**Figura 4.** Fotografías de testigos del sondeo Mjas-4, ordenado por profundidad (desde A sector somero, O sector profundo). A medida que incrementa la profundidad (I-O) incrementa el porcentaje de litoclastos. A y B) Ignimbrita verde de grano fino. C, D, E, F, G y L) fragmentos de pómez en Ignimbrita Verde de grano medio. H) lítico del basamento. I) cumulos de plagioclasa. J, M y N) líticos volcánicos del Complejo Eruptivo Oire. K y O) líticos graníticos del Complejo Eruptivo Oire. / **Figure 4.** Photography of Mjas-4 drill core, sorted by depth (A from shallow to depth in O). Depth and percentage of lithic increase (I-O). A-B) Verde ignimbrite of fine-grained. C, D, E, F, G and L) pomez fragment in Verde ignimbrite of medium grain. H) basement lithic. I) plagioclase cumulus. J, M, N) Complejo Eruptivo Oire volcanic lithics. K and O) Complejo Eruptivo Oire granitic lithic.

(graníticos y volcánicos). Estos fragmentos presentan diferencias en su abundancia a medida que se incrementa la profundidad. Los fragmentos juveniles (pómez) de escasa a nulamente vesiculados, de formas lenticulares, son difíciles de diferenciar petrográficamente, sobre todo en los sectores de grano grueso de la roca ya que los mismos son ricos en cristales (plagioclasa, cuarzo y biotita) y similares a la matriz.

Presentan bordes difusos (Fig. 4 C-G). Algunos de estos fragmentos están alterados en los sectores de cizalla y en las zonas con alteración hidrotermal, donde solo se pueden distinguir cuando la misma es leve o parcial (Fig. 4).

Se han observado líticos juveniles ricos en plagioclasa y cuarzo, silicificados, los que se han denominado cumulos de plagioclasa o aglomerados de plagioclasa - cuarzo (Fig. 4 I).

Los fragmentos líticos metapelíticos corresponden a la Formación Puncoviscana, son los más abundantes. Poseen un grano muy fino por lo que no son observables los minerales constituyentes, muchos se encuentran fracturados (Fig. 4 H-I).

Los fragmentos líticos del complejo Eruptivo Oire se dividen en volcánicos y graníticos. Los primeros poseen textura porfídica con fenocristales de plagioclasas y biotita inmersos en una matriz fina de los mismos minerales (Fig. 4 J-M-N). Algunos de los bordes de estos litoclastos son ondulados. Los segundos presentan grano medio a grueso, algunos muy ricos en cuarzo. Cuando se halla presente biotita está se encuentra orientada (Fig. 4 K-O). También se han observado texturas mirmequíticas. Muchos de estos fragmentos se encuentran metamorfizados con texturas de recristalización. En general son fragmentos pequeños y poseen contactos netos.

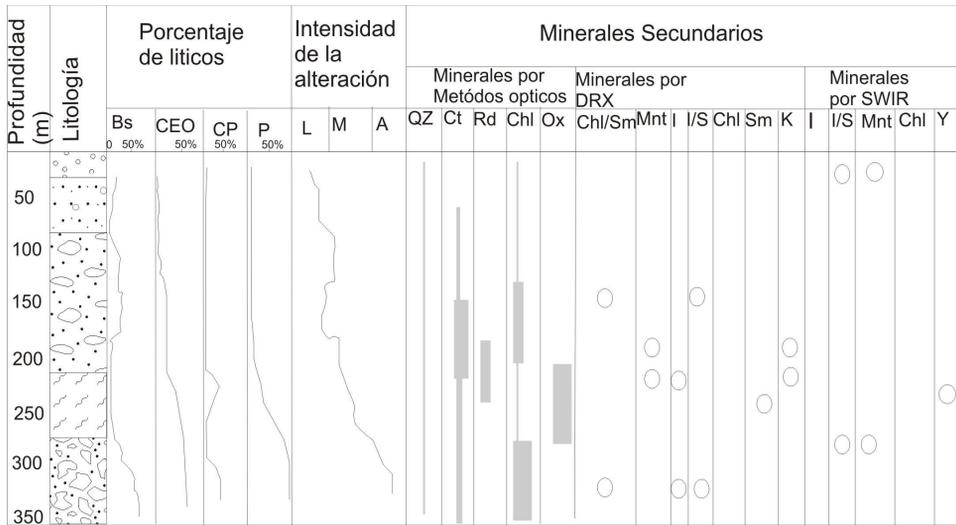
A partir del metro 28 hasta los 62 metros se observa una roca gris verdosa de grano fino con pocos fenocristales (hasta 20%), bajo porcentaje de líticos de basamento y cumulos de plagioclasas, los cuales poseen tamaños promedios de 0.3 cm. La roca posee alteración propilitica de intensidad leve a moderada. Los estudios de SWIR identificaron interestratificados illita/esmectita 50% y montmorillonita 50% (muestra Mjas 16) (Tabla 2).

Desde los 78 a 112 metros se observa una roca gris verdosa de grano medio a grueso de textura porfídica con cristales de plagioclasa, biotita y hornblenda inmersos en una matriz fina cinerítica y desvitrificada. Se reconocen líticos del basamento y cumulos de plagioclasa de hasta 0.5 cm de tamaño promedio (Tabla 2). La propilitización, se presenta en abundantes vetillas de clorita y carbonatos de hasta 2 mm de espesor.

Del metro 150 al 173 la roca es similar a la anterior pero se distingue por la abundancia de vetillas de carbonato de 0.5 cm de espesor y otras de clorita de hasta 3 mm de espesor. Las vetillas de carbonato presentan texturas de relleno de espacios abiertos. Los estudios de DRX en roca total identificaron montmorillonita, cuarzo, calcita y caolinita, mientras que en las muestras orientadas se identificaron esmectita, interestratificados illita/esmectita y clorita/esmectita, cuarzo, caolinita y plagioclasa (muestra Mjas11). En el interestratificado illita/esmectita se estimó un porcentaje de illita de 90% con  $R=3$ . En el interestratificado clorita/esmectita se estimó un porcentaje de clorita de 70% (Tabla 2).

A partir del metro 173 y hasta el metro 239 se observa una roca de grano medio a grueso, con una textura porfídica seriada con venas de carbonatos rosados (rodocrosita) y pequeños cristales de sulfuros. Se distinguen franjas de 50 cm de roca alterada y fracturada (alteración argílica?) en zona de falla. Mediante estudios de DRX total se determinó montmorillonita, cuarzo, caolinita, nontronita (Mjas 30), illita, moscovita, sanidina (Mjas 19). Según el estudio de DRX orientado se reconoció esmectita, caolinita, cuarzo, feldespato potásico (Mjas 5) (Tabla 2).

A partir del metro 239 hay un nuevo incremento en el tamaño de grano de los cristales conformando una roca de grano grueso de textura porfídica seriada con abundantes lítico del



Referencias

- Derrubio de roca
- Ignimbrita Verde de grano fino
- Ignimbrita Verde de grano medio a grueso
- Franja de cizalla
- Ignimbrita Verde de grano grueso

**Tabla 2.** Descripción de sondeo MJAS-4, porcentajes de líticos y tipos de alteraciones y minerales determinados./ **Table 2.** MJAS-4 drill-core description, lithic percentage, alteration type and minerals.

basamento. Desde este metraje hasta la finalización del pozo (350.20 m), la granulometría se mantiene homogénea. Según el análisis de SWIR se observó illita 70% y montmorillonita 30%. Mediante los estudios de DRX en roca total se ha determinado montmorillonita, moscovita, cuarzo, illita, caolinita (muestras Mjas 35, Mjas 25, Mjas 27 III, Mjas 27 I). Según los DRX orientados se identificó esmectita, caolinita, plagioclasa, interestratificados illita/esmectita y clorita/esmectita (muestras Mjas 75, Mjas 27 I y Mjas 20).

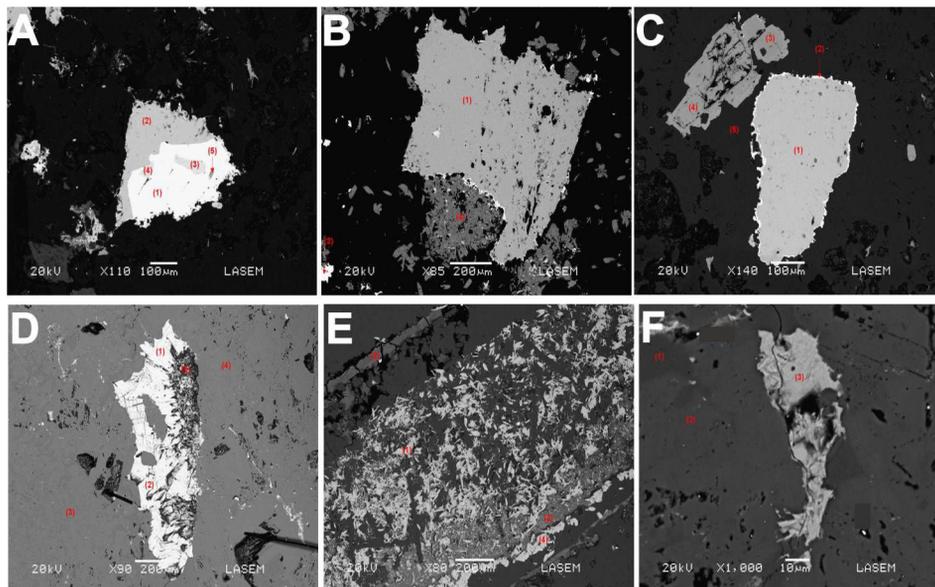
La fracción fina de la muestra MJAS 27 está compuesta por esmectita, caolinita, e interestratificados illita/esmectita y clorita/esmectita. De acuerdo a la posición de las reflexiones (Moore y Reynolds, 1997) el interestratificado illita/esmectita corresponde al tipo R=0, con un 40% de capas de illita, en tanto que para el interestratificado clorita/esmectita se estimó de acuerdo a la posición de la reflexión, un porcentaje de 55% de capas de clorita (Tabla 2).

En los metros 207.85 y 278.8 se han distinguido abundantes fragmentos de cumulos de plagioclasa y líticos de metapelitas con tamaños promedios de 3,5 x 1,5 cm respectivamente. Microscópicamente preservan sus características primarias, pocos se encuentran alterados y la alteración se concentra en los bordes de los mismos con reemplazos parciales.

Entre los metros 220 a 231 y 250 a 278 la roca se encuentra alterada y fracturada por fajas de cizalla (Tabla 2). Se observan brechas compuestas por clastos de la Ignimbrita Verde y matriz de grano fino de la misma composición con vetillas de clorita que presentan diseños de fracturas hidráulicas.

## Mineralización

La mineralización observada en superficie se presenta en vetas con texturas de espacios abiertos y brechosas. Se ha observado galena como sulfuro dominante (Fig. 5 A) en cristales cúbicos de hasta 2 cm de tamaño, en general tapizando geodas, junto con esfalerita y tetraedrita con tamaños de hasta 130 micras (Fig. 5). La calcopirita es abundante, con cristales subhedrales a anhedrales de hasta 400 micras (Fig. 5 A-B-C). Se encuentra con diferentes texturas y asociaciones minerales: como inclusiones en esfalerita, interpenetrada con bornita, en venillas de óxidos de hierro y en cristales anhedros con óxidos de manganeso.



**Figura 5.** Fotomicrografía de análisis SEM-EDS, con puntos de análisis semicuantitativos: **A)** MP2-110X: galena (1), calcopirita (2), esfalerita (3 y 4), hematita (5). **B)** MP2-85X: calcopirita (1), freieslebenita (3), hematita (4). **C)** MP2-140X: calcopirita (1), esfalerita (2), hematita con Cu (3), hematita con W (4). **D)** MP18-90X: pirolusita (1 y 2), hematita (5), calcita (3 y 4). **E)** MP2-80X: hematita con W (1), hematita (4). **F)** MP18-1000X: calcita (1 y 2), siderita (3). Abreviaturas: Gn: galena; Sp: esfalerita; Cep: calcopirita; Cal: calcita; Sd: siderita; Rds: rodocrosita; Hem: hematita; Pyr: pirolusita. / **Figure 5.** Photomicrograph of SEM-EDS analysis, with points of semiquantitative analysis: **A)** MP2-110X: galena (1), chalcopyrite (2), sphalerite (3 and 4), hematite (5). **B)** MP2-85X: chalcopyrite (1), freieslebenite (3), hematite (4). **C)** MP2-140X: chalcopyrite (1), sphalerite (2), hematite with Cu (3), hematite with W (4). **D)** MP18-90X: pyrolusite (1 and 2), hematite (5), calcite (3 and 4). **E)** MP2-80X: hematite with W (1), hematite (4). **F)** MP18-1000X: calcite (1 and 2), siderite (3). Abbreviations references: Gn: galena; Sp: sphalerite; Cep: chalcopyrite; Cal: calcite; Sd: siderite; Rds: rhodochrosite; Hem: hematite; Pyr: pyrolusite.

Se han determinado abundantes óxidos de manganeso, óxidos de hierro, calcosina-covelina y carbonatos. Los óxidos de manganeso se presentan en cristales anhedrales de hasta 150 micras, también formando matriz con texturas de venas junto con óxidos de hierro y rodeando a minerales carbonáticos (Fig. 5 D). Los óxidos de hierro, además de constituir venas, forman pequeños cristales subhedros (Fig. 5 E). La calcosina - covelina está distribuidas microscópicamente asociadas a la galena y calcopirita. Los carbonatos forman parte de la matriz de la mena mineral junto con el cuarzo (Fig. 5 F).

Mediante microanálisis semicuantitativos SEM - EDS se determinaron las características químicas de algunos minerales: calcopirita, esfalerita con Cd, galena, tetraedrita y bi-freieslebenita asociados a la ganga compuesta de calcita, siderita, rodocrosita, cloritas férricas y cuarzo con algunos óxidos como pirolusita y hematita con Cu - W (Tabla 3).

Microanálisis de sulfuros									
Muestra	MP2(140X)	MP2(140X)	MP2(110X)	MP2(110X)	MP2(110X)	MP2(110X)	MP2(85X)	MP2(85X)	
	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 1	Punto 3	
Mineral	Cop	Tr	Gn	Cop	Sp	Sp	Cop	Bi-Fr	
% Peso									
S	36,88	31,81	15,54	36,49	35,57	34,81	38,86	16,62	
Cu	34,46	45,58		34,97			34,93		
Fe	28,66	2,24		28,54			28,21		
Zn					61,25	62,72			
Cd					3,17	2,47			
Pb			84,46					20,28	
Sb		20,38							
Ag								25,93	
Bi								37,17	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	

Cop: Calcopirita; Tr: Tetrahedrita; Sp: esfalerita; Gn: Galena; Bi-Fr: Bi-Freieslebenita

Microanálisis de carbonatos y silicatos						
Muestra	MP18(1000X)	MP18(1000X)	MP18(1000X)	MP18(1000X)	MP18(900X)	MP18(900X)
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 3	Punto 4	Punto 3
Mineral	Cal	Cal	Rds	Sd	Cal	Cal
% Peso						
CO <sub>2</sub>	53,35	55,08	82,74	37,57	55,64	54,38
CaO	46,65	44,92			44,36	45,62
MnO			17,25			
FeO				62,42		
Total	100	100	99,99	99,99	100	100

Cal: calcita; Rds: Rodocrosita; Sd: Siderita.

Microanálisis de óxidos									
Muestra	MP18(900X)	MP18(900X)	MP18(900X)	MP2(140X)	MP2(140X)	MP2(110X)	MP2(85X)	MP2(80X)	MP2(80X)
	Punto 1	Punto 2	Punto 5	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 4	Punto 1	Punto 4
Mineral	Pyr	Pyr	Pyr	Hem-Cu	Hem-Cu	Hem	Hem	Hem-W	Hem
% Peso									
Mn	63,19	63,19	63,19						
O	36,81	36,81	36,81	29,71	29,72	30,06	30,06	29,57	30,06
Fe				68,65	68,71	69,94	69,94	66,3	69,94
W								4,13	
Cu				1,65	1,57				
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Pyr: Piroclasta; Hem: Hematita; Hem-Cu: Hematita con Cu; Hem-W: Hematita con W.

**Tabla 3.** Microanálisis EDS de carbonatos, sulfuros, silicatos y óxidos./**Table 3.** EDS microanalysis of carbonates, sulfides, silicates and oxides.

## Datación de minerales arcillosos

Las muestras analizadas (Mp9 y MJAS-11) presentan asociaciones de arcillas hidrotermales definidas como illita e illita/esmectita. Para la muestra MP9, correspondiente a la alteración fílica, la datación se realizó en illita donde se estimó un porcentaje de 20% de illita pura. La edad K-Ar de esta muestra es de  $11.45 \pm 0.3$  Ma (Fig. 6 A - Tabla 4).

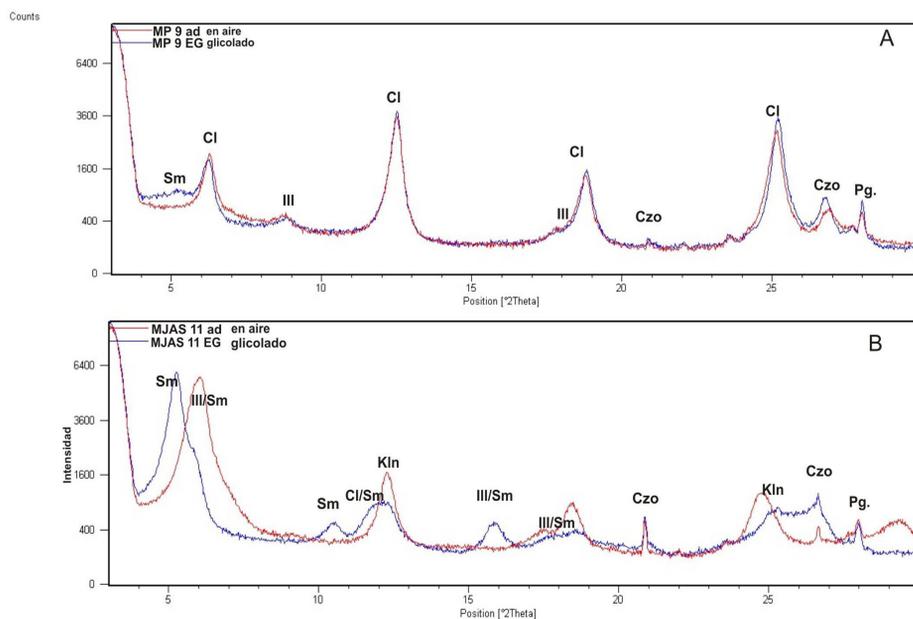
Para la muestra Mjas-11 con interestratificado illita/esmectita, la datación se realizó en la illita, debido a que el interestratificado posee un porcentaje de illita de 90% con  $R=3$ . La edad calculada es de  $10.76 \pm 0.3$  Ma (Fig. 6 B - Tabla 4).

## Discusión

La alteración hidrotermal observada en los afloramientos (silícica, fílica, argílica y propiética) se encuentra circunscripta alrededor de las vetas. La mineralogía de argilominerales varía de acuerdo a la temperatura del fluido. A temperaturas entre 300 - 350 °C se forman las micas potásicas (Hedenquist *et al.*, 2000), illita, clorita, illita/esmectita observadas para la alteración fílica. A temperaturas inferiores, aproximadamente a 250 °C se forman los minerales montmorillonita - caolinita - illita - yeso identificados para la alteración argílica y los interestratificados de clorita/esmectita-montmorillonita junto con carbonatos integrantes de la alteración propiética (Hedenquist *et al.*, 2000).

Muestra	Unidad	%K	<sup>40</sup> Ar (nl/g)	Edad (Ma)	Error
9179*	Ig. Tajamar	7,47	2,93	10,1	+/-0,3
931231*	Ig. Tajamar	7,18	2,85	10,2	+/-0,3
931223*	Ig. Tajamar	6,55	2,6	10,2	+/-0,3
931226*	Ig. Tajamar	7,24	2,86	10,1	+/-0,3
931214*	Ig. Tajamar	7,51	3,07	10,5	+/-0,3
Mp9	Illita hidrotermal	3,24	1,20	11,45	+/-2,8
Mjas-11	Illita hidrotermal	1,01	0,35	10,76	+/-0,3
941206*	Ig. Verde	6,99	4,41	16,2	+/-1.8
941202*	Ig. Verde	7,49	5,11	17,5	+/-0,5

**Tabla 4.** Edades determinadas en illita hidrotermal y su relación con las edades determinadas por Petrinovic *et al.*, (1999) y Petrinovic *et al.*, (2010). / **Table 4.** Hydrothermal illite age and the relationship with the ages from Petrinovic *et al.*, (1999) and Petrinovic *et al.* (2010).



**Figura 6.** Difractogramas de rayos X. **A)** muestra Mp9, ad: secados al aire; EG: glicolados. **B)** muestra Mjas-11, ad: secados al aire; EG: glicolados. Abreviaturas: Sm: esmectita; cl: clorita; ill: illita; czo: cuarzo; pg: plagioclasa; Ill/Sm: illita/esmectita; cl/sm: clorita/esmectita; Kln: caolinita. / **Figure 6.** X-ray diffraction diagrams. **A)** Mp9 sample, ad: air-dried; EG: glycolated clay. **B)** Mjas-11 sample, ad: air-dried; EG: glycolated clays. Abreviatures references: Sm: smectite; cl: chlorite; ill: illite; czo: quartz; pg: plagioclase; Ill/Sm: illite/smectite; cl/sm: chlorite/smectite; Kln: kaolinite.

La asociación metálica determinada en las rocas alteradas cercanas a las vetas muestra los mayores contenidos de Pb - Ag - Zn y Cu - Au. Los metales asociados como As, Sb prin-

principalmente, disminuyen notablemente en la alteración propilítica mientras que algunos otros como Pb y Zn tienen contenidos moderados.

El sondeo realizado por JICA (1993) presenta, en toda la corrida de roca, alteración propilítica con halos de alteración filica - argílica en zonas fracturadas y brechadas. La mineralogía observada en el sondeo (cuarzo, calcita, rodocrosita, óxidos, clorita/esmectita, montmorillonita, illita/esmectita, caolinita) sugieren bajas temperaturas, alrededor de 250°C.

El sondeo fue realizado con rumbo SE intentando cortar la estructura mineralizada, sin embargo no se observa mineralización, sólo pequeños cristales de sulfuros en vetillas de calcita y rodocrosita. Los halos filicos-argílicos, incrementos en la intensidad de alteración y presencia de sulfuros en vetillas al finalizar el sondeo, nos permiten estimar que la mineralización se encuentra a mayor profundidad. No obstante, el estudio de los testigos fue fundamental para caracterizar la mineralogía e intensidad de alteración hidrotermal presente en el área de mina La Poma.

La mineralogía de mena determinada en las vetas comprende minerales primarios y secundarios polimetálica de Pb - Cu - Zn - Mn - Fe. Los minerales primarios más abundantes son la galena, la esfalerita y la calcopirita junto con abundante ganga de carbonatos de Ca - Mn y cuarzo. Los minerales secundarios, como calcosina - covelina, cerusita y óxidos de Mn y Fe se formaron a partir de alteración por oxidación y enriquecimiento supergénico. Antiguamente las alteraciones de mina La Poma fueron definidas como resultantes de un sistema epitermal de baja sulfuración (Argañaraz y Sureda, 1979). Según los datos aquí expuestos, es más adecuado compararlo a este yacimiento con los modelos de baja sulfuración y sulfuración intermedia definidos por Hedenquist *et al.*, (2000); Sillitoe y Hedenquist, (2003); Simmons *et al.*, (2005). Tanto la mineralogía como las texturas, los metales asociados y su vinculación con rocas calcoalcalinas ácidas presentes en mina La Poma responden a un típico modelo de sulfuración intermedia (Tabla 5).

	<b>Depósito de BS</b>	<b>Mina La Poma</b>	<b>Depósito de SI</b>
Volcanismo asociado	Basaltos a riolitas	Riolitas	Andesitas y riolitas, riolacitas
Minerales de alteración	Illita/esmectita y adularia	Illita/esmectita	Illita
Texturas	Costriforme, coloforme. Textura de reemplazo de carbonatos	Brechas, bandeado costriforme	Bandeado costriforme
Minerales de ganga	Cuarzo, calcita, baritina poco frecuente, fluorita	Cuarzo, calcita, rodocrosita, silicato de mn, siderita	Cuarzo, calcita, rodocrosita, baritina, silicatos de mn
Sulfuros típicos	Arsenopirita, pirrotina. Cantidades pequeñas de esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita.	Galena argentífera, pirita, calcopirita, esfalerita, tetraedrita, bornita, ullmanita y marcasita	Esfalerita, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita.
Asociación de metales	Au+Ag	Ag+Au, Pb, Zn, Cu	Ag+Au, Pb, Zn, Cu
Metales accesorios	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Hg	As, Sb, Mo	Mo, As, Sb
Ag/Au	Menor 20/1	273/1	Mayor 10/1
Porcentaje de sulfuros	Inferior a 2%	Mayor a 15%	De 5 a 20%

**Tabla 5.** Cuadro comparativo de las características de los sistemas epitermales de baja sulfuración y sulfuración intermedia y su comparación con mina La Poma. / **Table 5.** Comparative chart of low and intermediate sulphidation epithermal system characteristic and the comparison with La Poma mine.

Por otra parte, las edades determinadas en illita hidrotermal correspondientes al Mioceno medio-superior que coinciden con el inicio del segundo evento de formación de la caldera

(Ignimbrita Tajamar según Petrinovic *et al.*, 2010). A pesar de que los cuerpos vetiformes y la alteración hidrotermal se alojan en la Ignimbrita Verde (17.5 y 16.2 Ma edades K - Ar en biotita, Petrinovic *et al.*, 1999 y 2010), probablemente el hidrotermalismo y la mineralización se formaron a partir de actividades pos-magmáticas que tuvieron lugar durante la tumescencia del segundo evento de caldera. La edad determinada en la muestra Mjas - 11 de 10.76 Ma sobre una muestra de alteración propilítica que se encuentra a 170 metros de profundidad, y la de la muestra Mp9, de 11.45 Ma, en una muestra superficial de alteración filica, presentan concordancia con la secuencia de formación de los eventos y procesos hidrotermales.

De acuerdo al análisis textural y mineralógico de las alteraciones presentes en el depósito considerado, se puede postular que el nivel de exposición actual se encuentra dentro de la paleozona de ebullición ascendente de los modelos analizados, donde principalmente ocurre la precipitación de los metales preciosos. La profundidad de formación según el modelo de Buchanan (1981) habría sido entre 300 - 600 metros.

## Conclusión

La alteración de la roca de caja permite determinar la siguiente mineralogía y tipos de alteración hidrotermal: silícica, filica (mica potásica de grano fino - clorita, illita/esmectita, esmectita), propilítica (clorita, montmorillonita, carbonato), argílica (caolinita, esmectita, montmorillonita, illita, yeso). Las temperaturas de formación de los minerales determinados en la alteración hidrotermal en superficie y sondeo variaron desde 350 a 250°C.

La alteración hidrotermal identificada en los sondeos permite interpretar que la mineralización se encuentra a mayor profundidad, debido a que las rocas poseen alteración propilítica a filica, incrementos en la intensidad de alteración y presencia de cristales de sulfuros.

En la roca de caja alterada y en las vetas aflorantes, la presencia de abundantes minerales de manganeso (óxidos, carbonatos y silicatos), la mineralogía de mena, texturas de relleno de espacios abiertos, sulfuros de metales bases (Pb - Ag - Zn y Cu con elementos accesorios como As y Sb) y la ausencia de adularia, permiten definir al sistema de mina La Poma, como un depósito epitermal de sulfuración intermedia. Por otro lado, algunos sulfuros como covelina y calcosina, junto con una amplia mineralización secundaria de carbonatos y óxidos indican una génesis por procesos meteóricos y de oxidación (supergénesis).

La edad del evento hidrotermal que produjo la mineralización se encuentra acotada entre 11.45 a 10.76 Ma, y se vincula con eventos magmáticos relacionados a la tumescencia del segundo evento de caldera.

## Agradecimientos

Este trabajo fue subsidiado por los fondos CONICET PIP 0489, ANPCYT PICT 381 y 0407. Los autores agradecen al SEGEMAR, al Lic. Guillou por facilitar material de estudio y a la Dra M. Godeas por la realización de los análisis de espectrometría SWIR. A los Ingenieros Químicos Pedro Villagrán y Silvia Blanco del Laboratorio de Microscopía Electrónica LASEM - UNSa - CONICET.

## Referencias

- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. 1981. *Geología del Noroeste argentino*. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Ciencias Naturales, Publicación especial N° 1287, Tucumán, 212 pp.
- Allmendinger, R., Jordan, T., Kay, S. e Isacks, B. 1997. The evolution of the Altiplano – Puna Plateau of the central Andes. *Annual Review Earth Planet Sciences*, 25: 139–174.
- 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.
- Balhbuhg, H. 1990. The ordovician Basin in the Puna of Argentina and Chile: geodynamic evolution, form back-arc to foreland basin. *11vo. Congreso Geológico Argentino*, Actas, II: 293-296. San Juan.
- 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). En: Colombo, Queralt y Petrinovic (Eds.) *Geología de los Andes Centrales Meridionales: El Noroeste Argentino*. *Acta Geológica Hispánica*, 34 (2-3): 273-301.
- 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.
- Cardero Resource Corporation, 2007. *Propiedad minera La Poma departamento La Poma*, provincia de Salta, Argentina. Informe Técnico, 7 pp. Inédito.
- Coira, B. 1973. Resultados preliminares sobre la petrología del ciclo Eruptivo Ordovícico concomitante con la sedimentación de la Formación Acoite en la zona de Abra Pampa, provincia de Jujuy, Argentina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 28(1): 85-90.
- Coira, B. 1975. Ciclo efusivo ordovícico registrado en la Formación Acoite, Abra Pampa, Argentina. *2° Congreso Ibero-Americano de Geología Económica*, Actas, I: 37-56. Buenos Aires.
- Coira, B. y Paris, G. 1981. Estratigrafía Volcánica del área Cerro Tuzgle (23° 50' Lat. S., 66° 45' Long. O.), provincias de Jujuy y Salta. *8vo Congreso Geológico Argentino*, Actas III: 659-671. San Luis.
- 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.
- Dong, G., Morrison, G. y Jaireth, S. 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland-Classification, origin, and implatation. *Economic Geology*, 90: 1841-1856.
- Godeas, M. 2010. *Estudio de muestras mediante el método de espectrometría de reflectancia SWIR*. Chorillos, distrito La Poma (Salta). SEGEMAR, Instituto de Geología y Recursos Minerales, Buenos Aires, Informe, 2 pp. Inédito.
- Hedenquist, J., Arribas, A. y González-Urien, E. 2000. Exploration for epithermal gold deposits, Reviews in *Economic Geology*, 13: 245-278.
- Isacks, B.L. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research*, 93: 3211–3231.
- Japan International Cooperation Agency, 1993. *Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina*, fase 1. Secretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR. Buenos Aires, 180 pp. Inédito.
- Japan International Cooperation Agency, 1995. *Informe sobre la exploración de minerales del área oeste de la República Argentina*, fase 2. Secretaría de Minería de la Nación, SEGEMAR. Buenos Aires. 127 pp. Inédito.
- Jordan, T. y Alonso, R. 1987. Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the Andes Mountains, 20°28" South latitude *American Association of Petroleum Geologist*, Bulletin, 71: 49-64.
- Kafino, C. V. 2009. *Estudo da composição e distribuição da alteração hidrotermal do Cerro Aguas Calientes*, Salta, Argentina, a partir de imagens Aster. 2009. Dissertação Maestría Inédita, Universidade de Brasília, Instituto de Geociências, Brasília, 62 pp. Inédito.
- Koukharsky, M., Coira, B. y Morello, O. 1989. Vulcanismo ordovícico de la Sierra de Guayaos, Puna Salteña. Características petrológicas e implicancias tectónicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 44 (1-4): 207-216.
- Mendez, V., Navarini, A., Piazza, D., Viera, O. 1973. Faja Eruptiva de la Puna Oriental. *5° Congreso Geológico Argentino*, Actas, IV: 89-100. Villa Carlos Paz, Córdoba.
- Mirré, J.C. 1974. El granito de Acay, intrusivo de edad terciaria en el ámbito de la Puna. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 29(2): 205-212.
- Mon, R. 1979. Esquema tectónico de los Andes del Norte Argentino. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 34 (1): 53-60.
- Mon, R. y Salfity, J.A. 1995. Tectonic evolution of the Andes of northern Argentina. En: Tankard, A. J., Suárez, R. and Welsink (eds.): *Petroleum basins of South America*. American Association of Petroleum Geologists, Memoir 62: 269-283.
- Moore, D.M. y Reynolds, R.C. 1997. X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals. *Oxford University Press, New York*, 378 pp.
- Morrison, G. Dong y Jaireth, S. 1990. *Textural zoning in epithermal quartz veins. Townsville, James Cook. University of North Queensland, AMIRA project P247*, 25 pp.

- Omarini, R.H. 1983. Caracterización litológica, diferenciación y génesis de la Formación Puncoviscana entre el Valle de Lerma y la Faja Eruptiva de la Puna. *Tesis Doctoral Inédita*, Universidad Nacional de Salta, Salta, 220pp. Inédito.
- Omarini, R.H., Viramonte, J.G., Cordani, U., Salfity, J. y Kawashita, K. 1984. Estudio geocronológico Rb/Sr de la Faja Eruptiva de la Puna en el sector de San Antonio de los Cobres, provincia de Salta. *9º Congreso Geológico Argentino*, Actas III: 146-158. Bariloche.
- Payrola, P.A., Hongn, F., Cristallini, E., García, V., del Papa, C. 2012. Andean oblique folds in the Cordillera Oriental - Northwestern Argentina: Insights from analogue models. *Journal of Structural Geology*, 42: 194-211.
- Petrinovic, I.A. 1992. Área volcánica del Cerro Aguas Calientes-Cerro Verde (Puna Argentina): volcanología y depósitos metálicos (Pb-Ag-Zn y Sb-Au) asociados. *4to. Congreso Nacional de Geología Económica*, Actas, I: 198-205. Córdoba.
- 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.
- Petrinovic, I.A., Marti 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.
- Pirajno, F. 1992. Hydrothermal Minerals Deposits. *Principles and fundamental concepts for the exploration geologist*. Springer, Berlín, 664 pp.
- Ramos, V. 1999. Rasgos estructurales del territorio Argentino. En: Caminos, R. (Ed.), *Geología Argentina*. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Anales, 29: 715-784.
- Riller, U. y Oncken, O. 2003. Growth of the central Andean Plateau by tectonic segmentation is controlled by the gradient in crustal shortening. *Journal of Geology*, 111: 367-384.
- Salado Paz, N., Petrinovic, I. y Avila J.C. 2010. Asociaciones de minerales supergénicos en la zona de oxidación de mina La Poma (Pb-Ag-Zn), provincia de Salta. *10º Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, Actas, I: 227-232. Río Cuarto, Córdoba.
- 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 Inédita. Universidad Nacional de Tucumán, Tucumán, 211 pp. Inédito.
- Salfity, J.A., Omarini, R., Baldi, B., Gutiérrez V. 1975. Consideraciones sobre la evolución geológica del Precámbrico y Paleozoico del Norte Argentino. *2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica*, Actas, IV: 341-361. Buenos Aires.
- Schwab, K. 1973. Die stratigraphie in der Umgebung des Salar de Cauchari (NW Argentinien). Ein Beitrag zur edgescchichtlichen Entwicklung der Puna. *Geotektonische Forschungen*, 43 (1-2): 1-168. Stuttgart.
- Sillitoe, R.H. y Hedenquist J.W. 2003. Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. En: Simmons, S.F., Graham, I.(Eds.), *Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids: Rulers and Witnesses of Processes within the Earth*. Society of Economic Geologists, Special Publication 10: 315-343.
- Simmons, S.F., White, N.C. y John, D.A. 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits, Society of Economic Geologists, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*: 485-522.
- Turner, J.C. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba*, v. 41 (2): 163-196.
- Turner, J.C. 1972. Puna. En: Leanza, A. (ed.), *Primer Simposio de Geología Regional Argentina*, Actas, 91-116. Córdoba.
- Urreiztieta, M., Gapais, D., Le Corre, C., Cobbold, P.R. y Rossello, E. 1996. Cenozoic dextral transpression and basin development at the southern edge of the Puna Plateau, northwestern Argentina. *Tectonophysics*, 254: 17-39.
- Vilela, C.R. 1969. Descripción geológica de la Hoja 6c, San Antonio de los Cobres (Salta y Jujuy). *Servicio Geológico Nacional*, Buenos Aires. 64 pp.
- Wemmer, K. 1991. K/Ar- Altersdatierungsmöglichkeiten für retrograde Deformation sprozesse im spröden und duktilen Bereich - Beispiele aus der KTB-Vorbohrung (Oberpfalz) und dem Bereich der Insubrischen Linie (N-Italien). *Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie* 51: 1-61.
- Zappettini, E. 1989. *Geología y metalogénesis de la región comprendida entre las localidades de Santa Ana y Cobres, provincias de Jujuy y Salta, República Argentina*. Tesis doctoral Inédita, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, 180 pp. Inédita.
- Zappettini, E.O. 1999. Mineralizaciones polimetálicas de los distritos El Quevar, La Poma-Incachule y Concordia, Salta. Recursos Minerales de la República Argentina. E.O. Zappettini (Ed), *Instituto de Geología y Recursos Minerales*, SEGEMAR, Anales 35: 1603-1611. Buenos Aires.

**Recibido:** 22 de Setiembre del 2016

**Aceptado:** 10 de Octubre del 2016