

Estudio estructural, mineralógico y geoquímico de la veta Dios Protege, distrito minero Castaño Nuevo, San Juan, Argentina

María Agustina CÓCOLA^{1,2}, Leonardo STRAZZERE^{1,2}, María Celeste D'ANNUNZIO¹ y Diego GUIDO^{3,4}

¹Universidad Nacional del Sur - Departamento de Geología, Bahía Blanca

²INGEOSUR (CONICET - UNS), Bahía Blanca

³Universidad Nacional de La Plata, La Plata

⁴CONICET

E-mail: agustinacocola@gmail.com

Editor: Fernando Hongn

RESUMEN

El distrito minero Castaño Nuevo, localizado en el borde oriental de la Cordillera Frontal de San Juan, se emplaza en rocas asociadas al magmatismo del Grupo Choiyoi y está conformado por un conjunto de vetas epitermales de cuarzo/adularia. La veta Dios Protege constituye la estructura principal del distrito y se encuentra emplazada en una falla de rumbo con una leve componente normal y desplazamiento siniestral. Presenta una orientación general NNE, con buzamiento hacia el O, y a lo largo de su corrida presenta sectores de apertura asociados a inflexiones e intersecciones con otras estructuras. En estos sectores se reconocen los mayores espesores, donde es posible identificar al menos 6 eventos de relleno. Estos eventos constituyen una alternancia entre bechas tipo *crackle* y brechas tipo cocarda, cuyo desarrollo se encuentra ligado a la relación entre la velocidad de apertura de la falla y la velocidad de ascenso de los fluidos. Asimismo, las fases minerales que componen cada evento y el registro de inclusiones fluidas en cada una de ellas, permiten establecer estadios de no-ebullición, ebullición sutil y violenta, y se asocian a la depositación de los metales preciosos en este distrito. El estudio integrado de la mineralogía, textura, inclusiones fluidas y geoquímica de cada evento identificado en la veta Dios Protege permitió establecer que los mayores valores de Au se asocian al último evento (E6), caracterizado por brechas tipo *crackle*, ebullición intensa y una mineralización de tipo bonanza asociada, que podría localizarse por debajo de las cotas evaluadas.

Palabras clave: *Vetas epitermales, estructuras extensionales, tipos de brecha, horizonte de ebullición.*

ABSTRACT

Structural, mineralogical and geochemical study on the Dios Protege Vein, Castaño Nuevo Mining District, San Juan, Argentina. Castaño Nuevo Mining District is located on the eastern side of the Frontal Cordillera of San Juan Province, Argentina. It is related to Choiyoi Group magmatism and it comprises a set of quartz/adularia veins. Dios Protege Vein is the most important structure from Castaño Nuevo Mining District and is placed on a sinistral strike-slip fault with a minor normal dip-slip component. The main orientation is NNE, W-dipping, and it is characterized by trend changes along the strike, creating open spaces related to strike inflexions and interception with other structures. Along these open spaces, vein width is increased and there were recognized at least 6 infill events. These events could be classified between crackle and cockade breccia types. Cockade breccias result from low rates of cement growth compared to high rates of fracturing, while high rates of fluid rise are more likely to develop crackle breccias, these ratios fluctuated along time, and define mineral alternation and different types of fluid inclusion found on each mineral phase, that could be related to boiling process and precious metal deposition. By integrating these vein features, it was recognized that the last event (E6) from Dios Protege Vein has the greatest Au/Ag values, it represents a crackle breccia type, with intense boiling features and could allow locating a boiling horizon at depth and Bonanza-type mineralization associated, below the studied levels.

Keywords: *Epithermal veins, extensional structures, breccia types, boiling horizon.*

INTRODUCCIÓN

El distrito minero Castaño Nuevo se localiza 8 km al noroeste de la localidad de Villa Nueva, departamento de Calingasta, provincia de San Juan (Fig. 1a). Ubicado en el borde oriental de la Cordillera Frontal, este distrito aurífero fue descubierto en 1885 y las principales minas fueron explotadas desde esos primeros años y en distintas etapas durante el siglo pasado. La mineralización en el sector nororiental del área del distrito minero Castaño Nuevo está conformada por un conjunto de vetas, cuyos exponentes más relevantes corresponden a la Veta Dios Protege, Veta San Pedro y Veta San Agustín (Angelelli *et al.* 1984, Serafini 1982). Hacia el sur del sector estudiado, el sistema vetiforme se interrumpe por un sistema de brechas freatomagmáticas definidas por Delendatti *et al.* (2002) y asignadas a un sistema de diatrema (Delendatti 2005a).

Numerosas labores fueron realizadas a fines del siglo XIX. Registros históricos indican que en el año 1909 se trataron 2.200 t de mineral con una producción de 62.693 g de Au y 381.222 g de Ag (Hermitte 1914), lo que se traduce en una ley media recuperada de 28,49 g/t de Au y 173,28 g/t de Ag. El distrito minero fue evaluado y remuestreado en diferentes oportunidades entre los años 1995 y 2013 por las empresas Sonoma Resources, Tenke Mining Corp. y Troy Resources Ltd. La empresa Tenke Mining Corp. llevó a cabo dos sondeos de aire reverso, el primero sobre la veta Dios Protege (profundidad final 126 m) y el segundo sobre la veta San Agustín (profundidad final 139 m). Troy Resources Ltd. realizó campañas de perforación de diamantina entre los años 2010 y 2013, completando 6 sondeos sobre la veta Dios Protege (1.014,05 m totales perforados), 21 sondeos sobre la veta San Agustín (2.406,85 m totales perforados) y 3 sondeos sobre la veta San Pedro (311,5 m totales perforados). El resultado de estas campañas no fue positivo, ya que en la mayoría de los sondeos las estructuras no pudieron ser interceptadas.

El sistema vetiforme del distrito minero Castaño Nuevo presenta una tendencia general norte - sur, con orientaciones

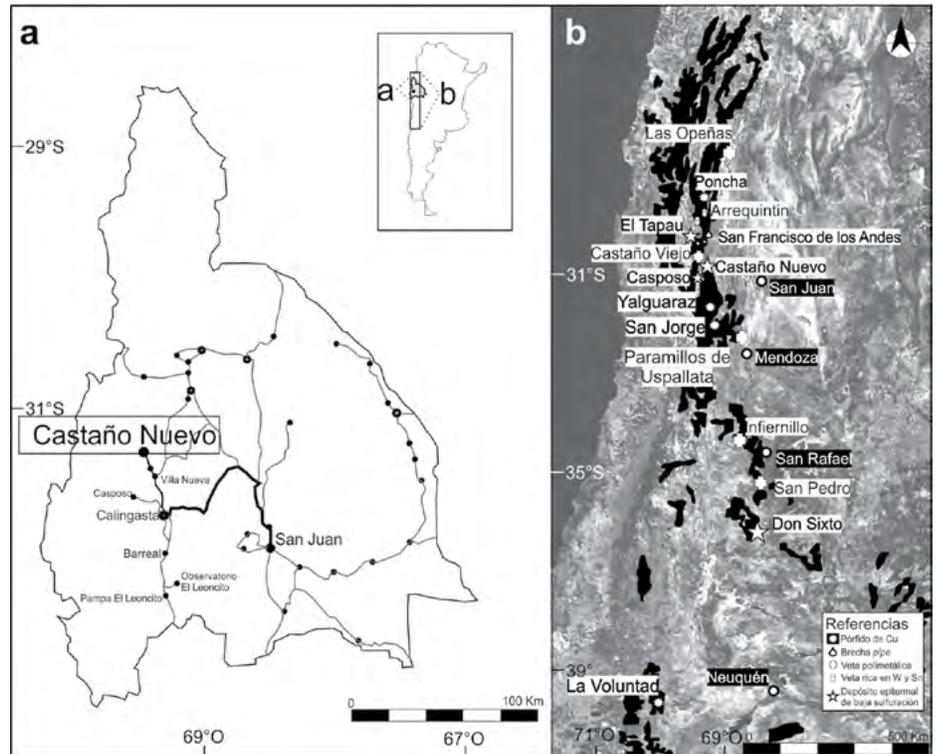


Figura 1. a) Ubicación del distrito minero Castaño Nuevo; b) Afloramientos del Grupo Choiyoi en Cordillera Frontal (en color negro, modificado de Strazzere *et al.* 2016) y ubicación de los principales depósitos asociados a este magmatismo.

desde N340° hasta N25°, todas con buzamientos hacia el oeste y corridas de hasta 1km de longitud. El relleno característico de las estructuras se haya conformado por diferentes variedades de cuarzo y grandes cristales de adularia (Angelelli *et al.* 1984). Sobre estos últimos se determinó una edad K/Ar de 267±6 Ma (Delendatti 2005b), asignando este depósito al Pérmico medio.

En los trabajos previos del distrito minero Castaño Nuevo se describe el sistema vetiforme en conjunto, sin diferenciar las características individuales de cada una de las vetas. En la presente contribución se brindan los resultados obtenidos a partir del estudio de la veta Dios Protege, en el Distrito Minero Castaño Nuevo, Cordillera Frontal sanjuanina, con el fin de establecer su evolución y generar guías de exploración para futuros trabajos. Se presentan los resultados del mapeo en detalle de la veta, su estilo estructural y su relación con otros rasgos. Se describen los principales eventos que rellenan la estructura detallando su mineralogía, características texturales, geoquímicas, temperatura y salinidad.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La región morfoestructural de la Cordillera Frontal (Groeber 1938), constituye una franja elongada norte - sur limitada al oeste por la Cordillera Principal y al este por el valle Rodeo-Calingasta-Uspallata. Se extiende desde el sur de la provincia de La Rioja hasta el sur de la provincia de Mendoza y parte de Neuquén (Ramos 1999). En el ámbito de la Cordillera Frontal sanjuanina, las rocas más antiguas aflorantes corresponden a las sedimentitas neopaleozoicas de la Formación La Puerta (Caballé 1986), representadas por areniscas y pelitas, fuertemente deformadas, depositadas durante el Carbonífero tardío al Pérmico temprano. Sobre estas unidades sedimentarias se disponen en discordancia angular extensos afloramientos del evento magmático desarrollado entre el Pérmico temprano y el Triásico, asignado en este sector al Grupo Choiyoi (Stipanovic *et al.* 1968). Este magmatismo tuvo lugar durante un importante período distensivo representado por un sistema de fallas N-S, junto a las que aparecen algunas

en dirección NO-SE, que representan zonas de enlace o transferencia (Rodríguez Fernández *et al.* 1999). El Grupo Choiyoi está representado por una unidad inferior denominada Formación Vega de los Machos (Caballé 1986) compuesta por rocas volcánicas y piroclásticas de composición andesítica, que cubren y localmente se interdigitan con la Formación Castaño (Rodríguez Fernández *et al.* 1996a), representada por sedimentitas clásticas y rocas piroclásticas andesíticas. La unidad superior del Grupo Choiyoi, se caracteriza por una potente sucesión de vulcanitas y piroclastitas ácidas, correspondientes a la Formación El Palque (Caballé 1986). Cuerpos intrusivos se asocian a este magmatismo, cuyo representante más relevante lo constituye el Batolito de Colangüil (Llambías y Sato 1990, Sato y Llambías 1993). Sobre un marcado paleorelieve, y en discordancia sobre las unidades previas, continúan unidades volcánicas y volcanoclasticas (con moderada participación sedimentaria) denominadas en conjunto como Grupo Melchor y asignadas al Oligoceno - Mioceno inferior de acuerdo a relaciones estratigráficas (Rodríguez Fernández *et al.* 1996b). Por encima, en discordancia, se disponen los basaltos del Grupo Olivares asignados al Mioceno medio - Plioceno, los cuales se encuentran afectados por cuerpos dacíticos a riodacíticos de la Formación Guanaqueros (Rodríguez Fernández *et al.* 1996a). Completan la columna depósitos cuaternarios asociados a la depresión de Rodeo-Uspallata, constituidos por sedimentos poco consolidados y heterométricos, con predominio de las facies gruesas, procedentes de la erosión de los relieves cordilleranos (Heredia *et al.* 2002).

El magmatismo del Grupo Choiyoi constituye uno de los eventos con mayor representación areal, con registros desde la Puna salteña hasta la provincia de Neuquén. En el ámbito de la Cordillera Frontal se disponen los mejores y más extensos afloramientos de este magmatismo. La evolución del mismo se desarrolló en tres estadios bien diferenciados, con edades y ambientes tectónicos característicos, evolucionando desde un arco magmático hasta un régimen extensional postcolisional (Sato *et al.* 2015, Strazzere *et al.* 2016). Asimismo, el magmatismo del Gru-

po Choiyoi tiene asociado un cinturón metalogenético, representado por numerosos depósitos de interés económico los cuales se asocian a los diferentes estadios de evolución tectónica (Zappettini y Chernicoff 2018).

Los principales depósitos hidrotermales asignados al Pérmico - Triásico en el ámbito de Cordillera Frontal y parte del Bloque de San Rafael (Fig. 1b), incluyen pórfidos de Cu como La Voluntad (Neuquén), San Jorge (Mendoza), Yalguaraz (Mendoza), Poncha (San Juan); brechas tipo *pipe* representadas al sur del batolito de Colan-

güil en los depósitos de San Francisco de los Andes, La Fragüita y Amancay (San Juan); depósitos tipo pórfido con vetas polimetálicas asociadas como Infiernillo/San Pedro (Mendoza); distritos mineros con vetas polimetálicas como Castaño Viejo (San Juan) y Las Opeñas (San Juan); depósitos vetiformes ricos en W y Sn como Arrequeñtín y La Majadita (San Juan); y depósitos epitermales de baja sulfuración como Don Sixto (Mendoza), Casposo (San Juan), Castaño Nuevo (San Juan), El Tapau (San Juan), entre otros (Llambías y Malvicini 1966, Rubinstein *et al.* 2004,

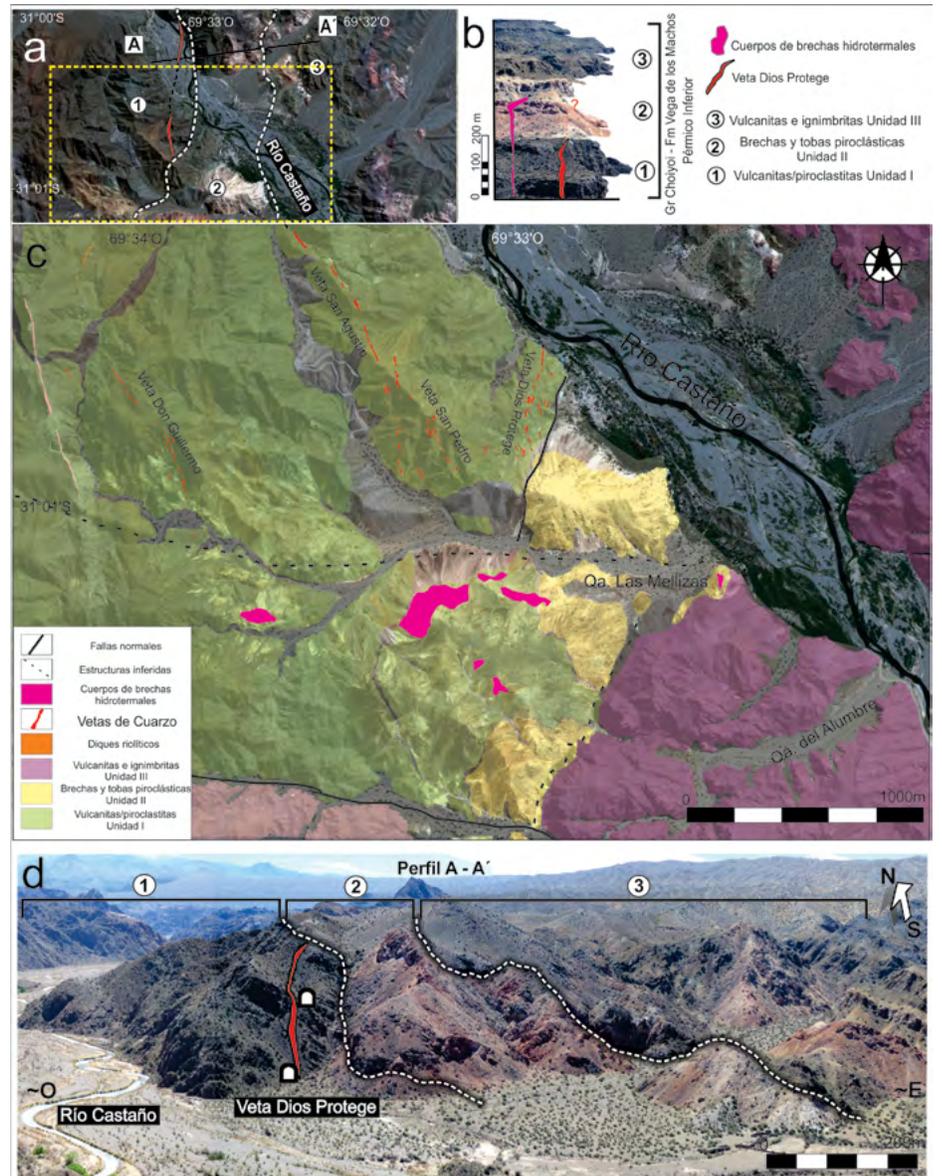


Figura 2. a) Imagen satelital mostrando la distribución de afloramientos de las unidades definidas. En el recuadro amarillo se encuentra delimitado el sector mapeado en detalle; b) Columna estratigráfica tentativa para el sector del distrito minero Castaño Nuevo; c) Mapa geológico del sector estudiado; d) Fotografía del perfil relevado (A-A') al norte del área de estudio mostrando la secuencia volcánico-piroclástica pseudoconcordante.

Delendatti 2005a, Rubinstein y Gargiulo 2005, Garrido *et al.* 2008, 2018, Testa 2016).

MARCO GEOLÓGICO LOCAL

En el sector estudiado las rocas aflorantes conforman una secuencia volcánico-piroclástica, de rumbo general NNE buzando con bajos ángulos hacia el SE. Acorde a la columna estratigráfica establecida para este área por Cegarra *et al.* (1998) estas vulcanitas se corresponden con la Formación Vega de los Machos (Caballé 1986). A partir de los estudios de detalle llevados a cabo en terreno, se reconocieron de 3 unidades principales: I, II y III (Fig. 2).

La unidad I comienza con vulcanitas de tonalidades rojizas con textura porfírica, abundantes fenocristales de plagioclasa y anfíbol. En concordancia continúan lavas fenoandesíticas de tonalidad gris verdosa, con abundantes fragmentos líticos orientados de manera subparalela a la estratificación. Culmina con lavas fenoandesíticas con menor proporción de fragmentos líticos, frecuentemente orientados y diferentes composiciones. Al microscopio, el conjunto de vulcanitas se compone de fenocristales de plagioclasas (hasta 1 cm), en menor medida se observan cristales máficos, mayoritariamente anfíboles y en menor proporción biotita. Los fragmentos líticos en general corresponden a cuarcitas y en menor medida rocas equigranulares de composición granítica. Presentan un fuerte diaclasamiento cuyas direcciones predominantes son N50° y N310°.

Por encima de estas facies volcánicas, se encuentra, en aparente concordancia, un paquete piroclástico denominado unidad II, representado por una intercalación de tobas finas y brechas heterolíticas. Presentan estratificación fina (bancos de 5 a 20 cm) con buzamiento leve hacia el SE, incrementándose en los afloramientos situados más al sur.

Finalmente, cubriendo a la secuencia piroclástica se reconocen rocas volcanoclásticas estratificadas de color verde oscuro a negro denominadas como unidad III. Localmente se aprecian *fiames* de hasta 3 cm. Si bien en muestra de mano solo se observa una textura porfírica con fenocris-

tales de plagioclasa y anfíboles, en sección delgada se pudo constatar la presencia de abundantes fragmentos líticos de tamaños reducidos y algunos vitroclastos. Sobre el sector occidental del área de estudio se disponen diques riolíticos de orientación general NNE que cortan a la unidad I. Estos diques presentan textura afanítica y color gris oscuro en las paredes, y hacia el centro de los cuerpos una textura porfírica gruesa.

Afectando a las unidades I y II se reconocen una serie de cuerpos vetiformes, entre los que se destaca la veta Dios Protege, y cuerpos irregulares elongados con diferentes orientaciones denominados por Delendatti (2005b) como diques de brecha freatomagmática, y agrupados en este trabajo como cuerpos de brechas hidrotermales. Acorde a las relaciones de campo se puede establecer que tanto las brechas hidrotermales como la veta Dios Protege, son dos sistemas hidrotermales previos a la depositación de la unidad III (Fig. 2b).

ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Las unidades diferenciadas en el apartado anterior presentan diferentes grados y asociaciones de alteración. Estas últimas fueron caracterizadas en campo mediante el uso de un equipo de espectrometría de reflectancia infrarrojo portátil Terraspec® 4Hi-Res (AusSpec International - ASD Inc) y posteriormente constatadas en cortes delgados.

La unidad I presenta en afloramiento tonalidades verdosas y localmente rojizas. Las plagioclasas se encuentran teñidas por óxidos de hierro, parcialmente reemplazadas por calcita y en menor medida por illita. Los anfíboles se encuentran reemplazados por clorita y epidoto. En esta unidad se observan diaclasas de hasta 2 cm de apertura, frecuentemente rellenas de cuarzo-magnetita. Alrededor de éstas se observan halos de alteración de caolinita y hematita afectando a fenocristales y pasta respectivamente.

La unidad II presenta un grado de alteración hidrotermal más intenso, con un reemplazo casi completo por caolinita (\pm dickita). Localmente, se observan fracturas rellenas por cuarzo masivo, a las que se

asocian halos irregulares de silicificación. Se observan "parches" de alteración blanquecinos a rosados dispuestos de manera irregular sobre las facies más finas, compuestos por agregados pulverulentos de natroalunita, natrojarosita y dickita. Por último, la unidad III presenta alteración suave, sólo se identificó clorita reemplazando parcialmente a algunos mafitos. Localmente se observan delgadas fracturas con pátinas de óxidos de hierro.

METODOLOGÍA

El análisis de la veta Dios Protege se llevó a cabo a partir del mapeo en detalle de la morfología de la estructura, tanto en superficie como en las antiguas labores subterráneas. Se tomaron mediciones de azimut y buzamiento, espesores reales y aparentes, en cada punto de observación. Sobre los planos de fallas se midieron estrías. El análisis cinemático y los cálculos fueron realizados mediante el software FaultKin 7 (Allmendinger 2017).

Para el estudio de las variaciones texturales y mineralógicas se tomaron muestras en cada uno de los afloramientos, y en profundidad se analizaron la totalidad de los sondeos de diamantina que interceptaron la estructura. Todas ellas fueron descritas bajo lupa binocular, y una vez establecidas las relaciones entre los pulsos se seleccionaron muestras para su estudio bajo microscopio óptico. Se efectuaron un total de 12 cortes petro-calcográficos y 10 cortes bipulidos en el Laboratorio de Petrotomía de la Universidad Nacional del Sur. Los mismos fueron estudiados mediante el empleo de un microscopio Nikon Eclipse E600Pol de luz transmitida y reflejada, y un equipo de catodoluminiscencia CL8200 Mk5-2 acoplado a un microscopio Nikon Eclipse 50i, pertenecientes al Departamento de Geología de la Universidad Nacional del Sur.

El análisis termométrico de las inclusiones fluidas se realizó en una platina de calentamiento-enfriamiento Linkam MDS 600, con un rango de operación de -180° a +600°C, equipada con un sistema de enfriamiento por nitrógeno líquido y una resistencia para calentamiento, instalada en un microscopio petrográfico Olympus BX50 con un objetivo Leitz UTK50/0.63.

La platina fue calibrada con sustancias estándares puras como inclusiones naturales de CO₂ puro de Calanda-Suiza (-56,6°C), agua destilada (0°C) y estándares con punto de fusión conocido del laboratorio Merck (70°C, 100°C, 135°C, 180°C, 200°C, 247°C, 306,8°C, 398°C). Para las mediciones microtermométricas se seleccionaron las inclusiones fluidas que no presentaran evidencias de escape de fluidos, estrangulamiento o decrepitación. Luego de las primeras lecturas se estableció una temperatura de -80°C para alcanzar el sobrecongelamiento (descartando la presencia de CO₂), y una máxima de 400°C para conseguir la homogenización de las fases. De este modo, se procedió a la obtención de las temperaturas de homogenización (Th), temperaturas del eutéctico (Te) y las temperaturas de fusión final (Tm). La temperatura de homogenización constituye la temperatura mínima de entrampamiento, es decir del fluido al momento de precipitar. La temperatura del punto eutéctico solo pudo apreciarse de manera segura en escasas inclusiones, arrojando valores entre -21° y -24°C, lo que sugiere un sistema H₂O - NaCl - (KCl), y es por esto que las salinidades fueron expresadas como wt%NaCl eq (Bodnar 2003, Davis *et al.* 1990). Finalmente, el valor de salinidad del fluido fue obtenido a partir de la temperatura de fusión final (Tm), según la ecuación propuesta por Bodnar (1993).

Para la caracterización geoquímica de la veta Dios Protege se utilizaron los datos obtenidos y compilados por la empresa Troy Resources Ltd. Para los cálculos, aquellos elementos cuyos valores se en-

cuentran por debajo del límite inferior de detección, fueron reemplazados por la mitad del valor de dicho límite (Verbovšek 2011). Por otro lado, para la estimación del valor umbral (Threshold) por encima del cual se consideraron anómalas las concentraciones de los elementos de interés, se empleó la fórmula $[Me \pm 2MAD]$ donde Me es la mediana de la población estudiada y MAD corresponde a la desviación absoluta media, calculada como la mediana del valor absoluto de cada valor xi menos la mediana. (Reimann *et al.* 2005, Reimann y Caritat 2016). Las relaciones entre distintos elementos químicos fueron analizadas a partir de una matriz de Pearson y se clasificaron los coeficientes de correlación de acuerdo a los siguientes rangos: [0 - 0,4] correlación mala; [0,4 - 0,6] correlación moderada; [0,6 - 0,8] correlación buena; [0,8 - 1] correlación muy buena. Las secciones longitudinales fueron confeccionadas mediante el empleo del software MapInfo® v. 17.0 (64-Bit). Los valores de los cocientes entre los metales analizados, se representaron en la sección longitudinal mediante imágenes rasterizadas utilizando el algoritmo de la herramienta de interpolación de Vecino Natural (Sibson 1981).

VETA DIOS PROTEGE

Descripción general

La veta Dios Protege constituye la estructura principal del distrito minero Castaño Nuevo. Las altas leyes reportadas en los registros históricos (Hermitte 1914) y su cercanía a la planta de procesamiento,

constituyen las razones fundamentales sobre las que se basa la importancia de esta veta. Sobre la misma se desarrollaron las labores más importantes.

La veta Dios Protege aflora de manera saltuaria con espesores variables entre 0,5 m y 2,5 m. El rumbo general es N10°E y el buzamiento promedio es de 68° al O. Se encuentra alojada en una falla principal interceptada a lo largo del rumbo por fallas menores en sentido N-S. Está conformada por diferentes pulsos asignables a múltiples eventos, predominando bandas alternantes de cuarzo cristalino y criptocristalino, calcedonia, adularia, amatista, carbonatos y escasas arcillas, brechas tipo *crackle*, cocardas, relleno de cavidades conformando drusas, crecimiento en peine y texturas de reemplazo de carbonatos. En muestra de mano se observan escasos sulfuros finos diseminados. La alteración de la roca de caja en torno a la estructura es suave predominando micas finas (principalmente illita) y clorita. También se observan óxidos de hierro en fracturas y como pátinas.

Las texturas tipo brecha tienen un gran predominio en toda la estructura. A lo largo de la corrida de la veta Dios Protege se reconocieron principalmente dos tipos de brechas: brechas tipo *crackle* y tipo cocarda. Las denominadas brechas tipo *crackle* se definen como un subtipo de brechas de falla con predominio de clastos (>75%) con escasa rotación, separados por cemento (\pm matrix) (Woodcock y Mort 2008). Las brechas tipo cocardas se incluyen dentro del subtipo *fault veins*, definido por Woodcock y Mort (2008) como un subgrupo de brechas de falla cemento

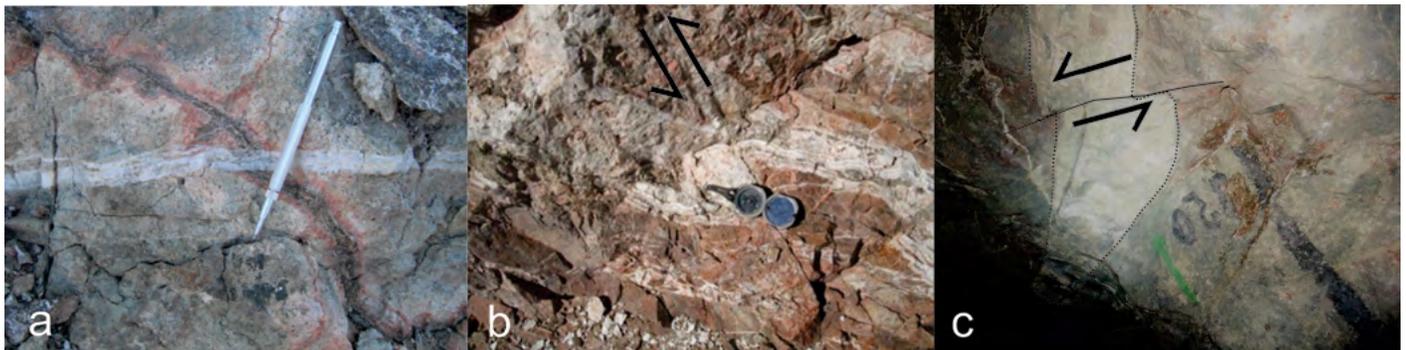


Figura 3. a) Venillas de cuarzo-adularia cortando diaclasas rellenas por magnetita-cuarzo; b) Fotografía de afloramiento mostrando el desplazamiento siniestral (flechas en negro) generado por fracturas de cizalla que cortan a la estructura principal. c. Fotografía de la veta Dios Protege (delimitada con líneas punteadas) desplazada por fracturas de cizalla en el interior del túnel principal. Las flechas negras indican el sentido del movimiento. Esta fotografía fue invertida para representar su disposición vista desde superficie.

soportadas. Las brechas tipo cocardas se componen de clastos rotados y rodeados completamente por bandas concéntricas de cemento hidrotermal (Adams 1920, Genna *et al.* 1996, Frenzel y Woodcock 2014).

Estilo estructural

A nivel distrital, se reconocen una serie de estructuras bien diferenciadas y con relaciones de corte que permiten establecer la siguiente cronología de eventos. Primero, se desarrollaron diaclasas con orientaciones entre N50° y N310°, rellenas por cuarzo-magnetita (Fig. 3a). Cortando a este conjunto de fracturas, se encuentra el sistema principal que contiene a las vetas de cuarzo/adularia, cuya orientación general es NNE, aunque se asocian estructuras menores N-S. Finalmente, se registran fracturas de cizalla sin relleno, con orientaciones generales N70° y N100°, que cortan y desplazan a la veta Dios Protege en sentido siniestral (Fig. 3 b y c). La veta Dios Protege constituye el relleno de una única estructura con rumbo general NNE (N10°E), con variaciones locales entre N350°O y N25°E, y buzamiento hacia el NO (entre 60° y 75°). En afloramiento es discontinua, localmente ramificada, con una corrida que alcanza 600 m. Los mayores espesores (hasta 2,5 m) coinciden con los sectores de cambios en el rumbo y el cruce de la estructura principal NNE con estructuras menores N-S y NO-SE (Fig. 4a).

El sentido del movimiento a lo largo de la veta/falla fue determinado por la geometría de la estructura y sus ramificaciones (Fig. 4 b y c), en conjunto con la medición de estrías de falla sobre el techo (Fig. 4d). El desplazamiento es siniestral (con una leve componente normal), evidenciado por la presencia de fracturas tipo *Riedel* rellenas con la misma asociación que la estructura principal y estrías de falla horizontales con leve inclinación general hacia el sur.

Las estrías de falla en las paredes y dentro de la veta son habituales. En general presentan bajos ángulos de *rake*, entre 4° y 7° al sudoeste. Los resultados obtenidos mediante el empleo del software FaultKin 7 (Allmendinger, 2017) sugieren un eje de extensión subhorizontal (inclinado 9,4°) con rumbo N57°,

y un eje de acortamiento inclinado 15° y orientado N149,6°. Debido a estos esfuerzos, en conjunto con la geometría irregular de la estructura, se desarrollan zonas de mayor apertura con alta densidad de fracturas. Estas zonas, denominadas *jogs* (Sibson 1986) resultan de la vinculación entre dos estructuras paralelas pero separadas con un incremento de la permeabilidad, inducido por el fracturamiento, que promueve la migración de fluidos hacia los sitios de dilatación (Connolly y Cosgrove 1999).

En el esquema de la figura 4a puede apreciarse la tendencia general NNE de la estructura, con inflexiones hacia el SO donde se generan zonas de compresión y disminuye el espesor de la estructura hasta quedar representada por un delgado venilleo. Los sectores donde las inflexiones se disponen NO-SE se caracterizan por espesores mayores (Fig. 4e) e incremento de densidad de venillas en torno a la estructura principal. De igual modo, los puntos donde se interceptan con fallas N-S o NO-SE (Fig. 4f) favorecen el aumento de espesores y desarrollo de estructuras menores asociadas (Fig. 4g). Hacia el sur, la veta presenta una terminación en cola de caballo y se interrumpe contra una falla NE-SO.

Eventos y pulsos mineralizantes

La veta Dios Protege muestra una sucesión de eventos compleja, con múltiples pulsos de relleno y brechamiento, generando relaciones de corte entre los mismos, cada uno de ellos con características mineralógicas y texturales específicas. De este modo se estableció un modelo paragenético conformado por diferentes pulsos asignados a 6 eventos principales de relleno. En la figura 5a se muestra el modelo estructural de la veta Dios Protege, definido en el apartado anterior, con la distribución de los eventos a lo largo del rumbo de la estructura, en conjunto con una sección longitudinal de la veta mostrando la localización de las muestras analizadas. Las relaciones de corte entre los eventos identificados se establecieron en superficie (Fig. 5b), en el túnel principal (Fig. 5c), y en los sondeos que interceptaron la estructura (Fig. 5d).

Primer evento (E1): corresponde a las ins-

tancias iniciales de apertura de la estructura, y, por consiguiente, la roca de caja tiene una gran participación. Sólo pudo identificarse *in situ* en un pequeño afloramiento. Se compone de un pulso de cuarzo gris crisptocristalino que cementa los fragmentos de roca de caja, y rellena delgadas venillas de hasta 5 mm. Los clastos de roca de caja no se observan rotados y el desplazamiento es mínimo, conformando una brecha tipo *crackle*. No se observaron minerales opacos asociados.

Segundo evento (E2): se desarrolla en los sectores de mayor apertura dentro de la estructura principal. Se compone de dos pulsos que cementan una brecha tipo cocarda, con fragmentos de la roca de caja y del evento anterior. El relleno de los espacios generados por el intenso brechamiento comienza con un pulso de cuarzo/adularia dispuesto en bandas gruesas, alternándose entre bandas con mayor proporción de adularia y bandas con predominio de cuarzo. Este pulso está caracterizado por grandes cristales de adularia del tipo subrómica (Cócola *et al.* 2011) de hasta 5 mm, que crecen a partir de los bordes de los fragmentos (Fig. 6a). En general, se observan cristales con macla simple, localmente en parrilla, con escasa alteración a sericita. Está acompañada por cristales de cuarzo de menor tamaño, con extinción levemente ondulosa y textura microplumosa en los bordes (Figs. 6 b y c). Cristales de pirita de hasta 100 µm se observan asociados a las bandas con mayor contenido de adularia.

El primer pulso de E2, anteriormente descrito, se encuentra rodeado por bandas finas blanco grisáceas y verdosas, de hasta 5 mm de espesor, que se desarrollan de forma concéntrica a los fragmentos de roca de caja, generando una textura de tipo cocarda. En sectores con mayor espacio libre constituyen bandeado colorforme/crustiforme. En las bandas verdosas se identifican finas bandas de material microcristalino subparalelas al bandeo general (Fig. 6d). Tanto las bandas blanco grisáceas como las verdosas se componen enteramente por cuarzo con texturas de recristalización tipo mosaico, (\pm plumosa y llameante). La alternancia de bandas queda evidenciada bajo el microscopio, por las diferencias de tamaño de los cristales de cuarzo (Fig. 6e). En algunos sec-

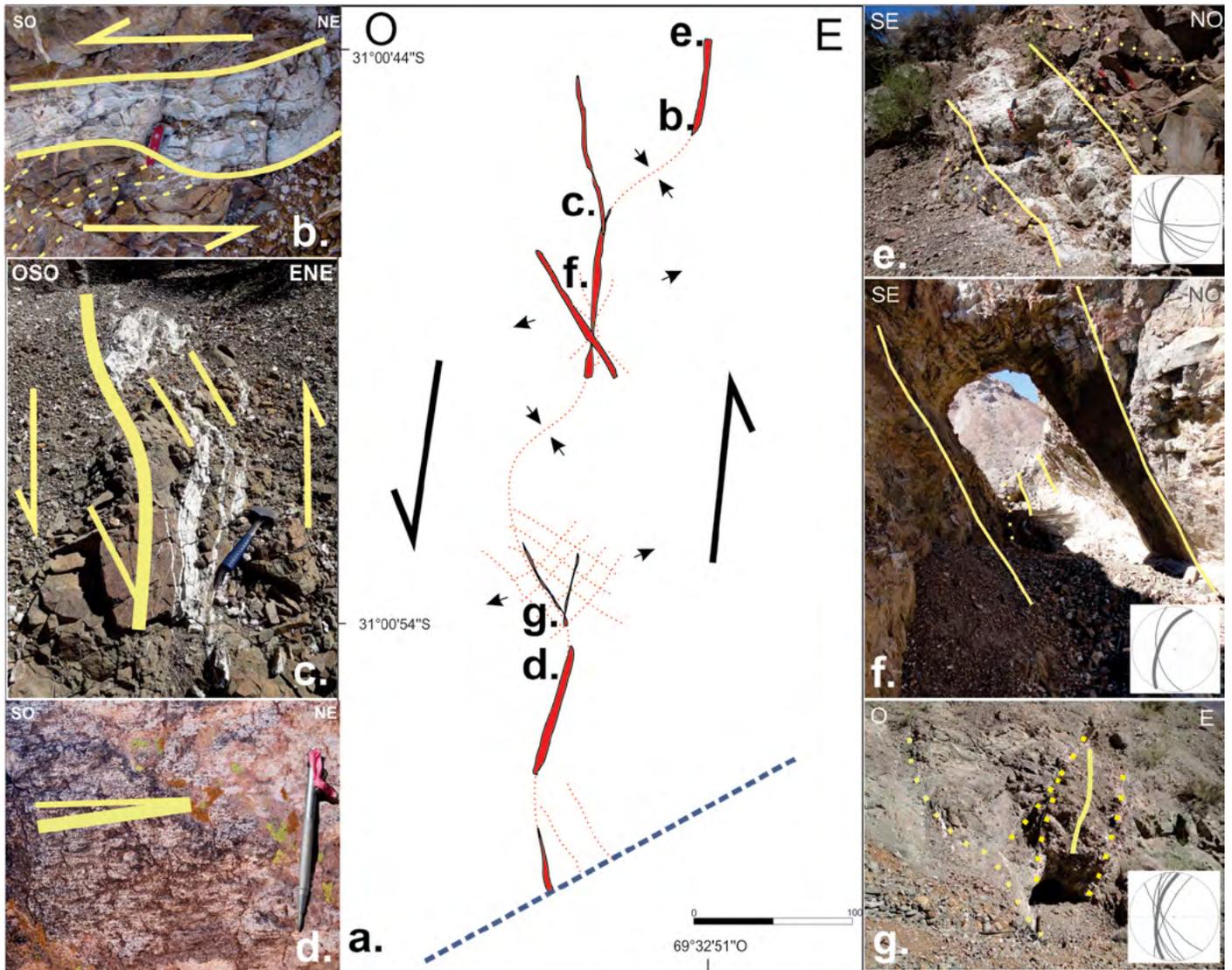


Figura 4. a) Esquema de la estructura de la veta Dios Protege, se localizan con puntos y letras las fotografías que componen el resto de la figura. Las flechas negras pequeñas indican las zonas de apertura y de cierre; b) Estructura principal demarcada con líneas gruesas amarillas, con delgadas venillas asociadas marcadas en líneas punteadas. La disposición de las mismas permite establecer el sentido del movimiento, marcado con flechas amarillas; c) Inflexión con desarrollo de venilleo intenso evidenciando una zona de apertura delimitada con líneas rectas amarillas, el sentido del movimiento se indica con las flechas amarillas; d) Estrias sobre plano de falla al techo de la veta Dios Protege, la línea delgada indica la horizontal, mientras que la línea más gruesa corresponde a la inclinación de las estrias; e) Afloramiento en el sector norte de la estructura principal (traza completa) con un espesor real máximo de 2.75m y venillas menores asociadas (traza con puntos); f) Cruce de estructuras en el sector central sobre antiguas labores desmoronadas. Con trazo completo se demarca la estructura principal y en punteado la estructura NO-SE; g) Desarrollo de intenso venilleo (líneas punteadas) en torno a la veta principal (línea completa). En los diagramas estereográficos realizados con FaultKin 7 (Allmendinger 2017) se representan las venillas con líneas finas, mientras que la estructura principal se representa con trazo grueso.

tores se identifican agregados fibrosos, con una distribución radial cuyo eje principal presenta una disposición perpendicular a la orientación de crecimiento de las bandas (Fig. 6f). Localmente, se observan filosilicatos rellenos oquedades, principalmente sericita y clorita. En los límites entre algunas bandas de cuarzo se reconocen cristales de calcopirita, con galena subordinada, de grano fino, junto a escasos cristales de aislados de electrum. El evento E2 presenta un *stockwork* desarrollado principalmente al piso de la es-

tructura, y en menor proporción al techo. Las venillas se encuentran rellenas por el pulso de cuarzo/adularia con texturas en peine y crustiforme, alcanzando espesores de hasta 3 cm.

Tercer evento (E3): se localiza en el centro de la estructura y brecha hacia los bordes a los pulsos anteriores, conformando una brecha tipo *crackle*. Está caracterizado por un pulso de cuarzo blanco masivo con escasos cristales de adularia dispuestos al azar. Es el más extendido a lo largo de la corrida de la veta, presenta una distribu-

ción homogénea en el rumbo de la estructura, aunque localmente puede apreciarse un bandeamiento grueso. Las muestras de la estructura principal presentan cristales anhedrales de cuarzo de gran tamaño (> 500 μm), con extinción ondulosa (Fig. 6g), y texturas de recrystalización en mosaico en los bordes y entre los intersticios de los grandes cristales (Fig. 6h). Se observan algunas arcillas entre los cristales, mayoritariamente caolinita (de baja cristalinidad) e illita. Venillas asociadas a este evento se extienden hacia el techo y piso

de la estructura y cortan a la roca de caja y al *stockwork* del evento E2.

Cuarto evento (E4): brecha al evento anterior y presenta, como rasgo característico, abundante amatista dispuesta en finas bandas alternadas con cuarzo euhedral gris claro, y como relleno de cavidades. Este evento tiene mejor desarrollo hacia el sector norte, donde además se constató la presencia de venillas de amatista en la roca de caja que alcanzan 5 cm de espesor. El desarrollo de texturas en cocarda constituye el rasgo principal, en

este caso con bandas más finas, bien cristalinas y amatista como mineral principal, diferenciándose de este modo del evento 2. Los cristales de amatista muestran una zonación y tienen abundantes inclusiones fluidas (en su mayoría monofásicas) siguiendo las líneas de crecimiento (Fig. 7a). Estas líneas se identifican claramente en las imágenes de catodoluminiscencia sobre las secciones basales de cristales individuales (Fig. 7b).

Quinto evento (E5): está representado por venillas gruesas (de hasta 10cm) y veni-

llas menores (5 mm) de calcita (\pm siderita), que cortan la estructura principal y la roca de caja respectivamente. También rellenan oquedades (Fig. 7c) y fracturas al piso de la estructura principal, cortando todo el venilleo de los pulsos previos. Se constató la presencia de textura en enrejado en el sector centro-sur de la veta, y en una estructura menor, subparalela a la principal (Fig. 7d).

Sexto evento (E6): está formado por una brecha con fragmentos angulosos a subredondeados de diversos tamaños,

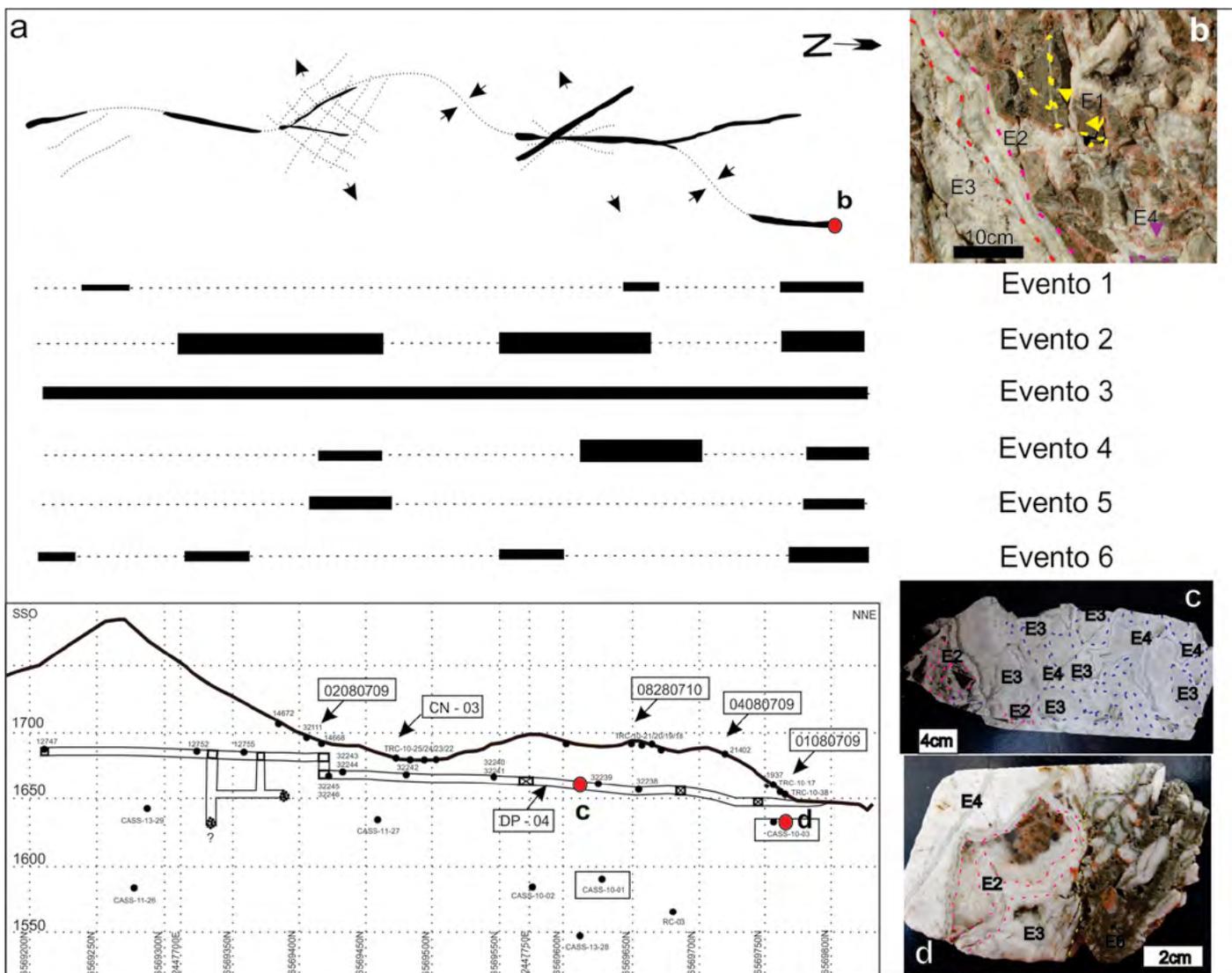


Figura 5. a) Distribución de los eventos identificados a lo largo de la corrida de la veta Dios Protege teniendo en cuenta el modelo estructural definido. En la sección longitudinal se observa con línea negra gruesa la traza de la superficie y en línea fina la traza del túnel principal. Se identifica la localización de las muestras y de los interceptos de los sondajes realizados. Las muestras que presentan un recuadro son las seleccionadas para los cortes petrocalográficos y bipulidos; b) Fotografía de afloramiento en el sector norte de la estructura. Se observan fragmentos de roca de caja brechados por E1, rodeados por los diferentes pulsos que componen E2. Se distingue cuarzo blanco masivo, localmente bandeado, cementando fragmentos de las brechas generadas en los eventos anteriores. Se reconoce amatista del evento 4 relleno de oquedades; c) Muestra del interior del túnel principal donde se observan fragmentos de E2 brechados, cementados por E3, este último también brechado y cementado por E4; d) Muestra del sondaje CASS-10-03 con el último evento (E6) representado, mostrando fragmentos de los eventos anteriores inmersos en un cemento verdoso con matriz fina de cuarzo y arcillas.

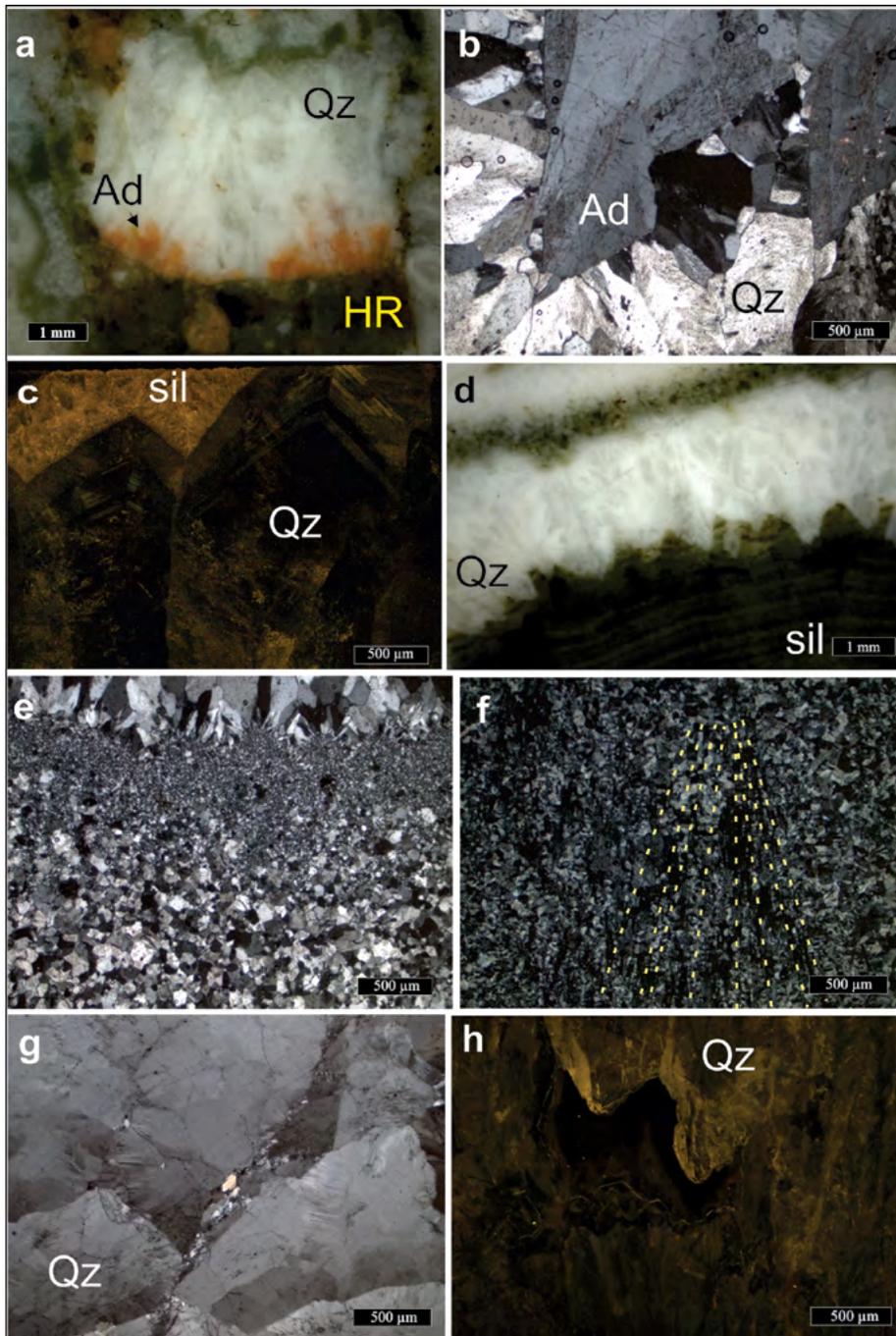


Figura 6. a) Fotografía de muestra de mano de E2. Fragmento de roca de caja (HR) con cristales de adularia (Ad) y cuarzo (Qz) que crecieron a partir de las paredes; b) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador de cristales de adularia subrómica rodeados por cuarzo; c) Fotomicrografía de catodoluminiscencia de cristales de cuarzo euhedrales con marcadas líneas de crecimiento y sílice criptocristalina recrystalizada (sil) rodeando los bordes cristalinos; d) Bandeado fino del pulso tardío de E2, con alternancia de bandas de cuarzo cristalino (Qz) y sílice fina recrystalizada (sil); e) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador del cuarzo bandeado con textura en mosaico; f) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador de agregados aciculares reemplazados por cuarzo; g) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador del evento 3 (E3) con grandes cristales de cuarzo anhedrales y extinción ondulosa; h) Fotomicrografía de catodoluminiscencia con cristales subhedrales de cuarzo del E3 rodeados por sílice criptocristalina recrystalizada.

y Ag. Los tamaños de los fragmentos son variados, desde escasos mm hasta 10 cm. El cemento pardo a gris verdoso, se halla conformado por cuarzo fino en mosaico, clorita, illita, arcillas finas y óxidos de hierro como pátinas y en microfracturas (Fig. 7f). Localmente se observan cristales de cuarzo con mayor desarrollo, pero en muy baja proporción. Se observan, diseminados en el cemento, calcopirita, galena y oro, de pequeño tamaño (<50 μm) (Figs. 7 f y h). Esta brecha fue considerada de tipo *crackle* ya que la proporción de los clastos es muy superior a las del cemento/matrix.

Microtermometría de inclusiones fluidas

Se realizó el análisis de las inclusiones fluidas hospedadas dentro de minerales hidrotermales que conforman la estructura mineralizada, para conocer las temperaturas y salinidades del fluido que les dio origen. Se siguieron los criterios de Wilkinson (2001) en establecer la relación temporal entre las distintas asociaciones de inclusiones fluidas. Se seleccionaron 10 muestras representativas de los eventos de mineralización, de las cuales seis fueron tomadas en superficie y/o labores someras, dos en el túnel principal y dos en sondajes (Fig. 5b). Los eventos que pudieron ser analizados son el 2, 3, 4, y 6, evitando aquellos cristales que mostraran evidencias de intensa recrystalización o que presentaran elevada cantidad de impurezas que imposibilitaran la visualización correcta de los fenómenos estudiados.

Los minerales analizados corresponden a distintas variedades texturales de cuarzo. Los tamaños de las inclusiones fluidas son variados, en promedio 30 μm , alcanzando, en casos excepcionales, hasta 120 μm (Fig. 8a). Se registró en gran proporción inclusiones fluidas monofásicas de tamaños variados y formas facetadas.

En función de los criterios de Goldstein y Reynolds (1994) se establecieron 25 asociaciones de inclusiones fluidas (FIAs, Fluid Inclusion Assemblages) que se resumen en Cuadro 1.

Para el evento 2, un total de 13 FIAs fueron medidas en cristales de cuarzo euhedral de grano grueso en las paredes de los fragmentos, y en el cuarzo con textura en peine y crustiforme en venillas. Las inclusiones fluidas medidas para estos pulsos

asignables a todos los pulsos antes mencionados y una baja proporción de roca de caja (Fig. 7e). Se desarrolla principalmente al techo de la estructura y sólo se

presenta en los sectores donde la misma tiene espesores considerables. Corresponde al último evento con escaso desarrollo, pero con los mejores valores de Au

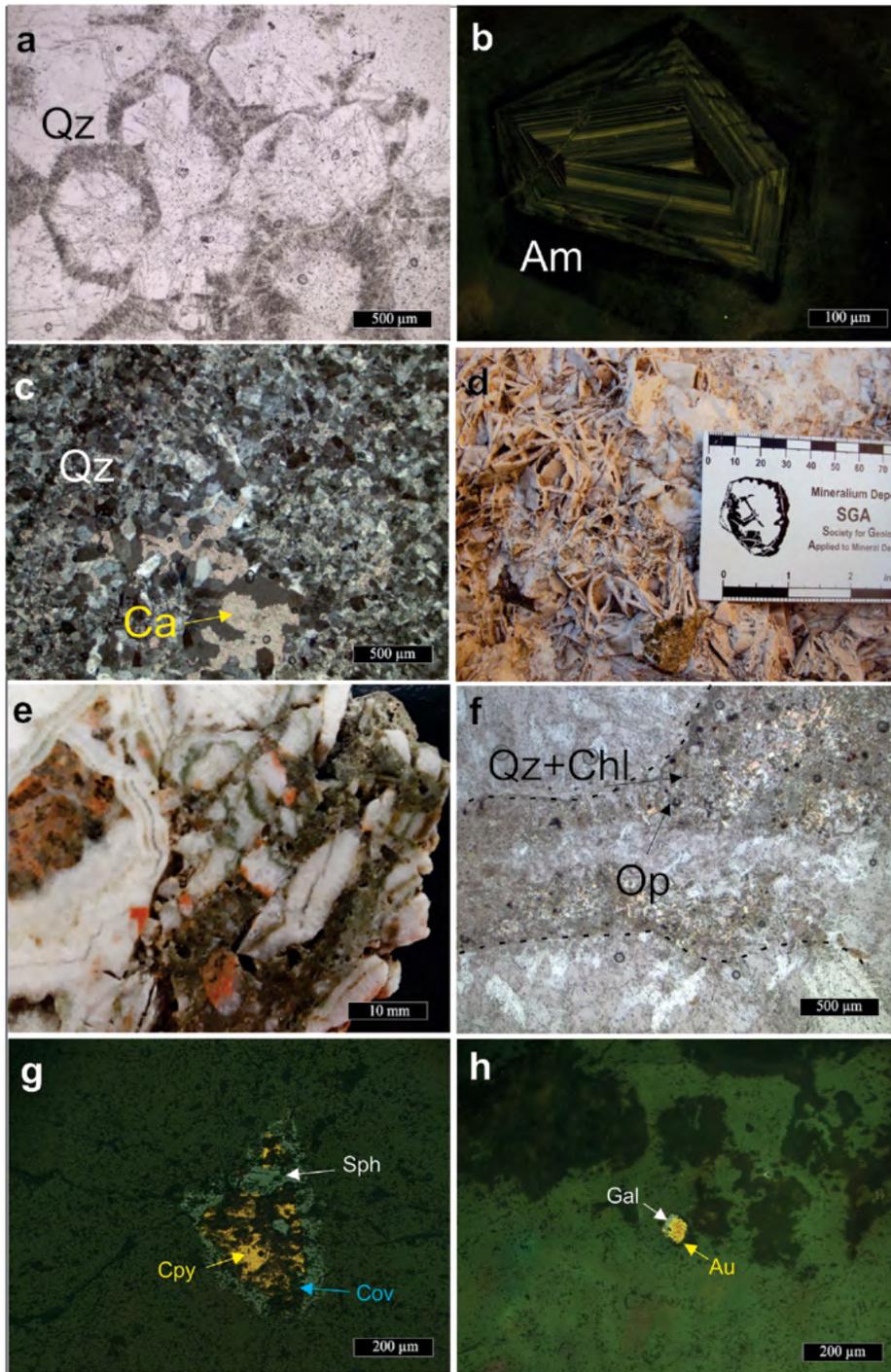


Figura 7. a) Fotomicrografía con luz transmitida sin polarizador de cristales con zonación del evento 4 con abundantes inclusiones fluidas e impurezas demarcando estas líneas; b) Fotomicrografía de catodoluminiscencia de una sección basal de un cristal de amatista (Am) del evento 4 con líneas de crecimiento; c) Fotomicrografía con luz transmitida con polarizador de cristales de calcita (Ca) del evento 5 ocupando intersticios en medio de cuarzo con textura en mosaico del evento 2; d) Fotografía de afloramiento de una estructura subparalela a la principal con relleno de calcita con textura en enrejado, reemplazada por sílice, asignado al evento 5. Se observan fragmentos de roca de caja de la unidad I; e) Fotografía de detalle de la brecha del evento 6 con fragmentos de los eventos previos de diversos tamaños, inmersos en una matriz fina de cuarzo y cemento silíceo con clorita, arcillas y óxidos de hierro; f) Fotomicrografía con luz transmitida sin polarizador de una muestra del evento 6 con pequeños cristales de cuarzo, localmente intercrecidos con clorita (Chl) y cristales opacos (Op) diseminados; g) Fotomicrografía con luz reflejada mostrando en detalle los opacos, calcopirita (Cpy) rodeada por esfalerita (Sph) y microfracturas con incipiente reemplazo por covelina; h) Grano de oro (Au) asociado con galena? (Gal).

son de naturaleza bifásica, en su mayoría líquido dominante, aunque también se registraron poblaciones con predominio de fase vapor y Th consistentes entre ambos tipos de inclusiones (Fig. 8b). En general, las inclusiones fluidas primarias en los cristales euédrales, presentan temperaturas promedio de 283,89°C y salinidades de 3,9% NaCl eq. También se midieron inclusiones fluidas alojadas en los bordes cristalinos asociadas a texturas micro-

plumosas, que fueron clasificadas como pseudosecundarias. Para este grupo, las temperaturas registradas promedian los 315,46°C y 1% NaCl eq. Asimismo, se midieron inclusiones fluidas secundarias en el cuarzo recrystalizado de las bandas finas que conforman la textura en cocarda, agrupándolas en 3 FIAs. La sílice original se encuentra completamente recrystalizada y las inclusiones que pudieron medirse no reflejan las condiciones al momento

de cristalización de las bandas, sino a un evento posterior. La temperatura de homogenización promedio para dicho evento es de 338,28°C y salinidad media de 1,584% NaCl eq.

El evento 3, conformado por cuarzo masivo, es el más difundido a lo largo y alto de toda la estructura. Se analizaron 2 muestras de superficie (cota 1700 m.s.n.m.), una muestra tomada en la galería principal (cota 1650 m.s.n.m.) y una muestra pro-

veniente del sondaje CASS-10-01 (cota 1585 m.s.n.m.). Se establecieron 6 FIAs en función de las características específicas de cada inclusión y también de la cota en la que fue tomada la muestra. De este modo se pudo establecer una zonación de temperaturas de homogenización y salinidades en función de la profundidad. Aproximadamente un 30% de las inclusiones fluidas medidas presentan un predominio de la fase vapor sobre la fase líquida, el porcentaje restante corresponde a IF líquido dominante. De ese porcentaje, la mayoría de las inclusiones fluidas vapor dominante se encuentran en las muestras provenientes de superficie (Fig. 8c), mientras que en la muestra tomada dentro del túnel sólo un reducido grupo presentaba mayor desarrollo de la fase vapor, y finalmente la muestra tomada a mayor profundidad no presentaba ninguna inclusión con estas características. Las temperaturas y salinidades de las IF medidas en el cuarzo de las cotas superiores arrojan valores promedio de 294,81°C y 0,761% NaCl eq., mientras que para el cuarzo de cotas intermedias se obtuvo un valor promedio de Th = 313,92°C y salinidad de 1,451% NaCl eq. Finalmente, las IF medidas en la cota inferior presentan valores promedio de Th y salinidad de 334,85°C y 1,905% NaCl eq, respectivamente.

Para el evento 4, se analizaron IF hospedadas en cristales de amatista y cuarzo euhedrales dispuestos en bandas que forman la textura en cocarda. Fueron muy escasas las IF primarias observadas, ya que predominan los trenes de IF secundarias, que atraviesan los cristales en su totalidad, y que representan diferentes eventos posteriores al relleno de este pulso, observándose trenes de inclusiones fluidas bifásicas líquido dominante cortados por trenes de inclusiones monofásicas constituidos por una fase de vapor (Fig. 8d). Las IF medidas en amatista son líquido dominante, la Th promedio calculada es de 340,23°C. Sólo pudo medirse un dato de Tm, por lo tanto, se cuenta con un único valor de salinidad que corresponde a 0,354% NaCl eq. En el cuarzo euhedral, las IF primarias presentan predominio de fase líquida (solo 5 IF registraron mayor proporción de vapor)

debido al tamaño reducido de las mismas. Algunas IF pseudosecundarias vapor dominante (Fig. 8e) fueron ensayadas sobre los bordes parcialmente recrystalizados y arrojaron valores promedio de 290,88°C y 1,224% NaCl eq.

Por último, el evento 6 sólo fue medido en una muestra proveniente del sondaje CASS-10-03 (cota 1640m.s.n.m.). Debido al tamaño reducido de los cristales y la escasa diafanidad del cuarzo, sólo 5 valores pudieron ser obtenidos. Las IF registradas fueron en su totalidad bifásicas con fase vapor dominante (Fig. 8f), todas ellas con Th similares que promedian los

287,88°C y valores de salinidad de 2,88% NaCl eq.

Distribución y zonación de contenidos metálicos

En los depósitos epitermales las variaciones verticales y laterales de los contenidos de ciertos elementos constituyen rasgos comunes y pueden utilizarse para la determinación de direcciones de flujo y establecer las condiciones fisicoquímicas durante el transporte y precipitación de los metales (Goodell y Petersen 1974, Gemmell 2007, Clark y Gemmell 2018).

La caracterización geoquímica de la veta

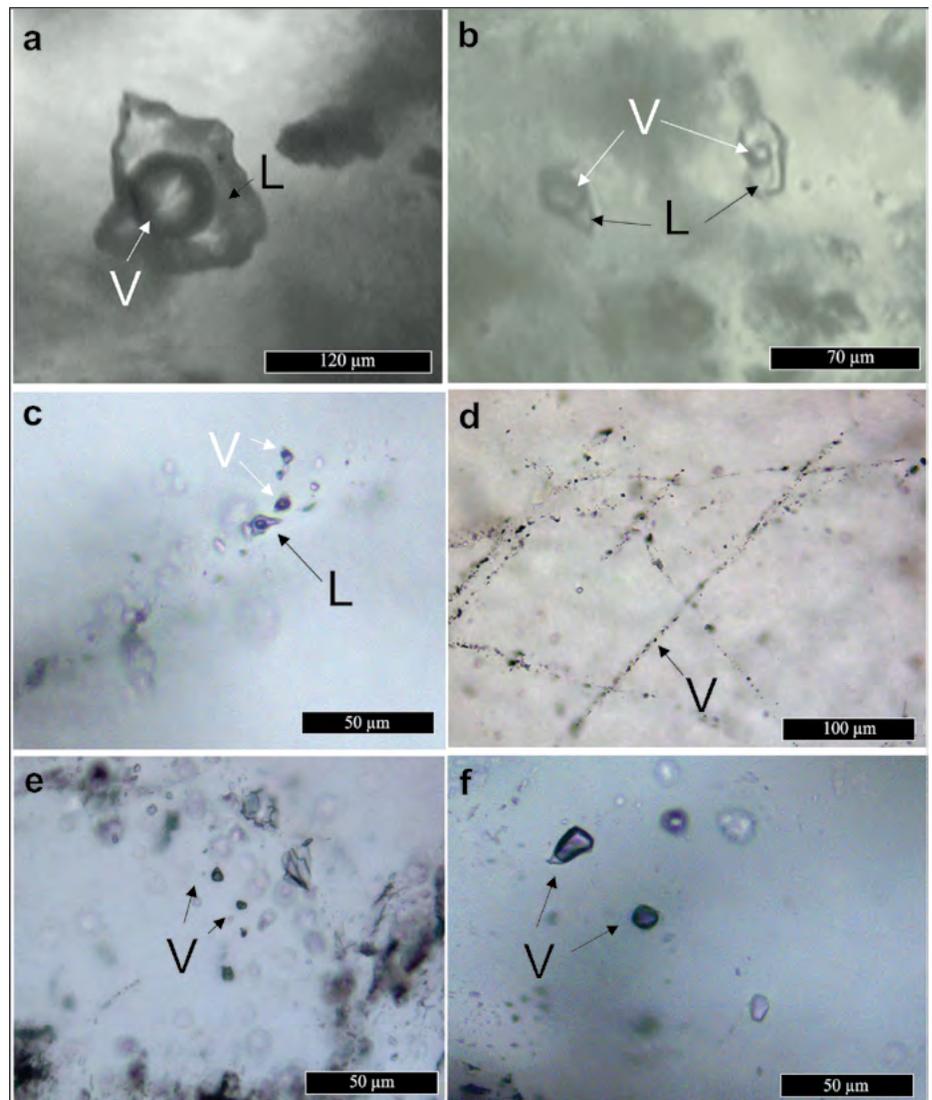


Figura 8. a) Inclusión fluida irregular de gran tamaño medida en un cristal de cuarzo proveniente del E3; b) Fotomicrografía con luz transmitida sin polarizador de un cristal de cuarzo euhedral del E2, a la izquierda inclusión fluida vapor dominante, a la derecha inclusión líquido dominante, ambas coexistiendo y con Th alrededor de los 278°C; c) Fotomicrografía con luz transmitida sin polarizador del E3 en superficie, mostrando la coexistencia de inclusiones fluidas primarias líquido dominante con vapor dominante; d) Trenes de inclusiones fluidas secundarias vapor dominante en un cristal del E4; e) Inclusiones fluidas vapor dominante provenientes de un borde cristalino de cuarzo del E4; f) Inclusiones fluidas vapor dominante pequeñas en cuarzo del E6.

CUADRO 1. FIAs definidas para los 4 eventos analizados de la Veta Dios Protege.

Evento	Muestra	FIA	Mineral	Tipo	Forma	L:V	Tamaño promedio (µm)	Th (n)	Th Rango (°C)	Th Promedio (°C)	Tm (n)	Tm Rango (°C)	Salinidad Promedio (%NaCl eq.)
2	01080709	P2x-Ia	Qz bn	P	Facetada	2:8	20.67	3	[262.7 - 295.7]	282.27	-	-	-
	01080709	P2x-Ib	Qz bn	P	Redondeada	6:4	44.5	3	[252.8 - 271]	263.37	1	-6.5	9.855
	01080709	P2x-II	Qz bn	P+S	Irregular	6:4	20	6	[302.8 - 334]	322.68	1	-0.4	0.705
	02080709	P2x-III	Qz bn	P	Irregular	8:2	39.25	8	[285.9 - 312.4]	302.62	1	-1.6	2.737
	02080709	P2x-IV	Qz bn	P+S	Irregular	8:2	30.33	6	[321.7 - 386.1]	353.58	-	-	-
	DP-04	P2x-Va	Qz cc	P	Irregular	3:7	33	10	[250.7 - 302.4]	272.52	-	-	-
	DP-04	P2x-Vb	Qz cc	P	Irregular/Redondeada	7:3	25.46	26	[263 - 298]	279.23	6	[-1.4 a -0.6]	1.621
	DP-05	P2x-VI	Qz cc	P+S	Irregular/Redondeada	5:5	36.8	5	[241.6 - 266.3]	257.04	3	[-1 a -0.1]	1.161
	CN-03	P2x-VII	Qz cc	P	Irregular	5:5	28	10	[297.1 - 312.2]	303.38	3	[-1.2 a -0.6]	1.392
	CN-03	P2x-VIII	Qz cc	P+S	Irregular/Facetada	5:5	43.33	3	[322.2 - 333.9]	328.56	2	[-0.9 a -0.4]	1.135
	DP-04	P2c-I a	Qz bn	S	Irregular	3:7	20.66	3	[318.6 - 380.2]	340.13	-	-	-
	DP-04	P2c-I b	Qz bn	S	Irregular/Redondeada	6:4	33.33	12	[303.6 - 384.6]	340.41	3	[-1.4 a -0.2]	1.611
	01080709	P2c-I c	Qz bn	S	Irregular	8:2	26.29	27	[297.8 - 386.1]	334.3	8	[-1.8 a -0.4]	1.557
	3	04080709	P3-I a	Qz ms	P	Irregular	2:8	63.42	7	[268.6 - 333.4]	309.22	2	[-0.5 a -0.2]
DP-04		P3-I b	Qz ms	P	Irregular	7:3	37.33	9	[296.4 - 324]	313.92	3	[-1.1 a -0.6]	1.451
02080709		P3-II	Qz ms	P+S	Redondeada	5:5	27.33	3	[245.1 - 268.4]	259.93	1	-0.6	1.05
02080709		P3-III	Qz ms	P	Irregular	5:5	66.75	8	[275.6 - 312.4]	299.78	4	[-1.4 a -0.1]	0.82
CASS-01		P3-IV	Qz ms	P	Irregular	7:3	31	8	[317.5 - 348.7]	334.85	1	-1.1	1.905
CN-03		P3-V	Qz ms	P+S	Irregular	5:5	49.17	29	[263.1 - 298.7]	280.4	11	[-0.9 a -0.1]	0.907
4	08280710	P4-I	Am	P	Redondeada	7:3	13	6	[324.7 - 360.1]	340.23	1	-0.2	0.354
	08280710	P4-II a	Qz bn	P+S	Irregular	2:8	28.8	5	[264.6 - 301.9]	290.94	-	-	-
	08280710	P4-II b	Qz bn	P+S	Redondeada	8:2	22.53	15	[236.8 - 306.5]	290.82	2	[-0.8 a -0.6]	1.224
	08280710	P4-III	Qz bn	P	Irregular/Redondeada	5:5	19	4	[309.6 - 329]	318.92	-	-	-
	CN-03	P4-IV	Qz bn	P	Irregular	8:2	25.76	17	[319.4 - 343.4]	330.62	-	-	-
6	CASS-03	P6-I	Qz ms	P	Irregular	4:6	9.33	5	[278.4 - 294.6]	287.88	2	[-2.4 a -1]	2.88

Cuarzo con textura bandeada (Qz bn); cuarzo con textura en peine (Qz cc); cuarzo con textura masiva (Qz ms); amatista (Am); tipos de inclusiones primarias (P), secundarias (S) y pseudosecundarias (P+S); relación líquido:vapor (L:V).

Dios Protege se realizó considerando la información proveniente de muestras de rock-chip y canaletas de superficie, pequeñas labores subsuperficiales, galería principal y sondajes. Se calcularon valores umbrales que corresponden a 1,09 g/t de Au y 229,22 g/t de Ag.

Se confeccionó una matriz de Pearson a fin de establecer las correlaciones existentes entre los elementos de interés. De este modo, se estableció una correlación muy buena entre Au y Pb, Ag y Pb, Ag y Zn, correlación buena entre Au y Ag, Au y Cu, correlación moderada entre Au y Zn y correlaciones malas entre los restantes elementos (Cuadro 2).

Las relaciones entre diferentes metales son indicativas de las características físico-químicas del fluido mineralizante y permiten establecer la dirección de migración de fluidos en depósitos hidrotermales, definir zonas de ascenso, flujos laterales y establecer gradientes de temperatura (Goodell y Petersen 1974). Para la veta Dios Protege se seleccionaron muestras sólo de la estructura principal que tuvieran mínima o nula incorporación de fragmentos de roca de caja. En los interceptos seleccionados, provenientes de muestras de superficie, canaletas en túneles y sondajes, se estimó la media ponderada por el espesor real para los contenidos de Au, Ag, Cu, Pb y Zn. Para la veta Dios Protege se evaluaron los siguientes cocientes [Au/

CUADRO 2. Matriz de Pearson para las muestras de la Veta Dios Protege.

	Au [ppm]	Hg [ppm]	Ag [ppm]	As [ppm]	Cu [ppm]	Pb [ppm]	Zn [ppm]
Au [ppm]	1	0.0503	0.7104	-0.0962	0.6955	0.8534	0.5488
Hg [ppm]	0.0503	1	-0.0609	0.1802	0.0244	-0.0251	-0.1614
Ag [ppm]	0.7104	-0.0609	1	0.0160	0.2965	0.8632	0.8907
As [ppm]	-0.0962	0.1802	0.0160	1	-0.2431	-0.0829	0.2239
Cu [ppm]	0.6955	0.0244	0.2965	-0.2431	1	0.7074	0.2112
Pb [ppm]	0.8534	-0.0251	0.8632	-0.0829	0.7074	1	0.7651
Zn [ppm]	0.5488	-0.1614	0.8907	0.2239	0.2112	0.7651	1

En escala de grises se observan las correlaciones positivas entre los elementos considerados.

Pb]*100, [Au/Cu]*100, [Ag/Pb]*100, [Pb/Zn], [Au/(Au+Ag)]*100. Se presentan los resultados de los dos primeros cocientes en una sección longitudinal (Fig. 9). Las otras relaciones evaluadas no mostraron ninguna tendencia que permitiera vectorizar la dirección del flujo.

En particular, los valores del cociente [Au/Pb]*100 se incrementan al norte y en la porción central, disminuyendo considerablemente hacia el sur. En general, los máximos se disponen cercanos a la superficie, mientras que en profundidad los valores disminuyen considerablemente. Para el caso del cociente [Au/Cu]*100, la distribución es similar a la descripta anteriormente, aunque también se destacan valores altos hacia el sur.

DISCUSIÓN

Las zonas de falla controlan la dinámi-

ca de los fluidos en la corteza superior. Dependiendo de la permeabilidad, cada zona de falla individual puede actuar tanto como conducto, así como barrera para los fluidos circundantes (Faulkner *et al.* 2010). En los sistemas epitermales de baja sulfuración la distribución de los clavos mineralizados tiene una relación directa con las características estructurales de las vetas, como el sentido de movimiento, espesor o inflexiones a lo largo del rumbo (Sibson 1987).

El modelo estructural de la veta Dios Protege consiste en una falla de rumbo, con sectores más favorables para el desarrollo de texturas de relleno y la depositación de la mineralización. Estos sectores de apertura corresponden a *jogs* dilatacionales generados en las inflexiones NO-SE, intersección con estructuras NO-SE y N-S, y las estructuras tipo cola de caballo. El eje de extensión calculado es subhorizontal, con una leve inclinación hacia el sur, y

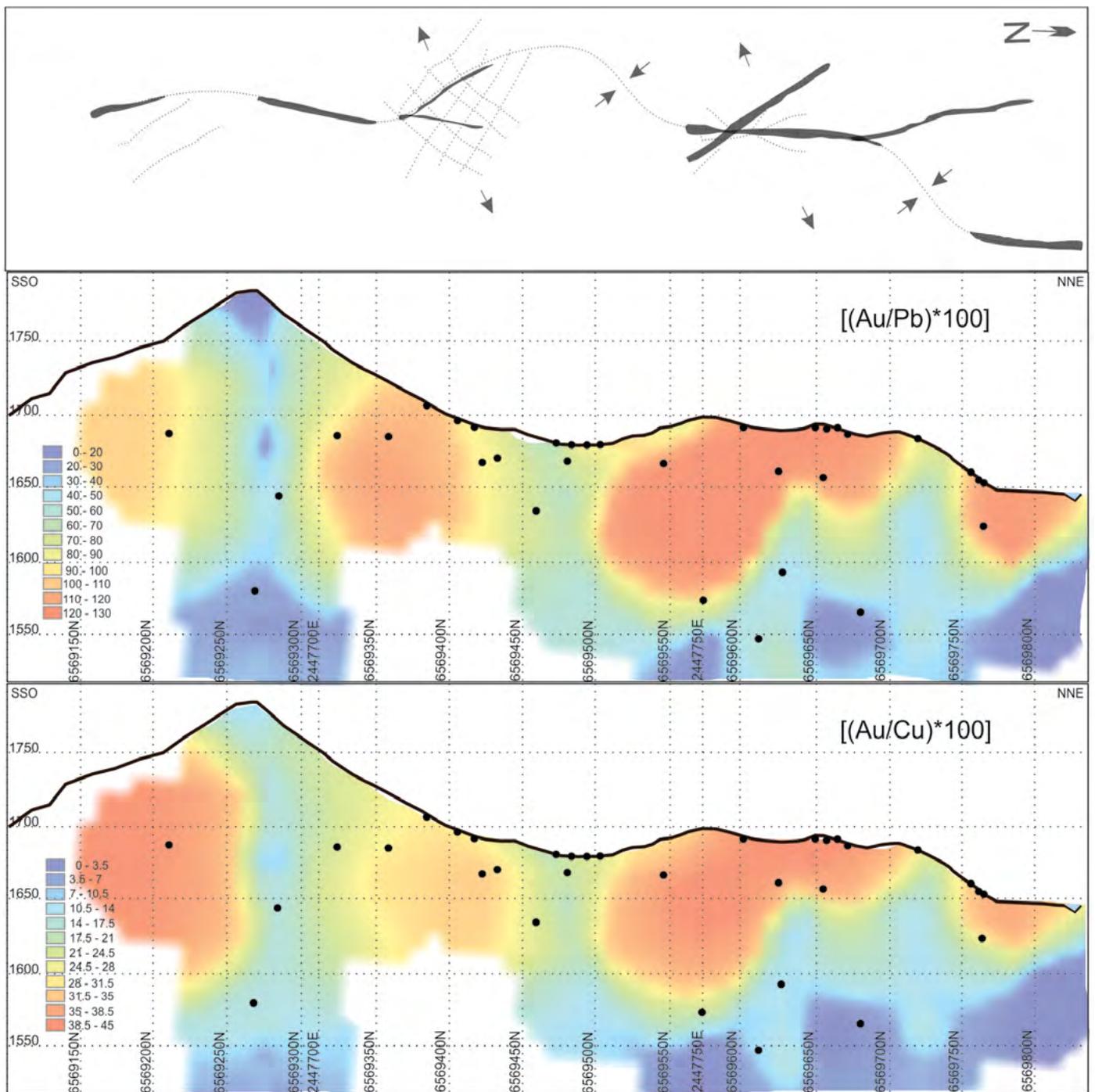


Figura 9. Sección longitudinal de la veta Dios Protege y su relación con el modelo estructural propuesto para la estructura. Relaciones entre metales $[(Au/Pb)*100]$ y $[(Au/Cu)*100]$ representadas mediante el algoritmo del vecino natural, mostrando los altos en color rojo coincidente con los tramos superficiales/subsuperficiales de los sectores de apertura definidos, disminuyendo en profundidad (en tonos azules).

sería consistente con el desarrollo de clavos subverticales en dichos sectores. Del mismo modo, la distribución de los valores anómalos de los metales de interés, y en particular los cocientes calculados entre ellos son coincidentes con la localización de los mencionados clavos. Los cocientes $[(Au/Pb)*100]$ y $[(Au/Cu)*100]$, muestran una disposición subvertical para la circulación

del fluido, en concordancia con el desarrollo de las fracturas en la misma posición. Esto es evidenciado en los sectores de apertura definidos en el modelo, donde se registran los máximos valores de estos cocientes, en cercanía a la superficie, y una disminución paulatina hacia los sectores más profundos. La apertura de las fracturas a velocidades

mayores que las que puede alcanzar el fluido durante su ascenso genera un desbalance de presiones y consiguiente desarrollo de una fuerza de succión opuesta (Frenzel y Woodcock 2014, Sibson 1986). Esta fuerza de succión provoca una implosión hidráulica y da lugar a las brechas tipo cocarda que rellenan los sectores con mayores espesores de la estructura de

Dios Protege. Por otra parte, cuando la velocidad de cementación del fluido supera a la velocidad de propagación de la fractura, el resultado es una brecha tipo *crackle* (Frenzel y Woodcock 2014). De este modo, el desarrollo de brechas en cocarda alternadas con brechas tipo *crackle* constatan la variabilidad en las velocidades de ascenso y presiones en el sistema a medida que este evoluciona.

A lo largo de la corrida de la veta Dios Protege, se observa el desarrollo de brechas tipo *crackle* correspondientes al evento 3 indistintamente de la localización dentro de la estructura. De acuerdo a lo expuesto anteriormente, este tipo de brechas responden a un rápido ascenso del fluido, es por esto que lo esperable sería encontrar variedades de sílice amorfa o criptocristalina. Sin embargo, el evento 3 contiene una elevada proporción de cuarzo con buen desarrollo cristalino, posiblemente debido a que no se alcanzó una sobresaturación de sílice en el fluido, condición necesaria para la precipitación de las variedades amorfas de sílice (Simmons y Browne 2000).

Los eventos 1 y 6 corresponden también a brechas tipo *crackle*. No presentan un desarrollo volumétrico considerable ni una distribución areal importante. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con el evento 3, estos eventos fueron registrados en las zonas de apertura, coincidentes con los sectores de mayor desarrollo de espesores. En particular los eventos 1 y 6 se caracterizan por un predominio de variedades de sílice de baja cristalinidad, consistentes con un ascenso rápido del fluido.

Las brechas tipo cocarda (eventos 2 y 4), solo se registran en los *jogs* dilatacionales, donde la velocidad de cementación hidrotermal es baja con respecto al desplazamiento de la falla. En ambos eventos predominan las fases mineralógicas cristalinas, siendo consistentes con un lento ascenso del fluido.

Las variaciones de presión, temperatura y composición del fluido, se ven reflejadas tanto en las diferentes variedades de fases minerales generadas, como en las inclusiones fluidas en cada una de estas fases. Las temperaturas de homogenización de inclusiones fluidas primarias registradas para el evento 2 arrojan un valor promedio

de 283,89°C para una cota aproximada de 1.680 m.s.n.m. Asimismo, se registraron dos eventos posteriores que reflejan un aumento de temperatura, evidenciado por las temperaturas obtenidas para las FIAs pseudosecundarias medidas en las variedades de sílice recristalizada. En el caso del evento 3, las inclusiones fluidas primarias pudieron ser evaluadas para tres cotas diferentes, siendo las temperaturas de homogenización promedio para la cota de 1.700 m.s.n.m. de 294,81°C, para la cota 1.650 m.s.n.m. de 313,92°C y para la cota de 1.585 m.s.n.m. de 334,85°C, mostrando un enfriamiento paulatino a medida que disminuye la profundidad. De igual modo se observa un leve descenso en las salinidades. El cuarto evento muestra temperaturas mayores, entre 330°C y 340°C para una cota promedio de 1.680 m.s.n.m. Finalmente, el evento 6, pese a la escasa población de inclusiones fluidas, permite apreciar un descenso de la temperatura del sistema evidenciado por una temperatura de homogenización promedio de 287,88°C para la cota 1.640 m.s.n.m. Por otra parte, el registro de procesos de ebullición permite establecer las posibles localizaciones de los clavos mineralizados. Debido al dinamismo característico de estos sistemas, para una determinada profundidad puede haber registro de asociaciones de inclusiones que representan ebullición, alternadas con asociaciones de inclusiones entrampadas durante un momento de "no-ebullición". La intensidad de la ebullición puede variar en tiempo y espacio dentro de un sistema a medida que éste evoluciona, pasando de estadios de no-ebullición (*non-boiling*), a ebullición sutil (*normal boiling, gentle boiling*) y finalmente ebullición intensa (*intense boiling, flashing boiling*), dando lugar a fluctuaciones en la localización de la base del horizonte de ebullición y, en consecuencia, en la disposición de los clavos mineralizados (Moncada *et al.* 2012, Shimizu 2014). Al analizar las FIAs determinadas para cada evento, en conjunto con la mineralogía asociada pudo establecerse que en el evento 2, la ebullición fue sutil y está evidenciada por la presencia de adularia subrómbica y la coexistencia de inclusiones fluidas líquido dominante y vapor dominante, que homogenizan a temperaturas similares. En el evento 3 las muestras

de superficie (cota 1.700 m.s.n.m.) presentan un mayor predominio de inclusiones fluidas vapor dominante, mientras que en profundidad solo se registran inclusiones líquido dominante (cota 1.585 m.s.n.m.), mostrando un pasaje desde estadios de no ebullición en profundidad a estadios de ebullición a una cota cercana a superficie. El cuarto evento no contiene suficientes elementos que permitan establecer un evento de ebullición, aunque no se descarta una ebullición sutil ya que se constató la presencia de algunas inclusiones fluidas vapor dominante que homogenizan a temperaturas similares que las inclusiones líquido dominante. Asimismo, los trenes de inclusiones fluidas secundarias vapor dominante y las inclusiones medidas en sectores recristalizados del evento 4, revelan un evento posterior de ebullición. El evento 6 solo registró unas pocas inclusiones fluidas primarias, mayoritariamente vapor dominante, que sumado al tipo de brecha generada por una rápida velocidad de ascenso y al predominio de sílice de baja temperatura, podrían representar un episodio de ebullición intensa.

En los sistemas donde ocurre una ebullición intensa, un sector acotado de alta ley (tipo Bonanza) es más probable de encontrarse hacia la base de la zona de ebullición, mientras que en sistemas caracterizados por una ebullición sutil las leyes tenderán a ser más bajas y distribuidas a lo largo de una distancia vertical mayor por encima de la base de la zona de ebullición. De este modo, para los sistemas que presentan una ebullición sutil las mayores leyes podrían localizarse a cierta distancia de la base del horizonte de ebullición (Moncada *et al.* 2012, Simmons y Browne 2000). El hecho de que los mejores valores de Au se hayan registrado en el evento 6, el cual presenta evidencias de ebullición intensa, en conjunto con la localización del mismo en los niveles superiores estudiados y en los sectores de mayor apertura, permiten establecer que el mecanismo más plausible para la depositación de la mineralización sería la ebullición intensa, y la localización de la base del horizonte de ebullición podría disponerse en cotas inferiores a 1.640 m.s.n.m. (profundidad a la que fue evaluado este evento). Esto implica la posibilidad de encontrar un sector de alta ley por debajo de dicha cota en los

puntos de apertura de la estructura identificados.

CONCLUSIONES

La veta Dios Protege constituye la estructura principal del distrito minero Castaño Nuevo. El estudio en detalle permitió establecer la presencia de clavos verticales a subverticales con leve inclinación hacia el sur. Esta disposición es consistente con los ejes de extensión y acortamiento subhorizontales calculados. El movimiento a lo largo de la estructura, de carácter sinistral, genera zonas de apertura con mayor desarrollo de permeabilidad, y consiguiente circulación de fluidos. En esos sectores se registran al menos 6 eventos, representados por una alternancia de brechas de tipo cocarda y brechas tipo *crackle*. Cada evento está representado por una mineralogía particular y registra inclusiones fluidas asociadas a eventos de no ebullición, ebullición sutil e intensa (a excepción de los eventos 1 y 5 que no fueron evaluados).

Los mayores valores de Au se asocian al último evento, caracterizado por brechas tipo *crackle*, con predominio de sílice criptocristalina recristalizada y evidencias de ebullición intensa, registradas en muestras subsuperficiales, permitiendo establecer la localización del horizonte de ebullición a una cota inferior a los 1.640 m.s.n.m. y una mineralización tipo bonanza asociada.

La integración de datos estructurales, mineralógicos, texturales, químicos y de inclusiones fluidas permite acotar la mineralización, representa una herramienta fundamental para el entendimiento de estos sistemas y constituye una importante guía para la exploración.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la empresa Troy Resources Ltd. por permitir el acceso al sector de estudio y facilitar los datos empleados en el presente trabajo. A la Dra. Ana Laura Rainoldi por el soporte técnico para el uso del equipo de catodoluminiscencia. Se agradece muy especialmente a las revisoras de este trabajo, Dra. Nora

Rubinstein y Dra. Josefina Pons, cuyos valiosos aportes permitieron mejorar este manuscrito.

REFERENCIAS

- Adams, S.F. 1920. A Microscopic Study of Vein Quartz. *Economic Geology* 15: 623-664.
- Allmendinger, R. 2017. FaultKin7 [http://www.geo.cornell.edu/geology/faculty/RWA/pro].
- Angelelli, V., Etchevery, R., Tomasi, C. y González, A. 1984. Yacimientos Metalíferos de la República Argentina. Comisión de Investigaciones Científicas 2: 444-445, La Plata.
- Bodnar, R.J. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 683-684.
- Bodnar, R.J. 2003. Introduction to Aqueous-electrolyte Fluid Inclusions. En: Samson, I., Anderson, A. y Marshall, D. (ed.), *Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation*. Capítulo 4: 81-99, Ontario.
- Caballé, M. 1986. Estudio geológico del sector oriental de la Cordillera Frontal, entre los ríos Manrique y Calingasta (Provincia de San Juan). Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata (inédita), 205 p., La Plata.
- Cegarra, M.I., Ragona, D.E., García Espina, R., González, P.D., Lo Forte, G.L. y Sato, A.M. 1998. Estratigrafía de la Región de Castaño Nuevo, Cordillera Frontal de San Juan. 10° Congreso Latinoamericano de Geología y 6° Congreso Nacional de Geología Económica. Actas 1: 85-90, Buenos Aires.
- Clark, L.V. y Gemmell, J.B. 2018. Vein Stratigraphy, Mineralogy, and Metal Zonation of the Kencana Low-Sulfidation Epithermal Au-Ag Deposit, Gosowong Goldfield, Halmahera Island, Indonesia. *Economic Geology* 113: 209-236.
- Cócola, M.A., Mas, G.R., López, N.A. y Bengochea, L. 2011. Adularia de la Veta Dios Protege, Distrito Minero Castaño Nuevo, San Juan. Características ópticas y análisis del estado estructural. 19° Congreso Geológico Argentino, Actas: 1074-1075, Neuquén.
- Connolly, P.T. y Cosgrove, J.W. 1999. Prediction of static and dynamic fluid pathways within around and around dilational jogs. En: McCaffrey, K.J.W., Lonergan, L. y Wilkinson, J.J. (ed.), *Fractures, Fluid Flow and Mineralization*. Geological Society Special Publication 155: 105-121, London.
- Davis, D.W., Lowenstein, T.K. y Spencer, R.J. 1990. Melting behavior of fluid inclusions in laboratory-grown halite crystals in the systems NaCl-H₂O, NaCl-KCl-H₂O, NaCl-Mg-Cl₂-H₂O, and NaCl-CaCl₂-H₂O. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 54: 591-601.
- Delendatti, G.L. 2005a. La Diatrema del Complejo Mineralizado Castaño Nuevo, Cordillera Frontal, Dan Juan, Argentina. 8° Congreso de Geología Económica, Actas: 175-182. Buenos Aires.
- Delendatti, G.L. 2005b. Caracterización genética del complejo mineralizado Castaño Nuevo y su relación con el magmatismo Gondwánico en Cordillera Frontal, San Juan, Argentina. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de San Juan (inédita), 213p., San Juan.
- Delendatti, G.L., Zangrandi, M. y Bastías, H. 2002. Relaciones entre alteración hidrotermal y estructuras: el caso de las brechas silicificadas del distrito Castaño Nuevo, Cordillera Frontal sanjuanina. 15° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 445-450, El Calafate.
- Faulkner, D.R., Jackson, C.A.L., Lunn, R.J., Schlische, R.W., Shipton, Z.K., Wibberley, C.A.J. y Withjack, M.O. 2010. A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones. *Journal of Structural Geology* 32: 1557-1575.
- Frenzel, M. y Woodcock, N.H. 2014. Cockade breccia: Product of mineralization along dilational faults. *Journal of Structural Geology* 68: 194-206.
- Garrido, M., Barra, F., Domínguez, E., Ruiz, J. y Valencia, V. 2008. Late Carboniferous porphyry copper mineralization at La Voluntad, Neuquén, Argentina: Constraints from Re-Os molybdenite dating. *Mineralium Deposita* 43: 591-597.
- Garrido, M., Grecco, L.E., Gonzalez, M.V. y Pavón Pivetta, C.M. 2018. Petrography, geochemistry and geochronology of San Jorge porphyry Cu-Au deposit, Mendoza, Argentina. Constraints for the timing of magmatism and associated mineralization. *Acta Geológica Lilloana* 30: 1-22.
- Gemmell, J.B. 2007. Hydrothermal Alteration Associated with the Gosowong Epithermal Au-Ag Deposit, Halmahera, Indonesia: Mineralogy, Geochemistry, and Exploration Implications. *Economic Geology* 102: 893-922.
- Genna, A., Jébrak, M., Marcoux, E. y Milési, J.P. 1996. Genesis of cockade breccias in the tectonic evolution of the Cirotan epi-

- thermal gold system, West Java. *Canadian Journal of Earth Science* 33: 93-102.
- Goldstein, R.H. y Reynolds, T.J. 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. En: *SEPM Short Course Handbook* 31, 199 p., Tulsa.
- Goodell, P.C. y Petersen, U. 1974. Julcani Mining District, Peru: A Study of Metal Ratios. *Economic Geology* 69: 347-361.
- Groeber, P. 1938. *Mineralogía y Geología. Espasa-Calpe Argentina*, 492 p. Buenos Aires.
- Heredia, N., Rodríguez Fernández, L.R., Gallastegui, G., Busquets, P. y Colombo, F. 2002. Geological setting of the Argentine Frontal Cordillera in the flat-slab segment (30°00' - 31°30' S latitude). *Journal of South American Earth Sciences* 15: 79-99.
- Hermitte, E. 1914. La Geología y Minería Argentinas en 1914. En: García E. (ed.), *Tercer Censo Nacional, Volumen 7, Censo de Las Industrias*, p. 404-494, Buenos Aires.
- Llambías, E.J. y Malvicini, L. 1966. Metalogénesis asociada a los plutones graníticos de la Cordillera Frontal, entre la Quebrada de Agua Negra y Río Castaño, San Juan. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 21: 239-261.
- Llambías, E.J. y Sato, A.M. 1990. El batolito de Colangüil (29-31°S) cordillera frontal de Argentina. *Revista Geológica de Chile* 17: 89-108.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T.J., Rimstidt, J.D. y Bodnar, R.J. 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 114: 20-35.
- Ramos, V.A. 1999. Las Provincias Geológicas del Territorio Argentino. En: Caminos, R. (ed.), *Geología Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales – SEGEMAR*, 49-96, Buenos Aires.
- Reimann, C. y De Caritat, P. 2016. Establishing geochemical background variation and threshold values for 59 elements in Australian surface soil. *Science of Total Environment* 578: 633-648.
- Reimann, C., Filzmoser, P. y Garrett, R.G. 2005. Background and threshold: critical comparison of methods of determination. *Science of Total Environment* 346: 1-16.
- Rodríguez Fernández, L.R., Heredia, N., Martín, G., Quesada, C., Robador, A., Ragona, D. y Cardó, R. 1996a. Tectonoestratigrafía y estructura de los Andes Argentinos entre los 30°30' y 31°00' de Latitud S. 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 2: 111-124, Buenos Aires.
- Rodríguez Fernández, L.R., Heredia, N., Gallastegui, G., Quesada, C., Robador, A., Martín, G. y Cardó, R. 1996b. Texto explicativo de la Hoja 3169-14: Paraje Castaño Viejo. *SEGEMAR*, 145p., Buenos Aires.
- Rodríguez Fernández, L.R., Heredia, N., Espina, R.G. y Cegarra, M.I. 1999. Estratigrafía y estructura de los Andes Centrales Argentinos entre los 30° y 31° de Latitud Sur. *Acta Geológica Hispana* 32: 51-75.
- Rubinstein, N.A. y Gargiulo, M.F. 2005. Análisis textural de cuarzo hidrotermal del depósito El Pantanito, provincia de Mendoza: Nuevos aportes sobre su génesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60: 96-103.
- Rubinstein, N.A., Ostera, H.A., Mallimacci, H. y Carpio, F. 2004. Lead isotopes from Gondwanan polymetallic ore vein deposits, San Rafael Massif, Argentina. *Journal of South American Earth Science* 16: 579-586.
- Sato, A.M. y Llambías, E.J. 1993. El Grupo Choiyoi, Provincia de San Juan: Equivalente efusivo del Batolito de Colangüil. 12° Congreso Geológico Argentino y 2° Congreso de Exploración de Hidrocarburos, Actas 4: 156-165. Mendoza.
- Sato, A.M., Llambías, E.J., Basei, M.A.S. y Castro, C.E. 2015. Three stages in the Late Paleozoic to Triassic magmatism of southwestern Gondwana, and the relationships with the volcanogenic events in coeval basins. *Journal of South American Earth Science* 63: 48-69.
- Serafini, R. 1982. Posibilidades de los yacimientos de plata y oro del sector oeste del distrito Castaño Nuevo. Trabajo Final de Licenciatura, Universidad Nacional de San Juan (inédito), 205 p., San Juan.
- Shimizu, T. 2014. Reinterpretation of quartz textures in terms of hydrothermal fluid evolution at the Koryu Au-Ag deposit, Japan. *Economic Geology* 109: 2051-2065.
- Sibson, R., 1981. A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation. En: Barnett, V. (ed.), *Interpreting Multivariate Data*, p. 21-36, Nueva York.
- Sibson, R.H. 1986. Rupture Interaction with Faults Jogs. En: Das, S., Boatwright, J. y Scholz, C.H. (ed.), *Earthquake Source Mechanics* 37: 157-166, Washington D.C.
- Sibson, R.H. 1987. Earthquake rupturing as a mineralizing agent in hydrothermal systems. *Geology* 15: 701-704.
- Simmons, S.F. y Browne, P.R.L. 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- Stipanovic, P.N., Rodrigo, F., Baulfies, O.I. y Martínez, C.G. 1968. Las formaciones presenonianas en el denominado Maciso Nordpatagónico. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 23: 67-98.
- Strazzere, L., Gregori, D.A. y Benedini, L. 2016. Early Permian arc-related volcanism and sedimentation at the western margin of Gondwana: Insight from the Choiyoi Group lower section. *Geoscience Frontiers* 7: 715-731.
- Testa, F.J., 2016. Geology, alteration, mineralization and geochemistry of tourmaline breccia complexes in the Andes. Tesis Doctoral. University of Tasmania (inédito). 460p. Hobart.
- Verbovšek, T. 2011. A comparison of parameters below the limit of detection in geochemical analyses by substitution methods. *RMZ – Materials and Geoenvironment* 58: 393-404.
- Wilkinson, J.J. 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55: 229-272.
- Woodcock, N.H. y Mort, K. 2008. Classification of fault breccias and related fault rocks. *Geological Magazine* 145: 435-440.
- Zappettini, E.O. y Chernicoff, C.J. 2018. Metallogenic Implications of Redefining the Upper Paleozoic Magmatism in Argentina: Tectonic settings and related deposit models. IAGOD, 15th Quadrennial IAGOD International Association on the Genesis of Ore Deposits Symposium, p. 144-145, Salta.

Recibido: 5 de mayo, 2019.

Aceptado: 17 de septiembre, 2019