

GEOLOGÍA Y ESTRUCTURA DE LAS VETAS DE PARAMILLOS DE USPALLATA, PRECORDILLERA MENDOCINA

Ana Paula ORELLANO RICCHETTI¹, Diego WINOCUR², Nora RUBINSTEIN¹

¹ IGeBA-CONICET, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Emails: anapaula.orri@gmail.com; narubinstein@gmail.com.

² IDEAN-UBA, Departamento de Ciencias Geológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Email: diegowinocur@hotmail.com.

RESUMEN

El depósito Paramillos de Uspallata consta de 33 vetas polimetálicas encajadas en la secuencia triásica del Grupo Uspallata compuesta por rocas sedimentarias y volcánicas intercaladas con basaltos alcalinos. En el área también afloran intrusivos andesíticos y dacíticos de edad miocena. Se reconocieron 3 órdenes estructurales que comprenden fallas inversas de alto ángulo, corrimientos y fallas de rumbo, cuyo origen se vincula a extensión triásica y acortamiento neógeno. Las vetas están dentro del tercer orden estructural, presentan orientación principal NO, ONO y minoritariamente OSO. Para comprender su origen se analizó la estructuración y los contextos geodinámicos triásico y neógeno. Estudios petro-mineralógicos y estructurales realizados en ocho vetas permitieron determinar que están emplazadas en fracturas dilatantes con desplazamientos normales y de rumbo vinculadas a una estructura de primer orden de escala cortical. El análisis cinemático muestra una dirección con azimut 060° de apertura durante el emplazamiento de las vetas, asociable a los esfuerzos triásicos en la región.

Palabras clave: *Control estructural; cinemática; mineralización de Ag; paragénesis*

ABSTRACT

Geology and structural setting of the Paramillos de Uspallata polymetallic veins Mendoza, Argentina

The Paramillos de Uspallata ore is composed of 33-polymetallic veins emplaced in the Triassic Uspallata Group, which consist of sedimentary and volcanoclastic rocks interbedded with alkaline basalts and Miocene andesitic rocks. The structure of the area comprise at least three orders of structures developed during Triassic extension of the Cuyo basin and the shortening of Cenozoic Andean orogeny, including high angle reverse faults, thrust and strike-slip faults. The veins were included in the third order, presenting NW, WNW and minor WSW trending. We analyzed the Triassic and Neogene structuration and geodynamic context. We carried out structural and petro-mineralogical analysis in eight veins of the deposit in order to get an approximation to their origin. The results show that the veins were emplaced in dilatant fractures with normal and strike slip displacement, which are associated to a first order cortical scale structure. The kinematic analyses shows a tension direction at 060° strike during the mineralization, which could be assigned to Triassic regional extensional regimen.

Keywords: *Structural control; kinematics; Ag mineralization; paragenesis*

INTRODUCCIÓN

Las vetas de Paramillos de Uspallata (PdU) se ubican 23 km al noreste de la localidad de Uspallata, en la Precordillera de la provincia de Mendoza (Fig. 1a). Comprende un conjunto de vetas de Zn-Pb-Ag emplazadas en volcánicas y sedimentarias de edad triásica, las cuales han sido explotadas desde mediados del siglo XVII y hasta finales del siglo XX. El tonelaje total extraído fue de ~414.000 t (Lavandaio y Fusari 1986) con leyes que oscilan entre 0,35 y 6,56%

de Pb, 0,46 y 8,57% de Zn y 57 y 1002,5 g/t de Ag (Rayces 1949). Han sido explotadas a rajo abierto y en forma subterránea. La labor subterránea principal cuenta con tres niveles a los cuales fue posible acceder con permiso de los propietarios y donde se observaron los escasos restos del mineral de mena. Dichos niveles son el nivel Gobernador (actualmente a 2830 m s.n.m.), nivel Sauce (2800 m s.n.m.) y nivel Chile (2783 m s.n.m.). Las características de las labores realizadas, así como del mineral extraído, fueron documentadas a lo largo de la histo-

ria de la explotación por diferentes autores entre ellos Trewartha James (1923), Rayces (1949) y Romani (1971). Pese a la extensa explotación no se han realizado hasta el momento estudios que integren la información geológica del área y del depósito. Sobre el origen de las vetas Méndez y Zappettini (1984) señalan que se ubican en la periferia de la mineralización de los pórfidos cupríferos de Paramillos Norte y Sur, de edad miocena, aflorantes al este de la zona de estudio. Garrido *et al.* (2001) realizaron estudios isotópicos y de inclusiones fluidas

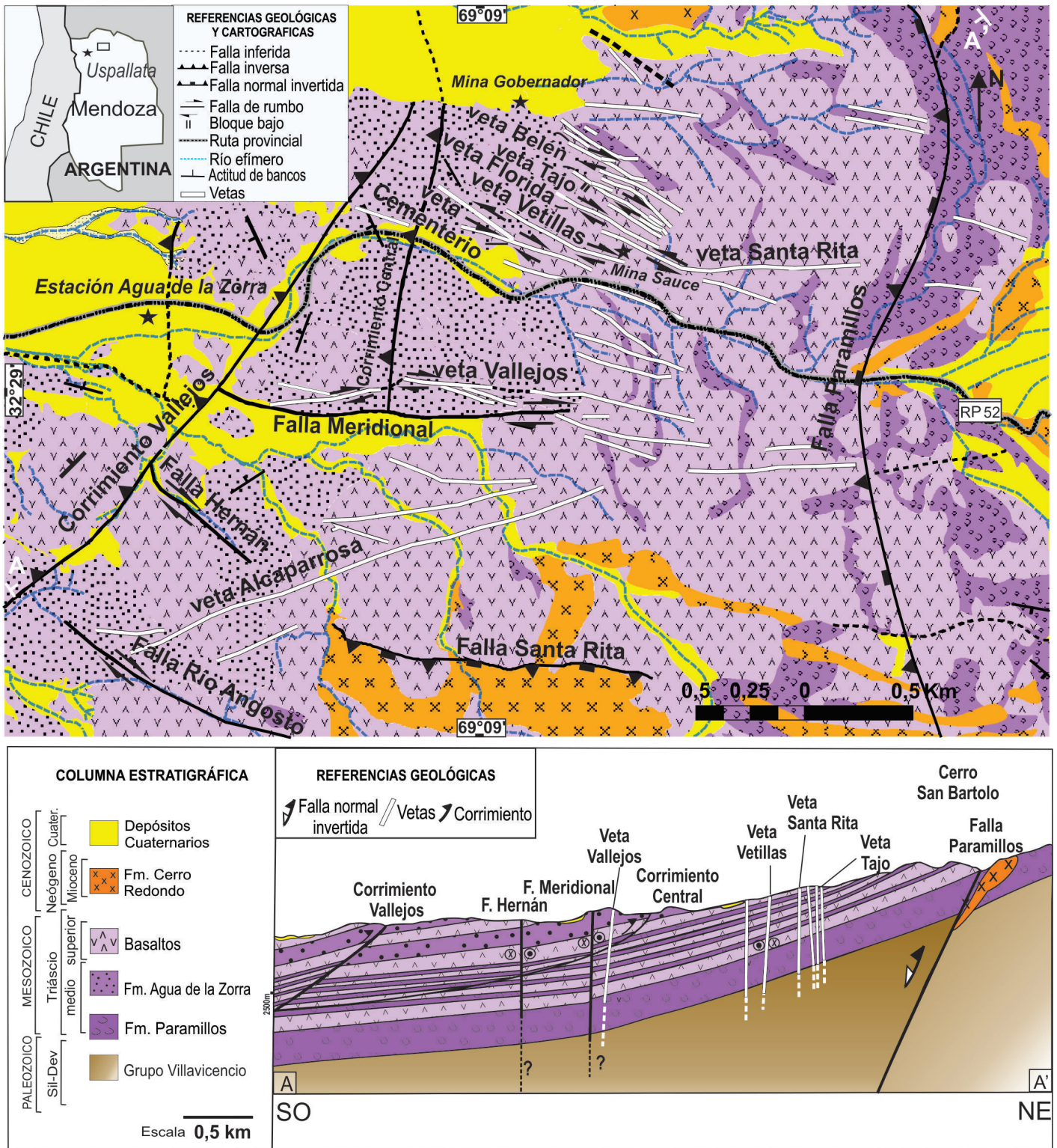


Figura 1: Área de estudio. a) Mapa de ubicación de las vetas de Paramillos de Uspallata, distribución de unidades aflorantes, estructuras y vetas; b) Perfil estructural del área a lo largo de la traza A-A'.

en la veta Tajo e indicaron que se trata de un sistema de vetas distales, intermedio entre los sistemas de pórfido y epitermal. Za-

ppettini *et al.* (2014) proponen un modelo relacionado a un nivel de despegue basal profundo (entre 10 y 15 km) donde existe

mineralización de Pb, Ag, Zn y Ba removilizados del basamento paleozoico, formando vetas emplazadas en fallas de alto ángulo

asociadas al sistema de rift mesozoico.

El presente trabajo tiene como objetivo contribuir a la caracterización de las estructuras que controlaron el emplazamiento a través de un análisis a diferentes escalas, y realizar un aporte a la caracterización del depósito mediante un análisis paragenético realizado en los niveles Sauce y Gobernador.

METODOLOGÍA

Este estudio involucró un análisis meso y macroestructural en estructuras aflorantes en el área y en las labores subterráneas de las vetas. El análisis mesoestructural se realizó a través de la observación, medición y descripción de la geometría y cinemática de las fallas, vetas y vetillas, utilizando los criterios de McClay (1987) y de Petit (1987); los datos son expresados con regla de la mano derecha (RMD). Para el análisis macroestructural, además de los datos de campo, se utilizaron imágenes satelitales de *Google Earth* y *Flash Earth*. Se analizaron con microscopio de luz transmitida y reflejada 10 muestras de veta, 5 de roca de caja y 5 de rocas espacialmente asociadas a las vetas. Para 3 muestras de vetas se analizó la composición química semicuantitativa (% en peso) de las distintas fases minerales con un microscopio Field Emission SEM (FESEM, Zeiss-Supra 40) provisto de un detector EDS (*Energy Dispersing Spectroscopy*), marca Oxford Instruments, modelo Inca X-Sight. La capacidad de detección de este instrumento es de 0,1 % en peso de cada elemento con volumen de interacción mínimo de un micrón. Los datos recogidos por el microscopio son procesados automáticamente por el *software* INCA que calcula el porcentaje en peso del elemento.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Las vetas de Paramillos de Uspallata (Fig. 1a) se encuentra en la Precordillera Sur, dentro del depocentro Paramillos de la cuenca Cuyana. Este depocentro está formado por fallas inversas de alto y bajo ángulo asociadas a estructuras oblicuas de orientación NNO y NO (Cortés 1998, Cortés *et al.* 2005). La estructuración es reflejo de los esfuerzos tensionales triásicos, de dirección NE, que originaron la Cuenca Cuyana, así como del

acortamiento neógeno, E-O a ENE, que afectó la región durante la orogenia Andina e invirtió algunas de las estructuras previamente originadas.

Dentro de la Cuenca Cuyana los depósitos triásicos del depocentro Paramillos de Uspallata se reúnen bajo el Grupo Uspallata, de acuerdo con la unificación propuesta por Strelkov y Alvarez (1984). Su base se apoya sobre depósitos marinos intensamente deformados del Grupo Villavicencio de edad paleozoica temprana y sobre las rocas ígneas y volcánicas del Grupo Choiyoi de edad permotriásica (Strelkov y Alvarez 1984, Ramos y Kay 1991). Estratigráficamente por encima, y en algunos casos en relación de intrusión, se encuentran las volcánicas de edad miocena de la Formación Cerro Redondo (Cortés 1992). Cubriendo a las unidades mencionadas, los sedimentos cuaternarios tapizan las laderas, valles y conforman extensas bajadas aluviales.

GEOLOGÍA DEL ÁREA

En el área aflora la sección inferior del Grupo Uspallata compuesta por depósitos continentales y rocas volcánicas intercaladas con coladas y filones basálticos de edad triásica. En dichas rocas se intruyen las andesitas de la Formación Cerro Redondo de edad miocena (Fig. 1a).

Grupo Uspallata

Aflora en toda el área del depósito y comprende a las Formaciones Paramillos y Agua de la Zorra. Corresponde a depósitos continentales de rift y post-rift de granulometría variada, intercalados con intrusivos de composición básica a intermedia que abarcan del triásico inferior alto al superior medio. La Formación Paramillos aflora el este y norte del área de estudio y está compuesta por areniscas tobáceas y tobas color pardo amarillento, de grano mediano a grueso con troncos fósiles en posición de vida. Incluye areniscas calcáreas, lutitas margosas y margas, con intercalaciones de tobas y restos de plantas. Se correlaciona con la parte media y superior de la Formación las Cabras (Harrington 1971) del depocentro Cacheuta-Poterillos, que según dataciones U-Pb SHRIMP en circones posee una edad de $243,0 \pm 4,7$ Ma (Ávila *et al.* 2003).

La Formación Agua de la Zorra aflora en el sector centro y suroeste del área y consta de

tobas y tufitas blanquecinas con estratificación horizontal y entrecruzada caótica, con bajo a moderado grado de soldadura que engloban troncos de araucarias. Las mismas se intercalan con areniscas de color castaño claro de grano grueso y areniscas conglomeradas con laminación en artesa. Hacia el tope está conformada por pelitas y calizas gris oscuro. Al microscopio, las tobas presentan textura cristaloclastica y matriz vítrea, con abundantes cristaloclastos de cuarzo y feldespato. En forma subordinada se reconocen vitroclastos con bajo a moderado grado de aplastamiento, fragmentos alargados de pómez, y trizas blocosas desvitrificadas en textura axiolítica. Contiene escasos litoclastos de esquistos cuarzo-biotíticos y basaltos.

Los basaltos triásicos son de amplia distribución en el área del depósito y corresponden a basaltos alcalinos que se presentan en forma de coladas y filones, en ocasiones autobrechados, de colores negro, gris y verde. Poseen textura afírica amigdaloides con cantidades variables de fenocristales de plagioclasa, olivina y piroxeno, inmersos en una pasta intersertal constituida por microlitos de plagioclasa entre los que se reconocen principalmente minerales opacos (magnetita) y agregados sericítico-arcillosos. De acuerdo con Massabie (1985), sobre la base de dataciones K/Ar en roca total, la edad de estas rocas está comprendida entre el Triásico medio y superior.

Formación Cerro Redondo

Aflora al este y sur del área y está compuesta por rocas de composición andesítica a dacítica con xenolitos de basaltos triásicos. Son de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa, hornblenda y subordinados clinopiroxeno y cuarzo, inmersos en una pasta donde se reconoce un fino agregado de feldespato, anfíbol y cuarzo. Presentan suave a moderada alteración sericítico-arcillosa y propilitica (carbonato-clorita-epidoto) de distribución penetrante. Dataciones K/Ar en roca total (Massabie *et al.* 1985, Ramos *et al.* 1991) permiten a establecer para este evento magmático una edad oligocena tardía - miocena temprana.

ESTRUCTURA DEL ÁREA

Para la descripción e interpretación estructural se reconocieron tres órdenes princi-

pales de estructuras que se diferencian por su extensión y jerarquía (Figs. 1a y b). El primer orden comprende una falla de alto ángulo de alcance regional, con orientación general N-S, y de más de 7 km de extensión. Separa bloques con características disímiles e involucra dos o más episodios de desplazamiento de falla. El segundo orden incluye una falla inversa de alto ángulo de orientación E-O, corrimientos de orientación NE y N-S, y fallas de rumbo NO. Son de menor extensión, desde 1 a 4 km, con desplazamientos aparentes de entre 0,3 y 1 km y generadas por uno o más eventos de movimiento. Afectan las secuencias en forma local poniendo en contacto rocas de una misma unidad o unidades contiguas. Las estructuras que conforman el tercer orden corresponden a corrimientos intra-formacionales de orientación N-S, NNE y NNO, fallas normales NO y E-O y fallas de rumbo de pequeña escala con orientación variable. Presentan una extensión menor a 1 km y fueron generadas a partir de un único evento dando como resultado rechazos que no superan los 0,1 km. Dentro de este conjunto se ubican las vetas mineralizadas del depósito.

Estructuras de primer orden

Dentro de este grupo se encuentra la falla Paramillos (Cortés *et al.* 1997) visible a lo largo de todo el sector este. Corresponde a una falla inversa de alto ángulo de actitud 330° a $023^\circ/50^\circ$ que en el área de las vetas pone en contacto a los basaltos triásicos con la Formación Paramillos, a lo largo de ~4 km. Presenta características regionales que permiten adjudicarle un control paleozoico inferior vinculado a la estructuración del Grupo Villavicencio (Cortés *et al.* 1997 y Giambiagi *et al.* 2011).

Estructuras de segundo orden

En el sector occidental comprende las fallas Hernán y Río Angosto, dos fallas de rumbo con desplazamiento dextral, subparalelas, de actitud $130^\circ/90^\circ$, con 60 y 110 m de extensión respectivamente. Afectan a la Formación Agua de la Zorra y a los basaltos triásicos con desplazamientos de 100 y 200 m. En forma ortogonal a las anteriores se disponen los corrimientos Vallejos y Central. El corrimiento Vallejos posee actitud $220^\circ/30^\circ$, es de 3,7 km de extensión y afecta a la Formación Agua de la Zorra y a los

basaltos triásicos. El corrimiento Central es de actitud $200^\circ/30^\circ$, con 2 km de extensión, afecta a la Formación Agua de la Zorra y a los basaltos triásicos. La falla Meridional constituye una falla E-O con desplazamiento de rumbo dextral y con 3,5 km de extensión. Atraviesa la Formación Agua de la Zorra y los basaltos triásicos con 800 m de desplazamiento horizontal. Hacia el sector centro-sur se presenta una falla normal invertida, denominada Santa Rita de actitud $090^\circ/45^\circ$ a 85° y bloque austral hundido; afecta a los basaltos triásicos e involucra un intrusivo de la Formación Cerro Redondo.

Estructuras de tercer orden

Este grupo presenta diversas estructuras menores distribuidas ampliamente en las rocas triásicas. Incluye fallas normales y de rumbo de orientación principal NO a ONO con 50° a 90° de inclinación y corrimientos de orientación N-S a NNE y NNO con inclinación entre 25° y 30° , de decenas de metros de extensión, los cuales no fueron representados en el mapa. Dentro del tercer orden se incluye a las vetas mineralizadas aflorantes en todo el sector central y centro-sur que se describen a continuación.

VETAS DE PARAMILLOS DE USPALLATA

Se reconocieron 33 vetas emplazadas en las diferentes unidades que integran el Grupo Uspallata dentro de un área aproximada de 12,5 km². Son de entre 0,40 y 2 km de longitud, se extienden hasta al menos 70 m de profundidad y tienen rumbo variable entre 075° y 135° , con buzamientos frecuentemente superiores a 65° (Harrington 1971, Lavandaio y Fussari 1999, Garrido *et al.* 2001). Presentan textura brechosa, maciza, bandeada y en cocarda (Figs. 2c y d) con una paragénesis de mena homogénea a lo largo de todo el depósito, compuesta por galena argentífera y esfalerita acompañadas por tetraedrita-tenanita, freibergita, antimonita, jamesonita, gratonita, jordanita, boulangerita, owyhecita, pirita, arsenopirita, calcopirita y oro nativo en una ganga compuesta por siderita manganesífera, calcita, cerusita y en menor proporción cuarzo y escasas calcedonia y baritina (Avé-Lallemant 1890, Rayces 1949, Schalamuk e Iñiguez 1981, Carrasquero y Del Blanco 2010, Carrasquero *et al.* 2013). Como mi-

nerales supergénicos se reconocieron óxidos de Mn (pirolusita), crisocola, óxidos de Cu (malaquita y azurita), calcosina, piromorfita, limonitas, argentita, haluros de Ag (cerargirita, bromoargirita e iodargirita) y Ag nativa, así como yeso (Avé-Lallemant 1890, Rayces 1949, Botto *et al.* 1996).

Estructura de las vetas

Se realizó el análisis estructural de las vetas Belén, Tajo, Florida, Santa Rita, Vetillas, Cementerio, Vallejos y Alcaparrosa (Fig. 1a), cuyas características se resumen en el cuadro 1. En su mayoría las vetas coinciden con fallas de rumbo con componente de desplazamiento normal. En roca de caja de basalto la veta está formada por una o dos bandas mineralizadas que se unen y se curvan tanto en la horizontal como en la vertical y presentan fracturas tensionales y Riedel, rellenas con la misma asociación paragenética que la veta principal (Fig. 2a). En la roca de caja sedimentaria, la veta forma una faja de hasta 1 m de ancho compuesta por múltiples vetillas de hasta 4 cm intercaladas con roca de caja. Donde las vetas se curvan es evidente la presencia de *jogs* dilatacionales, con geometrías en *echelon*, en algunos casos formando mallas extensionales, los cuales se reconocen a distintas escalas (Fig. 3). A escala del depósito algunas vetas poseen terminación en cola de caballo (Fig. 1a).

Para considerar un origen sin-mineralización de las estrías en las vetas, solo se consideraron los datos tomados donde la veta se halla bien preservada, con continuidad lateral y con texturas típicas de bombeo sísmico. Las estrías y escalones de falla hallados entre la pared y la veta pueden ser reactivaciones posteriores al no encontrar otros indicios de simultaneidad con la mineralización.

La veta Belén es de actitud principal $120^\circ/90^\circ$, con 0,1 a 1,10 m de ancho promedio y 250 m de corrida, se curva a $130^\circ/90^\circ$ y tiene desplazamiento dextral observado en fracturas Riedel mineralizadas en torno a un plano $100^\circ/90^\circ$ (Fig. 2b); al este presenta una rama subsidiaria $102^\circ/90^\circ$ de 0,15 de ancho promedio y ~70 m de corrida. La veta Tajo, observada en profundidad a la altura del nivel Sauce, es de actitud general $290^\circ/73^\circ$, está formada por ramificaciones de entre 0,15 y 1,2 m de ancho que varían a una actitud $110^\circ/35^\circ$, y la corrida es de ~400 m. Se encuentra emplazada en una

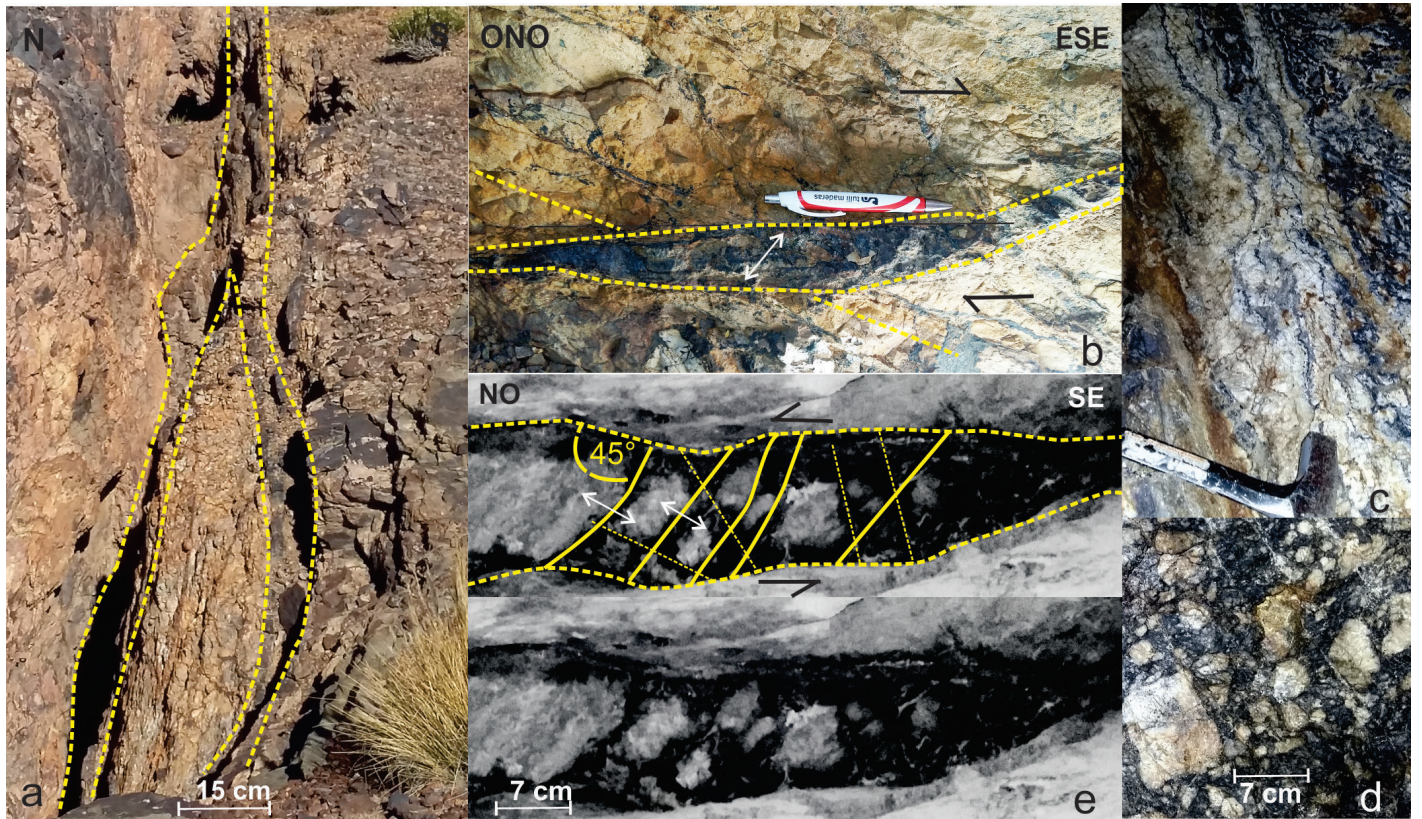


Figura 2: Características geométricas y texturales de las vetas. a) Veta Vetillas (parcialmente explotada) con curvatura y bifurcación; b) Veta Belén, fracturas Riedel mineralizadas que indican un desplazamiento dextral, en torno un plano mineralizado $100^{\circ}/90^{\circ}$; c-d) Veta Tajo, textura costrificada y brechosa, respectivamente; e) Veta Santa Rita con videncias de cizalla sinistral en jog de tipo malla extensional. La veta coincide con un plano de cizalla principal de azimuth 110° con desarrollo de fracturas tensionales escalonadas (línea continua). Otras fracturas en línea punteada.

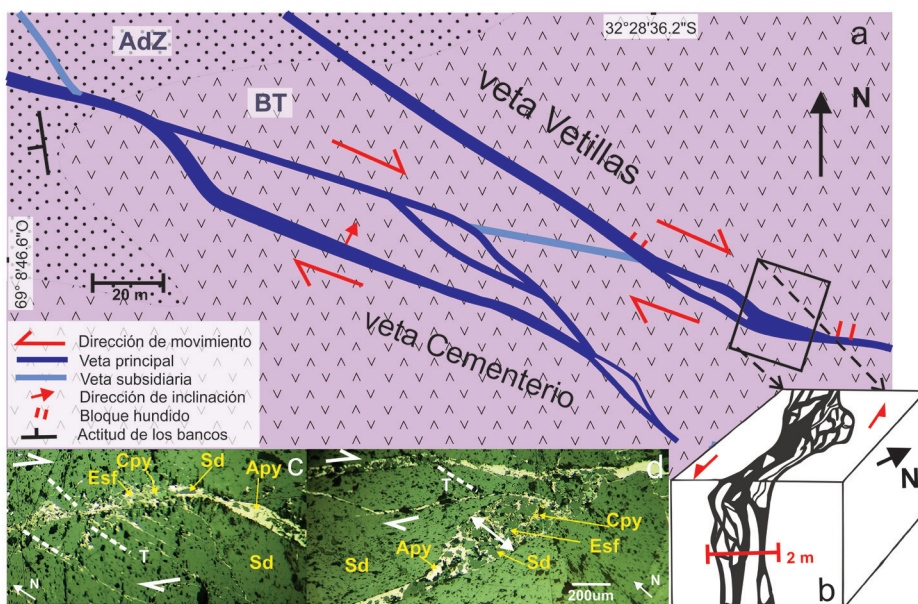


Figura 3: a) Detalle de la morfología de las vetas Vetillas y Cementerio con jogs dilatacionales a lo largo de curvaturas cóncavas hacia el NE. Adz: Formación Agua de la Zorra. BT: basaltos triásicos; b) Block diagrama que representa el emplazamiento de las vetas a lo largo de bloques cizallados; c-d) Repetición de la geometría a diferentes escalas. Fotomicrografías de la veta Florida, fracturas tensionales (T) mineralizadas y jogs dilatacionales con relleno de brecha con clastos de siderita (Sd), esfalerita (Esf) y calcopirita (Cpy) cementados por arsenopirita (Apy).

falla normal con desplazamiento oblicuo dextral con bloque N hundido, de acuerdo con estrías y escalones de falla hallados en la veta en un plano mineralizado de actitud $290^{\circ}/73^{\circ}$, asociado a una brecha hidrotermal con clastos de hasta 7cm y textura costrificada (Figs. 2c y d). La veta Florida es de rumbo $110^{\circ}/90^{\circ}$ a $120^{\circ}/90^{\circ}$, con 0,15 a 0,5 m de espesor y tiene 500 m de corrida. Se reconocieron estrías en un plano mineralizado $110^{\circ}/90^{\circ}$, microfracturas tensionales y jogs con microbrechamiento que indican desplazamiento dextral (Fig. 3c y d). La veta Santa Rita presenta una curvatura prominente de actitud $100^{\circ}/90^{\circ}$ que al este se hace $088^{\circ}/71^{\circ}$, es de 0,1 a 1 m de espesor y ~ 1000 m de corrida. En el nivel Sauce se observaron dos ramas principales subparalelas de actitud $090^{\circ}/90^{\circ}$ y $095^{\circ}/45^{\circ}$ que forman un jog de tipo malla extensional con fracturas sigmoidales que señalan desplazamiento sinistral a lo largo de un plano de azimuth 110° (Fig. 2b), en tanto que en el nivel Chile ambas vetas se unen con una ac-

CUADRO 1: Síntesis de la información sobre las vetas relevadas del yacimiento.

Veta	Ubicación	Actitud (RMD)		Ancho de corrida (m)	Alteración roca de caja	Paragénesis	Roca de caja	Cinémática
		Az.	Inc.					
Belén (B)	32°28'21.2"S 69°8'45.3"O	Rama principal		0,1-1,1 l 250	Cuarzo, carbonato, sericitas	Esf, Gn, Cpy, Apy, Mr sulfosales de Ag, As y Sb	BT	Dextral
		120°	90°					
	135°	90°						
	Rama N							
32°28'26.4"S 69°9'9.5"O	102°	90°	0,15 l 70					
	110°	35°	0,1-1,2 l 400					
Tajo (T)	32°28'29.6"S 69°08'46.0"O	110°	35°	0,1-1,2 l 400	Cuarzo, carbonato, sericitas	Esf, Gn, Cpy, Apy, Mr sulfosales de Ag, As y Sb	BT	Dextral
		290°	73°					
Florida (F)	32°28'26.6"S 69°8'42.1"O	110°	90°	0,1-0,5 l 500	Cuarzo, carbonato, sericitas	Esf, Gn, Cpy, Py, Apy, Mr sulfosales de Ag, As y Sb	BT	Dextral
		120°	90°					
Santa Rita (SR)	32°28'41.0"S 69°8'45.9"O	080°	71°	0,1-1 l 1000	Cuarzo, carbonato, sericitas	Esf, Gn, Cpy, Py, Apy, Mr sulfosales de Ag, Sb, As y Bi	BT	Sinistral
		100°	90°					
Vetillas (Ve)	32°28'36.5"S 69°8'50.2"O	300°	60°	0,1-0,5 l 400	Cuarzo, carbonato, sericitas	Esf, Gn, Sd, Qz	BT, AdZ	Dextral
		315°	90°					
Cementerio (C, CN)	32°28'37.0"S 69°8'43.1"O	Rama principal		0,1-0,9 l 1000	Cuarzo, carbonato, sericitas	Gn, Esf, Sd, Qz	BT, AdZ	Dextral
		310°	70°					
	265°	90°						
	Rama N							
32°28'28.3"S 69°9'5.9"O	140°	65°	0,8 l 380	Cuarzo, carbonato, sericitas	Gn, Esf, Sd, Qz	BT	Dextral	
	102°	90°						
Vallejos (Va)	32°28'58.2"S 69°9'35.7"O	083°	85°	0,6-1 l 2000	Cuarzo, carbonato, sericitas	Gn, Esf, Sd, Qz	BT	Dextral
		102°	90°					
Alcaparrosa	32°29'27.4"S 69°9'35.2"O 69°9'28.2"O	075°	90°	1,1 l 2500	Cuarzo, carbonato, sericitas	Gn, Esf, Py, Cpy, sulfosales de Ag*	BT, Adz	Dextral
		075°	90°					

Corridas aproximadas tomadas de imágenes satelitales (Google Earth). BT: basaltos triásicos, AdZ: Formación Agua de la Zorra. Qz: cuarzo, Gn: galena, Esf: esfalerita, Py: pirita, Cpy: calcopirita, Apy: Arsenopirita, Mr: marcasita. * Avé-Allemant (1890).

titud 100°/71°. La veta Vetillas es de actitud 300°/90° a 315°/60°, con un ancho de 0,1 a 0,5 m y ~400 m de corrida. Se encuentra emplazada en una falla normal con desplazamiento de rumbo dextral de bloque N hundido, donde se desarrolla un importante

jog dilatacional a lo largo de una curvatura cóncava hacia el NE (Fig. 3a). La veta Cementerio es de actitud 085°/70° a 130°/90°, con 0,1 a 0,9 m de potencia y ~1000 m de corrida. Su emplazamiento coincide con una falla de rumbo dextral con desarrollo

de un *jog* dilatacional en *echelon* (Fig. 3a). La rama subsidiaria norte es de actitud 140°/65°, con un espesor de 0,8 m y presenta desplazamiento sinistral evidenciado en escalones de falla entre la pared y la veta. Al O la veta está afectada por el corrimiento Central. La veta Vallejos tiene un rumbo que varía entre 083° y 102°, con 85° a 90° de buzamiento al N y S, tiene un ancho de entre 0,6 y 1 m y ~2000 m de corrida. En la rama subsidiaria norte presenta una actitud de 100°/85° al S. Posee terminación en cola de caballo y en sus paredes se reconocieron estrías en un plano mineralizado 095°/90°, con textura de brecha. Al E se ve interrumpida por el corrimiento Central. La veta Alcaparrosa tiene actitud 075°/90°, 0,65 m de potencia promedio y ~2500 m de corrida. Se halla encajada en un dique de diabasa de 1,1 m de espesor, intruído en las sedimentitas y tobas de la Formación Agua de la Zorra. Teniendo en cuenta la disposición de las vetas subsidiarias alrededor de la veta principal se infiere un desplazamiento dextral para la misma.

Alteración hidrotermal de la roca de caja

Desarrolla un halo cuyo espesor varía entre 0,2 y 1 m. En los basaltos está representada por moderada a fuerte sericitización de las plagioclasas y fuerte carbonatización acompañada de óxidos de hierro y titanio que se presenta como reemplazo de los minerales máficos, y en forma diseminada. Asimismo se encuentran carbonatos, clorita, cuarzo, calcedonia y minerales opacos como relleno de amígdalas, y cuarzo y carbonato en vetillas tardías. En las tobas está representada por carbonatización penetrante con subordinada diseminación de opacos en la matriz y como reemplazo de los cristaloclastos de feldespatos y de los vitroclastos. A su vez se reconoce moderada a fuerte sericitización en los feldespatos y en los litoclastos.

Paragénesis mineral

Los análisis petro-mineralógicos llevados a cabo en muestras de los niveles Sauce y Gobernador (ubicación Fig. 1a), permitieron determinar que la paragénesis de mena está compuesta por esfalerita, galena, pirita y calcopirita reemplazadas por sulfosales, en concordancia con lo descrito en Orellano *et al.* (2015). Se observa además arsenopirita y marcasita reemplazando en venillas tardías con ganga de cuarzo (Fig. 3d). La ganga está constituida por cuarzo y siderita que alter-

nan con los minerales de mena otorgándole a la muestra textura bandeada.

Los análisis de la química mineral realizados con SEM-EDS (Cuadro 2) indican que la galena es argentífera y la esfalerita corresponde a una especie rica en hierro, en tanto que la pirita, calcopirita, marcasita y arsenopirita muestran una composición aproximadamente constante. Asimismo permitieron establecer que las sulfosales corresponden a un miembro de la serie freibergita-tenantita ($Cu_9(Zn,Fe)_2(AgSb)_5S_{17}$) que se encuentra intercrecido con argentobismutinita ($BiAgS_2$) y pirargirita ($SbAg_3S_3$). Por otra parte revelan la presencia de dos generaciones de pirita y galena también reemplazadas parcialmente por las sulfosales. En función de las relaciones texturales se estableció la secuencia paragenética que se presenta en la figura 4.

DISCUSIÓN

Evolución estructural

En el área prevalece una superposición de estructuras originadas al menos en dos períodos de deformación, en presencia de un control estructural N-S a NNO ejercido por la anisotropía del Grupo Villavicencio sobre estructuras de primer orden (Falla Paramillos). Durante el episodio extensional triásico los esfuerzos extensionales de dirección NE a NNE y luego ENE (Japas *et al.* 2008, Giambiagi *et al.* 2011) condujeron a la generación de las fallas con orientaciones NO y E-O (fallas Río Angosto, Hernán, Meridional y Santa Rita) con ulterior desplazamiento dextral producto de la rotación de los esfuerzos, y junto con la reactivación de la falla Paramillos. Este conjunto de estructuras habría sido activo al momento de la depositación del Grupo Uspallata. En el Mioceno medio, a estas latitudes tuvo lugar el período de principal acortamiento orogénico (Ramos y Cortés 1993), con patrones de esfuerzos E-O a ENE, producto del cambio de patrón de convergencia asociado a la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana (Somoza y Ghidela 2005). En respuesta a dichos esfuerzos las fallas triásicas con orientación favorable fueron invertidas, y se generaron nuevas estructuras compresivas. Dentro del área la estructura principal que evidencia la inversión es la falla Paramillos, dado el marcado aumento en la inclinación de los bancos desde el oeste

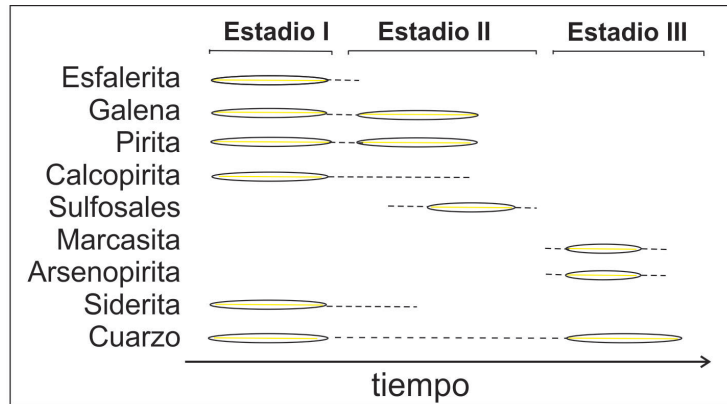


Figura 4: Diagrama paragenético de los minerales de mena y ganga según los análisis realizados en los niveles Saucedo y Gobernador.

CUADRO 2: Rango de composición química semicuantitativa (% en peso) obtenida con SEM-EDS (microscopio electrónico de barrido provisto de equipo de energía dispersiva) para distintas fases minerales de los niveles Saucedo y Gobernador.

	S%	Pb%	Cu%	Fe%	Zn%	As%	Sb%	Ag%	Bi%
Nivel Saucedo	Galena	15-17	77-85		0-2			1-3	
	Esfalerita	31-32			1-2	66-67			
	Calcopirita	33-35		31-35	30-36				
	Pirita	48-61			39-52				
	Marcasita	53-63			37-47				
	Arsenopirita	23-24			33-35		40-43		
	Freibergita-Tenantita		20-24	15-24	2-5	2-5		25-27	13-31
	Argentobismutinita	17-18				5-6		25-31	47-55
	Pirargirita		17-18					21-23	59-60
Nivel Gobernador	Esfalerita	27-30			6-8	48-54			
	Pirita	52-54			46-48				

hacia el este que demuestra que la inversión parcial habría sido mayor en las estructuras orientales que en las occidentales donde, al este, se exhiben las secuencias más profundas en contacto tectónico con las rocas más jóvenes (Fig. 1b). Para el caso de la falla Santa

Rita la inversión fue leve debido a su orientación E-O poco favorable para la inversión, visible en la suave inclinación de los bancos ubicados en el bloque sur. Los corrimientos Vallejos y Central de orientación NO y N-S descriptos en el área fueron originados ne-

tamente durante el acortamiento mioceno debido a su orientación, el carácter inverso de bajo ángulo y el moderado acortamiento (carácter intra-formacional) propio de la baja influencia de la deformación neógena en la depresión de Paramillos (Cortés *et al.* 1997 y 2005). Su origen se asocia a la inversión de estructuras mayores que absorben la deformación post-triásica en forma de corrimientos de paso y sobre paso.

Análisis cinemático y control estructural de las vetas

El cálculo de la orientación de ejes cinemáticos realizado mediante el programa *FaultKinWin* (Allmendinger 2001), a partir de datos de orientación de la veta, dirección y sentido de movimiento, permite reconocer una dirección de extensión de azimut 060° con predominio de una componente trasversiva. Es posible la reactivación cenozoica sinistral en vetas menores (rama norte de la veta Cementerio). La cinemática sinistral de la veta Santa Rita (NO a E-O) podría guardar relación con la pronunciada inflexión a lo largo de su rumbo (Fig. 1a), requiere un mayor análisis dada su complejidad y longitud. La orientación de los ejes de extensión de las vetas se condice con los esfuerzos triásicos definidos en la región y se diferencia de los esfuerzos cenozoicos relevados en el

área (Fig. 5c). Habría una estrecha relación entre las vetas y la actividad de la falla Paramillos dada su extensión, el alto grado de actividad y la disposición ortogonal de las vetas a lo largo de las inflexiones de su traza, que controla la distribución local de los esfuerzos regionales y genera desplazamiento de rumbo a lo largo de bloques cizallados donde se emplazan las vetas. Esta estructura de primer orden actuaría como conducto con el basamento de donde se ha propuesto que provienen los metales (Zappettini *et al.* 2014).

CONCLUSIONES

Las vetas de Paramillos de Uspallata presentan homogeneidad mineralógica y morfológica, con evidencias de una importante componente de cizalla dextral durante su emplazamiento. Los análisis petro-mineralógicos expuestos en el presente trabajo permitieron establecer la existencia de tres episodios de mineralización, el primero compuesto por galena, pirita y calcopirita, un segundo estadio de galena, pirita y sulfosales, y un tercer estadio compuesto por marcasita y arsenopirita. Se destaca el hallazgo de una nueva fase portadora de plata, un mineral de la serie freibergita-tenantita. El análisis cinemático realizado hasta el mo-

mento favorece la hipótesis de un emplazamiento bajo el régimen extensional triásico, con escasas evidencias reconocidas de reactivación posterior, lo que preliminarmente favorecería una vinculación genética con el desarrollo del rift, tal como fuera propuesto por Zappettini *et al.* (2014). Esta hipótesis se refuerza en que las vetas se hallan encajadas únicamente en las rocas de edad triásica, sumado a que algunas de ellas se encuentran cortadas por corrimientos neógenos, y no se observaron evidencias de relación con la mineralización de pórfiros de Paramillos de edad miocena.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca en la tesis doctoral de la primera autora, y ha sido parcialmente financiado por el PICT 2014-1280. Los autores agradecen a los revisores de este trabajo por sus valiosos aportes a la calidad del manuscrito y a Alicia Capredoni por permitir realizar los trabajos de campo en el ámbito del Geoparque y el uso de sus instalaciones.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

Allmendinger, R.W. 2001. *FaultKinWin*, version 1.1. A program for analyzing fault slip data for

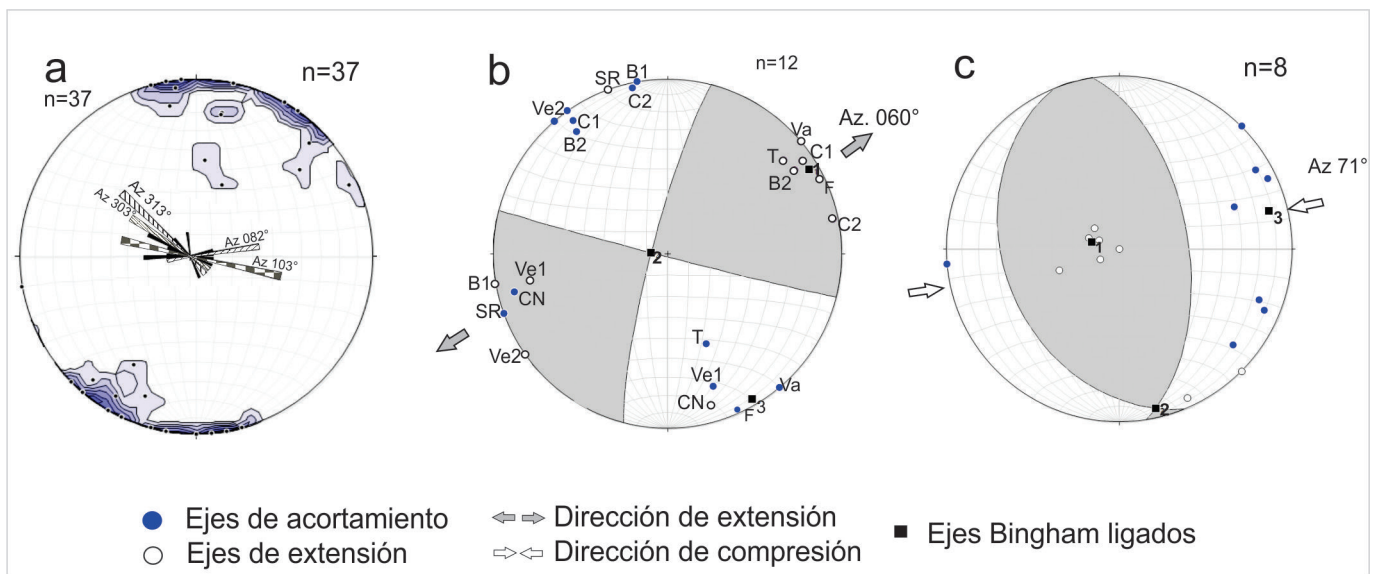


Figura 5: Representación estereográfica de los datos relevados en el área de Paramillos de Uspallata. a) Diagrama de frecuencia de actitud de vetas y vetillas con polos de planos mineralizados (densidad de polos al 1% de área); b) Datos cinemáticos por veta y cálculo de ejes cinemáticos de extensión y acortamiento, planos nodales que delimitan cuadrantes de extensión (gris) y acortamiento (blanco). Ver nomenclatura de vetas en el cuadro 1. Al restituir las estructuras de acuerdo con la estratificación no se observó variación significativa en la ubicación de los ejes cinemáticos; c) Datos cinemáticos y cálculo de ejes cinemáticos de extensión y acortamiento según las estructuras cenozoicas de primer y segundo orden relevadas en el área del depósito.

- Windows™ computers.
- Avé-Lllemant, G. 1890. Estudios mineros en la provincia de Mendoza, la parte septentrional de la sierra de Uspallata. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias* 12: 131-176.
- Ávila, J.M., Chemale Jr., F., Kawashita, K., Armstrong, R. y Cingolani, C.A. 2003. Sm-Nd isotopic signature and U-Pb SHRIMP zircon dating of the Cacheuta Sub-basin, Cuyo Basin, NW Argentina. 4° South American Symposium on Isotope Geology, Actas 1: 147-150, Salvador de Bahia.
- Botto, I.L., Barone, V.L., Castiglioni, J.L. y Schalamuk, I.B. 1996. Influencia del medio en la composición de una especie mineral: estudio de la piromorfito de Paramillos de Uspallata, Mendoza, Argentina. 3° Reunión de Mineralogía y Metalogenia. Instituto de Recursos Minerales, Actas 5: 67-72, La Plata.
- Carrasquero, S.I. y Del Blanco, M. 2010. Mineralogía de la veta "Santa Rita", Paramillos de Uspallata, Mendoza, Argentina. 10° Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas 1: 41-44, Río Cuarto.
- Carrasquero, S.I., Rubinstein, N.A. y Belvins, R. 2013. Paragénesis mineral de la Veta Tajo, Paramillos de Uspallata, Mendoza, Argentina. *Acta Geológica Lilloana* 25: 3-8.
- Cortés, J.M. 1992. Lavas almohadilladas en el Grupo Ciénaga del Medio del extremo noroccidental de la Precordillera mendocina. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 115-117.
- Cortés, J.M. 1998. Tectónica de desplazamiento de rumbo en el borde sur de la depresión de Yalguaraz, Mendoza. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 53: 147-157.
- Cortés, J.M., González Bonorino, G., Koukharsky, M., Pereyra, F. y Brodtkorb, A. 1997. Hoja geológica 3369-09, Uspallata, Mendoza. Servicio Geológico Minero Argentino, 142 p., Buenos Aires.
- Cortés, J.M., Yamin, M.G. y Pasini, M.M. 2005. La Precordillera Sur, provincias de Mendoza y San Juan. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 395-402, La Plata.
- Garrido, M., Domínguez, E. y Schalamuk, I. 2001. Veta Tajo, Paramillos de Uspallata, Mendoza. Características del sistema hidrotermal. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56: 99-110.
- Giambiagi, L., Mescua, J., Bechis, F., Martínez, A. y Folguera, A. 2011. Pre-Andean deformation of the Precordillera southern sector, southern Central Andes. *Geosphere* 7: 219-239.
- Harrington, H.J. 1971. Descripción Geológica de la Hoja 22c, "Ramblón" provincia de Mendoza y San Juan. Carta Geológico-Económica de la República Argentina. Dirección Nacional de Geología y Minería. *Boletín* 114: 1-87, Buenos Aires.
- Japas, M. S., Cortés, J. M. y Pasini, M. 2008. Tectónica extensional triásica en el sector norte de la cuenca Cuyana: primeros datos cinemáticos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 213-222.
- Lavandaio, E. y Fusari, C. 1986. Reconocimiento Expeditivo del Distrito Polimetálico Mendoza Norte. Dirección Nacional de Minería y Geología (inédito), PAGINAS, Buenos Aires,
- Lavandaio, E. y Fusari, C. 1999. Distrito polimetálico Mendoza Norte, Mendoza, En: Zappettini, E. (ed.), Recursos Minerales de la República Argentina. SEGEMAR, Anales 35: 1705-1716, Buenos Aires.
- Massabie, A.H. 1985. Filón Capa Paramillo de Uspallata, su caracterización geológica y edad, Potrerillos de Uspallata, Mendoza. Primeras Jornadas sobre Geología de Precordillera, Actas 1: 325-330, San Juan.
- Massabie, A.H., Rapalini, A., y Soto, J.L. 1985. Estratigrafía del Cerro Los Colorados, Paramillo de Uspallata, Mendoza. Primeras Jornadas sobre Geología de Precordillera, Actas 1: 71-76, San Juan.
- McClay, K. 1987. The mapping of Geological Structures. Open University Press, 3-20 y 41-55.
- Orellano, A.P., Rubinstein, N. y Winocur, D. 2015. Estudio petrológico y paragenético de las vetas Sauce y Gobernador del Yacimiento Paramillos de Uspallata. Actas del Congreso Geológico Chileno, Acta digital At2St5_021, 4 p, La Serena.
- Méndez, V. y Zappettini, E. 1984. Los pórfidos de cobre de la República Argentina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 5:590-611, San Carlos de Bariloche.
- Petit, J.P. 1987. Criteria for the sense of movement on fault surfaces in brittle rocks. *Journal of Structural Geology* 9: 597-608.
- Ramos, V.A. y Cortés, J.M. 1993. TITULO. Second International Symposium Andean Geodynamic, Extended Abstracts 233-236, Oxford.
- Ramos, V.A. y Kay, S. 1991. Triassic rifting and associated basalts in the Cuyo basin, central Argentina. En: Harmon, R. y Rapela, C. (eds.), Andean magmatism and its tectonic setting. Geological Society of America, Special Paper 265: 79-91.
- Ramos, V.A., Munizaga, F. y Kay, S.M. 1991. El magmatismo Cenozoico a los 33°S latitud; geocronología y relaciones tectónicas. 6° Congreso Geológico Chileno, Actas 1: 892-896, Viña del Mar.
- Rayces, E.C. 1949. Informe geológico-minero sobre el mineral del Paramillo de Uspallata. Dirección General de Fabricaciones Militares (inédito), 1-63, Buenos Aires.
- Romani, R.R. 1971. TITULO. Informe Compañía CONMINA S.A, 19 p., Mendoza.
- Schalamuk, I.B. e Iñíguez, A.M. 1981. Presencia de jordanita en Veta Tajo. Paramillos de Uspallata, Provincia de Mendoza, República Argentina. *Revista de la Asociación de Mineralogía Petrología y Sedimentología* 12: 11-18.
- Somoza, R. y Ghidella, E.G. 2005. Convergencia en el margen occidental de América del Sur durante el Cenozoico: subducción de las placas de Nazca, Farallón y Aluk. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 797-809.
- Strelkov, E. E. y Alvarez, L. A. 1984. Análisis estratigráfico y evolutivo de la cuenca triásica mendocina - sanjuanina. 9° Congreso Geológico Argentino, Actas 3: 115-130, San Carlos de Bariloche.
- Trewartha James, W.H. 1923. Informe sobre el mineral del paramillo de Uspallata. Copia depositada en la Biblioteca del Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR), 18 p. Buenos Aires. Inédito.
- Zappettini, E.O., Crosta, S., Rubinstein, N. y Segal, S. 2014. Metallogeny of the Triassic-Jurassic Rift -Related Mineralizations in Argentina. *Acta Geologica Sinica* 88: 1718-1720.

Recibido: 7 de junio de 2016

Aceptado: 8 de noviembre de 2016