

El sistema de vetas de Sulfuración Intermedia en Mina Bajo de la Alumbraera, Catamarca, Argentina.

Montenegro N.¹, Carrazana A.², Bruna Novillo J.³

¹ Geólogo de Producción, Gerente de Geología YMAD, Hualfín 4759, Belén, Catamarca, Argentina. Tel.+54 3835 490507 o 490538 int. 131. nmontenegro@ymad.com.ar

² Geólogo de Exploración, Gerencia de Servicios Técnicos, Minera Alumbraera Ltd., Hualfín 4139, Belén, Catamarca, Argentina. Tel.+54 3835 485056. acarrazana@xstratacopper.com.ar

³ Superintendente de Geología, Gerencia de Servicios Técnicos, Minera Alumbraera Ltd., Hualfín 4139, Belén, Catamarca, Argentina. Tel.+54 3835 485116. jbruna@xstratacopper.com.ar

Resumen

El Yacimiento de Bajo de la Alumbraera, está ubicado en el noroeste de Argentina, en el Distrito Hualfín, Departamento Belén, de la Provincia de Catamarca. Es un pórfido de Cobre y Oro que aflora en un bajo topográfico formado por la erosión diferencial de los distintos halos de alteración que componen el depósito, el cual está enmarcado por rocas de composición Andesítica del Complejo Volcánico Farallón Negro. La intrusión de una serie de pórfidos dacíticos a este complejo, generaron circulación de fluidos hidrotermales a gran escala que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de caja. Las numerosas vetas que se encuentran en inmediaciones del depósito tienen una orientación preferencial, controlada por estructuras con orientación NO-SE e inclinación al NE (Falla Steve's) y NO-SE con inclinación al SO (Falla Ron). El estudio mineralógico de detalle realizado en estas vetas, evidenció la existencia de minerales primarios como: pirita, esfalerita, galena, calcopirita y oro. Los minerales de ganga son fundamentalmente: cuarzo, manganocalcita, carbonatos y yeso. Las presentaciones texturales son muy variadas.

Abstract

The Bajo de la Alumbraera Deposit is located in the Hualfin district, Belen department of the Catamarca province, in the Northwest region of Argentina. It is copper-gold porphyry that outcrops within a topographic low formed by differential erosion of different alteration halos that set up the deposit, which is framed by andesitic composition rocks from the Farallón Negro Volcanic Complex. A large-scale circulation of hydrothermal fluids was generated by the intrusion of a series of dacitic porphyries to this complex, which have altered and mineralized both, the intrusive phases and the volcanic host rock. The numerous veins found in the deposit surrounding areas have a preferential orientation, controlled by NW-SE strike and NE dip (Steve's Fault), and NW-SE strike and SW dip (Ron Fault) structures. The mineralogical study on these veins proved the existence of primary minerals such as: pyrite, sphalerite, galena, chalcopyrite, and gold. Gangue minerals are basically: quartz, manganocalcite, carbonates and gypsum. Textural manifestations are very assorted

Introducción

La Mina Bajo de la Alumbra se encuentra en el departamento Belén, Distrito Hualfín de la Provincia de Catamarca, a una altura media de 2550 m.s.n.m. Las localidades más cercanas son: 20 Km. al norte, Los Nacimientos; 100 Km. al sudoeste, Belén; 120 Km. al noreste, Santa María. La ruta que posibilita el acceso a la Mina, es la Nacional N°40.

El depósito es un pórfido de cobre y oro localizado dentro del complejo volcánico Farallón Negro, con edades comprendidas entre el Mioceno medio a tardío, situado en la Provincia Geológica de Sierras Pampeanas y dentro de una región de cuencas y sierras controladas por fallas inversas. El complejo volcánico se interpreta como un estratovolcán erosionado, de 16 kilómetros de diámetro que contiene rocas andesíticas y dacíticas. La intrusión de pórfiros dacíticos con mineralización de cobre y oro ocurre en las etapas tardías de la evolución del complejo volcánico.

Geología del Depósito

Bajo de la Alumbra aflora en un bajo topográfico formado por la erosión diferencial de los distintos halos de alteración que componen el depósito. Esta erosión permitió exponer la parte superior del sistema tipo pórfido, haciéndola favorable para su minado. El bajo tiene una superficie de 3.200 metros por 2.200 metros y una elevación central promedio de 2.550 m.s.n.m. Su forma es elíptica, con su eje mayor en dirección NNE (Proffett, 1997). Los cerros alrededor del bajo alcanzan una elevación máxima de 2.880 m en el cuadrante SO.

Litología

Bajo de la Alumbra se encuentra enmarcado por rocas de composición andesítica del Complejo Volcánico Farallón Negro. Estas andesitas presentan una textura afanítica, en algunos sectores, mientras que en otros presenta una textura porfídica fina. La intrusión de una serie de pórfiros dacíticos a este complejo generó circulación de fluidos hidrotermales a gran escala que alteraron y mineralizaron tanto a las fases intrusivas como a las rocas volcánicas de caja.

Los pórfiros ocurren como cuerpos tipo stocks en su parte central y diques en su parte central y bordes (Proffett, 1997). El mapeo detallado de Proffett en 1997 y 2004 definió un total de siete intrusiones separadas, incluyendo fases pre, sin y post mineralización.

La mayor fase intrusiva en Bajo de la Alumbra se relaciona con la intrusión de la serie de pórfiros P3, que corresponde al mayor volumen de pórfiros, explotados dentro del yacimiento.

Alteración

En Bajo de la Alumbra se presentan las típicas alteraciones que caracterizan a un yacimiento porfídico, en un arreglo concéntrico que va desde una zona central de alteración potásica a un halo externo de alteración propilítica (en Alumbra epidoto-clorita) y

sobreimpuesta a las anteriores una zona de alteración filica y argílica (en Alumbraera, alteración destructiva de feldespatos [FDA]). También se identifica un tipo de alteración denominado cuarzo-magnetita en la zona central junto con la alteración potásica.

Mineralización

La mineralogía de mena del yacimiento Bajo de la Alumbraera es relativamente simple. Los sulfuros principales son calcopirita y pirita, con menor proporción de calcosina confinada a una delgada zona de enriquecimiento que se desarrolló esporádicamente en los 50 metros superficiales del depósito y recubriendo cristales de pirita en las zonas más fuertemente lixiviadas adyacentes a las fallas principales. El oro se presenta como inclusiones y como granos adosados a calcopirita y también como granos libres. Muy raramente el oro se presenta como granos adosados a pirita, pero esta asociación no contribuye en forma significativa a la producción total del oro (Brown, 2004).

La activa erosión dentro del Bajo impidió el desarrollo de lixiviación significativa en las zonas de enriquecimiento secundario. Los sulfuros de cobre y hierro ocurren en la superficie, tanto en las zonas de mena como en las áreas con fuerte alteración filica circundante, de los pórfidos dacíticos y andesíticos (Brown, 2004).

Estructuras

El depósito ha estado sujeto a un importante fallamiento. En la parte central y este predominan fallas normales de rumbo nornoroeste, fuerte inclinación y desplazamientos verticales del orden de decenas de metros. En el sudoeste, aparecen fallas de rumbo noreste con desplazamientos verticales de centenas de metros (Proffett, 1997). Estas últimas se denominan fallas de la familia Tarántula, que probablemente cortan a la Falla Steve's. Todas estas fallas son post-minerales, desplazando a todos los pórfidos, alteraciones y mineralizaciones de cobre y oro. En algunos casos, desplazan alteración destructiva de feldespatos; pero en otros, las fallas actuaron como conductos de soluciones, con la consecuente alteración. Se pueden determinar dos grandes grupos de fallas.

- ▶ *Fallas con buzamiento al suroeste:* En este sistema las fallas normales más importantes son: Falla de Yeso, Falla 56-50, Falla de Ron.
- ▶ *Fallas con buzamiento al noreste:* en este sistema las fallas normales más importantes son: Falla Steve's y un juego subparalelo a ésta. Steve es la falla más importante del sector, ubicada al SO de la mina, con rumbo NO-SE. Buza 45°-50° NE en superficie y 55°-60° N en profundidad. Tiene desplazamiento de 200m con un relleno importante de sulfuros y carbonatos con espesores de hasta 20 metros en algunos niveles. Este relleno es el objeto de estudio del presente informe; el cual se amplía a continuación.

Depósitos Epitermales de Sulfuración Intermedia

De acuerdo a Sillitoe y Hedenquist (2003), los depósitos de sulfuración intermedia (SI) ocurren en un amplio rango de rocas de arco, andesíticas a dacíticas. La mayoría de los depósitos epitermales de Au y Ag de sulfuración intermedia aparecen en arcos de rocas andesíticas-dacíticas calcoalcalinas. La composición de los fluidos a partir de los cuales se formaron los depósitos epitermales de SI, es también intermedia entre magmáticos y meteóricos (Albinson *et al.*, 2001; Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003).

Según Albinson *et al.*, (2001) los depósitos de SI muestran un gran rango en su contenido metálico y sus características, desde Au-Ag y Ag-Au (relación Ag-Au ~50) con contenidos inferiores al 0,05% combinado de metales base, hasta depósitos de Ag como metal base. Las vetas de cuarzo son típicamente cristalinas e incluyen silicatos y carbonatos de Mn, así como cantidades mayores al 10% de sulfuros (Sillitoe, 1993). Aunque aparece un amplio rango de sulfuros y sulfosales, estos son dominados volumétricamente por esfalerita con bajo contenido de FeS, galena, tetraedrita-tennantita, calcopirita (Miranda, 2007).

Los depósitos epitermales de las áreas comprendidas dentro del Complejo Volcánico Farallón Negro, como es el caso de Minas Capillitas, ubicado en el departamento Andalgalá, a unos 25 Km. en línea recta en dirección E de la Mina Bajo de la Alumbreira; fueron denunciados en primer lugar por Stelzner (1873) y desde entonces, se publicaron numerosas contribuciones destinadas a diferenciar y describir los aspectos de estos depósitos (Radice 1949, Angelelli *et al.*, 1974; Saadi y Grasso 1988, 1998; Cassedanne Lieber, 2000). Desde el punto de vista mineralógico, Capillitas es uno de los yacimientos minerales más interesantes de la Argentina. Durante las últimas dos décadas, la parte central del yacimiento fue objeto de investigación mineralógica intensa por parte Márquez Zavalía (1988, 1999) quien describió más de 100 especies minerales. Como parte del proyecto de la Fundación Ciencias de Austria (FMF); los autores Putz, Paar y Topa (2009) realizaron una investigación de detalle sobre algunas vetas dentro del Sistema Capillitas que llevó a la clasificación de asociaciones mineralógicas del tipo sulfuración intermedia. Estas contribuciones recientes permiten analizar desde otra perspectiva la mineralización presente en el sistema de vetas de Farallón Negro y su relación con las estructuras que atraviesan el *open pit* de Alumbreira.

Descripción de la mineralización presente en la Falla Steve's

La metodología empleada para describir el relleno de la Falla Steve's consistió en la toma de muestras de mano a diferentes cotas y la toma de muestras de testigos de perforación con diamantina que estuviesen cortando a dicha falla. La descripción de la mineralogía, eventos, secuencias, texturas, etc. de todas las muestras fue macroscópica. Las muestras de mano fueron sometidas a análisis químicos, realizados por el laboratorio de Minera Alumbreira y Alex Stewart Argentina S.A.

En total se describieron 22 muestras (tabla 1), de las cuales sólo 5 serán expuestas en el trabajo por ser las más representativas (ver plano 1 al final del informe).

Tipo de Muestra	Cota	Cantidad	Nombres
Mano	2237	1	B1
	2254	5	A1-A2-A5-A7-A8
	2408	9	F1-F2-F3 y I1-I2-I3-I4-I5-I6
Testigo	2101	2	38.3-53.4 (3 y 4)
	2022 a 2050	3	39.4-46.0 (1,2 y 3)
	1898	1	45-39.4 (1)
	1996	1	50.4-56.2 (1)
	Cota mínima		1898 m.s.n.m
	Cota máxima		2408 m.s.n.m
	Total de muestras		22

Tabla 1: Total de muestras analizadas. En rojo, las muestras que se presentan en este trabajo.

La muestra B1 tomada en la cota 2237 y las muestras A2 y A7 de cota 2254, corresponden a la rama oeste de la Falla Steve's. Representan una serie de brechas que fueron muestreadas desde el borde al centro del plano de falla en un ancho aproximado de 3 metros (figura 1). Las muestras I1 y F2 comprenden la rama este de dicha falla y fueron tomadas en la cota 2408. El ancho del plano de falla es de aproximadamente 20m. Estas muestras presentan una combinación entre texturas bandeadas y brechosas (figura 2).

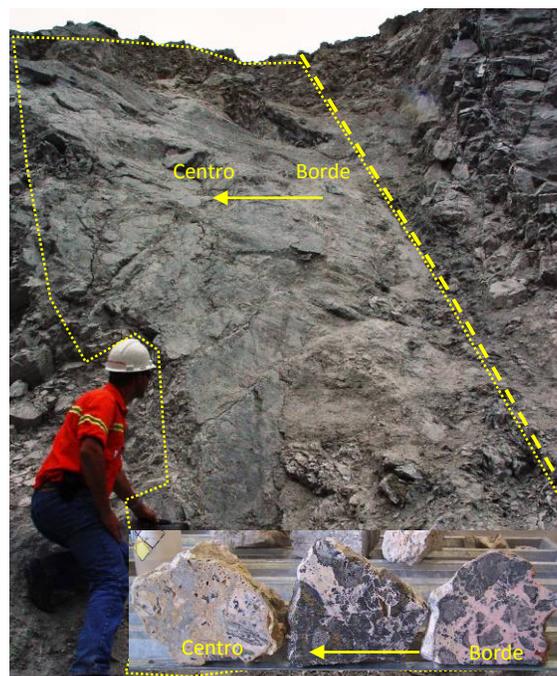


Figura 1: Plano de falla en el sector O del *open pit* y brechas tomadas desde el borde al centro del mismo.

En un rango de 800m de largo y 170m de profundidad la variación textural va desde brechosa a bandeada brechosa. Todas ellas están descritas con mayor detalle en las fichas técnicas que se anexan al final del informe.

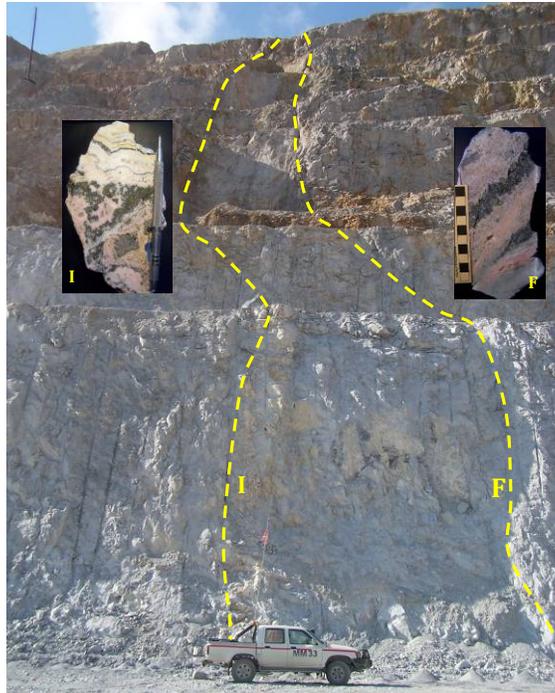


Figura 2: Plano de falla en el sector E del *open pit* y muestras tomadas en los bordes del mismo.

La mineralogía de mena de las muestras está comprendida por Ag, Cu, Zn, Pb y Au principalmente y acompañan en menor proporción As y Sb. A ello corresponden los siguientes minerales: sulfosales de plata, probablemente polibasita y estefanita (en la muestra A7), argentita, galena, galena argentífera, esfalerita, calcopirita, pirita, oro (posiblemente como electrum y libre en tamaño submicroscópico) y probable pirargirita (en muestra F2). De los resultados analíticos de laboratorio se corrobora una relación Ag-Au muy alta (aproximadamente 10:1). Y esfalerita, mayormente color caramelo, evidenciado por un bajo contenido de hierro.

Los sulfuros, en su mayoría de colores grises, con la excepción de la esfalerita (color caramelo) y la calcopirita y pirita (tonos amarillos) se presentan en forma de venillas de grano fino, diseminados y en bandas de grano grueso. También se los puede encontrar como lentes formando fragmentos dentro de las brechas. Las texturas más comunes son los bordes de reacción y en escarpela (figura 3).

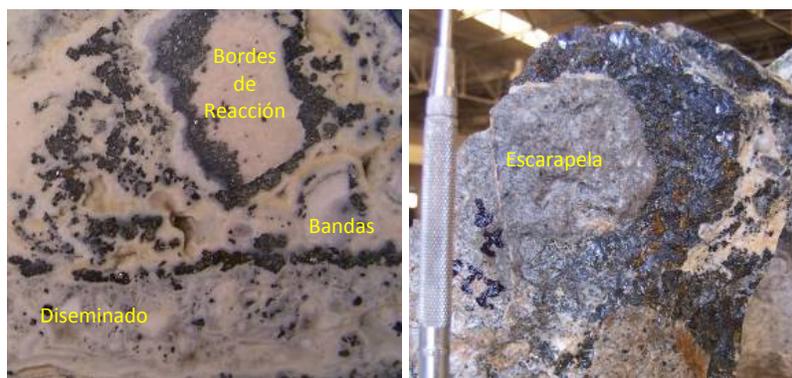


Figura 3: Tipos de texturas de sulfuros.

Se observaron los sulfuros depositados en contacto con las rocas de caja que contienen a la estructura y rodeando a los fragmentos de dacitas y andesitas (figura 4). Cabe resaltar que la pirita se encuentra mayormente en los fragmentos de andesitas y dacitas con alteración fílica (del sistema pórfido) y en menor medida con las bandas de sulfuros (del sistema epitermal).

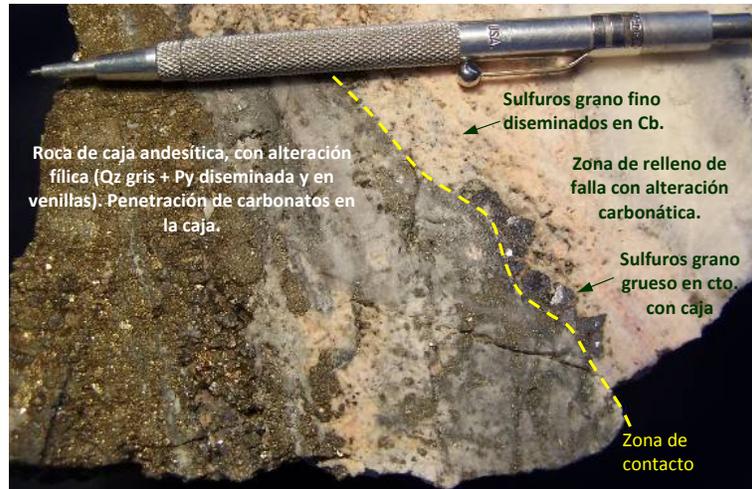


Figura 4: Muestra de la zona de contacto entre relleno de falla y roca de caja andesítica (borde F).

Los minerales de ganga están formados por carbonatos de calcio y manganeso (manganocalcita), cuarzo y en menor medida yeso; éste último relleno de cavidades. Los carbonatos identificados corresponden a varios pulsos. Las texturas más comunes son las bandeadas, coloformes, oquerosas, en peine, drúsicas con cristales “diente de perro”, brechosas y de reemplazo (figura 5).

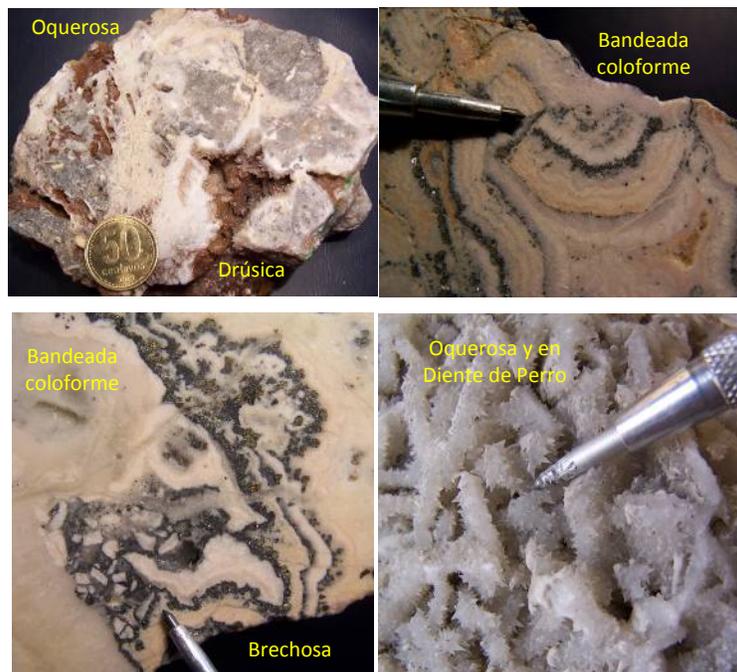


Figura 5: Tipos de texturas de carbonatos.

Se identificaron en el siguiente orden: primero se presenta el carbonato de calcio color blanco-crema, luego un pulso de carbonato de manganeso color rosado con presencia de sulfuros finos diseminados, posteriormente un pulso de carbonato de calcio hialino (cristalino) y por último un pulso de manganocalcita sin sulfuros (figura 6).

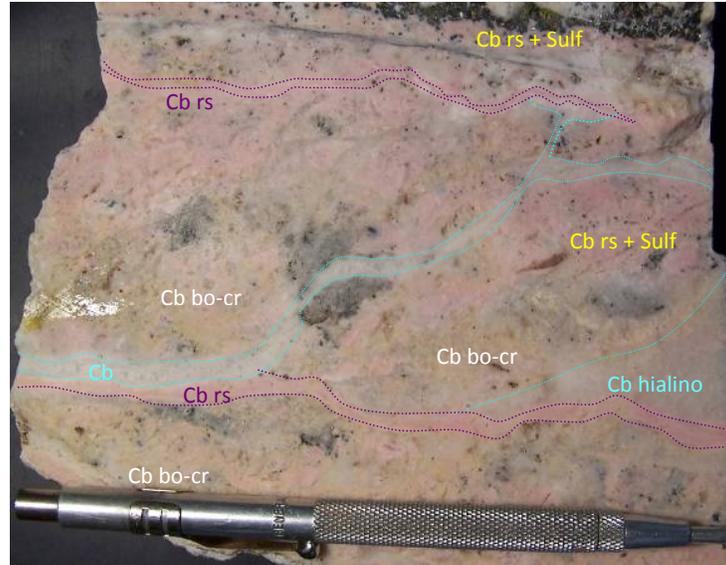


Figura 6: Secuencia eventos carbonáticos. **Cb**: carbonatos, **rs**: rosado, **bo**: blanco, **cr**: crema, **Sulf**: sulfuros.

Se reconocieron distintos tipos de cuarzo, uno de color violáceo, otro de color gris y el último de baja temperatura, de color marrón. Los dos primeros se pueden interpretar como parte de la alteración tipo pórfido (potásica y filica) ya que se encuentran dentro de los fragmentos de roca, mientras que el último pareciera ser de origen epitermal ya que se encuentra rellenando cavidades y silicificando en parte la matriz carbonática y algunos fragmentos de roca (figura 7).

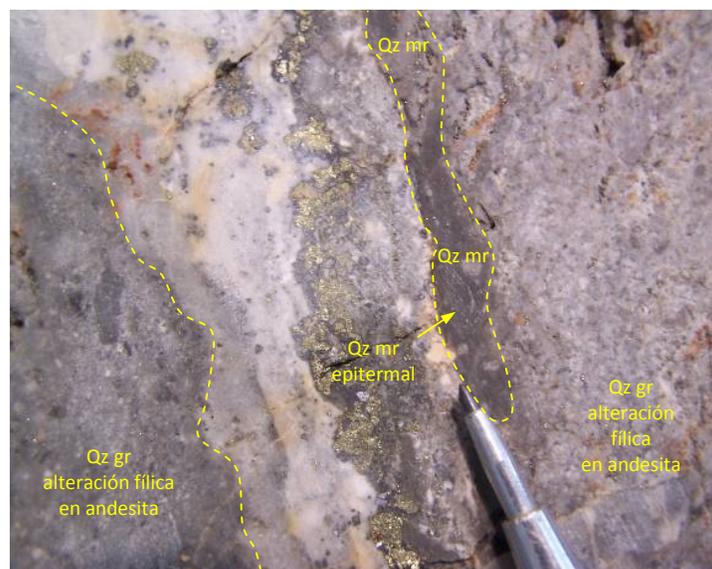


Figura 7: Tipos de Cuarzo. **Qz**: cuarzo, **mr**: marrón, **gr**: gris.

Hay distintos tipos de fragmentos que componen las brechas analizadas. Entre ellos los fragmentos de composición dacítica y andesítica del sistema porfídico de Alumbreira, en algunos casos con alteración potásica y en otros con alteración filica. A ellos se superpone la alteración epitermal carbonática y silíceo (figura 8). Otro tipo de fragmentos están compuestos por sulfuros, otros por carbonatos crema y rosados, y finalmente en menor medida fragmentos de cuarzo.

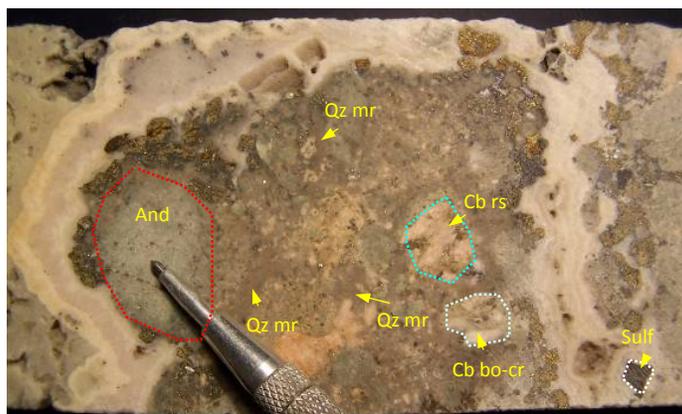


Figura 8: Fragmentos de brechas. **Qz**: cuarzo, **mr**: marrón, **bo**: blanco, **cr**: crema, **Sulf**: sulfuros, **And**: andesita.

A través de la correlación entre las descripciones macroscópicas y los resultados analíticos se puede deducir una secuencia de eventos mineralizantes por reactivación y reapertura de la falla, que induce a pensar en la existencia de una zonación lateral. Esto es evidente en la secuencia de brechas tomadas en los niveles 2254 y 2237.

Los valores elevados de Pb, Zn, Ag y Cu presentes en las muestras A2 y A7 se correlacionan con mayores contenidos de sulfuros. La muestra A7 representa el evento más rico de mineralización y ocupa una posición casi de borde con respecto al plano de falla.

La muestra B1 que ocupa la posición central, evidencia los últimos pulsos de fluidos epitermales prácticamente estériles, con un mayor porcentaje de carbonatos. Los valores de Pb, Zn y Cu obtenidos provienen de los fragmentos de brechas anteriores (A2 y A7) incorporados a este evento (ver plano 2 al final del informe).

En el nivel 2408 los contenidos de Pb y Zn son elevados y los contenidos de Cu menores. En cuanto a Ag se registran valores de interés, sólo hacia el piso del plano de falla (muestra F2).

En cuanto a los valores de Au analizados en una distancia vertical de 500m, se observa que en los niveles más profundos a partir de las cotas 1898 a 2254 los tenores de Au varían de 0,1 a 0,3 ppm; mientras que en la cota 2408 los tenores se incrementan a más de 1 ppm Au. Esto puede ajustarse al esquema de Buchanan (1981) que indicaría los niveles de profundidad de la zona de transición entre metales bases y metales preciosos (figura 9).

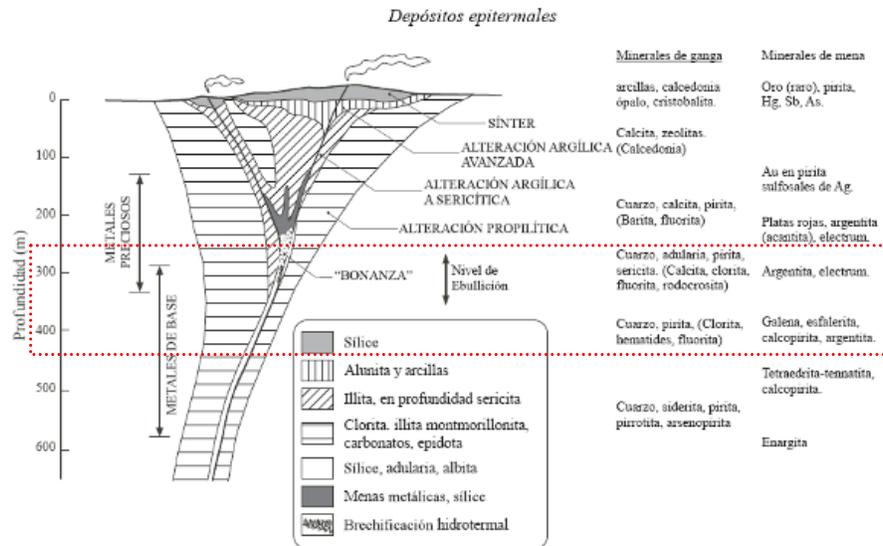


Figura 9: Esquema de depósitos epitermales alcalinos, modificado de Buchanan 1981. Tomado de Camprubí y Albinson 2006.

Clasificación de la mineralización de la Falla Steve's

En base a lo expuesto hasta ahora, los autores proponen clasificar este relleno de fractura como una veta de sulfuración intermedia dentro de la clasificación de depósitos epitermales. Los fundamentos para esta propuesta se basan en los siguientes parámetros relacionables a la tabla de Hedenquist *et al.*, 2001 expuesta al final del informe:

- ▶ El ambiente está relacionado a rocas volcánicas (andesitas y dacitas).
- ▶ La profundidad de formación basada en la presencia de minerales de mena y ganga se estima entre los 300 y 450 metros.
- ▶ La forma del depósito se compone de un relleno de falla (veta) dentro de un pórfido de cobre-oro.
- ▶ Las texturas presentes en las muestras corresponden a brechas y bandas.
- ▶ La alteración dominante es carbonática, con arcilla hacia los bordes.
- ▶ Los minerales de ganga constan de carbonatos de calcio y manganeso, cuarzo y yeso.
- ▶ Los sulfuros más comunes son pirita, calcopirita abundante, sulfosales de plata, esfalerita (pobre en hierro) y galena.
- ▶ Los metales presentes son Pb, Zn, Au, Au y Cu. La relación Ag:Cu es alta (10:1). Los metales bases se concentran entre 2-10%.
- ▶ Elementos minoritarios presentes son As, Sb.

Sobre la base de las descripciones mineralógicas y sus asociaciones, sumado a la presencia de fragmentos (en las brechas) mineralizados y afectados por alteración potásica y destructiva de feldespatos (propias del tipo de mineralización y alteración de los pórfidos); y por observaciones de campo en áreas cercanas a Alumbra, los autores interpretan que el relleno

de la Falla Steve's está relacionado con la mineralización de Farallón Negro, presentando una componente magmática predominante y en menor medida meteórica; y por lo tanto posterior al sistema de mineralización y alteración del pórfido de Bajo de la Alumbrera.

Conclusiones:

1. El pórfido de Bajo de la Alumbrera presenta un set de estructuras post-minerales con rumbo dominante NO-SE coincidente con los lineamientos regionales.
2. La estructura principal, motivo del presente trabajo, se denomina Falla Steve's, ubicada al SO de la mina, con rumbo NO-SE y buzamiento de 45°-60° NE; tiene un ancho variable entre 3 y 20 metros.
3. El relleno de esta estructura muestra una serie de eventos mineralizantes por sucesivas reactivaciones del plano de falla. Se han podido observar al menos entre 4 y 5 eventos diferentes.
4. La fractura presenta un relleno dominante de carbonatos de calcio y manganeso y sulfuros de metales bases y metales preciosos.
5. Las texturas típicas en la veta corresponden a brechas y bandas.
6. Se asume a este tipo de relleno como una veta epitermal clasificada dentro del sistema de Sulfuración Intermedia.
7. La mineralización del relleno de la Falla Steve's está asociada al sistema de vetas de Farallón Negro, por lo que se considera posterior al evento de mineralización de los pórfidos de Bajo de la Alumbrera.

Discusión:

Es importante mencionar que la orientación, inclinación, mineralogía y texturas del relleno de fractura de la Falla Steve's presenta analogías con las vetas de Farallón Negro, ubicadas 6 Km. hacia el NO en línea recta.

Farallón Negro se encuentra en un nivel erosivo más alto respecto de la veta de Falla de Steve, donde la cota mínima del yacimiento en explotación corresponde a 2518 metros.

Recientemente se ha publicado un trabajo (Putz *et al.*, 2009) sobre la mineralización de Capillitas en donde se clasifica a estas vetas dentro del tipo epitermal de sulfuración intermedia.

Una revisión más profunda a nivel regional, podría involucrar una reclasificación del sistema Farallón Negro como epitermal de baja sulfuración a sulfuración intermedia.

Agradecimientos:

Los autores agradecen a Minera Alumbrera por permitir la publicación de este trabajo. A los geólogos Cristina Carrizo y Fernando Villavicencio, por su compañía en campo para la toma de muestras y especialmente, al Geólogo Steve Brown, por sus importantes aportes y revisión crítica de este trabajo.

Bibliografía:

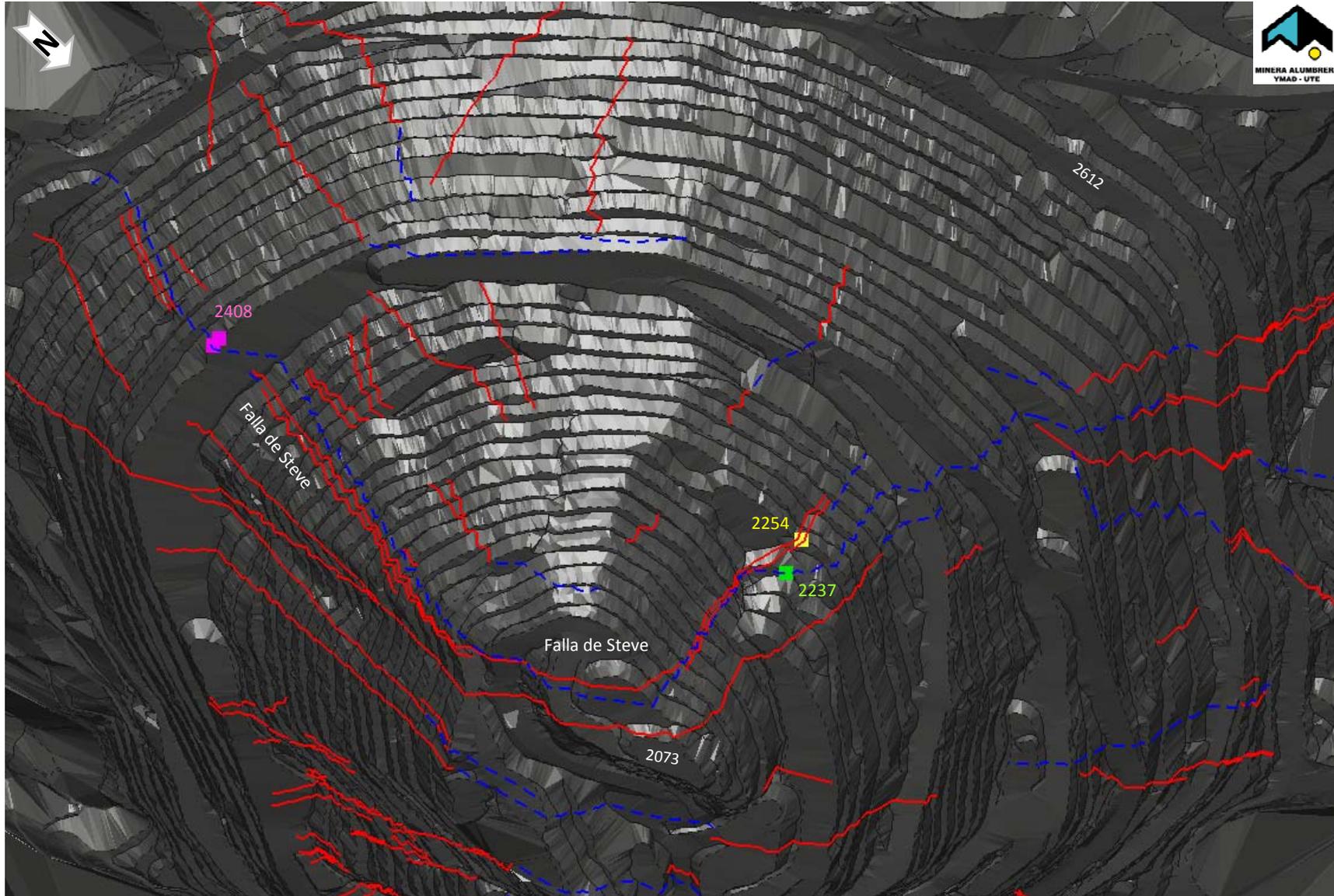
- Brown S., 2004. Geología y Mineralización del Yacimiento Cobre-Oro de Bajo de la Alumbrera. Curso Latinoamericano de Metalogénea UNESCO-SEG, 2004. Pág. 101-120.
- Camprubí A., González Partida E., Levresse G., Tritlla J., y Carrillo Chávez A., 2003. Depósitos Epitermales de Alta y Baja Sulfuración: una tabla comparativa. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Tomo LVI, Núm. 1, P. 10-18. 2003.
- Camprubí A., Albinson T., 2003. Depósitos Epitermales en México: actualización de su conocimiento y reclasificación empírica. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen Conmemorativo del Centenario. Revisión de Algunas Tipologías de Depósitos Minerales de México. Tomo LVIII, Núm. 1, P. 27-81. 2006.
- González Guillot M., Biel Soria C., Fanlo González I., Subías Pérez I., Mateo González E., 2008. Cobres grises y Sulfosales de Plata del Yacimiento Epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Santa Cruz (Argentina). Revista de la Sociedad Española de Mineralogía, macla N° 9. Septiembre 2008.
- Hedenquist J., Claveria R., Villafuerte P., 2001. Types of sulfide-rich epithermal deposits, and their affiliation to porphyry systems: Lepanto-Victoria-Far Southeast deposits, Philippines, as examples. ProExplo Congreso, Lima, Perú, 24 - 28 April 2001.
- Márquez Zavalía M., Minas Capillitas, un Depósito Epitermal del Noroeste Argentino. IANIGLA 1973-2002. Aceptado 19-11-96.
- Miranda M. A., 2007. Tesis: Inclusiones Fluidas y Metalogenia del Depósito Epitermal Ag-Au del Distrito San Martín. Mpio Colón, Qro. Centro de Geociencias de la UNAM. Bol-e, Vol. 3, N° 3. Mayo 2007.
- Proffett J. M., 1997. Geology of the Bajo de la Alumbrera porphyry copper-gold deposit, Catamarca Province, Argentina. May, 1997. Pág. 1-169.
- Putz H., Paar W. and Topa D., 2009. A Contribution to the Knowledge of the Mineralization at Mina Capillitas, Catamarca. Department of Materials Engineering and Physics (Division of Mineralogy), University of Salzburg, Austria. Revista de la Asociación Geológica Argentina 64 (3): 514 – 524 (2009).
- Sillitoe, R. H. and Hedenquist, J. W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, in Simmons, S.F., and Graham, I.J., eds., Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth. Society of Economic Geologists, Special Publication 10, Chapter 16, pp. 315-343.
- Sillitoe, R. H. 2010. Porphyry Copper Systems. Society of Economic Geologists Inc. An Invited Paper. 0361-0128/10/3863/3-39. Economic Geology, v.105, pp.3-41.

Anexos:

- Tabla 2: Esquema de clasificación de depósitos epitermales alcalinos. Comparación entre Baja e Intermedia Sulfuración y parámetros relacionables con la clasificación propuesta por los autores.
- Plano 1: Plano en 3D con la ubicación de las muestras tomadas dentro del *open pit*, sobre el plano de Falla Steve's Principal.
- Plano 2: Sección E-O de la zona de muestreo a diferentes niveles de profundidad.
- Ficha de Muestra A2
- Ficha de Muestra A7
- Ficha de Muestra B1
- Ficha de Muestra F2
- Ficha de Muestra I1

Clasificación según Buchanan (1981), Sillitoe (1993), Hedenquist (2000) y otros. Tomado de Hedenquist <i>et al.</i> 2001.			Parámetros relacionables propuestos por los Autores
	Low sulfidation	Intermediate sulfidation	Sulfuración Intermedia (SI)
Setting, related volcanic rocks	Bimodal rhyolite-basalt; extension	Andesite-rhyodacite; arcs	✓
Depth of formation	0-400 m	300-800 m (rarely >1000 m)	✓
Setting, typical host rock	Domes; pyroclastic and sedimentary rocks	Domes; diatremes; pyroclastic and sedimentary rocks	
Deposit form	Vein, vein swarm, stockwork, disseminated	Vein, breccia body, disseminated	✓
Ore textures	Fine bands, combs, crustiform, breccia	Coarse bands	✓
Alteration	Alunite-kaolinite blanket, clay halo	Clays, sericite, carbonates; roscoelite	✓
Gangue	Chalcedony-adularia-illite-calcite	Quartz-carbonate-rhodonite-sericite± adularia-barite- anhydrite-hematite- chlorite	✓
Sulfides	Cinnabar, stibnite; pyrite/marcasite-arsenopyrite, Fe-rich sphalerite, pyrrhotite, Au-Ag selenides, Se sulfosalts,	Pyrite-Au-Ag sulfides/sulfosalts, variable sphalerite, galena, chalcopyrite, tetrahedrite/tennantite	✓
Metals	Au-Ag-As-Sb-Se-(Te)-Hg-Tl Low Ag: Au (~1:1); <0.1-1% base metals	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se High Ag: Au (10:1-100s:1); 2-10 (20+)% base metals	✓
Notable features	Sinter, chalcedony blanket	Some IS veins adjacent to HS ore	
Fluids	<1% NaCl, gas-rich, <220°C	3-5 and 10-20% NaCl, 220-280+°C	
Examples	McLaughlin, Sleeper, Midas, Ivanhoe, Hishikari (Round Mountain)	Comstock, Tonopah, Creede, Fresnillo, Pachuca, Casapalca, Arcata, Orcopampa, Victoria, Baguio, Toyoha, Thames, Baia Mare	

Tabla 2: Esquema de clasificación de depósitos epitermales. Comparación entre Baja Sulfuración y Sulfuración Intermedia. Puntos en común (tildes rojas) entre las clasificaciones existentes y la propuesta por los autores para la zona de mineralización analizada en este trabajo.

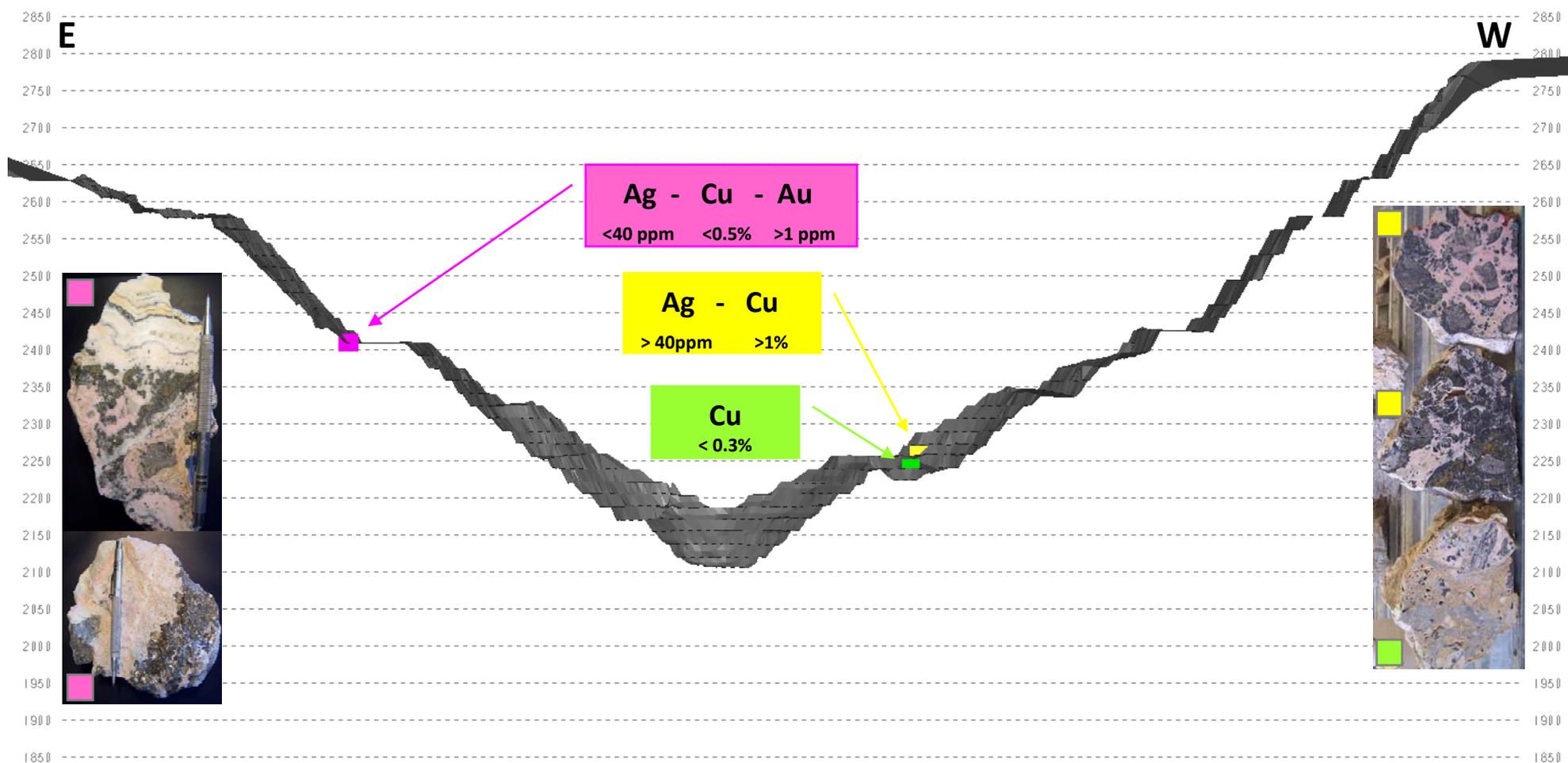


MUESTRAS	B1 cota 2237 m.s.n.m
	A2 y A7 cota 2254 m.s.n.m
	I1 y F2 cota 2408 m.s.n.m

1:4000
— Falla Principal Mapeada
- - - Falla Principal Inferida

Plano 1

Gcia. Servicios Técnicos	Área de Geología de Exploración
Falla de Steve	Mapeo de Estructuras Mayores
Escala 1:4000	DTM-Topografía de Mina del 31-01-10
Realizó: A.Carrazana y N. Montenegro	Aprobó: Julio Bruna Novillo



MUESTRAS	■ B1 cota 2237 m.s.n.m
	■ A2 y A7 cota 2254 m.s.n.m
	■ I1 y F2 cota 2408 m.s.n.m

Plano 2



Gcia. Servicios Técnicos	Área de Geología de Exploración
Sección E-W del Open Pit	Muestras de Mano
Escala 1:8000	DTM-Topografía de Mina del 31-01-10
Realizó: A.Carrazana y N. Montenegro	Aprobó: Julio Bruna Novillo

FICHA TÉCNICA DE MUESTRAS

MUESTRA: A2

UBICACIÓN	Este	77853
	Norte	38420
	Cota	2254
	Estructura	Falla Steve (S3)

DESCRIPCIÓN:

- 1 **Color** rosa y gris medio
- 2 **Textura** brechosa, de reemplazo y drusiforme
- 3 **Estilo mineralización** diseminado en fragmentos, en bordes de reacción y venillas
- 4 **Mineralogía** predomina la manganocalcita, presencia menor de carbonato de calcio. Los sulfuros son pirita, calcopirita, bornita/calcopirita, galena, esfalerita. Cuarzo.

Carbonatos		Sulfuros					Oxidos		Sílice	Sulfatos
Ca	Mn	Py	Cp	Gn	Sp	Mn	Fe	Qz	Ca	
10	30	2	3	4	5	0	0	45	0	

- 5 **N° de eventos** 5
- 6 **Secuencia de eventos** 1) Qz-Py dis, vcp; 2) CbCa Cr, Sp, Gn, Cp, Bn/Cp; 3) CbMn rs, tr Sp y Gn; 4) Qz; 5) CbCa hialino (diente de perro)

7 Observaciones

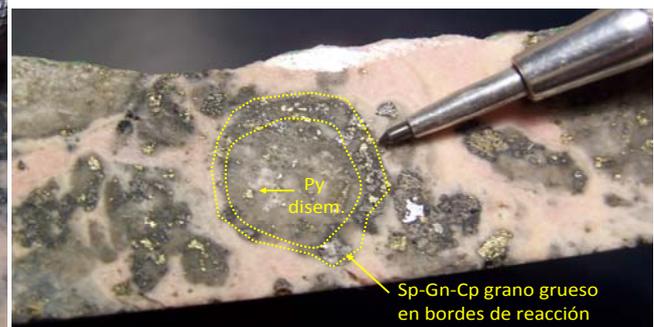
La muestra corresponde a una brecha ubicada en el borde del plano de falla. Los fragmentos se componen de pórfido con alteración filica sobrepuesta a la potásica, con fracturamiento hidráulico. La matriz es predominantemente manganocalcita y en menor medida de carbonato de calcio color crema con Sp-Gn y Cp diseminada. La matriz carbonática rosada no presenta Py diseminada. Los sulfuros de grano grueso se depositan alrededor de los fragmentos como bordes de reacción. Se observan dos tipos de cuarzo: 1) cuarzo violáceo de borde neto (vn) + vn Py (de alteración potásica) ; 2) cuarzo gris de borde irregular + Py fina diseminada presente en los fragmentos (alteración filica); 3) cuarzo hialino en la matriz (de alteración epitermal). El último pulso de carbonatos corresponde a CbCa hialino con cristales diente de perro, rellenando oquedades y en venillas que cortan la matriz rosada.



Brecha de borde de falla con fragmentos heterogéneos de pórfido en una matriz de manganocalcita.

BRECHA

FRAGMENTOS				MATRIZ			Relación	Observaciones
Composición	Tamaño	Forma	Textura	Composición	Forma	Textura	Frag/Matr. %	
Pórfido: Qz+Py disem. y vn.	10 a 50mm	angulosos a redondeados	brechosa, bordes de reacción, dentados	CbMn rs, CbCa cr, Cb hialino y Qz	aspecto fluidal	Bandeada, oquersoa, drusiforme y de reemplazo	60/40	heterogeneidad en los tamaños de los fragmentos.



FICHA TÉCNICA DE MUESTRAS

MUESTRA: **A7**

UBICACIÓN	Este	77853
	Norte	38420
	Cota	2254
	Estructura	Falla Steve (S3)

DESCRIPCIÓN:

- 1 Color gris medio
- 2 Textura brechosa, de reemplazo y drusiforme
- 3 Estilo mineralización diseminado en fragmentos y matriz y en bordes de reacción
- 4 Mineralogía predomina el carbonato de calcio, presencia menor de manganocalcita. Los sulfuros son pirita, calcopirita, galena, esfalerita. Oxido de hierro y cuarzo escasos.
- 5 N° de eventos 3
- 6 Secuencia de eventos 1) Qz gr+Py, Sp, Gn, Cp, Cb bo; 2) Qz gr mr+Sp, Gn, Cp, Cb Cr (gruesos); 3) Cb bo hialino (diente de perro)+Qz hialino.

Carbonatos		Sulfuros				Oxidos		Silice	Sulfatos
Ca	Mn	Py	Cp	Gn	Sp	Mn	Fe	Qz	Ca
20	3	5	15	25	20	0	0	10	0

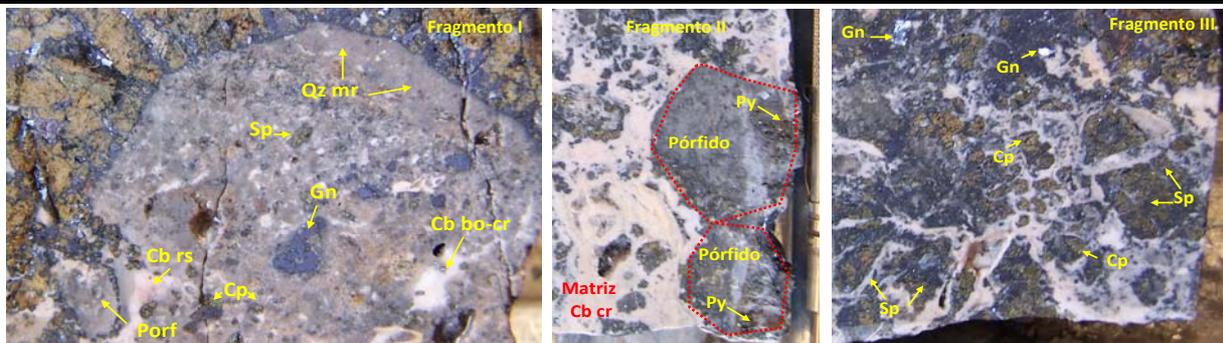
7 Observaciones

La muestra corresponde a una brecha de posición intermedia entre la brecha B1 y A2 (dentro del plano de falla). Dentro de un fragmento se encuentran fragmentos de una brecha anterior (brecha de borde A2) con pórfidos, carbonatos y sulfuros. La matriz carbonática es de color blanco crema y contiene esfalerita, galena, calcopirita y menor pirita, todos de grano fino. la manganocalcita está presente dentro de los fragmentos. Los sulfuros ocupan un 70% de la muestra y están predominantemente en bordes de reacción de los fragmentos de brecha; ellos son galena, calcopirita y esfalerita de grano muy grueso. Se pudo identificar la misma secuencia de cuarzos de la muestra A2.



BRECHA

Composición	FRAGMENTOS			Textura	MATRIZ		Relación Frag/Matr.%	Observaciones
	Tamaño	Forma	Forma		Forma	Textura		
Fragmento I: Pórfido, Cb bo-cr, Cb rs, Sp, Gn, Cp y Qz	100mm	subredondeados a redondeados	brechosa	Cb bo-cr, Cb hialino	Cb bo-cr bandeado	90/10	dominan fragmentos de pórfidos y sulfuros	
Fragmento II: Pórfido Qz+Py	20 a 50mm	subangulosos	porfírica	irregular	incipiente. Cb hialino en cristales			
Fragmento III: Sp, Gn, Cp	1 a 40mm	angulosos a subredondeados	masiva y en escarpela					



FICHA TÉCNICA DE MUESTRAS

MUESTRA: **B1**

UBICACIÓN	Este	77870
	Norte	39500
	Cota	2237
	Estructura	Falla Steve (S3)

DESCRIPCIÓN:

- 1 **Color** crema
- 2 **Textura** oquerosa, brechosa, de reemplazo y drusiforme
- 3 **Estilo mineralización** diseminado en fragmentos y en bordes de reacción
- 4 **Mineralogía** predomina el carbonato de calcio, presencia menor de manganocalcita. Los sulfuros son pirita, calcopirita, galena, esfalerita. Oxido de hierro y cuarzo escasos.
- 5 **N° de eventos** 6
- 6 **Secuencia de eventos** 1)Qz gr, Py; 2)Gn, Sp, Cp, Cb bo-cr, Cb rs; 3)Qz mr; 4)Cb cr; 5)Cb mr-cr; 6)Cb hialino (diente de perro), Lm.

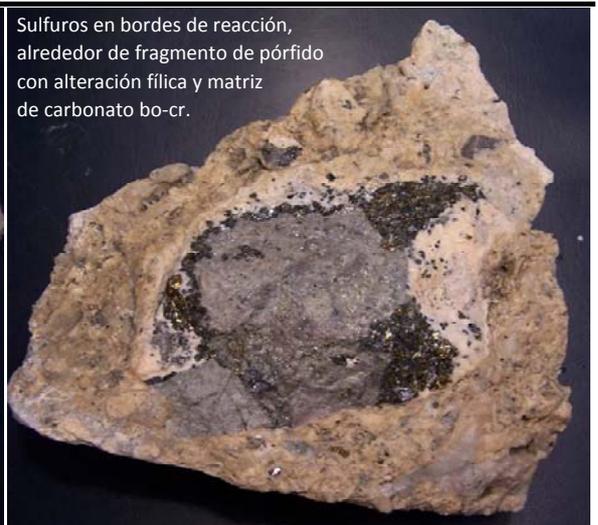
Carbonatos		Sulfuros				Oxidos	Silice	Sulfatos
Ca	Mn	Py	Cp	Gn	Sp	Mn	Fe	Ca
90	1	1	2	2	2	0	<1	0

7 Observaciones

La muestra corresponde a una serie de reactivaciones de la zona de falla. Esto se puede observar en los tipos de fragmentos que conforman la brecha. Ellos están formados por porciones de las muestras A2 y A7. La muestra B1 está interpretada en una posición central desde las paredes de la falla hacia el interior de la fractura; resume casi todos los eventos que se han descrito en las demás muestras. La secuencia de eventos se puede contar de la siguiente manera: el cuarzo gris y la pirita fueron depositados por la alteración filica del sistema pórfido, luego hay un pulso de sulfuros (galena, esfalerita, calcopirita) junto con carbonatos blancos-cremas y en menor medida carbonatos rosados de origen epiternal. Luego se produce una silicificación con cuarzo marrón. Por reapertura de la fractura y formando parte de la matriz de la brecha hay un carbonato marrón crema. Por último se presenta un pulso que corta toda la muestra compuesto por carbonato hialino, con cristales bien desarrollados, generando texturas drusiformes y cristales "diente de perro". Recubriendo parte de estos cristales se presenta la limonita como producto de oxidación.



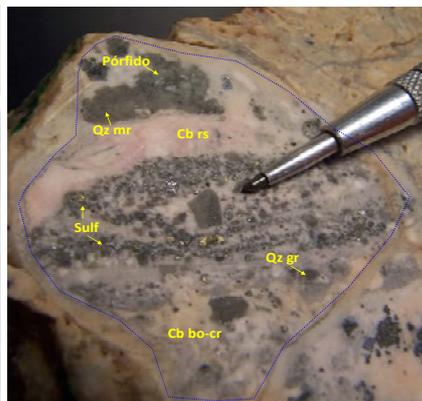
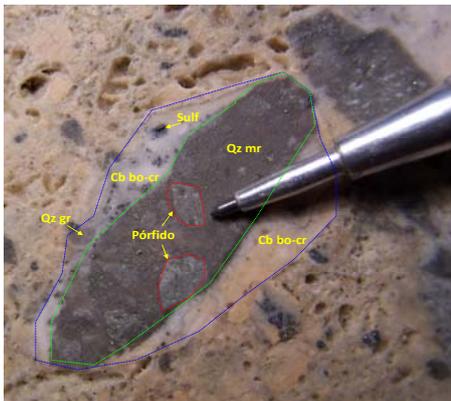
Brecha con matriz carbonática color mr-cr. Cb hialino reemplazando y rellenando cavidades.



Sulfuros en bordes de reacción, alrededor de fragmento de pórfido con alteración filica y matriz de carbonato bo-cr.

BRECHA

Composición	FRAGMENTOS		Textura	MATRIZ		Relación Frag/Matr. %	Observaciones
	Tamaño	Forma		Forma	Textura		
Pórfido: Qz gr, Py disem. y vn.	2 a 7mm	subredondeados a redondeados	porfírica	Cb mr-cr	Cb mr-cr	70/30	Cb hialino color gris posiblemente por estar en contacto con Lm
Qz mr: porfido, vn Cb bo-cr, Gn, Sp, Cp	1 a 50mm	angulosos a subredondeados	brechosa	Cb hialino	cavernoso. Cb hialino masivo y en cristales		
Cb bo-mr-rs: Qz gr, Gn, Sp, Cp	1 a 70mm	subredondeados a redondeados	brechosa				
Cb cr	1 a 10mm	angulosos a subredondeados	masiva				



FICHA TÉCNICA DE MUESTRAS

MUESTRA: F2

UBICACIÓN	Este	77870
	Norte	39500
	Cota	2237
	Estructura	Falla Steve (S3)

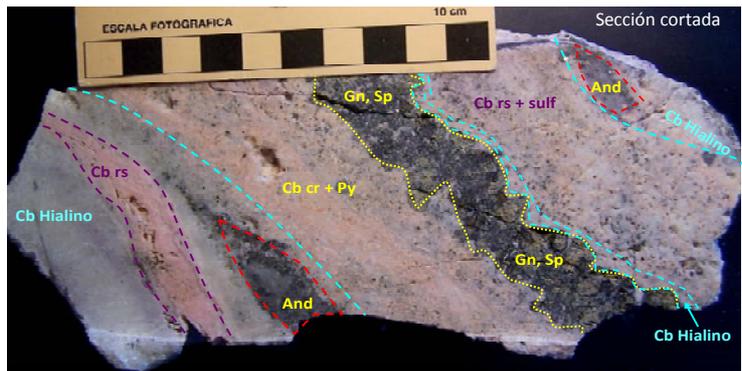
DESCRIPCIÓN:

- 1 **Color** rosada crema claro
- 2 **Textura** bandeada, coloforme, drúsica, de reemplazo y relleno
- 3 **Estilo mineralización** en venillas y diseminado
- 4 **Mineralogía** predomina el carbonato de calcio, presencia menor de manganocalcita. Los sulfuros son pirita, galena, esfalerita. Cuarzo gris en alteración filica.
- 5 **N° de eventos** 5
- 6 **Secuencia de eventos** 1)Cb cr, Py fina; 2)Cb rs, Sp, Gn fina; 3) Vn Sp, Gn grano grueso; 4)Cb hialino+fragm. andesitas; 5)Cb rs sin sulfuros.

Carbonatos		Sulfuros				Oxidos		Silice	Sulfatos
Ca	Mn	Py	Cp	Gn	Sp	Mn	Fe	Qz	Ca
70	10	1	0	6	9	0	0	3	0

7 Observaciones

La muestra corresponde a un sector de intercalación de bandas. La secuencia de eventos se puede resumir como: 1) Carbonato de calcio color crema con pirita diseminada; 2) carbonato de manganeso rosado con esfalerita y galena diseminada de grano fino; 3) Vena de esfalerita y galena de bordes irregulares y grano grueso; 4) carbonato de calcio blanco hialino relleno de fractura y reemplazando matriz carbonática crema y rosada, en drusas con cristales diente de perro e incorporando roca de caja andesítica (con Qz+Py de alteración filica); 5) carbonato de manganeso rosado sin sulfuros, en banda de 1 cm con bordes coloformes.



FICHA TÉCNICA DE MUESTRAS

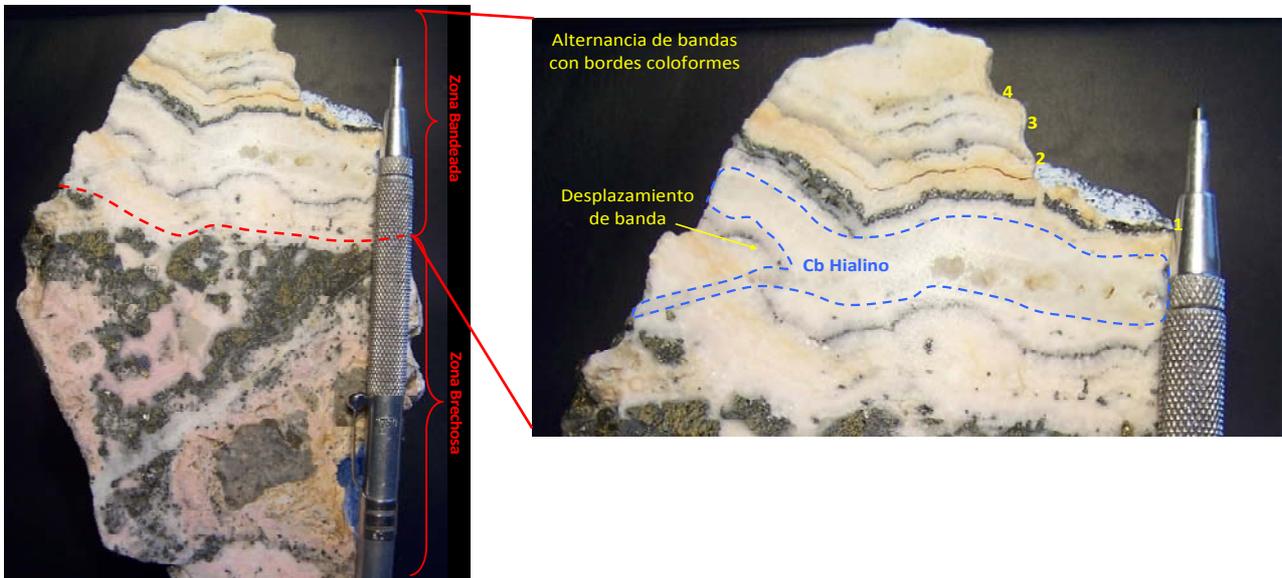
MUESTRA: 11

UBICACIÓN	Este	77870
	Norte	39500
	Cota	2237
	Estructura	Falla Steve (S3)

- DESCRIPCIÓN:**
- 1 **Color** crema claro y gris claro
 - 2 **Textura** brechosa, bandeada, coloforme y drusiforme
 - 3 **Estilo mineralización** venas y diseminada
 - 4 **Mineralogía** predomina el carbonato de calcio y manganeso.
% Los sulfuros son pirita, esfalerita, galena y en menor medida calcopirita. Cuarzo gris claro.
 - 5 **N° de eventos** 5
 - 6 **Secuencia de eventos** 1)Cb cr, Py fina; 2)Cb rs, Sp, Gn fina; 3) Vn Sp, Gn grano grueso; 4) CbCa+Sul finos; 5)Cb hialino diente de perro

Carbonatos		Sulfuros				Oxidos		Silice	Sulfatos
Ca	Mn	Py	Cp	Gn	Sp	Mn	Fe	Qz	Ca
60	20	3	2	3	7	0	0	1	0

7 **Observaciones** La muestra tiene dos partes muy marcadas, una brechosa y otra bandeada. La zona brechada está formada por fragmentos lentiformes que engloban una serie de eventos anteriores (fragmentos de andesitas, sulfuros y carbonatos), en una matriz carbonática. La zona bandeada se compone de una alternancia de pulsos carbonáticos intercalados con pulsos de sulfuros en forma asimétrica y de bordes coloformes. El número de alternancias observado es de cuatro. El último pulso corresponde a un carbonato hialino en la zona central de las bandas, que a su vez, corta y desplaza a las mismas y corta a las brechas. Presenta textura drúscica en su parte más central con cristales diente de perro.



BRECHA

FRAGMENTOS				MATRIZ			Relación Frag/Matr.%	Observaciones
Composición	Tamaño	Forma	Textura	Composición	Forma	Textura		
Fragmento I: andesita, cb cr y cb rs, sulf finos disemin.	60mm	lentiforme	brechosa	Cb cr+rs y Cb hialino	relleno entre lentes	bandeamiento débil	80/20	Los fragmentos I y II están formados por una serie de eventos previos al brechamiento.
Fragmento II: andesita, cb cr y cb rs con sulf finos disemin. Bandas sulf gruesos y Qz gr claro en cavidades	80mm a 100 mm	lentiforme	brechosa					

