



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

MODELO EVOLUTIVO DEL FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO DE Cu EN  
MEGADEPÓSITOS TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO: CASO DE ESTUDIO  
RÍO BLANCO – LOS BRONCES

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN CIENCIAS MENCIÓN GEOLOGÍA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

CLAUDIA BELÉN MAGERKURTH MUNITA

PROFESOR GUÍA

KATJA DECKART

MIEMBROS DE LA COMISIÓN

BRIAN TOWNLEY CALLEJAS  
GERMÁN VELASQUEZ ACOSTA  
MAURICIO CARRANZA FUENTES

Este trabajo ha sido financiado por proyecto Fondecyt 1161360

SANTIAGO DE CHILE  
2019

RESUMEN TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA Y  
MAGISTER EN CIENCIAS, MENCIÓN GEOLOGÍA.  
POR: CLAUDIA MAGERKURTH M.  
PROF. GUÍA: DRA. KATJA DECKART.  
FECHA: DICIEMBRE 2019

**MODELO EVOLUTIVO DEL FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO DE Cu EN  
MEGADEPÓSITOS TIPO PÓRFIDO CUPRÍFERO: CASO DE ESTUDIO  
RÍO BLANCO – LOS BRONCES**

Las últimas décadas, en virtud de los avances en la espectrometría de masa acoplada inductivamente a plasma, especialmente con el desarrollo del multicolector (MC-ICP-MS), se han cuantificado isótopos de Cu con un bajo error analítico. Esto ha despertado un gran interés, ya que las firmas isotópicas de cobre, a diferencia de los isótopos estables livianos (e.g. H, S y O), podrían dar las respuestas más directas a la comprensión de la formación de depósitos minerales: proveniencia del cobre, dirección de los fluidos, mecanismos que concentran el Cu, entre otros.

Una serie de investigaciones en distintos tipos de depósitos de cobre se han enfocado, específicamente, en el ambiente supérgeno ya que este presenta un gran fraccionamiento isotópico de hasta 14‰, en contraste a la mineralogía hipógena, en la que la mayoría de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se encuentran entre -1 y 1‰. Sin embargo, tanto estudios experimentales como de terreno han profundizado en el entendimiento del fraccionamiento isotópico de cobre en la mineralogía hipógena de depósitos tipo pórfido cuprífero. En ellos, se ha evidenciado una variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  asociado a las distintas alteraciones hidrotermales, y en algunos yacimientos, el fraccionamiento isotópico es de hasta unos 4‰. No obstante, aún quedan interrogantes de por qué algunos depósitos exhiben un mayor fraccionamiento isotópico de Cu que otros. Ante ello, el objetivo general de esta tesis consiste en proponer un modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu, el cual explique la distribución espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en depósitos del tipo pórfido cuprífero. Lo anterior podría ser utilizado como una herramienta de exploración mineral para vectorizar hacia nuevas fuentes de cobre.

El presente estudio se realizó en el depósito tipo pórfido cuprífero de clase mundial Río Blanco – Los Bronces perteneciente a la franja metalogénica Mio-Plioceno de Chile Central. En dicho lugar, se midieron las razones isotópicas de cobre en 36 muestras con mineralización sulfurada de cobre en vetillas y brechas hidrotermales (calcopirita, bornita y calcosina). Estas muestras provienen de 10 sondajes que conforman un perfil NW-SE y que abarca los sectores de Los Bronces y San Enrique Monolito. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se encuentran en un rango de -0,55 a 2,5‰ y presentan una distribución espacial asociada a la profundidad y distancia al clúster de brechas principal, en la cual, a medida que disminuye la profundidad y aumenta la distancia al clúster de brechas principal, las razones isotópicas de Cu se vuelven progresivamente más pesadas.

A partir de los resultados obtenidos, se propone que el fraccionamiento isotópico de Cu es controlado principalmente por la temperatura, durante la precipitación, y por el pH en la separación de fases (ebullición). También, de acuerdo a la distribución espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  y las evidencias petrográficas de Cu, se postula un modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu.

***“Por un mundo donde seamos socialmente iguales,  
humanamente diferentes y  
totalmente libres”***

Rosa Luxemburgo

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a mi familia por todo el apoyo que me han entregado, en especial a mi mamá, quien me ha motivado a ser una persona integral desde mi infancia hasta el día de hoy. Mamá, muchas gracias por todo el cariño y preocupación incondicional que has tenido por mí y por mis hermanos, porque tus consejos y consuelos en momentos difíciles han permitido que hoy sea la mujer que soy. Te admiro por ser una luchadora y una excelente madre, definitivamente eres mi ejemplo a seguir y por eso te amo. Paulita, siempre serás mi hermanita chica, gracias por tu incondicionalidad y por estar en los buenos y malos momentos, por ser mi cómplice, eres la mejor. Negra, gracias por el apoyo que me has entregado en momentos difíciles. Pablo, gracias por confiar en mí y celebrar mis logros.

Quisiera agradecer a mi profe guía Katja Deckart por haber confiado en mí al darme la oportunidad de realizar mi tesis de magister en su proyecto FONDECYT. Además, quisiera agradecer a las personas que han contribuido al desarrollo de esta tesis: a Ryan Mathur (Juniata College), por la disposición, apoyo, comentarios y discusiones para enfrentar este desafío científico y, además, por recibirme en su laboratorio como en su casa; a Brian Townley por los consejos para enfrentar los resultados de este estudio; a Germán Velásquez por su apoyo, discusiones y sugerencias; a Mauricio Carranza por toda la disposición para proporcionar las muestras requeridas en la elaboración de este estudio y también, por brindarme su conocimiento de la geología de la zona.

Agradezco también, a las lindas personas que me han acompañado durante este último periodo de tesis, durante los largos años en la Universidad y desde mucho antes, con los que he vivido momentos inolvidables y han sacado lo mejor de mí: a mis amigas del colegio, que prácticamente son mi hermanas, son parte de la familia que escogí; al Mota, por estar conmigo en todas; a la Andrea, por esas noches interminables de estudio y que continuamos siendo amigas pese a que tomamos rumbos completamente distintos; a los Gabros por esos terrenos, laboratorios y viernes de camadería, pero en especial a la Valo y al Amorooso, gracias amigos por sus consejos y poner el hombro cada vez que lo necesité, son lo máximo; las cabras del AMTC por todos esos almuerzos y momentos necesarios para seguir adelante, y en especial a la Vale, con la que he vivido de cerca todo este proceso y también, compartimos momentos muy lindos en la pasantía a EEUU. Gracias Vale por todo el apoyo que me has dado, sobre todo en los momentos de crisis existencial, me siento feliz de que nuestros caminos se cruzaran y de tener como amiga a alguien como tú.

Finalmente, quisiera agradecer a mi compañero de vida, Eduardo, quien me ha acompañado los últimos años de carrera. Gracias por amarme tal y como soy, por estar juntos en todas las lindas experiencias que nos ha entregado la vida, por soportarme en mi peores momentos, por sacar y potenciar lo más lindo de mí, por creer que siempre puedo llegar más allá y porque me haces infinitamente feliz.

# TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1	Introducción.....	1
1.1	Planteamiento del problema .....	2
1.2	Hipótesis de trabajo .....	2
1.3	Objetivos .....	2
1.3.1	Objetivo general .....	2
1.3.2	Objetivos específicos.....	2
1.4	Área de estudio: ubicación y vías de accesos .....	3
Capítulo 2	Isótopos estables de Cu.....	5
2.1	Generalidades .....	5
2.2	Signaturas isotópicas de Cu en pórfidos Cu: condiciones supérgenas .....	5
2.3	Signaturas isotópicas en rocas ígneas y pórfido cupríferos: mineralización hipógena .....	6
2.3.1	$\delta^{65}\text{Cu}$ en rocas ígneas en roca total .....	6
2.3.2	$\delta^{65}\text{Cu}$ en mineralogía hipógena .....	7
Capítulo 3	Antecedentes geológicos .....	12
3.1	Geología regional .....	12
3.1.1	Generalidades .....	12
3.1.2	Unidades estratigráficas .....	13
3.1.3	Unidades intrusivas .....	15
3.1.4	Estructuras .....	15
3.2	Geología local.....	16
3.2.1	Generalidades .....	16
3.2.2	Unidades litológicas principales.....	17
3.2.3	Estructuras .....	22
3.2.4	Vetillas.....	22
3.2.5	Alteración hidrotermal y mineralización.....	23
Capítulo 4	Metodología y Obtención de Datos .....	26
4.1	Selección de muestras .....	26
4.2	Descripciones petrográficas .....	26
4.3	Metodología analítica: Medición de isótopos de Cu .....	30

4.3.1 Preparación de las muestras .....	31
4.3.2 MC-ICP-MS .....	31
4.4 Correlación y distribución espacial .....	32
Capítulo 5 Resultados.....	33
5.1 Descripciones petrográficas .....	33
5.1.1 Evento temprano.....	33
5.1.2 Evento transicional.....	38
5.1.3 Evento Tardío.....	41
5.1.4 Alteración clorita – epidota .....	44
5.1.5 Temporalidad de eventos.....	45
5.2 Isótopos de Cu .....	46
5.2.1 Valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en calcopirita y bornita .....	46
5.2.2 Variación espacial de los valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en calcopirita .....	49
5.2.3 Valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en calcosinas supérgenas .....	54
Capítulo 6 Discusiones.....	55
6.1 Alteración hidrotermal, tipos de vetillas y temporalidad de eventos. ....	55
6.2 Isótopos de Cu .....	56
6.2.1 Fraccionamiento isotópico en ambiente supérgeno.....	56
6.2.2 Fraccionamiento isotópico en ambiente hipógeno .....	56
6.2.3 Isótopos de Cu como herramienta de exploración .....	64
Capítulo 7 Conclusiones y recomendaciones .....	65
Bibliografía.....	66
Anexos.....	71
Anexo A: Abreviaciones.....	71
Anexo B: Clasificación de vetillas Los Bronces.....	72
Anexo C: Metodología analítica .....	76
Anexo D: Descripciones Petrográficas .....	79
Anexo E: Resumen congresos .....	151

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Franjas Metalogénicas de Chile central. Tomado de Deckart et al. (2014).....	3
<b>Figura 1.2:</b> Mapa de ubicación y accesos a la mina Los Bronces. Elaborado mediante QGIS con mapa base de Google Maps (Noviembre 2019).....	4
<b>Figura 2.1:</b> Diagrama de las variaciones $\delta^{65}\text{Cu}$ dentro de un perfil supérgeno. Datos obtenidos de Mathur et al. (2009).....	6
<b>Figura 2.2:</b> Diagrama de las variaciones $\delta^{65}\text{Cu}$ en muestras de peridotitas del manto (Othman et al., 2006; Ikehata and Hirata, 2012), basaltos de ridge medio-oceánicos (MORB) (Rouxel et al., 2004; Othman et al., 2006), basaltos de isla oceánica (OIB) (Othman et al., 2006; Li et al., 2009), basaltos de meseta continental (Archer and Vance, 2004), Granitos tipo S y tipo I (Li et al., 2009), La barra gris representa el rango $\delta^{65}\text{Cu}$ del Cu ígneo (-0,27 a 0,27‰). Modificado de Ikehata and Hirata (2012). También muestra la variación de los valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en función de las distintas alteraciones hidrotermales presentes en los pórfidos cupríferos Bingham (Dendas, 2012) y Northparkes (Li et al., 2010). .....	7
<b>Figura 2.3:</b> Gráfico de la fracción de cobre precipitada y la composición isotópica de la calcopirita precipitada para diferentes factores de fraccionamiento en función de la temperatura ( $\Delta_{\text{sol-sul}} = \Delta^{65}\text{Cu}_{\text{sol-sul}} = \delta^{65}\text{Cu}_{\text{sulfuro}} - \delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluido}}$ ). Los datos de solubilidad de Cu son de Hezarkhani et al. (1999). Se asume un valor $\delta^{65}\text{Cu}$ del fluido inicial de 0,2‰. Tomado de Li et al. (2010)...	10
<b>Figura 2.4:</b> Fraccionamiento calcopirita-bornita coexistentes provenientes de distintos depósitos skarn e IOCG. En todos los casos, la calcopirita (barras abiertas) tienen valores $\delta^{65}\text{Cu}$ más altos que la bornita (barras negras). Modificado de Larson et al. (2003) <sup>1</sup> con los resultados de Maher and Larson (2007) <sup>2</sup> .....	11
<b>Figura 2.5:</b> Gráfico de valores $\delta^{65}\text{Cu}$ de calcopirita-bornita coexistentes. Tomado de Li et al. (2010).....	11
<b>Figura 3.1:</b> (a) Mapa que muestra la posición del segmento flat-slab, la distribución de los volcanes cuaternarios (NVZ = zona volcánica norte, SVZ = zona volcánica sur) y la ubicación de los pórfidos Mio-Pliocenos Los Pelambres (LP), Río Blanco – Los Bronces (RB-LB), El Teniente (ET) y Rosario de Rengo (RR). Tomado de Mpodozis and Cornejo (2012). (b) Marco geológico regional de la franja metalogénica Mioceno - Plioceno temprano en Chile Central y centro-oeste en Argentina. Se muestran las fallas principales de las fajas plegadas y corridas de la Cordillera Frontal. Modificado de Serrano et al. (1996). .....	13
<b>Figura 3.2:</b> Mapa geológico simplificado del yacimiento Río Blanco – Los Bronces, mostrando las localidades de los principales depósitos y prospectos. Modificado de Irrazaval et al. (2010).....	16
<b>Figura 3.3:</b> Mapa Litológico Río Blanco - Los Bronces. Modificado de Vargas et al. (1999). .....	17
<b>Figura 3.4:</b> Perfiles litológicos SW-NE de los sectores Los Bronces (a) y San Enrique Monolito (b). Modificado de Toro et al. (2012). .....	18

<b>Figura 3.5:</b> Mapa geológico simplificado del distrito Río Blanco – Los Bronces con las estructuras principales. Tomado de Carrizo et al. (2018).....	22
<b>Figura 3.6:</b> Perfil transversal SW-NE que muestra la zonación de las alteraciones hidrotermales presentes en los sectores Los Bronces (a) y San Enrique Monolito (b). Tomado de Toro et al. (2012).....	24
<b>Figura 4.1:</b> Mapa Litológico Río Blanco - Los Bronces, con traza de perfil A-A'. Modificado de Vargas et al. (1999).....	28
<b>Figura 4.2:</b> Perfil A-A' NW - SE con los sondajes proyectados, la ubicación de las muestras y el tipo de muestra seleccionada. ....	29
<b>Figura 4.3:</b> Tabla de clasificación de alteraciones hidrotermales (Corbett and Leach, 1998). Modificado de Bulnes, (2013).....	30
<b>Figura 4.4:</b> (A) minerales de calcopirita mediante lupa binocular; (B) 0,05g de cpy a 0,05mm; (C) Disolución de muestras con agua-regia; (D) Calentamiento de muestras a 200°C por 24 horas; (E) Columnas cromatográficas. ....	31
<b>Figura 4.5:</b> Neptune MC-ICP-MS de la Universidad de Arizona, Tucson, EEUU.....	32
<b>Figura 5.1:</b> (A) Vetilla C3A con halo principalmente de albita y mineralización de calcopirita y piritita; (B) – (D) Microfotografía con aumento 5x a nícoles paralelos y cruzados en luz transmitida; y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente, de muestra LB-23. Se observa mineralogía del relleno conformado por anhídrita-turmalina-cuarzo-calcopirita y del halo, compuesto por albita y menor turmalina. ....	35
<b>Figura 5.2:</b> (A) Foto macroscópica de muestra LB-09. Se observa una alteración potásica bt-feld-k selectiva sobreimpuesta por una cloritización selectiva de biotitas con menor epidota. También se observa stockwork de vetillas EB; (B) Fotomicrografía en aumento 5x y nicoles cruzados de muestra LB-09. Se observa en detalle la mineralogía de vetilla EB conformada principalmente por biotita con menor cuarzo y anhídrita.....	35
<b>Figura 5.3:</b> Foto macroscópica de muestra LB-09. Se observa alteración biotítica selectiva en máficos y vetilla EB, con halo oscuro de biotita con menor sericita y relleno de cuarzo-anhídrita. ....	36
<b>Figura 5.4:</b> (A) Foto macroscópica de muestra SEM-05. Se observa vetilla A reactivada cortando a vetilla EBT; (B), (C) Foto microscópica de muestra SEM-05 con aumento 5x a nícoles cruzados y paralelos a luz reflejada y transmitida, respectivamente. Se observa relleno de vetilla con cuarzo mosaico, bornita y calcopirita. ....	37
<b>Figura 5.5:</b> (A) Foto macroscópica de muestra LB-39. Se observa matriz oscura de biotita y menor polvo de roca. Clastos subangulosos de roca ígnea intrusiva. Cortada por vetilla C2; (B), (C) Foto macroscópica de la sección pulida de la muestra LB-39 e imagen escaneada del corte transparente de la muestra LB-39. Se observa brecha de biotita – polvo de roca cortada por vetilla C2; (D) – (F) Fotos microscópica con aumento 5x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada de muestra LB-39. Se observa mineralogía de la matriz y cemento	

conformada principalmente de biotita hidrotermal, cuarzo, anhidrita y polvo de roca (fragmentos de plagioclasa, feldespato potásico y biotita). ..... 37

**Figura 5.6:** (A) – (C) Foto macroscópica de muestras LB-15, SEM-06 y LB-10, respectivamente. Se observa vetilla B con mineralización principalmente de molibdenita; (D) Imagen del corte transparente escaneado de la muestra LB-15. Se observa vetilla B y la ubicación de las fotos microscópicas E y F; (E), (F) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa molibdenita y calcopirita en paragénesis. .... 38

**Figura 5.7:** (A), (B) Foto macroscópica e imagen del corte transparente escaneado de muestra SEM-09. Se observa una alteración potásica biotítica pervasiva y selectiva en minerales máficos, y además, vetilla C con un halo gradacional definido; (C), (D) Foto microscópica con aumento 5x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa mineralogía del relleno de la vetilla (calcopirita, cuarzo, feldespato potásico, epidota y anhidrita); (E) Foto microscópica con aumento 20x en luz reflejada. Se observa sobrecrecimiento de bornita en calcopirita. .... 39

**Figura 5.8:** (A) Foto macroscópica de muestra SEM-07. Se observa vetilla C2 con mineralización continua de calcopirita con menor cuarzo y molibdenita. Presenta halo pervasivo destructivo de color gris verdoso. (B) Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles cruzados de muestra SEM-07. Se observa la mineralogía del halo compuesto por sericita temprana y menor cuarzo; (C) Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles cruzados de muestra SEM-07. Se observa reactivación de vetilla: cuarzos con textura de mosaico y textura de fluidización conformada por cuarzo y sericita; (D) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles paralelos en luz reflejada de muestra SEM-07. Se observa mineralización de calcopirita, bornita y especularita en paragénesis. (E) Foto microscópica con aumento 10x en relleno de vetilla de la muestra SEM-21. Se observa en el borde del relleno mineralización de calcopirita, bornita y covelina no en equilibrio, indicando la reactivación de esta; (F), (G) Foto microscópica con aumento 5x en luz transmitida y reflejada del relleno de la vetilla SEM-18. Se observa notoria reactivación de la vetilla con un segundo evento de mineralización de calcopirita; (H) Foto macroscópica de muestra SEM-04. Se observa una clara reactivación de vetilla, con múltiples suturas mineralizadas de calcopirita y bornita; (I) Foto microscópica con aumento 10x en muestra SEM-04. Se observa textura de reemplazo de bornita en calcopirita: superficies cóncavas en calcopirita (pareciera que la bornita estuviera corroyendo a la calcopirita). .... 40

**Figura 5.9:** (A) Foto macroscópica de la muestra LB-36. Se observa vetilla D con mineralización continua de pirita con pátinas de calcosina; y un halo definido que conserva la textura original de la roca, compuesto de cuarzo y sericita, con clorita en los bordes; (B) Foto macroscópica de muestra LB-34, se observa la textura en peineta con cristales euhedrales de cuarzo y mineralización de pirita en la sutura central de la vetilla, con mineralización en pátina de calcosina-covelina secundaria. (C) Foto macroscópica de muestra LB-33. Se observa el relleno de vetilla D con mineralización en pátina de calcosina y covelina sobre pirita; (D) Foto macroscópica de muestra SEM-35. Se observa vetilla D cortando a brecha de turmalina. .... 41

**Figura 5.10:** (A) Foto macroscópica de muestra LB-32. Se observa la textura bandeada con mineralización de cpy y menor pirita en la sutura y textura bandeada con especularita-cuarzo-clorita-sericita del centro hacia afuera; (B) Imagen del corte transparente escaneado. Se observa vetilla D cortando parte del relleno de veta DT y a su vez, el relleno central de la veta DT corta a

la vetilla D. Además, muestra la ubicación de las fotos microscópicas C, D y E; **(C)** Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados. Se observa cristales de cuarzo y carbonato subeuhedrales con mineralización de especularita (opaco); **(D)** Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados. Se observa la textura en peinta con cristales euhedrales de cuarzo perpendiculares a la veta; **(E)** Foto microscópica con aumento 10x. Se observa mineralización en paragénesis de calcopirita, pirita y especularita. .... 42

**Figura 5.11:** **(A)** Foto macroscópica de muestra SEM-39. Se observa la angulosidad de los clastos, la proporción de clasto y matriz de turmalina con menor polvo de roca **(B)**, **(C)** Foto microscópica con aumento 5x y nícoles paralelos a luz transmitida y reflejada, respectivamente, de muestra SEM-29. Se observa alteración illita - arcillas en los clastos, con turmalina euhedral acicular y mineralización diseminada de calcopirita; **(D)**, **(E)** Foto microscópica con aumento 5x y nícoles paralelos a luz transmitida y reflejada, respectivamente, de muestra SEM-30. Se observa la mineralogía de la matriz de la brecha. Esta es compuesta por turmalinas euhedrales prismáticas cristalizadas de manera perpendicular a los clastos y menor especularita, con mineralización de calcopirita – pirita – especularita como relleno de espacios abiertos..... 43

**Figura 5.12:** **(A)** Foto macroscópica de muestra SEM-08. Se observa una alteración SCC pervasiva con mineralización principalmente de calcopirita y menor pirita; **(B)**, **(C)** Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente, de muestra SEM-08. Se observa la textura original de la roca de caja (textura porfírica) con alteración selectiva de plagioclasa y feldespato potásico a sericita y arcillas con menor clorita. Se observa también micro vetillas de chl-ser-qz (líneas rojas segmentadas)..... 44

**Figura 5.13:** **(A)** Foto macroscópica de la muestra LB-09. Se observa cloritización y epidotización selectiva de minerales máficos y stockwork de microvetillas C3B; **(B)** Foto microscópica con aumento 5x a nícoles paralelos de la muestra LB-10. Se observa cloritización y epidotización de biotita primaria; **(C)** Foto microscópica con aumento 5x a nícoles paralelos en muestra LB-13. Se observa la cloritización de biotitas secundarias; ..... 44

**Figura 5.14:** Evolución temporal de vetillas y brechas hidrotermales presentes en el depósito Río Blanco – Los Bronces. .... 45

**Figura 5.15:** Valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcopirita (cpy) y bornita (bn) en vetillas C2 y A..... 46

**Figura 5.16:** Variación de las firmas isotópicas de Cu de los diferentes eventos de alteración – mineralización en función de la profundidad ..... 49

**Figura 5.17:** Perfil NW-SE con la ubicación de las muestras de vetillas y brechas hidrotermales. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  son representados cualitativamente con colores fríos a cálidos a medida que las firmas isotópicas de Cu son más pesadas. .... 50

**Figura 5.18:** Variación de las firmas isotópicas de Cu en función a su distancia mínima al clúster de brecha principal en la zona somera del sector San Enrique Monolito. .... 51

**Figura 5.19:** Variación de las firmas isotópicas de Cu en función de la ley de Cu.... 52

**Figura 5.20:** Variación de las firmas isotópicas de Cu en función de la distancia mínima al cluster de brecha y la profundidad..... 53

**Figura 5.21:** Variación de las firmas isotópicas de Cu de los distintos eventos hidrotermales en las partes someras y profundas. .... 54

**Figura 6.1:** (A) Modelo de fraccionamiento del tipo Rayleigh de la composición isotópica de la calcopirita precipitada a partir de un fluido hidrotermal en enfriamiento. Datos de solubilidad de Cu son tomados de Hezarkhani et al. (1999). Los rombos corresponden a las firmas isotópicas de las calcopiritas precipitadas en pasos de enfriamiento de 10°C a partir de los 400°C hasta los 350°C. Factor de fraccionamiento  $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluido-calcopirita}} = 0,3 \text{ ‰}$  y una composición inicial de la calcopirita precipitada de  $-0,3\text{‰}$ . (B) Variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  mediante un fraccionamiento Rayleigh por disminución de la temperatura. .... 58

**Figura 6.2:** Ilustración de una vetilla C2 reactivada. Se ilustra la precipitación de dos poblaciones de calcopirita de distinta firma isotópica. .... 59

**Figura 6.3:** Modelo de reactivación de vetillas. Representación esquemática de la variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  a partir de la superposición del evento filico asociado al emplazamiento de las brechas hidrotermales de turmalina (enriquecido en  $^{63}\text{Cu}$ ). .... 60

**Figura 6.4:** (A) Fraccionamiento isotópico durante las etapas temprana y transicional del sistema hidrotermal San Enrique Monolito, asociado principalmente a un fraccionamiento por precipitación del tipo Rayleigh. (B) Fraccionamiento isotópico en la etapa tardía del sistema, asociado a un fraccionamiento por separación de fases, con un vapor enriquecido en  $^{63}\text{Cu}$  y, posteriormente, condensado; el cual reactiva las vetillas preexistentes. .... 62

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3.1:</b> Caracterización de los tipos de brechas pertenecientes al sistema de brechas Los Bronces. Tomado de Warnaars et al. (1985). .....	19
<b>Tabla 3.2:</b> Caracterización de las brechas hidrotermales pertenecientes al complejo de brechas Sur-Sur. Vargas et al. (1999). .....	20
<b>Tabla 3.3:</b> Abundancia mineral y evolución de los tipos de vetillas. Modificado de Gustafson and Quiroga (1995). .....	23
<b>Tabla 4.1:</b> Ubicación espacial y tipos de análisis realizados por cada muestra. ....	27
<b>Tabla 5.1:</b> Resumen descripciones petrográficas. Abreviaciones (ver Anexo A). ....	34
<b>Tabla 5.2:</b> Resultados obtenidos de las mediciones de las razones isotópicas de Cu en vetillas y brechas hidrotermales. ....	47

# 1 INTRODUCCIÓN

Los isótopos estables livianos (H, O y S) han sido utilizados como una herramienta complementaria para la comprensión de fenómenos involucrados en la formación de depósitos minerales, tales como la proveniencia de los metales, la fuente de los fluidos y los mecanismos que permiten la concentración de los metales (movilización, transporte y precipitación) (Hoefs, 2009; Shanks, 2013). No obstante, las razones de isótopos estables de los mismos metales de interés económico (ej, Fe, Cu y Zn) pueden potencialmente proveer respuestas más directas respecto de los procesos mineralizadores que permiten la concentración de estos (Maréchal et al., 1999; Markl et al., 2006; Mathur and Fantle, 2015). En relación con lo anterior, en virtud de los avances en la espectrometría de masa acoplada inductivamente a plasma, especialmente, con el desarrollo del multicolector (MC-ICP-MS), han permitido la medición de isótopos estables en metales de transición con un error analítico asociado de  $\pm 0,1\%$  ( $2\sigma$ ) e incluso  $0,01\%$  (Maréchal et al., 1999; Zhu et al., 2002; Larson et al., 2003; Ehrlich et al., 2004; Mathur et al., 2005; Markl et al., 2006). Esto ha despertado un gran interés en el estudio de estos isótopos, especialmente el Cu, ya que podrían ser utilizados como guías de exploración.

Diversas investigaciones de isótopos de Cu, tanto experimentales como de terreno, han demostrado que, bajo condiciones supérgenas, ocurre un mayor fraccionamiento isotópico de Cu de hasta  $14\%$  como producto de las variaciones redox de los fluidos mineralizadores. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  exhiben un patrón de firmas isotópicas acorde a las distintas zonas presentes en un perfil supérgeno, el cual podría ser utilizado para descubrir nuevos blancos ocultos (Mathur et al., 2005, Mathur et al., 2009; Markl et al., 2006; Braxton and Mathur, 2011). Por otro lado, la mineralogía hipógena formada a altas temperaturas no muestra un gran fraccionamiento isotópico y la mayoría de los datos se encuentran en un rango acotado de  $-1$  a  $1\%$ , motivo por el cual, no se ha ahondado en el entendimiento del comportamiento isotópico en este ambiente hidrotermal (Mathur et al., 2009). Ante dicho vacío investigativo, algunos estudios elaborados en los pórfidos cupríferos Grasberg, Northparkes, Bingham y Pebble han evidenciado que en ambientes de alta temperatura (hipógeno) existe un patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  asociado a las distintas alteraciones hidrotermales y, en algunos casos, ocurre un fraccionamiento isotópico por sobre los  $4\%$  (Graham et al., 2004; Maher and Larson, 2007; Li et al., 2010, Dendas, 2012; Mathur et al., 2013, Gregory and Mathur, 2017).

La presente tesis tiene el propósito de contribuir al entendimiento del fraccionamiento isotópico de Cu en sistemas hidrotermales de alta temperatura, puesto que, un mayor conocimiento de las causas por el cual el cobre se fracciona isotópicamente, permitiría comprender la distribución espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ . Lo anterior podría motivar el uso de los isótopos de cobre como herramienta de exploración de depósitos tipo pórfido cuprífero que no presentan un proceso supérgeno desarrollado, como es el caso de los depósitos porfídicos de clase mundial pertenecientes a la franja metalogénica Mio-Plioceno de Chile central.

En el presente estudio se midieron las razones isotópicas de cobre del mega-depósito tipo pórfido Cu-Mo Río Blanco – Los Bronces, debido a que este depósito, formado por la superposición de múltiples pulsos de mineralización, cuenta con una geología y geocronología bien documentada (Serrano et al., 1996; Warnars et al., 1985; Skewes and Holmgren, 1993; Vargas et al., 1999; Skewes 2003; Deckart et al., 2005, 2013, 2014). Además, como es un depósito de Cu de clase mundial, lo vuelve un buen candidato para profundizar en el conocimiento del sistema isotópico de Cu y evaluar su potencial como herramienta de exploración.

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Como se mencionó anteriormente, la mineralogía hipógena de algunos depósitos tipo pórfido cuprífero muestran una variación sistemática de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  y un fraccionamiento isotópico sobre los 4‰ (Li et al., 2010; Dendas, 2012; Gregory and Mathur, 2017). Ante ello, surge la siguiente interrogante ¿cuáles son los procesos que generan una variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ ? y ¿por qué algunos depósitos minerales presentan un mayor fraccionamiento isotópico respecto a otros? Las explicaciones propuestas incluyen variaciones isotópicas en las fuentes de Cu y en los procesos asociados al transporte y precipitación de Cu, los cuales son condicionados por las variaciones de los parámetros fisicoquímicos, en el cual la temperatura y pH ejercen un control principal (Graham et al., 2004; Maher and Larson, 2007; Li et al., 2010; Maher et al., 2011).

## 1.2 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las mayores variaciones de las razones isotópicas de cobre en sistemas hidrotermales de alta temperatura, han sido observadas en depósitos formados bajo múltiples pulsos de mineralización, asociados al emplazamiento de sucesivos cuerpos intrusivos (Graham et al., 2004; Li et al., 2010). Por otro lado, la variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en depósitos del tipo pórfido cuprífero son explicadas por mecanismos como la precipitación asociada a la disminución de temperatura y por la separación de fases en la segunda ebullición (Li et al., 2010; Dendas, 2012; Gregory y Mathur, 2017). En base a lo anterior, se postula que los reiterados pulsos de mineralización documentados en Río Blanco – Los Bronces, generarían una mayor variación de las razones isotópicas de cobre y, además, podrían generar un patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  el cual permita vectorizar hacia el núcleo del sistema hidrotermal.

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 OBJETIVO GENERAL

La presente investigación tiene como objetivo general:

- Proponer un modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu en depósitos del tipo pórfido Cu-Mo, con el propósito de probar el modelo como vector de exploración de centros hidrotermales aún no descubiertos.

### 1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer la paragénesis mineral y temporalidad relativa de eventos magmático-hidrotermal en muestras de mano (tipos de vetillas, estilo de mineralización y alteración hidrotermal).
- Establecer de manera cualitativa las condiciones fisicoquímicas de los fluidos mineralizadores en el sistema.
- Identificar un patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de acuerdo con la profundidad y la distancia de los centros hidrotermales.
- Evaluar los mecanismos que generarían tal distribución de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ .

### 1.4 ÁREA DE ESTUDIO: UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESOS

Río Blanco – Los Bronces es un mega depósito del tipo pórfido cuprífero, que en conjunto con los depósitos Los Pelambres y El Teniente, pertenecen a la franja metalogénica del Mioceno tardío – Plioceno temprano de Chile Central (Figura 1.1). Actualmente es operado por dos compañías mineras; la porción occidental, (sector Los Bronces) pertenece a la empresa minera Anglo American y la porción oriental (sector Río Blanco) pertenece a la División Andina de CODELCO-Chile.

El depósito se ubica en las comunas de Lo Barnechea y Los Andes pertenecientes a las Regiones Metropolitana y Valparaíso, respectivamente. Se encuentra a 65 km al noroeste de Santiago, a una altura que va desde los 3600 hasta los 4200 m s.n.m.; entre las coordenadas geográficas 33°08' latitud sur y 70°15' longitud oeste. El acceso a la mina se hace desde Santiago por la ruta Camino a Farellones (G-21) hasta el sector de Corral Quemado, tomando la desviación hacia norte (Camino La Disputada, G-245) y luego, se continúa recto hacia Los Colorados por unos 23 km, aproximadamente (Figura 1.2).

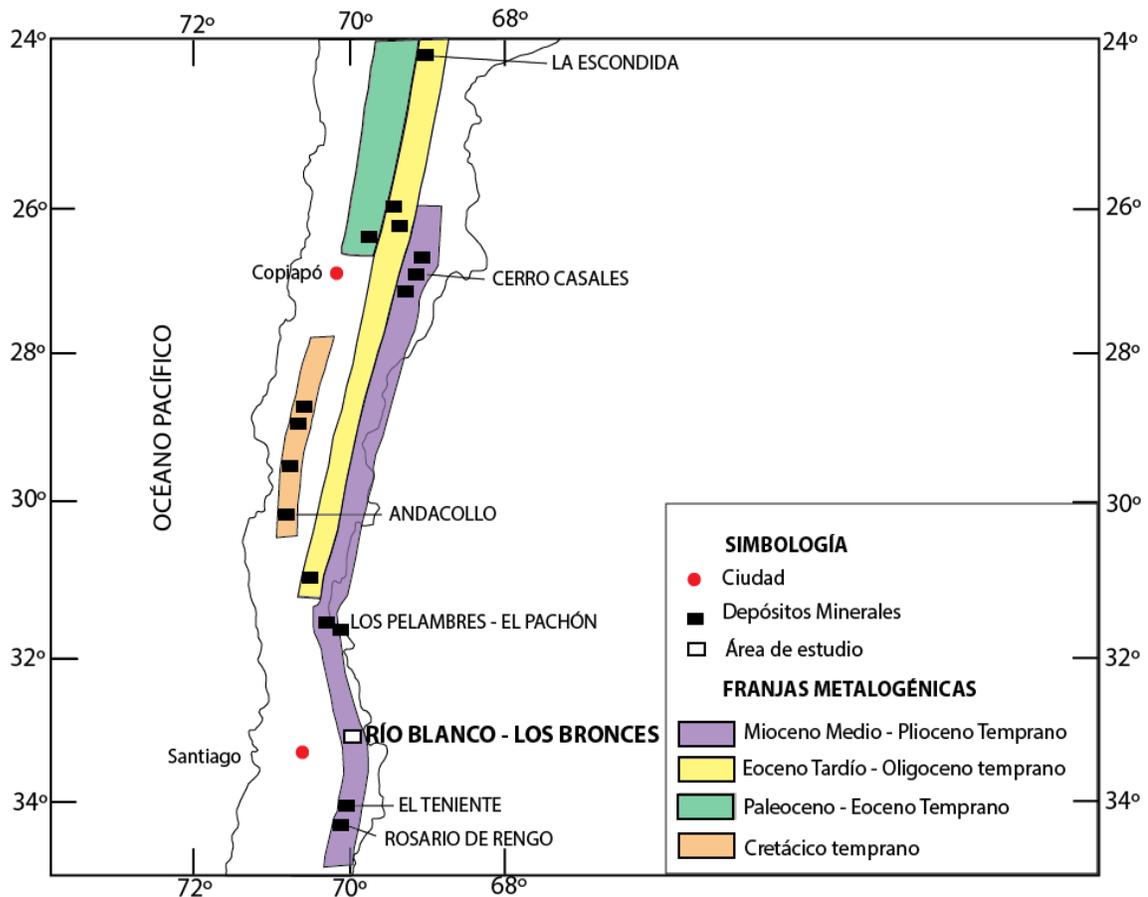
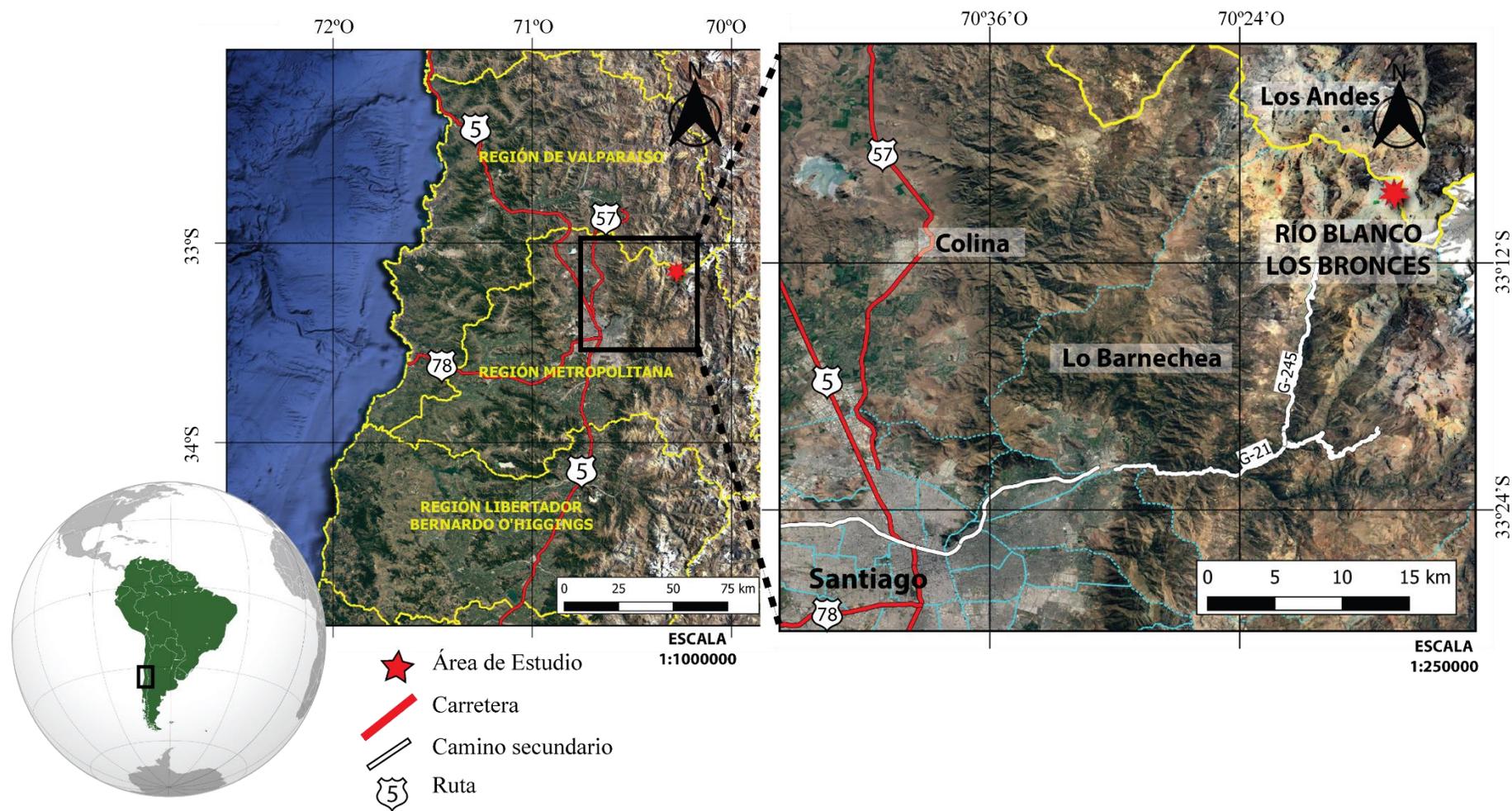


Figura 1.1: Franjas Metalogénicas de Chile central. Tomado de Deckart et al. (2014).



**Figura 1.2:** Mapa de ubicación y accesos a la mina Los Bronces. Elaborado mediante QGIS con mapa base de Google Maps (Noviembre 2019).

## 2 ISÓTOPOS ESTABLES DE CU

### 2.1 GENERALIDADES

El cobre ocurre principalmente en dos estados de oxidación ( $\text{Cu}^+$  y  $\text{Cu}^{2+}$ ) y en menor medida en forma de cobre elemental. En condiciones reductoras, los sulfuros (calcopirita, bornita, calcosina y otros) poseen un mayor contenido de cobre ( $\text{Cu}^+$ ), mientras que bajo condiciones oxidantes, el cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ) se encuentra en óxidos, sulfatos y carbonatos.

El cobre posee dos isótopos estables;  $^{63}\text{Cu}$  y  $^{65}\text{Cu}$  con abundancias naturales de 69,1% y 30,9%, respectivamente (Hoefs, 2009). Las razones isotópicas de Cu son expresadas en notación delta ( $\delta$ ):

$$\delta^{65}\text{Cu} (\text{‰}) = \left( \frac{\left( \frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right)_{\text{muestra}}}{\left( \frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right)_{\text{estándar}}} - 1 \right) \times 1000$$

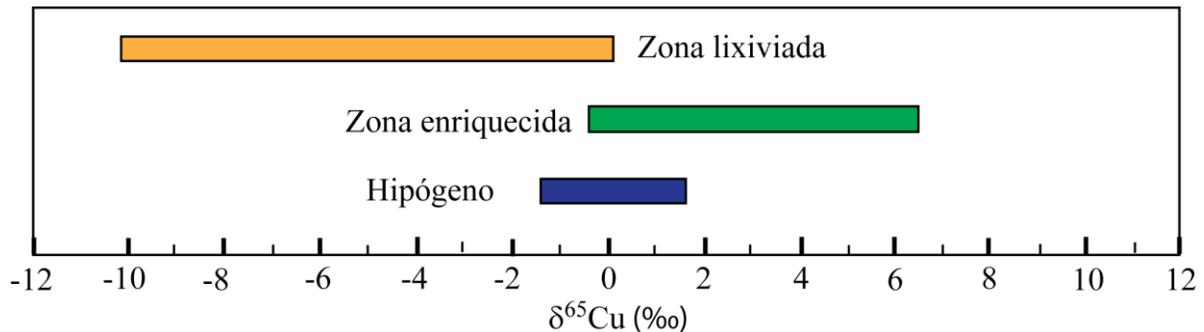
Donde el estándar utilizado es el NIST976 (0,4456; Shields et al., 1964).

- Si  $\delta^{65}\text{Cu} > 0$  la muestra está enriquecida en el isótopo pesado respecto del estándar.
- Si  $\delta^{65}\text{Cu} < 0$  la muestra está enriquecida en el isótopo liviano respecto del estándar.
- Si  $\delta^{65}\text{Cu} = 0$  la muestra tiene la misma composición del estándar.

### 2.2 SIGNATURAS ISOTÓPICAS DE CU EN PÓRFIDOS CU: CONDICIONES SUPÉRGENAS

Mathur et al. (2009) realizó un resumen de la corriente de entendimiento del fraccionamiento isotópico de Cu en depósitos tipo pórfido cuprífero con perfil supérgeno desarrollado (Bisbee, Arizona, EEUU; Butte, Montana, EEUU; Silver Bell, Arizona, EEUU; Rosario, Chile; Ujina, Chile; Chuquicamata, Chile; Escondida, Chile; El Salvador, Chile; Sirsir, Tuquía). Estos depósitos exhiben un patrón marcado de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  (Figura 2.1) en el cual la mineralogía hipógena exhibe un rango acotado de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de 1‰ a -1‰, mientras que los minerales secundarios, se encuentran en un amplio rango desde -9,96‰ a 9,98‰. Respecto a la mineralogía hipógena, las firmas isotópicas de Cu de la zona enriquecida son relativamente pesadas (-0,3 a 6,5‰) y las de la zona lixiviada, relativamente livianas (-9,9 a 0,14‰; Figura 2.1). Tal distribución de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se debe a la variación de las condiciones redox en ambientes hidrotermales de baja temperatura (factor principal del fraccionamiento isotópico de Cu). En un ciclo supérgeno, la interacción de las aguas meteóricas con la mineralogía hipógena genera ácido sulfúrico. Este fluido ácido genera la lixiviación de los sulfuros primarios generando un fraccionamiento del isótopo  $^{65}\text{Cu}$  al fluido. Este fraccionamiento genera una capa lixiviada isotópicamente liviana. Posteriormente, estos fluidos secundarios, enriquecidos en  $^{65}\text{Cu}$ , percolan en profundidad y bajo el nivel freático en condiciones reductoras precipitan su contenido metálico

en forma de sulfuros (calcosina, covelina), generando así, la zona enriquecida con valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  pesados (Mathur et al., 2009). Estas observaciones son acorde a los resultados experimentales de lixiviación por oxidación de calcopirita la cual generó soluciones acuosas de  $\text{Cu}^{2+}$  que precipitaron como calcosina, con valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  más pesados (Mathur et al., 2005). Estos resultados fueron corroborados por Kimball et al. (2009), quien reportó que el fluido lixivante fue enriquecido en  $^{65}\text{Cu}$ , respecto a las muestras de calcopirita y enargita, por 1,37 y 0,98‰, respectivamente.



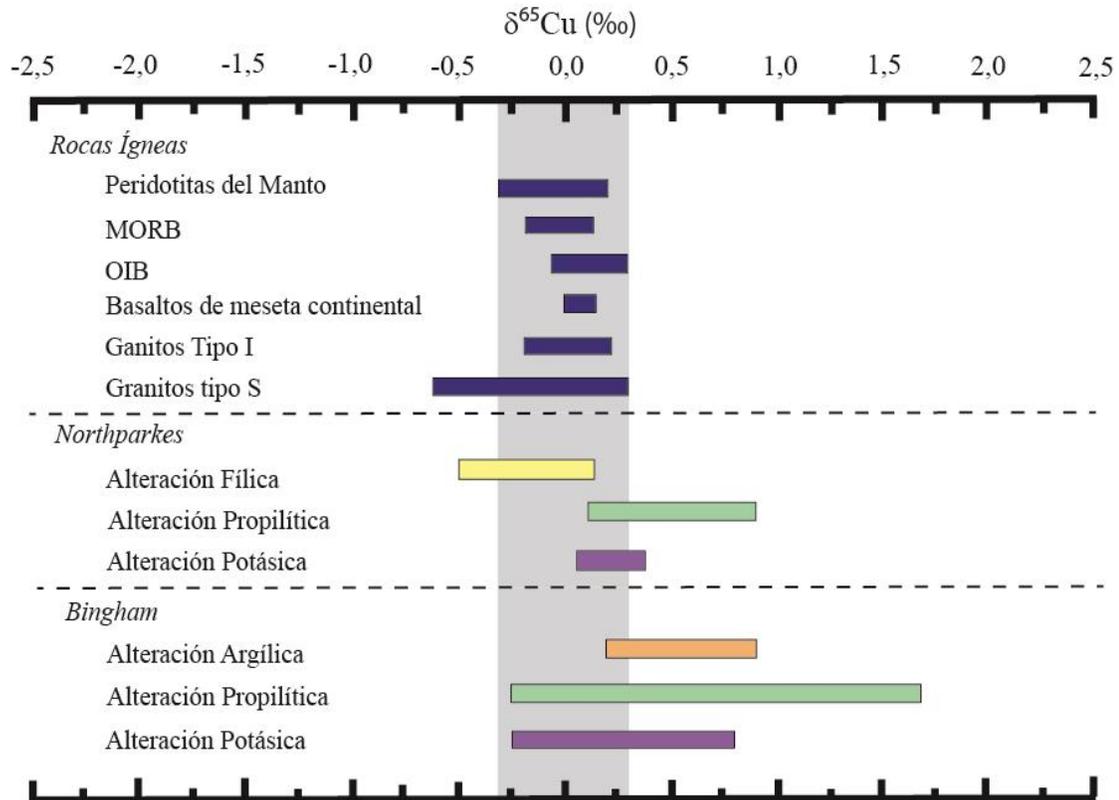
**Figura 2.1:** Diagrama de las variaciones  $\delta^{65}\text{Cu}$  dentro de un perfil supérgeno. Datos obtenidos de Mathur et al. (2009).

## 2.3 SIGNATURAS ISOTÓPICAS EN ROCAS ÍGNEAS Y PÓRFIDO CUPRÍFEROS: MINERALIZACIÓN HIPÓGENA

A la fecha, sólo existe un número reducido de estudios disponibles que han determinado las firmas isotópicas de cobre en rocas ígneas generadas en distintos ambientes tectónicos, como también, en sulfuros de Cu (calcopirita y bornita) asociados a la mineralización hipógena de un pórfido cuprífero (Figura 2.2).

### 2.3.1 $\delta^{65}\text{Cu}$ EN ROCAS ÍGNEAS EN ROCA TOTAL

Autores han realizado estudios de isótopos de cobre en rocas ígneas asociadas a distintos ambientes tectono-magmáticos, los cuales exhiben valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en un rango bien acotado de  $-0,2$  a  $0,2\text{‰}$  (Figura 2.2). Muestras de peridotitas se encuentran en un rango de  $-0,27$  a  $0,20\text{‰}$  (Othman et al., 2006; Ikehata and Hirata, 2012), basaltos de dorsales meso-oceánicas (MORB), basaltos de islas oceánicas (OIB) y basaltos de mesetas continentales van de  $-0,20$  a  $0,15\text{‰}$  (Rouxel et al., 2004; Othman et al., 2006),  $-0,12$  a  $0,27\text{‰}$  (Othman et al., 2006; Li et al., 2009), y  $-0,01$  a  $0,15\text{‰}$  (Archer and Vance, 2004), respectivamente. Li et al. (2009) estudiaron las razones isotópicas de Cu en muestras de granito tipo I y tipo S. Las firmas del granito tipo I se encuentran en un rango entre  $-0,17$  a  $0,22\text{‰}$ ; en cambio, las firmas isotópicas de Cu en granitos tipo S, exhiben un rango mayor que va entre  $-0,56$  a  $0,28\text{‰}$ . Esta variación podría reflejar la heterogeneidad isotópica en las fuentes sedimentarias o la alteración secundaria después de la cristalización del magma (Li et al., 2009).



**Figura 2.2:** Diagrama de las variaciones  $\delta^{65}\text{Cu}$  en muestras de peridotitas del manto (Othman et al., 2006; Ikehata and Hirata, 2012), basaltos de ridge medio-oceánicos (MORB) (Rouxel et al., 2004; Othman et al., 2006), basaltos de isla oceánica (OIB) (Othman et al., 2006; Li et al., 2009), basaltos de meseta continental (Archer and Vance, 2004), Granitos tipo S y tipo I (Li et al., 2009), La barra gris representa el rango  $\delta^{65}\text{Cu}$  del Cu ígneo (-0,27 a 0,27‰). Modificado de Ikehata and Hirata (2012). También muestra la variación de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función de las distintas alteraciones hidrotermales presentes en los pórfidos cupríferos Bingham (Dendas, 2012) y Northparkes (Li et al., 2010).

### 2.3.2 $\delta^{65}\text{Cu}$ EN MINERALOGÍA HIPÓGENA

Los primeros estudios realizados en yacimientos del tipo pórfido cuprífero mostraron que las variaciones de isótopos de Cu en la mineralogía hipógena son muy limitadas, exhibiendo una signatura isotópica más bien magmática (Larson et al., 2003; Markl et al., 2006). Sin embargo, estudios posteriores mostraron que pueden producirse variaciones de hasta 4‰ y que los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  exhiben una variación espacial asociado a las diferentes alteraciones hidrotermales (Figura 2.2; Maher and Larson, 2007; Li et al., 2010; Dendas, 2012; Gregory and Mathur, 2017). Algunas de las explicaciones propuestas incluyen:

- Fraccionamiento isotópico en equilibrio durante los procesos formadores de mena:
  - Enriquecimiento primario de Cu.
  - Transporte.
- Precipitación.  
Variaciones isotópicas de las fuentes de cobre.
- Combinación de ambos puntos anteriores.

### 2.3.2.1 Fraccionamiento isotópico de Cu en equilibrio

El fraccionamiento isotópico en equilibrio es causado por diferencias en las energías de enlace entre las diferentes fases en las que pueden estar presentes en un sistema, con el isótopo más pesado que prefiere el enlace de mayor energía (Schauble, 2004). En un sistema hidrotermal del tipo pórfido cuprífero, el Cu puede existir en tres fases: vapor (gas), salmuera (líquido) y sulfuro (sólido), por lo que un fraccionamiento isotópico en equilibrio puede ocurrir:

- Durante la separación de fases (salmuera-vapor) – transporte (especiación).
- Entre fluidos hidrotermales y los sulfuros de Cu precipitados.
- Entre sulfuros precipitados en paragénesis.

#### i) Transporte y separación de fases (ebullición)

Estudios de inclusiones fluidas en depósitos cupríferos han permitido determinar la evolución de los fluidos mineralizadores, partiendo de la exsolución de un fluido supercrítico (primera y segunda ebullición) de alta temperatura con una salinidad entre 5 – 10% en peso de NaCl eq. En la medida que este fluido asciende ocurre la separación de fases, por un lado un vapor de baja densidad y por otro lado una salmuera densa, siendo esta volumétricamente una porción más pequeña que el vapor (Kouzmanov and Pokrovski, 2012).

El Cu es transportado principalmente mediante complejos clorurados  $[\text{CuCl}_n^{1-n}]$  ( $n > 1$ ) y bisulfurados  $[\text{Cu}(\text{HS})_2^-]$  bajo las condiciones de pórfido cuprífero (Williams-Jones and Migdisov, 2014). A altas temperaturas el Cu es transportado como  $\text{CuCl}_2^-$  y  $\text{Cu}(\text{HS})_2^-$  en condiciones ácidas y alcalinas, respectivamente. En la fase vapor el Cu es transportado principalmente como  $\text{CuHS}^0$  (Pokrovski et al., 2008).

Se han realizado estudios computacionales y experimentales para determinar el fraccionamiento isotópico de Cu en el proceso de ebullición. Por un lado, Seo et al. (2007) mediante un modelo computacional calculó la frecuencia vibracional de los enlaces de cada complejo por el cual el Cu es transportado, tanto en la fase vapor como en la fase líquida (salmuera) y con ello, determinó teóricamente, el fraccionamiento isotópico de Cu de las distintas especies de Cu. A partir de sus resultados determinó que la fase vapor es enriquecida significativamente en  $^{65}\text{Cu}$  con respecto al cobre en solución. Además, estableció que el fraccionamiento isotópico entre las distintas especies de Cu presentes en cada fase (salmuera-vapor) es insignificante. Por el contrario, estudios experimentales realizados por Maher et al. (2011) y Rempel et al. (2012), determinaron que el  $^{63}\text{Cu}$  se fracciona preferencialmente en la fase vapor bajo ciertas condiciones fisicoquímicas (temperaturas entre 200 – 300°C y pH entre 4 y 7). De acuerdo a lo anterior, existe una contradicción entre el modelo computacional de Seo et al. (2007) y los estudios experimentales de Maher et al. (2011) y Rempel et al. (2012). Sin embargo, los estudios experimentales son realizados en calcopiritas naturales y se simularon las condiciones fisicoquímicas de los fluidos hidrotermales, por ello sus resultados se acercan más a la realidad y, por ende, son más confiables.

#### ii) Fraccionamiento isotópico durante la precipitación de Cu

La precipitación de sulfuros a partir de fluidos hidrotermales es otro posible mecanismo de fraccionamiento isotópico de Cu, ya que las condiciones de enlaces de Cu en fluidos hidrotermales y sulfuros son diferentes (Larson et al., 2003). La precipitación de sulfuros se debe a una

disminución de la solubilidad del Cu en el fluido. Esta disminución de la solubilidad se debe a las variaciones de las condiciones físico-químicas del fluido (temperatura, pH, fugacidad de oxígeno, actividad del azufre, entre otros), asociado a procesos como la ebullición, interacción agua-roca, mezcla de fluidos, enfriamiento, entre otros.

Un estudio realizado por Hezarkhani et al. (1999) determinó que la temperatura ejerce un control dominante en la solubilidad del Cu, en el cual, la cantidad de Cu precipitado disminuye exponencialmente a medida que la temperatura decrece. Lo anterior es representado en la Figura 2.3. En esta se puede observar que entre los 400°C y 390°C se precipita prácticamente todo el cobre en solución (~80% de cobre). De acuerdo a lo anterior, Li et al. (2010) propone que la temperatura también ejerce un control principal en el fraccionamiento isotópico de Cu. Entonces, utilizando los datos de solubilidad de Cu en calcopirita publicados por Hezarkhani et al. (1999), postula un modelo de fraccionamiento de precipitación del tipo Rayleigh con las siguientes condiciones de borde:

- 1) El cobre en el sistema hidrotermal obedece la regla de balance de masa (Ecuación 2.1):

$$M\text{-Cu-fluid}_{T1} = M\text{-Cu-fluid}_{T2} + M\text{-Cu-sulfide}_{T2} \quad (2.1)$$

$M\text{-Cu-fluid}_{T1}$  y  $M\text{-Cu-fluid}_{T2}$  corresponden a la masa de cobre en el fluido hidrotermal a temperaturas  $T1$  y  $T2$  ( $T1 > T2$ ), respectivamente;  $M\text{-Cu-sulfide}_{T2}$  es la masa de sulfuro de Cu precipitada desde el fluido

- 2) Las signaturas isotópicas de Cu obedecen la regla de balance de masa isotópica (Ecuación 1.2):

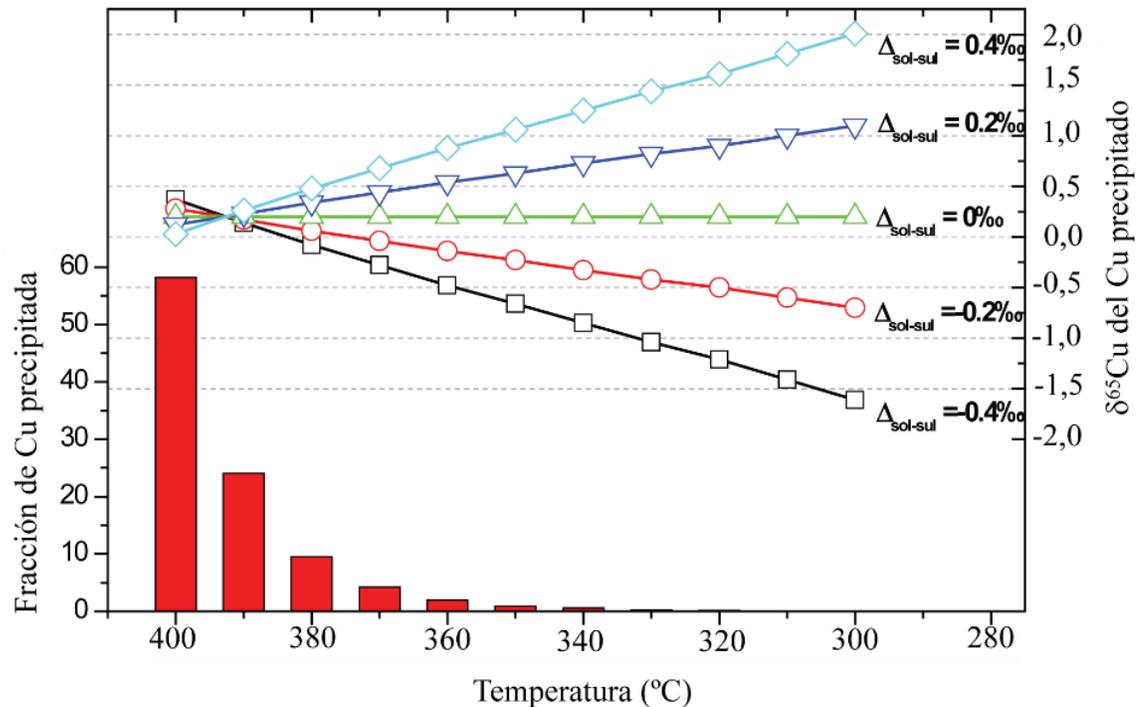
$$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluid-T1}} = X_{\text{fluid-T2}} \cdot \delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluid-T2}} + X_{\text{sulfide-T2}} \cdot \delta^{65}\text{Cu}_{\text{sulfide-T2}} \quad (2.2)$$

$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluid-T1}}$  y  $\delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluid-T2}}$  son las composiciones isotópicas de Cu del fluido a temperaturas  $T1$  y  $T2$ , respectivamente;  $\delta^{65}\text{Cu}_{\text{sulfide-T2}}$  es la composición isotópica de Cu del sulfuro precipitado;  $X_{\text{fluid-T2}}$  y  $X_{\text{sulfide-T2}}$  son las fracciones molares de Cu en el fluido y sulfuro a la temperatura  $T2$ .

- 3) El factor de fraccionamiento isotópico fluido- sulfuro ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{sol-sul}}$ ) es constante.

El factor de fraccionamiento isotópico entre fluidos hidrotermales y sulfuros ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{sol-sul}}$ ) corresponde a la diferencia entre las signaturas isotópicas entre el sulfuro precipitado y el fluido hidrotermal a una determinada temperatura ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{sol-sul}} = \delta^{65}\text{Cu}_{\text{sulfide-T2}} - \delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluid-T2}}$ ).

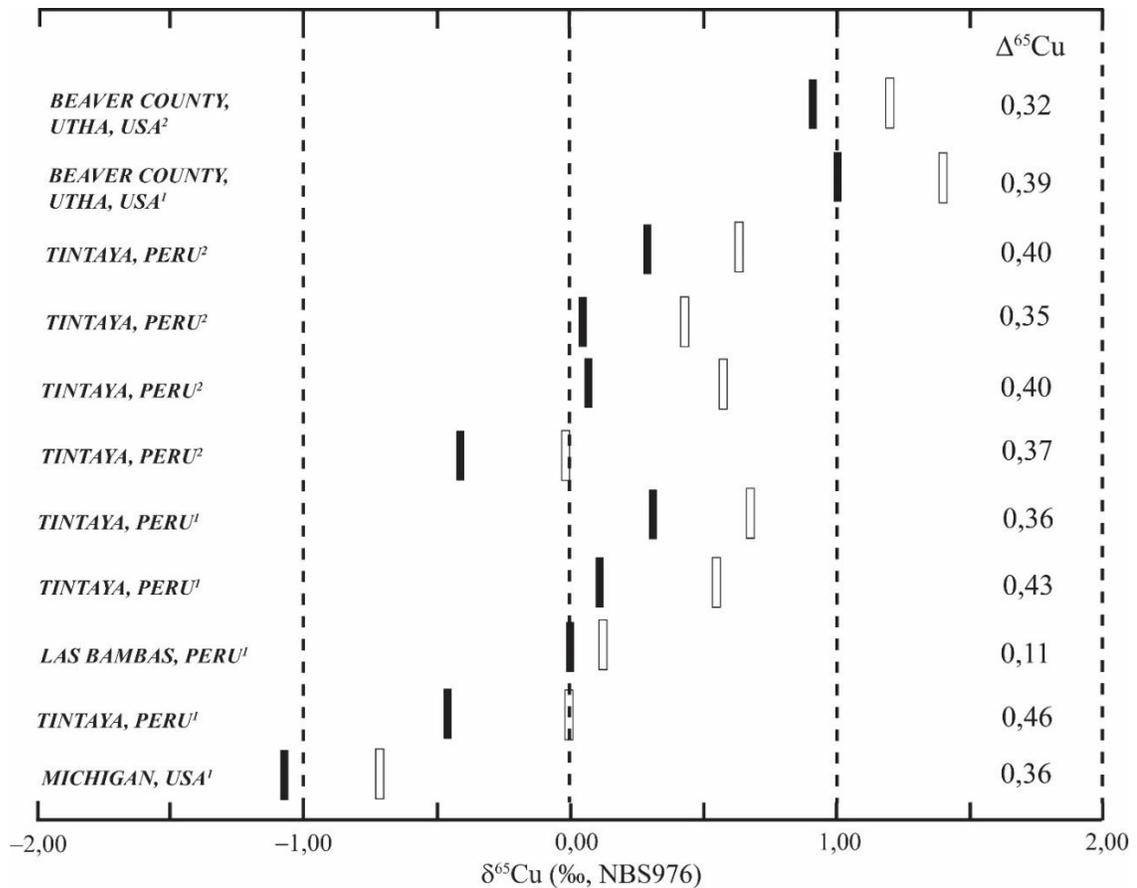
La composición isotópica de Cu de la calcopirita precipitada durante el enfriamiento en pasos escalonados de 10°C se calcula con las ecuaciones del balance de masa (Ecuación 2.1) y el balance de masa isotópico (Ecuación 2.2). Los resultados obtenidos para distintos factores de fraccionamiento (entre -0,4 a 0,4‰) se trazan en la Figura 2.3. A partir de lo anterior, se desprende que la composición isotópica de Cu de las calcopiritas precipitadas cambia linealmente con la disminución de la temperatura.



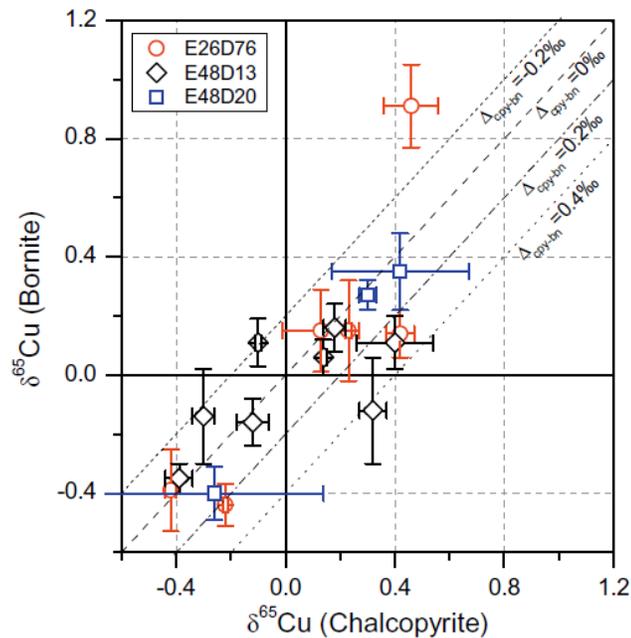
**Figura 2.3:** Gráfico de la fracción de cobre precipitada y la composición isotópica de la calcopirita precipitada para diferentes factores de fraccionamiento en función de la temperatura ( $\Delta_{\text{sol-sul}} = \Delta^{65}\text{Cu}_{\text{sol-sul}} = \delta^{65}\text{Cu}_{\text{sulfuro}} - \delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluido}}$ ). Los datos de solubilidad de Cu son de Hezarkhani et al. (1999). Se asume un valor  $\delta^{65}\text{Cu}$  del fluido inicial de 0,2‰. Tomado de Li et al. (2010).

### iii) Fraccionamiento isotópico entre fases sulfuradas

Los entornos de enlace Cu-S en calcopirita y bornita son similares, aunque la longitud del enlace es más larga y más débil para la bornita en relación con la calcopirita (Larson et al., 2003). Entonces, si el isótopo liviano ( $^{63}\text{Cu}$ ) entra preferentemente en un entorno de unión más débil (Schauble, 2004); es esperable observar un enriquecimiento del isótopo pesado ( $^{65}\text{Cu}$ ) en calcopirita (es decir, valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  más altos) en relación con la bornita co-precipitada. Resultados de las mediciones de isótopos de cobre en calcopirita-bornita precipitadas en equilibrio, provenientes de distintos depósitos del tipo pórfido cuprífero, skarn e IOCG, evidencian tal fraccionamiento isotópico entre ambas fases sulfuradas; con un factor de fraccionamiento ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{calcopirita-bornita}} = \delta^{65}\text{Cu}_{\text{calcopirita}} - \delta^{65}\text{Cu}_{\text{bornita}}$ ) de  $\sim 0,4\text{‰}$  (Figura 2.4, Larson et al., 2003; Maher and Larson, 2007). Sin embargo, datos de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcopiritas y bornitas del pórfido Cu-Au Northparkes, muestran que los factores de fraccionamientos son menores a  $\pm 0,2\text{‰}$  (Li et al., 2010; Figura 2.4) y no serían consistentes a los datos obtenidos en los dos estudios previos. Li et al. (2010) proponen que esa discrepancia se debe a que la temperatura de formación del pórfido Cu-Au Northparkes es a mayor temperatura que la de los depósitos de los estudios realizados por Larson et al. (2003) y Maher and Larson (2007), por lo que el fraccionamiento isotópico entre pares minerales en equilibrio depende de la temperatura.



**Figura 2.4:** Fraccionamiento calcopirita-bornita coexistentes provenientes de distintos depósitos skarn e IOCG. En todos los casos, la calcopirita (barras abiertas) tienen valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  más altos que la bornita (barras negras). Modificado de Larson et al. (2003)<sup>1</sup> con los resultados de Maher and Larson (2007)<sup>2</sup>.



**Figura 2.5:** Gráfico de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de calcopirita-bornita coexistentes. Tomado de Li et al. (2010).

## 3 ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

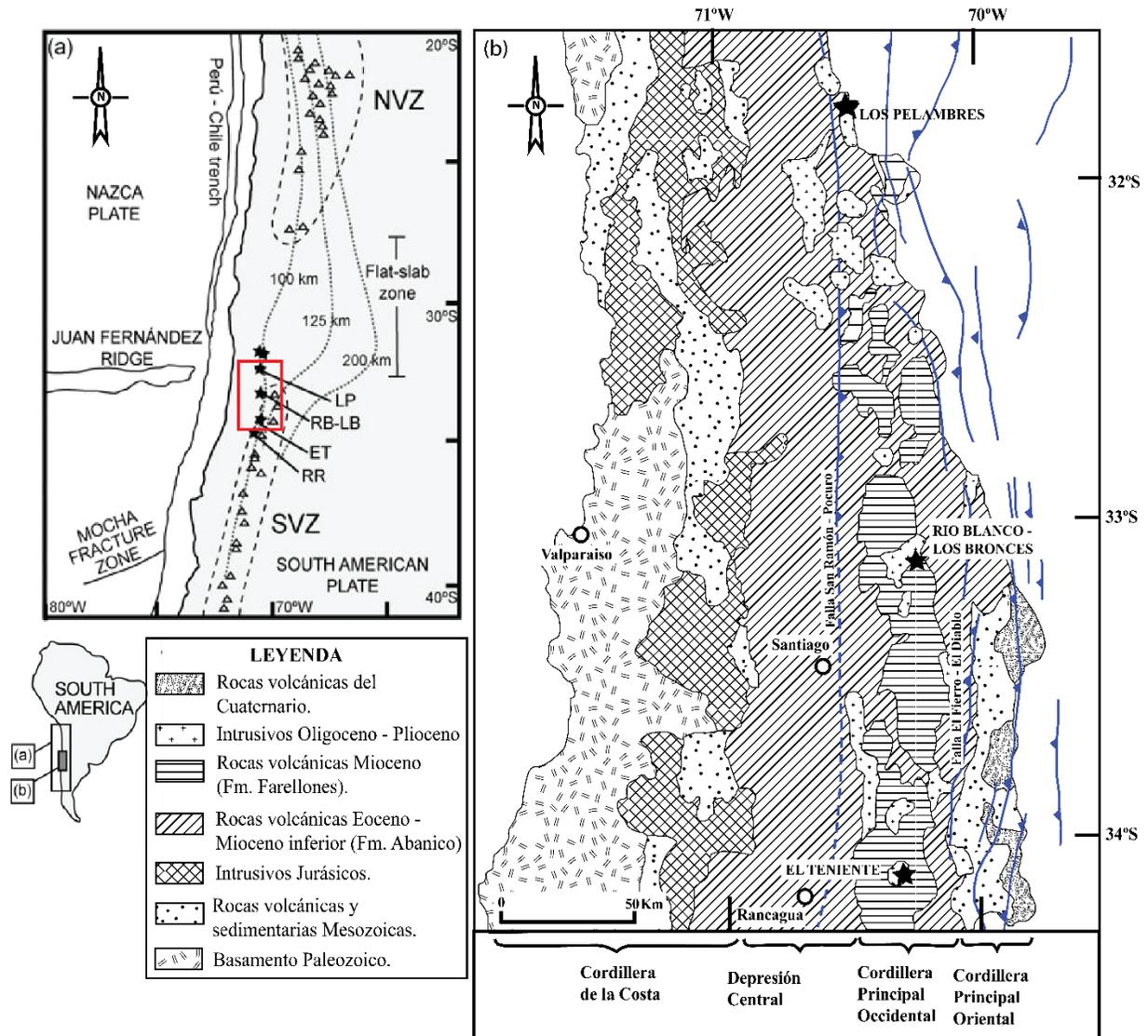
### 3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

#### 3.1.1 GENERALIDADES

Río Blanco – Los Bronces es uno de los tres mega-yacimiento del tipo pórfido Cu-Mo pertenecientes a la franja metalogénica Mioceno tardío – Plioceno ubicada en el dominio occidental de la cordillera Principal de Los Andes Centrales entre las latitudes de Illapel (31°30'S) y San Fernando (34°30'S), en la transición entre dos segmentos geológicos mayores del sistema de subducción Andino. Hacia el sur del distrito se ubica la Zona Volcánica Sur, asociada a una subducción con inclinación y volcanismo activo, mientras que hacia el norte la subducción es plana (flat-slab), donde el orógeno se ensancha considerablemente y el volcanismo cesa (Figura 3.1a ; Kay et al., 1991; Camus, 2003). Esta zona de transición coincide hoy en día con la zona donde la dorsal de Juan Fernández es subductada bajo el margen sudamericano (Skewes and Holmgren, 1993, Skewes and Stern, 1996; Yáñez et al., 2002; Hollings et al., 2005). La migración de esta dorsal se habría producido entre los 6 y 3 Ma, período durante el cual se produjo la actividad magmático-hidrotermal y la rápida exhumación de los pórfidos de cobre-molibdeno Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, además del desarrollo tardío de complejos de diatremas en ambos sistemas (Maksaev et al., 2009).

El segmento andino comprendido entre los 32°S y los 34°S muestra tres unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas norte-sur. Estos son, de oeste a este, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Cordillera Principal (Figura 3.1):

- La Cordillera de la Costa está conformada por rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico tardío al Triásico en su flanco occidental, y por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias de Cretácico Temprano al Jurásico, en su flanco oriental (Thomas, 1958).
- La Depresión Central es un valle longitudinal encerrado por dos cordilleras, relleno por depósitos sedimentarios y piroclásticos no consolidados. Su contacto con la Cordillera Principal es definido por fallas inversas de alto ángulo con vergencia al oeste (Thiele, 1980; Charrier et al., 2002).
- La Cordillera Principal se divide en dos dominios, oriental y occidental (Figura 3.1). El dominio oriental consiste en rocas sedimentarias de edad Jurásica a Cretácico Temprano depositadas en una cuenca de tras-arco. Las rocas sedimentarias son fuertemente deformadas y forman parte de la faja plegada y corrida Miocena Aconcagua (Charrier et al., 2002). El dominio occidental, consiste en rocas volcánicas del Eoceno a Plioceno y rocas intrusivas del Mioceno a Plioceno (Thiele, 1980; Charrier et al., 2002).



**Figura 3.1:** (a) Mapa que muestra la posición del segmento flat-slab, la distribución de los volcanes cuaternarios (NVZ = zona volcánica norte, SVZ = zona volcánica sur) y la ubicación de los pórfidos Mio-Pliocenos Los Pelambres (LP), Río Blanco – Los Bronces (RB-LB), El Teniente (ET) y Rosario de Rengo (RR). Tomado de Mpodozis and Cornejo (2012). (b) Marco geológico regional de la franja metalogénica Mioceno - Plioceno temprano en Chile Central y centro-oeste en Argentina. Se muestran las fallas principales de las fajas plegadas y corridas de la Cordillera Frontal. Modificado de Serrano et al. (1996).

### 3.1.2 UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS

El área de estudio se encuentra en el dominio occidental de la Cordillera principal conformado por rocas volcánicas e intrusivas del Eoceno-Plioceno y Mioceno – Plioceno, respectivamente. Las rocas volcánicas de este dominio fueron depositadas durante la apertura y posterior inversión de una cuenca volcanotectónica de intra-arco, nombrada Cuenca Abanico; y son agrupadas en la Formación Abanico (Eoceno tardío a Mioceno temprano) y la Formación Farellones (Mioceno temprano a tardío), las que fueron depositadas en un ambiente extensional y compresivo, respectivamente (Aguirre, 1961; Thiele, 1980; Charrier et al., 2002).

### 3.1.2.1 Formación Abanico

*Eoceno superior – Mioceno inferior*

Se define como una potente secuencia volcánica de 2500 m de espesor conformada por flujos de lavas porfíricas, brechas y tobas de composición andesíticas y andesíticas basálticas, intercalados con depósitos piroclásticos y sedimentarios de 500 m de espesor (Aguirre, 1961; Charrier et al., 2002). Esta secuencia volcánica-sedimentaria fue depositada en una cuenca extensional de intra-arco (cuenca Abanico), sobre una corteza delgada de 30 – 35 km de espesor (Nyström et al., 1993; Charrier et al., 2002; Piquer et al., 2015).

De acuerdo a su distribución geográfica regional, la Formación Abanico se dispone en dos franjas de orientación N-S, separados por la Formación Farellones (Figura 3.1). Sobreyace de manera concordante con la Formación Colimapu e infrayace de manera concordante, pseudoconcordante o discordante a la Formación Farellones (Charrier et al., 2002, 2005). Tanto en su borde oriental como occidental, la Formación Abanico se encuentra, generalmente, en contacto por falla con las rocas mesozoicas (Farías et al., 2010).

En base a su contenido de fauna fósil y numerosas dataciones radiométricas, su edad estaría comprendida entre el Eoceno superior y el Mioceno inferior (Aguirre, 1961; Vergara and Latorre, 1999; Charrier et al., 2002, 2005).

### 3.1.2.2 Formación Farellones

*Mioceno inferior – Mioceno medio*

Secuencia principalmente de origen volcánico de carácter calcoalcalino, de espesor estimado de 2500 metros dominada principalmente por lavas andesíticas a riolíticas, depósitos piroclásticos, volcanoclásticos, y escasas intercalaciones sedimentarias (Thiele, 1980; Charrier et al., 2002; Vergara and Latorre, 1999). Por otro lado, Rivano et al. (1990) propusieron la existencia de dos miembros en esta formación: uno inferior tobáceo a ignimbrítico, de composición riolítico-dacítica, y otro superior, compuesto por flujos andesítico-basálticos, con intercalaciones de tobas y aglomerados andesíticos, intruídos por domos riolíticos y filones andesíticos. Según los mismos autores, el primero representaría el producto de erupciones tipo caldera, y el segundo correspondería a una interdigitación de lavas y materiales volcanoclásticos provenientes de estratovolcanes.

Se distribuye de forma regional, en una franja con orientación N-S ubicada en la parte occidental de la Cordillera Principal, entre los afloramientos orientales y occidentales de la Formación Abanico (Figura 3.1). Su contacto con la subyacente Formación Abanico se presenta concordante y discordante según la zona de estudio considerada, en general dependiendo de la cercanía con estructuras que hayan producido plegamiento en la Formación Abanico, previo a la depositación de la Formación Farellones; y subyace en leve discordancia angular a la Formación Colorado-La Parva (Charrier et al., 2002). Dataciones U-Pb en circones realizadas en el sector Río Blanco entregaron un rango de edad entre  $16,77 \pm 0,25$  Ma y  $17,20 \pm 0,05$  Ma (Deckart et al., 2005).

### 3.1.3 UNIDADES INTRUSIVAS

#### 3.1.3.1 Unidad Intrusiva I

##### *Mioceno*

Esta unidad fue definida por Thiele (1980) corresponden a los cuerpos de mayor extensión que intruyen hasta la Formación Farellones. Los tipos litológicos principales son granodiorita, monzogranito y monzonita cuarcífera. Los más importantes dentro de la Hoja de Santiago son, de oeste a este, los siguientes: Intrusivo La Obra, Intrusivo Disputada (Batolito San Francisco), Intrusivo San Gabriel e Intrusivo Colina (Thiele, 1980).

El depósito tipo pórfido Cu-Mo Río Blanco – Los Bronces se emplaza en el Batolito San Francisco, el cual corresponde a cuerpos intrusivos peraluminosos y composición calcoalcalina que alcanzan área de 200 km<sup>2</sup> aproximadamente. Este es conformado, principalmente, por cuarzomonzonitas, cuarzomonzodioritas y cuarzodioritas, y en menor proporción, granitos y sienitas, con texturas variables de fanerítica a porfírica y de grano fino a grueso (Warnaars et al., 1985; Serrano et al., 1996). Deckart et al. (2005) mediante dataciones de U-Pb en circones por el método SHRIMP, reportan las siguientes edades: 11,96 ± 0,40 Ma (Granodiorita Río Blanco); 8,40 ± 0,23 Ma, (Granodiorita Cascada) y 8,16 ± 0,45 Ma (Diorita).

#### 3.1.3.2 Unidad Intrusiva II

##### *Plioceno*

Esta unidad está representada por cuerpos intrusivos de bastante menor extensión tales como stocks, lacolitos, diques y sills que intruyen a la Formación Farellones, y considera también a algunas chimeneas volcánicas. Basado en las relaciones de contacto con la Formación Farellones, se concluye que esta unidad se formó en el Plioceno (Thiele, 1980).

### 3.1.4 ESTRUCTURAS

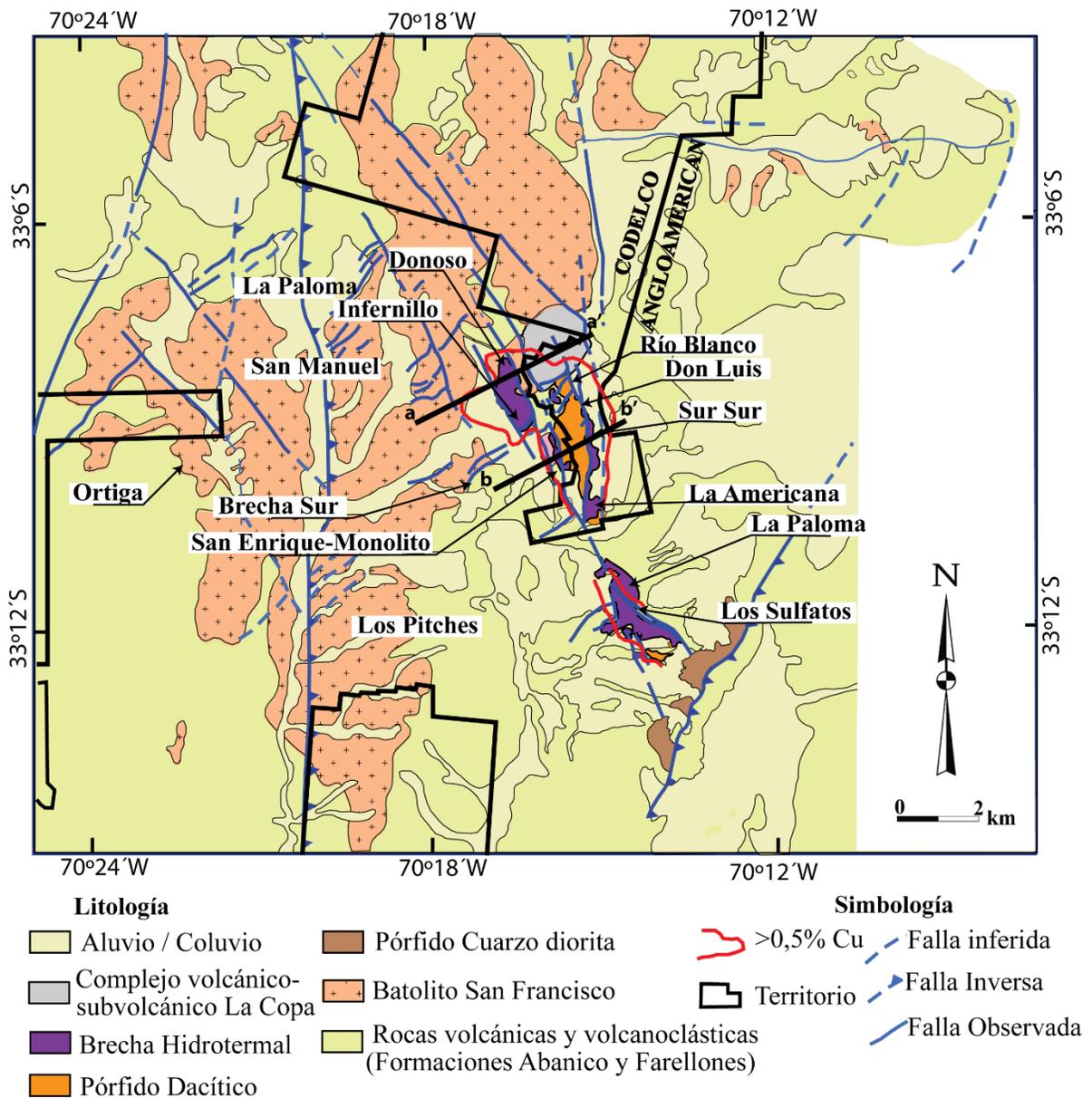
En la cuenca de Abanico se han identificado tres sistemas de fallas de alto ángulo y orientación N-S (Figura 3.1). En el margen occidental de la cuenca, se encuentran dos de los sistemas de falla principales: Infernillo y Pocuro-San Ramón, con manteo hacia el Este (Farías et al., 2010). Ambos sistemas de falla generaron pliegues de arrastre que sugiere un movimiento inverso con vergencia hacia el oeste, donde el bloque colgante (este) contiene rocas Terciarias, mientras que el bloque yacente consiste en unidades del Mesozoico. Esta geometría de falla ha sido interpretada como una inversión de fallas normales del borde de una cuenca (Farías et al., 2010).

En el margen oriental de la cuenca Abanico, se encuentra el tercer sistema de fallas: El Fierro, que actualmente corresponde a una falla inversa de alto ángulo con vergencia hacia el Este. Esta yuxtapone la Formación Abanico con las unidades Mesozoicas y, al igual que los sistemas de falla Infernillo y Pocuro – San Ramón, exhibe una geometría de inversión de falla (Charrier et al., 2002; Farías et al., 2010).

### 3.2 GEOLOGÍA LOCAL

#### 3.2.1 GENERALIDADES

El yacimiento Río Blanco – Los Bronces corresponde a un depósito del tipo pórfido Cu-Mo caracterizado por la abundante presencia de brechas hidrotermales. Representa uno de los sistemas de clase mundial con recursos >200 Mt de Cu, asociado a distintos cuerpos de brechas hidrotermales y stockwork de vetillas hospedadas en el Batolito San Francisco, el cual intruye a las rocas volcánicas de las Formaciones Abanico y Farellones (Irrazaval et al., 2010; Toro et al., 2012).



**Figura 3.2:** Mapa geológico simplificado del yacimiento Río Blanco – Los Bronces, mostrando las localidades de los principales depósitos y prospectos. Modificado de Irrazaval et al. (2010).

Dentro del área de estudio se reconocen al menos tres eventos de alteración y mineralización: i) Los Pitches – Ortiga ( $14.8 \pm 0.1$  a los  $12.3 \pm 0.1$  Ma); ii) San Manuel – El Plomo ( $10.8 \pm 0.1$  a los  $7.7 \pm 0.1$  Ma); y iii) Río Blanco – Los Bronces – Los Sulfatos ( $8.2 \pm 0.5$  a los  $4.31 \pm 0.05$  Ma) (Figuras 3.2; Toro et al., 2012; Deckart et al., 2013). Este último evento concentra la mayor parte de la mineralización económica de Cu, donde emplazamiento de brechas hidrotermales y cuerpos subvolcánicos siguen una tendencia NW a NNW, que se extiende por cerca de 5 km, desde Río Blanco – Los Bronces, pasando por Don – Luis, Sur-Sur, La Americana y Los Sulfatos, hacia el sur (Figura 3.2).

### 3.2.2 UNIDADES LITOLÓGICAS PRINCIPALES

Las geología de los sectores Los Bronces y San Enrique Monolito es resumida a partir de las secciones geológicas a-a' y b-b' (Figura 3.4). En superficie las rocas de mayor distribución areal corresponden a las rocas intrusivas pertenecientes al Batolito San Francisco las cuales intruyen a las rocas volcánicas de la Formación Farellones, que en el área de estudio afloran como un *roof pendant* (Vargas et al., 1999, Figura 3.3). Estas rocas son cortadas por diversos cuerpos de brechas magmáticas – hidrotermales, por cuerpos y diques de pórfidos cuarzomonzoníticos, feldespático y dacíticos, y por cuellos subvolcánicos dacíticos y riolíticos pertenecientes al Complejo Volcánico La Copa, que corresponden al último evento hidrotermal estéril del área de estudio.

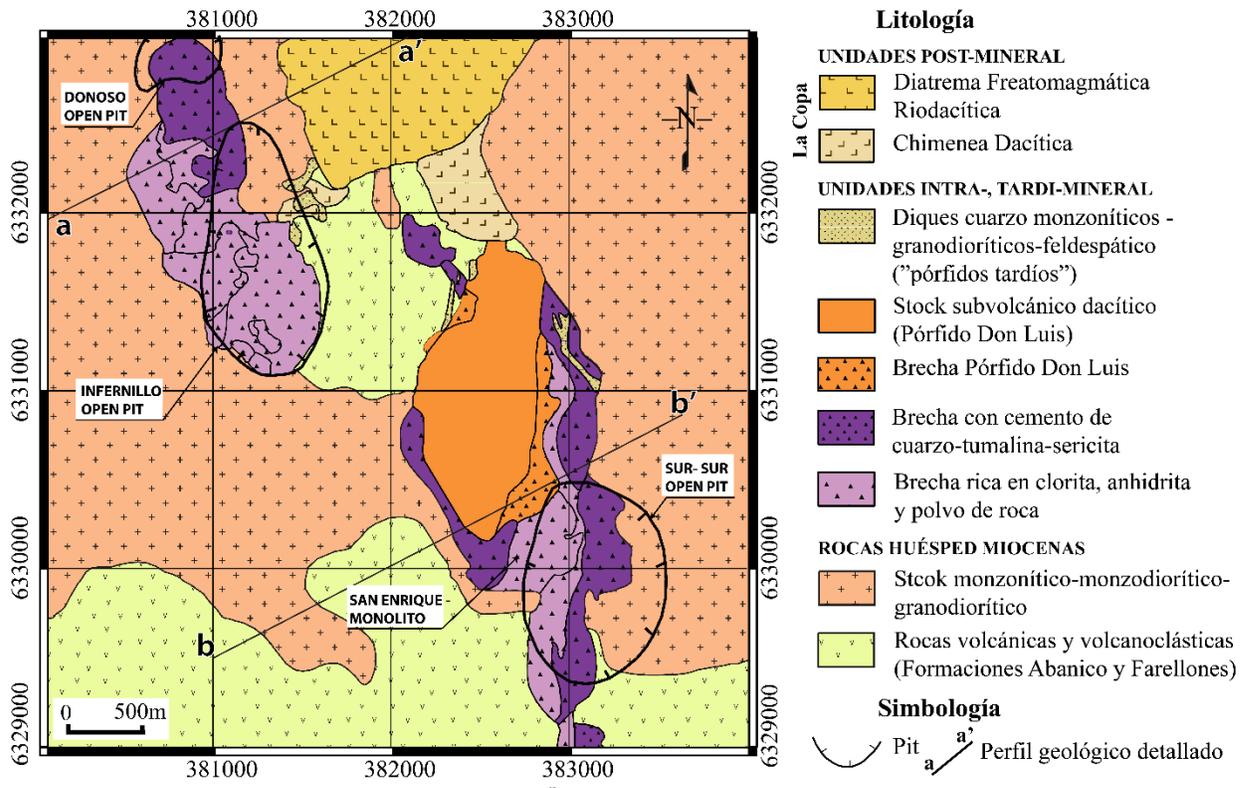
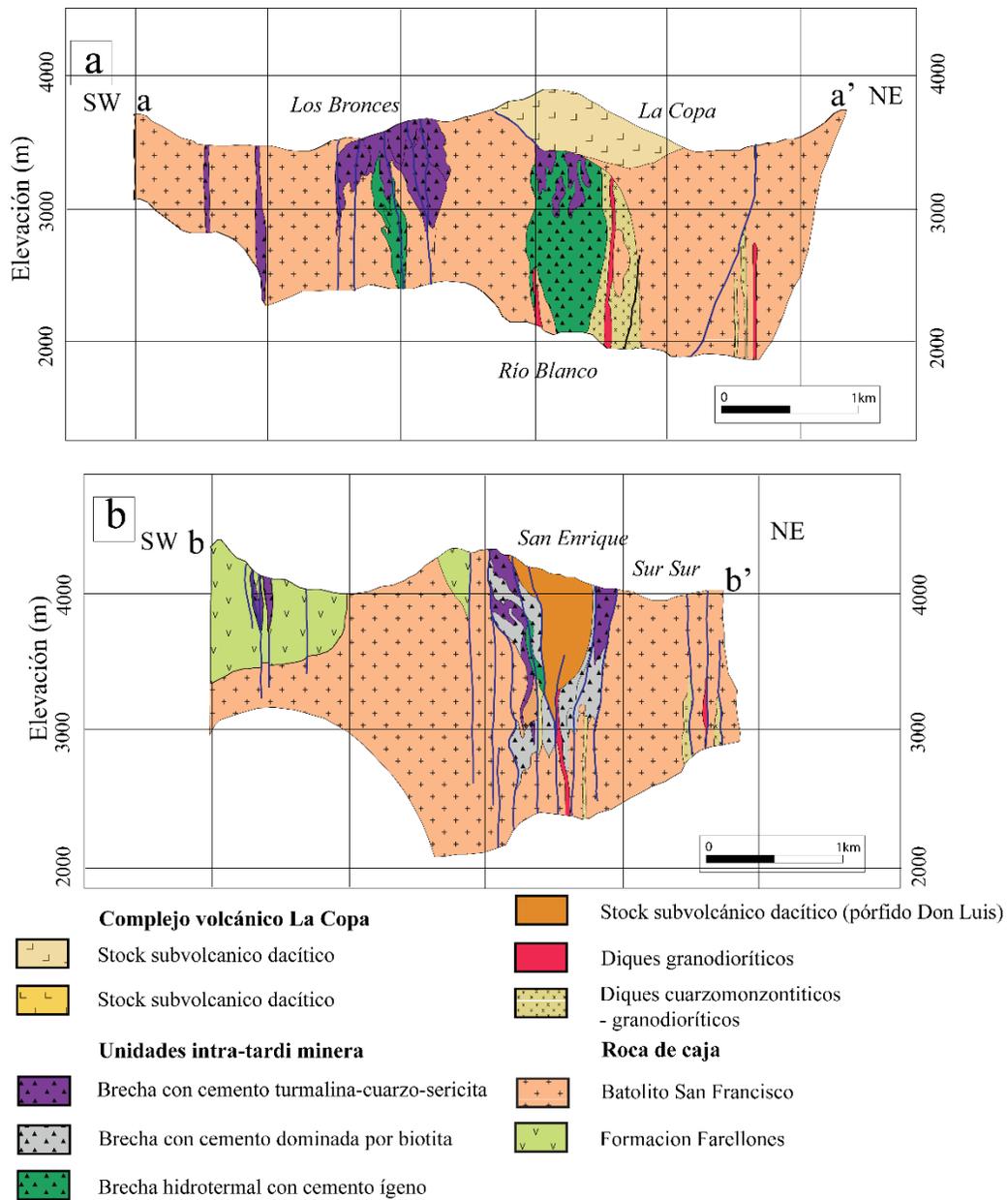


Figura 3.3: Mapa Litológico Río Blanco - Los Bronces. Modificado de Vargas et al. (1999).



**Figura 3.4:** Perfiles litológicos SW-NE de los sectores Los Bronces (a) y San Enrique Monolito (b). Modificado de Toro et al. (2012).

### 3.2.2.1 Sistemas de Brechas Hidrotermales

Una característica distintiva del yacimiento con respecto a otros sistemas de pórfidos, es que una parte importante de la mineralización de cobre se encuentra como cemento al interior de tres complejos de brechas magmáticas-hidrotermales: complejos de brechas Sur-Sur, Río Blanco y Los Bronces (Figura 3.3; Warnaars et al., 1985; Vargas et al., 1999). A continuación se detallará solo los complejos de brechas involucradas en el área de estudio.

**i) Complejo de brechas Los Bronces**

El complejo de brechas Los Bronces corresponde a un cuerpo con forma de riñón de orientación NW – SE que cubre un área de 2 x 0,7 km (Figura 3.3). Está compuesto, por lo menos, por siete cuerpos de brechas magmáticas –hidrotermales las cuales son, en orden cronológico según relaciones de corte: Fantasma, Central, Occidental, Infernillo, Anhidrita, Gris Fina y Donoso (Warnaars et al., 1985; Tabla 3.1).

Los tipos de brecha se caracterizan según su ubicación, tipo, forma de clastos, grado de alteración-mineralización, porcentaje de clasto-matriz y de los minerales presentes en la matriz. Se establecen edades relativas entre ellas en base a relaciones de corte. Las brechas son usualmente monomíticas, pero en algunos casos son polimíticas, siendo la mayoría de sus clastos cuarzomonzonita o andesita. La matriz consiste generalmente de cantidades variables de cuarzo, turmalina, especularita, anhidrita, pirita, calcopirita, bornita, molibdenita, sericita, clorita y polvo de roca (Warnaars et al., 1985).

Las relaciones de contacto son abruptos con la roca huésped y entre ellas son más bien gradacionales. El contenido de cobre hipógeno aumenta progresivamente desde la brecha más temprana a la más tardía. Una asociación de cuarzo-turmalina-pirita-calcopirita compone el cemento de las fases de brecha más temprana (Fantasma, Central y Occidental) con leyes de Cu de 0,2%. Mayor contenido de calcopirita diferencia las fases de brecha intermedia (Infernillo, Anhidrita y Gris Fina) con leyes de Cu sobre el 0,6%. Las leyes más altas de Cu corresponden a la brecha Donoso, la cual es cementada por una asociación de cuarzo-turmalina, pirita-calcopirita y calcopirita-bornita con ley promedio de Cu de 1% (Toro et al., 2012).

**Tabla 3.1:** Caracterización de los tipos de brechas pertenecientes al sistema de brechas Los Bronces. Tomado de Warnaars et al. (1985).

	Clastos		Matriz		Distribución y contactos litológicos
	Forma /angularidad / tipo	Alteración	%	Mineralogía	
<b>Fantasma BXF</b>	Clasto-soportada, monomítica, fragmentos finos a gruesos de QM	Moderada a intensa qz - ser y chl	5-0	PR, qz, turm, spec, sulf	Se presenta como clastos en la mayoría de las otras brechas
<b>Central BXC</b>	Monomítica, con clastos subangulosos a subredondeados de QM	Fuerte qz - ser, localmente, débil silicificación	15-90	PR, turm, spc, qz, ser, sulf	Forma clastos en la mayoría de las otras brechas
<b>Occidental BXO</b>	Clasto-soportada, monomítica, fragmentos angulosos, de QM y menor AND	Fuerte chl, y débil chl-ser	10-30	PR, chl, turm, ser, spec, sulf	Contacto gradual con brecha central

**Tabla 3.1:** Continuación

<b>Infernillo BXI</b>	Clasto-soportada, monomítica, clastos angulosos a subangulosos de AND, menor QM y LA	Fuerte chl, débil qz-ser, moderada a fuerte silicificados	5-15	qz, chl, turm, spec, sulf	Contiene clastos de la brecha Central, en profundidad presenta un contacto gradacional con brecha Occidental.
<b>Anhidrita BXA</b>	Matriz - soportada, monomítica, clastos angulosos a subangulosos de AND y QM	Fuerte chl, moderada silicificación	5-20	anh, turm, spec, qz, sulf	Contiene fragmentos de las brechas Infiernillo y Central
<b>Gris Fina BXG</b>	Clasto-soportada, monomítica, clastos subangulosos de AND, con menor AND y LA.	Fuerte chl, moderada a fuerte silicificación	10-40	qz, PR, ser, chl, spec, sulf	Forma apófisis en las brechas Central y Occidental
<b>Donoso BXD</b>	Clasto-soportada, monomítica, clastos angulosos a subangulosos de QZ, con menor AND y SIE.	Somero: Ser-qz Profundo: Feld-k	5-25	turm, spc, qz, sulf	Contiene clastos de las brechas Fantasma y Occidental

QM= cuarzomonzonita; AND= andesita; LA= latita; SIE= sienita; PR= Polvo de roca; anh= anhidrita; turm= turmalina; bt=biotita; qz= cuarzo; ser= sericita; spc= especlarita; sulf= sulfuros; chl= clorita

iv) **Complejo de brechas Sur – Sur**

El complejo de brechas Sur-Sur corresponde a un cuerpo elongado de ~5 km con orientación N-NNW y ancho variable 0,3 a 1 km, que abarca los sectores Don Luis, Sur-Sur, San Enrique – Monolito y La Americana (Figura 3.3). Está compuesto por cinco tipos de brechas hidrotermales Tabla 3.2 (Vargas et al., 1999). La clasificación de estas brechas se basa en su contenido de turmalina y variaciones texturales (Vargas et al., 1999, Frikken et al., 2005).

**Tabla 3.2:** Caracterización de las brechas hidrotermales pertenecientes al complejo de brechas Sur-Sur. Vargas et al. (1999).

	Clastos		Matriz		Distribución y contactos litológicos
	Forma	Alteración	%	Minerales	
<b>Sur - Sur:</b> <b>BT</b> (<5% turm) <b>BXT</b> (5-15% turm) <b>BXTT</b> (>15% turm) <b>BXB</b>	Clasto-soportada, monomítica, clastos angulosos	Somero: qz-ser. Profundo: bt-alb-feld-k	~15	Zonación vertical: - turm-spc - turm-bt - bt-feld-k	Cuerpo elongado NW con núcleo BXT, hacia el exterior grada a BXTT). Truncada al oeste por BXTO. Contacto gradacional vertical con BT. Truncada por vetillas A,B y C
<b>Castellana BXTO</b>	Matriz - soportada, polimítica, clastos redondeados	qz-ser	50-90	PR con menor turm	Cuerpo elongado NS situado entre BXMN y BXT. Contacto gradacional con BXMN definido por un aumento de la cloritización en esta última.

**Tabla 3.2:** Continuación.

<b>Monolito BXMN</b>	Matriz-soportada, polimíctica, clastos redondeados.	Clorítica incipiente a obliterado.	50-80	Zonación vertical: -PR, turm -albita	Limitada al norte por el pórfido Don Luis. Margen oriental gradacional a BXTO. Margen occidental limitado por la brecha San Enrique. Cortada por vetillas A y B
<b>Paloma BXTTO</b>	Clasto-soportada, polimíctica, fragmentos redondeados	ser - arc, textura obliterada	50-80	PR con turm	Diques con orientación N-S. Cortan a todas las otras brechas.

PR= Polvo de roca; anh= anhidrita; turm= turmalina; bt=biotita; qz= cuarzo; ser= sericita; spc= especularita; sulf= sulfuros; chl= clorita; feld-k = feldespato potásico; arc= arcillas; alb= albita

### 3.2.2.2 Pórfidos

En Río Blanco – Los Bronces se reconocen cuerpos de intrusivos hipabisales del Mioceno tardío que cortan al batolito San Francisco. El más antiguo reconocido es el pórfido cuarzomonzonítico (PQM), con un rango de edad de 7,7 y 6,4 Ma (Deckart, 2005, 2013). Luego sigue el pórfido feldespático (PF), con un rango de 5,8 a 5,2 Ma (Deckart, 2005, 2013). Finalmente, el informalmente llamado, pórfido Don Luis, con un rango de edad de 5,2 a 5,0 Ma (Deckart et al., 2005, 2013).

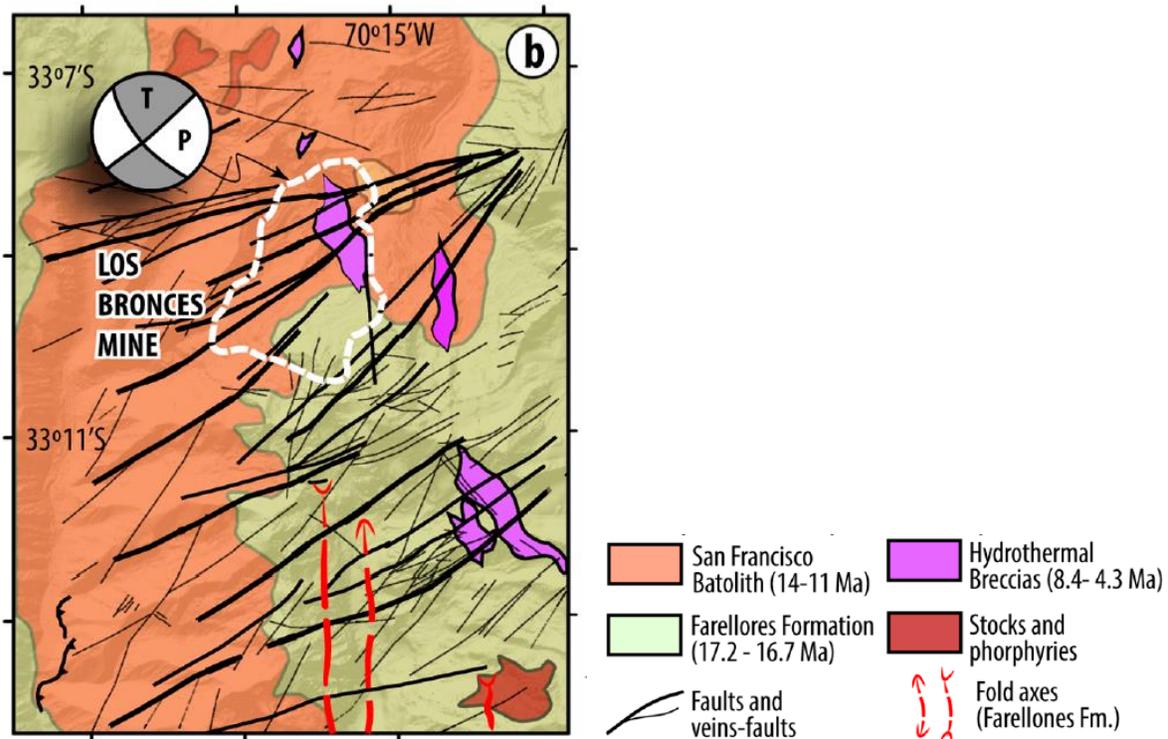
Los stocks porfíricos PF y PQM son típicamente delgados (<10 m de ancho) y generalmente tienen una orientación N27°W (Serrano et al., 1996). En cambio, el PDL, es el cuerpo más prominente del área de estudio, tiene la morfología de un domo alargado que aflora en el centro del depósito Río Blanco – Los Bronces (Figura 3.3, 3.4b), parcialmente encerrado por zonas de brechización magmática formadas durante su emplazamiento (Serrano et al., 1996).

### 3.2.2.3 Complejo sub-volcánico La Copa

Consiste en rocas ígneas intrusivas y extrusivas principalmente de composición dacítica y riolítica con alto contenido en sílice y bajo en Mg y Ca, mostrando un carácter fuertemente diferenciado. Vergara and Latorre (1999) definieron tres unidades las cuales representan episodios intrusivos y extrusivos. El primer episodio está representado por pórfidos dacíticos y autobrechas, generadas por el ascenso explosivo de gases volcánicos. El segundo episodio está constituido por flujos extrusivos piroclásticos, ignimbríticos, de composición riolítica, como a una chimenea volcánica con morfología de cono invertido (Chimenea dacita en Figura 3.3, 3.4a). Edades U-Pb en zircones, determinan una edad de emplazamiento entre 4,92±0,1 y 4,57±0,08 Ma (Deckart et al., 2005; Toro et al., 2012). El tercer episodio lo forma una red filoniana de composición andesítica y dacítica (Vergara and Latorre, 1999). Se encuentra al norte del sector Río Blanco como un gran cuerpo circular que contiene múltiples fases intrusivas félsicas y una fase extrusiva (Chimenea Riolita, Figura 3.3, 3.4a). Edades U-Pb en zircones, determinan una edad de emplazamiento entre 4,69±0,22 – 4,31±0,05 Ma (Deckart et al., 2005; Toro et al., 2012).

### 3.2.3 ESTRUCTURAS

A escala distrital y en superficie se reconocen fallas, principalmente, con orientación NE, menor NW y escasas EW (Figura 3.5; Piquer et al., 2015; Carrizo et al., 2018). Piquer et al. (2015), interpreta que las fallas NW y NE son estructuras heredadas de un periodo extensional, las cuales fueron reactivadas durante el Mioceno y la intersección de estas dieron el espacio para el ascenso de los cuerpos magmáticos y la mineralización asociada. Por el contrario, Carrizo et al. (2018) menciona que las fallas NW no son completamente evidenciadas, y que el dominio de fallas NE son de escama fina originadas por la deformación superficial asociada al acortamiento orogénico y exhumación. El emplazamiento de los cuerpos intrusivos y la mineralización asociada, ocurre en la charnela de pliegues por propagación de fallas, de la Formación Abanico, los cuales tienen una orientación NW.



**Figura 3.5:** Mapa geológico simplificado del distrito Río Blanco – Los Bronces con las estructuras principales. Tomado de Carrizo et al. (2018).

### 3.2.4 VETILLAS

La clasificación de los sistemas de vetillas se basa en criterios descriptivos, que incluyen la morfología, textura, mineralogía del relleno y halo, su distribución espacial y temporalidad. Los Bronces siguen la nomenclatura de clasificación de vetillas definidas por Gustafson and Hunt (1975) y Gustafson and Quiroga (1995) para el depósito pórfido cuprífero El Salvador. Un resumen de la clasificación de estas vetillas se encuentra en la Tabla 3.3, la cual muestra la abundancia relativa de los minerales presentes en cada vetilla y también, a la etapa en se forma durante la evolución magmático – hidrotermal del sistema. Un mayor detalle de las características de cada tipo de vetilla se encuentra en el Anexo B.

**Tabla 3.3:** Abundancia mineral y evolución de los tipos de vetillas. Modificado de Gustafson and Quiroga (1995).

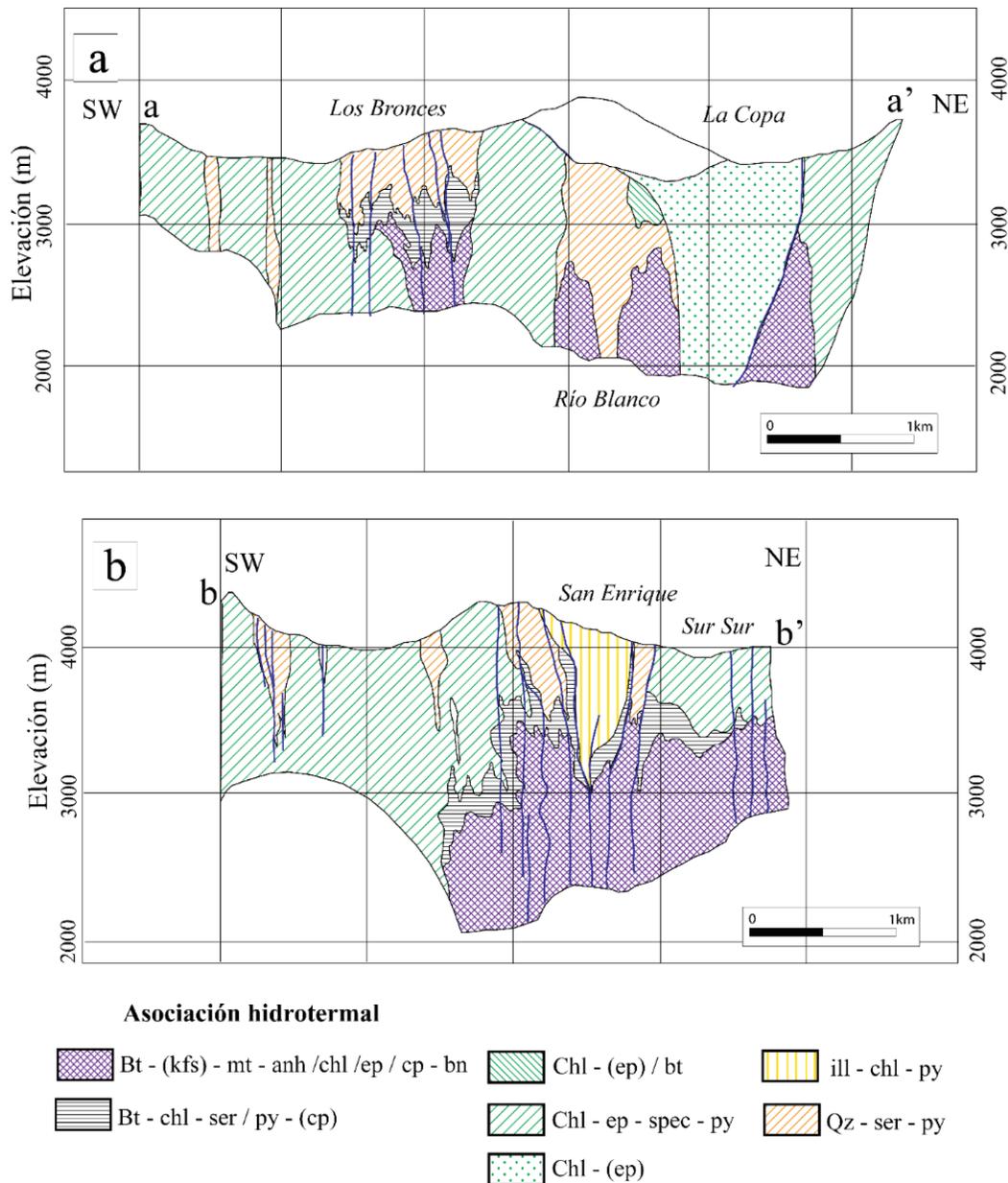
	TEMPRANA				TRANSICIONAL				TARDÍA		
	EB	EBT	C3A	C3B	A	B	C	C1	C2	D	DT
<b>Mineralogía</b>											
Biotita	████████	████████	-----	-----	████████	████████	████████	████████	████████	-----	
Cuarzo	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Anhidrita		-----	-----	-----	-----	████████	████████	████████	████████	████████	
Feldespato-k/albita	████████	████████	████████	████████	████████		████████	████████	████████		
Sericita	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	████████	████████
Clorita	-----	-----	-----	████████	████████	-----	████████	████████	████████	-----	████████
Andalusita	-----	-----	-----	-----	-----	-----	████████	████████	████████	-----	-----
Actinolita	-----	-----	-----	-----	████████	████████	-----	-----	-----	-----	-----
Magnetita	-----	-----	-----	-----	-----	████████	████████	████████	████████	-----	-----
Montmorillonita	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	████████	████████
Bornita	████████	████████	-----	-----	-----	████████	-----	-----	-----	-----	-----
Calcopirita	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████	████████
Pirita	-----	-----	████████	████████	-----	-----	████████	████████	████████	████████	████████
Molibdenita	-----	-----	-----	-----	-----	████████	████████	████████	████████	-----	-----
Siderita-ankerita	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	████████
Hematita	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	████████
<b>Estilo Estructural</b>	Discontinua y sinuosa	Continua y sinuosa	Regular y continua	Irregular y discontinua	Continua y sinuosa	Regular y continua					
<b>Posición en el sistema</b>	Profundo	Profundo	Intermedia	Intermedia	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	núcleo	Somera	Somera

**3.2.5 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y MINERALIZACIÓN**

Abarzúa (2014) realiza su estudio en el sector Los Bronces y clasifica tres grandes grupos de alteración hidrotermal, grupo potásico, fílico y propilítico. La alteración potásica se observa en la zona más profunda del sistema, caracterizada por una intensa biotitización y es genéticamente relacionada al emplazamiento de brechas de biotita ± turmalina ± anhidrita ± especularita (Serrano et al., 1996). La zona potásica es rodeada por una extensa alteración propilítica (Figura 3.6). Hacia superficie, sobre y superpuesta a la alteración potásica se reconoce una alteración fílica la cual posee un control litológico asociado a los distintos cuerpos de brechas de turmalina cuyos fluidos que las formaron generaron una alteración hidrolítica intensa. Esta misma distribución de alteraciones hidrotermales se encuentra en los dos sectores productivos (Figura 3.6).

**i) Alteración calco-sódica**

Alteración temprana y de mayor profundidad representada por una asociación mineral de albita – epidota ± clorita. Esta se extiende hacia afuera del sistema y está superpuesta por alteración potásica. Esta alteración es el producto de un proceso temprano por el aumento progresivo de la temperatura en los inicios del sistema (GeoAV, 2016). Ocurre como un reemplazo selectivo de las plagioclasa a albita, las que posterior y muy comúnmente son alteradas a sericita y/o arcillas. La epidota ocurre como reemplazo de plagioclasas más cálcicas, pero también ocurre como reemplazo de minerales máficos (Alteración albita-turmalina-epidota, Abarzúa, 2014). También, en vetillas del tipo C3A.



**Figura 3.6:** Perfil transversal SW-NE que muestra la zonación de las alteraciones hidrotermales presentes en los sectores Los Bronces (a) y San Enrique Monolito (b). Tomado de Toro et al. (2012).

ii) **Alteración Potásica**

La alteración hidrotermal predominante y presente en todos los sectores del distrito corresponde a una alteración potásica biotítica, asociada a los complejos de brechas hidrotermales (Serrano et al., 1996). En un ambiente reológico dúctil de alta temperatura, se generan reemplazos selectivos y penetrativos de plagioclasas y minerales máficos por albita/feldespato potásico y biotita, respectivamente, como producto de difusión y reemplazo. En ambientes reológicos frágiles de temperaturas más bajas (>350°C - <450°C) se observan microvetillas EB, en las etapas más tempranas y, vetillas A, B ricas en cuarzo y brechas hidrotermales, en lo más tardío (GeoAV, 2016).

**iii) Alteración Cuarzo-Sericita Gris Verde (SGV)**

Esta alteración es producto de una hidrólisis temprana de alta temperatura (>350°C), co-genética a la alteración potásica, que representa un evento transicional entre las alteraciones potásica y fílica, el cual concentra el mayor porcentaje de Cu del sistema (Abarzúa, 2014; GeoAV, 2016). Ocurre principalmente vetillas tipo C, C1 y C2 las cuales presentan abundancia de calcopirita con menor piritita y en algunos casos se observa molibdenita. Sus minerales principales son sericita-anhidrita-biotita y subordinadamente clorita-cuarzo-epidota-feldespato potásico. Es difícil distinguirla de una alteración cuarzo-sericita, sin embargo la sericita gris verde, tiende a mostrar un color modal más gris a verde y una mineralogía de mayor temperatura, como, biotita, feldespato potásico, cuarzo y anhidrita, además de su halo sericítico, el que por lo general se reconoce de grano más grueso, en ocasiones con muscovita reconocible en corte transparente (Abarzúa, 2014).

**iv) Alteración fílica**

Este tipo de alteración se sobreimpone a los otros tres y está prácticamente siempre presente, variando su intensidad de muy débil a penetrativo, en ocasiones con desarrollo de alteración del tipo argílica avanzada, provocando la obliteración de la textura original de la roca. Está caracterizado por las asociaciones minerales cuarzo-sericita y clorita-sericita-arcillas (SCC) (Serrano et al. 1996; Abarzúa, 2014).

La alteración cuarzo-sericita ocurre principalmente como reemplazo selectivo de los feldespatos por sericita, variando de parcial a total, como también en las vetillas tipo D, con mineralización predominantemente piritita y menor calcopirita (Tabla 3.3). Cuando la interacción agua-roca es intensa y la hidrólisis persiste incluso se pueden llegar a reconocer arcillas, como reflejo de fluidos más ácidos. Esta asociación de minerales de alteración representan el evento de hidrólisis principal del sistema (Abarzúa, 2014)..

La alteración SCC ocurre de forma penetrativa, pero siempre restringida a estructuras y/o zonas de mayor permeabilidad. Se presenta como un reemplazo selectivo total o parcial de los feldespatos por sericita y/o arcillas, o bien, en halos de vetillas de grosor variable, reflejando procesos de intensa interacción agua-roca. Corresponde al evento más tardío y se sobreimpone a los demás eventos (Abarzúa, 2014).

**v) Alteración propilítica**

Ocurre como halo gradacional y distal de la alteración potásica, variando su mineralogía principalmente en función de la temperatura y pH del fluido. En el halo más distal al núcleo potásico domina la asociación mineral clorita – epidota la cual ocurre como reemplazo selectivo de plagioclasas y minerales máficos. Por otro lado, la asociación mineral clorita – biotita, la clorita domina por sobre la biotita, refleja procesos retrógrados, los que corresponden a una cloritización de los minerales máficos, tanto primarios como secundarios, se encuentra más cerca al núcleo potásico que la asociación anterior (Abarzúa, 2014).

## 4 METODOLOGÍA Y OBTENCIÓN DE DATOS

La metodología para este trabajo de tesis incluye el criterio utilizado para la selección de muestras, la descripción de estas y la metodología analítica para la obtención de las firmas isotópicas de cobre.

### 4.1 SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras fueron seleccionadas estratégicamente para observar la variación espacial de los isótopos alrededor de los centros hidrotermales Los Bronces y San Enrique Monolito. Se recolectaron un total de 37 muestras provenientes de 10 sondajes, los cuales son proyectados a lo largo de un perfil transversal NW-SE (Figura 4.1; Figura 4.2).

En ambos centros hidrotermales se observa un núcleo potásico asociada a las brechas hidrotermales, bordeados por una alteración propilítica y hacia superficie, una alteración fílica superpuesta asociada al emplazamiento de las brechas de turmalina (Figura 4.2). Para examinar la influencia del emplazamiento de las brechas hidrotermales de turmalina en las firmas isotópicas de Cu de las vetillas pre-existentes, se utilizó el siguiente criterio:

- Se seleccionaron muestras de vetillas, asociadas a la alteración potásica, calcosódica y sericita gris verde; a distintas profundidades, para observar si ocurre una variación de las firmas isotópicas de cobre en las muestras que poseen superposición de alteración fílica de las que no.
- Se escogieron muestras a distintas distancias del clúster de brechas principal, para observar si hay una variación lateral de las firmas isotópicas de Cu.
- Se seleccionaron muestras de vetillas D y DT, como también de brechas de turmalina, para determinar las firmas isotópicas de Cu asociadas a la alteración fílica.

En complemento a lo anterior, se seleccionaron 3 muestras de calcosina secundaria en el sector Los Bronces, provenientes de un perfil supérgeno pobremente desarrollado con la finalidad de realizar una comparación de las firmas isotópicas de cobre entre sulfuros primarios y secundarios.

La información general de la cantidad de muestras seleccionadas y su ubicación se encuentran en la Tabla 4.1 y Figura 4.2).

### 4.2 DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

Una vez seleccionadas las muestras se procedió a realizar una descripción macroscópica y microscópica para categorizar las muestras en base a su mineralogía de alteración y estilo de mineralización. Se observó en detalle las texturas de los sulfuros, con el objetivo de determinar si estos se encuentran en equilibrio o no. También, mediante relaciones de corte entre vetillas y/o brechas se determinó la cronología relativa de ocurrencia de estas. Con lo anterior se agruparon la secuencia de formación de las fases minerales de alteración en tres etapas; temprana, transicional

y tardía. Finalmente, a partir de la mineralogía de alteración, en conjunto con datos de geoquímica isotópica e inclusiones fluidas de estudios previos, se establecieron las condiciones fisicoquímicas de los fluidos mineralizadores de manera cualitativa (Figura 4.3).

**Tabla 4.1:** Ubicación espacial y tipos de análisis realizados por cada muestra.

Muestra <sup>a</sup>	Sondaje	Altura (m s.n.m)	Distancia brecha (m)	%Cu	Descripción macroscópica	Descripción microscópica	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{cpy}}$	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{bn}}$	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{cs}}$
LB-13	LB170005	3105	268		x	x	x		
LB-14	LB170005	3113	247		x	x	x		
SEM-05	LB150032	2247	286	0,5	x	x	x	x	
SEM-03	LB150032	2317	288	0,85	x	x	x	x	
SEM-19	MO-105	3205	242	0,38	x	x	x		
SEM-20	MO-105	3311	154	0,6	x	x	x		
LB-23	LB160034	2474	795		x	x	x		
LB-15	LB170005	3216	232		x	x	x		
LB-10	LB160034	2333	815		x	x	x		
SEM-01	LB150032	2240	289	1,03	x	x	x	x	
SEM-04	LB150032	2295	286	1,2	x	x	x	x	
SEM-06	LB150032	2260	285	0,45	x	x	x	x	
SEM-07	LB150032	2276	285	0,95	x	x	x	x	
SEM-16	LB150032	2295	288	1,2	x	x	x		
SEM-17	LB150032	2322	287	0,76	x	x	x		
SEM-09	MO-105	3166	275	0,62	x	x	x		
SEM-22	MO-105	3155	295	0,49	x	x	x		
SEM-21	MO-105	3310	167	0,6	x	x	x		
SEM-18	MO-105	3250	238	0,94	x	x	x		
SEM-45	LB110063	3014,6	313		x	x	x		
SEM-46	LB110063	3023,7	312		x	x	x		
SEM-41	LB120022	2983	0		x	x	x		
LB-38	LB140178	2191,2	0		x	x	x		
LB-39	LB140178	2174,1	0		x	x	x		
LB-40	LB140178	2159,8	0		x	x	x		
SEM-28	LB14007	3807,8	0		x	x	x		
SEM-29	LB14007	3834,3	0		x	x	x		
SEM-30	LB14007	3821,7	0		x	x	x		
SEM-43	LB110044	3711,5	93		x	x	x		
SEM-44	LB120022	3054,2	0		x	x	x		
SEM-35	LB140032	3790,9	25		x	x	x		
LB-31	LB170005	3296,4	229		x	x	x		
SEM-08	MO-105	3514	35		x	x	x		
LB-32	LB170005	3307,7	242		x	x	x		
LB-33	LB140178	3220,6	239		x				x
LB-34	LB140178	3218,2	253		x				x
LB-36	LB140178	3220,4	244		x				x

<sup>a</sup> El código de las muestras corresponde a la abreviación del sector el cual se recolectó la muestra (LB = Los Bronces y SEM = San Enrique Monolito)

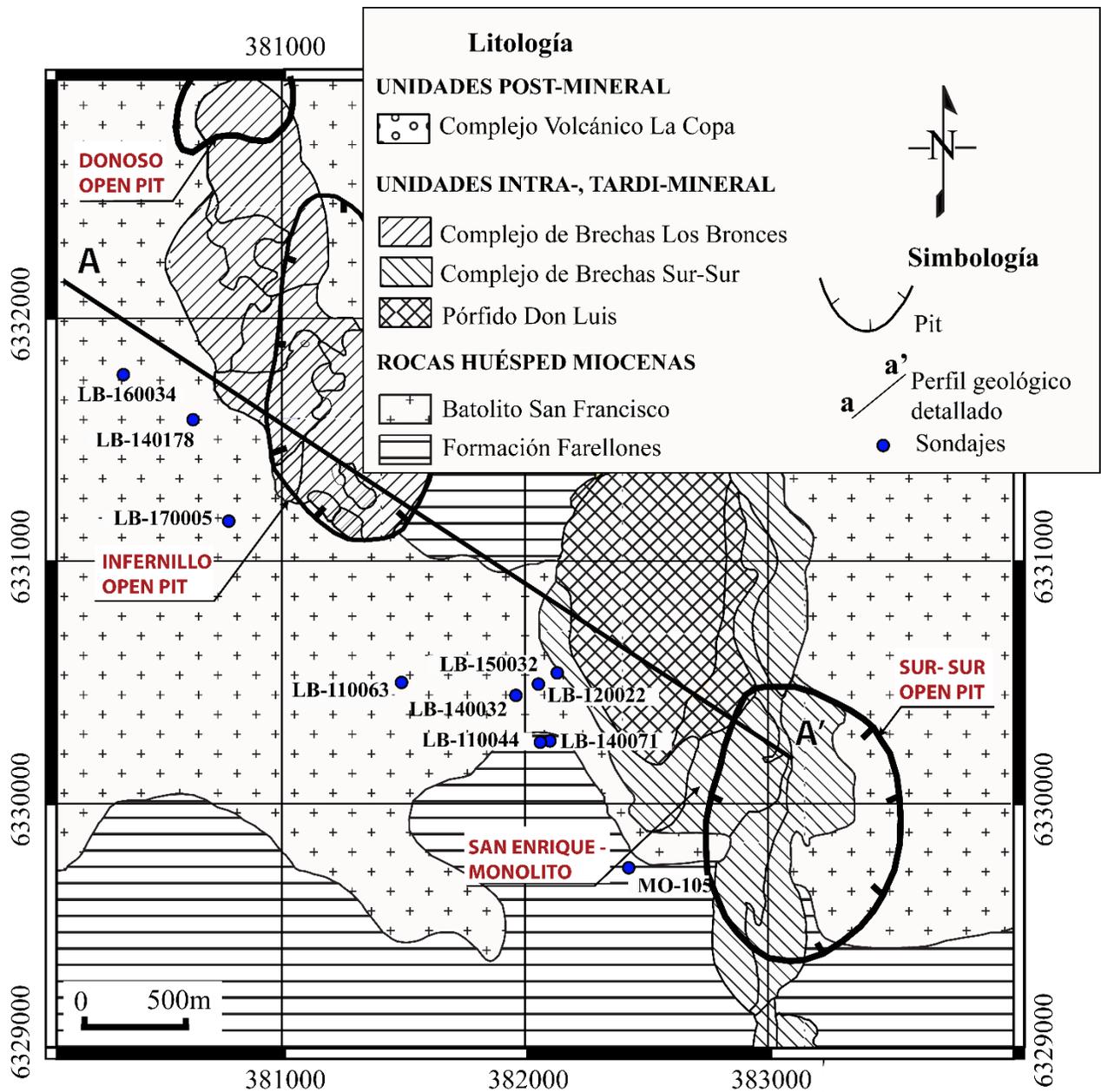


Figura 4.1: Mapa Litológico Río Blanco - Los Bronces, con traza de perfil A-A'. Modificado de Vargas et al. (1999).

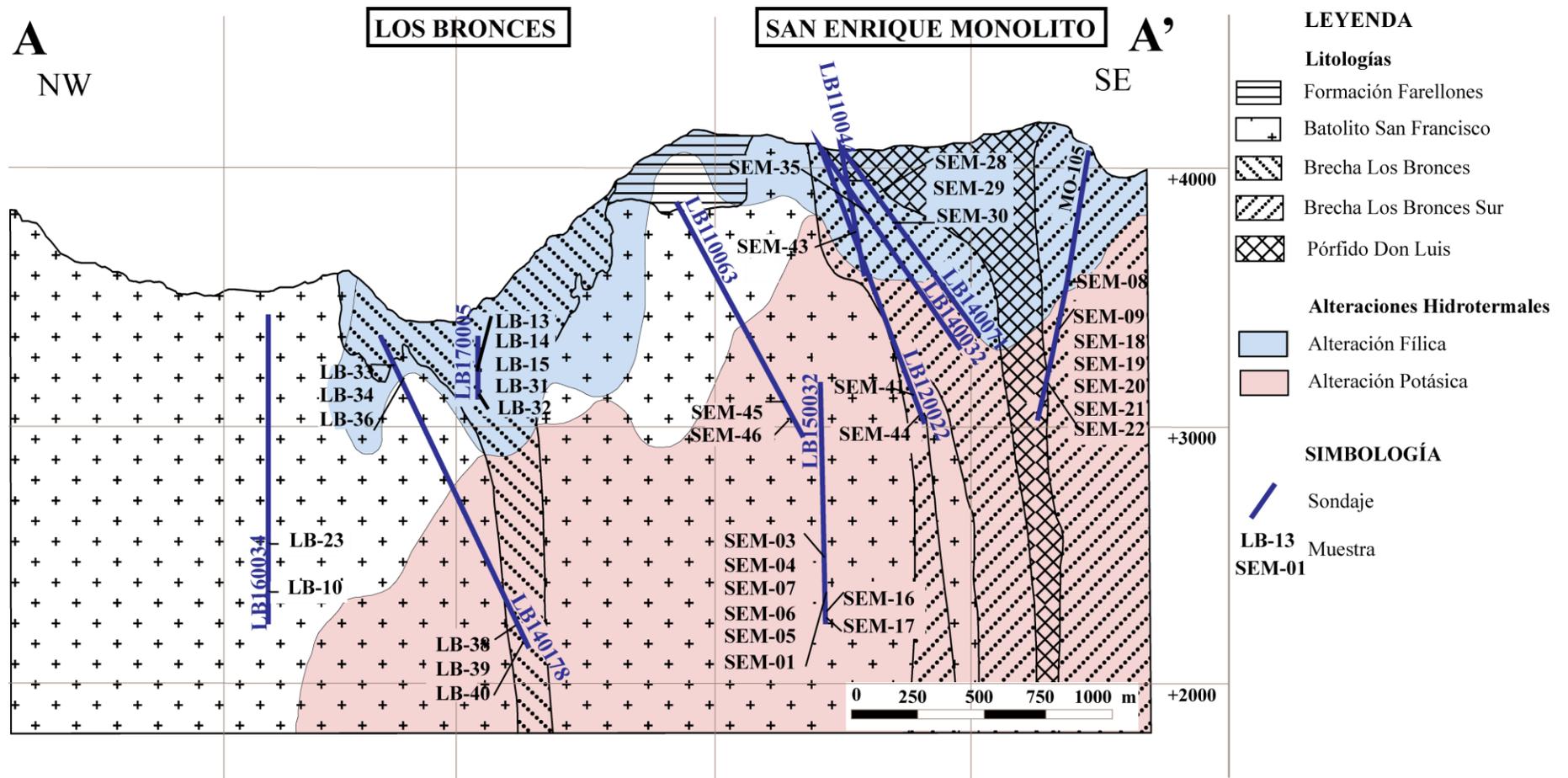
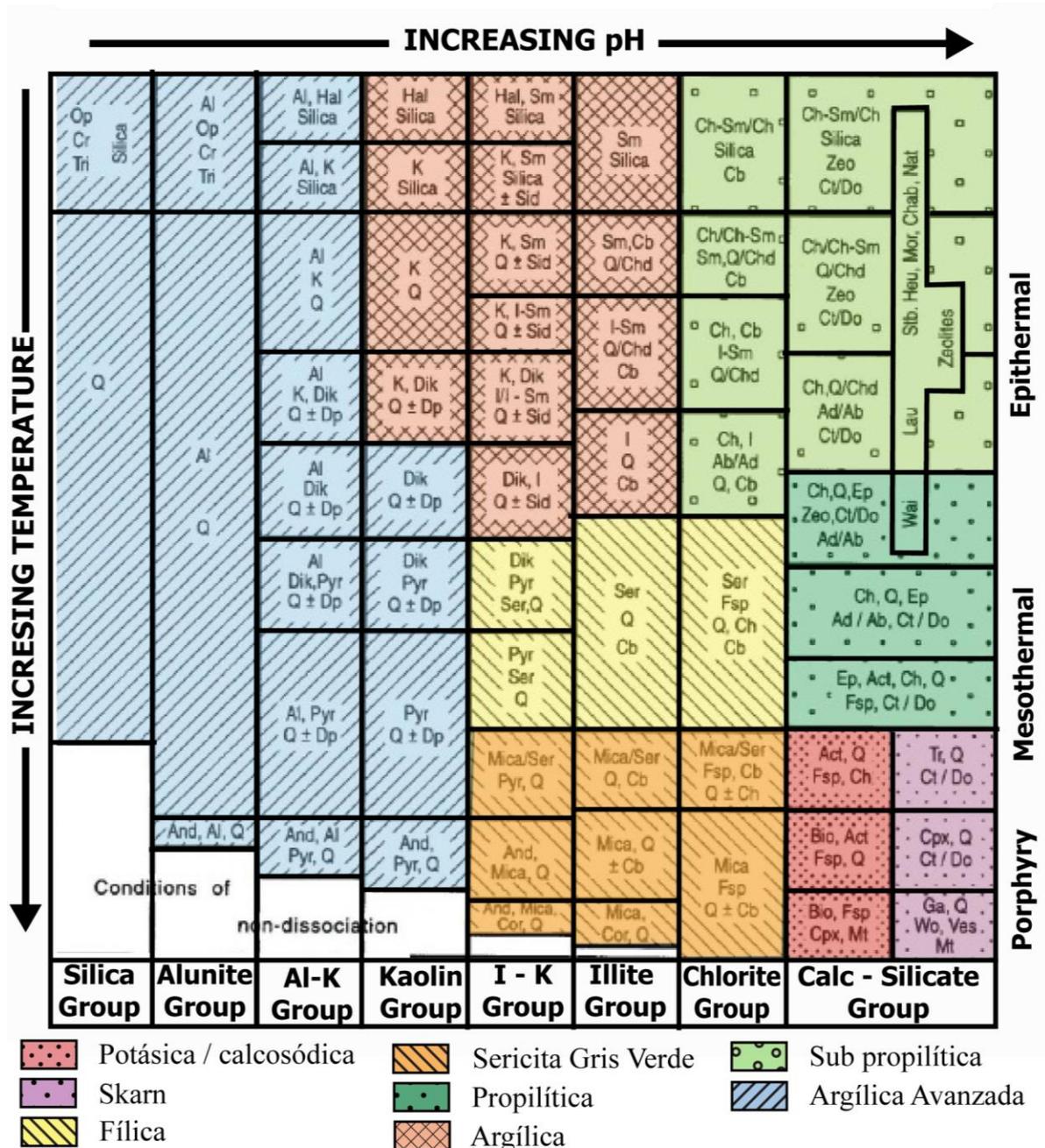


Figura 4.2: Perfil A-A' NW - SE con los sondajes proyectados, la ubicación de las muestras y el tipo de muestra seleccionada.



**Figura 4.3:** Tabla de clasificación de alteraciones hidrotermales (Corbett and Leach, 1998). Modificado de Bulnes, (2013).

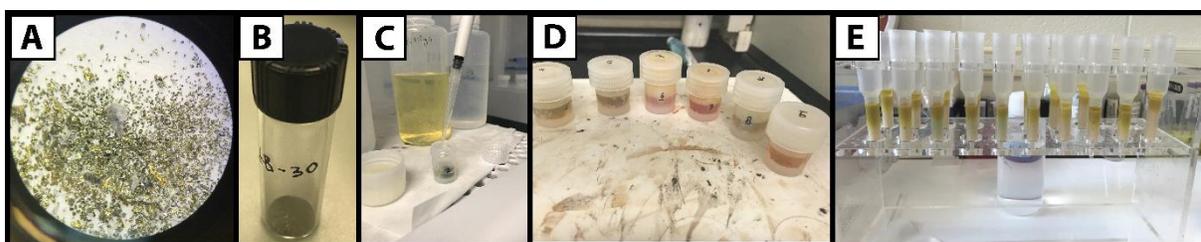
### 4.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA: MEDICIÓN DE ISÓTOPOS DE CU

Se midieron las razones isotópicas de las 37 muestras seleccionadas mediante MC-ICP-MS, en los laboratorios de la Universidad de Arizona y Universidad Estatal de Pennsylvania. Se analizaron principalmente sulfuros hipógenos (calcopirita y bornita); y en menor medida calcosina supérgena. El detalle del sulfuro medido por muestra se encuentra en la Tabla 4.1

A continuación se explicará brevemente el proceso de extracción de Cu y la obtención de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ , según Mathur et al. (2005). En el Anexo C se incluyen los detalles de dichos procedimientos.

### 4.3.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

- Aproximadamente 0,05 g de sulfuro de Cu fueron separados de forma manual y triturados a <300 micrones (Figura 4.4A, B).
- Las muestras fueron disueltas en agua-regia a 200°C por al menos 24 horas, y posteriormente fueron secadas en una platina caliente a 40°C (Figura 4.4C, D).
- El Cu fue separado de los elementos que podrían generar un efecto matriz mediante cromatografía de intercambio iónico (Figura 4.4E; Anexo C).



**Figura 4.4:** (A) minerales de calcopirita mediante lupa binocular; (B) 0,05g de cpy a 0,05mm; (C) Disolución de muestras con agua-regia; (D) Calentamiento de muestras a 200°C por 24 horas; (E) Columnas cromatográficas.

### 4.3.2 MC-ICP-MS

Las muestras purificadas fueron diluidas a 200 ppb de Cu en 2% de HNO<sub>3</sub> y, posteriormente, fueron inyectadas mediante un nebulizador microconcéntrico dentro de MC-ICP-MS (Figura 4.5). Se utilizó el método *standard-sample-standard bracketing* para acotar el error asociado a la medición, en el cual se compararon todas las razones isotópicas de cobre con el estándar NIST 976 Cu (0,4456; Shields et al., 1964; Ecuación 4.1).

Las razones isotópicas fueron reportadas en notación delta, con un error asociado de 0,1‰:

$$\delta^{65}\text{Cu} = \left( \frac{\left( \frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right)_{\text{muestra}}}{\left( \frac{^{65}\text{Cu}}{^{63}\text{Cu}} \right)_{\text{NIST 976 Cu}}} - 1 \right) \times 1000 \quad (4.1)$$



**Figura 4.5:** Neptune MC-ICP-MS de la Universidad de Arizona, Tucson, EEUU.

#### 4.4 CORRELACIÓN Y DISTRIBUCIÓN ESPACIAL

Los resultados fueron proyectados en el perfil NW-SE de la Figura 4.2 (indicando el tipo de vetilla/brecha analizada); con la finalidad de apreciar de manera espacial la distribución de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ . Además, se realizaron gráficos en función de la distancia mínima al clúster de brechas y la profundidad a la que se encontraba cada muestra. Estas fueron agrupadas según al evento hidrotermal correspondiente para así visualizar la evolución de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  durante la formación del depósito.

Cada evento hidrotermal fue desarrollado bajo ciertos parámetros fisicoquímicos, los cuales fueron determinados cualitativamente según su asociación de minerales de alteración. De acuerdo a los resultados obtenidos de estudios previos, se propuso un modelo evolutivo de los fluidos hidrotermales con el consecuente fraccionamiento isotópico de Cu que explicaría tal distribución de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ .

## 5 RESULTADOS

Este capítulo se subdivide en dos partes: (1) Descripciones petrográficas; (2) Isótopos de Cu. En la primera sección se resumen los resultados de las descripciones petrográficas macroscópicas y microscópicas de las muestras seleccionadas, las cuales fueron agrupadas en base al evento hidrotermal que corresponda. La segunda sección, corresponde a los resultados de los análisis isotópicos de Cu medidos en mineralogía hipógena (calcopirita, bornita) y supérgena (calcosina).

### 5.1 DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS

En la Tabla 5.1 se resume la información obtenida de las descripciones petrográficas de las muestras. Para cada una de estas se determinó las alteraciones hidrotermales presentes (principal y secundaria), los tipos de vetillas o brechas y la asociación-textura de los sulfuros presentes. Las abreviaciones utilizadas se encuentran en el Anexo A y las descripciones en detalle para cada muestra se encuentran en el Anexo D.

A continuación, se detallarán las características de cada una de las alteraciones hidrotermales junto con la mineralización asociada a brechas y vetillas. La clasificación de vetillas se realizó de acuerdo a la tipología propuesta por Gustafson and Hunt (1975) y Gustafson and Quiroga (1995) en el pórfido cuprífero El Salvador, Chile.

Para una mejor comprensión de estos resultados y dado que son concordantes con los expuestos por Abarzúa (2014) en relación a los eventos hidrotermales principales: temprano, transicional y tardío, se exponen los resultados en base a este orden cronológico.

#### 5.1.1 EVENTO TEMPRANO

El evento temprano considera las alteraciones potásica y calcosódica. En ellas los fluidos hidrotermales participantes son de alta temperatura (400 – 800°C) y pH neutro a alcalino (Corbett and Leach, 1998). Ambas alteraciones ocurren de manera penetrativa y selectiva con mineralización diseminada de calcopirita y bornita. También, estas alteraciones son asociadas a la formación de stockwork de vetillas y emplazamiento de brechas hidrotermales (Serrano et al., 2016, Toro et al., 2012).

##### 5.1.1.1 Alteración calco-sódica

Esta alteración hidrotermal está representada por la asociación mineral albita – clorita – magnetita – turmalina – feldespato potásico. Se presenta de manera penetrativa y selectiva en plagioclasas y feldespatos albitizados; y minerales máficos cloritizados. Esta alteración hidrotermal es sobreimpuesta o coetánea a alteración potásica. La mineralización asociada es principalmente calcopirita y pirita. Estas se presentan diseminadas y en vetillas C3A, descritas a continuación.

Vetillas C3A: vetillas rectas, continuas, de límites difusos y espesor constante, rellenas de turmalina y en menor proporción cuarzo, calcopirita, pirita y anhidrita. Presentan halos de espesor proporcional al relleno de la vetilla, penetrativo y de límites difusos. Estos se componen principalmente de albita con menor turmalina, anhidrita, calcopirita, pirita y sericita temprana. Esta alteración se presenta en la muestra LB-23 (Figura 5.1).

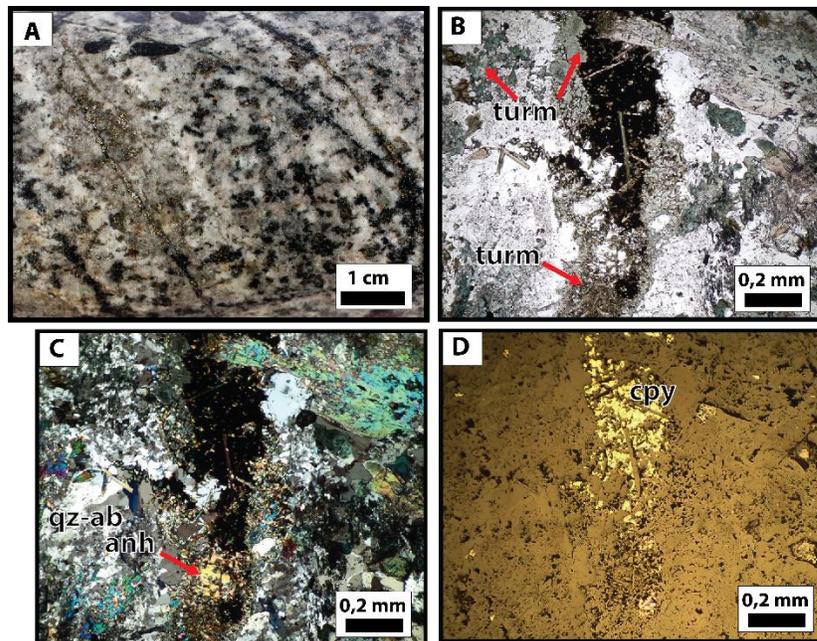
**Tabla 5.1:** Resumen descripciones petrográficas. Abreviaciones (ver Anexo A).

Muestra	Roca huesped	Alteración Hidrotermal principal	Alteración hidrotermal secundaria	Asociación sulfuros	Vetilla/brecha <sup>a</sup>	Relaciones texturales en sulfuros de vetilla o brecha analizada
LB-13	BSF	Potásica	ser-arc/ chl	cpy-bn-py	A, EB	Intercrecimiento
LB-14	BSF	Potásica	ser-arc/ chl	cpy-bn-py/bn/cv	A	Intercrecimiento
SEM-05	BSF	Potásica	-	cpy-bn-moli	A, EB, EBT	Reactivación**
SEM-03	BSF	Potásica	SGV	cpy±bn	A, B, C2	Intercrecimiento
SEM-19	BX BT	Potásica	SGV	cpy-bn/cv-cs	A	Vetilla A reactivada a C2*
SEM-20	BSF	Potásica	Ser-arc/chl-epi	bn-cpy/cv	A	Reactivación: cv reemplazando a bn
LB-23	BSF	alb-chl-epi	Potásica	cpy-py	C3A	Intercrecimiento
LB-15	BSF	Potásica	ser-chl-arc	cpy-moli	B	En equilibrio
LB-10	BX IGN	Potásica	chl-epi	cpy-moli	B	En equilibrio
SEM-01	BSF	SGV	Potásica	cpy-bn	C2, EB	En equilibrio
SEM-04	BSF	SGV	-	cpy-bn	C2	Vetilla A reactivada a C2
SEM-06	BSF	SGV	-	cpy-bn	C2, A, B	Intercrecimiento
SEM-07	BSF	SGV	Potásica	cpy-bn	C2	Reactivación
SEM-16	BSF	SGV	Potásica	cpy-bn	C2	Intercrecimiento
SEM-17	BX IGN	SGV	Potásica	cpy	C2, A	
SEM-09	BSF	SGV	ser/chl-epi	cpy-bn-mo/cv	C2, EBT, B, C3B	Sobrecrecimiento
SEM-22	BSF	SGV	ser-chl	cpy	C2, EBT	
SEM-21	BSF	SGV	ser-chl	cpy-bn/cv	C2	Reactivación
SEM-18	BSF	SGV	ser-arc/chl-epi	cpy	C2	Reactivación
SEM-45	BSF	SGV	chl-ser	cpy-py	C2	Intercrecimiento
SEM-46	BSF	SGV	chl-ser	cpy-py	C2	Intercrecimiento
SEM-41	BX	SGV	-	cpy-py	C2	Intercrecimiento
LB-38	BX BT	SGV	-	cpy-py	C2, BXBT	Intercrecimiento
LB-39	BXBT	SGV	-	cpy-py	C2, BXBT	Intercrecimiento
LB-40	BXBT	SGV	-	cpy-py	C2, BXBT	Intercrecimiento
SEM-28	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	BXT	Intercrecimiento
SEM-29	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	BXT	Intercrecimiento
SEM-30	-	ser-arc	-	cpy-py	BXT	Intercrecimiento
SEM-43	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	BXT	Intercrecimiento
SEM-44	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	BXT	Intercrecimiento
SEM-35	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	BXT, D	Intercrecimiento
LB-31	BSF	ser-chl	-	cpy-py	DT	Bandeada crustiforme
SEM-08	35	SCC	-	cpy-py	<b>Chl-ser-qz</b>	Intercrecimiento
LB-32	BSF	ser-chl	-	cpy-py	DT	Bandeada crustiforme
LB-33	BSF	-	-	py/cs	D	Reemplazo
LB-34	BSF	-	-	py/cs	D	Reemplazo
LB-36	BSF	-	-	py/cs	D	Reemplazo

<sup>a</sup> En negrita se indica la vetilla/brecha analizada.

\* Vetilla reactivada: corresponde a una vetilla híbrida entre dos tipos de vetillas distintas, indicando la reactivación de la estructura.

\*\*Reactivación: en el relleno de la vetilla se observa más de un pulso de mineralización.



**Figura 5.1:** (A) Vetilla C3A con halo principalmente de albita y mineralización de calcopirita y pirita; (B) – (D) Microfotografía con aumento 5x a nícoles paralelos y cruzados en luz transmitida; y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente, de muestra LB-23. Se observa mineralogía del relleno conformado por anhidrita-turmalina-cuarzo-calcopirita y del halo, compuesto por albita y menor turmalina.

### 5.1.1.2 Alteración potásica

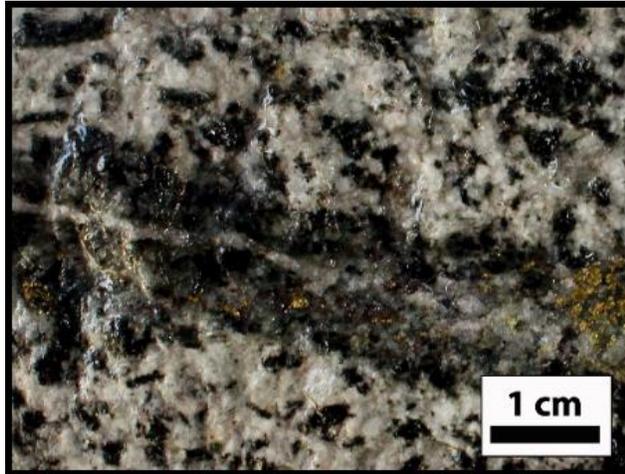
Esta alteración hidrotermal está representada por la asociación mineral biotita – feldespato potásico – cuarzo – anhidrita – albita, con mineralización de calcopirita, bornita y molibdenita. Se presenta como un reemplazo selectivo total a parcial de minerales máficos por biotita, y plagioclasas por feldespato potásico y albita. La mineralización asociada se encuentra diseminada, en brechas de biotita con polvo de roca y en vetillas EB, EBT y A.

Vetillas EB: microvetillas sinuosas, discontinuas, de límites difusos y espesor relativamente constante <1mm (Figura 5.2). Rellenas principalmente por biotita, menor, cuarzo y anhidrita con mineralización asociada de calcopirita y bornita. Estas microvetillas se encuentran en todas las muestras de cuarzomonzonitas y cuarzomonzodioritas del Batolito San Francisco.



**Figura 5.2:** (A) Foto macroscópica de muestra LB-09. Se observa una alteración potásica bt-feld-k selectiva sobreimpuesta por una cloritización selectiva de biotitas con menor epidota. También se observa stockwork de vetillas EB; (B) Fotomicrografía en aumento 5x y nicoles cruzados de muestra LB-09. Se observa en detalle la mineralogía de vetilla EB conformada principalmente por biotita con menor cuarzo y anhidrita.

Vetillas EBT: vetillas rectas, continuas con bordes irregulares y espesor constante de 1 – 2 mm. Rellenas principalmente por cuarzo, menor anhidrita y trazas de feldespato potásico. Presentan halos continuos, de límites difusos y espesor constante de 4 mm. Estos se componen de biotita y en menor sericita. Son generalmente de baja ley y los sulfuros presentes son calcopirita con menor pirita y trazas de bornita. Esta vetilla está presente en la muestra SEM-09 (Figura 5.3).



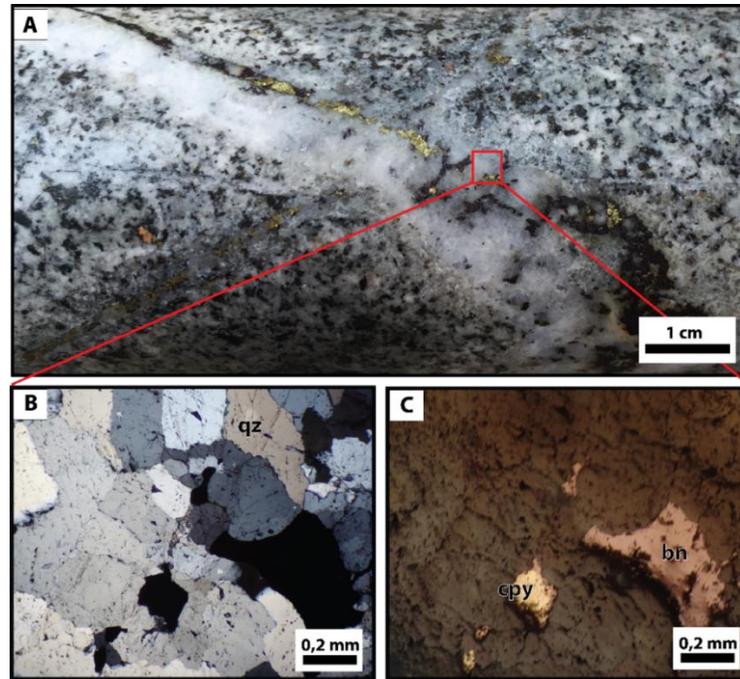
**Figura 5.3:** Foto macroscópica de muestra LB-09. Se observa alteración biotítica selectiva en máficos y vetilla EB, con halo oscuro de biotita con menor sericita y relleno de cuarzo-anhidrita.

Vetillas A: vetillas rectas, continuas, de límites definidos y espesor constante de hasta 2 cm. Rellenas principalmente por cuarzo con anhidrita subordinada y menor feldespato potásico y biotita (Figura 5.4A). Los sulfuros presentes son principalmente, calcopirita y bornita. Estos se disponen como granos dispersos aislados a lo largo de la vetilla (Figura 5.4B, C). En algunos casos es evidente la reactivación de estas vetillas en las cuales se observa más de un evento de mineralización (Tabla 5.1; Figura 5.4A). Por relaciones de corte, estas son posteriores a las vetillas EBT (Figura 5.4A).

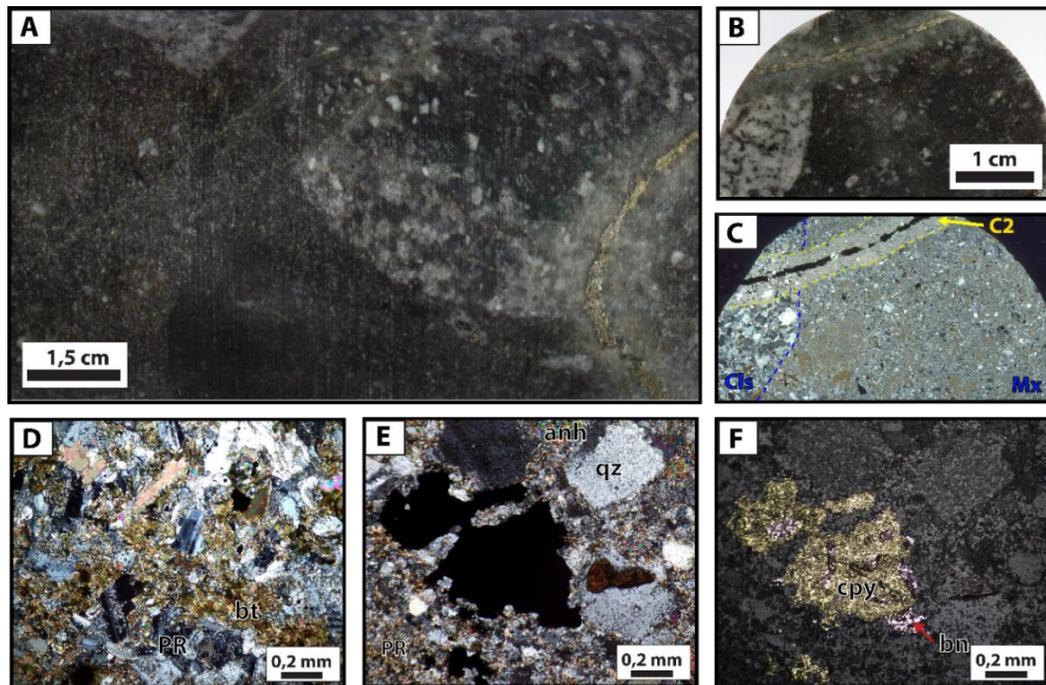
Este tipo de vetilla está presente en las muestras LB-13, LB14, SEM-03, SEM-05, SEM-19; SEM-20 y SEM-17.

Brecha de biotita – polvo de roca: brecha magmático hidrotermal monomíctica, matriz soportada. Los clastos son angulosos a subangulosos de hasta 4 cm de rocas intrusiva (Figura 5.5 A, B y C). Estos están alterados pervasivamente por sericita y biotita. La matriz corresponde a un agregado hidrotermal de grano fino de biotita asociada con polvo de roca (fragmentos de plagioclasa, feldespato, biotita primaria), con menor cuarzo y sericita (Figura 5.5 D y E). La mineralización es primordialmente de calcopirita con menor bornita (Figura 5.5 F). En el sector Los Bronces, se observa que este tipo de brecha es cortada por vetillas C2 (Figura 5.5A, B, C), y en San Enrique Monolito es truncada por vetillas A (SEM-19), ubicándolas cronológicamente en las etapas tempranas de la formación de ambos centros hidrotermales.

Estas brechas se encuentran en las muestras LB-38, LB39 LB-40 y SEM-19.



**Figura 5.4:** (A) Foto macroscópica de muestra SEM-05. Se observa vetilla A reactivada cortando a vetilla EBT; (B), (C) Foto microscópica de muestra SEM-05 con aumento 5x a nícoles cruzados y paralelos a luz reflejada y transmitida, respectivamente. Se observa relleno de vetilla con cuarzo mosaico, bornita y calcopirita.



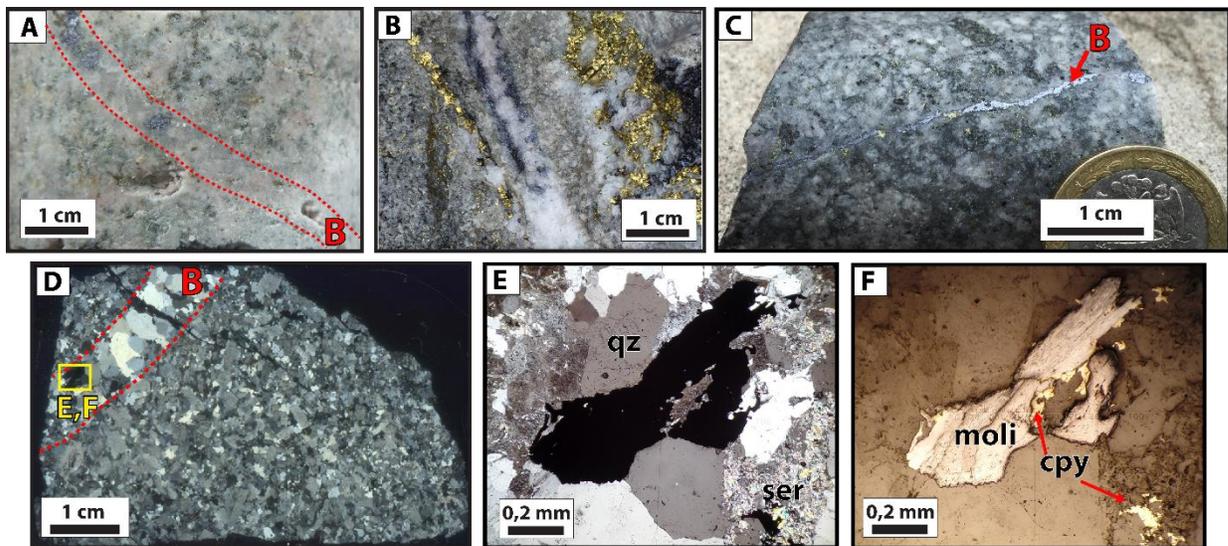
**Figura 5.5:** (A) Foto macroscópica de muestra LB-39. Se observa matriz oscura de biotita y menor polvo de roca. Clastos subangulosos de roca ígnea intrusiva. Cortada por vetilla C2; (B), (C) Foto macroscópica de la sección pulida de la muestra LB-39 e imagen escaneada del corte transparente de la muestra LB-39. Se observa brecha de biotita – polvo de roca cortada por vetilla C2; (D) – (F) Fotos microscópica con aumento 5x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada de muestra LB-39. Se observa mineralogía de la matriz y cemento conformada principalmente de biotita hidrotermal, cuarzo, anhidrita y polvo de roca (fragmentos de plagioclasa, feldespatos potásico y biotita).

### 5.1.2 EVENTO TRANSICIONAL

Este evento abarca la formación de vetillas B (alteración potásica) como también el desarrollo de una alteración sericita gris verde asociada al halo de vetillas C y C2.

**Vetilla B:** vetillas rectas, continuas, de límites difusos y espesores constantes de hasta 1 cm (Figura 5.6). Rellenas principalmente de cuarzo y, en menor proporción, anhidrita y biotita. Los sulfuros presentes son molibdenita con menor calcopirita (Figura 5.6). Estos se disponen de manera continua, tanto en la sutura central o en los bordes del relleno (Figura 5.6A, B, C). En algunas muestras, presentan halos continuos, de límites difusos y espesores constantes de 2 mm de espesor, conformados por albita y feldespatos potásico.

Este tipo de vetillas está presente en las muestras SEM-06, LB-10, LB-15, SEM-03, SEM-06 y SEM-09.



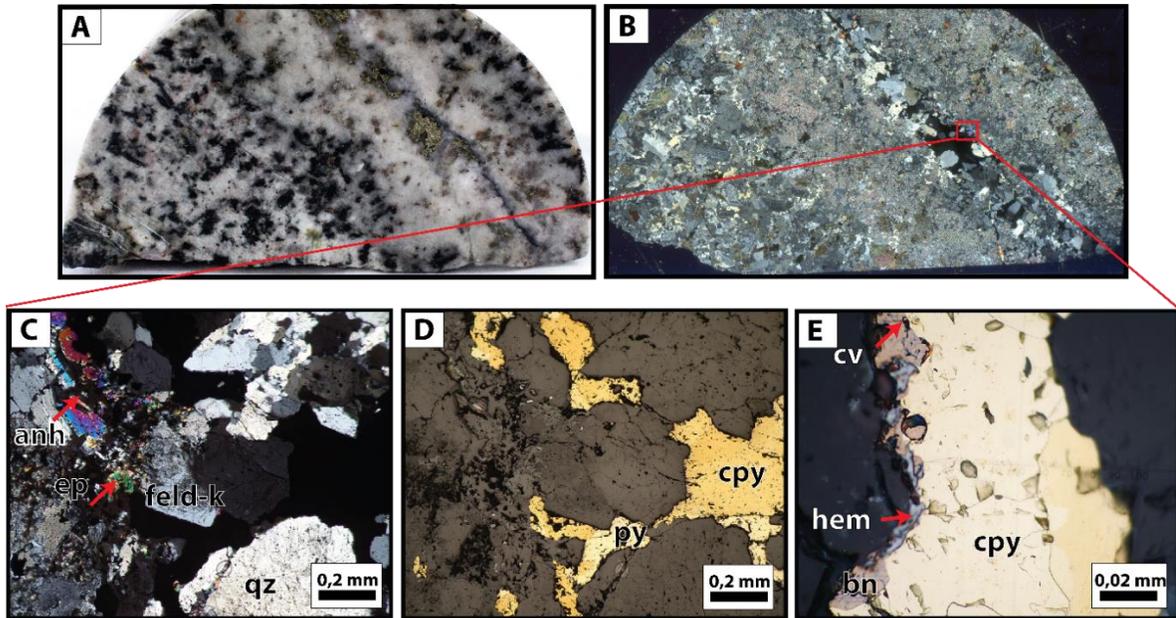
**Figura 5.6:** (A) – (C) Foto macroscópica de muestras LB-15, SEM-06 y LB-10, respectivamente. Se observa vetilla B con mineralización principalmente de molibdenita; (D) Imagen del corte transparente escaneado de la muestra LB-15. Se observa vetilla B y la ubicación de las fotos microscópicas E y F; (E), (F) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa molibdenita y calcopirita en paragénesis.

#### 5.1.2.1 Alteración Sericita Gris Verde- Vetillas C y C2

Esta alteración hidrotermal posee una asociación mineralógica conformada por biotita, feldespatos potásico, cuarzo y anhidrita, junto con muscovita, sericita y especularita, reflejando procesos hidrolíticos de alta temperatura (Temperatura >350°C, pH: 5-6). Se encuentra asociada a los halos de las vetillas C y C2 (Figuras 5.7, 5.8). En varias de las muestras asociadas a esta alteración hidrotermal, se observa una reactivación de las vetillas. En algunos casos esta reactivación es evidente distinguiéndose de forma macroscópica (Figura 5.7A, 5.8H); y en otros casos esta solo se logra distinguir de manera microscópica (Figura 5.8E, F).

**Vetillas C:** Vetillas rectas y continuas, de límites difusos y espesores constantes de hasta 3 mm. Su relleno es principalmente de cuarzo y anhidrita, con especularita subordinada y en menor proporción, feldespato potásico, con trazas de anhidrita y epidota (Figura 5.7A, C). Los sulfuros presentes son calcopirita, con menor pirita y trazas de bornita y covelina (Figura 5.7D, E). Estos se disponen de manera continua a lo largo de las vetillas. Presenta un halo gradacional bien definido de 1 cm de cuarzo, feldespato potásico y albita en el centro; y hacia los bordes biotita, sericita y cuarzo (Figura 5.7A, B).

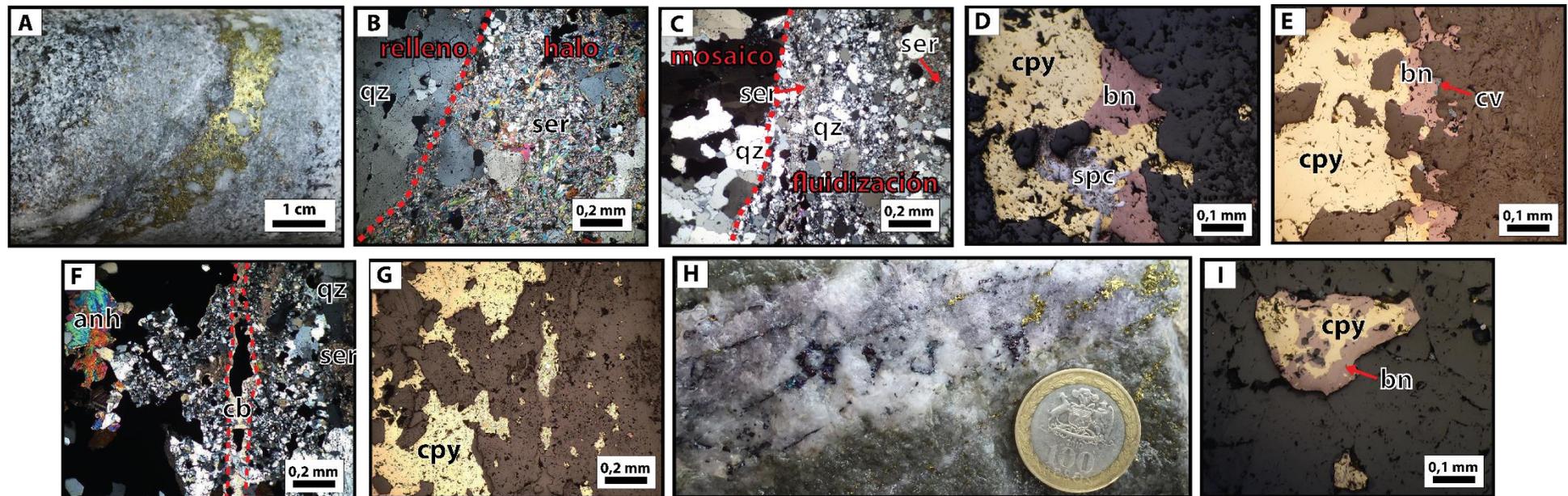
Este tipo de vetilla se observa en la muestra SEM-09.



**Figura 5.7:** (A), (B) Foto macroscópica e imagen del corte transparente escaneado de muestra SEM-09. Se observa una alteración potásica biotítica pervasiva y selectiva en minerales máficos, y además, vetilla C con un halo gradacional definido; (C), (D) Foto microscópica con aumento 5x a nícoles cruzados en luz transmitida y nícoles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa mineralogía del relleno de la vetilla (calcopirita, cuarzo, feldespato potásico, epidota y anhidrita); (E) Foto microscópica con aumento 20x en luz reflejada. Se observa sobrecrecimiento de bornita en calcopirita.

**Vetillas C2:** vetillas rectas, continuas, de límites definidos y espesores contantes de hasta 1 cm. Su relleno es conformado principalmente por calcopirita; de manera subordinada cuarzo, anhidrita, molibdenita; con trazas de bornita y especularita (Figura 5.8). Presenta un halo pervasivo y penetrativo el cual destruye la textura original de la roca caja, de color gris verdoso, compuesto en su mayoría por sericita temprana, menor biotita, clorita y cuarzo (Figura 5.9A, B). En algunas muestras se observan texturas de fluidización (Figura 5.8C). Esta clase de vetilla se observa en las muestras SEM-01, SEM-03, SEM-04, SEM-06, SEM-07, SEM-09, SEM-16, SEM-17, SEM-18, SEM-19; SEM-21, SEM-22, LB-38, LB-39, LB-40, SEM-41, SEM-45, SEM-46.

En algunos casos se observan vetillas híbridas, es decir, que poseen características de las vetillas A y C2, mostrando una reactivación de estas estructuras. Estas vetillas híbridas se presentan en las muestras SEM-04 y SEM-19 (Figura 5.8 H).



**Figura 5.8:** (A) Foto macroscópica de muestra SEM-07. Se observa vetilla C2 con mineralización continua de calcopirita con menor cuarzo y molibdenita. Presenta halo pervasivo destructivo de color gris verdoso. (B) Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles cruzados de muestra SEM-07. Se observa la mineralogía del halo compuesto por sericita temprana y menor cuarzo; (C) Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles cruzados de muestra SEM-07. Se observa reactivación de vetilla: cuarzos con textura de mosaico y textura de fluidización conformada por cuarzo y sericita; (D) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles paralelos en luz reflejada de muestra SEM-07. Se observa mineralización de calcopirita, bornita y especularita en paragénesis. (E) Foto microscópica con aumento 10x en relleno de vetilla de la muestra SEM-21. Se observa en el borde del relleno mineralización de calcopirita, bornita y covelina no en equilibrio, indicando la reactivación de esta; (F), (G) Foto microscópica con aumento 5x en luz transmitida y reflejada del relleno de la vetilla SEM-18. Se observa notoria reactivación de la vetilla con un segundo evento de mineralización de calcopirita; (H) Foto macroscópica de muestra SEM-04. Se observa una clara reactivación de vetilla, con múltiples suturas mineralizadas de calcopirita y bornita; (I) Foto microscópica con aumento 10x en muestra SEM-04. Se observa textura de reemplazo de bornita en calcopirita: superficies cóncavas en calcopirita (pareciera que la bornita estuviera corroyendo a la calcopirita).

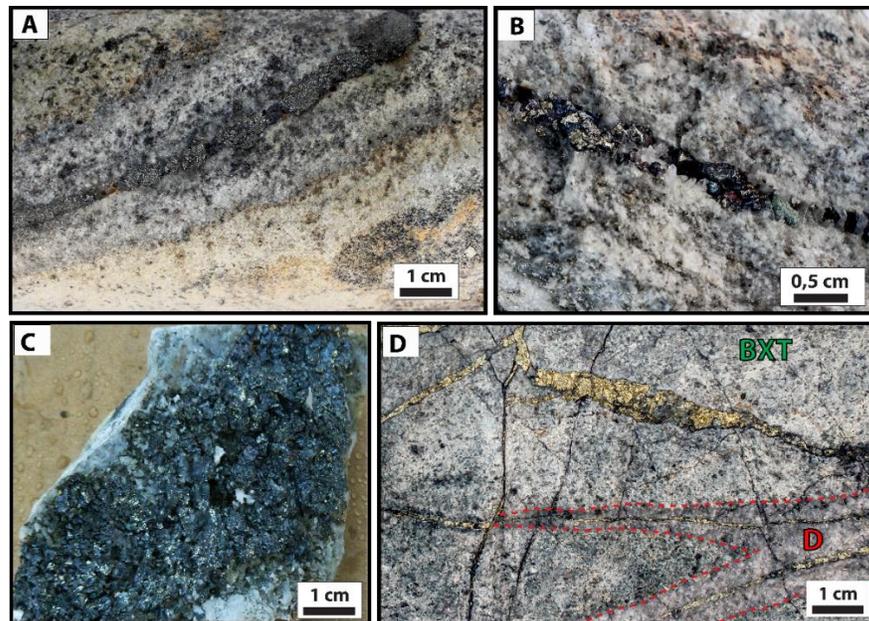
### 5.1.3 EVENTO TARDÍO

Este evento es asociado a las alteraciones cuarzo – sericita y clorita – sericita – arcillas, las cuales están asociadas al emplazamiento de las brechas hidrotermales de turmalina. Esta alteración, se superpone a las alteraciones potásica y sericita gris verde. La mineralogía de estas alteraciones corresponden a fluidos de baja temperatura (<350°C) y pH más ácidos que los eventos anteriores (pH 4-5).

#### 5.1.3.1 Alteración cuarzo-sericita

En las partes más someras de los sistemas el evento potásico presenta una superposición de alteración fílica. Esta es dominada, principalmente, por una sericitización de plagioclasas y feldespatos potásicos, con precipitación de cuarzo criptocristalino de forma intersticial. Además, las biotitas primarias y secundarias se encuentran parcial a totalmente cloritizadas. Esta alteración se presenta de manera pervasiva como también asociada a la formación de vetillas D, DT y brechas hidrotermales de turmalina.

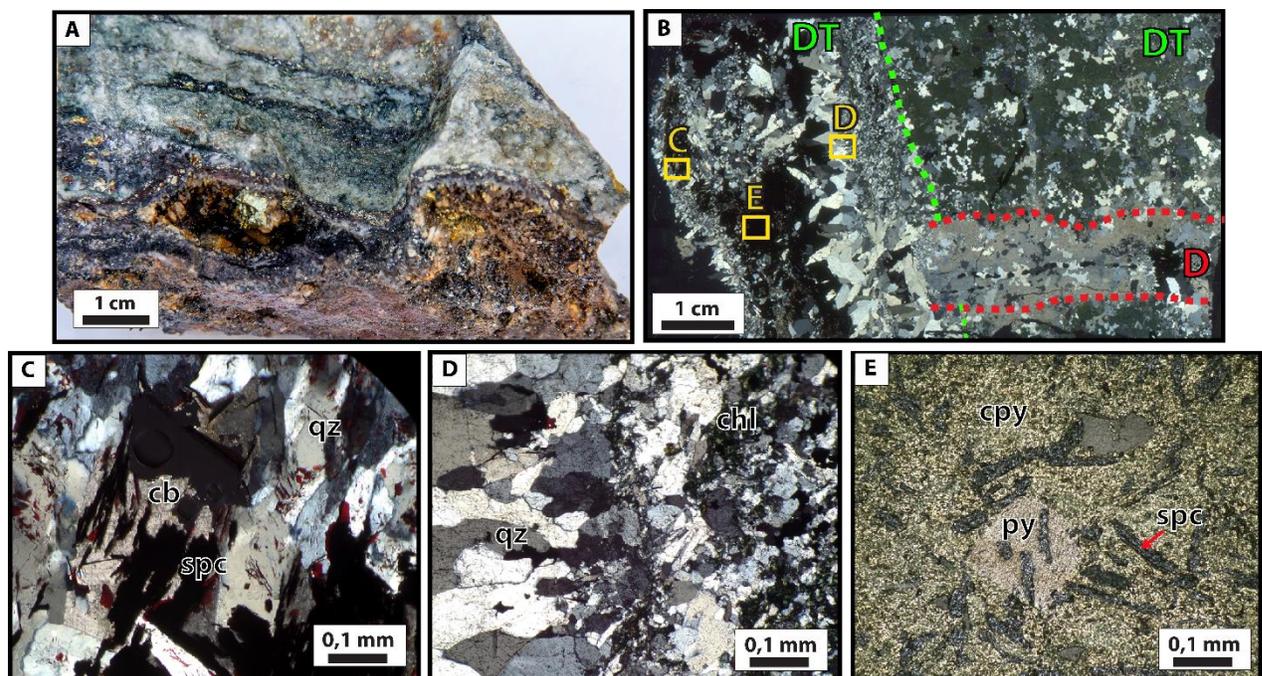
Vetillas D: vetillas rectas, continuas, de límites definidos y espesores constantes de hasta 5 mm. Su relleno está compuesto principalmente de cuarzo con menor anhidrita. Los sulfuros presentes son pirita con menor calcopirita. Estos se encuentran de manera continua a lo largo de la vetilla (Figura 5.9A, B). Además, estas estructuras exhiben una clara textura en peineta y también, la presencia de espacios abiertos (Figura 5.9B). Los halos son continuos, de límites definidos y espesores constantes de hasta 1 cm. Estos están conformados en su mayor parte por sericita y cuarzo, con clorita subordinada en los bordes.



**Figura 5.9:** (A) Foto macroscópica de la muestra LB-36. Se observa vetilla D con mineralización continua de pirita con pátinas de calcosina; y un halo definido que conserva la textura original de la roca, compuesto de cuarzo y sericita, con clorita en los bordes; (B) Foto macroscópica de muestra LB-34, se observa la textura en peineta con cristales euhedrales de cuarzo y mineralización de pirita en la sutura central de la vetilla, con mineralización en pátina de calcosina -covelina secundaria. (C) Foto macroscópica de muestra LB-33. Se observa el relleno de vetilla D con mineralización en pátina de calcosina y covelina sobre pirita; (D) Foto macroscópica de muestra SEM-35. Se observa vetilla D cortando a brecha de turmalina.

Este tipo de vetillas se observan en las muestras LB-33 LB-34, LB-36, las cuales presentan una mineralización posterior de calcosina secundaria como producto de un proceso supérgeno (Figura 5.9B, C). También, se presenta en la muestra SEM-35, en la que se observa que esta trunca a la brecha de turmalina (Figura 5.9D).

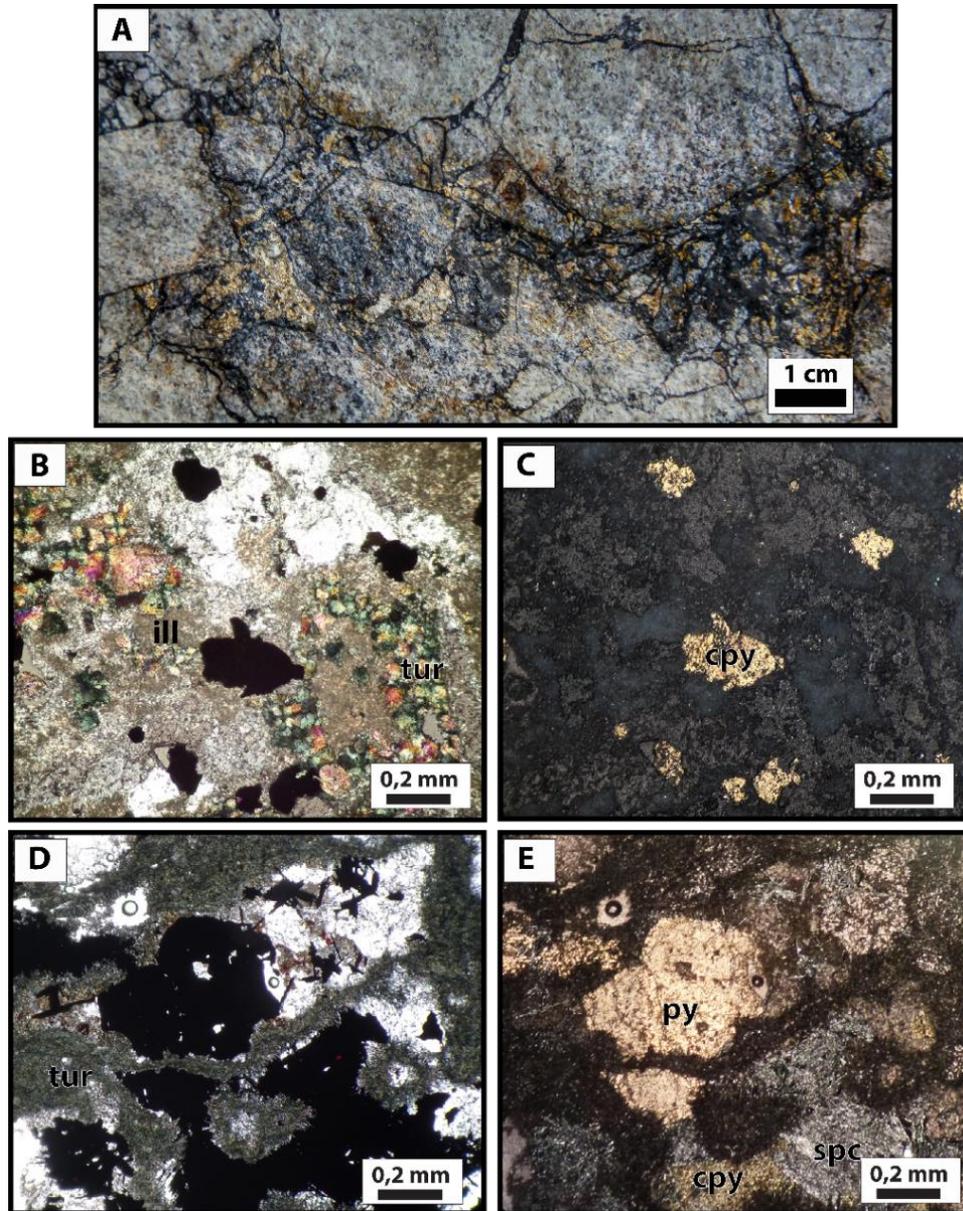
**Vetillas DT:** Vetillas rectas, continuas, de límites definidos y espesor constante de hasta 5 cm, rellenas principalmente de cuarzo – clorita – especularita – sericita con menor anhidrita y mineralización continua, principalmente, de calcopirita y menor pirita en la sutura central (Figura 5.10). Estas estructuras exhiben una clara textura bandeada (Figura 5.10B) con cristales de cuarzo perpendicular a la veta (Figura 5.10A, B, D). Su halo es penetrativo, conservando la textura original de la roca, conformado esencialmente por sericita, menor cuarzo y clorita. Esta clase de vetilla ocurre de manera co-genética con las de tipo D (Figura 5.10 B). Este tipo de vetilla se observa en las muestras LB-31 y LB-32.



**Figura 5.10:** (A) Foto macroscópica de muestra LB-32. Se observa la textura bandeada con mineralización de cpy y menor pirita en la sutura y textura bandeada con especularita-cuarzo-clorita-sericita del centro hacia afuera; (B) Imagen del corte transparente escaneado. Se observa vetilla D cortando parte del relleno de veta DT y a su vez, el relleno central de la veta DT corta a la vetilla D. Además, muestra la ubicación de las fotos microscópicas C, D y E; (C) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados. Se observa cristales de cuarzo y carbonato subeuhedrales con mineralización de especularita (opaco); (D) Foto microscópica con aumento 10x a nícoles cruzados. Se observa la textura en peinta con cristales euhedrales de cuarzo perpendiculares a la veta; (E) Foto microscópica con aumento 10x. Se observa mineralización en paragénesis de calcopirita, pirita y especularita.

**Brechas hidrotermales de turmalina:** brecha monomítica clasto-soportada con proporción de matriz y clastos variable. Los fragmentos son angulosos, de fases intrusivas del Batolito San Francisco (Figura 5.11A). La mineralogía primaria de los clastos se encuentra alterada fuertemente a sericita e illita, y en algunos casos, a arcillas con mineralización diseminada de calcopirita (Figura 5.11B, C), indicando su carácter hidrolítico de baja temperatura. La matriz corresponde a un agregado hidrotermal de grano fino a medio de turmalina y ocasionalmente biotita, en menor proporción cuarzo, sericita y clorita (Figura 5.11D, E). La mineralización asociada a estas brechas

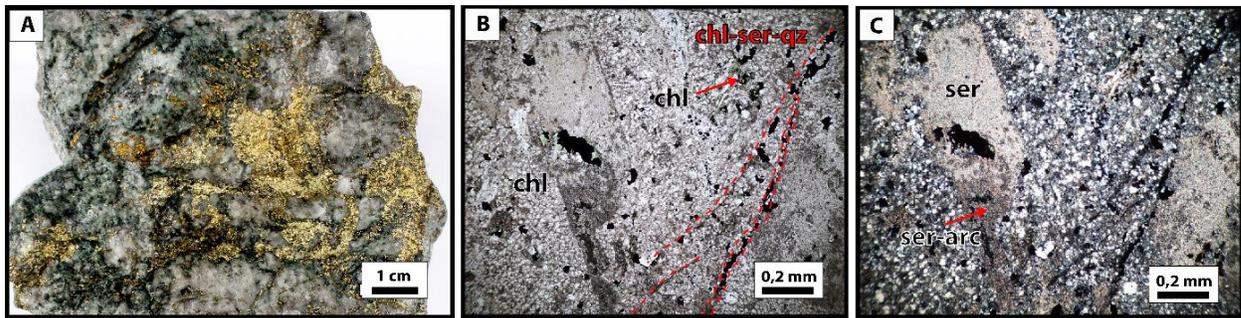
comprende, principalmente, calcopirita y pirita, con hematita especular, como relleno de espacios abiertos (Figura 5.11 E); y escasa mineralización diseminada en los clastos (Figura 5.12 B y C). Este tipo de brecha se observa en las muestras SEM-28, SEM-29, SEM-30, SEM-35, SEM-43 y SEM-44.



**Figura 5.11:** (A) Foto macroscópica de muestra SEM-39. Se observa la angulosidad de los clastos, la proporción de clasto y matriz de turmalina con menor polvo de roca (B), (C) Foto microscópica con aumento 5x y nícoles paralelos a luz transmitida y reflejada, respectivamente, de muestra SEM-29. Se observa alteración illita - arcillas en los clastos, con turmalina euhedral acicular y mineralización diseminada de calcopirita; (D), (E) Foto microscópica con aumento 5x y nícoles paralelos a luz transmitida y reflejada, respectivamente, de muestra SEM-30. Se observa la mineralogía de la matriz de la brecha. Esta es compuesta por turmalinas euhedrales prismáticas cristalizadas de manera perpendicular a los clastos y menor especularita, con mineralización de calcopirita – pirita – especularita como relleno de espacios abiertos.

### 5.1.3.2 Alteración sericita – clorita – arcillas (sericite – chlorite – clay= SCC)

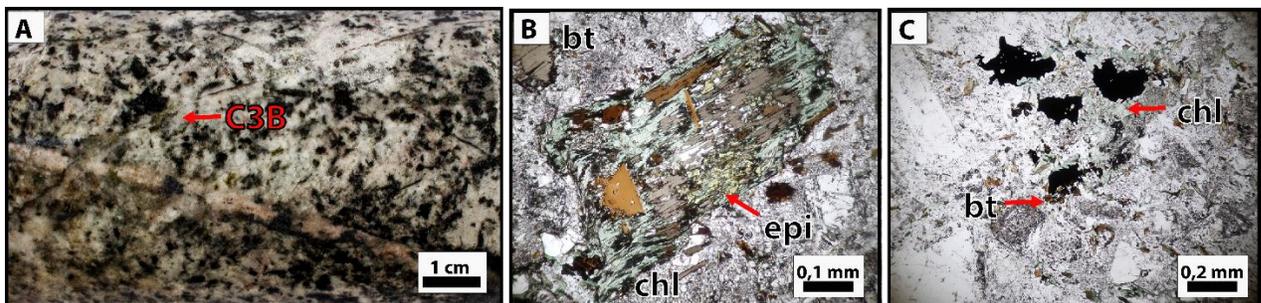
Ocurre de forma penetrativa y pervasiva con reemplazo selectivo total de plagioclasas y feldespatos potásicos por sericita, arcillas y clorita (Figura 5.12). La mineralización asociada es, principalmente, calcopirita y pirita. Esta alteración ocurre en la muestra SEM-08, en la que se observa que la alteración es pervasiva, conservando la textura original de la roca de caja (Figura 5.12B). La mineralización es principalmente, de calcopirita en la intersección de vetillas de espesores variables y límites difusos conformadas principalmente por clorita, sericita y cuarzo.



**Figura 5.12:** (A) Foto macroscópica de muestra SEM-08. Se observa una alteración SCC pervasiva con mineralización principalmente de calcopirita y menor pirita; (B), (C) Foto microscópica con aumento 5x y a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente, de muestra SEM-08. Se observa la textura original de la roca de caja (textura porfírica) con alteración selectiva de plagioclasa y feldespato potásico a sericita y arcillas con menor clorita. Se observa también micro vetillas de chl-ser-qz (líneas rojas segmentadas).

### 5.1.4 ALTERACIÓN CLORITA – EPIDOTA

Esta alteración en las muestras seleccionadas se presenta débilmente sobreimpuesta a la alteración potásica de fondo, como producto del enfriamiento del sistema. Se caracteriza por la asociación clorita±epidota (Figura 5.13) y, subordinadamente, albita y calcita. La epidota aparece reemplazando selectivamente a plagioclasas y minerales máficos, mientras que la clorita, reemplaza selectivamente a biotitas primarias y secundarias (Figura 5.13B, C). También se encuentra asociada a microvetillas C3B (Figura 5.13A). Esta alteración se observa moderadamente en la muestra LB-10 y, débilmente, en las muestras SEM-09, SEM-18 y SEM-20.



**Figura 5.13:** (A) Foto macroscópica de la muestra LB-09. Se observa cloritización y epidotización selectiva de minerales máficos y stockwork de microvetillas C3B; (B) Foto microscópica con aumento 5x a nícoles paralelos de la muestra LB-10. Se observa cloritización y epidotización de biotita primaria; (C) Foto microscópica con aumento 5x a nícoles paralelos en muestra LB-13. Se observa la cloritización de biotitas secundarias;

5.1.5 TEMPORALIDAD DE EVENTOS

Basado en las descripciones petrológicas descritas anteriormente, junto con lo recopilado de los antecedentes geológicos de área de estudio; se determinó la temporalidad de eventos de manera simplificada (Figura 5.14). Los eventos de alteración – mineralización se subdividen en tres: (1) Evento temprano; (2) Evento transicional; y (3) Evento tardío.

- El evento temprano abarca las alteraciones potásica y calcosódica. La alteración potásica se asocia con la formación de vetillas EB, brechas de biotita y polvo de roca, vetillas EBT y vetillas A, ordenadas de manera cronológica. Las vetillas C3A, se relacionan a la alteración calcosódica.
- El evento transicional es asociado a la alteración sericita gris verde (vetillas C y C2) y a la formación de vetillas B. No se observaron relaciones de corte entre las vetillas presentes en este evento.
- Finalmente, el evento tardío asociado a la alteración fílica es relacionado, principalmente, al emplazamiento de brechas de turmalina, las cuales son cortadas por vetillas D y DT.

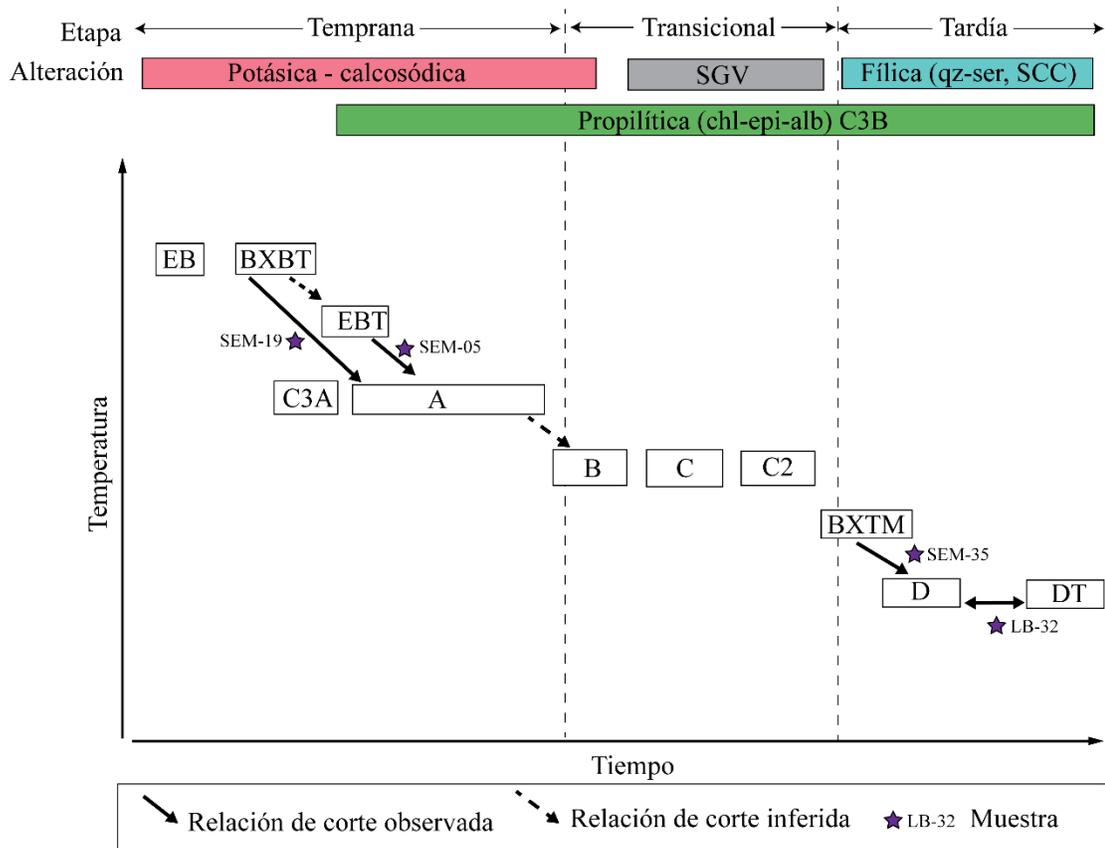


Figura 5.14: Evolución temporal de vetillas y brechas hidrotermales presentes en el depósito Río Blanco – Los Bronces.

## 5.2 ISÓTOPOS DE Cu

En este apartado se presentan los resultados de las firmas isotópicas medidas en 37 muestras provenientes de los sectores San Enrique Monolitos y Los Bronces (Tabla 5.2). Para una mayor comprensión de los resultados obtenidos, estos se categorizan en tres grupos según el tipo de material medido: (1) Valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcopirita y bornita; (2) Valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en muestras de calcopirita y su distribución espacial; y (3) Valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcosinas supérgenas.

### 5.2.1 VALORES $\delta^{65}\text{Cu}$ EN CALCOPIRITA Y BORNITA

En partes más profundas del sector San Enrique monolito se midieron las firmas isotópicas de Cu en calcopirita y bornita pertenecientes a vetillas A y C2 (Figura 5.15). En dos muestras de vetillas C2 la calcopirita es isotópicamente más pesada que la bornita con un factor de fraccionamiento isotópico de 0,4‰ ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{cpy-bn}}=0,4\text{‰}$ ). Por otro lado, en las otras tres muestras (dos vetillas C2 y una vetilla A), ambas fases sulfuradas presentan la misma firma isotópica de Cu ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{cpy-bn}}=0,0\text{‰}$ ). Cabe destacar, que las muestras de calcopirita-bornita que poseen la misma firma isotópica, presentan texturas de reactivación y las muestras en que la calcopirita es isotópicamente más pesada que la bornita, los sulfuros se encuentran en equilibrio (Tabla 5.1).

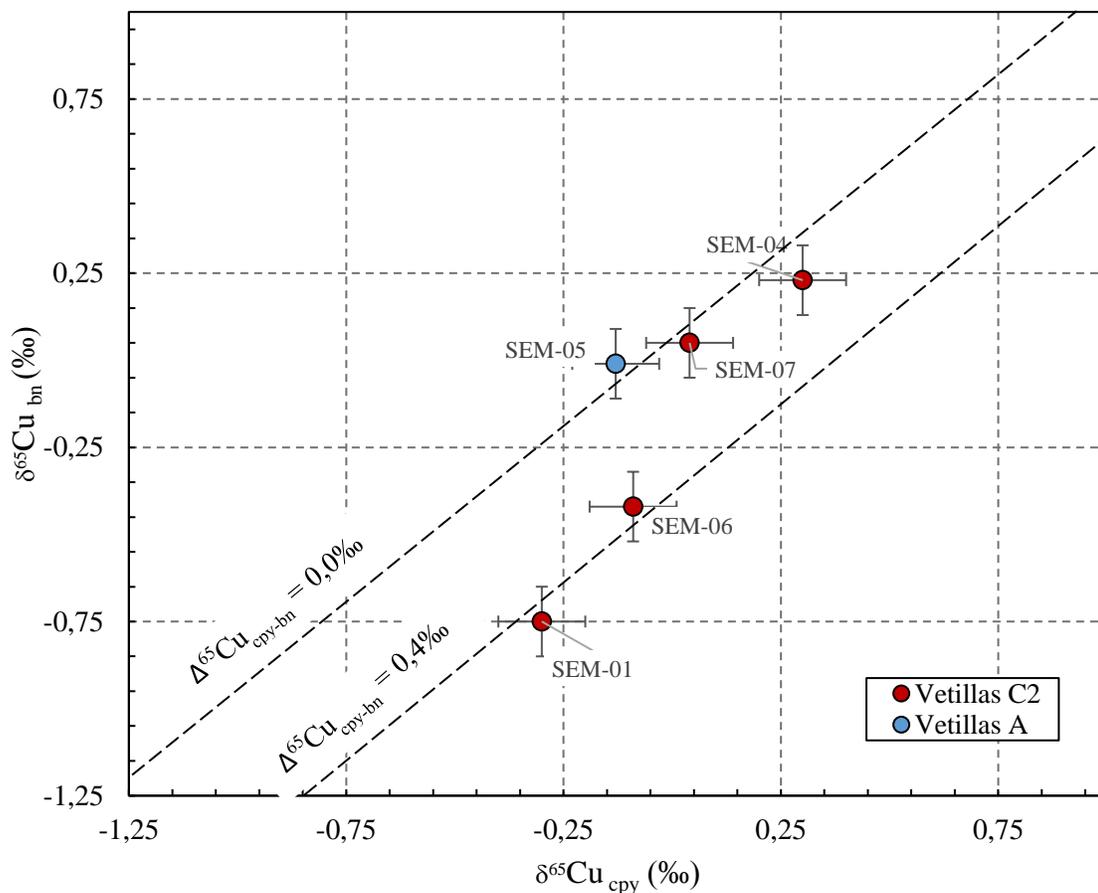


Figura 5.15: Valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcopirita (cpy) y bornita (bn) en vetillas C2 y A.

**Tabla 5.2:** Resultados obtenidos de las mediciones de las razones isotópicas de Cu en vetillas y brechas hidrotermales.

Evento	Vetilla/ brecha	Sondaje	Muestra	Altura (m s n.m)	Distancia brecha	Roca huésped	Alteración Hidrotermal1	Alteración Hidrotermal 2	Asociación sulfuros	%Cu	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{cpy}}$	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{bn}}$	$\delta^{65}\text{Cu}_{\text{cs}}$
Temprano	A	LB170005	LB-13	3105	268	BSF	Potásica	ser-arc/ chl- epi	cpy-bn-py	1,15	-	-	-
		LB170005	LB-14	3113	247	BSF	Potásica	ser-arc/ chl- epi	cpy-bn- py/bn/cv	0,78	-	-	-
		LB150032	SEM-05	2247	286	BSF	Potásica	SGV	cpy-bn- moli	0,5	-0,13	-0,01	-
		LB150032	SEM-03	2317	288	BSF	Potásica	SGV	cpy-bn	0,85	-0,18	-0,26	-
		MO-105	SEM-19	3205	242	BX BT	Potásica	chl-epi	cpy-bn/cv- cs	0,38	1,26	-	-
		MO-105	SEM-20	3311	154	BSF	Potásica	chl-epi	bn-cpy	0,6	0,64	-	-
	C3A	LB160034	LB-23	2474	795	BSF	alb-chl-epi	-	cpy-py	0,06	-	-	-
Transicional	B	LB170005	LB-15	3216	232	BSF	Potásica	ser-chl	cpy-moli	0,86	-	-	-
		LB160034	LB-10	2333	815	BX IGN	Potásica	chl-epi	cpy-moli	-0,03	-	-	-
	C2	LB150032	SEM-01	2240	289	BSF	SGV	-	cpy-bn	1,03	-0,3	-0,75	-
		LB150032	SEM-04	2295	286	BSF	SGV	-	cpy-bn	1,2	0,3	0,23	-
		LB150032	SEM-06	2260	285	BSF	SGV	-	cpy-bn	0,45	-0,09	-0,42	-
		LB150032	SEM-07	2276	285	BSF	SGV	-	cpy-bn	0,95	0,04	0,05	-
		LB150032	SEM-16	2295	288	BSF	SGV	chl	cpy-bn	1,2	0,00	-	-
		LB150032	SEM-17	2322	287	BX IGN	SGV	-	cpy	0,76	0,02	-	-
		MO-105	SEM-09	3166	275	BSF	SGV	ser/chl-epi	cpy-bn- mo/cv	0,62	1,22	-	-
		MO-105	SEM-22	3155	295	BSF	SGV	ser/chl-epi	cpy	0,49	2,09	-	-
		MO-105	SEM-21	3310	167	BSF	SGV	ser-chl	cpy-bn/cv	0,6	0,94	-	-
MO-105	SEM-18	3250	238	BSF	SGV	ser/chl-epi-cb	cpy	0,94	2,5	-	-		
		LB110063	SEM-45	3014,6	313	BSF	SGV	chl-epi	cpy-py	0,41	-	-	-

Transicional	C2	LB110063 SEM-46	3023,7	312	BSF	SGV	chl-ser	cpy-py	0,45	-	-
		LB120022 SEM-41	2983	0	BX	SGV	-	cpy-py	-0,14	-	-
		LB140178 LB-38	2191,2	0	BX BT	SGV	-	cpy-py	0,21	-	-
		LB140178 LB-39	2174,1	0	BXBT	SGV	-	cpy-py	0,44	-	-
		LB140178 LB-40	2159,8	0	BXBT	SGV	-	cpy-py	0,13	-	-
Tardío	BXT	LB14007 SEM-28	3807,8	0	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	-0,55	-	-
		LB14007 SEM-29	3834,3	0	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	-0,01	-	-
		LB14007 SEM-30	3821,7	0	-	ser-arc	-	cpy-py	0,7	-	-
		LB110044 SEM-43	3711,5	93	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	0,4	-	-
		LB120022 SEM-44	3054,2	0	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	0,1	-	-
	LB140032 SEM-35	3790,9	25	-	ser-chl-arc	-	cpy-py	0,29	-	-	
	DT	LB170005 LB-31	3296,4	229	BSF	ser-chl	-	cpy-py	0,39	-	-
		MO-105 SEM-08	3514	35	35	SCC	-	cpy-py	0	-	-
LB170005 LB-32		3307,7	242	BSF	ser-chl	-	cpy-py	0,29	-	-	
Supérgeno	D	LB140178 LB-33	3220,6	239	BSF	-	-	py/cs	-	-	0,47
		LB140178 LB-34	3218,2	253	BSF	-	-	py/cs	-	-	0,45
		LB140178 LB-36	3220,4	244	BSF	-	-	py/cs	-	-	0,15

<sup>a</sup> A = vetilla A; C3A= vetilla C3A; B= Vetilla B; C2= vetilla C2; BXT= brecha de turmalina; DT= vetilla DT; D= vetilla D.

<sup>b</sup> LB= Los Bronces; SEM= San Enrique Monolito.

<sup>c</sup> BSF= Batolito San Francisco; BXBT= Brecha biotita; BXIGN=brecha ígnea.

<sup>d</sup> cb= carbonato; chl= clorita; epi= epidota.

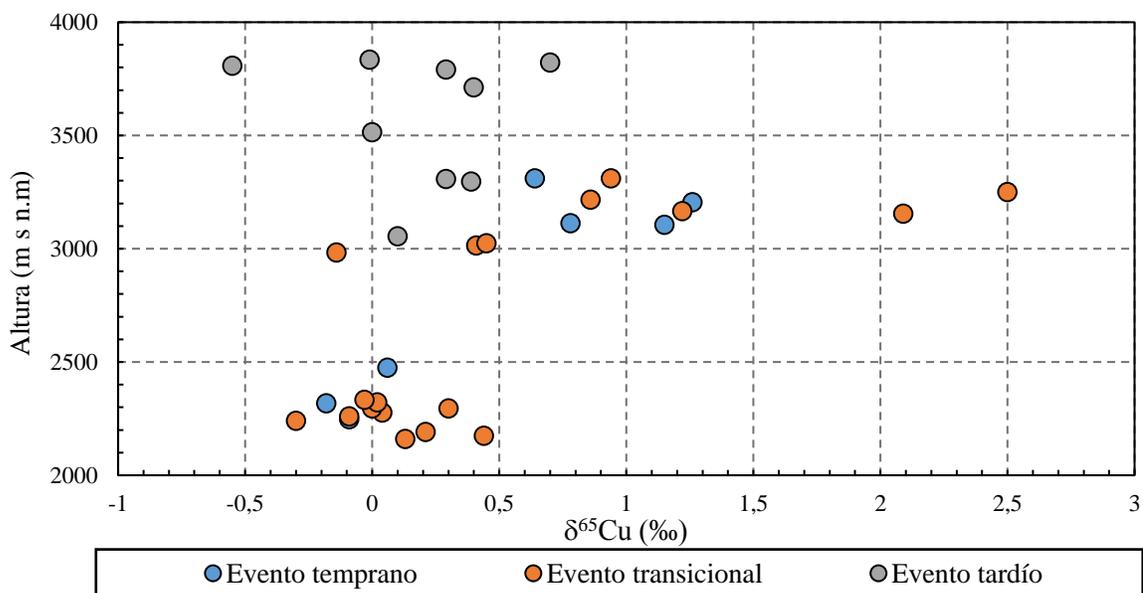
<sup>e</sup> bn= bornita; cpy= calcopirita; cs= calcosina; cv= covelina; mo= molibdenita; py= pirita.

### 5.2.2 VARIACIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES $\delta^{65}\text{Cu}$ EN CALCOPIRITA

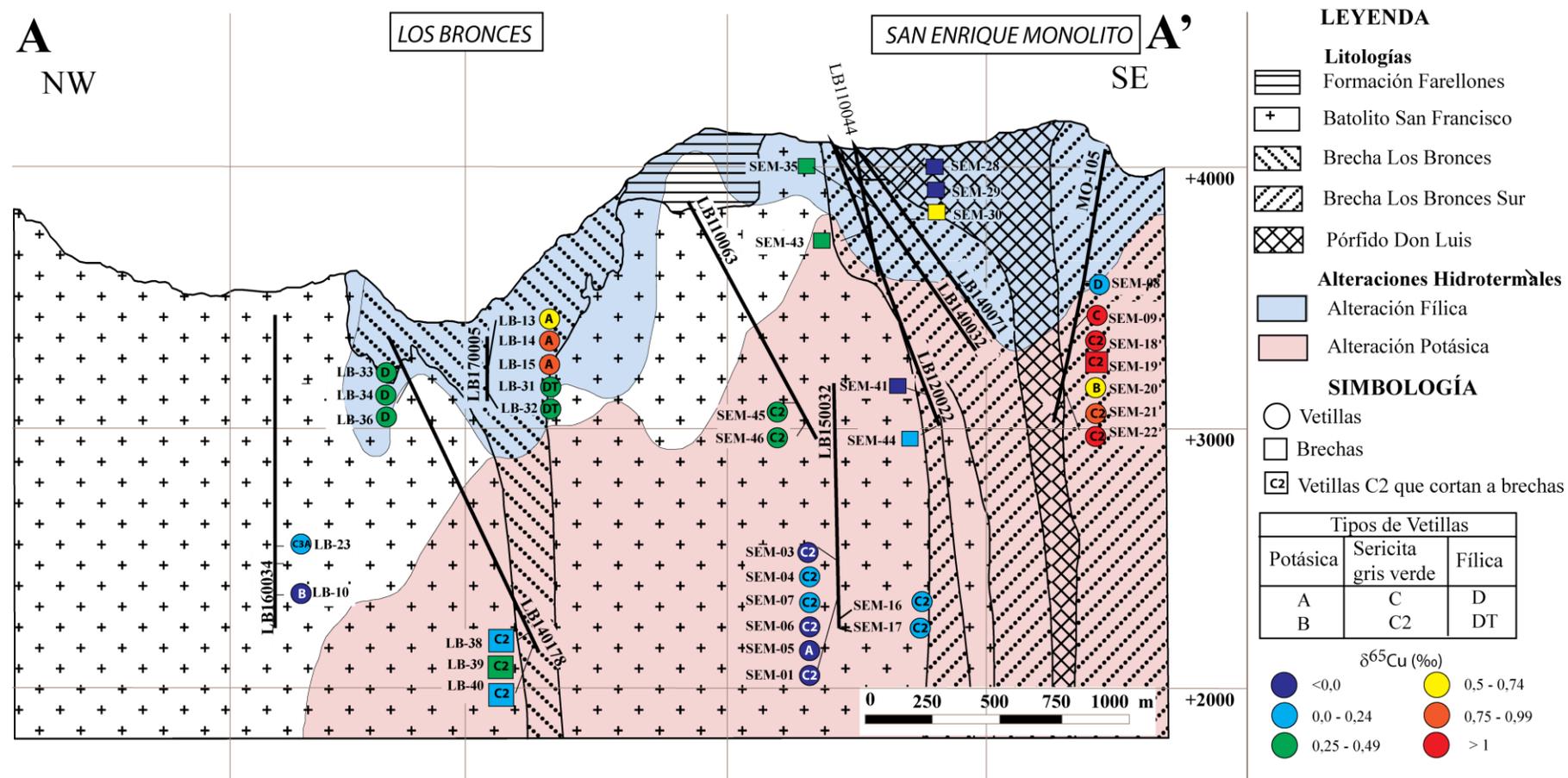
Se midieron las razones isotópicas de Cu en 34 muestras de calcopirita (10 muestras en Los Bronces y 24 en San Enrique Monolito). Los resultados se encuentran en la Tabla 5.2 y son proyectados en la Figura 5.17. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  fueron agrupados en función de la temporalidad de los eventos de alteración-mineralización y fueron graficados en función de la profundidad, distancia y leyes de Cu (Figuras 5.16, 5.18 y 5.19).

#### 5.2.2.1 Variación de los valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en función de la profundidad

- Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  del evento temprano (vetillas A y C3A pertenecientes a la alteración potásica y calcosódica respectivamente), se encuentran en un rango de -0,3 a 1,26‰. Se puede observar que las partes más profundas de los sistemas hidrotermales exhiben firmas isotópicas de Cu livianas (-0,18 a 0,06‰) respecto a las partes más someras (0,64 a 1,26‰).
- Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  del evento transicional, (vetillas B- alteración potásica, C y C2 – alteración sericita gris verde), exhiben un rango de valores más amplio que el evento anterior. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se encuentran en un rango de -0,3 a 2,5‰. De la misma manera que el evento temprano, se observa una variación de las firmas isotópicas de Cu en función de la profundidad. Las partes más profundas de los sistemas hidrotermales presentan valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  que van desde -0,3 a 0,44‰ y cercano a la superficie, de -0,14 a 2,5‰.
- Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  del evento tardío (vetillas cpy-chl-qz –alteración SCC; vetillas D y DT y brechas hidrotermales de turmalina – alteración filica); se encuentran en un rango de -0,7 a 0,55‰. La mayoría de estos valores son isotópicamente livianos respecto a los eventos temprano y transicional de las partes más someras.



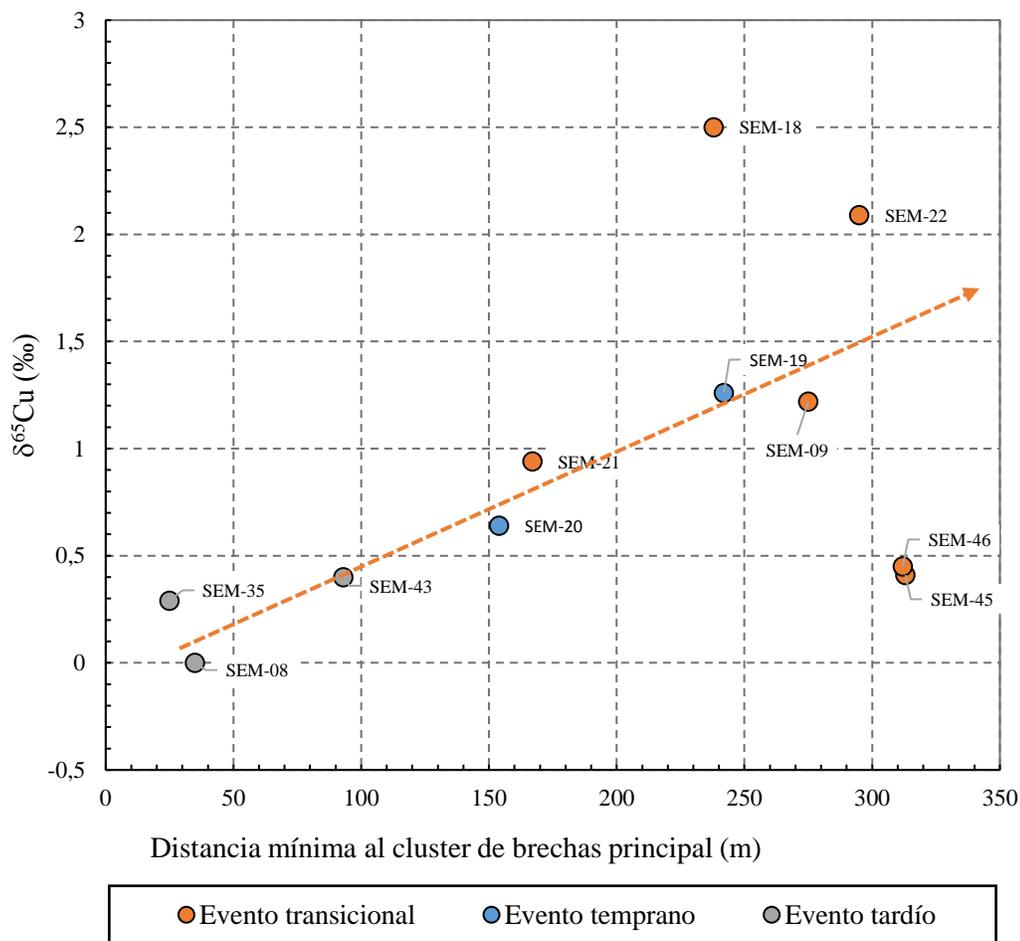
**Figura 5.16:** Variación de las firmas isotópicas de Cu de los diferentes eventos de alteración – mineralización en función de la profundidad



**Figura 5.17:** Perfil NW-SE con la ubicación de las muestras de vetillas y brechas hidrotermales. Los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  son representados cualitativamente con colores fríos a cálidos a medida que las firmas isotópicas de Cu son más pesadas.

### 5.2.2.2 Variación de los valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en función de la distancia al clúster de brechas principal.

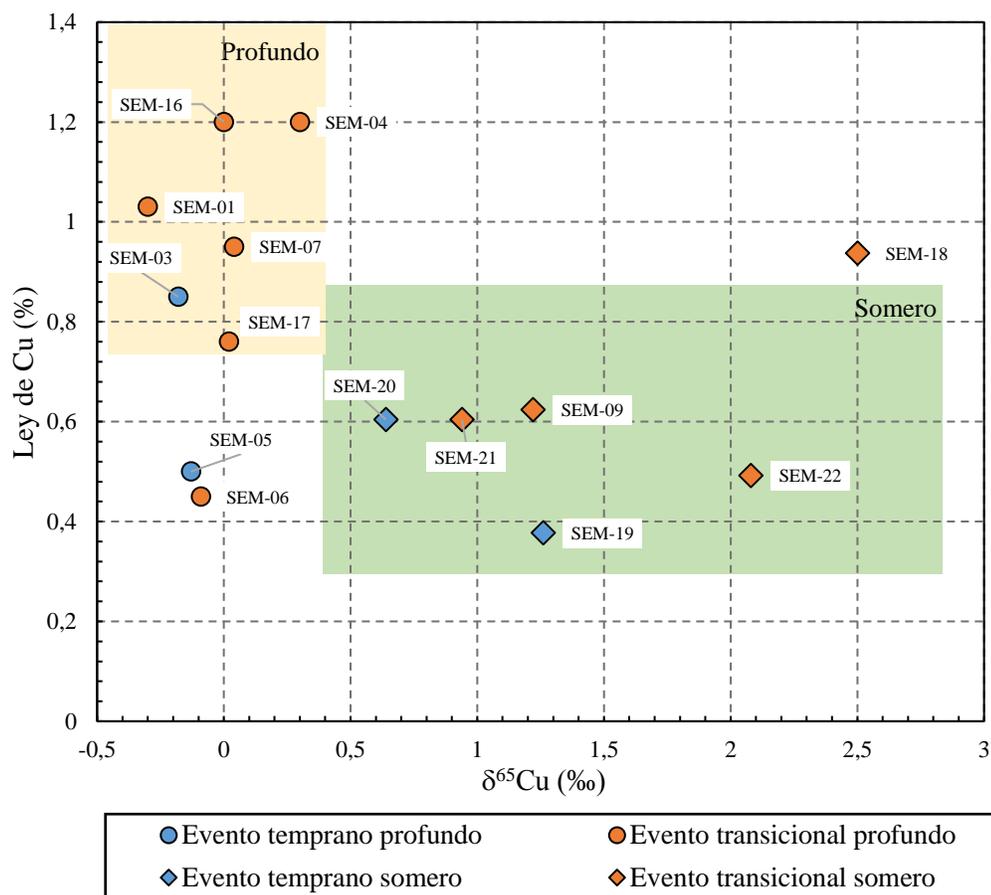
En la Figura 5.18 se puede observar que en el sector San Enrique Monolito ocurre una variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de las vetillas en relación a la distancia mínima al clúster de brechas principal. Se puede apreciar que a medida que aumenta la distancia, las firmas isotópicas de cobre se vuelven progresivamente más pesadas.



**Figura 5.18:** Variación de las firmas isotópicas de Cu en función a su distancia mínima al clúster de brecha principal en la zona somera del sector San Enrique Monolito.

### 5.2.2.3 Variación de los valores $\delta^{65}\text{Cu}$ en función de las leyes de Cu.

La Figura 5.19 correlaciona los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función de las leyes de Cu. En esta se puede observar que en general las firmas isotópicas de Cu livianas se asocian a altas leyes de Cu y las más pesadas a muestras con menor ley. Además, el porcentaje de Cu se reduce a medida que disminuye la profundidad. Por lo tanto, se observa una relación directa entre las firmas isotópicas de Cu, la profundidad y las leyes de Cu, en la cual a medida que la profundidad disminuye, las leyes de Cu son progresivamente menores con valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  más pesados.



**Figura 5.19:** Variación de las firmas isotópicas de Cu en función de la ley de Cu.

A modo de resumen de los resultados obtenidos, se observa una correlación de las firmas isotópicas de Cu en función de la profundidad, distancia mínima al clúster de brechas principal y leyes de Cu (Figura 5.20). En las partes más profundas del sistema (ley de Cu  $>0,7\%$ ), los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se encuentran en un rango acotado cercano al  $0,0\%$ . Hacia la superficie (ley de Cu  $<0,7\%$ ), los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  son relativamente más pesados respecto las partes más profundas. Además, se observa una variación lateral de las firmas isotópicas de cobre en función de la distancia al clúster de brechas principal, en la que a medida que aumenta la distancia, los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se vuelven isotópicamente más pesados.

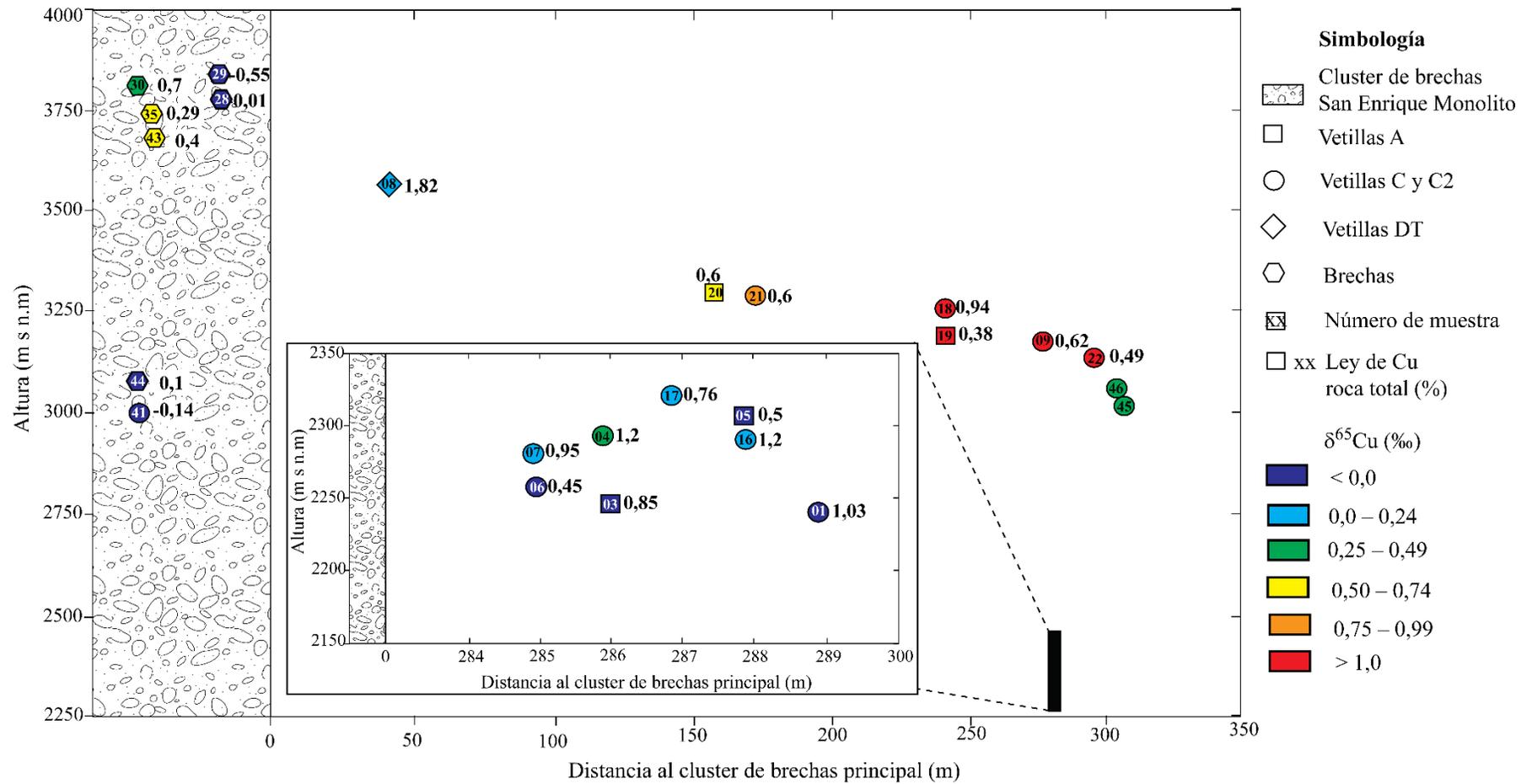
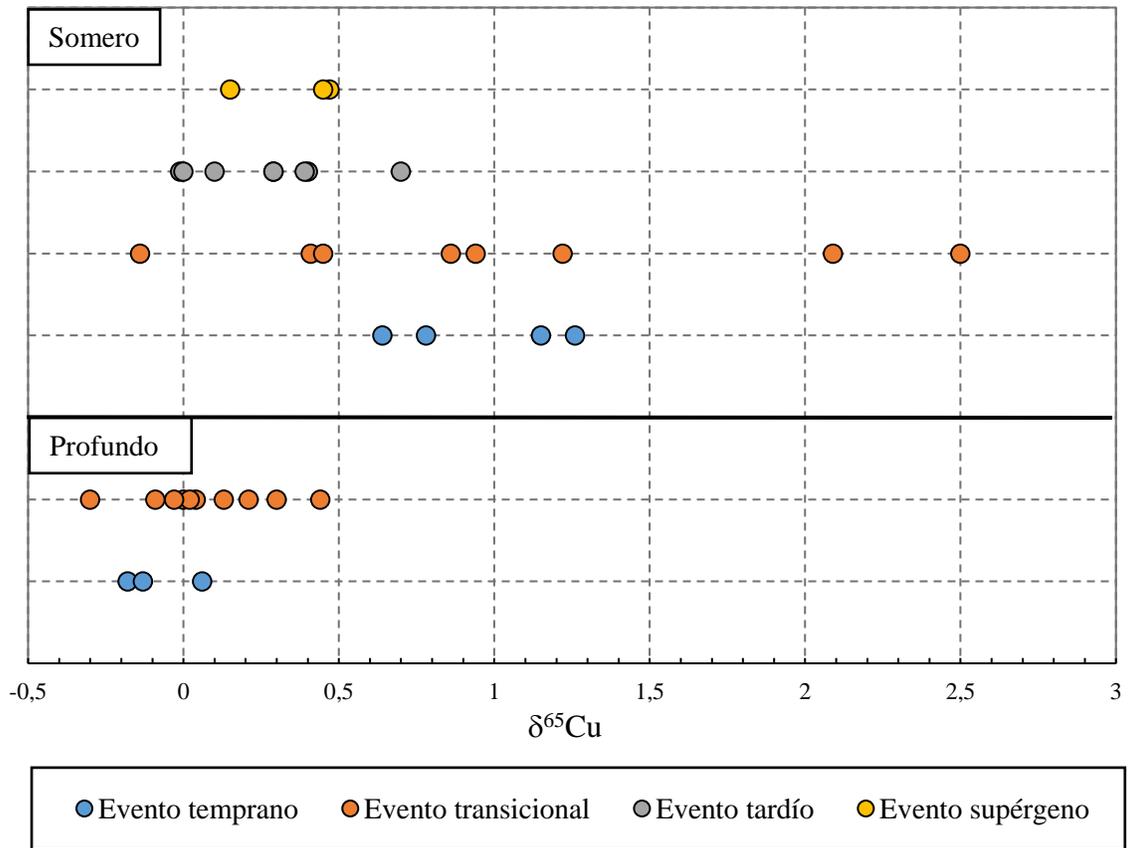


Figura 5.20: Variación de las firmas isotópicas de Cu en función de la distancia mínima al cluster de brecha y la profundidad.

5.2.3 VALORES  $\delta^{65}\text{Cu}$  EN CALCOSINAS SUPÉRGENAS

En la Figura 5.21 se presentan los intervalos de firmas isotópicas de los sulfuros de Cu asociados a los eventos de mineralización hipógena (temprano, transicional y tardío); como a la precipitada en un ambiente supérgeno (calcosina). De las tres muestras de calcosina secundaria, los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se encuentran en un rango acotado de 0,15 a 0,47‰, valores típicos de ambiente hipógeno.



**Figura 5.21:** Variación de las firmas isotópicas de Cu de los distintos eventos hidrotermales en las partes someras y profundas.

## 6 DISCUSIONES

### 6.1 ALTERACIÓN HIDROTHERMAL, TIPOS DE VETILLAS Y TEMPORALIDAD DE EVENTOS.

A partir de las descripciones petrográficas se identificó la mineralogía de alteración - mineralización, los tipos de vetillas y brechas hidrotermales, para definir así, la temporalidad de los eventos. Se distinguieron tres eventos de alteración y mineralización en la formación de la mineralogía hipógena de los sistemas hidrotermales: i) evento temprano, el cual abarca las alteraciones potásica y calcosódica; ii) evento transicional, que comprende la alteración sericita gris verde y vetillas B; iii) evento tardío, relacionado a las alteraciones cuarzo-sericita y SCC.

La alteración potásica con asociación mineral biotita – feldespato potásico – anhidrita – cuarzo se encuentra de manera pervasiva en la roca huésped a partir de la biotitización de biotitas magmáticas y reemplazo de plagioclasas por feldespato potásico. La mineralización de calcopirita-bornita se encuentra asociada a brechas hidrotermales de biotita y polvo de roca, vetillas EB, EBT y A, en orden cronológico, según relaciones de corte observadas. Esta alteración ocurre a pH neutro a alcalino y a temperaturas por sobre los 350°C (Corbett and Leach, 1998; Sillitoe, 2010).

La alteración calcosódica se caracteriza por una albitización de plagioclasas junto con una cloritización y epidotización de minerales máficos. La mineralización de calcopirita y pirita se encuentra asocia a las vetillas C3A. No se observa una relación temporal entre las vetillas A, EB y EBT. Sin embargo, en algunos casos se ha encontrado una asociación mineral híbrida entre las alteraciones calcosódica y potásica, ubicando a la alteración calcosódica en las etapas tempranas de la formación del pórfido Cu – Mo (Sillitoe, 2010). Las condiciones fisicoquímicas de los fluidos mineralizadores son principalmente de pH neutro a alcalino y temperatura de 400°C a 800°C (Corbett and Leach, 1998).

La alteración sericita gris verde está compuesta por la misma asociación mineral que representa a la alteración potásica, (biotita – feldespato potásico – anhidrita – cuarzo), pero que además contiene sericita/muscovita. Esto indica un ambiente hidrolítico de alta temperatura y representa un ambiente transicional entre las alteraciones potásica y fílica. La mineralización se asocia a vetillas C y C2. Estas vetillas son posteriores a las vetillas de cuarzo tipos A y B, y pre-datan la formación de vetillas con relleno de pirita y halos de sericita blanca tipo D (Gustafson and Hunt, 1975; Figura 5.14).

Hacia superficie, las alteraciones mencionadas son sobreimpuestas por las alteraciones fílica y SCC (evento tardío). Estas alteraciones hidrotermales son originadas por fluidos hidrotermales de pH más ácidos (4 – 5) y temperatura <350°C (Corbett and Leach, 1998). Se caracterizan por una sericitización de plagioclasas y feldespatos potásicos (primarios y secundarios). La diferencia entre ambas alteraciones es principalmente por el porcentaje de arcillas presentes en la muestra, con un mayor contenido en las muestras SCC. La mineralización asociada a la alteración SCC es en vetillas chl-ser-qz, en la alteración fílica a vetillas D, DT y brechas hidrotermales de turmalina. Mediante relaciones de corte, las vetillas DT son co-genéticas a las vetillas D y son más jóvenes que las brechas de turmalina.

Finalmente, las zonas cercanas a la superficie en el sector Los Bronces, se identificó un incipiente evento supérgeno asociado con la precipitación de calcosina secundaria sobre piritas del relleno de vetillas D.

## 6.2 ISÓTOPOS DE Cu

### 6.2.1 FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO EN AMBIENTE SUPÉRGENO

En el sector Los Bronces se midieron las razones isotópicas de Cu en tres muestras de sulfuros provenientes de vetillas D, con mineralización en pátina de calcosina asociadas a un proceso supérgeno. El rango de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  va de 0,15 a 0,47‰. Estos se encuentran dentro del rango de valores asociados a la mineralización hipógena. Estudios realizados en variados yacimientos con perfiles supérgenos desarrollados, muestran que los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en calcosina secundaria exhiben signaturas pesadas respecto a la mineralogía hipógena con un valor promedio  $\delta^{65}\text{Cu} = +1.9 \pm 1.8\text{‰}$  ( $n=182$ ;  $1\sigma$ ; Mathur et al., 2018). Las signaturas más pesadas son producto de la reiteración de múltiples ciclos supérgenos, donde la lixiviación de los sulfuros de Cu genera fluidos cada vez más pesados, resultando en la precipitación de una calcosina isotópicamente pesada.

En Río Blanco – Los Bronces los efectos de lixiviación y enriquecimiento supérgeno son mucho menos prominentes que en el norte de Chile. Por lo tanto, los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de las calcosinas secundarias son consistentes con un enriquecimiento secundario poco desarrollado, característico de los pórfidos Mio-Pliocenos de Chile Central (Serrano et al., 1996).

### 6.2.2 FRACCIONAMIENTO ISOTÓPICO EN AMBIENTE HIPÓGENO

En sistemas hidrotermales de alta temperatura, el fraccionamiento isotópico ocurre en equilibrio el cual es causado por diferencias en las energías de enlace entre las diferentes fases en las que pueden estar presentes en un sistema, con la partición del isótopo más pesado hacia la fase que presente el enlace de mayor energía (Schauble, 2004). En un pófido cuprífero el cobre puede existir en tres fases: vapor (gas), salmuera (líquido) y sulfuro (sólido), por lo que un fraccionamiento isotópico en equilibrio puede ocurrir: i) Por separación de fases; ii) Precipitación; y iii) Entre sulfuros co-precipitados.

#### 6.2.2.1 Fraccionamiento isotópico entre fases minerales

Los resultados de las razones isotópicas de Cu en calcopirita y bornita pertenecientes a vetillas A y C2 (5 muestras en total) se encuentran graficados en la Figura 5.15. Se observa que en 3 muestras no existe un fraccionamiento isotópico entre ambas fases minerales. Sin embargo, las muestras restantes exhiben un factor de fraccionamiento isotópico ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{calcopirita-bornita}}$ ) de 0,4%, indicando que en estas muestras el  $^{65}\text{Cu}$  se particiona preferencialmente en la calcopirita.

La diferencia entre los factores de fraccionamiento en vetillas A y C2 se atribuye a que no todos los pares minerales de calcopirita-bornita se encuentran en equilibrio. Las muestras que no evidencian un fraccionamiento entre fases minerales, se encuentran reactivadas y se pudo distinguir más de un pulso de mineralización. Por otro lado, las muestras de vetillas donde la calcopirita y la bornita fueron co-precipitadas, presentan distintos valores de  $\delta^{65}\text{Cu}$  y por lo tanto se evidencia un

fraccionamiento entre ambas fases. Este factor de fraccionamiento es de 0,4‰ y es similar a los resultados obtenidos por Maher and Larson (2007). En dicho estudio se establece un factor de fraccionamiento isotópico de 0,38‰ ( $\pm 0,04\%$ ,  $1\sigma$ ) entre pares minerales de calcopirita y bornita en equilibrio. De acuerdo a lo anterior, es posible concluir que en sistemas hidrotermales de alta temperatura ocurre un fraccionamiento isotópico de Cu entre fases minerales sulfuradas co-precipitadas.

### 6.2.2.2 Causas de la variación espacial de las razones $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$

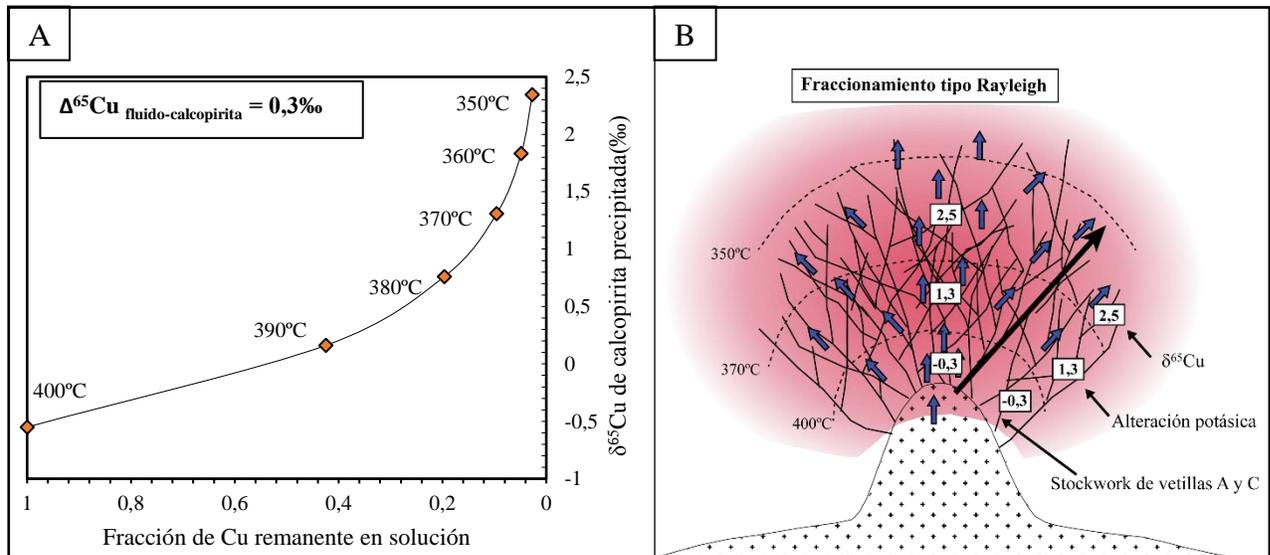
En el área de estudio se observa un patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función de la distancia mínima al clúster de brechas principal y la profundidad, como también una correlación con las leyes de Cu en roca total (Figura 5.20). En general, en las partes más profundas del sistema (mayor ley de Cu), los valores de  $\delta^{65}\text{Cu}$  de los eventos temprano y transicional se encuentra entre -0,3 a 0,5‰. En las partes más someras ambos eventos (temprano y transicional) poseen valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  entre 0,5 a 2,5‰. Estos valores son más pesados que en profundidad y, a la vez, más pesados que el evento tardío (-0,7 a 0,55‰). Adicionalmente, en el sector San Enrique Monolito se observa una variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  respecto a la distancia mínima del clúster principal (Figura 5.18).

La distribución espacial de valores de  $\delta^{65}\text{Cu}$  de los eventos de mineralización temprana y transicional, evidencia que estos valores parecen estar condicionados por la profundidad, presenciándose así dos poblaciones de datos. En las partes más someras, ambos eventos son isotópicamente más pesados respecto a los valores medidos en profundidad. La presencia de estas dos poblaciones de datos podría explicarse por la sobreimposición del evento fílico asociado al emplazamiento de las brechas hidrotermales. Adicionalmente, el hecho de que se observe, en las partes más someras, una variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función a la distancia al clúster de brechas principal (signaturas más pesadas a medida que aumenta la distancia) constituye un argumento a favor de lo anterior (ver más adelante). Los mecanismos propuestos para explicar dicha distribución espacial de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  son la precipitación y separación de fases integrados en un modelo de reactivación de vetillas.

#### i) Fraccionamiento isotópico de Cu por precipitación

La variación de las signaturas isotópicas en función de la profundidad observada en los eventos temprano y transicional, puede ser interpretada como un fraccionamiento isotópico entre los fluidos mineralizadores y la calcopirita precipitada durante el enfriamiento. En dicho proceso el isótopo liviano ( $^{63}\text{Cu}$ ) se incorpora preferentemente en la calcopirita. En la medida que los fluidos hidrotermales ascienden y se alejan de la fuente de calor, se van enfriando y conlleva a la precipitación de Cu. En base un modelo de fraccionamiento tipo Rayleigh utilizando la metodología presentada por Li et al. (2010) y los datos de solubilidad de calcopirita publicados por Hezarkhani et al. (1999), se determina un factor de fraccionamiento ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluido-calcopirita}}$ ) de 0,3‰ (Figura 6.1A). De acuerdo a lo anterior, las signaturas isotópicas de Cu en el fluido hidrotermal se vuelven progresivamente más pesadas en la medida que la precipitación transcurre, generando una zonificación de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  (Figura 6.1B).

En la Figura 6.1 se observa que la concentración de Cu decae exponencialmente con la temperatura. Según el modelo utilizado, entre los 400°C y 390°C se precipita ~60% del cobre en solución y a los 350°C solo queda ~0,2% del Cu total. No obstante, en el área de estudio la variación de las leyes de Cu en función de la profundidad (temperatura) no es considerable (Figura 5.19) y no se ajusta al modelo propuesto (Figura 6.1a). Esto se atribuye a la simplificación del modelo, puesto que este solo considera la evolución de un único fluido y el mega depósito Río Blanco – Los Bronces es un sistema complejo formado a partir de la superposición de múltiples eventos (Serrano et al., 1996; Vargas et al., 1999). Por esta razón, un modelo basado en el fraccionamiento del tipo Rayleigh no expone, por sí sólo, la distribución espacial de las firmas isotópicas de Cu.



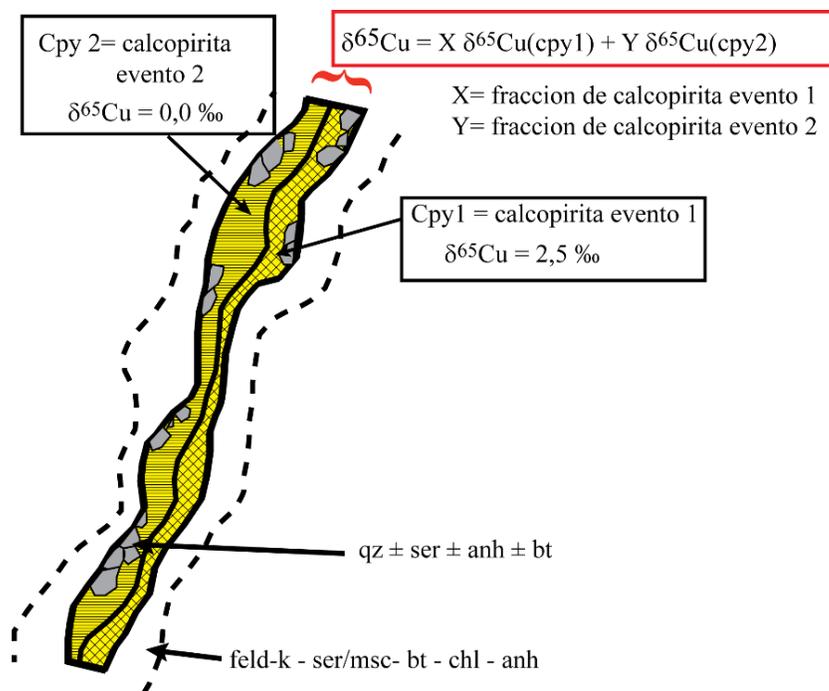
**Figura 6.1:** (A) Modelo de fraccionamiento del tipo Rayleigh de la composición isotópica de la calcopirita precipitada a partir de un fluido hidrotermal en enfriamiento. Datos de solubilidad de Cu son tomados de Hezarkhani et al. (1999). Los rombos corresponden a las firmas isotópicas de las calcopiritas precipitadas en pasos de enfriamiento de 10°C a partir de los 400°C hasta los 350°C. Factor de fraccionamiento  $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{fluido-calcopirita}} = 0,3 \text{‰}$  y una composición inicial de la calcopirita precipitada de  $-0,3 \text{‰}$ . (B) Variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  mediante un fraccionamiento Rayleigh por disminución de la temperatura.

El fraccionamiento tipo Rayleigh explica entonces las variaciones de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  observados en función de la profundidad, sin embargo, no explica (1) la presencia de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  livianos de las partes más someras, (2) la variación lateral desde la brecha hacia las partes más distales, ni (3) la poca diferencia de leyes entre las partes someras y profundas.

Para explicar entonces la variación de las firmas isotópicas en superficie que no se ajustan al modelo de fraccionamiento isotópico tipo Rayleigh, se propone un modelo basado en múltiples pulsos de mineralización. Lo anterior se ve reflejado directamente en la reactivación de vetillas por fluidos mineralizadores de diferentes condiciones fisicoquímicas e isotópicamente distintos.

### Modelo de múltiples pulsos de mineralización: reactivación de vetillas

Como se mencionó anteriormente, la mineralización de Cu en Río Blanco – Los Bronces es precipitada a partir de varios pulsos de alteración-mineralización. Tal superposición de eventos es evidenciado en la petrografía, en la cual algunas vetillas es clara su reactivación, indicando que existen más de una población de sulfuros de Cu (Figura 5.4A; Figura 5.7A, E; Figura 5.8E-F). Por lo anterior, es probable que dentro de una misma vetilla coexistan calcopiritas con firmas isotópicas distintas, de eventos distintos; por lo que el valor  $\delta^{65}\text{Cu}$  medido correspondería a un promedio ponderado de las firmas isotópicas de cada población de calcopiritas (Figura 6.2). Entonces, la variación lateral creciente de las firmas isotópicas de Cu desde la brecha hacia las zonas más distales se explica mediante la reactivación de vetillas en conjunto con otros mecanismos que serán explicados más adelante. Además, la precipitación sucesiva de calcopirita y/o bornita dentro de una misma vetilla (del evento temprano o transicional), explicaría la poca variación de leyes que existe entre las partes profundas (400°C) y someras (350°C).



**Figura 6.2:** Ilustración de una vetilla C2 reactivada. Se ilustra la precipitación de dos poblaciones de calcopirita de distinta firma isotópica.

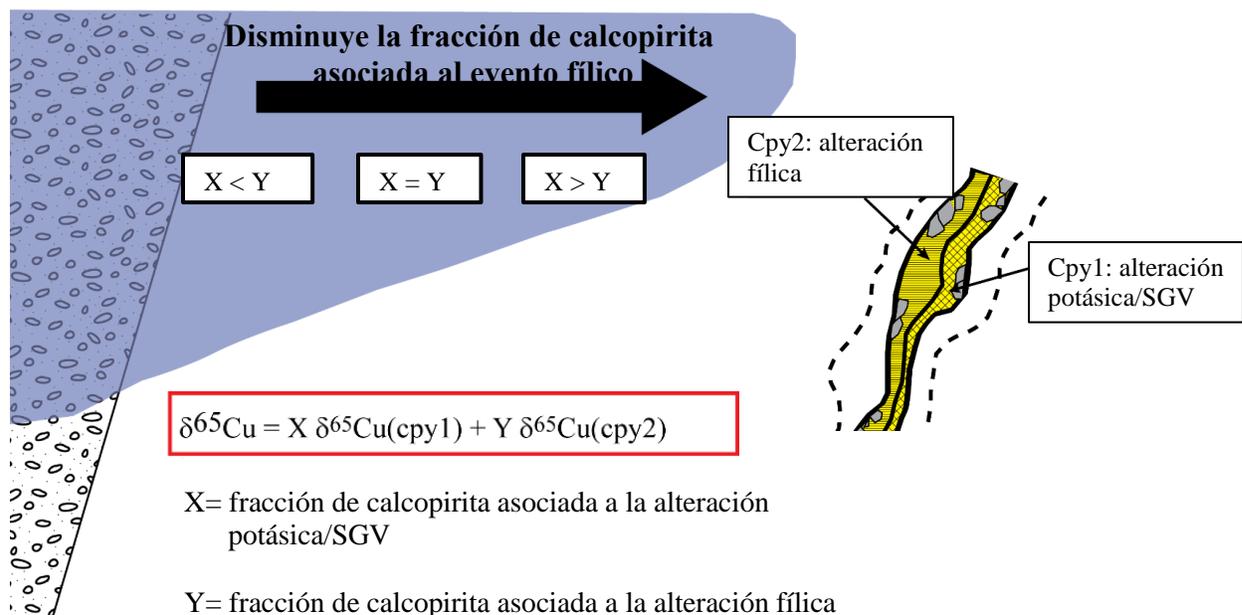
#### ii) Fraccionamiento isotópico por separación de fases

De acuerdo a datos experimentales y de terreno, otro de los factores que controla el fraccionamiento isotópico de Cu es el pH (Maher et al., 2011, Dendas, 2012, Gregory and Mathur, 2017). Este parámetro fisicoquímico genera un fraccionamiento isotópico durante la separación de las fases producto de la ebullición (Gregory and Mathur, 2017). Estudios experimentales, determinaron que durante la separación de fases el  $^{63}\text{Cu}$  migra preferencialmente a la fase vapor (Maher et al., 2011; Rempel et al., 2012). Sin embargo, este fraccionamiento también depende de la temperatura del fluido hidrotermal. En un rango entre 200°C y 300°C, y pH entre 4-7, puede ocurrir un fraccionamiento de hasta 1‰.

En Río Blanco – Los Bronces los fluidos mineralizadores asociados al evento tardío son de menor temperatura y pH más ácidos que los eventos anteriores. El origen de estos fluidos son principalmente magmáticos, dominados por una fase vapor condensada por la interacción con aguas meteóricas (Vargas et al., 1999). Por ende, de acuerdo a los resultados obtenidos por Maher et al. (2011), dicho vapor condensado es enriquecido en el isótopo liviano y se propaga lateralmente por medio de las vetillas pre-existentes asociadas a los eventos temprano y transicional. La fracción de calcopirita precipitada en el relleno de las vetillas disminuye en la medida que aumenta la distancia al clúster de brechas principal (Figura 6.3). Además, en la medida que este vapor condensado se va alejando del cuerpo de brechas, su temperatura disminuye con la consecuente precipitación de cobre. De acuerdo al modelo de fraccionamiento tipo Rayleigh, este fluido mineralizador (y las calcopiritas precipitadas a partir de este) va evolucionando isotópicamente a firmas de Cu más pesadas.

A modo de resumen de lo discutido anteriormente, la variación de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  cercano a la superficie se explica por los siguientes mecanismos:

- (i) Reactivación de vetillas preexistentes y propagación lateral de fluidos hidrotermales asociados al evento tardío, los cuales se encuentran enriquecidos en el isótopo  $^{63}\text{Cu}$  (modelo de reactivación de vetillas; Figura 6.2; Figura 6.3).
- (ii) Disminución de la fracción de sulfuro precipitado por dicho evento en la medida que aumenta la distancia al clúster de brechas principal (Figura 6.3).
- (iii) Fraccionamiento isotópico del tipo Rayleigh a medida que disminuye la temperatura.



**Figura 6.3:** Modelo de reactivación de vetillas. Representación esquemática de la variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  a partir de la superposición del evento fílico asociado al emplazamiento de las brechas hidrotermales de turmalina (enriquecido en  $^{63}\text{Cu}$ ).

### 6.2.2.3 Modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu en San Enrique Monolito

A partir de los mecanismos discutidos anteriormente es posible postular un modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu (Figura 6.4). Este modelo es complementado con la información geológica recopilada del área de estudio, como también con el modelo clásico de la formación de un depósito del tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010; Kouzmanov and Pokrovski, 2012).

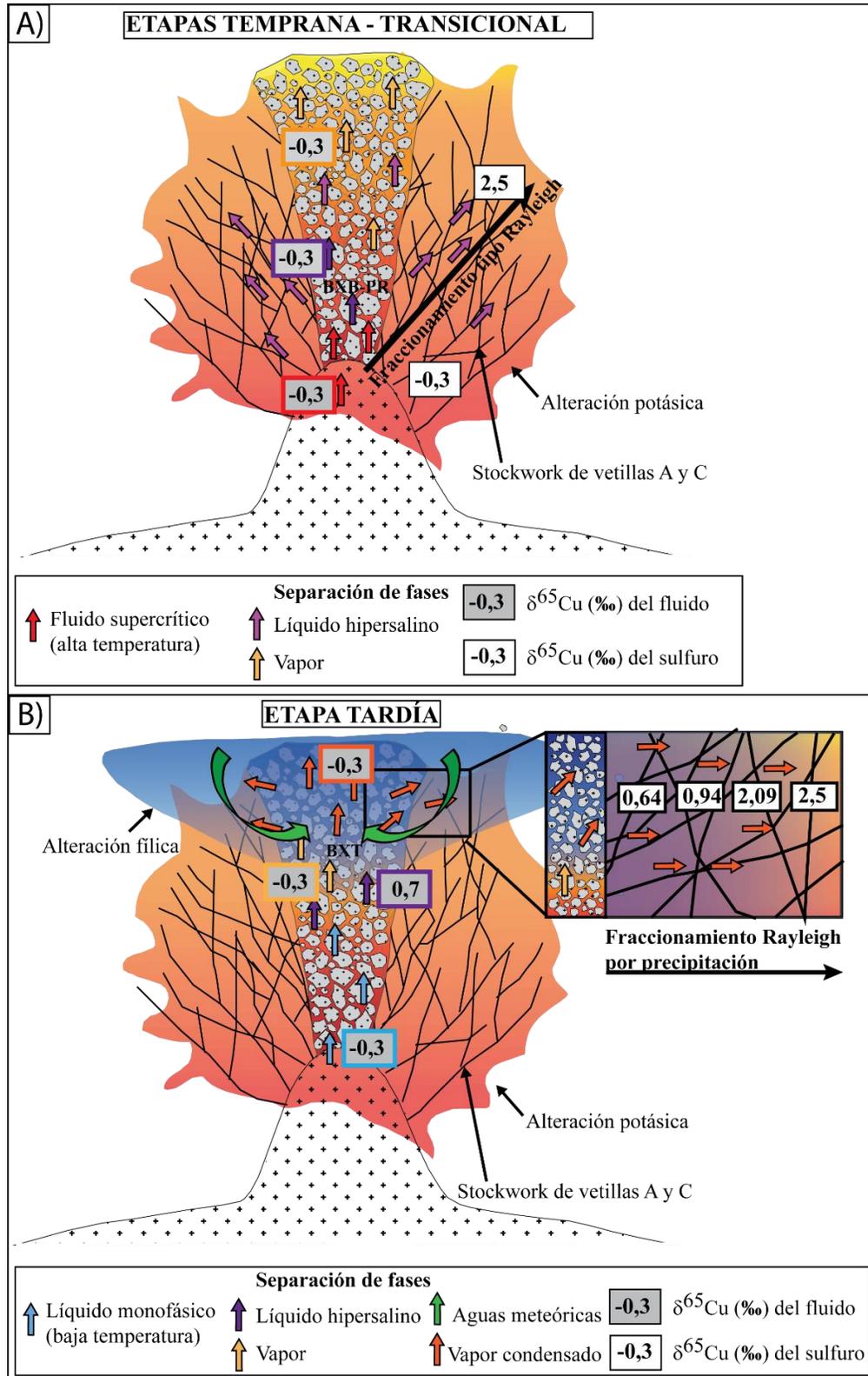
#### i) **Etapas temprana y transicional: Brechas de biotita con polvo de roca – stockwork de vetillas A – vetillas C y C2.**

En las etapas tempranas de la formación de un pórfido cuprífero a altas temperaturas un fluido monofásico de baja salinidad es exsuelto en la cúpula de la cámara magmática en profundidad. La composición isotópica de estos fluidos son similares a la del magma parental (-0,3 a 0,3‰; Li et al., 2009). Una vez que la presión de los fluidos supera la presión confinante de la roca caja, se produce un fracturamiento hidráulico, que permite la liberación de los fluidos hidrotermales.

A medida que estos fluidos magmáticos monofásicos ascienden se produce la ebullición de estos. Ahí se genera un fluido hipersalino denso y una fase vapor de baja densidad (Figura 6.4A; Sillitoe, 2010). El líquido hipersalino, por su alta densidad no migra hacia superficie y por lo tanto se acumula en el lugar donde ocurre la separación de fases; mientras que la fase vapor asciende hacia superficie por su baja densidad (Kouzmanov and Pokrovski, 2012). En Río Blanco – Los Bronces, la temperatura de ebullición es  $>400^{\circ}\text{C}$  (Vargas et al., 1999) y bajo esas condiciones, el fraccionamiento isotópico es despreciable (Rempel et al., 2012). Por lo tanto, en el núcleo potásico, tanto la fase vapor como el líquido hipersalino poseen firmas isotópicas similares (Figura 6.4A). A medida que estos fluidos ascienden y disminuyen su temperatura, la solubilidad del Cu decrece de manera exponencial y va precipitando. Durante este proceso ocurre un fraccionamiento isotópico del tipo Rayleigh por precipitación, en el que el  $^{63}\text{Cu}$  se incorpora preferencialmente en el sulfuro precipitado. Esto implica que a medida que ocurre la precipitación, el fluido hidrotermal se va enriqueciendo en  $^{65}\text{Cu}$  y las firmas de las calcopirita precipitadas se vuelven progresivamente más pesadas (Figura 6.1A, B). A partir de lo anterior se forma un núcleo con firmas livianas y un caparazón de firmas más pesadas (Figura 6.1B, Figura 6.4A).

#### ii) **Etapa tardía: brechas hidrotermales de turmalina**

A medida que el sistema progresivamente se enfría, la exsolución de los volátiles se genera a una mayor profundidad (Kouzmanov and Pokrovski, 2012). Se liberan fluidos de menor temperatura ( $350^{\circ}\text{C}$  a  $250^{\circ}\text{C}$ ), salinidad moderada (Kouzmanov and Pokrovski, 2012). A medida que este asciende vuelve a ebullición generando un fluido hipersalino y una mayor proporción de la fase vapor (Williams-Jones and Migdisov, 2014; Vargas et al., 1999). Las condiciones fisicoquímicas son favorables para un fraccionamiento por separación de fases; con la fase vapor enriquecida en  $^{63}\text{Cu}$  (Maher et al., 2011). La interacción con las aguas meteóricas genera una condensación de la fase vapor. Estos fluidos hidrotermales, enriquecidos en el isótopo liviano, se propagan de manera ascendente y lateral, por medio de estructuras preexistentes (Figura 6.4B). Paralelamente, en la medida que estos fluidos se alejan de la fuente de calor (clúster de brechas), se van enfriando y, por ello, van precipitando sulfuros mediante un fraccionamiento isotópico del tipo Rayleigh, con el  $^{63}\text{Cu}$  incorporándose preferentemente en la fase sulfurada.



**Figura 6.4:** (A) Fraccionamiento isotópico durante las etapas temprana y transicional del sistema hidrotermal San Enrique Monolito, asociado principalmente a un fraccionamiento por precipitación del tipo Rayleigh. (B) Fraccionamiento isotópico en la etapa tardía del sistema, asociado a un fraccionamiento por separación de fases, con un vapor enriquecido en  $^{65}\text{Cu}$  y, posteriormente, condensado; el cual reactiva las vetillas preexistentes.

### **Restricciones del modelo y sugerencias**

El modelo propuesto anteriormente explica la distribución de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en las vetillas asociadas a los eventos de mineralización temprano y transicional, en función a la profundidad y la distancia al núcleo del sistema (clúster de brechas hidrotermales). Dicha distribución se atribuye a la superposición de los eventos de alteración – mineralización. Los mecanismos propuestos que controlan el fraccionamiento isotópico de Cu son la precipitación y la separación de fases, controlados por el pH y la temperatura. No obstante, los resultados obtenidos en este estudio sólo abarcan el núcleo potásico, no hay datos de las razones  $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$  de la mineralización asociada a la alteración propilítica, por ende, el modelo propuesto no abarca la evolución del sistema hidrotermal en su totalidad. Además, la distribución espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se observó solamente en un centro hidrotermal, por lo tanto, no se logró observar la repetitividad del modelo. De acuerdo a lo anterior, es necesario realizar una medición sistemática de las razones isotópicas de Cu en función de ambas variables espaciales en otro centro hidrotermal e incluir datos del halo propilítico externo. De ese modo, se puede verificar si efectivamente ocurre este patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función de la profundidad y distancia al clúster de brechas principal., generando un aporte en la comprensión de los procesos involucrados en fraccionamiento isotópico de Cu, en sistemas hidrotermales de alta temperatura.

En este modelo se propone un proceso de reactivación de vetillas para explicar valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  determinados en calcopiritas que muestran firmas correspondientes a fluidos isotópicamente distintos, indicando que pudieron haber cristalizado durante eventos de mineralización diferentes. Para evidenciar lo anterior, se sugiere realizar nuevos estudios con métodos de caracterización mineral (e.g., SEM, LA-ICP-MS) que permitan distinguir inicialmente las distintas generaciones de calcopirita presentes en una misma vetilla, para seguidamente medir de manera puntual e “in-situ” las razones isotópicas de cobre.

En base a lo anteriormente expuesto, para profundizar en el conocimiento del sistema isotópico de Cu en sistemas hidrotermales de alta temperatura, se propone la siguiente metodología de trabajo:

#### **A. Selección de muestras**

Para observar la distribución espacial de las razones isotópicas de cobre la selección de muestras debe ser sistemática y planificada en función de la profundidad y la distancia al clúster de brechas principal (o desde el núcleo del sistema), abarcando todas las alteraciones hidrotermales reconocidas en el sistema en estudio y las diferentes zonas minerales definidas (Min-Zones). Se recomienda muestrear entonces las vetillas asociadas a las distintas alteraciones hidrotermales presentes, así como también muestras a lo largo de las brechas hidrotermales. Para el caso de Río Blanco – Los Bronces, se recomienda que tales muestras pertenezcan a un mismo evento de brecha y además, sea la brecha más joven presente en el clúster (e.g. Brecha Donoso en el sistema de brechas Los Bronces), debido a que la multiplicidad de eventos de brechización puede ser reflejado en las firmas isotópicas de Cu de los sulfuros presentes en la matriz de estas, aumentando la dificultad para su interpretación. Se debe de considerar que en estos sistemas hidrotermales ocurre un fraccionamiento isotópico entre fases sulfuradas co-precipitadas. Entonces es importante hacer una descripción textural de los sulfuros presentes para luego realizar un estudio analítico enfocado en cada sulfuro en específico.

### **B. Caracterización mineral de alta resolución**

Una vez seleccionadas las muestras se procede a una caracterización mineral detallada por cada muestra. En esta se debe hacer una descripción petrográfica macroscópica y microscópica detallada para identificar las alteraciones hidrotermales presentes asociadas a la mineralización, como también las texturas de los sulfuros a analizar. En el relleno de cada vetilla se encierran con plumón las zonas de interés (evidencias de reactivación), para posteriormente analizarlas por métodos de observación y analíticos de alta resolución, tales como el microscopio electrónico de barrido (SEM), la microsonda electrónica (EPM), la microsonda iónica (SIMS) y/o la ablación laser acoplada a un espectrometro de masa (LA-ICP-MS). Lo anterior permitiría generar mapas de isoconcentración de elementos trazas, permitiendo así identificar los distintos eventos de mineralización, i.e., generación de sulfuros, presentes en cada vetilla estudiada.

### **C. Medición de razones isotópicas de Cu**

Una vez identificado los distintos eventos de mineralización se procede a medir de manera puntual (in-situ) las razones  $^{65}\text{Cu}/^{63}\text{Cu}$  correspondiente a cada evento de mineralización previamente reconocido, por medio de técnicas analíticas que permitan medir relaciones isotópicas directamente sobre el cristal, e.g., LA-ICP-MS.

#### **6.2.3 ISÓTOPOS DE CU COMO HERRAMIENTA DE EXPLORACIÓN**

En el sector San Enrique Monolito se distinguió un patrón de firmas isotópicas de Cu que evidencia una variación lateral de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ , donde las firmas más livianas se encuentran cercanas al clúster de brechas principal. A pesar de que las causas del fraccionamiento isotópico de cobre siguen en discusión, los resultados aquí obtenidos en conjunto con los publicados en otros depósitos de tipo pórfido cuprífero (Li et al., 2010, Dendas, 2012), abogan por el uso de isótopos de Cu como una herramienta complementaria de exploración.

De acuerdo a la metodología anteriormente propuesta, el sistema isotópico de cobre puede ser una caracterización cristalocómica a incorporar en el modelo metalogénico del depósito. Una caracterización mineral de alta resolución podría proporcionar las respuestas para determinar cuáles serían los eventos portadores de mineralización más importantes. Lo anterior, muestra un potencial uso de este sistema en proyectos de exploración del tipo brownfield, para vectorizar hacia centros hidrotermales no descubiertos, ya que a partir de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de las distintas poblaciones de calcopirita, la fracción de estas y su variación lateral, indicarían que hacia firmas más livianas posiblemente puede existir otro cuerpo mineralizado. Sin embargo, la aplicación de este sistema en la industria minera, para efecto de exploraciones, se requieren de estudios adicionales de mayor envergadura, en la que se obtengan muestras asociadas a los distintos ambientes de alteración-mineralización y se pueda observar la variación de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de manera tridimensional.

## 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Esta investigación tuvo como objetivo general proponer un modelo evolutivo del fraccionamiento isotópico de Cu en depósitos del tipo pórfido Cu-Mo. El estudio fue realizado en los sectores Los Bronces y San Enrique Monolito pertenecientes al pórfido Cu-Mo Río Blanco – Los Bronces. De los resultados obtenidos de las 37 muestras se pueden hacer las siguientes observaciones:

- (1) A partir de la petrografía se identificaron 6 alteraciones hidrotermales con mineralización asociada a distintos tipos de vetillas y brechas hidrotermales; alteración potásica (vetillas EB, EBT, A y B, brechas de turmalina y polvo de roca), alteración calcosódica (vetillas C3A), alteración sericita gris verde (vetillas C y C2); alteración fílica (vetillas D, DT y brechas de turmalina), alteración SCC (vetillas de chl-ser-qz) y alteración chl±epi.
- (2) En varias de las muestras se observó una reactivación de las vetillas implicando más de un evento de mineralización. Esta reactivación puede influir en el resultado de la medición de los isótopos de Cu. Dado esto, se sugiere realizar una selección de muestras y descripciones petrográficas de manera rigurosa y detallada.
- (3) Ocurre un fraccionamiento isotópico entre fases minerales, con la calcopirita enriquecida en  $^{65}\text{Cu}$  respecto a la bornita ( $\Delta^{65}\text{Cu}_{\text{cpy-bn}} = 0,4\text{‰}$ ). Por lo tanto, para observar una distribución espacial de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ , es necesario considerar la medición de las razones isotópicas de cobre en una fase sulfurada en particular.
- (4) Se identificó una variación espacial de los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  en función de la profundidad y de la distancia al clúster de brechas hidrotermales. En las partes profundas, las vetillas asociadas a los eventos temprano y transicional exhiben signaturas isotópicas de Cu livianas respecto a las partes más someras. En superficie las brechas y vetillas asociadas al evento tardío son isotópicamente más livianas que las vetillas asociadas a los otros eventos. Aquí además se observa una tendencia de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$ , mostrando valores más pesados a medida que aumenta la distancia al clúster de brechas. Los mecanismos propuestos para explicar dicha distribución son; (i) fraccionamiento isotópico del tipo Rayleigh durante la precipitación, con una partición del  $^{63}\text{Cu}$  por la fase sulfurada y (ii) la segunda ebullición, en la cual la fase vapor se enriquece en el isótopo liviano respecto al líquido hipersalino.
- (5) El enriquecimiento secundario en el área de estudio es insignificante lo cual se ve reflejado en los valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  de las calcosinas. Estas exhiben signaturas isotópicas similares a la mineralogía hipógena reafirmando que el proceso supérgeno no fue eficiente.

Finalmente, se concluye que la variación espacial de las signaturas isotópicas de cobre identificada en este estudio podría ser utilizada como herramienta complementaria de exploración. Esta permitiría la vectorización hacia centros hidrotermales que aún no han sido descubiertos. Para comprobar y mejorar esta metodología, se sugiere la realización de estudios similares en otros centros hidrotermales, en los cuales se utilice una metodología de muestreo sistemática y minuciosa para ver si el patrón de valores  $\delta^{65}\text{Cu}$  se reproduce.

## BIBLIOGRAFÍA

Abarzúa, (2014). Zonación y temporalidad relativa de los tipos de alteración hidrotermal en el sector Los Bronces del complejo porfídico Cu-Mo Río Blanco – Los Bronces, Región Metropolitana, Chile. Memoria de Título Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Aguirre, L., 1961. Geología de los Andes de Chile central: provincia de Aconcagua. Editorial Universitaria, SA.

Archer, C., Vance, D., 2004. Mass discrimination correction in multiple-collector plasma source mass spectrometry: an example using Cu and Zn isotopes. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 19, 656-665.

Braxton, D., Mathur, R., 2011. Exploration applications of copper isotopes in the supergene environment: A case study of the Bayugo porphyry copper-gold deposit, southern Philippines. *economic geology* 106, 1447-1463.

Bulnes, (2013). Alteración cuarzo-sericita en yacimiento tipo pórfido cuprífero: estudio mineralógico, litogeoquímico y termodinámico en mina Radomiro Tomic, Distrito Chuquicamata. Tesis de Magister. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Camus, F., 2003. Geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería.

Carrizo, D., Barros, C., Velasquez, G., 2018. The arsenic fault-pathfinder: A complementary tool to improve structural models in mining. *Minerals* 8, 364.

Corbett, G.J., Leach, T.M., 1998. Southwest Pacific Rim gold-copper systems: structure, alteration, and mineralization. Society of Economic Geologists Boulder, Co.

Charrier, R., Baeza, O., Elgueta, S., Flynn, J.J., Gans, P., Kay, S.M., Muñoz, N., Wyss, A.R., Zurita, E., 2002. Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern Central Andes, Chile (33–36 SL). *Journal of South American Earth Sciences* 15, 117-139.

Charrier, R., Bustamante, M., Comte, D., Elgueta, S., Flynn, J.J., Iturra, N., Munoz, N., Pardo, M., Thiele, R., Wyss, A.R., 2005. The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen* 236, 43-77.

Deckart, K., Clark, A.H., Celso, A.A., Ricardo, V.R., Bertens, A.N., Mortensen, J.K., Fanning, M., 2005. Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Río Blanco porphyry copper deposit, central Chile: Implications of an integrated U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  database. *economic geology* 100, 905-934.

Deckart, K., Clark, A.H., Cuadra, P., Fanning, M., 2013. Refinement of the time-space evolution of the giant Mio-Pliocene Río Blanco-Los Bronces porphyry Cu–Mo cluster, Central Chile: new U–Pb (SHRIMP II) and Re–Os geochronology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronology data. *Mineralium deposita* 48, 57-79.

Deckart, K., Silva, W., Spröhnle, C., Vela, I., 2014. Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: An update. *Mineralium deposita* 49, 535-546.

Dendas, M., 2012. Copper Isotope Tracers of Fluid Flow at Bingham Canyon Mine, Utah.

Ehrlich, S., Butler, I., Halicz, L., Rickard, D., Oldroyd, A., Matthews, A., 2004. Experimental study of the copper isotope fractionation between aqueous Cu (II) and covellite, CuS. *Chemical geology* 209, 259-269.

Fariás, M., Comte, D., Charrier, R., Martinod, J., David, C., Tassara, A., Tapia, F., Fock, A., 2010. Crustal-scale structural architecture in central Chile based on seismicity and surface geology: Implications for Andean mountain building. *Tectonics* 29.

Frikken, P.H., Cooke, D.R., Walshe, J.L., Archibald, D., Skarmeta, J., Serrano, L., Vargas, R., 2005. Mineralogical and isotopic zonation in the Sur-Sur tourmaline breccia, Rio Blanco-Los Bronces Cu-Mo deposit, Chile: Implications for ore genesis. *economic geology* 100, 935-961.

GeoAV, 2016. Atlas Deposito Los Bronces. Informe inedito, 1-67.

Graham, S., Pearson, N., Jackson, S., Griffin, W., O'Reilly, S.Y., 2004. Tracing Cu and Fe from source to porphyry: in situ determination of Cu and Fe isotope ratios in sulfides from the Grasberg Cu-Au deposit. *Chemical geology* 207, 147-169.

Gregory, M.J., Mathur, R., 2017. Understanding Copper Isotope Behavior in the High Temperature Magmatic-Hydrothermal Porphyry Environment. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 18, 4000-4015.

Gustafson, L.B., Hunt, J.P., 1975. The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *economic geology* 70, 857-912.

Gustafson, L.B., Quiroga, J., 1995. Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile. *economic geology* 90, 2-16.

Hezarkhani, A., Williams-Jones, A.E., Gammons, C.H., 1999. Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran. *Mineralium deposita* 34, 770-783.

Hoefs, J., 2009. *Stable isotope geochemistry*. Springer.

Hollings, P., Cooke, D., Clark, A., 2005. Regional geochemistry of Tertiary igneous rocks in central Chile: Implications for the geodynamic environment of giant porphyry copper and epithermal gold mineralization. *economic geology* 100, 887-904.

Ikehata, K., Hirata, T., 2012. Copper isotope characteristics of copper-rich minerals from the Horoman peridotite complex, Hokkaido, northern Japan. *economic geology* 107, 1489-1497.

Irarrazaval, V., Sillitoe, R.H., Wilson, A., Toro, J.C., Robles, W., Lyall, G., Goldfarb, R.J., Marsh, E.E., Monecke, T., 2010. Discovery history of a giant, high-grade, hypogene porphyry copper-molybdenum deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Rio Blanco district, central Chile. *Society of Economic Geologists Special Publication* 15, 253-269.

Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A., Munizaga, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28 to 33 S). *Geological Society of America Special Paper* 265, 113-137.

Kimball, B.E., Mathur, R., Dohnalkova, A.C., Wall, A.J., Runkel, R.L., Brantley, S.L., 2009. Copper isotope fractionation in acid mine drainage. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 73, 1247-1263.

Kouzmanov, K., Pokrovski, G.S., 2012. Hydrothermal controls on metal distribution in porphyry Cu (-Mo-Au) systems.

Larson, P.B., Maher, K., Ramos, F.C., Chang, Z., Gaspar, M., Meinert, L.D., 2003. Copper isotope ratios in magmatic and hydrothermal ore-forming environments. *Chemical geology* 201, 337-350.

Li, W., Jackson, S.E., Pearson, N.J., Alard, O., Chappell, B.W., 2009. The Cu isotopic signature of granites from the Lachlan Fold Belt, SE Australia. *Chemical geology* 258, 38-49.

Li, W., Jackson, S.E., Pearson, N.J., Graham, S., 2010. Copper isotopic zonation in the Northparkes porphyry Cu–Au deposit, SE Australia. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 74, 4078-4096.

Maher, K.C., Jackson, S., Mountain, B., 2011. Experimental evaluation of the fluid–mineral fractionation of Cu isotopes at 250° C and 300° C. *Chemical geology* 286, 229-239.

Maher, K.C., Larson, P.B., 2007. Variation in copper isotope ratios and controls on fractionation in hypogene skarn mineralization at Corocchohuayco and Tintaya, Peru. *economic geology* 102, 225-237.

Maréchal, C.N., Télouk, P., Albarède, F., 1999. Precise analysis of copper and zinc isotopic compositions by plasma-source mass spectrometry. *Chemical geology* 156, 251-273.

Markl, G., Lahaye, Y., Schwinn, G., 2006. Copper isotopes as monitors of redox processes in hydrothermal mineralization. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 70, 4215-4228.

Mathur, R., Falck, H., Belogub, E., Milton, J., Wilson, M., Rose, A., Powell, W., 2018. Origins of chalcocite defined by copper isotope values. *Geofluids* 2018.

Mathur, R., Fantle, M.S., 2015. Copper isotopic perspectives on supergene processes: implications for the global Cu cycle. *Elements* 11, 323-329.

Mathur, R., Munk, L., Nguyen, M., Gregory, M., Ansell, H., Lang, J., 2013. Modern and paleofluid pathways revealed by Cu isotope compositions in surface waters and ores of the Pebble porphyry Cu-Au-Mo deposit, Alaska. *economic geology* 108, 529-541.

Mathur, R., Ruiz, J., Titley, S., Liermann, L., Buss, H., Brantley, S., 2005. Cu isotopic fractionation in the supergene environment with and without bacteria. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69, 5233-5246.

Mathur, R., Titley, S., Barra, F., Brantley, S., Wilson, M., Phillips, A., Munizaga, F., Maksiyev, V., Vervoort, J., Hart, G., 2009. Exploration potential of Cu isotope fractionation in porphyry copper deposits. *Journal of Geochemical exploration* 102, 1-6.

Mpodozis, C., Cornejo, P., 2012. Cenozoic tectonics and porphyry copper systems of the Chilean Andes. *Society of Economic Geologists Special Publication* 16, 329-360.

Nyström, J.O., Parada, M.A., Vergara, M., 1993. Sr-Nd isotope compositions of Cretaceous to Miocene volcanic rocks in central Chile: a trend towards a MORB signature and a reversal with time.

Othman, D.B., Luck, J.M., Bodinier, J.L., Arndt, N.T., Albarede, F., 2006. Cu-Zn isotopic variations in the Earth's mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 18, A46.

Piquer, J., Skarmeta, J., Cooke, D.R., 2015. Structural evolution of the Rio Blanco-Los Bronces District, Andes of Central Chile: controls on stratigraphy, magmatism, and mineralization. *economic geology* 110, 1995-2023.

Pokrovski, G.S., Borisova, A.Y., Harrichoury, J.-C., 2008. The effect of sulfur on vapor-liquid fractionation of metals in hydrothermal systems. *Earth and Planetary Science Letters* 266, 345-362.

Rempel, K.U., Liebscher, A., Meixner, A., Romer, R.L., Heinrich, W., 2012. An experimental study of the elemental and isotopic fractionation of copper between aqueous vapour and liquid to 450 C and 400 bar in the CuCl-NaCl-H<sub>2</sub>O and CuCl-NaHS-NaCl-H<sub>2</sub>O systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 94, 199-216.

Rivano, S., Godoy, E., Vergara, M., Villarroel, R., 1990. Redefinición de la Formación Farellones en la Cordillera de los Andes de Chile Central (32-34 S). *Andean Geology* 17, 205-214.

Rouxel, O., Fouquet, Y., Ludden, J.N., 2004. Copper isotope systematics of the Lucky Strike, Rainbow, and Logatchev sea-floor hydrothermal fields on the Mid-Atlantic Ridge. *economic geology* 99, 585-600.

Schauble, E.A., 2004. Applying stable isotope fractionation theory to new systems. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 55, 65-111.

Seo, J.H., Lee, S.K., Lee, I., 2007. Quantum chemical calculations of equilibrium copper (I) isotope fractionations in ore-forming fluids. *Chemical geology* 243, 225-237.

Serrano, L., Vargas, R., Stambuk, V., Aguilar, C., Galeb, M., Holmgren, C., Contreras, A., Godoy, S., Vela, I., Skewes, M.A., 1996. The late Miocene to early Pliocene Río Blanco-Los Bronces copper deposit, central Chilean Andes: *Society of Economic Geologists Special Publication* 5.

Shanks, W., 2013. Stable Isotope Geochemistry of Mineral Deposits. *Geochemistry of Mineral Deposits. Treatise on Geochemistry* 13, 59-85.

Shields, W.R., Murphy, T.J., Garner, E.L., 1964. Absolute isotopic abundance ratio and the atomic weight of a reference sample of copper. *J. Res. Natl. Bur. Std.* 68.

- Sillitoe, R.H., 2010. Porphyry copper systems. *economic geology* 105, 3-41.
- Skewes, M.A., Holmgren, C., 1993. Solevantamiento andino, erosión y emplazamiento de brechas mineralizadas en el depósito de cobre porfídico Los Bronces, Chile central (33 S): aplicación de geotermometría de inclusiones fluidas. *Andean Geology* 20, 71-83.
- Skewes, M.A., Stern, C.R., 1996. Late Miocene mineralized breccias in the Andes of central Chile: Sr and Nd isotopic evidence for multiple magmatic sources. *Society of Economic Geologists, Special Publication 5*, 33-42.
- Thiele, R., 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. *Carta Geológica de Chile* 29, 21.
- Toro, J.C., Ortuzar, J., Zamorano, J., Cuadra, P., Hermosilla, J., Sprohnlé, C., 2012. Protracted magmatic-hydrothermal history of the Río Blanco-Los Bronces district, Central Chile: Development of world's greatest known concentration of copper. *Society of Economic Geologists Special Publication 16*, 105-126.
- Vargas, R., Gustafson, L., Vukasovic, M., Tidy, E., Skewes, M.A., 1999. Ore breccias in the Rio Blanco-Los Bronces porphyry copper deposit, Chile, *Geology and Ore Deposits of the Central Andes*. Littleton, Colorado. Society of Economic Geologists, Special Publication, pp. 281-297.
- Vergara, M., Latorre, J., 1999. El complejo volcánico pliocénico de Río Blanco, Santiago. *Andean Geology*.
- Warnaars, F.W., Holmgren D, C., Barassi F, S., 1985. Porphyry copper and tourmaline breccias at Los Bronces-Rio Blanco, Chile. *economic geology* 80, 1544-1565.
- Williams-Jones, A.E., Migdisov, A.A., 2014. Experimental constraints on the transport and deposition of metals in ore-forming hydrothermal systems. *Society of Economic Geologists* 18, 77-96.
- Yáñez, G., Cembrano, J., Pardo, M., Ranero, C., Selles, D., 2002. The Challenger–Juan Fernández–Maipo major tectonic transition of the Nazca–Andean subduction system at 33–34 S: geodynamic evidence and implications. *Journal of South American Earth Sciences* 15, 23-38.
- Zhu, X.K., Guo, Y., Williams, R.J.P., O'niions, R.K., Matthews, A., Belshaw, N.S., Canters, G.W., De Waal, E.C., Weser, U., Burgess, B.K., 2002. Mass fractionation processes of transition metal isotopes. *Earth and Planetary Science Letters* 200, 47-62.

# ANEXOS

## ANEXO A: ABREVIACIONES

Ab: Albita	Hem: hematita
Arc: arcillas	Ill: illita
Anh: anhidrita	Esm: esmectita
Bn: bornita	Mgt: magnetita
Bt: biotita	Ms: muscovita
C: carbonato	Pgl: plagioclasa
Chl: clorita	PR: polvo de roca
Cpy: calcopirita	Py: pirita
Cs: calcosina	Rut: rutilo
Cv: covelina	SCC: sericita – clorita - arcillas
Ep: epidota	Ser: sericita
Feld-k: feldespato potásico	SGV: sericita gris verde

## **ANEXO B: CLASIFICACIÓN DE VETILLAS LOS BRONCES**

Tipo	Relleno	Halo	Ambiente
M	Presentan bordes irregulares y difusos cuyo espesor varía a lo largo de la vetilla. Los minerales de ganga presentes en el relleno son <b>magnetita</b> principalmente, y de manera <b>subordinada o ausente anhidrita y cuarzo</b> . Los sulfuros presentes son calcopirita y pirita, los que están subordinados o ausentes.	No presentan halo, presumiblemente por la temperatura en la cual se emplazó este tipo de vetilla.	No presentan halo, presumiblemente por la temperatura en la cual se emplazó este tipo de vetilla.
EB	Se presenta de manera continua, con bordes irregulares y con un ancho constante a lo largo de la vetilla. Los minerales de ganga son <b>cuarzo</b> , como dominante, pudiendo observarse <b>anhidrita, albita y feldespato potásico</b> . También pueden contener, muy subordinadamente, magnetita y Biotita. Los sulfuros presentes son, en orden de predominancia, calcopirita, pirita y bornita, siendo esta última muy escasa.	Se presenta continuo pero de bordes irregulares y su ancho está de en proporción al espesor de la vetilla. Los minerales de ganga son <b>biotita secundaria, principalmente, en menor cantidad magnetita</b> y sericita temprana subordinada. También se observa cuarzo. Los sulfuros presentes son abundante calcopirita y pirita en menor cantidad. Bornita es muy escasa.	Son características de zonas profundas con una alteración Potásica intensa.
A	Se caracteriza por ser continuo y de bordes regulares y bien definidos. En general, su espesor promedio está entre 2 y 3 mm. Los minerales de ganga son <b>cuarzo y anhidrita</b> , siendo este último de menor abundancia. El feldespato potásico y albita están subordinados o ausentes. Los sulfuros presentes son <b>calcopirita</b> , como el de mayor abundancia, y pirita subordinada. No obstante, se han reconocido vetillas donde la pirita es el mineral preponderante. La presencia de bornita es muy escasa.	No presenta halo o bien es muy fino y discontinuo. Los minerales de ganga, en el caso de haber halo, está compuesto de feldespato potásico y albita, y en menor cantidad cuarzo. Los sulfuros presentes, en el caso de haber halo, son calcopirita y pirita.	Se caracteriza por encontrarse en zonas profundas cuyo dominio es la alteración Potásica.
B	Continuo, con bordes regulares y bien definidos y mantienen su espesor a lo largo del relleno. En ocasiones la molibdenita es masiva y ocupa todo y su forma es sinusoidal. En general estas últimas son delgadas. Los minerales de ganga principales son <b>cuarzo y anhidrita</b> , y en menor cantidad <b>feldespato potásico y albita</b> . Los sulfuros presentes son principales <b>molibdenita y calcopirita</b> , la pirita es subordinada y la bornita puede estar. Cabe destacar que este tipo de vetillas se puede subdividir en 3 tipos: (1) Aquellas con molibdenita en los bordes del relleno y pueden tener halo fino de Feldespatos Alcalinos y Cuarzo. Estas son abundantes; (2) Aquellas con molibdenita en la sutura central del relleno y que pueden tener halo fino de feldespatos alcalinos y cuarzo; (3) Aquellas rellenas exclusivamente de molibdenita masiva y con cuarzo subordinado o ausente y sin halo.	En <b>general su halo está ausente</b> , o bien, es fino pero penetrativo y continuo. Los minerales de ganga son feldespato potásico, albita, cuarzo y sericita temprana subordinada. También se puede encontrar biotita. Los sulfuros presentes son Calcopirita y Pirita, variando su concentración e importancia.	Se caracteriza por encontrarse en zonas intermedias y profundas, siendo más abundantes en esta última. Se asocia a alteración Potásica, principalmente. No obstante, se puede encontrar en la zona Sódico-Cálcico.

Tipo	Relleno	Halo	Ambiente
C	En general, se presenta de manera continua, sinusoidal y de bordes irregulares, manteniendo su espesor relativamente constante. Su espesor promedio varía entre 2 y 3 mm. Los minerales de ganga son, en orden de importancia, <b>Cuarzo, Biotita</b> y <b>Magnetita</b> . Esto puede variar de manera local. También se puede observar Anhidrita. Los sulfuros presentes son <b>Calcopirita</b> , principalmente, y Pirita subordinada. La Bornita es muy escasa.	Se caracteriza por tener su halo continuo, difuso, gradacional y de bordes poco definidos. Su espesor es continuo y proporcional al ancho del relleno. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo, Biotita, Sericita Temprana, Feldespato Potásico y Albita</b> . En general su abundancia varía localmente. También se puede reconocer Clorita. Los sulfuros son, en orden de abundancia, <b>Calcopirita, Pirita</b> y, muy escasa, Bornita. Todas se observan diseminadas.	Normalmente asociada a zonas profundas donde la alteración Potásica es dominante.
C1	Se presenta con límites bien definidos y de forma continua, manteniendo su espesor a lo largo de toda la vetilla. En general, se presentan en espesores variables con un promedio de 2 mm. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , principalmente, y <b>Anhidrita</b> , de manera subordinada. Ocasionalmente se observa Feldespato Potásico, Albita, Epidota y Clorita. Los sulfuros presentes son, en orden de importancia, <b>calcopirita</b> , pirita y, ocasionalmente, bornita. Además se puede distinguir <b>molibdenita</b> .	Se presenta simétrico, continuo, sin embargo a veces su límite externo es difuso. Su espesor es proporcional al relleno, extrañamente superior a 4 mm. Los minerales de ganga son <b>feldespato potásico y albita</b> , principalmente, cuarzo subordinado y <b>escasa sericita temprana</b> . También se puede observar Biotita y Clorita. Los sulfuros presentes son calcopirita y pirita, variando su abundancia y predominancia. Sin embargo, la calcopirita domina.	Se asocia a zonas de mayor profundidad, superiores a 500 mt., donde la alteración predominante es Potásica; no obstante también se reconoce en ambientes de alteración Clorita-Biotita e incluso en alteración Sódico-Cálcica.
C2	Se caracteriza por ser continuo, con bordes bien definidos y regulares, y su espesor se mantiene a lo largo del relleno. En general, su espesor varía entre 2 y 4 mm. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , principalmente, y <b>Anhidrita</b> subordinada. Los sulfuros son <b>Calcopirita</b> , de manera primordial, y en menor concentración Pirita. También se puede reconocer <b>Molibdenita</b> . La Bornita es muy subordinada o ausente.	Continuo, de bordes regulares y penetrativo. Su espesor está en proporción al espesor del relleno. Los minerales de ganga son <b>Biotita</b> y <b>Sericita Temprana</b> , principalmente, y Magnetita y Clorita en menor cantidad. Los sulfuros son Calcopirita, esencialmente, y Pirita subordinada.	Se asocia a zonas profundas cuyas alteraciones dominantes son Clorita-Biotita y Potásica, siendo esta última la más importante.
C3A	Mantiene continuidad, sin embargo, sus bordes son irregulares y su espesor es, relativamente, constante. Normalmente su espesor varía entre 2 y 3 mm. No obstante, en ocasiones se encuentran más anchos. Los minerales de ganga son, por definición, <b>Turmalina</b> y en menor cantidad <b>Cuarzo</b> . Subordinadamente, se reconoce Anhidrita. Puede observarse, también, Biotita y Magnetita. Los sulfuros son <b>Pirita</b> y <b>Calcopirita</b> , los cuales varían su concentración en función del ambiente y profundidad.	Se caracteriza por ser simétrico, continuo y de bordes irregulares. En general, es proporcional al espesor del relleno. Los minerales de ganga son <b>Feldespato Potásico</b> y <b>Albita</b> , principalmente, y de manera subordinada <b>cuarzo</b> . En menor cantidad o ausente se reconocen Clorita y Epidota. Los sulfuros son <b>Pirita</b> y <b>Calcopirita</b> , los cuales varían su concentración en función del mineral predominante en el relleno. No obstante, no es muy considerable	Se caracterizan por encontrarse en zonas superficiales e intermedias. Sin embargo, en zonas intermedias son más abundantes. Se asocian a la alteración Sódico-Cálcica la cual es muy extensa.
C3B	Se caracteriza por ser discontinua, de bordes irregulares y espesor variable. En general, son delgadas incluso se encuentran como guías. Los minerales de ganga principales son <b>Epidota</b> y <b>Clorita</b> , en menor cantidad se reconoce Cuarzo, Yeso y Anhidrita subordinados o ausentes. Los minerales de mena son <b>Pirita</b> , esencialmente, y <b>Calcopirita</b> subordinada.	Discontinuo, difuso, de bordes irregulares y espesor variable. Los minerales de ganga son <b>Feldespato Potásico</b> y <b>Albita</b> , principalmente, y <b>Cuarzo</b> subordinado. La presencia de <b>Clorita</b> y <b>Epidota</b> es muy <b>subordinada</b> o ausente. Los sulfuros están ausentes siendo la Pirita la más recurrente.	Se caracterizan por encontrarse en zonas superficiales e intermedias, siendo estas últimas más abundantes. Se asocian a la alteración Sódico-Cálcica la cual es muy extensa.

Tipo	Relleno	Halo	Ambiente
<b>D</b>	Se presenta con límites bien definidos y de forma continua, manteniendo su espesor a lo largo de toda la vetilla. En general, se presentan en espesores variables con un promedio de 2 mm. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , principalmente, aunque también se puede reconocer <b>Yeso</b> y <b>Anhidrita</b> , pero de manera subordinada. Los sulfuros presentes son <b>Pirita</b> , de manera dominante, y subordinadamente o ausente Calcopirita. De manera muy ocasional se observa Molibdenita.	Se presenta muy penetrativo y bien definido cuyos límites son claros y rectos. Su espesor es continuo a lo largo de la vetilla. Se puede presentar con anchos variables y que no siempre son proporcionales al espesor de la vetilla. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , <b>Sericita</b> y <b>Arcillas</b> , principalmente, y de manera escasa, Biotita y Clorita. Los sulfuros presentes son <b>Pirita</b> , de manera dominante, y muy escasa o ausente Calcopirita. Ambas diseminadas.	Son características de zonas someras dominadas por alteración Cuarzo-Sericita y Clorita-Sericita. Son más escasas en ambientes de alteración Sódico-Cálcica. Muy excepcionalmente se han reconocido en zonas profundas.
<b>DT</b>	Continuo, de bordes regulares y bien definidos. Los espesores varían entre 1 y 5 mm. No obstante, puede alcanzar espesores mayores pero de manera local. Puede presentar oquedades. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , esencialmente, y en menor cantidad <b>Clorita</b> , <b>Carbonato de Hierro</b> (Siderita-Ankerita), <b>Yeso</b> y <b>Especularita</b> , donde la proporción de estos últimos minerales varía. Los sulfuros, principales, son Pirita y Calcopirita cuya proporción es variable.	Se caracteriza por ser muy penetrativo y destructivo, y su espesor depende del ancho del relleno. Los minerales de ganga son <b>Cuarzo</b> , esencialmente, Arcillas y Carbonato de Hierro, en menor cantidad. Los sulfuros principales son <b>Pirita</b> y <b>Calcopirita</b> , siendo esta última de menor importancia.	Este tipo de vetillas está asociado a zonas someras con alteración Cuarzo-Sericita dominante y Clorita-Sericita en menor cantidad.

## **ANEXO C: METODOLOGÍA ANALÍTICA**

## C.1 DIGESTIÓN DE LAS MUESTRAS

Una vez que los granos de calcopirita, bornita y calcosina fueron escogidos a mano fueron pesados en una balanza de precisión hasta obtener 0,04 – 0,06 g de muestra. Las muestras se trituraron a un tamaño  $<300\mu$  para garantizar de que todo el Cu se disolviera. Luego de registrar la masa, la muestra es introducida en un recipiente Savilex etiquetado con el código de la muestra para evitar la contaminación cruzada de las muestras. Se introducen 2 ml de aqua regia en el recipiente Savilex el cual cerrado con tapa rosca, también etiquetada con el código de la muestra, y colocado en una platina caliente a  $120^{\circ}\text{C}$  durante toda la noche. Una vez que todo el cobre ha sido disuelto, se deja secar la muestra. Finalmente, la sal obtenida se le añade 2 ml de ácido clorhídrico 6N.

## C.2 EXTRACCIÓN DE CU POR CROMATOGRAFÍA DE INTERCAMBIO IÓNICO

Las columnas fueron etiquetadas con el código de las muestras y para este estudio se usó el protocolo de muestras ricas en Cu.

1. Tratamiento de la resina para la cromatografía
  - a) El área de trabajo es cubierto con papel aluminio para coleccionar la resina caída.
  - b) En una botella con salida de chorro nueva y limpia se coloca es rellena  $\frac{1}{4}$  de su capacidad con resina.
  - c) La botella fue rellena con  $\frac{1}{2}$  aqua regia y  $\frac{1}{2}$  de ácido clorhídrico puro y posteriormente se agitó la mezcla.
  - d) Después de que las partículas decantaran (alrededor de 10 minutos), el líquido se vertió por la parte superior de la botella.
  - e) La botella fue rellena completamente con agua destilada y se sacudió.
  - f) Los pasos d y e se repitieron 3 veces.
2. Las columnas fueron rellenas con 1.6 mg de la resina previamente trabajada.
3. Limpieza de la resina (todo fluido debe pasar por toda la columna antes del siguiente paso)
  - a) La columna se lavó (llenando hasta la parte superior) con agua MQ (agua desionizada).
  - b) La columna se lavó abundantemente con ácido nítrico 0,5N.
  - c) La columna se llenó con 7 ml con ácido clorhídrico 6N. La limpieza de la resina fue completa.

4. Los 2 ml de muestra en ácido clorhídrico 6N, previamente preparada, fue añadida a la columna.
5. Se añadió 5 ml de ácido clorhídrico 6N a la columna.
6. Una vez que todos los fluidos han sido drenados fueron colectados en recipientes de desechos, que posteriormente fue retirado, debido a que el estudio realizado por Mathur et al., 2005 muestra que los primeros 7 ml gran parte del hierro y los otros elementos son eliminados, mientras que el Cu permanece en la resina y que entre los 5 y 25 ml el Cu se desprende de la resina y entra en solución.
7. Se colocaron bajo cada columna contenedores savillex etiquetados con los códigos de muestras para colectar el resto de la solución.
8. Se añadieron 10 ml de ácido clorhídrico 6N a la columna.
9. Se repitió el paso anterior.
  10. Se añadió 7 ml de ácido clorhídrico 6N.
  11. Savillex fue colocado en la placa caliente a 120°C o en caja seca con lámpara de calor para permitir que la muestra se seque por completo.

## **ANEXO D: DESCRIPCIONES PETROGRÁFICAS**

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-01			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica
		<b>N° Muestra</b>	SEM-01
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
			<b>Elevación (m)</b>
			2.272
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces	24/03/2017	

#### OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA

Roca ígnea intrusiva gris oscuro de textura porfírica clasificada como cuarzomonzodiorita. La roca presenta alteración potásica biotítica selectiva y alteración clorita-sericita pervasiva. El sulfuro dominante es calcopirita y en menor proporción bornita. Se observan las siguientes vetillas:

V1.1 Bt-Qz: Vetilla recta y continua, de espesor constante de 2 mm y límites difusos, rellena de biotita y cuarzo.

V2.1 Cpy-Bn-Anh-Cpy±Bn: Stockwork de vetillas rectas y continuas, de espesor constante y variable en cada vetilla, de 3 - 7 mm, de límites difusos y sin halo, rellenas de calcopirita, anhidrita y cuarzo, y en algunas vetillas, bornita. Corta a V2.1



**Clasificación** Cuarzo monzodiorita fina

#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Roca clasificada como cuarzomonzodiorita, presenta una fuerte alteración sericita gris verde en halo de vetillas en donde no se puede identificar la textura original de la roca huésped. Esta alteración es sobreimpuesta a una alteración potásica biotítica selectiva. La mineralización de sulfuros se observa de forma diseminada (cpy-bn) y en vetillas (cpy), siendo la calcopirita el sulfuro dominante. Se observan 3 tipos de vetillas: V1.1 Ser, V2.1 Bt-Qz y V3.1 Qz-Anh-Cpy-Bt-Feld-k (corta a V2.1).

**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1. Alteración potásica biotítica selectiva-vetilla V2.1 (EB) 2. Alteración cuarzo-sericita gris verde pasociada a vetilla V3.1 (C2)

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La presente descripción es principalmente sobre algunas vetillas presentes en la muestra (V2.1), no es posible hacer una descripción detallada de la roca huésped, pues la roca presenta una textura obliterada producto de una fuerte alteración cuarzo-sericita penetrativa, sobreimpuesta a una alteración potásica biotítica selectiva diseminada en la roca.

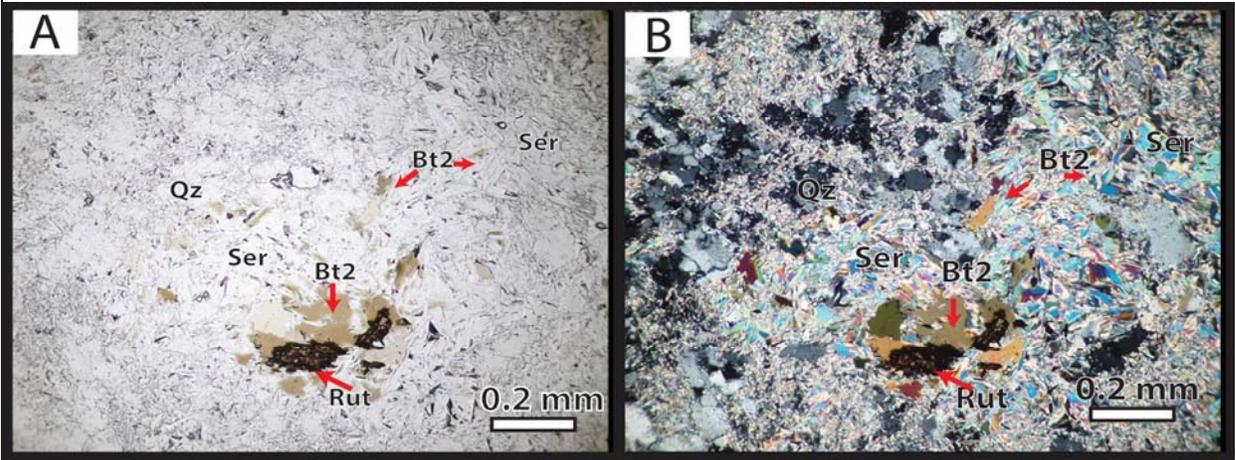


#### DESCRIPCIÓN VETILLAS

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Sericita	45	20	4	21	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de <0.125 mm. Se encuentra principalmente como halo de alteración y en menor proporción como mineral de alteración en el relleno de estas. También se presenta como mineral de alteración dominante en toda la roca de caja.
Muscovita	15		1	14	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares 0.1 - 0.5 mm. Se encuentra principalmente como halo en vetilla y en menor proporción como relleno. Asociada a cuarzo secundario.
Rutilo	tr	tr	tr		Cristales anhedrales <0.125 mm en cúmulos asociados a clorita como subproducto de cloritización de biotita. Se encuentra en el relleno de las vetillas y diseminadamente en la roca.
Cuarzo Secundario	13	5	8		Cristales anhedrales de 0.025 - 0.2 mm. Se encuentra como relleno de vetillas asociado a muscovita y también como cristales secundarios de alteración cuarzo-sericita
Feldespato-k Secundario	2	tr	2		Cristales anhedrales 0.1 - 0.2 mm alterados débilmente a sericita. Se encuentra como relleno en vetillas
Biotita Secundaria	5	3	2	tr	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0.125 mm, se encuentra como relleno en vetillas y también en cúmulo en la roca huésped
Anhidrita	5		5		Cristales subhedrales prismáticos de 0.25 mm - 0.5 mm de espesor, se encuentra como relleno en vetillas.
Calcopirita	15	5	10		Cristales anhedrales 0.125 mm - 5 mm, se encuentra principalmente como relleno en vetillas, también se presenta diseminada en la roca huésped asociada a biotitas. Se encuentra reemplazando a calcopirita (superficies cóncavas entre calcopirita y bornita, islas de bornita en cristal de calcopirita)
Bornita	tr	tr			Cristales anhedrales <0.125 mm diseminados en la roca huésped. Se encuentra reemplazada por calcopirita
	100				

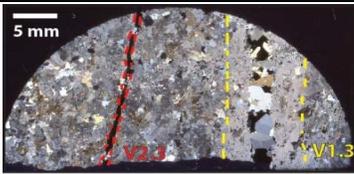
b) Vetillas	
V3.1 Qz-Anh-Cpy-Bt-Feld-k	Vetilla recta y continua, de límites difusos de espesor relativamente constante de 8 mm, rellena principalmente de cuarzo, anhidrita y calcopirita; en menor proporción feldespato potásico, biotita, clorita. Presenta un halo de alteración de límites difusos y espesor relativamente constante de 6 mm compuesto por sericita, cuarzo, biotita y muscovita (sericita gris verde).

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



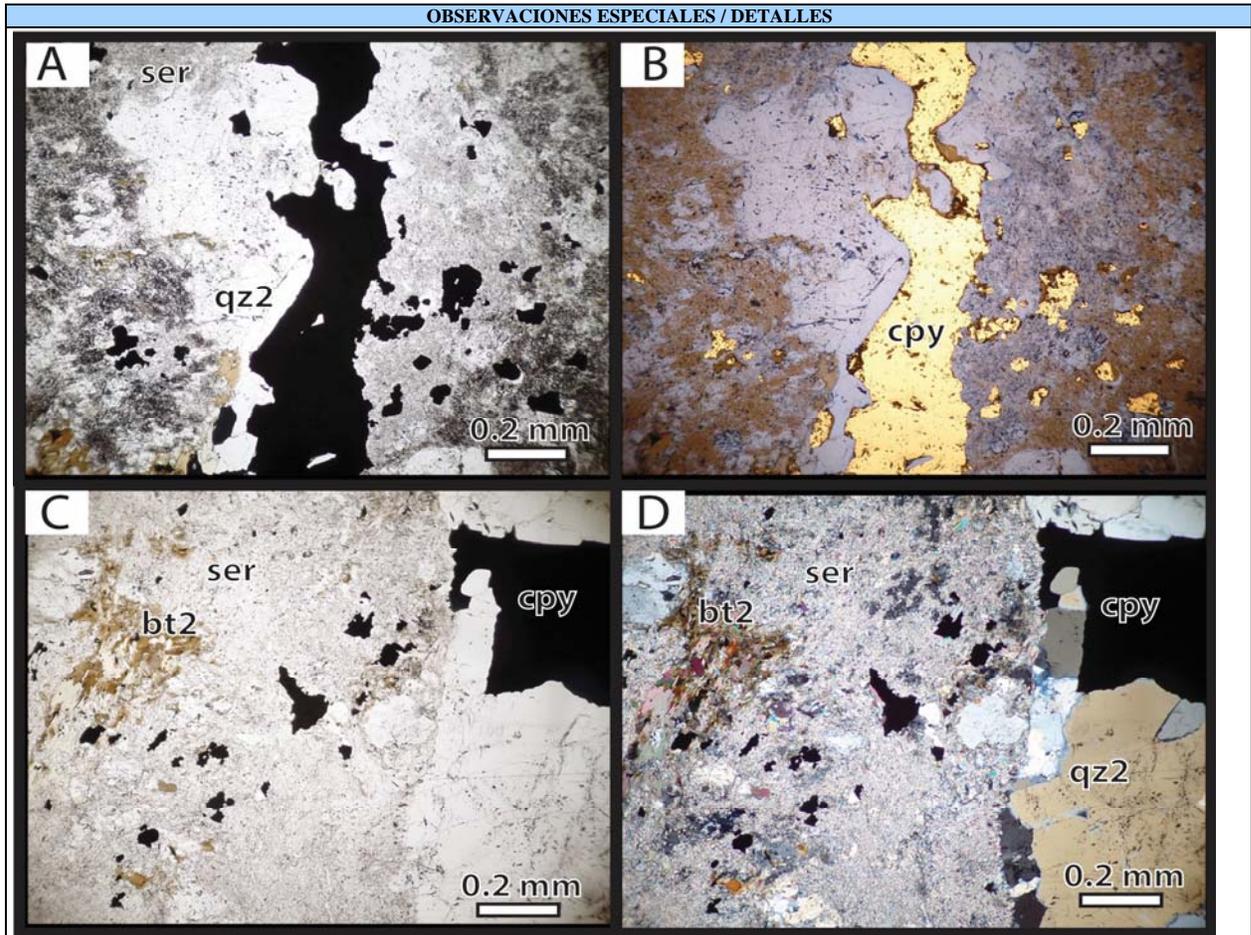
A y B: Fotomicrografía 10X a nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se puede observar alteración cuarzo-sericita pervasiva, sobreimpuesta a una alteración potásica selectiva con bordes debilemnte cloritizados. Se observa rutilo sobre biotita secundaria.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	24/03/2017	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-03					
<b>Objetivo del estudio :</b>			<b>Confección</b>	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica	
			<b>N° Muestra</b>	SEM-03	
			<b>Origen</b>	Minera Los Bronces	
<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>	
				2.350	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>			<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces			10/02/2017	
OBSERVACION MACROSCOPICA					
<p>Roca ígnea intrusiva de color gris claro clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica selectiva y una alteración sericitica pervasiva. Los sulfuros presentes son calcopirita, molibdenita y bornita, en orden de abundancia. Se observan las siguientes vetillas:</p> <p>V0.3 Qz-Moli: vetilla recta y continua, de espesor constante de 3 mm y límites definidos, rellena en el centro de molibdelina y en los bordes cuarzo.</p> <p>V1.3 Qz-Cpy±Bn: vetilla recta y continua, de espesor constante y límites definidos, con una alta presencia de oquedades. Está rellena principalmente de cuarzo, de manera subordinada calcopirita y escasamente bornita. Presenta un halo de 1 cm compuesto de principalmente de sericita y calcopirita diseminada. Corta a V.0</p> <p>V2.3 Cpy ±Qz: vetilla recta y continua de espesor constante de 1 mm, rellena principalmente de calcopirita, y subordinadamente cuarzo. No presenta halo. Corta V.0, y paralela a V.1</p>					
<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzodiorita fina				
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS					
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta una alteración potásica pervasiva, moderada a fuerte, y selectiva en biotitas primarias, sobreimpuesta por una alteración sericita gris verde asociada a vetillas. La mineralización de sulfuros es principalmente como relleno en vetillas y también de forma diseminada en la roca. El sulfuro dominante es calcopirita y en menor proporción bornita y molibdenita. Se observan diversos tipos de vetillas y microvetillas: Qz- Moli (V0.3) la cual es cortada por vetilla de Qz-Cpy ± Bn con halo de sericita (V1.3) y también por una vetillas recta y continua de Cpy-Qz± Bt, sin halo (V2.3, vetilla A), paralela a V.1. Esta última es cortada por una vetilla recta y continua de Qz-Anh-Cpy (V3.3, Vetilla C2).</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1. Alteración potásica biotítica selectiva. 2. vetilla V0.3 - vetilla V1.3 (A); 2. Alteración sericita gris verde - vetilla V2.3 (C2)</p>					
DESCRIPCION MICROSCOPICA					
<p>En el corte transparente es posible identificar algunos minerales pertenecientes a la roca huésped (~30% del corte), plagioclasa, feldespato-k y cuarzo, alterados moderada y pervasivamente a sericita y arcillas (plagioclasa y feldespato-k). Se observan vetillas V1.3 y V2.3 (~40%) que permiten una descripción más en detalle de estas.</p>					
DESCRIPCION GENERAL ROCAS INTRUSIVAS					
<b>Textura</b>	Holocristalina, fanerítica y glomeroporfírica (aglomerados de biotita)				
<b>a) Mineralogía Primaria</b>	<b>%</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>			
Plagioclasa	10	Cristales subhedrales tabulares de 0.25 - 0.75 mm con muy baja integridad y alterados moderada a pervasivamente a sericita y arcillas, como también a biotita y anhídrita (bordes de grano), y trazas de epidota			
Cuarzo	5	Cristales anhedrales de < 1 mm, se presenta diseminado en la roca			
Feldespato-k	10	Cristales anhedrales de 0.02 - 0.5 mm, de integridad baja a intermedia, alterados moderada a pervasivamente a sericita.			
Biotita	5	Cristales subhedrales tabulares de 0.2 - 0.7 mm diseminados y en cúmulos en la roca. Alteradas moderada a fuerte por biotita secundaria.			
<b>b) Mineralogía secundaria</b>	<b>% Total</b>	<b>Protolito</b>	<b>% Relleno</b>	<b>% Halo</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>
Sericita	30	10		20	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.125 mm. Se encuentra alterando moderada a pervasivamente a la roca huésped y como halo de alteración de vetillas.
Cuarzo Secundario	20		15	5	Cristales anhedrales de 0.025 - 0.75 mm. Se presenta principalmente como relleno de vetillas y en menor proporción diseminados en la roca huésped.
Muscovita	tr			tr	Cristales subhedrales tabulares 0.125 - 0.2 mm. Se presenta en halo de vetilla junto a sericita
Biotita Secundaria	5	5	tr		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de 0.025 mm alterando a biotita primaria y como reemplazo metasomático en bordes de grano de cristales de plagioclasa. También se encuentra como relleno, en trazas, de vetilla asociado a calcopirita.
Anhídrita	5	tr	5		Cristales anhedrales prismáticos de 0.05 - 0.75 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas y en menor proporción diseminado en la roca huésped como reemplazo metasomático en bordes de grano de plagioclasa.
Epidota	tr	tr			Cristales anhedrales prismáticos de 0.05 mm. Se encuentra diseminado en la roca huésped alterando a plagioclasas.
Zircón	tr	tr			Cristales euhedrales primáticos de <0.125 mm.
Calcopirita	10	2	8		Cristales anhedrales de 0.125- 3 mm, se encuentra principalmente como relleno en vetillas y tambien diseminada en la roca huésped. En paragénesis con bornita

Bornita	tr	tr	tr		Cristales anhedrales de <0.025 mm. Se encuentra diseminado en la roca huésped y como traza en relleno de vetillas. En paragénesis con calcopirita
Mineralogía Primaria	30				
	100				

c) Vetillas	
V1.3 Qz-Cpy-Anh- ± Bn con halo de Ser	Vetilla recta, continua, de límites definidos y de espesor constante de 3 mm, rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, trazas de anhidrita y bornita. Presenta un halo continuo de límites difusos y espesor constante de 4 mm compuesto principalmente de sericita y en menor proporción cuarzo y muscovita, en orden de abundancia.
V2.3 Cpy-Qz ± Bt, sin halo	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 1 mm, rellena principalmente de calcopirita y en menor proporción cuarzo. Se observan también, trazas de biotita.



A y B :Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nicoles cruzados y luz reflejada, respectivamente : vetilla V2.3, se observan los cristales de cuarzo y calcopirita.

C y D: Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nicoles paralelos y cruzados, respectivamente: vetilla V3.2, relleno de cuarzo y calcopirita y halo conformado por sericita (ser). Se observan cúmulos de biotitas (bt) primarias y secundarias, cuarzo y calcopirita diseminada.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/02/2017	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-04**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Confección</b>	CT Estandar
	<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
	<b>N° Muestra</b>	SEM-04
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>	2.329
---------------------------	----------	---------------------	--------------------	----------------------	-------

<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito	30/03/2017

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**

Roca ígnea intrusiva gris verdosa, clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una fuerte alteración sericita-clorita, sobreimpuesta a una alteración potásica selectiva. Los sulfuros presentes son bornita, principalmente, y en menor proporción, calcopirita.

Se observa la siguiente vetilla:

V1.4 Qz-Anh-Cpy-Bn: veta reactivada recta, continua, de espesor constante de 2,5 cm y límites difusos, rellena principalmente de cuarzo y anhidrita, en menor proporción calcopirita y bornita.



<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzodiorita fina
----------------------	-------------------------

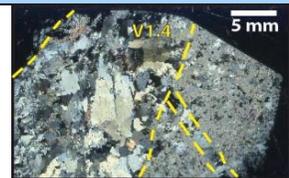
**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Roca ígnea intrusiva, clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta una fuerte alteración sericita gris verde asociada a veta sobreimpuesta a una alteración potásica biotítica selectiva. La mineralización de sulfuros es principalmente en vetillas y en menor proporción diseminados en la roca huésped. Los sulfuros presentes, en orden de abundancia, son calcopirita, bornita y molibdenita. Se observa veta de Qz- Anh-Feld-k-Bn-Cpy reactivada

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1. Alteración potásica biotítica selectiva 2. Alteración sericita gris verde - vetilla V1.4 reactivada

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

No es posible determinar la mineralogía primaria que hospeda la mineralización producto de una alteración cuarzo - sericita - clorita que oblitera la textura original de la roca. Sin embargo se determina la mineralogía en detalle de la veta V1.4

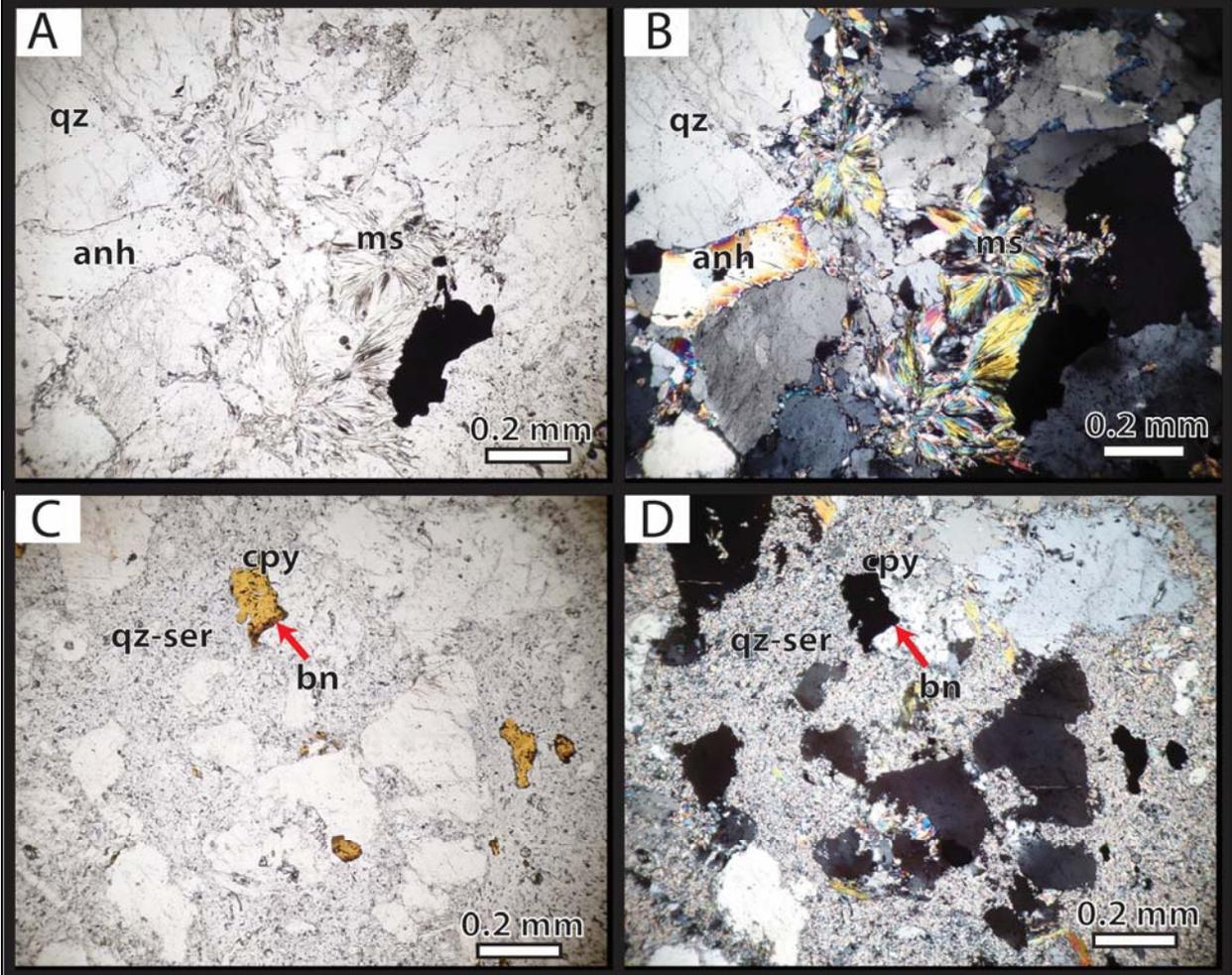


a) Mineralogía	% Total	Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Sericita	25		5	20	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.125 mm. Se presenta principalmente de forma pervasiva en toda la roca y como halo de vetilla, en menor proporción se encuentra alterando débilmente a cristales de feldespato potásico, del relleno de la vetilla.
Cuarzo Secundario	50	5	45		Cristales anhedrales < 0.6 mm. Se presenta principalmente como relleno de vetilla y en menor proporción como mineral de alteración del protolito, asociado a sericita.
Muscovita	1		1		Cristales subhedrales a euhedrales de hábito tabular, a veces radial, con tamaños entre 0.125 a 0.2 mm. Se presenta como relleno de vetilla, alterando bordes de granos de feldespato potásico.
Feldespato - K secundario	10		10		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de 0.5 - 2 mm. Se presenta como relleno en vetilla. Algunos cristales, están alterados moderada a intensamente a sericita.
Anhidrita	7		7		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de 0.4 - 1 mm. Se presenta como relleno en en vetilla. Algunos cristales, están alterados a yeso.
Yeso	2		2		Cristales subhedrales aciculares y tabulares de <0.05 mm, se presentan en una zona del corte alterando a anhidrita
Calcopirita	2	2	tr		Cristales anhedrales de 0.02 - 0.5 mm. Se presenta principalmente diseminado en la roca, en paragénesis con bornita, y en menor proporción, como relleno en vetillas.
Bornita	3		3		Cristales anhedrales de 0.1 - 0.4 mm. Se encuentra como relleno en vetilla y en menor proporción diseminado en la roca. Se encuentra en paragénesis con calcopirita.
Molibdenita	tr	tr			Cristales anhedrales <0.8 mm diseminados en la roca.
Rutilo	tr	tr			Cristales anhedrales de 0.2 mm. Se presentan en cúmulos diseminados en la roca, asociado con sericita
	<b>100</b>				

**b) Vetillas**

V1.4 Qz- Anh-Feld-k-Bn-Cpy	Vetilla de límites difusos de espesor mínimo de 2 cm rellena principalmente de cuarzo y en menor proporción de bornita, anhidrita, feldespato potásico y calcopirita. Cristales de feldespatos alterados moderadamente a sericita y muscovita.
----------------------------	--

OBSERVACIONES ESPECIALES/DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a luz transmitida, a nicoles paralelos y cruzados respectivamente. Se observa el relleno de la vetilla V1.4 donde se puede observar cuarzo, anhidrita, feldespato-K. Se observa además la presencia de muscovita con hábito tabular radial entre los granos de feldespato-K.

C y B: Fotomicrografía 5x a luz transmitida y reflejada, a nicoles paralelos y cruzados respectivamente. Se observa parte de la alteración de la roca (halo de vetilla) con mineralización diseminada de calcopirita y bornita (en paragénesis) y también una fuerte alteración cuarzo-sericita

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	30/03/2017	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-05					
Objetivo del estudio :			Confección	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			Tipo Estudio	Geoquímica isotópica	
			N° Muestra	SEM-05	
			Origen	Minera Los Bronces	
Procedencia Exacta	LB150032	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)	
				2.282	
Géologo Solicitante	Procedencia de la muestra			Fecha	
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito			01/02/2017	
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA					
<p>Roca ígnea intrusiva gris clara de textura porfírica con fenocristales de biotita de hasta 3 mm, clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica selectiva en biotita y en stockwork de microvetillas de &lt; 0.5 mm de espesor y una débil alteración sericita-clorita.</p> <p>Se observan 3 tipos de vetillas:</p> <p>V1.5 Bt ± Cpy ± Qz: microvetillas rectas y discontinuas de espesor &lt;0.5 mm, sin halo</p> <p>V2.5 Qz – Cpy ± Bn: vetilla recta y continua de 3 mm de espesor rellena principalmente de cuarzo y en menor proporción calcopirita y bornita, con halo oscuro de 3 mm de espesor, corta a V1.5.</p> <p>V3.5 Qz – Bn ± Cpy: vetilla recta y continua de límites dedifusos y de espesor constante de 1 cm rellena principalmente de cuarzo-bornita y en menor</p>					
Clasificación	Cuarzomonzodiorita (fina)				
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS					
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta una alteración potásica selectiva y moderada en biotitas, sobreimpuesta por una alteración sericita gris verde asociado a vetillas. Los sulfuros presente son, en orden de abundancia, calcopirita, bornita y molibdenita, se encuentran diseminados en la roca y como relleno en vetillas. Se observan distintos tipos de vetillas y microvetillas: V1.5 Stockwork de microvetillas de Bt ± Qz ± Anh ± Cpy (EB) , las cuales son cortadas por V2.5 Qz-Anh-Cpy-Bn con halo principalmente de sericita, cuarzo y menor biotita (EBT). Estas vetillas a su vez, es cortada por la vetilla V3.5 Qz- feld-k-Bn-Cpy ± Moli (A).</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1. Alteración potásica selectiva 2. stockwork de vetillas V1.5 (EB), 3. vetilla V2.5 (EBT), 3) vetilla V3.5 (A).</p>					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
<p>En el corte transparente se puede observar la mineralogía primaria (textura) y de alteración. Además se observan los distintos tipos de vetillas descritas macroscópicamente, permitiendo una descripción más detallada de estas.</p>					
DESCRIPCION GENERAL ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS					
Textura	Holocristalina, Fanerítica, Glomeroporfírica (aglomerados de biotita).				
a) Mineralogía primaria	%	Características (Composicionales y texturales)			
Plagioclasa	70	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad media, de 1 - 2.5 mm, alterados débilmente a sericita.			
Biotita	5	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad media, de 0.4 - 1 mm alterados debilmente a clorita y biotita secundaria.			
Cuarzo	10	Cristales anhedrales de <0.6 mm, de alta integridad.			
Feldespatos-k	15	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares, de integridad media, de <0.8 mm, alterados débilmente a sericita.			
b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita secundaria	10	7	3	tr	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0,25 mm. Se presentan alterando débil a moderadamente a biotitas primarias, y en menor proporción, como relleno y trazas en halos de vetillas.
Sericita	23	5		18	Cristales anhedrales a subhedrales hojosos de <0,1 mm alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos, y también, como halo en vetillas
Muscovita	tr			tr	Cristales subhedrales tabulares de 0.1-0.2 mm. Se presenta diseminada en halo de vetilla.
Clorita	tr	tr			Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0,1 mm, alterando débilmente a biotitas primarias y secundarias.
Calcopirita	7	2	5		Cristales anhedrales de 0.025 - 0.4 mm. Se presenta de forma diseminada en la roca, asociada a biotita y también, como relleno en vetillas
Cuarzo secundario	17		12	5	Cristales anhedrales de 0.01 - 0.8 mm. Se encuentra como relleno de vetillas y en menor proporción forma parte del halo de las vetillas.
Anhidrita	10		10		Cristales anhedrales a subhedrales prismáticos. Se encuentra como relleno en vetillas y microvetillas.
Feldespatos-k secundario	tr		tr		Cristales anhedrales de <1 mm. Se encuentra como relleno en vetilla.

Bornita	3	1	2	Cristales anhedrales de 0.025 - 0.1 mm. Se encuentra de forma diseminada en la roca, pero principalmente como relleno en vetillas. En paragénesis con calcopirita diseminada en la roca, con calcopirita y molibdenita en vetilla V.3, con calcopirita en V.2
Molibdenita	tr		tr	Cristales anhedrales <0.2 mm. Se encuentra como relleno en vetilla.
Mineralogía primaria	30			
	100			

c) Vetillas	
V1.5 Bt ± Qz ± Anh ± Cpy	Vetillas sinuosas, de límites difusos y discontinuas de espesor variable de 0.025 - 0.25 mm, rellena principalmente de biotitas subhedrales tabulares y en menor proporción cuarzo, anhidrita y calcopirita.
V2.5 Qz - Anh - Cpy - Bn, con halo	Vetilla recta y continua, de límites definidos, espesor constante de 2.25 mm, rellena principalmente de cuarzo y anhidrita, y en menor proporción feldespato - k, calcopirita y bornita. Presenta un halo de alteración de límites difusos y espesor relativamente constante de 2.5 mm, compuesto principalmente de muscovita, cuarzo y sericita. En menor proporción, de forma diseminada se observa muscovita, biotitas, calcopirita y bornita. Corta V.1
V3.5 Qz Feld-k - Bn - Cpy ± Moli	Vetilla recta y continua de 7.5 mm de espesor rellena principalmente de cuarzo y en menor proporción feldespato-k, bornita y calcopirita, trazas de molibdenita. Corta a V.1 y a V.2. Cristales de feldespato se encuentran débilmente alterados a sericita.

**OBSERVACIONES ESPECIALES/DETALLES**

A y B: Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nicos cruzados y a luz reflejada, respectivamente: Vetilla V2.5, se observan los cristales de anhidrita, cuarzo y calcopirita que conforman el relleno de la vetilla. Se observa, además, sericita y cuarzo como parte del halo.

C y D: Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nicos paralelos y cruzados, respectivamente: Microvetilla V1.5, se observan principalmente cristales de biotita subhedrales tabulares como relleno de una microvetilla, y en menor proporción cuarzo y anhidrita. Se puede apreciar también gran parte de la mineralogía primaria, donde algunas biotitas primarias están débilmente cloritizadas y algunas plagioclasas están débilmente sericitizadas.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	01/02/2017	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-06**

<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confeción</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	SEM-06
		<b>Origen</b>	Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		<b>Elevación (m)</b>	
		2.296	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito		10/02/2017

OBSERVACION MACROSCOPICA	
<p>Roca ígnea intrusiva, clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica pervasiva, selectiva y sericita gris verde asociado a vetillas. Se observan las siguientes vetillas:</p> <p>V1.6 Qz-Moli: vetilla recta y continua, de espesor constante de 5 mm, de límites definidos, rellena de cuarzo en el centro y molibdenita en los bordes.</p> <p>V2.6 Cpy-Qz: vetilla recta y continua, de espesor constante de 2 mm, de límites definidos, rellena principalmente de calcopirita y en menor proporción, cuarzo. Presenta un halo difuso de cuarzo y sericita. Corta V.1</p> <p>V3.6 Qz-Cpy-Bn: vetas recta y continua, de espesor mínimo de 2.5 cm, de límites difusos, rellena de cuarzo, calcopirita y bornita.</p>	

<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzodiorita fina
----------------------	-------------------------

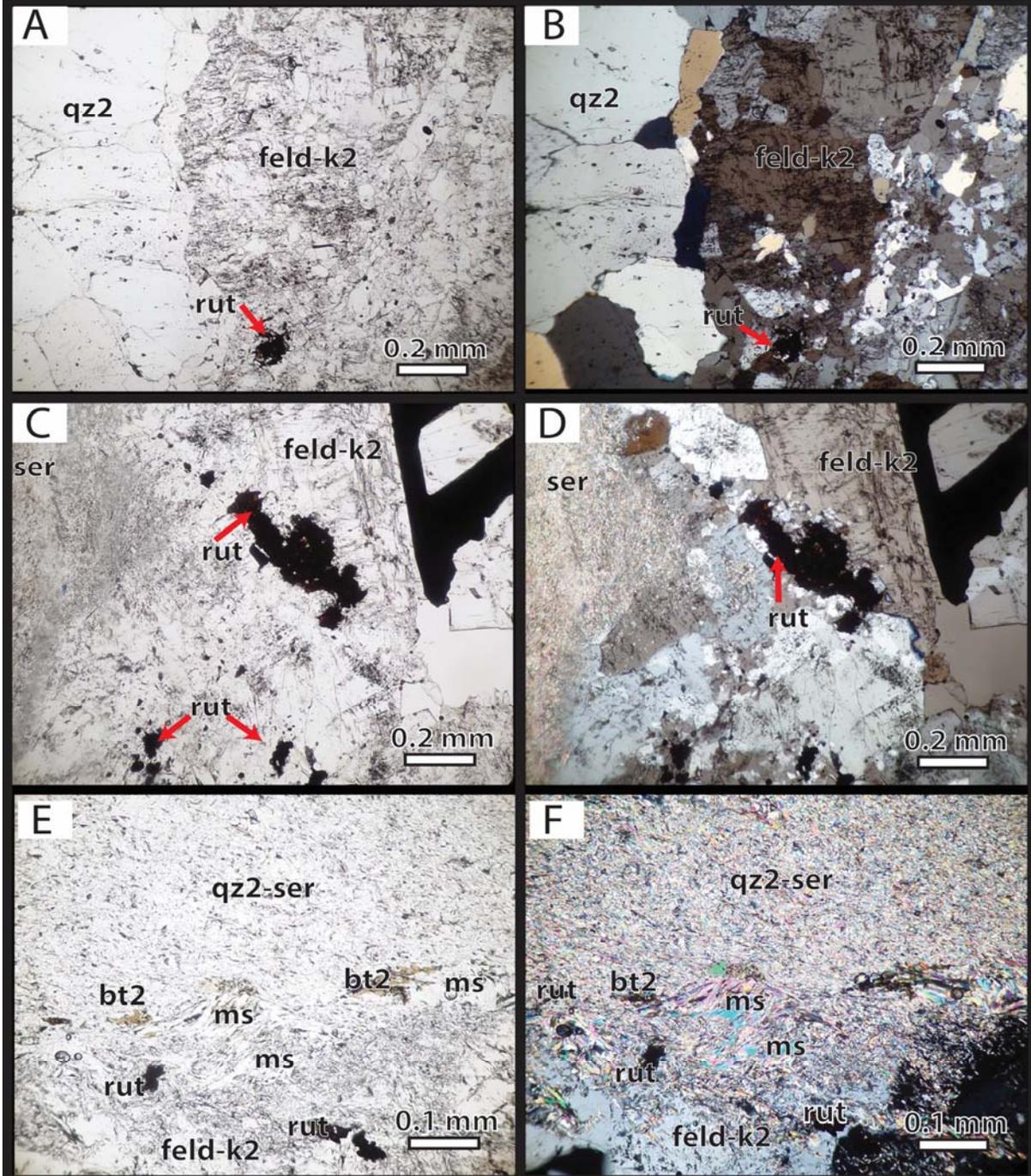
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta una alteración potásica biotítica pervasiva y selectiva, y alteración sericita gris verde asociada a vetillas. La mineralización de sulfuros es principalmente en vetillas y en menor proporción diseminada en la roca, donde el sulfuro de hierro es calcopirita y en menor proporción molibdenita y bornita. Se observan las siguientes V1.6 vetillas: vetilla recta y continua rellena de Qz-Moli (B), cortada por vetilla V2.6 Cpy-Qz, con halo difuso de sericita (V2.6 C2). Paralela a estas, se observan vetas de límites difusos rellenas de Qz principalmente, Feld-K subordinado y en menor proporción Cpy, Bn y Moli, en orden de abundancia, y con un halo continuo de límites difusos compuesto principalmente de sericita (V3.6, C2 reactivada).</p> <p><b>TEMPORALIDAD DE EVENTOS:</b> 1. Alteración potásica selectiva 2. Alteración sericita gris verde - vetilla V1.6 - vetilla V2.6 - vetilla V3.6</p>

DESCRIPCION MICROSCOPICA	
<p>El corte transparente permite una descripción detallada de la mineralogía presente en la vetilla V3.6</p>	

a) Mineralogía de alteración	% Total	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Sericita	6	2	4	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.125 mm. Se presenta principalmente como halo de vetilla y en menor proporción, alterando débilmente a cristales de feldespato potásico.
Cuarzo	60	60		Cristales anhedrales prismáticos de 0.1 < -2 mm. Se presenta como relleno de la vetilla y en menor proporción en halo de vetilla junto con sericita y muscovita.
Feldespato - K	20	20		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de 0.5 - 2 mm. Se presenta como relleno en los bordes de la vetilla junto con el cuarzo. Algunos cristales, están alterados moderadamente a sericita.
Calcopirita	5	5	tr	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares de 0.2 - 0.8 mm. Se presenta principalmente como relleno en vetilla y en menor proporción (trazas) en el halo
Bornita	4	3	1	Cristales anhedrales prismáticos de 0.2 - 1mm. Se encuentra como relleno en vetilla y en menor proporción diseminado en el halo de la vetilla. Se encuentra en paragénesis con calcopirita
Molibdenita	1	1	tr	Cristales anhedrales de 0.2 mm. Se encuentra principalmente como relleno en la vetilla, específicamente en el borde esta, rellenando de forma discontinua. También se encuentra en trazas en el halo de la vetilla
Muscovita	4		4	Cristales subhedrales tabulares de 0.125 mm. Se encuentra conformando parte del halo junto con sericita y cuarzo.
Biotita	tr		tr	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares < 0.1 mm diseminados en el halo de la vetilla
Rutilo	tr		tr	Cristales anhedrales botroidales de 0.2 mm. Se presenta diseminado en el halo de la vetilla y en el relleno
	<b>100</b>			

b) Vetillas	
V3.6 Qz-Feld-K-Cpy-Bn±Moli con halo SGV	Vetilla de espesor mínimo de 2 cm rellena solamente de cuarzo en el centro y en los borde, cuarzo y feldespato potásico. En menor proporción calcopirita, bornita y molibdenita, en orden de abundancia, diseminadas en la vetilla. Presenta un halo de mínimo 5 mm de espesor, conformado principalmente de sericita ,muscovita, menor cuarzo y trazas diseminadas de biotita, rutilo, bornita, calcopirita y molibdenita.

OBSERVACIONES ESPECIALES/DETALLES



A y B: Fotomicrografías 5x a luz transmitida en nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa el centro de la vetilla rellena de cuarzo y parte del borde conformado por feldespato-k y cuarzo.

C y D: Fotomicrografías 5x a luz transmitida en nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa el límite difuso de la vetilla y parte del halo de sericita, también la presencia de rutilo en cúmulos sobre feldespato-k

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/02/2017	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-07			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	SEM-07
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		Elevación (m)	
		2,309	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito		01/04/2017

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA	
<p>Roca ígnea intrusiva gris clara clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica selectiva. La mineralización de sulfuros es principalmente en vetillas y diseminada en la roca, siendo la calcopirita el sulfuro dominante y en menor proporción, bornita, pirita y molibdenita, en orden de abundancia. Se observan 5 tipos de vetillas:</p> <p>V0.7 Bt-Qz-Cpy, micro-vetillas levemente sinuosas, de límites difusos, discontinuas, de espesor relativamente constante de &lt;1 mm, rellenas principalmente de biotita y en menor proporción cuarzo y calcopirita.</p> <p>V1.7 Qz-Cpy-Bn, vetilla recta y continua, de límites difusos y espesor constante de 3 mm, rellenas principalmente de cuarzo y en menor proporción calcopirita, trazas de bornita. Presenta un halo de límites difusos de espesor constante de 2 mm compuesto por feldespato-k, cuarzo y calcopirita, biotita diseminadas.</p> <p>V2.7 Qz-Cpy-Py-Bn-Anh, vetilla recta, continua, de límites difusos, de espesor constante de 1 cm, rellena de cuarzo, calcopirita, pirita, bornita y anhidrita. Presenta un halo difuso de 15 mm, compuesto principalmente de sericita, feldespato-k, y biotita y calcopirita diseminados. Corta a V1.7.</p> <p>V3.7 Qz-Anh-Cpy-Py-Bn-Mo, vetilla recta, continua de límites difusos y espesor constante de 15 mm, rellena de cuarzo y anhidrita, en menor proporción, calcopirita, pirita, bornita y molibdenita. Presenta un halo difuso de 2 cm de SGV.</p>	

<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzodiorita
----------------------	--------------------

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica biotítica pervasiva y selectiva en biotitas y bordes de granos de plagioclasas, sobreimpuesta por una alteración sericita gris verde en halo de vetillas. La mineralización de sulfuros es principalmente en vetillas y en menor proporción, diseminada en la roca. El sulfuro dominante es calcopirita, y en menor proporción, bornita, pirita y molibdenita, en orden de abundancia. Se observan 5 tipos de vetillas: V0.7 Bt-Qz-Cpy (EB), V1.7 Qz-Cpy-Bn con halo de Qz-Feld-k-Cpy-Bt (B), V2.7 Qz-Cpy-Py-Bn-Anh(C2) y V3.7 Qz-Anh-Cpy-Py-Bn-Mo con halo de SGV (C2).</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1. Alteración potásica biotítica pervasiva; 2. vetilla V1.7; 3. Alteración sericita gris verdevetilla- vetilla V2.7 - vetilla V3.7</p>

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>En el corte transparente se puede observar la textura del protolito y su mineralogía primaria, mineralogía de alteración y vetilla V3.7</p>	

#### DESCRIPCIÓN GENERAL ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS

<b>Textura</b>	Fanerítica, Holocristalina
----------------	----------------------------

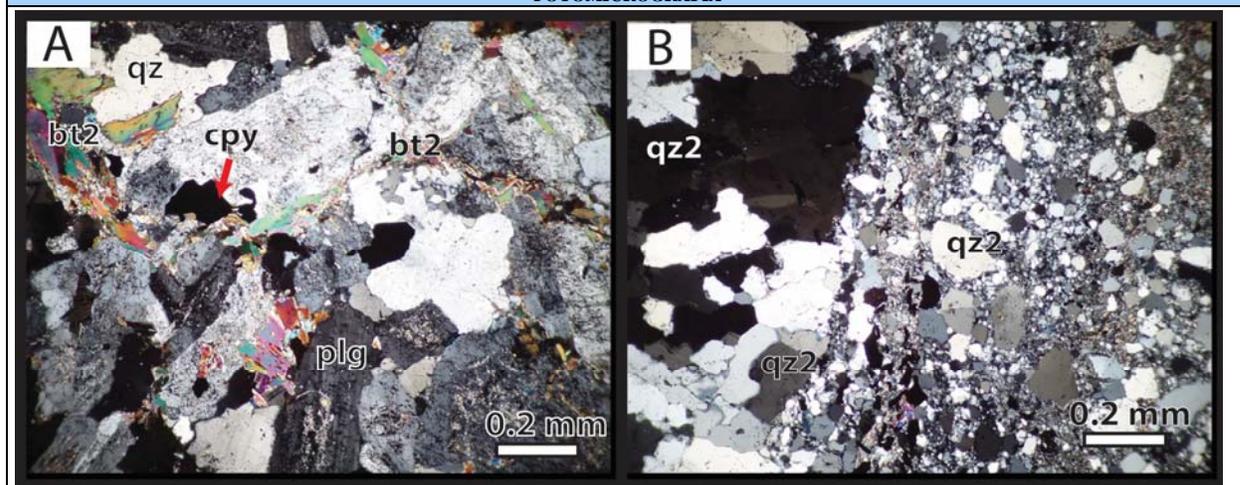
a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	70	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de < 2.5 mm, alterados moderada a pervasivamente a sericita y en algunos granos los bordes están alterados a biotita
Cuarzo	10	Cristales anhedrales de < 2 mm
Feldespato-k	15	Cristales anhedrales tabulares de <2 mm alterados debilmente a pervasivamente a sericita
Biotita	5	Cristales subhedrales laminares de 0.2 - 0.6 mm diseminados. Alteradas debil a moderadamente a biotita y clorita.

b) Mineralogía secundaria	% Total	Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita secundaria	5	5			Cristales anhedrales <0.25 mm alteradas debil a moderadamente a clorita. Se presenta como mineral de alteración en la roca huésped alterando pervasiva y selectivamente a biotitas y plagioclasa (como reemplazo metamórfico en los bordes de grano)
Clorita	2	2			Se presenta alterando débil a moderadamente a biotitas primarias y secundarias.
Rutilo	tr	tr			Cristales anhedrales <0.025 mm de espesor en cúmulos diseminados en la roca. En paragénesis con clorita

Sericita	30		25	5	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.25 mm. Se presenta principalmente como halo de alteración de vetilla, también, se encuentra alterando débil a moderadamente a feldespatos y plagioclasas de la roca huésped y en menor proporción, alterando a feldespatos-k del relleno de vetilla.
Muscovita	5			5	Cristales subhedrales tabulares de <0.4 mm. Se presentan conformando parte del halo junto con sericita y cuarzo
Anhidrita	5	tr	5		Cristales subhedrales prismáticos de 0.25-1 mm de espesor. Se presenta como relleno en vetillas y también de forma diseminada entre bordes de granos de la roca huésped.
Cuarzo Secundario	15		15		Cristales anhedrales < 1 mm de espesor. Se presenta como relleno de vetilla y microcristales (<0.2 mm) en microbrecha
Feldespato - K Secundario	2		2		Cristales anhedrales <1 mm. Se presentan como relleno en vetilla, alterados débil a moderadamente a sericita.
Calcopirita	7	1	6		Cristales anhedrales de <1 mm. Se presenta, principalmente, como relleno en vetilla (en paragénesis con bornita y molibdenita) y en menor proporción diseminado en la roca huésped y el halo de la vetilla (en paragénesis con bornita).
Molibdenita	3		3		Cristales anhedrales <0.5 mm. Se presenta como relleno en vetilla en paragénesis con bornita y calcopirita.
Bornita	3	tr	3		Cristales anhedrales <0.5 mm. Se presenta principalmente como relleno en vetilla y en menor proporción diseminado en la roca huésped y en el halo de la vetilla.
Min Primaria sin Alteración	23		-	-	
	100				

c) Vetillas	
V3.7 Qz-Cpy-Bn-Moli-Anh	Vetilla recta y continua, de límites definidos y espesor constante mínimo de 1,3 mm, rellena principalmente de cuarzo en el borde, en menor proporción anhidrita y feldespato potásico, al centro de la vetilla se observan granos de cuarzo de un tamaño considerablemente más pequeño, intercrecidos con sericita, entre medio de granos de cuarzo de un tamaño mayor (pareciera ser una micro brecha-textura de fluidización-régimen dúctil). También contiene calcopirita, bornita y molibdenita. Presenta un halo de alteración de 1,8 mm principalmente de muscovita, menor cuarzo, biotita y sericita (halo sericita gris verde). Cristales de feldespato-k están alterados débilmente a sericita.

#### FOTOMICROGRAFIA



A: Fotomicrografía 5x a nículos cruzados, se puede observar microvetilla V0.7 la cual está rellena principalmente por biotita secundaria y calcopirita. Se puede apreciar la sinuocidad de esta y también la variación en su espesor.

B: Fotomicrografía 5x, a nículos cruzados del relleno de la vetilla V3.7. Se puede observar la textura de flujo en el centro de la vetilla, representando un régimen dúctil y el borde con cristales de cuarzo de un tamaño considerablemente mayor representando la circulación de un fluido en la fractura pre-existente

Estudio nor	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	01/04/2017	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-08				
Objetivo del estudio :			Confección	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
			N° Muestra	SEM-08
			Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	MO-105	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
				3,547
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra			Fecha
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito			27/03/2017

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA	
<p>Roca ígnea intrusiva gris clara con tonalidades verdes de textura fanerítica de grano fino clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración cuarzo-sericita-clorita pervasiva. Se observan 2 tipos de vetillas:</p> <p>V1.8 Qz-Cpy-Chl-Ser, stockwork de vetillas sinuosas, discontinuas de límites difusos y espesores variables rellenas principalmente de cuarzo, calcopirita, clorita .</p> <p>V2.8 Ser, vetilla recta y continua de límites bien definidos y espesor constante de 1 mm, rellena principalmente de sericita. Corta a V1.8</p>	

Clasificación	Cuarzomonzodiorita fina
---------------	-------------------------

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta una fuerte alteración cuarzo-sericita-clorita-arcillas pervasiva y un stockwork de vetillas sinuosas, continuas, de límites difusos y espesores variable de Qz-Cpy-Chl-Anh (V1.8) las cuales son cortadas por una vetilla recta y continua de espesor constante de 1 mm rellena principalmente de sericita (V2.8). TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1)Alteración cuarzo-sericita-clorita-arcillas, 2) stockwork de vetillas V1.8, 3)vetilla V2.8.

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>En el corte transparente sólo es posible identificar la textura del protolito debido a la intensa alteración. Se puede observar los minerales de alteración presentes en la roca y una descripción más detallada de las vetillas V1.8</p>	

DESCRIPCIÓN GENERAL ROCAS IGNEAS INTRUSIVAS
---

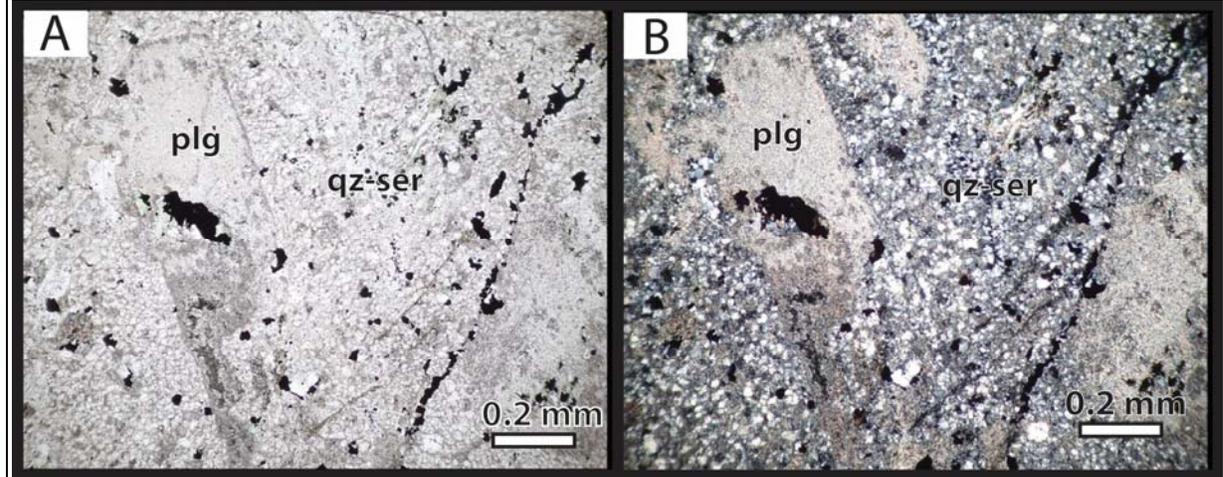
Textura	Textura porfírica
---------	-------------------

a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	5	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares ~ 1 mm, de muy baja integridad alteradas pervasivamente a arcillas, sericita y algunos cristales, a clorita y menor epidota.

b) Mineralogía de alteración	% Total	Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Cuarzo Secundario	30	20	10		Cristales anhedrales 0.05 mm - 1 mm de espesor. Se presenta como relleno de vetillas y como mineral de alteración pervasivo en toda la roca.
Feldespato-k secundario	3		3		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0.3 mm. Se presenta como relleno de vetillas. Altearos moderadamente a sericita y arcillas.
Arcillas	15	15			Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando pervasivamente a plagioclasas y feldespatos.
Sericita	25	25			Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.05 mm. Se presenta alterando pervasivamente a plagioclasas y feldespatos-k de la roca huésped.
Clorita	7	4	3		Se presenta como cristales anhedrales a subhedrales tabulares, de <0,5 mm, alterando débilmente a pervasivamente a plagioclasas y también como relleno en vetillas.
Rutilo	tr	tr			Cristales anhedrales <0.025 mm de espesor en cúmulos y en paragénesis con clorita
Epidota	tr	tr			Cristales anhedrales <0.02 mm de espesor. Se presenta alterando plagioclasas.
Anhidrita	tr		tr		Cristales subhedrales prismáticos de < 0.5 mm de espesor. Se presenta como relleno en vetillas.
Calcopirita	15	tr	15		Cristales anhedrales de <0.01 mm - 1 mm. Se presenta, principalmente, como relleno en vetillas y en menor proporción diseminado en la roca.
Mín Primaria sin Alteración	5				
	100,0				

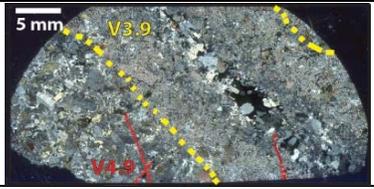
c) Vetillas	
V1.8 Cpy-Qz-Chl-Feld-k ± Anh	Vetillas sinuosas y continuas, de límites difusos y espesor variable, rellenas principalmente de cuarzo y calcopirita, y en menor proporción, clorita, feldespato potásico y anhidrita. Feldespato-k alterados a sericita y arcillas

**FOTOMICROGRAFIA**



A y B: Fotomicrografía 5x a nicoles paralelos y cruzados. Respectivamente. Se observa fenocristal de plagioclasa alterado pervasivamente a sericita, arcillas y clorita. Se puede apreciar también la alteración cuarzo-sericita pervasiva.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	27/03/2017	Katja Deckart

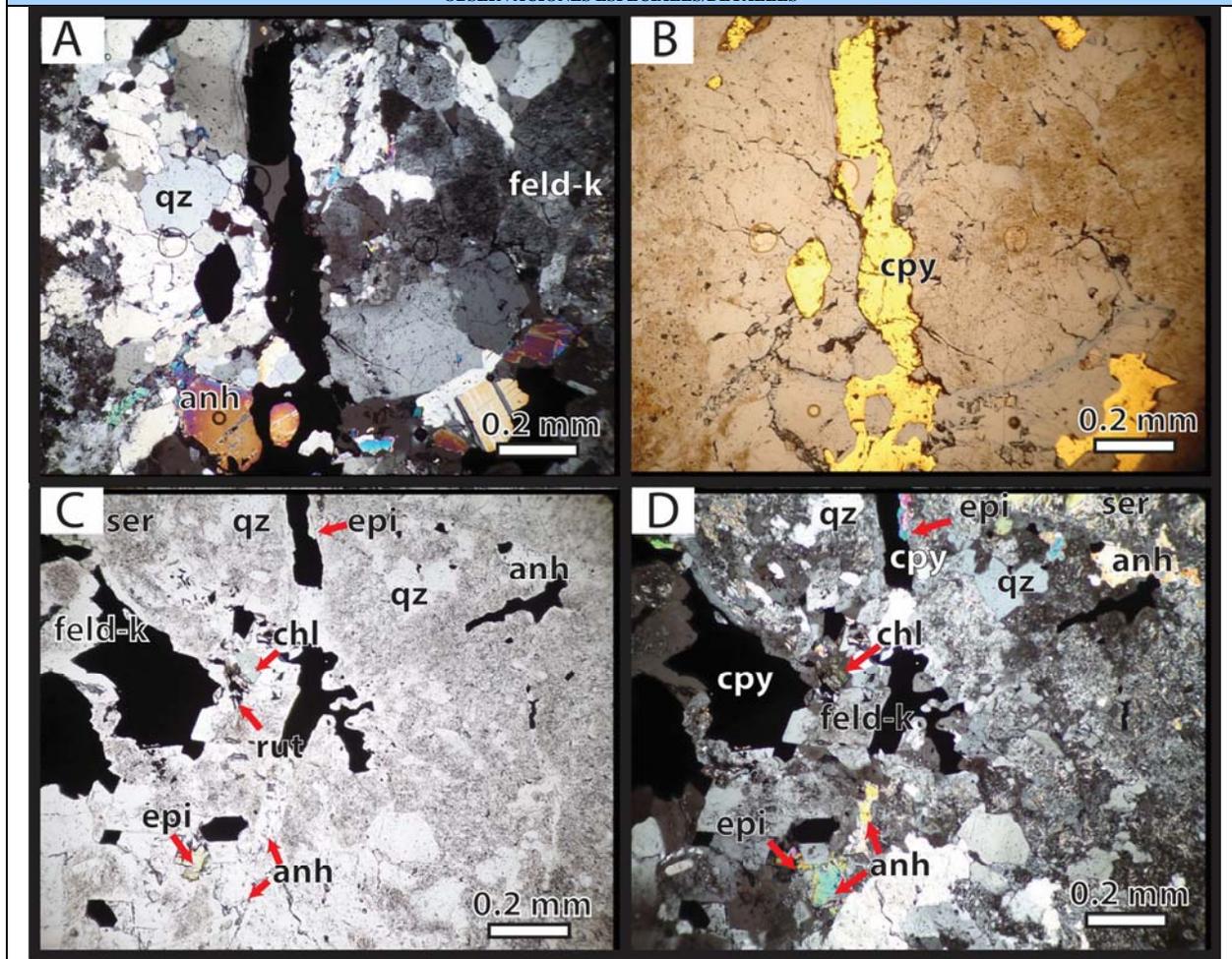
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-09							
Objetivo del estudio :			Confeción	CT Estandar			
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			Tipo Estudio	Geoquímica isotópica			
			N° Muestra	SEM-09			
			Origen	Minera Los Bronces			
Procedencia Exacta	MO-105	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)			
				3199 m			
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra			Fecha			
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito			09/02/2017			
OBSERVACION MACROSCOPICA							
<p>Roca ígnea intrusiva gris clara de textura porfírica clasificada como cuarzomonzodiorita fina. La roca presenta una alteración potásica selectiva, propilitica diseminada en toda la roca y en microvetillas, y sericita gris verde asociada a vetillas. Se observan 4 tipos de vetillas:</p> <p>V1.9 qz ± cpy ± bn, vetilla recta y continua, de límites difusos y de 1 mm de espesor con un halo de límites definidos, posiblemente de biotita y de espesor constante de 4 mm.</p> <p>V2.9 feld-k - moli, vetilla recta y continua de 3 mm de espesor, sin halo.</p> <p>V3.9 qz - cpy ± moli, recta continua de límites difusos y espesor constante de 5 mm rellena con cuarzo granular traslúcido, cpy y en menor proporción, molibdenita; con un halo continuo y gradacional, de 5 mm de espesor conformado por cuarzo, sericita y biotita.</p> <p>V4.9 qz-ep-chl ± cpy, stockwork de microvetillas rectas y continuas de &lt;0.5 mm de espesor, cortan a V2.9 y</p>							
Clasificación			Cuarzomonzodiorita fina				
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS							
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzodiorita fina. Presenta alteración potásica pervasiva, débil y selectiva en cristales de biotita. Cloritización de biotitas (primarias y secundarias) y alteración sericita gris verde asociado a vetilla. Se observan 4 tipos de vetillas: V1.9 Vetilla recta y continua rellena de Qz y en menor proporción calcopirita y bornita, con halo (EBT), V2.9 vetilla recta y continua rellena principalmente de Feld-k y Moli subordinada (B), V3.9 vetilla recta y continua rellena de Qz-Cpy-Moli-Anh ±Epi ±Chl, con halo gradacional de cuarzo, sericita, arcillas, biotita (C), todas estas vetillas son cortadas por un stockwork de microvetillas discontinuas rellenas de Qz-Anh-Chl-Cpy, con trazas de Bn y Epi (V4.9).</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración potásica pervasiva y selectiva; 2. vetilla V1.9 (EBT) 3. vetilla V2.9 (B); 4. Alteración sericita gris verde - vetilla V3.9 (C), 2) Alteración clorita-epidota - vetillas V4.9.</p>							
OBSERVACIÓN MICROSCOPICA							
<p>El corte transparente representa un 20% de la roca huésped y permite una descripción de detalle de dos grupos de vetillas (V3.9 y V4.9) y la mineralogía de alteración presente.</p>							
DESCRIPCION GENERAL ROCAS PORFIDICAS							
Textura	Holocristalina, Porfírica (fenocristales de plagioclasa y biotita), Glomeroporfírica (aglomerados de biotita)			% Fxx	20	% MF:	80
a) Fenocristales	%	Características (Composicionales y texturales)					
Plagioclasa	4	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad baja a intermedia, de >1 mm, alterados debilmente a sericita					
Biotita	tr	Cristales subhedrales tabulares, de integridad baja a intermedia, de 1-1.5 mm alterados debil a fuertemente a clorita y a biotita secundaria.					
	4						
b) Masa Fundamental	%	Características (Composicionales y texturales)					
Plagioclasa	12	Cristales euhedrales a subhedrales tabulares, de integridad baja a intermedia, de <1 mm alterados moderadamente a sericita					
Cuarzo	2	Cristales anhedrales prismático de 0.25 mm - 0.5 mm					
Feldespatos-k	2	Cristal subhedrales tabulares, de integridad baja a intermedia, de <0.5 mm alterados debil a moderadamente a sericita					
Biotita	tr	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad baja a intermedia, de < 1 mm, alterados moderada a fuertemente a clorita					
	16						
c) Mineralogía de alteración	% Total	% Fenocristales	% Masa Fundamental	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)	
Biotita secundaria	13	5	3		5	Cristales subhedrales tabulares de <0.025 mm de espesor, diseminados y en cúmulo, alteradas débil a fuertemente a clorita. Se encuentran alterando a fenocristales de biotita y en menor proporción se presenta como halo de vetilla.	
Clorita	5	2	2	1		Cristales subhedrales tabulares de <0.025 mm de espesor. Se presenta alterando principalmente a biotita primaria y secundaria, en cúmulos y, en menor proporción, como relleno en vetilla.	
Muscovita	20				20	Cristales subhedrales a euhedrales hojosos aciculares de 0.03 mm. Se presenta como halo de alteración.	
Sericita	15			tr	15	Cristales subhedrales hojosos <0,025 mm alterando debilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos.	
Cuarzo secundario	6				6	Cristales anhedrales de 0.02 - 0.6 mm. Se presenta como relleno en vetillas.	
Feldespatos-k secundario	12		10	2		Cristales anhedrales de 0.2 - 1 mm. Se presenta como relleno en vetilla y también alterando a minerales primarios de la roca huésped.	
Epidota	1			1		Cristales anhedrales de 0.25 mm. Se presenta como relleno en vetilla.	
Anhidrita	2		tr	2	tr	Cristales subhedrales prismáticos de <1 mm. Se presenta como relleno en vetilla y también diseminados en la roca.	

Rutilo	1				1	
Calcopirita	3		tr	3		Cristales anhedrales prismáticos de 0.075 - 0.25 mm en paragénesis con bornita y molibdenita. Se presenta como relleno en vetilla v.1 y en las microvetillas v.2, y en menor proporción diseminados en la roca huésped
Bornita	tr			tr		Cristales anhedrales cúbico <0.075 mm en paragénesis con bornita. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas y en menor proporción diseminada en roca. En paragénesis con hematita, reemplazando a calcopirita
Hematita	1			1		Cristales anhedrales de <0.125 mm en paragénesis con calcopirita. Se encuentra como relleno de vetilla
Min. Primaria	21					

100

d) Vetillas	
V3.9: qz-cpy-moli-anh ± feld-k ±epi ±chl	Vetilla recta y continua de límites difusos de 3 mm de espesor rellena principalmente de cuarzo, en menor proporción calcopirita, anhidrita y feldespatos potásico, y trazas de epidota y clorita. Presenta un halo de alteración gradacional de límites difusos y de espesor constante de 8 mm conformado por, desde el centro a los bordes, cuarzo-sericita-arcillas, cuarzo-muscovita-biotita.
V4.9: qz + anh + cpy ± bn	Stockwork de micros vetillas rectas a levemente sinuosas, discontinuas de límites definidos y de espesor constante de- 0.075 mm, rellena de qz + anh+ cpy ± bn, sin halo. Cortan a V3.9

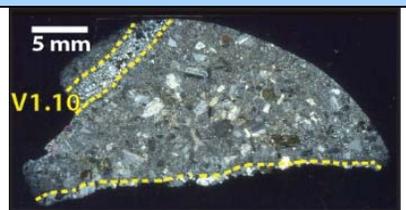
OBSERVACIONES ESPECIALES/DETALLES



Ay B: Fotomicrografía 5x, a luz transmitida en nicoles cruzados y a luz reflejada, respectivamente. Se observa vetilla V3.9, relleno de principalmente de Qz, calcopirita y en menor proporción anhidrita. Se observa parte del halo conformado por cuarzo y sericita.

C y D: Fotomicrografía 5x, a luz transmitida en nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa vetilla V4.9 cortando a vetilla V3.9. Vetilla V4.9 se encuentra rellena de calcopirita, cuarzo, anhidrita.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	09/02/2017	Katja Deckart

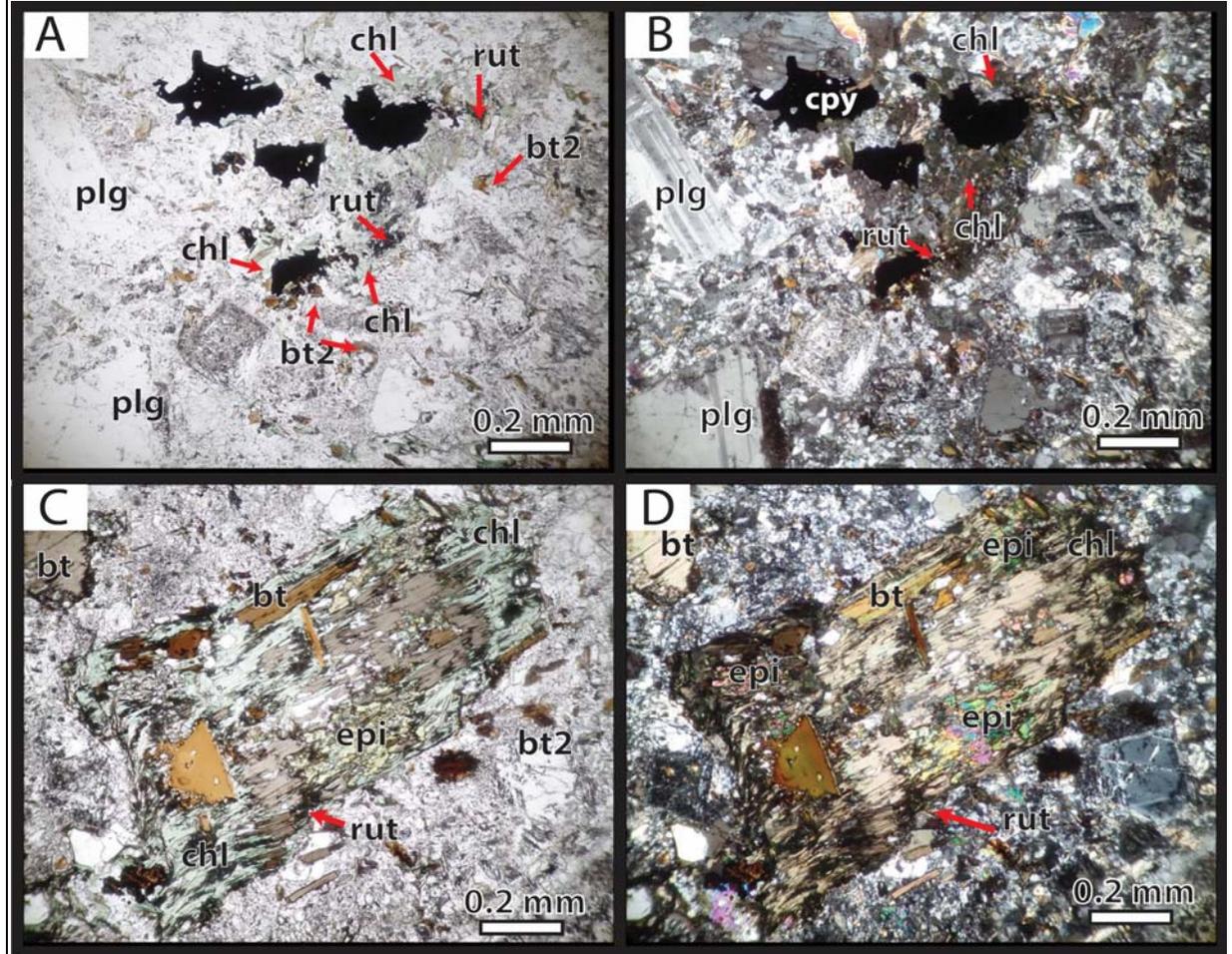
DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-10							
Objetivo del estudio :		Confeción	CT Estandar				
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		Tipo Estudio	Geoquímica isotópica				
		Nº Muestra	LB-10				
		Origen	Minera Los Bronces				
Procedencia Exacta	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)				
LB160034			2.365				
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra		Fecha				
	Minera Los Bronces, sector Los Bronces		30/01/2017				
OBSERVACION MACROSCÓPICA							
<p>Brecha ígnea monomítica clasto-soportada con fragmentos subangulosos de roca ínea intrusiva félsica. A escala macroscópica no se logra distinguir la diferencia entre el cemento y la matriz. Sin embargo, se observa que el relleno entre clastos tienen una mineralogía de Bt-Qz±Cpy±Py±Moli. Los sulfuros se presentan en el cemento, y posiblemente en la matriz, como también diseminados en los fragmentos.</p> <p>Se observan las siguientes vetillas:</p> <p>V1.10 Qz-Moli ±Anh ±Py ± Cpy: vetillas rectas y continuas, de espesor mínimo de 1 mm, rellenas principalmente de cuarzo y molibdenita, y en menor proporción, anhídrita, pirita y calcopirita.</p> <p>V2.10 Moli-Cpy±Bt: vetillas rectas y continuas, de espesor constante de 2 mm, rellenas</p>							
Clasificación	Brecha ígnea						
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS							
Brecha ígnea clasto-soportada con fragmentos subredondeado de cuarzomonzodiorita porfírica. Los fragmentos presentan una alteración potásica pervasiva, moderada y selectiva en biotitas. También se observa una cloritización y epidotización selectiva y moderada de biotitas (primarias y secundarias) y plagioclasa. La brecha está cortada por vetillas rectas y continuas de Qz-Moli ±Anh ±Py ± Cpy ± Epi (V1.10), y también por vetillas rectas y continuas de Moli-Cpy±Bt (V2.10).							
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Brechización - Alteración potásica, 2) Alteración clorita-epidota, 3) vetillas V1.10 y V2.10							
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA							
<p>La descripción microscópica abarca una parte del fragmento cortada por un tipo de vetilla (V1.10), aportando a una descripción más en detalle de los minerales primarios y secundarios presentes en los fragmentos de la brecha.</p>							
DESCRIPCIÓN GENERAL DE BRECHAS							
a) CLASTOS O FRAGMENTOS (80%)							
Cuarzomonzodiorita, presenta textura porfírica (fenocristales de plagioclasa y biotita), glomeroporfírica (aglomerados de biotita), zonación en plagioclasas		% Fxx	20	% MF:	80		
a.1) Fenocristales	%	Características (Composicionales y texturales)					
Plagioclasa	15	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad baja-intermedia, de >3 mm					
Biotita	5	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad baja, de 3 mm, alteradas intensamente a clorita y menor epidota					
	20						
a.2) Matriz	%	Características (Composicionales y texturales)					
Plagioclasa	45	Cristales subhedrales tabulares, de <0,4 mm con baja integridad, alteradas debilmente a biotita secundaria, clorita, epidota.					
Cuarzo	15	Cristales anhedrales prismáticos de <0,2 mm					
Biotita	5	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de 0.2-0.4 mm, diseminados y en cúmulo en la masa fundamental, alterados fuertemente a clorita y menor epidota					
Feldespato-k	15	Cristales subhedrales tabulares, de <0,4 mm con integridad intermedia, diseminados en la masa fundamental.					
	80						
b) Mineralogía de Alteración	% Total	% Fenocristales	% Masa Fundamental	% Halo	% Relleno	Características (Composicionales y texturales)	
Biotita secundaria	5	0	5			Se presenta como cristales anhedrales tabulares, de integridad media-alta, de <0,1 mm diseminados en la roca y alterando a biotitas primarias. Algunas están parcialmente cloritizadas	
Clorita	6	4	2			Se presenta como cristales anhedrales tabulares, de integridad media, de <0,1 mm, alterando de forma selectiva principalmente a biotita primaria y secundaria, y también asociada a biotita secundaria	
Rutilo	tr	tr				Se presenta como cristales anhedrales, de integridad alta, de 0.1 mm, en cúmulos asociado a clorita	
Epidota	tr	tr	tr		tr	Se presenta como cristales anhedrales, de integridad media, de 0.2 -1 mm, alterando a biotita y diseminado en vetillas	

Anhidrita	tr				tr	Cristales subhedrales de 0,2-0,5 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas
Calcopirita	tr		tr		tr	Cristales anhedrales de <0,4 mm. Se encuentra diseminados en la brecha y como relleno en vetillas
Cuarzo secundario	6				6	Cristales anhedrales a subhedrales prismáticos de 0,1 - 0,8 mm. Se encuentra como relleno en vetillas.
Molibdenita	3				3	Se presenta como cristales anhedrales, de inequidat media de 0,2-0,8 mm. Se encuentra diseminados en vetilla
Min Primaria sin Alteración	80	30	50			

100

b) Vetillas (10%)	%	Características (Composicionales y texturales)				
V1.10 Qz ± Moli ± Anh ± Cpy ± Epi	10	Vetilla recta y continua con sus límites definidos y espesor constante de 2 mm, rellena principalmente cuarzo y en cantidades menores de molibdenita, calcopirita, epidota y anhidrita				

FOTOMICROGRAFIA



A y B: Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nícoles paralelos y cruzados, respectivamente: Se observa el protolito, fenocristales de plagioclasa inmersos en una masa fundamental de grano fino. Se observan los granos de calcopirita diseminados, asociados a clorita, rutilo y biotita secundaria

C y D : Fotomicrografía 5x a luz transmitida en nícoles paralelos y cruzados, respectivamente: Se observa fenocrystal de biotita de baja integridad, producto de una cloritización y epidotización. Se observa, también, biotita secundaria de grano fino.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	30/01/2017	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-13			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	<b>CT Estandar</b>
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	<b>Geoquímica isotópica</b>
		<b>N° Muestra</b>	<b>LB-13</b>
		<b>Origen</b>	<b>Minera Los Bronces</b>
<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
LB170005	6.330.825.614.00	380.563.345.00	3.105
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces	10/01/2018	

#### OBSERVACION MACROSCOPICA

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una alteración potásica Bt-Feld-k pervasiva, sobreimpuesta por una alteración sericita-epidota y clorita-sericita débiles.

Se observa un tipo de vetilla:

v1.13 Qz-Cpy: vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante de 3 a 10 mm rellena principalmente de cuarzo y calcopirita. Presenta un halo de alteración conformado principalmente de albita.



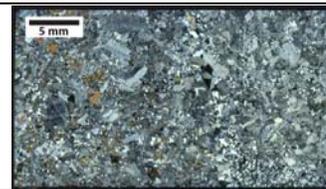
**Clasificación** Cuarzomonzonita fina

#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una moderada alteración potásica Bt-Feld-k pervasiva y selectiva, sobreimpuesta por una moderada alteración sericita-arcillas y finalmente por una débil alteración clorita ± epidota selectiva en biotitas y plagioclasas. Se observan dos tipos de vetillas, asociadas a la alteración potásica: v1.13 Qz-Cpy-Feld-k ± Anh con halo principalmente de albita (vetilla A) y v2.13 microvetillas sin halo de Bt-Cpy-Anh-Az± Bn (vetillas EB)  
**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1.- Alt. Potásica biotítica; 2. vetilla v2.13 (EB) - vetilla v2.13 (A); 3. Moderada alteración sericita-arcillas selectiva en plagioclasas; 4. Débil alteración clorita-epidota selectiva en biotitas y plagioclasas

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

Corte transparente permite una descripción más detallada de la mineralogía primaria y de alteración, como también del relleno y halo de las vetillas v1.13 y v2.13.



#### DESCRIPCION VETILLAS

a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	50	Cristales euhedrales a subhedrales tabulares de 1 a 2,5 mm alterados pervasivamente a sericita y arcillas. Cercano a estructuras se observa una albitización de estas.
Feldspato-k	30	Cristales subhedrales a anhedrales tabulares de 0,5 a 1 mm alterados pervasivamente a sericita y arcillas.
Cuarzo	15	Cristales anhedrales de 0,5 mm.
Biotita	5	Cristales subhedrales tabulares de 0,25 a 2 mm alterados pervasivamente a biotita secundaria y en menor proporción algunos cristales se encuentran cloritizados.

100

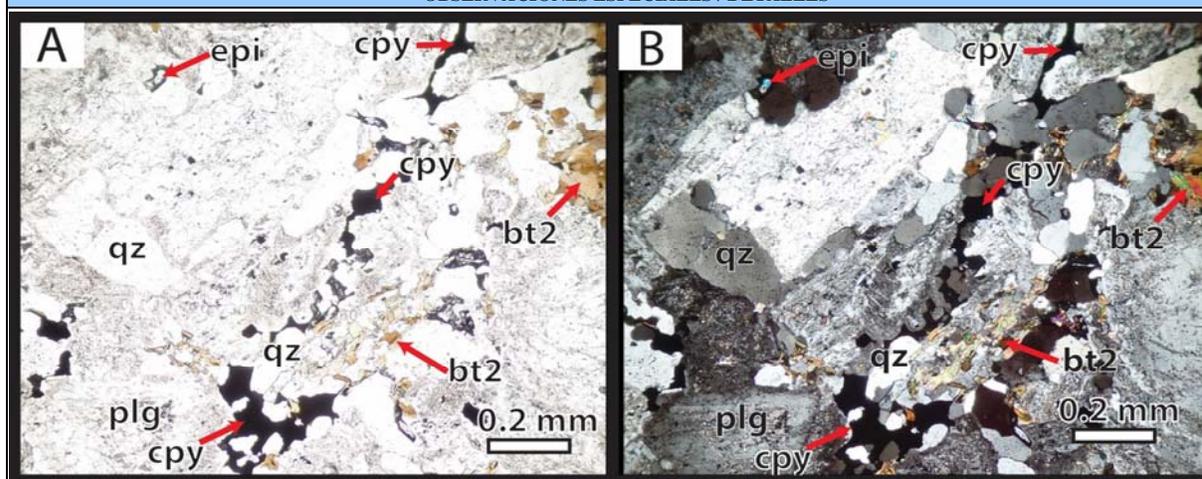
b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita Secundaria	12	3	9		Cristales subhedrales tabulares <0,25 mm. Se presenta principalmente alterando a minerales máficos y como relleno de microvetillas, en menor proporción se presenta diseminado en halo de vetillas.
Feldspato-k Secundario	5		5	tr	Cristales anhedrales <0,5 mm. Se presenta como relleno de vetillas
Cuarzo Secundario	15		15		Cristales anhedrales <0,25 mm. Se presenta como relleno de vetillas
Anhidrita	1		1		Cristales subhedrales prismáticos <1mm. Se presenta como relleno en vetilla
Calcita	tr			tr	Cristales subhedrales prismáticos de 0,25 mm. Se encuentra en halo de vetillas en paragénesis con clorita
Clorita	3	1		2	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <0,5 mm. Se presenta alterando débil a fuertemente a biotitas primarias y secundarias, como también en microvetillas y como halo de alteración

Epidota	tr			tr	Cristales subhedrales prismáticos de 0,1 mm se encuentra alterando a plagioclasas. En paragénesis con clorita
Albita	15			15	Cristales euhedrales a subhedrales tabulares de 2 mm. Se presenta como producto de una albitización de plagioclasas en el halo de las vetillas.
Calcopirita	4	1	3		Se encuentra principalmente como relleno en vetillas como también diseminado en el halo y en la roca huésped en paragénesis con bornita
Bornita	tr	tr			Se encuentra principalmente como relleno de microvetillas y en menor proporción diseminado en la roca, en paragénesis con calcopirita y biotita
Sericita	5	3		2	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.02 mm. Se presenta alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos pertenecientes al protolito
Arcillas	20	15		5	Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando moderada a fuertemente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Mineralogía Primaria	20				

100

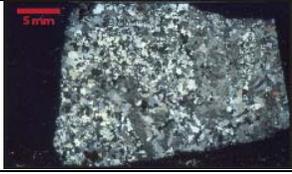
b) Vetillas	
v1.13 Qz-Cpy-Feld-k ±Anh	Vetilla recta, continua de límites difusos y espesor constante de 3 mm rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, en menor proporción feldespato potásico y trazas de anhidrita. Presenta un halo de alteración principalmente de albita, menor cuarzo con clorita, calcopirita diseminada y trazas de biotita, calcita y epidota. Albita se encuentra moderado a fuertemente alterado a arcillas
v2.13 Bt-Cpy-Anh-Az± Bn	Vetillas sinuosas, discontinuas, de límites difusos y espesor variable <1mm rellenas principalmente de biotita, cuarzo, y en menor proporción mx raro, calcopirita, bornita y trazas de anhidrita. No presentan halo

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



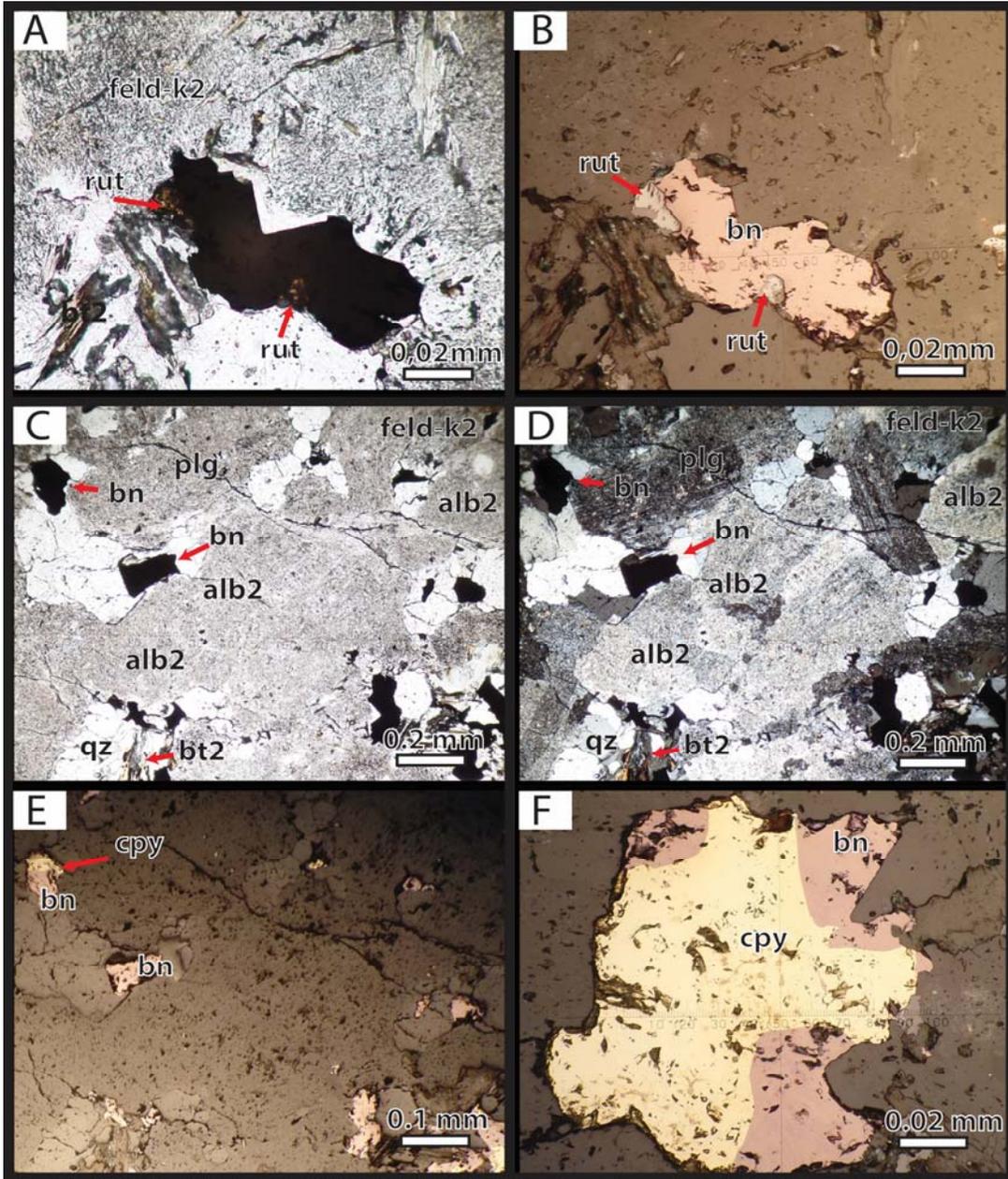
A y B: Fotomicrografía 5x a núcleos paralelos y cruzados, respectivamente. Se observan las vetillas v2.12

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-14					
Objetivo del estudio :			Confección	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			Tipo Estudio	Geoquímica isotópica	
			Nº Muestra	LB-14	
			Origen	Minera Los Bronces	
Procedencia Exacta	LB170005	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)	
		6.330.825.309	380.563.342,00	3.113	
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra			Fecha	
	Minera Los Bronces, sector Los Bronces			10/01/2018	
OBSERVACION MACROSCÓPICA					
Roca ígnea intrusiva clasificada como Cuarzomonzonita fina. Presenta una Alt potásica (kfeld y bt) moderada, clorita-epidota y clorita sericita débiles. Se observa una veta recta y continua, de límites difusos y espesor variable, mínimo de 3 cm, relleno principalmente de cuarzo y en menor proporción calcopirita, pirita y bornita, genera un halo de alteración difuso de plagioclasas albitizadas principalmente.					
Clasificación	Cuarzo monzodiorita fina				
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS					
Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una alteración potásica Bt-Feld-k sobreimpuesta por una alteración clorita-epidota y sericita - arcillas débiles. Se observa una veta continua de espesor variable de cuarzo, calcopirita, pirita y bornita con halo de albita.					
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1.- Moderada alteración potásica bt-feld-k - vetilla v1.14; 2.- Débil alteración clorita - epidota; 3.- Débil alteración sericita - arcillas					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
El corte transparente permite una descripción de la mineralogía presente en el relleno y halo de la veta v1.14, y parte de la mineralogía primaria					
DESCRIPCION VETILLAS					
a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)			
Plagioclasa	65	Cristales euhedrales a subhedrales tabulares, la mayoría están albitizadas y alteradas por sericita y arcillas principalmente, menor proporción a epidota.			
Feldespato-k	15	Cristales subhedrales a anhedrales tabulares de 0,25 mm alterados fuertemente a sericita y arcillas.			
Cuarzo	10	Cristales anhedrales de 0,3 mm			
Biotita	10	Cristales subhedrales tabulares de hasta 0,4 mm alterados débilmente a clorita			
	100				
b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Cuarzo secundario	40		40		Cristales anhedrales de 0,02 a 0,5 mm. Se encuentran como relleno de vetilla
Feldespato- K secundario	5		5		Cristales anhedrales de 0,2 a 1 mm. Se encuentran como relleno de vetilla como parte del halo de alteración.
Anhidrita	tr		tr		Cristales subhedrales prismáticos <0,05 mm. Se encuentra como relleno en vetilla
Biotita secundaria	1	1			Cristales subhedrales tabulares de 0,1 mm. Se encuentran diseminados y en cúmulos en la roca huésped, alterados débilmente a clorita.
Calcita	tr		tr		Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentra como relleno en vetilla
Sericita	7	7			Cristales subhedrales tabulares <0,02mm. Se encuentran alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Arcillas	10	10			Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando moderadamente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Epidota	tr	tr	tr		Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentran alterando débilmente a plagioclasas y como relleno en vetilla
Bornita	3		3		Cristales anhedrales <0,2 mm. Se encuentran como relleno de vetilla y diseminado en la roca. En paragénesis con calcopirita, covelina y magnetita.
Calcopirita	2		2		Cristales anhedrales <0,5 mm. Se encuentran como relleno en vetilla y diseminado en la roca
Covelina	tr		tr	tr	Cristales anhedrales <0,002 mm en paragénesis con bornita
Magnetita	tr		tr	tr	Cristales subhedrales prismáticos de 0,02 mm en paragénesis con bornita.
Albita	20			20	Cristales subhedrales tabulares ubicados en las proximidades de la veta producto de una albitización de plagioclasas. Alteradas moderadamente por arcillas y sericita.
Mineralogía primaria	12				
	100				

c) Vetillas	
v1.14 Qz - Cpy - Bn - Anh - Feld-k ± Calc ± Epi	Veta discontinua de espesor variable y de límites difusos rellena principalmente de cuarzo, calcopirita y bornita, con trazas de calcita y epidota. Presenta un halo de alteración conformado principalmente de albita.

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



Ay B: Fotomicrografía 20x a nicólos paralelos y cruzados, respectivamente. Se puede observar cristal de bornita en paragénesis con rutilo asociado a biotita.

C y D: Fotomicrografía 10x a nicólos paralelos y cruzados, respectivamente. Se pueden observar plagioclasas albitizadas alteradas débilmente a arcillas.

E y F: Fotomicrografía 10 x y 20x a luz reflejada, respectivamente. Se observa calcopirita y bornita en paragénesis diseminados en el relleno de la vetilla.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-15			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	<b>CT Estandar</b>
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	LB-15
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB170005	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		6.330.821.297	380.563.889
			<b>Elevación (m)</b>
			3.216
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector Los Bronces		08/01/2018

#### OBSERVACION MACROSCOPICA

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. La roca presenta una fuerte alteración clorita-albita pervasiva con mineralización diseminada de calcopirita a la cual se le superpone una débil alteración filica.

Se observa una vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor mínimo de 0,8 mm rellena de cuarzo, molibdenita, calcopirita, clorita y feldespato potásico.



<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina
----------------------	----------------------

#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración feldespato-albita pervasiva sobreimpuesta por una débil-moderada alteración clorita-sericita-arcillas. Se observa un tipo de vetilla: v1.15 Qz-Cpy-Moli-Feld-k-Chl, sin halo.

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1.- Alteración albita-feldespato-k; 2.- vetilla v1.15; 3.- Alteración clorita-sericita-arcillas

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

En el corte transparente se puede hacer una descripción más detallada de la mineralogía de alteración y de la composición de la vetilla.



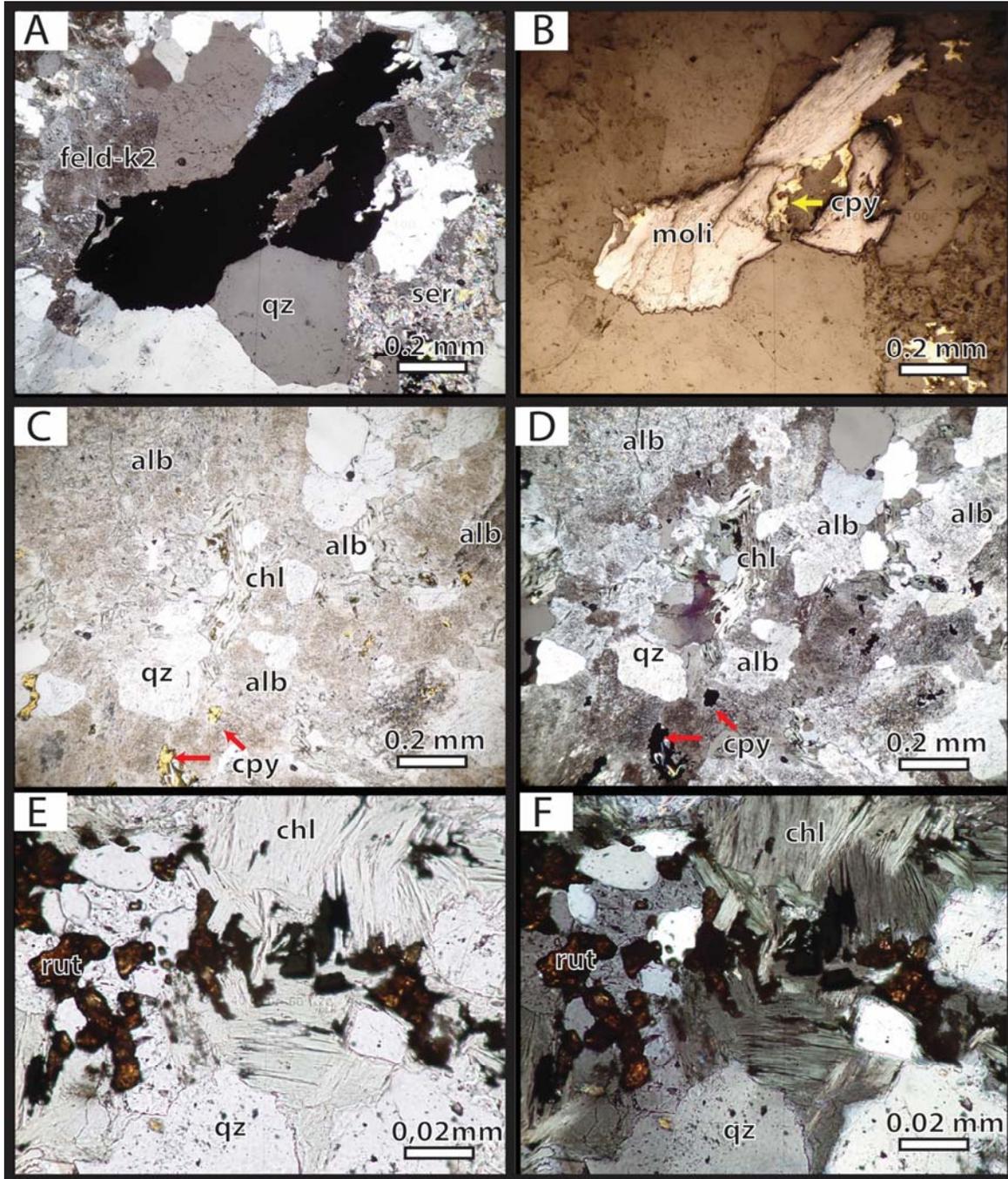
#### DESCRIPCIÓN VETILLAS

a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	40	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de 0,4 a 2,5 mm alterados pervasivamente a arcillas y en menor proporción a sericita y clorita. Algunas plagioclasas se encuentran albitizadas
Feldespato-k	40	Cristales anhedrales de 0,4 a 1 mm alterados pervasivamente a arcillas y débilmente a sericita.
Cuarzo	20	Cristales anhedrales de 0,5 a 1 mm.
	100	

b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Feldespato-k	5	5	tr		Cristales anhedrales de 0,4 a 1,5 mm. Se encuentra alterando pervasivamente a toda la roca y en menor proporción como relleno en vetilla
Cuarzo	15		15		Cristales anhedrales de 0,2 a 2 mm. Se encuentra como relleno en vetilla.
Clorita	10	8	2		Cristales subhedrales hojosos de 0,1 a 0,5 mm. Se encuentra en cúmulos diseminados en toda la roca alterando a plagioclasas como minerales máfisos. En paragénesis con calcita.
Calcita	tr	tr	tr		Cristales subhedrales prismáticos de 0,2 mm. Se encuentra diseminado en la roca como en relleno de vetilla. En paragénesis con clorita.
Calcopirita	8	6	2		Cristales anhedrales de 0,2 mm diseminados en la roca asociados a clorita y en paragénesis con magnetita, también como relleno de vetilla en paragénesis con molibdenita.
Bornita	tr	tr			Cristales anhedrales <0,002 mm. Se encuentra en paragénesis con calcopirita.
Molibdenita	2		2		Cristales subhedrales a anhedrales hojosos <1mm. Se encuentra como relleno en vetilla en paragénesis con calcopirita.
Rutilo	3	3			Cristales subhedrales prismáticos de 0,2 mm. Se encuentra diseminado en la roca en paragénesis con calcopirita.
Sericita	2	2			Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0,002 mm. Se presenta alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Arcillas	20	20			Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando moderada a fuertemente a plagioclasas y feldespatos del protolito, como también a feldespato potásico secundario
Abtita	10	10			Cristales subhedrales tabulares de 0,4 a 1 mm producto de una albitización de plagioclasas en paragénesis con clorita
Mineralogía Primaria	25				
	100				

c) Vetillas v1.15 Qz-Cpy- Moli-Feld-k- Chl	Vetilla continua de límites disusos y espesor constante de 0,8 mm rellena principalmente de cuarzo calcopirita y bornita, en menor proporción feldespato potásico, clorita y sericita alterano a feldespato-k. No presenta halo
---	---

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



A y B: Fotomicrografía 5x a nícoles cruzado en luz transmitida y a luz reflejada a nícoles paralelos. Se observa parte del relleno de la vetilla conformado por cristales de molibdenita en paragénesis con calcopirita, cuarzo y feldespato potásico alterado debil a fuertemente a sericita.

C y D: Fotomicrografía 5x a luz reflejada-transmitida a nícoles paralelos y luz transmitida a nícoles cruzados, respectivamente. Se observa alteración albíta - clorita con mineralización diseminada de calcopirita.

E y F: Fotomicrografía 20x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa rutilo con calcopirita en paragénesis con clorita

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	08/01/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-16**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Confección</b>	CT Estandar
	<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
	<b>N° Muestra</b>	SEM-16
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	6.330.438.341	<b>Coord. Este</b>	381.897.812	<b>Elevación (m)</b>	2.295
---------------------------	----------	---------------------	---------------	--------------------	-------------	----------------------	-------

<b>Geólogo Solicitante</b>	Procedencia de la muestra	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito	03/01/2018

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**

<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración potásica biotítica pervasiva, una alteración sericita gris verde asociado a vetillas y en menor proporción, superpuesta a las anteriores, una débil alteración clorita y epidota y fuerte alteración sericita. Se observan un stockwork de vetillas de anhidrita-calcopirita con menor proporción de cuarzo y bornita. Presentan un halo de alteración de SGV.</p>	
--	--

<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina
----------------------	----------------------

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración potásica biotítica pervasiva, sobrepuesta por una alteración sericita gris verde asociado a las vetillas y una débil alteración de clorita epidota (alteración retrógrada). Se observa un stockwork de vetillas de Anh-Cpy-Feld-k-Qz± Bn (C2) las cuales generan un halo de alteración de sericita gris verde (muscovita-cuarzo)  
**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1) Alteración Potásica pervasiva, 2) Alteración SGV asociado a las vetillas

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<p>En el corte transparente se observa con mayor detalle la mineralogía de la vetilla a la cual se realizan los análisis químicos</p>	
---	--

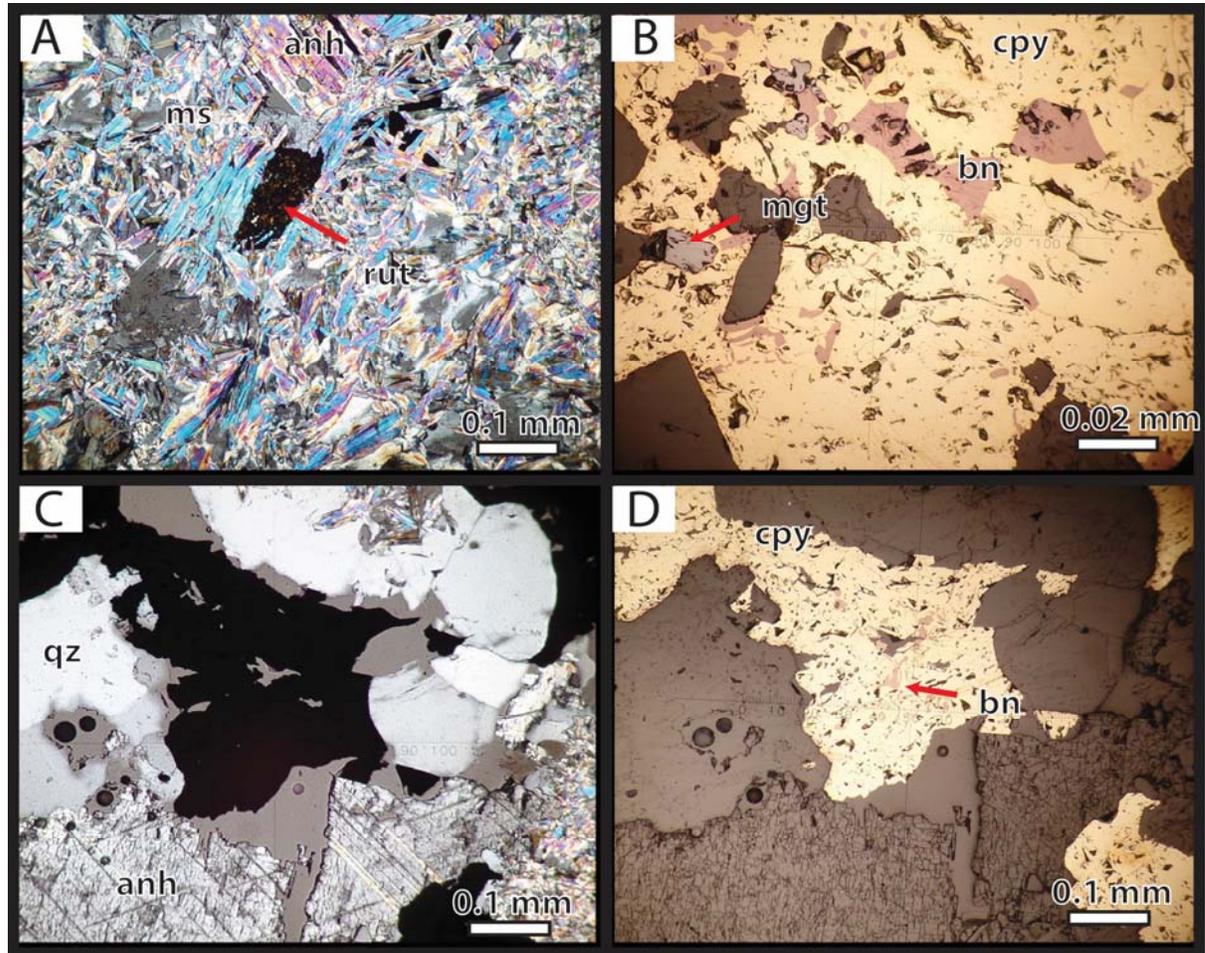
**DESCRIPCIÓN VETILLAS**

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Feldspato-k Secundario	5		5		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <1mm. Se presentan en el relleno de vetilla
Cuarzo Secundario	25		15	10	Cristales anhedrales <1,5 mm. Se presenta principalmente como relleno en vetilla junto con calcopirita, y en menor proporción como mineral secundario en el halo de alteración.
Anhidrita	5		4	1	Cristales subhedrales prismáticos <1mm. Se presenta principalmente como mineral secundario en relleno de vetilla, y en menor proporción, como mineral traza en el halo de esta.
Biotita Secundaria	5			5	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se presenta en el halo de vetilla
Calcopirita	10		6	4	Cristales anhedrales <1mm. Se presenta principalmente como relleno de vetilla junto con el cuarzo, y en menor proporción conformando parte del halo de esta. En paragénesis con bornita tanto en el halo como en el relleno
Bornita	2		tr	2	Cristales anhedrales <0,25 mm. Se presenta principalmente en el halo de alteración de vetillas, como también en menor proporción y en trazas, en el relleno de esta. En paragénesis con calcopirita.
Muscovita	25			25	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se presenta principalmente en el halo de vetilla, como mineral dominante
Sericita	23		tr	23	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0,002 mm. Se presenta principalmente como halo de vetillas y trazas en el relleno

100

b) Vetillas	
v1.16 Anh-Cpy-Feld-k-Qz± Bn ± Mgt	Vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor mínimo, relativamente constante, de 3 mm; relleno principalmente de anhidrita y calcopirita, en menor proporción feldespato potásico y cuarzo, trazas de bornita y magnetita. Presenta un halo de alteración continuo de espesor mínimo de 1,5 cm conformado principalmente de muscovita, sericita y en menor proporción, cuarzo, biotita, anhidrita, rutilo. Algunos cristales de feldespato-k alterados débilmente a sericita

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A: Fotomicrografía 10 x a nicoles cruzados en luz transmitida . Se puede observar la mineralogía que constituye el halo de la vetilla v1.16: principalmente muscovita, menor anhidrita y rutilo, con mineralización diseminada de calcopirita-bornita.

B: Fotomicrografía 20x a luz reflejada. Se puede observar cristales de calcopirita, bornita y magnetita del halo de vetilla en paragénesis.

C y D: Fotomicrografía 10x a nicoles cruzados en luz transmitida y a nicoles paralelos a luz reflejada, respectivamente. Se puede observar parte de la mineralogía que constituye el de la vetilla v1.16: cristales prismáticos de anhidrita y mineralización de calcopirita - bornita en paragénesis.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-17					
<b>Objetivo del estudio :</b>			<b>Confección</b>	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica	
			<b>Nº Muestra</b>	SEM-17	
			<b>Origen</b>	Minera Los Bronces	
<b>Procedencia Exacta</b>	LB150032	<b>Coord. Norte</b>	6.330.439.577,00	<b>Coord. Este</b>	381897.94
			<b>Elevación (m)</b>		2.322
<b>Geólogo Solicitante</b>		<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>	
		Minera Los Bronces		03/01/2018	

#### OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA

Brecha ígnea perteneciente a la Brecha Fantasma del sector Los Bronces, corresponde a una brecha fanerítica equigranular, monomictica de fragmentos subangulosos de cuarzomonzonita fina.

v1.17 Qz-Feld-k-Cpy: vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor constante de 5 mm, rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, en menor proporción feldespato potásico y anhidrita. Presenta un halo de alteración relativamente constante, de límites difusos y espesor proporcional al ancho de la vetilla conformado principalmente de sericita gris verde y en menor proporción biotita secundaria.



**Clasificación** Brecha ígnea de cuarzo monzodiorita fina

#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Brecha ígnea fanerítica, equigranular y monomictica, con clastos subangulosos de cuarzomonzonita fina y una matriz de biotita, cuarzo, sericita y mineralización diseminada de calcopirita y trazas de magnetita. Se observa un grupo de vetilla que corta a la brecha, de Qz-Cpy-Feld-k± Anh± Bn con halo de qz-ser-msc-bt (V1.17, C2).

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1.- Alteración potásica bt-feld-k 2.- Vetilla v1.17 (C2), asociado a una alteración SGV

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

La descripción microscópica permite una descripción más detallada de la mineralogía del relleno de las vetillas como el halo de alteración que estas generan, como también parte de la mineralogía de la matriz de la brecha.

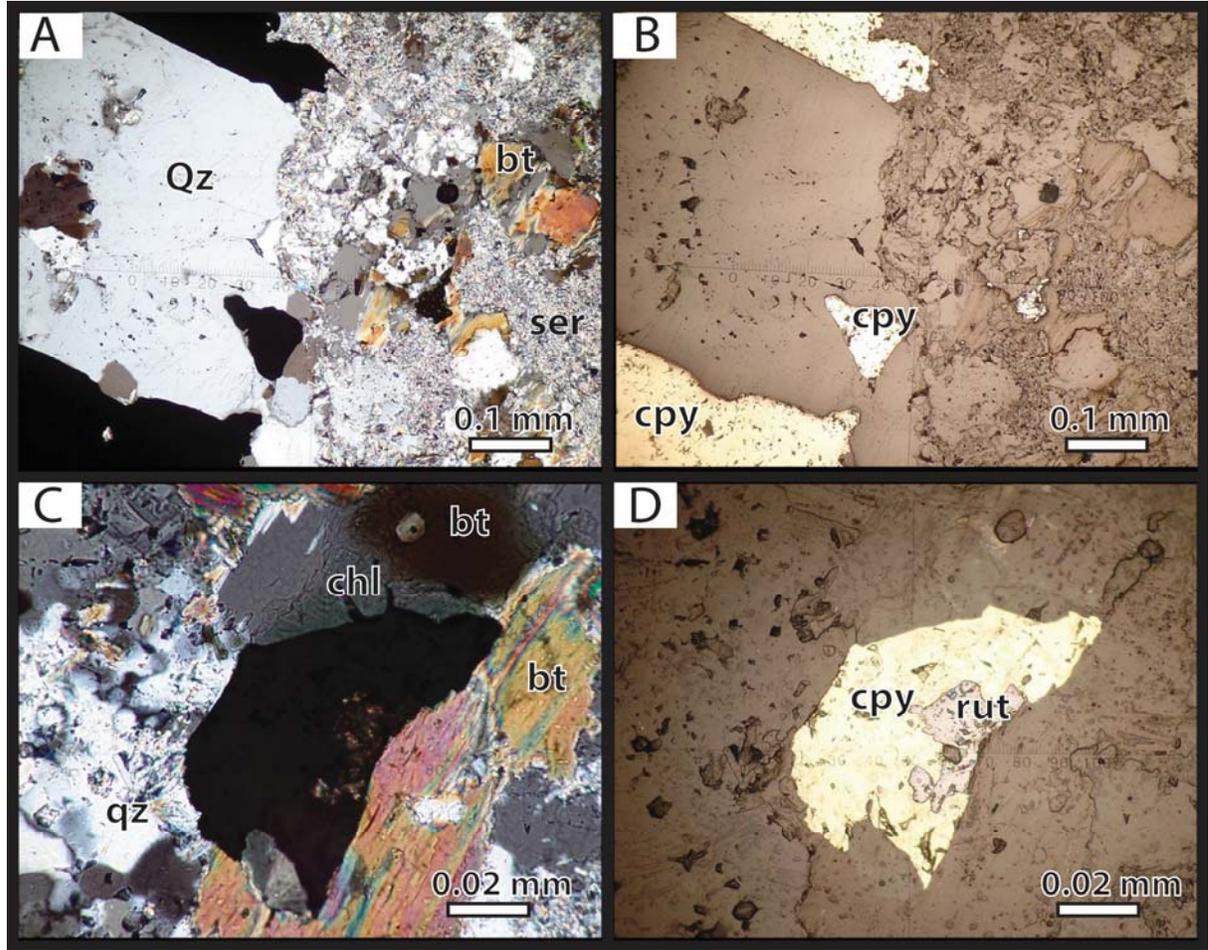


#### DESCRIPCIÓN VETILLAS

b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Feldespato-k Secundario	5		5		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <1mm. Se presentan en el relleno de vetilla
Cuarzo Secundario	25		15	10	Cristales anhedrales <1,5 mm. Se presenta principalmente como relleno en vetilla junto con calcopirita, y en menor proporción como mineral secundario en el halo de alteración.
Anhidrita	tr		tr	tr	Cristales subhedrales prismáticos <1mm. Se presenta principalmente como mineral secundario en relleno de vetilla, y en menor proporción, como mineral traza en el halo de esta.
Biotita Secundaria	10	5		5	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se presenta en el halo de vetilla
Calcopirita	10	4	5	1	Cristales anhedrales <1mm. Se presenta principalmente como relleno de vetilla junto con el cuarzo, y en menor proporción conformando parte del halo de esta. En paragénesis con bornita tanto en el halo como en el relleno
Bornita	tr		tr	tr	Cristales anhedrales <0,25 mm. Se presenta principalmente en el halo de alteración de vetillas, como también en menor proporción y en trazas, en el relleno de esta. En paragénesis con calcopirita.
Magnetita	tr	tr			Cristales subhedrales prismáticos <0,1 mm diseminados en la roca y en paragénesis con calcopirita y biotita (Alteración Bt-Mgt-Cpy)
Muscovita	10			10	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0,025 mm. Se presenta principalmente como halo de vetillas
Sericita	40	15	5	20	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0,002 mm. Se presenta principalmente como halo de vetillas
	100				

b) Vetillas	
v1.17 Qz-Cpy-Feld-k± Anh± Bn	Vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor constante de 5 mm; relleno principalmente de cuarzo y calcopirita, en menor proporción feldespato potásico y trazas de anhidrita, trazas de anhidrita y bornita. Presenta un halo de alteración continuo de espesor indefinido conformado principalmente por muscovita, cuarzo y sericita en menor proporción calcopirita, feldespato potásico y biotita secundaria, y trazas de anhidrita y bornita.

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a nicoles cruzados en luz transmitida y nicoles cruzados a luz reflejada, respectivamente. Se observa relleno de vetilla v1.17 conformado principalmente por calcopirita y cuarzo y la mineralogía del halo de alteración, principalmente de cuarzo-sericita menor biotita cloritizada-magnetita

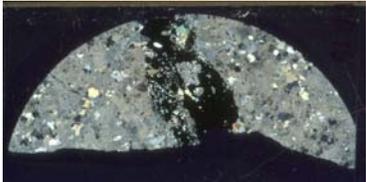
C y D: Fotomicrografía 20x a nicoles cruzados en luz transmitida y nicoles paralelos a luz reflejada, respectivamente. Se puede observar Cpy-Bt en paragénesis (alteración potásica) en el halo de la vetilla v1.17, con alteración cuarzo-sericita sobreimpuesta y cloritización en los bordes de biotita.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-18			
<b>Objetivo del estudio :</b>		Confección	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
		N° Muestra	SEM-18
		Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	MO-105	Coord. Norte	Coord. Este
		6.329.614.866	382.451.689
			Elevación (m)
			3.250
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra		Fecha
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito		03/01/2017
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA			
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración sericita gris verde sobrepuesta a una débil alteración potásica biotítica.</p> <p>Se observa un tipo de vetilla: v1.18 Cpy-Qz-Anh-Chl: vetilla, recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante de 1,5 cm. Presenta un halo de alteración penetrativo de cuarzo -sericita con calcopirita y clorita diseminada.</p>			

Clasificación	Cuarzo monzodiorita fina
---------------	--------------------------

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración clorita-sericita-arcillas sobrepuesta a una alteración potásica biotítica. Se observan dos tipos de vetillas: v1.18 Qz-Cpy-Anh-Calc-Chl ± Epi (C2) y v2.18 Epi-Anh-Qz-Cpy (Propilítica retrógrada). TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración potásica biotítica pervasiva; 2) Alteración sericita gris verde - vetilla V1.18; 3. Alteración propilítica - reactivación vetilla V1.18 - microvetillas V2.18.</p>

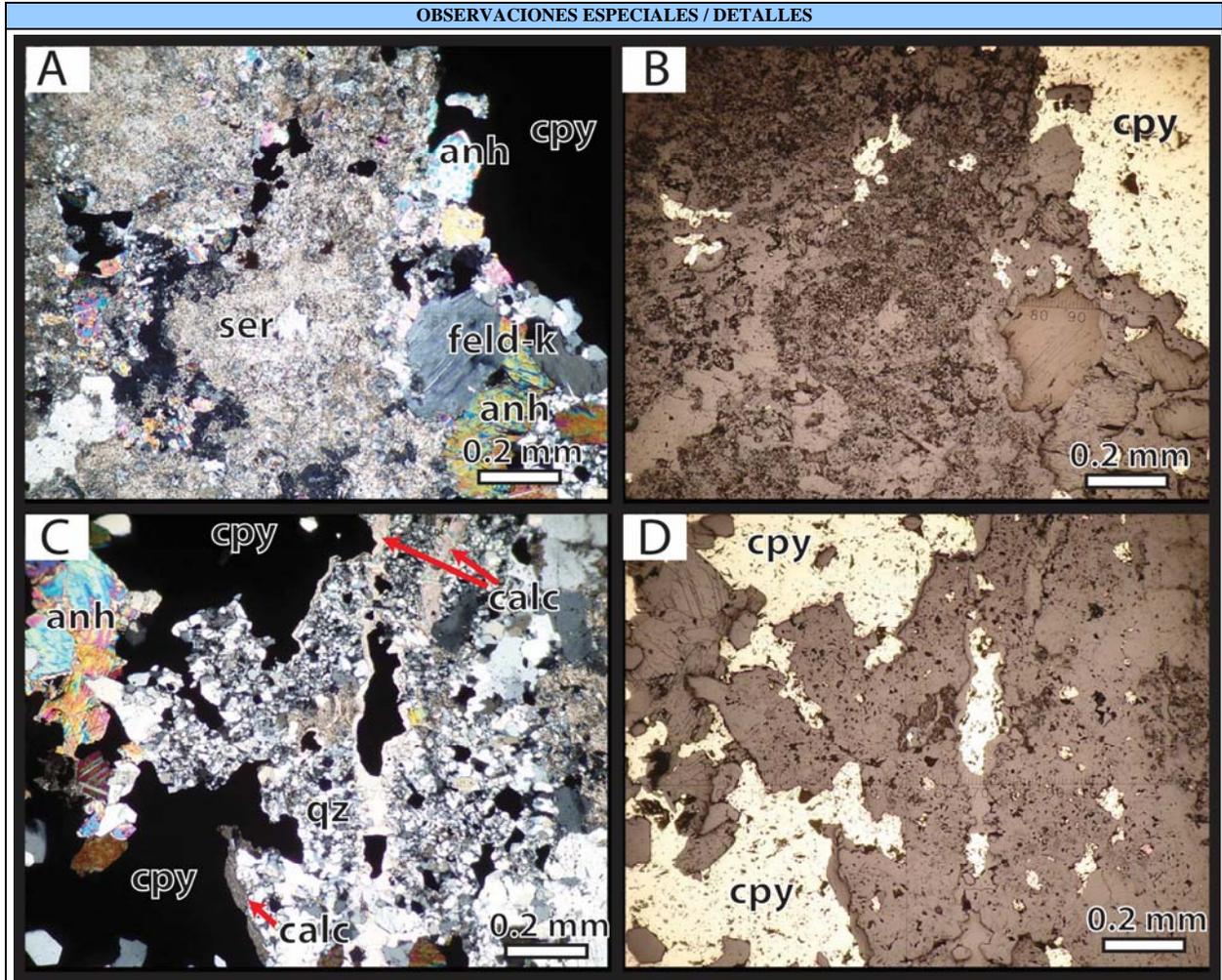
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>La descripción microscópica aborda principalmente a la mineralogía presente en las vetillas como también la mineralogía de alteración</p>	

DESCRIPCIÓN VETILLAS
----------------------

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Sericita	17			17	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm asociado con microcristales de cuarzo. Se presenta como halo de alteración de vetilla.
Arcillas	25			25	Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando moderada a fuertemente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Feldespato-K secundario	tr			tr	Cristales anhedrales <0,002mm. Se observan como halo de alteración o más bien como parte de una alteración potásica feldespática previa a la formación de vetillas. Se encuentra alterado por sericita y arcillas
Cuarzo secundario	20		5	15	Cristales anhedrales de tamaños <0,02 mm, asociados a sericita en halo de vetilla; y de 0,2 mm en relleno de vetillas
Epidota	2		tr	2	Cristales subhedrales prismáticos <0,25 mm. Se presentan principalmente como relleno en vetillas y en menor proporción diseminado en el halo de estas.
Anhidrita	7		7		Cristales subhedrales prismáticos <0,25 mm. Se presentan principalmente como relleno en vetillas.
Clorita	4		4		Cristales subhedrales hojosos <0,1 mm. Se presenta principalmente como relleno en vetillas
Carbonato	1		1		Cristales subhedrales prismáticos <0,2mm. Se presenta como relleno en vetillas
Calcopirita	24		20	4	Cristalesanhedrales, se presenta como mineral de relleno principal en vetilla y en menor proporción diseminado en el halo.

100

b) Vetillas	
v1.18 Qz-Cpy-Anh- Carb-Chl - Epi	Vetilla de límites difusos y espesor relativamente constante de 1,2 cm rellena de cuarzo, calcopirita, anhidrita, carbonatos, clorita con trazas de epidota. Presenta un halo de alteración continuo de espesor indefinido compuesto principalmente de cuarzo-sericita, arcillas, con trazas de calcopirita diseminadas. Se puede observar que en los bordes del relleno de esta, es reactivada formando microvetillas de cuarzo, carbonato, clorita, epidota y calcopirita.
v2.18 Epi-Anh-Qz-Cpy	Vetillas levemente sinuosas, irregulares, de límites difusos, discontinuas, espesor variable <0,2mm rellena principalmente de epidota, anhidrita, cuarzo y calcopirita



A y B: Fotomicrografía 5x a nículos cruzados en luz transmitida y a nículos paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa principalmente la mineralogía de alteración del halo de la veta principal (v1.18) conformado principalmente por sericita, arcillas, cuarzo, calcopirita y anhidrita.

C y D: Fotomicrografía 5x a nículos cruzados en luz transmitida y a nículos paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se puede observar la mineralogía del relleno de la veta v1.18 conformado por calcopirita, cristales prismáticos de calcita, anhidrita, cuarzo y en menor proporción feldespato potásico.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/01/2017	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-19**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Confeción</b>	CT Estandar
	<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
	<b>N° Muestra</b>	SEM-19
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	MO-105	<b>Coord. Norte</b>	6.329.611.575	<b>Coord. Este</b>	382.438.442	<b>Elevación (m)</b>	3.205
---------------------------	--------	---------------------	---------------	--------------------	-------------	----------------------	-------

<b>Geólogo Solicitante</b>	Procedencia de la muestra	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito	04/01/2018

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**

<p>Brecha magmático-hidrotermal matriz-soportada con fragmentos de cuarzomonzonita fina y matriz principalmente de biotita y cuarzo. Se observa una veta recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 3,5 cm de cuarzo, bornita y calcopirita.</p>	
--	--

<b>Clasificación</b>	Brecha de biotita
----------------------	-------------------

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Brecha magmático-hidrotermal matriz-soportada de biotita (alteración potásica) sobreimpuesta por una débil alteración sericita-arcillas. Se observa una gran veta de 3,5 cm conformada por dos pulsos: el primero conformado principalmente por cuarzo, feldespatos potásico, clorita, bornita, calcopirita y magnetita, que se asocia a una alteración potásica (feld-k - Mgt); y el segundo pulso, que aprovecha la debilidad en el borde de la veta, está compuesto por cuarzo, muscovita, bornita, magnetita y calcopirita, el cual se asocia a un evento de alteración QSGV. Este además presenta múltiples eventos de reactivación con sobrecrecimiento de bornita y covelina en cristales de calcopirita.

**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1) Alteración potásica (Bt - Mgt) - primer pulso veta v1.19; 2) Alteración QSGV - segundo pulso veta v1.19 (reactivación sucesiva de esta parte de la veta).

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<p>El corte transparente permite realizar una descripción más detallada de la veta y de los pulsos que la conforman, como también, la mineralogía de la matriz de la brecha hidrotermal.</p>	
--	--

**DESCRIPCIÓN BRECHA HIDROTERMAL**

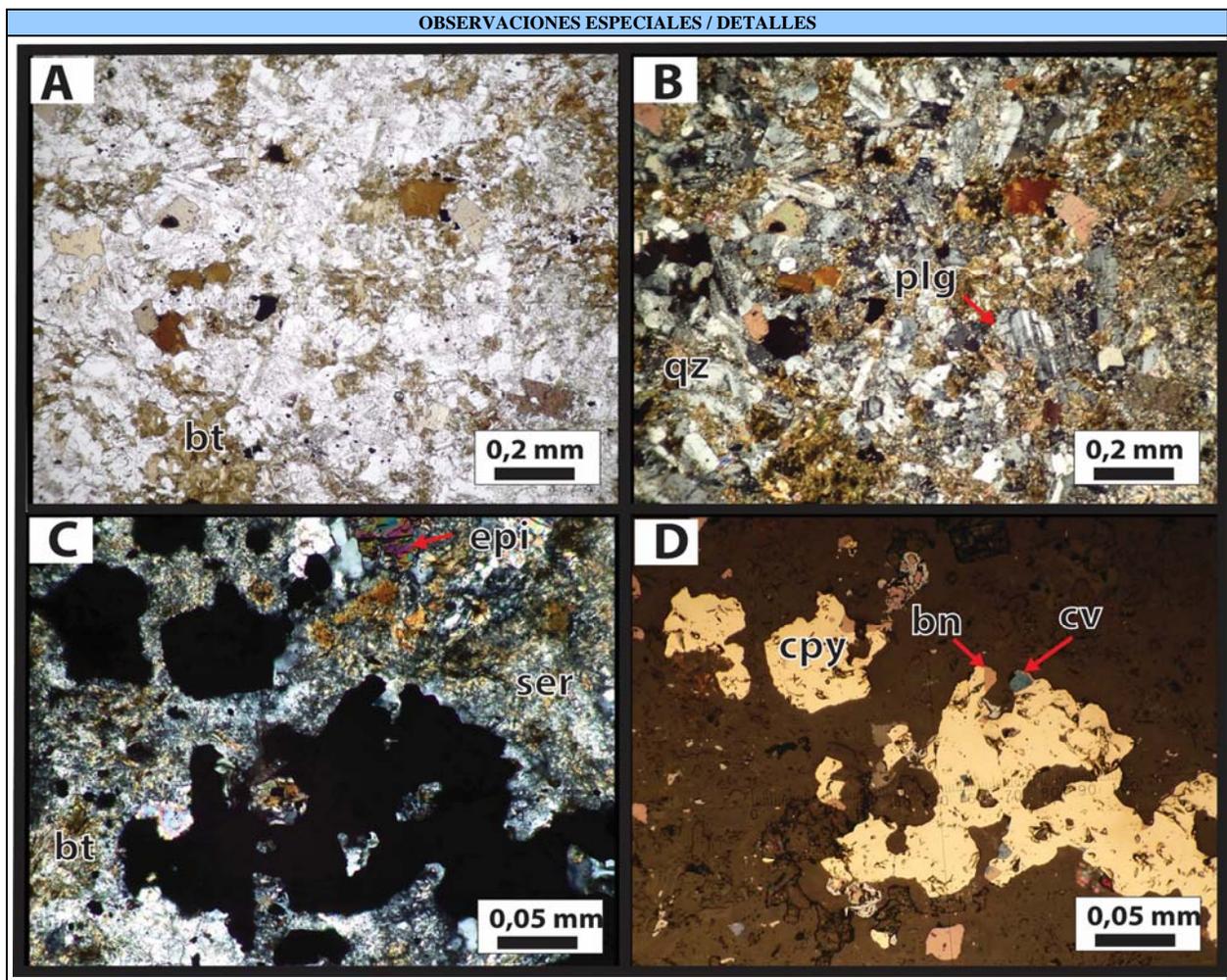
a) Clastos	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	5	Cristales euhedrales tabulares de 0,02 - 0,2 mm alterados moderada a fuertemente a sericita y biotita secundaria.
Biotita	tr	Cristales subhedrales tabulares alterados moderada a fuertemente a biotita secundaria
Cuarzo	3	Cristales anhedrales <0,2 mm.
	8	

b) Matriz		
Biotita secundaria	10	Cristales anhedrales a subhedrales <0,002 mm. Se encuentran rellenando espacios
Sericita	2	Cristales anhedrales a subhedrales <0,002 mm. Se encuentran rellenando espacios
	12	

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita	5	5			Cristales subhedrales a anhedrales tabulares <0,25 mm. Se encuentran en el halo de vetilla.
Cuarzo	20		20		Cristales anhedrales <0,3 mm. Se encuentran principalmente como relleno y halo de vetilla
Feldespatos-k	10		10		Cristales anhedrales <0,8 mm. Se encuentran como relleno en vetilla.
Epidota	1		1		Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentra en relleno y halo de vetillas.
Clorita	tr		tr		Cristales subhedrales tabulares <0,25 mm. Se encuentra reemplazando débilmente a biotita secundaria
Calcita	tr		tr		Cristales subhedrales prismáticos de 0,05 mm. Se encuentra como relleno de vetilla.
Sericita	10		10		Cristales subhedrales tabulares <0,002 mm. Se encuentra alterando a feldespatos potásico en el relleno de la vetilla, como en el halo de esta.
Muscovita	15		15		Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se encuentra alterando a feldespatos potásico en el relleno de la vetilla, como en el halo de esta.
Arcillas	8		8		Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando débilmente feldespatos potásicos.

Calcopirita	5	5	Cristales anhedrales <0,4 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetilla y en menor proporción diseminados en el halo de esta. En paragénesis con bornita, covelina y magnetita.
Bornita	5	5	Se encuentra principalmente como relleno de vetilla y en menor proporción diseminado en el halo. En paragénesis con covelina y calcopirita
Magnetita	1	1	Se encuentra principalmente como relleno en vetilla y trazas en halo de esta. En paragénesis con calcopirita, bornita y covelina
Covelina	tr	tr	Cristales anhedrales <0,02 mm. Se encuentra en paragénesis con calcopirita y bornita
Calcosina	tr	tr	Cristales anhedrales <0,02 mm. Se encuentra en paragénesis con calcopirita y bornita
Mineralogía primaria	20		
	100		

b) Vetillas	
v1.19 Qz-Feld-k-Chl-Bn-Cpy-Mgt	vetilla la cual presenta dos pulsos, el primero conformado principalmente por cuarzo, feldespato potásico, clorita, bornita, calcopirita y magnetita (alt. potásica). El segundo pulso que aprovecha la debilidad en los bordes y presenta una textura de fluidización compuesto por cuarzo, muscovita, sericita, bornita, magnetita y calcopirita (SGV).

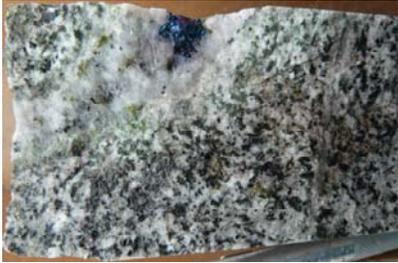


A y B: Fotomicrografía 5x a nículos paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa la mineralogía que conforma la matriz y cemento de la brecha hidrotermal. Cemento: biotita y cuarzo; Matriz: Polvo de roca= pedazos de cristales de plagioclasa y biotita.

C y D: Fotomicrografía 20x a nículos cruzados en luz transmitida y nículos paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa parte de la mineralogía del relleno de la vetilla v1.19 reactivada. Dominada principalmente por sericita, biotita, cuarzo y menor epidota.- Se puede observar que la mineralización principal es calcopirita, la cual exhibe un sobrecrecimiento de bornita y covelina, indicando una reactivación de la vetilla.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	04/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-20			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	SEM-20
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
	6.329.619.654	382.470.496	3.311
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito		05/01/2018

OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA	
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una alteración potásica biotítica pervasiva sobreimpuesta por una débil alteración clorita-epidota .</p> <p>Se observa un tipo de vetilla:</p> <p>v1.20 Qz-Anh-Bn-Cpy: vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor constante de 3 cm, rellena principalmente de cuarzo, anhidrita, bornita y calcopirita, Se observa un halo de alteración difuso de albita , biotita, cuarzo y feldespatos potásico.</p>	

<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina
----------------------	----------------------

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración potásica pervasiva sobreimpuesta por una débil alteración sericita-clorita. Se observa un tipo de vetilla: v1.20 Qz-Anh-Epi-Bn-Cpy.</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración potásica - vetilla v1.20; 2) Reactivación de veta v.20 con sericitización de biotitas y feldespatos potásicos y reemplazo de bornita por calcosina.</p>

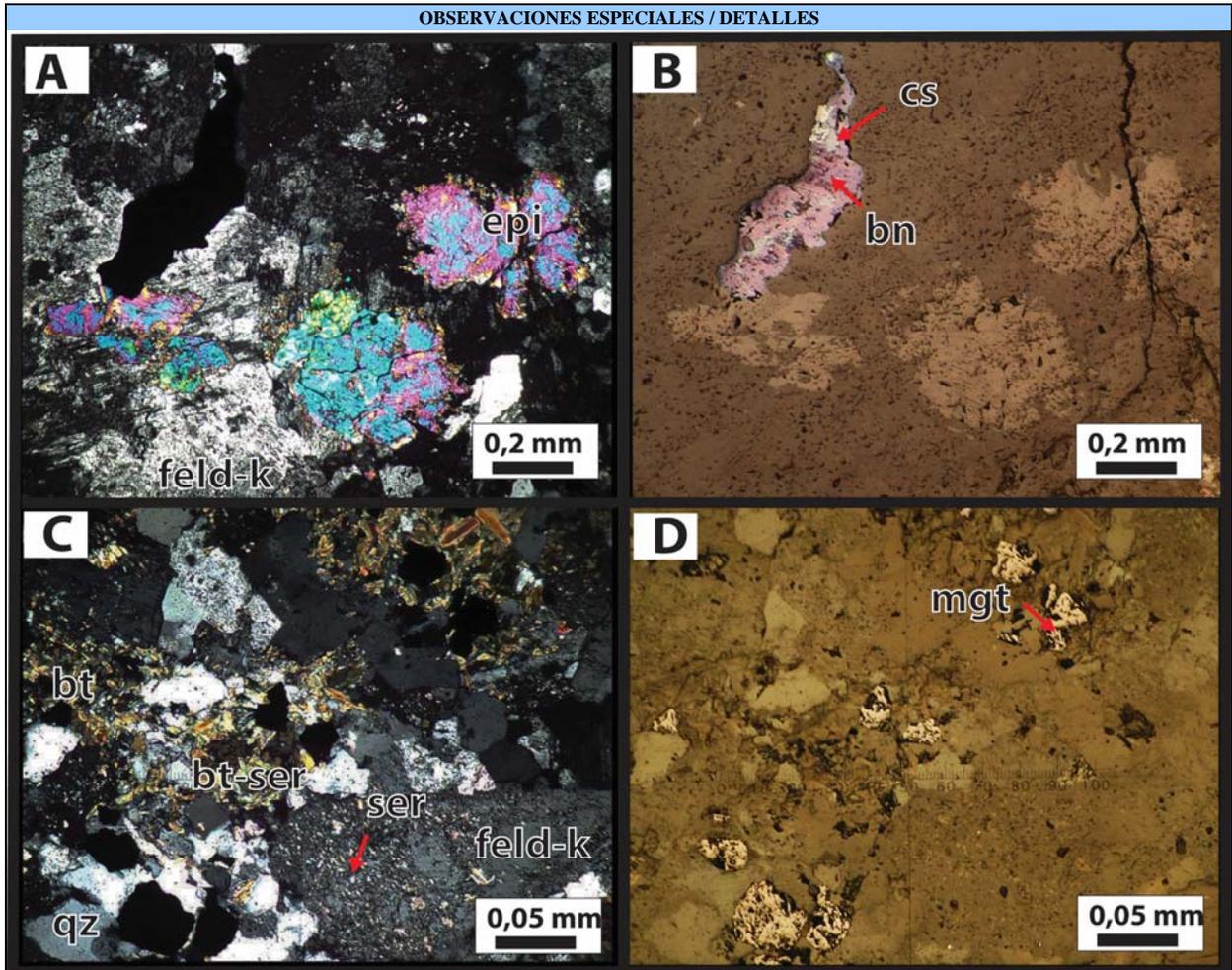
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>En el corte transparente se puede observar con mayor detalle la mineralogía primaria y de alteración como también la mineralogía de la vetilla v1.20</p>	

DESCRIPCIÓN VETILLAS	
----------------------	--

a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	70	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de 0,4 a 2,5 mm alterados débilmente a arcillas y en menor medida a sericita y ep
Cuarzo	10	Cristales anhedrales de 0,2 a 0,8 mm
Feldespatos-K	20	Cristales anhedrales de 0,4 mm alterados débilmente a arcillas.
Biotita	tr	Cristales subhedrales tabulares alterados a biotita secundaria y clorita.
	100	

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita	15	10		5	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se encuentran alterando fuertemente a minerales máficos.
Cuarzo	10		5	5	Cristales anhedrales <0,1 mm. Se encuentra como relleno en vetillas.
Feldespatos-k	20			20	Cristales anhedrales <0,4 mm. Se encuentra como halo de alteración de vetilla.
Albita	10			10	Cristales anhedrales <0,4 mm. Se encuentra como halo de alteración de vetilla.
Anhidrita	3	1	2		Cristales subhedrales prismáticos de 0,2 mm. Se encuentran diseminados en la roca y como relleno en vetillas.
Clorita	tr		tr		Se encuentra reemplazando moderadamente a biotitas primarias y secundarias, y en menor medida como cristales anhedrales rellenando vetillas.
Epidota	2		tr	1	Cristales subhedrales a euhedrales prismáticos <0,5 mm. Se encuentran alterando a plagioclasas y como relleno en vetilla.
Bornita	1	tr	1		Cristales anhedrales de 0,4 mm. Se encuentra diseminado en la roca alterados por covelina y calcosina, y en paragénesis con calcopirita y magnetita.
Calcopirita	6	1	5		Cristales anhedrales de 0,6 mm. Se encuentra diseminado en la roca.
Calcosina	tr		tr		Se presenta reemplazando a algunos cristales de bornita.
Magnetita	3	3			Cristales subhedrales cúbicos de 0,2 mm. Se encuentra como granos diseminados y en paragénesis con biotita, calcopirita y bornita.
Mineralogía primaria	30				
	100				

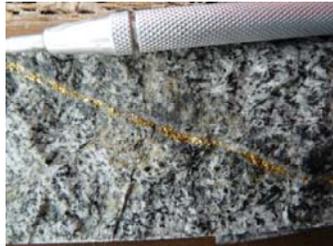
c) Vetillas	
Qz-Anh-Epi-Bn-Cpy	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor mínimo de 1 cm rellena por cuarzo, anhidrita, bornita y calcopirita, con trazas de epidota y clorita. presenta un halo de alteración continuo, de límites difusos de feldespato potásico, albita y biotita con clorita, epidota y calcopirita diseminada.



A y B: Fotomicrografía 5x a nicóles cruzados en luz transmitida y nicóles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa fuerte alteración se observa parte de la mineralogía del relleno de la veta v1.20, conformada por feldespato potásico, cuarzo, epidota y bornita. Se puede observar la mineralización de bornita la cual presenta un sobrecrecimiento de calcosina, indicando una reactivación de la veta.

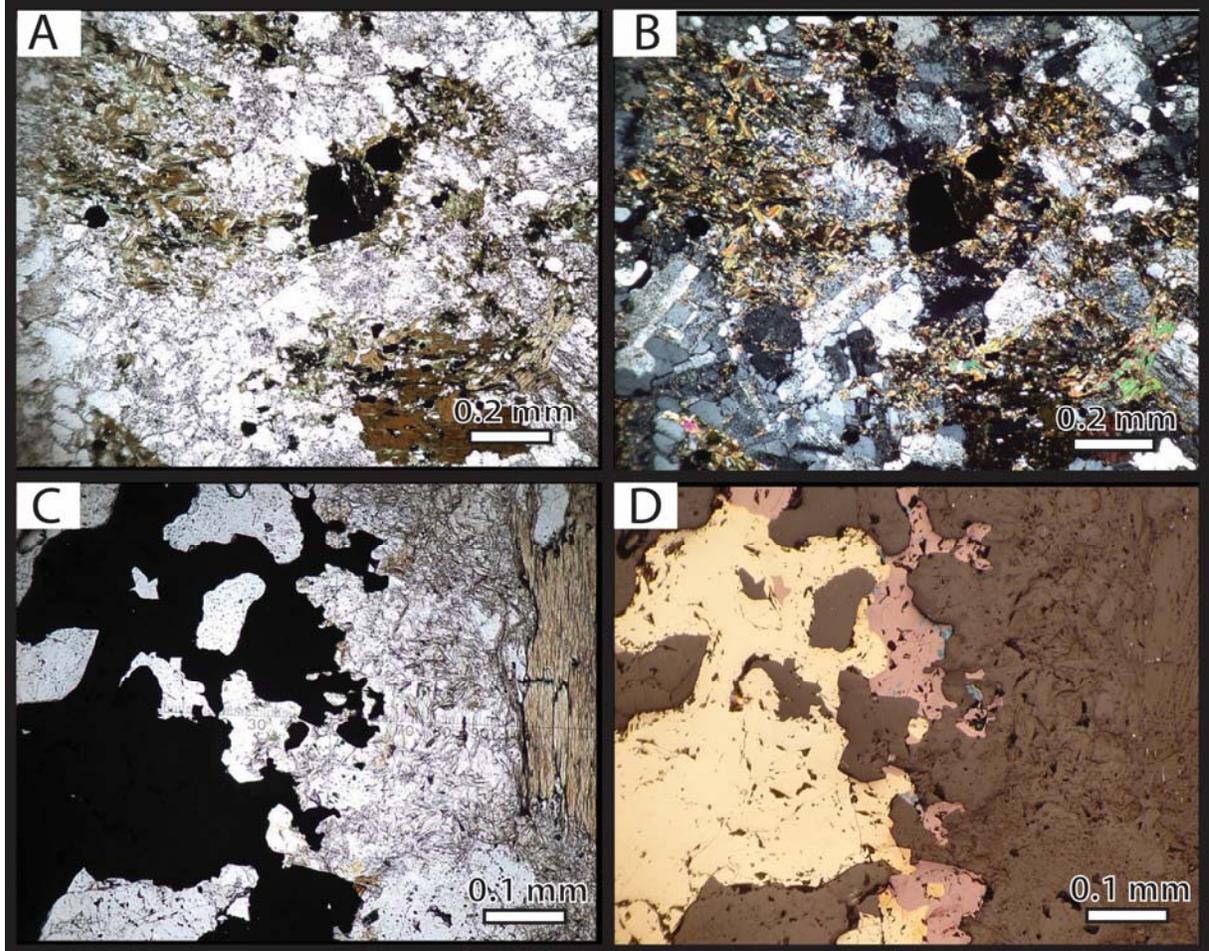
C y D: Fotomicrografía 20x a nicóles cruzados en luz transmitida y nicóles paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa parte del relleno de la veta v1.20 con cuarzo, feldespato potásico, biotita y magnetita. Se puede observar que las biotitas se encuentran parcialmente sericitizadas y los feldespatos potásicos también, indicando una reactivación de la veta.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	05/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA -SEM-21					
<b>Objetivo del estudio :</b>			<b>Confeción</b>	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			<b>Tipo Estudio</b>	Geocronología	
			<b>N° Muestra</b>	SEM-21	
			<b>Origen</b>	Minera Los Bronces	
<b>Procedencia Exacta</b>	MO-105	<b>Coord. Norte</b>	6.329.619.587	<b>Coord. Este</b>	382.470.232
<b>Elevación (m)</b>					3.310
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>			<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito			12/01/2018	
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA					
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración potásica biotítica pervasiva y selectiva sobteimpuesta por una alteración sericita gris verde asociado a vetilla. Se observa un tipo de vetilla:</p> <p>v1.21 Cpy-Qz: vetilla recta y continua de límites difusos y espesor constante de 5 mm rellena principalmente de calcopirita y cuarzo. Presenta un halo de alteración de límites difusos y espesor constante proporcional al ancho de la vetilla conformado por biotita-qz-sercita-muscovita</p>					
<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina				
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS					
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una alteración potásica biotítica pervasiva en minerales máficos, sobteimpuesta por una alteración sericita gris verde asociada a vetillas. Las biotitas presentan una moderada cloritización. Se observa un tipo de vetilla: v1.20 Qz-Cpy±Anh±Bn ±Ser con halo principalmente de sericita y biotita (C2).  <b>TEMPORALIDAD DE EVENTOS:</b> 1) Fuerte alteración potásica Bt-Mgt pervasiva - Vetilla V1.21 (C2); 2) Cloritización de biotitas</p>					
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA					
<p>En el corte transparente se puede observar con mayor detalle la mienralogía primaria y de alteración como también la mineralogía de la vetilla v1.21</p>					
DESCRIPCIÓN VETILLAS					
<b>a) Mineralogía Primaria</b>	<b>%</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>			
Plagioclasa	49	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de 0,4 a 2 mm. Alterados débilmente a sericita y arcillas			
Cuarzo	20	Cristales anhedrales de 0,2 a 0,5 mm			
Feldespato-k	30	Cristales anhedrales de 0,5 mm. Se encuentran alterados débilmente a sericita y arcillas			
Biotita	1	Cristales subhedrales tabulares de 0,4 mm. Algunos cristales se encuentran fuertemente alterados a biotita secundaria y débilmente a clorita			
	<b>100</b>				
<b>b) Mineralogía secundaria</b>	<b>% Total</b>	<b>% Protolito</b>	<b>% Relleno</b>	<b>% Halo</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>
Biotita	15	13		3	Cristales subhedrales a anhedrales tabulares <0,02 mm. Se encuentran alterando a minerales máficos y como halo de alteración. Alterados moderadamente a clorita
Clorita	1	1			Se encuentra alterando débilmente a biotitas secundarias.
Sericita	5			5	Cristales subhedrales tabulares <0,002 mm. Se encuentra principalmente en el halo de vetilla y en menor proporción en el relleno
Muscovita	tr			tr	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se encuentra principalmente en el halo de vetilla.
Arcillas	5	5			Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando moderada a fuertemente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Anhidrita	tr		tr	tr	Cristales subhedrales prismáticos <0,4 mm. Se encuentra como relleno en vetillas y en menor proporción diseminados en el halo
Cuarzo	5		5		Cristales anhjedrales de 0,2 mm. Se encuentra como relleno en vetillas
Calcopirita	8	1	7		Cristales anhedrales <0,5 mm. Se encuentran como relleno en vetilla y diseminados en la roca asociados a magnetita y biotita.
Magnetita	1	1			Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentran diseminados en la roca asociados a biotita y calcopirita
Bornita	1		1	tr	Cristales anhedrales <0,2 mm, se encuentra en relleno de vetilla y menor en el halo
Covelina	tr		tr	tr	Cristales anhedrales <0,001 se encunetra alterando a bornita
<b>Mineralogía primaria</b>	<b>59</b>				
	<b>100</b>				

c) Vetillas	
VI.21 Qz-Cpy±Anh±Bn±Ser	Vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante de 5 mm, rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, trazas de anhidrita y bornita. Presenta un halo de alteración penetrativo y espesor constante proporcional al relleno de sericita-muscovita, biotita, anhidrita diseminada y calcopirita y bornita diseminadas

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa alteración potásica biotítica penetrativa con moderada cloritización de las biotitas.

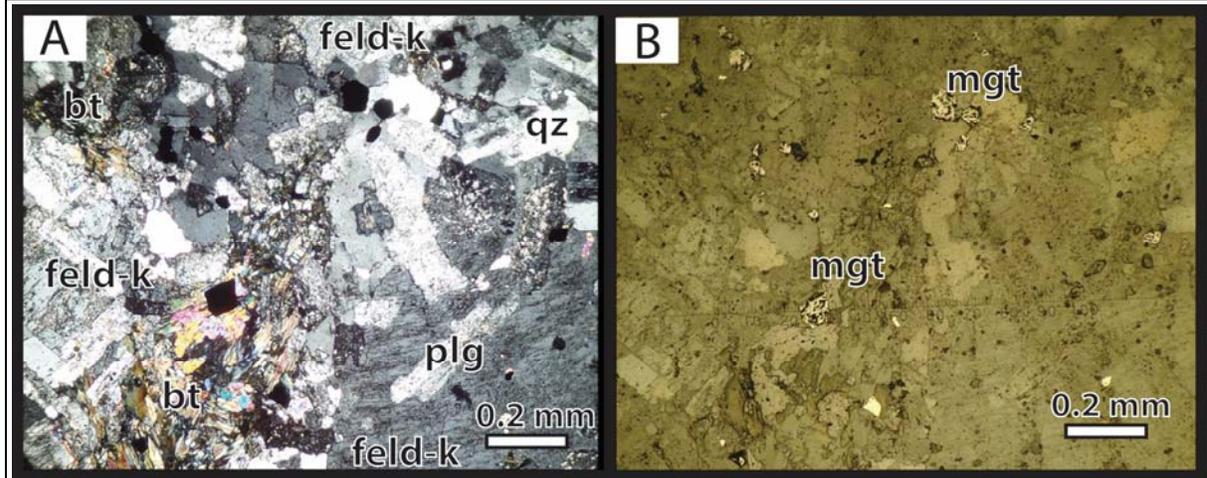
C y D: Fotomicrografía 10 x. Se observa parte del relleno y halo de vetilla v1.21. Con mineralización principalmente de calcopirita, en los bordes del relleno de la vetilla, se observa un reemplazo por bornita, la que a su vez, en algunas zonas, es reemplazada por covelina.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	12/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-22				
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confeción</b>	CT Estandar	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica	
		<b>N° Muestra</b>	SEM-22	
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces	
<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>	
	6.329.608.157	382.423.634	3.155	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces, sector San Enrique Monolito		12/01/2018	
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA				
<p>Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una alteración pervasiva y selectiva biotítica la cual es sobrepuesta por una débil alteración clorita-sericita. Se observan dos tipos de vetilla:</p> <p>v1.22 Qz.Cpy: vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor constante de 8mm rellena principalmente de cuarzo y calcopirita. Presenta un halo de alteración de límites difusos y espesor constante proporcional a la vetilla conformado principalmente de sericita y menor arcilla.</p> <p>v2.22 Qz-Anh-Cpy: Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 3 mm rellena principalmente de cuarzo, anhidrita y menor calcopirita. Presenta un halo de alteración constante y espesor variable de hasta 1 cm conformado principalmente de biotita, calcopirita diseminada y menor sericita.</p>				
<b>Clasificación</b>		Cuarzomonzonita fina		
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS				
Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una moderada alteración potásica biotítica pervasiva la cual es sobrepuesta por una alteración sericita gris verde asociada a vetilla y por una débil alteración SCC. Se observan dos grupos de vetillas: v1.22 Qz-Cpy-Anh-Feld-k con halo principalmente de sericita y menor biotita (C2) y v2.22 Qz- Anh - Cpy con halo principalmente de biotita (EBT).				
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1. Alteración potásica Bt-Feld-k - vetilla V2.22; 2. Sericita gris verde - vetilla V1.22; 3. Débil SCC				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
<p>En el corte transparente se puede observar con mayor detalle la mineralogía primaria de alteración y de la vetilla v1.22</p>				
DESCRIPCIÓN VETILLAS				
<b>a) Mineralogía Primaria</b>	<b>%</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>		
Plagioclasa	49	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de 0,4 a 2 mm. Alterados débilmente a sericita y arcillas		
Cuarzo	20	Cristales anhedral de 0,2 a 0,5 mm		
Feldespatos-k	30	Cristales anhedral de 0,5 mm. Se encuentran alterados débilmente a sericita y arcillas		
Biotita	1	Cristales subhedrales tabulares de 0,4 mm. Algunos cristales se encuentran fuertemente alterados a biotita secundaria y débilmente a clorita		
	100			
<b>b) Mineralogía secundaria</b>	<b>% Total</b>	<b>% Protolito</b>	<b>% Relleno</b>	
		<b>% Halo</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>	
Biotita	10	10	Cristales subhedrales a anhedral tabulares <0,02 mm. Se encuentran alterando a minerales máficos y como halo de alteración. Alterados moderadamente a clorita	
Feldespatos-k	5	5	Cristales anhedral de <0,8 mm. Se encuentra alterando a plagioclasas y feldespatos-k y en menor proporción como relleno en vetilla.	
Clorita	5	3	2	Se encuentra alterando moderadamente a biotitas primarias y secundarias.
Sericita	5		5	Cristales subhedrales tabulares <0,002 mm. Se encuentra en el halo de vetilla
Arcillas	10	10		Cristales de grano muy fino que se encuentran alterando débil a pervasivamente a plagioclasas y feldespatos potásicos
Epidota	1	tr	1	Cristales subhedrales prismáticos <0,1 mm. Se encuentra alterando débilmente a plagioclasas y como relleno en vetillas
Anhidrita	3		3	Cristales subhedrales prismáticos <0,4 mm. Se encuentra como relleno en vetillas
Cuarzo	5		5	Cristales anhedral de 0,2 mm. Se encuentra como relleno en vetillas
Calcopirita	5	1	4	Cristales anhedral <0,5 mm. Se encuentran como relleno en vetilla y diseminados en la roca asociados a magnetita y biotita.
Magnetita	1	1		Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentran diseminados en la roca asociados a biotita y calcopirita
Mineralogía primaria	50			
	100			

c) Vetillas	
V1.22 Qz-Cpy-Anh	Vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante, rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, menor anhidrita y trazas de epidota. Presenta un halo de alteración poco definido de sericita y menor clorita.

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



A y B: Fotomicrografía 5x a nicólos cruzados en luz transmitida y a nicólos paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa alteración potásica - feldespatos potásico- biotita-magnetita-calcopirita sobreimpuesta débilmente por una alteración clorita-sericita-arcillas.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	12/01/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-23**

<b>Objetivo del estudio :</b>	<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
	<b>Nº Muestra</b>	LB-23
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
LB160034	6.331.461.181	379.994.548	2.474

<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces, sector Los Bronces	04/01/2018

**OBSERVACION MACROSCOPICA**

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzo-monzonita fina a media. Presenta una fuerte alteración clorita-albita pervasiva, sobrepuesta a una alteración potásica feldespática pervasiva y selectiva en cristales de plagioclasa y feldespato-k. Sobre estas dos alteraciones se superpone una débil alteración sericitica selectiva en cristales de plagioclasa y feldespato.

En la muestra se observan las siguientes vetillas:

V1.23 Turm-Chl-Cpy-Anh, vetillas sinuosas, discontinuas, de límites definidos y espesor relativamente constante (<1mm) hasta cuando estas se intersecan. Rellenas principalmente de clorita y epidota y en menor proporción anhidrita.



<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina
----------------------	----------------------

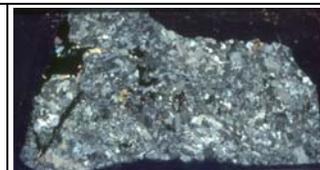
**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Roca ígnea intrusiva clasificada como cuarzomonzonita fina. Presenta una fuerte alteración alb-clorita epidota (vetillas V1.23) sobrepuesta por una fuerte alteración pervasiva de feld-k-bt-mgt pervasiva.

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración alb-chl-epi - Vetillas v1.23; 2) Bt-Feld-k - Mgt;

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

El corte transparente permite una mineralogía más detallada de la vetilla V1.23 como también la mineralogía primaria y alteración de la roca.



**DESCRIPCION VETILLAS**

a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	70	Cristales subhedrales prismáticos de hasta 3 mm. Alterados moderada a fuertemente a albita y débilmente a arcillas y epidota.
Cuarzo	10	Cristales anhedrales de hasta 1 mm.
Feldespato-k	20	Cristales anhedrales de hasta 3 mm. Se encuentran alterados débilmente a arcillas
	<b>100</b>	

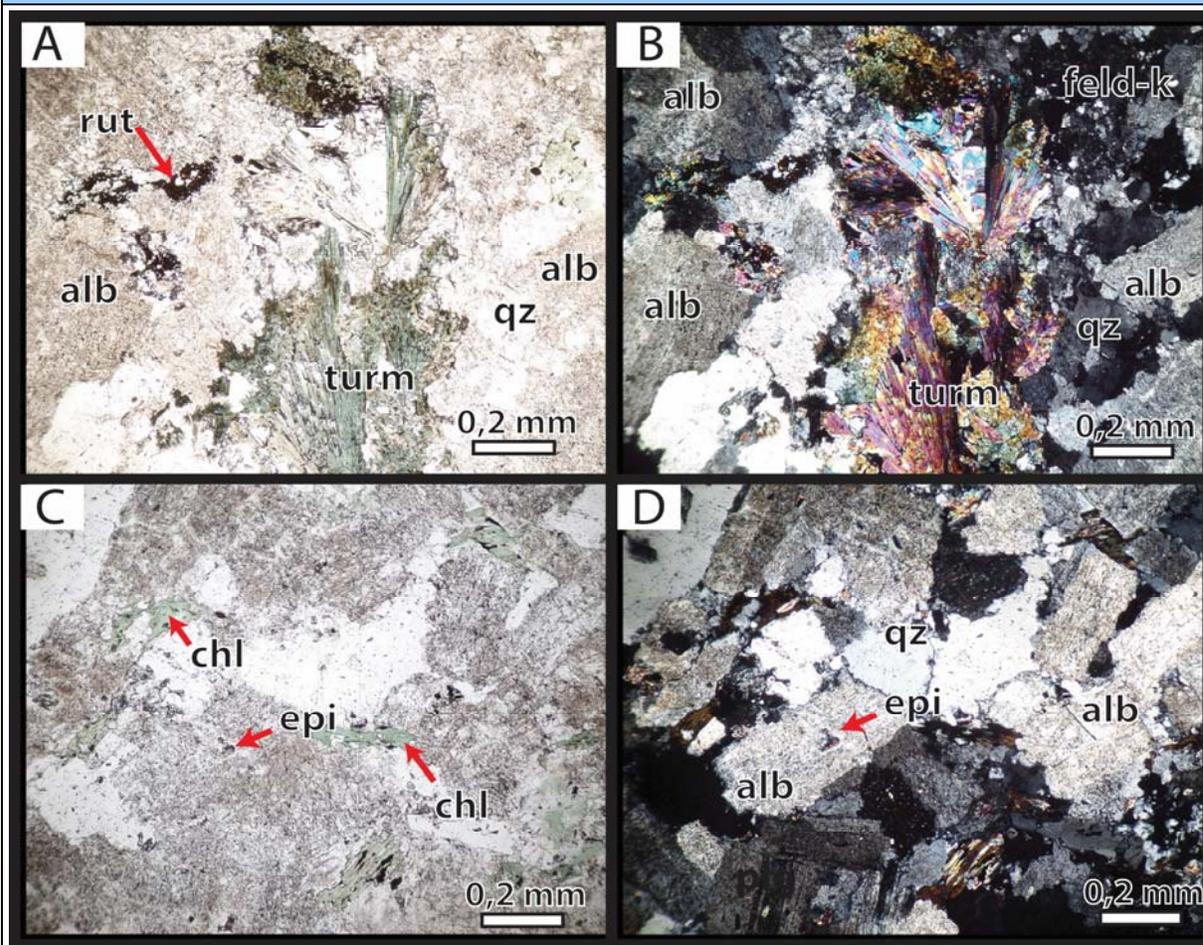
b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Clorita	18	5	13		Cristales subhedrales hojosos de hasta 1 mm. Se encuentra como en relleno en vetillas, diseminado en la roca y principalmente como producto de una cloritización pervasiva de biotitas primarias y secundarias, asociado con rutilo producto de esta reacción.
Feldespato-k	15	12		3	Cristales anhedrales desde 0,2 mm hasta 2 mm. Se encuentra en toda la roca producto de un metasomatismo de K en plagioclasas, como también una recrystalización y aumento de tamaño. Algunos cristales están débilmente alterados a epidota, sericita y arcillas.
Albita	20	13		7	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares de hasta 3 mm. Se encuentra en toda la roca producto de una albitización de plagioclasas. Están débilmente alteradas a sericita y arcillas.
Turmalina	5		5		Cristales euhedrales prismático y acicular radial de hasta 2 mm. Se encuentra como relleno de vetilla
Cuarzo	5		5		Cristales anhedrales <0,02 mm. Se encuentra como relleno en vetillas
Anhidrita	4		4		Cristales subhedrales prismáticos de hasta 0,2 mm. Se encuentra como relleno de vetillas asociado a calcopirita y biotitas cloritizadas.
Epidota	7	3	4	tr	Cristales subhedrales prismáticos <0,1 mm. Se encuentra como relleno en vetillas y también alterando a plagioclasas y feldespatos potásicos. En paragénesis con clorita y turmalina en vetillas
Rutilo	1	1		tr	Cristales subhedrales prismáticos <0,05 mm. Se encuentra como relleno en vetilla y diseminado en la roca

Calcopirita	10	2	8	Cristales anhedrales de hasta 3 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas y en menor proporción diseminado en la roca. En paragénesis con magnetita, pirita y bornita.
Magnetita	tr			Cristales anhedrales a subhedrales prismáticos de hasta 0,2 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas como también diseminado en la roca. En paragénesis con calcopirita
Pirita	tr		tr	Cristales anhedrales de 0,5mm, se encuentra como relleno en vetilla y en paragénesis con calcopirita
Bornita	tr		tr	Cristal anhedral <0,002 mm, se encuentra en paragénesis con calcopirita
Sericita	tr	tr		Cristales subhedrales tabulares <0,002 mm. Se encuentra alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Mineralogía primaria	15			

100

c) Vetillas	
v1.23 Cpy-Chl-Turm-Epi-Anh-Feld-k-Qz	Vetillas sinuosas, discontinuas, de límites poco definidos y espesor variable, rellena de calcopirita, clorita, epidota, turmalina y en menor proporción pirita y magnetita. Presentan una halo de alteración difuso principalmente de albita, menor feldespatos potásico y trazas de epidota

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía de la vetilla, conformada por cristales de calcopirita, turmalina, cuarzo, feldespatos potásico.

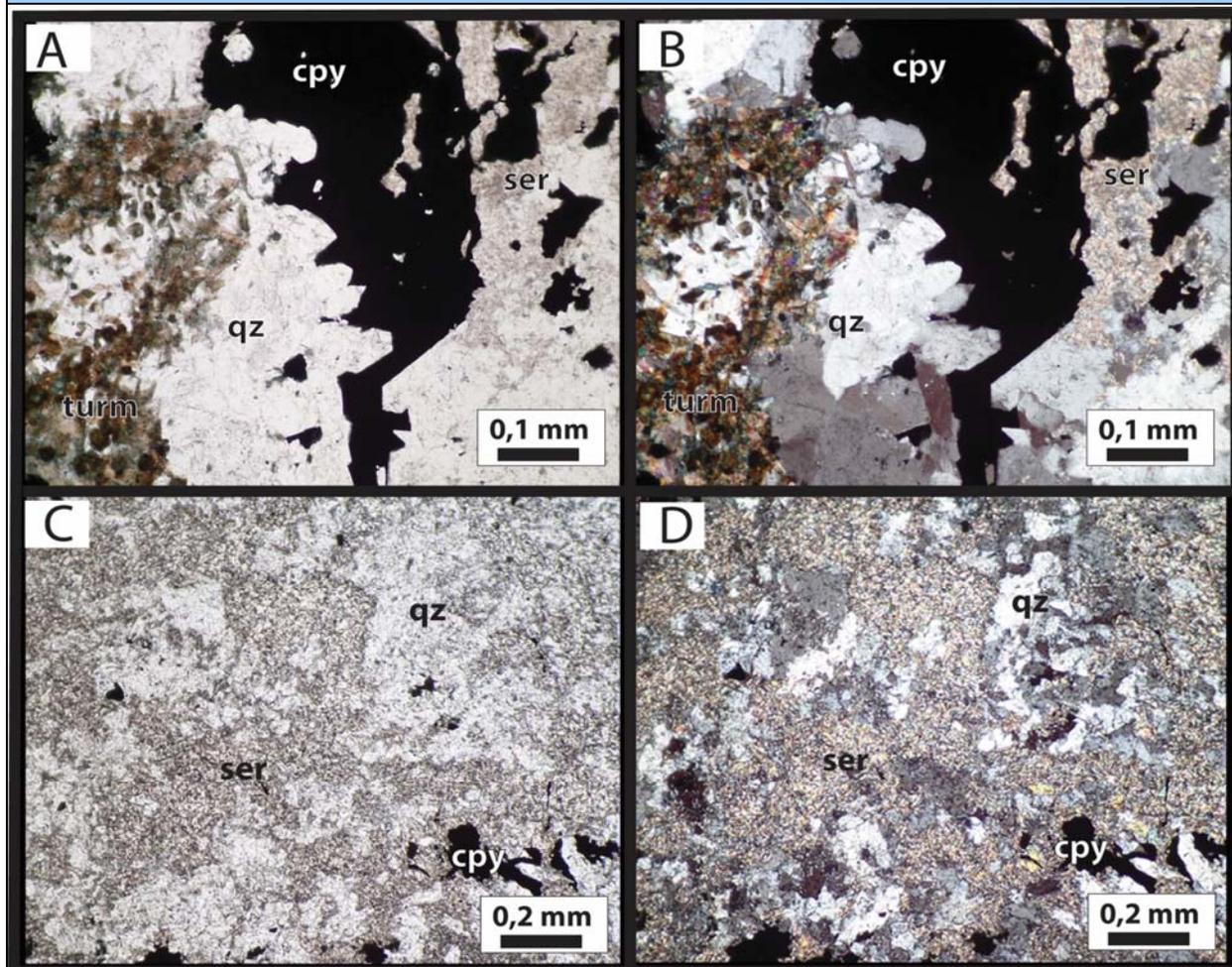
C y D: 4577: Fotomicrografía 5x a nicoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa la alteración albita-clorita. Algunos cristales de albita están alterados débilmente a epidota.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	04/01/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-28				
Objetivo del estudio :			Confección	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
			N° Muestra	SEM-28
			Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	LB14007	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
				3.807
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra		Fecha	
	Minera Los Bronces		29/09/2018	
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA				
Brecha magmático hidrotermal clasto-soportada, monomictica. Los clastos se encuentran alterados fuertemente a sericita-clorita con mineralización diseminada de calcopirita y pirita. El cemento está conformado principalmente turmalina, con menor cuarzo y mineralización de calcopirita y pirita.				
Clasificación	Brecha magmático hidrotermal de turmalina			
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS				
Brecha magmático hidrotermal clasto soportada, monomictica. Los fragmentos se encuentran alterados fuertemente a sericita-clorita y menor arcillas. Cemento está compuesto por turmalina, calcopirita, pirita, cuarzo y menor sericita.				
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Brecha de turmalina- alteración sericita-clorita-arcillas				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
En el corte transparente se observa la mineralogía primaria y de alteración de los clastos, y la mineralogía que conforma el cemento				
DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL				
a) Clastos (95%)	% Total	Características (Composicionales y texturales)		
a.1) Mineralogía Primaria				
Biotita	3	Cristales subhedrales tabulares <0,5 mm alterados fuertemente a clorita.		
Cuarzo	15	Cristales anhedrales <0,6 mm.		
Plagioclasa/ Feldespato-k	85	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <1 mm alterados pervasivamente por arcillas y en menor medida sericita.		
a.2) Mineralogía secundaria				
Arcillas	10	Agregado cristalino de grano muy fino. Se encuentran alterando algunos cristales de plagioclasa y feldespato potásico.		
Sericita	65	Cristales subhedrales tabulares <0,01 mm. Se encuentran alterando fuertemente a plagioclasas y feldespatos potasicos.		
Calcopirita	4	Se presenta como cristales anhedrales <0,2 mm diseminados en los clastos y también como un agregado masivo en el cemento de la brecha.		
Pirita	3	Se presenta como cristales anhedrales <0,1 mm diseminados en los clastos y también como un agregado masivo en el cemento de la brecha.		
Clorita	3	Se presenta alterando fuertemente a biotitas primarias		
Mineralogía primaria	15			
	100			
Clastos angulosos, monomicticos de roca ignea intrusiva de textura fanerítica inequigranular alterados pervasivamente por sericita y menor arcilla. Mineralización diseminada de calcopirita y pirita. Tamaño 1,5 - 4 cm				

b) Cemento (5%)	%	
Turmalina	3	Cristales euhedrales prismáticos <1 mm.
Cuarzo	1	cristales anhedrales a euhedrales prismáticos <0,6 mm.
Sericita	tr	Cristales subhedrales tabulares <0,03mm.
Pirita	tr	Agregado masivo <0,4 mm diseminados en el cemento.
Calcopirita	1	Cristales anhedrales <0,1 mm diseminados en el cemento.

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



A y B: Fotomicrografía 10 x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía del cemento de la brecha.

C y D: Fotomicrografía 5x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía primaria y de alteración de los clastos.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	29/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-29**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Confeción</b>	CT Estandar
	<b>Tipo Estudio</b>	Geocronología
	<b>N° Muestra</b>	SEM-29
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b> LB14007	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b> 3.834
--------------------------------------	---------------------	--------------------	-------------------------------

<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b> Minera Los Bronces	<b>Fecha</b> 02/09/2018
----------------------------	--	----------------------------

**OBSERVACION MACROSCOPICA**

Brecha magmático hidrotermal clasto-soportada (monomictica. Los clastos (85%) son principalmente angulosos a subredondeados de tamaño > 4 cm. El protolito es oblterdo producto de una alteración filica intensa. La matriz corresponde a pequeños fragmentos de roca <1cm. El cemento es principalmente de turmalina (8%) y cantidades menores de pirita, calcopirita y hematita especular, en orden de abundancia. La mineralización de sulfuros es principalmente como parte de la matriz y menor de forma diseminada en los clastos.	
--	--

<b>Clasificación</b>	Brecha hidrotermal de turmalina
----------------------	---------------------------------

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Brecha magmático-hidrotermal clastos soportado monomictica. Los fragmentos de roca ignea intrusiva de textura fanerítica inequigranular son subangulosos y se encuentran alterados pervasivamente por una alteración sericita-arcillas (illita-esmectita). La matriz está conformada principalmente por fragmentos menores de roca intrusiva. El cemento está conformado porincipalmente por turmalina, calcopirita, pirita y hematita especular (especularita).

**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** De acuerdo a la mineralogía de alteración presente en los clastos esta brecha fue emplazada en el evento tardío asociado a una alteración filica a argilica moderada.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

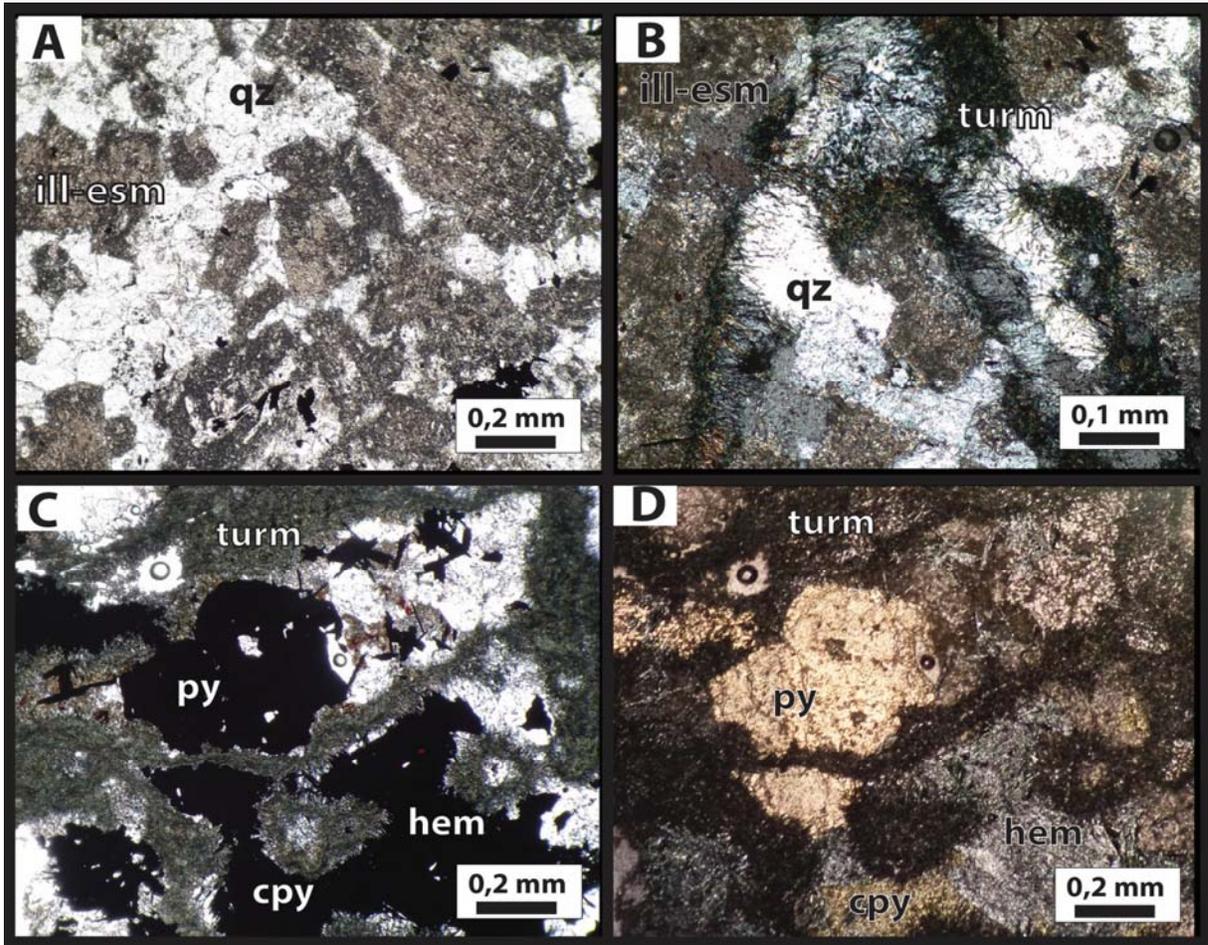
En el corte transparente se puede apreciar con mayor detalle la mineralogía primaria y secundatia de los clastos, la matriz y también los minerales que conforman el cemento	
--	--

**DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL**

a) Clastos	% Total	Características (Composicionales y texturales)
<b>a.1) Mineralogía Primaria</b>		
Cuarzo	25	Cristales anhedrales 0,1 - 0,5 mm.
Plagioclasa/ Feldespato-k	75	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares 0,5 - 1,2 mm alterados pervasivamente por arcillas y en menor medida sericita.
<b>a.2) Mineralogía secundaria</b>		
Arcillas	55	Agregado de granos muy finos que se encuentran alterando pervasivamente a plagioclasas y feldesatos potásicos.
Sericita	15	Cristales subhedrales tabulares <0,1 mm. Se presentan alterando pervasivamente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Hematita	1	Cristales euhedrales tabulares <0,1mm diseminados en los clastos.
Calcopirita	2	Cristales anhedrales <0,5 mm. Se presentan diseminados en los clastos.
Pirita	2	Cristales anhedrales <0,5 mm. Se presenta diseminados en los clastos.
Mineralogía primaria	25	
	100	
Clastos angulosos, monomicticos de roca ignea intrusiva de textura fanerítica inequigranular aletardos pervasivamente por arcillas y sericita. Mineralización diseminada de calcopirita y pirita		
<b>b) Matriz</b>	10	Fragmentos angulosos monomicticos con la misma litología y alteración de los clastos con tamaños desde 1 - 5 mm

b) Cemento	10	
Turmalina	6	Cristales euhedrales tabulares <0,08 mm. Se disponen perpendiculares a los clastos y la matriz (textura cocarda).
Cuarzo	2	Cristales anhedrales a subhedrales <0,08 mm.
Sericita	tr	Cristales subhedrales tabulares <0,03mm.
Pirita	2	Cristales anhedrales <0,1 mm en paragénesis con calcopirita y hematita.
Calcopirita	2	Cristales anhedrales <0,3 mm como agregado masivo en paragénesis con hematita y pirita.
Hematita	1	Cristales anhedrales <0,20 mm en agregados masivos en el cemento y en paragénesis con calcopirita.

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



A: Fotomicrografía 5x. A nicoles paralelos. Se observa la mineralogía primaria y de alteración de los clastos. Cristales de plagioclasa alterados fuertemente a illita-esmectita. Con mineralización diseminada de cpy-py.

B: Fotomicrografía 10x a nicoles cruzados. Se observa mineralogía del cemento (turmalina-cuarzo) y fragmentos de la matriz alterados pervasivamente a illita-esmectita. Se puede apreciar el crecimiento de los cristales de turmalina a partir de los fragmentos (textura cocarda).

C y D: Fotomicrografía 5x a nicoles paralelos en luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se observa la mineralogía que conforma el cemento (turmalina, calcopirita, pirita, cuarzo y hematita).

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	02/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-30**

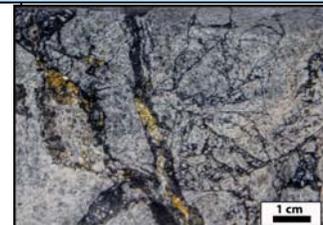
<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	Confección	CT Estandar
	Tipo Estudio	Geoquímica
	N° Muestra	SEM-30
	Origen	Minera Los Bronces

Procedencia Exacta	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
LB14007			3.821

Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra	Fecha
	Minera Los Bronces	12/10/2018

**OBSERVACION MACROSCOPICA**

Brecha magmático-hidrotermal clasto-soportada monomítica. Los clastos (90%) son angulosos a subangulosos de tamaño >3,5 cm de protolito obliterado producto de una fuerte alteración filica. La matriz corresponde a fragmentos de roca, de igual composición que los fragmentos, de tamaño <1cm. El cemento es principalmente de turmalina, menor calcopirita, pirita y hematita especular. La mineralización de sulfuros es principalmente como relleno de espacios (cemento brecha) y diseminado en los clastos.



Clasificación	Brecha magmático hidrotermal de turmalina
---------------	---

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Brecha magmático-hidrotermal clasto-soportada monomítica. Los clastos son de roca intrusiva los cuales están alterados a sericita-arcillas con mineralización diseminada de calcopirita y pirita. La matriz está conformada por fragmentos menos de la misma litología que los clastos. El cemento está conformado principalmente de turmalina, cuarzo, calcopirita, pirita y hematita.

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración sericita-arcillas

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

En el corte transparente se puede apreciar con mayor detalle la mineralogía primaria y secundatia de los clastos, la matriz y también los minerales que conforman el cemento.	
---	--

**DESCRIPCIÓN BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL**

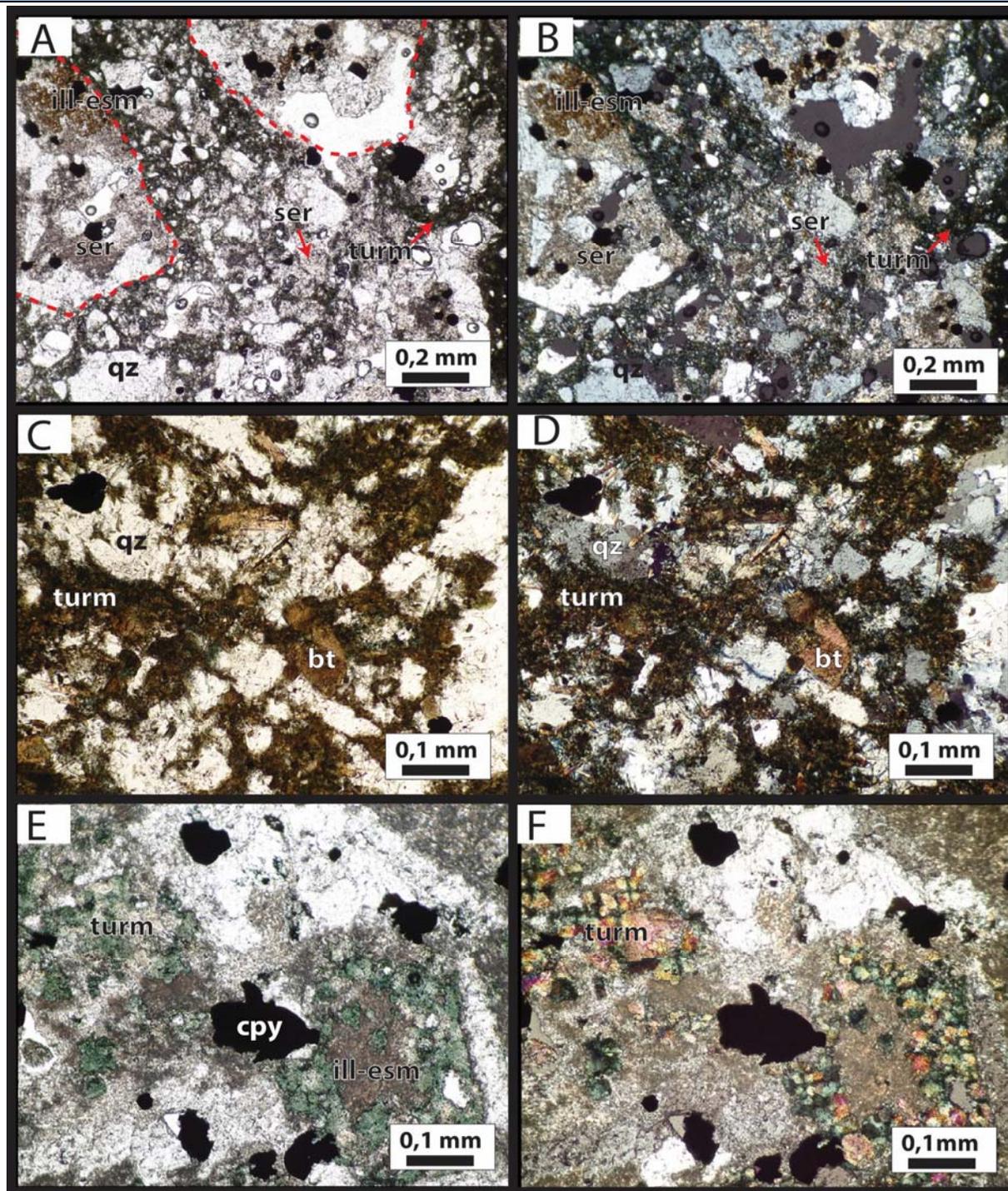
a) Clastos	% Total	Características (Composicionales y texturales)
a.1) Mineralogía Primaria		
Cuarzo	30	Cristales anhedrales <0,3 mm.
Plagioclasa/ Feldspato-k	70	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0,5 mm alterados pervasivamente por arcillas (illita-esmectita) y en menor medida sericita.
a.2) Mineralogía secundaria		
Illita-esmectita	55	Agregado de granos muy finos que se encuentran alterando pervasivamente a plagioclasas y feldesatos potásicos.
Sericita	10	Cristales subhedrales tabulares <0,1 mm. Se presentan alterando pervasivamente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Turmalina	1	Cristales euhedrales tabulares en roseta <0,05 mm diseminados en los clastos.
Calcopirita	1	Cristales anhedrales <0,02 mm. Se encuentran diseminados en los clastos.
Pirita	3	Cristales anhedrales <0,02 mm. Se encuentran diseminados en los clastos.
Mineralogía primaria	30	
	100	

Clastos angulosos, monomíticos de roca ignea intrusiva de textura fanerítica inequigranular aletardos pervasivamente por arcillas y sericita. Mineralización diseminada de calcopirita y pirita

b) Matriz	12	Fragmentos angulosos monomíticos con la misma litología y alteración de los clastos con tamaños desde 1 - 5 mm
-----------	----	--

b) Cemento (8%)	%	
Turmalina	3	Cristales euhedrales tabulares <0,08 mm.
Cuarzo	2	Cristales anhedrales a subhedrales <0,08 mm.
Sericita	1	Cristales subhedrales tabulares <0,03mm.
Pirita	1	Cristales anhedrales <0,1 mm diseminados en el cemento.
Calcopirita	1	Cristales anhedrales <0,1 mm diseminados en el cemento.
Hematita	tr	Cristales anhedrales <0,01 mm diseminados en el cemento y en paragénesis con pirita.

## OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía del cemento del cemento (turmalina, cuarzo, sericita, pirita y calcopirita) de la brecha como también parte de la matriz, alterada a illita-esmectita y sericita.

C y D: Fotomicrografía 10X a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía del cemento de la brecha conformado principalmente por turmalina y cuarzo, menor biotita

E y F: Fotomicrografía 10x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa la mineralogía primaria y de alteración de los clastos. Plagioclasas y feldespatos alterados pervasivamente a arcillas y cumulos diseminados de turmalina acicular radial.

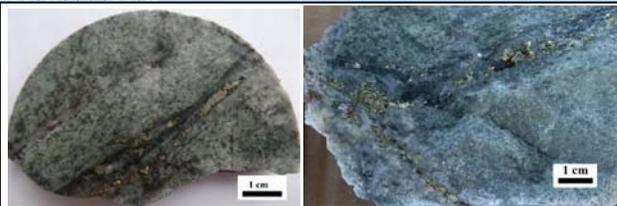
Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	12/10/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-31**

<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	<b>CT Estandar</b>	
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica Isotópica	
		<b>Nº Muestra</b>	LB-31	
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces	
<b>Procedencia Exacta</b>	LB170005	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
				3.296
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces		28/09/2018	

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**

Se observa una vetilla recta y continua, rellena principalmente de cuarzo, calcopirita, pirita y hematita. La muestra muestra un bandeamiento el cual exhibe una precipitación a partir de la pared de la veta hacia el centro de cuarzo: pirita -cuarzo, calcopirita-hematita. Además esta vetilla no está rellena completamente, se observan oquedades en el centro de esta. Presenta un halo penetrativo principalmente de sericita y menor clorita.



**Clasificación**

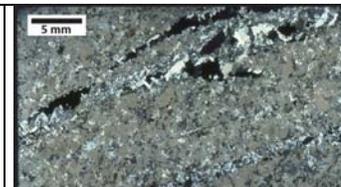
**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante de 1 cm. Su relleno está conformado principalmente de calcopirita, pirita, cuarzo, clorita y hematita, en orden de abundancia. La roca se encuentra fuertemente alterada por sericita-clorita-arcillas por lo que no es posible distinguir la textura original de la roca.

**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** vetillas v1.31 - alteración sericita-clorita-arcillas.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

En el corte transparente se observa la mineralogía del relleno de la vetilla v1.31 como también la alteración de la roca de caja.

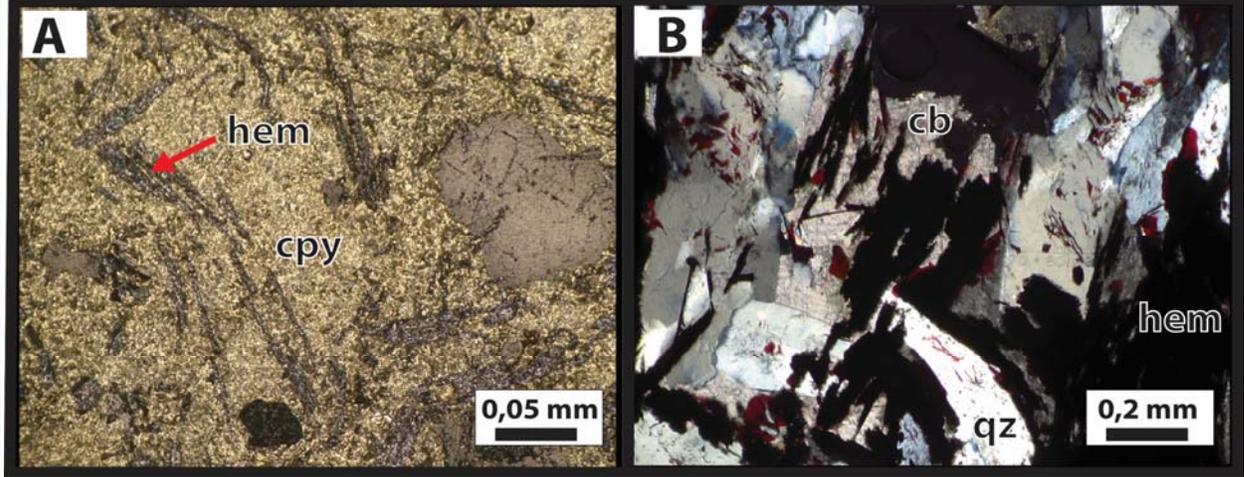


**DESCRIPCIÓN VETILLAS**

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Clorita	15		5	10	Cristales subhedrales tabulares <0,4 mm. Se presenta como relleno en vetillas y también en la roca huesped alterando principalmente a biotitas primarias.
Sericita	40		10	30	Cristales anhedrales <0,05 mm. Se presenta pervasivamente en toda la muestra, principalmente reemplazando plagioclasas y feldespatos potásicos. En paragénesis con clorita.
Illita - esmectita	8			8	Agregado de granos muy finos que se encuentran alterando pervasivamente a plagioclasas y feldesatos potásicos.
Cuarzo	25		20	5	Cristales anhedrales a cuhdrales prismáticos <0,8 mm. Se presentan principalmente como relleno en vetillas y también relictos de la mineralogía primaria.
Calcopirita	8		8		Cristales subhedrales prismáticos <1mm. Se presenta como relleno en vetilla. Reemplazando a pirita y en paragenesis con hematita
Pirita	2		2		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <0,5 mm. Se presenta alterando débil a fuertemente a biotitas primarias y secundarias, como también en microvetillas
Hematita	2		2	tr	Se presenta principalmente como relleno en la vetilla, en paragénesis con hematita y reemplazando a pirita.
	<b>100</b>				

b) Vetillas	
qz-cpy-py-hem-ser	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor relativamente constante de 1 cm. Su relleno está conformado principalmente con cuarzo, calcopirita, pirita, hematita, donde la calcopirita está reemplazando a la pirita. Además se observan granos de cuarzo euhedrales que crecen a partir de la pared de la veta.

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



**A:** Fotomicrografía 20x a nícoles paralelos en luz reflejada. Se observa agregado masivo de calcopirita con hematita especular.

**B:** Fotomicrografía 5x a nícoles cruzados en luz reflejada. Se observa parte de la mienralogía del relleno de la vetilla con cristales euhedrales de carbonato y hematita especular, con cristales subhedrales de cuarzo.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	28/09/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-32			
Objetivo del estudio :		Confeción	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		Tipo Estudio	Geoquímica Isotópica
		N° Muestra	LB-32
		Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
LB170005			3.307
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra	Fecha	
	Minera Los Bronces	27/09/2018	

#### OBSERVACION MACROSCOPICA

Veta > 5 cm. Presenta una notoria textura bandeada la cual exhibe numerosas estapas de reactivación. Se observa en el centro oquedades con miernalización de calcopirita euhedral junto con siderita, hematita especular y cuarzo. Hacia el exterior se observan bansas de clorita, especularita y cuarzo, las cuales varían en función de la proporción relativa de cada uno de los minerales. Esta veta ubicada en el sondaje LB170005, se encuentra asociada a una fuerte alteración cuarzo-sericita-clorita.



Clasificación	Veta DT
---------------	---------

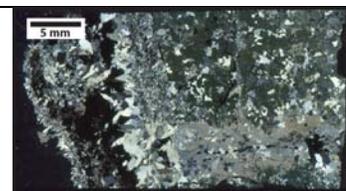
#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Veta > 5 cm de espesor cuya mineralización de mena y ganga es claramente bandeada. En el centro de esta se observan oquedades y la mineralización es principalmente calcopirita con menor pirita, en paragénesis con carbonatos (siderita), hematita especular y cuarzo crustiforme. Hacia fuera se distinguen bandan de cuarzo, clorita, hematita y sericita, las cuales se distinguen en función de la abundancia de los minerales. Esta vetilla es cortada por una vetilla de menor tamaño v2.32 (vetilla D) en el relleno externo, y asu vez, esta última es cortada por el relleno central de la veta, indicando una relación genética contemporanea producto de la multiplicidad de eventos. Esta roca se asocia al evento filico y la roca huesped presenta una alteración cuarzo-sericita-clorita.

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración cuarzo-sericita-clorita - veta V1.32 ( bandas de clorita-cuarzo-hematita-sericita); 2) Vetilla v2.32 (D) corta vetilla DT; 3) Vetilla DT se reactiva - mineralización de calcopirita-pirita-hematita-carbonato-cuarzo crustiforme (corta vetilla v2.32 (D)).

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

En el corte transparente solo se puede apreciar la mineralogía del relleno de las vetillas V1.32 (DT) y V2.32(D)

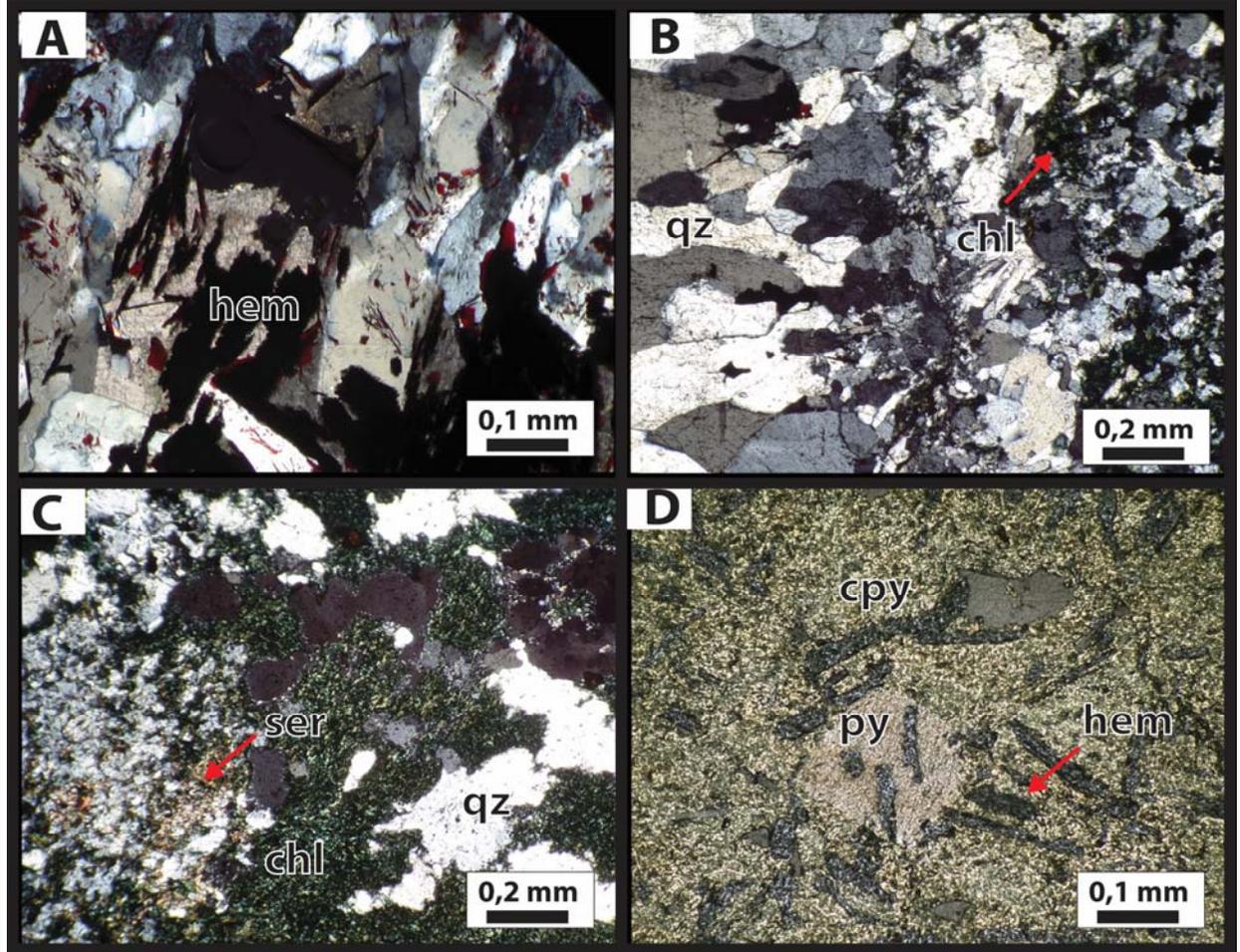


#### DESCRIPCIÓN VETILLAS

a) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Clorita	40		40		Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <0,5 mm. Se presenta principlamente como halo de vetilla en paragénesis con sericita y en menor proporción en el relleno de esta en paragénesis con cristales de cuarzo.
Cuarzo	18		18		Cristales subhedrales a euhedrales primáticos <0,05 mm a 1 mm que se encuentran principalmente como relleno en vetilla donde los granos más pequeños están en los bordes y los creistales más grandes y euhedrales en el centro de la vetilla v1.32, creciendo pependiculares a la pared de la veta. En menor proporción se encuentra como granos anhedrales en el halo de esta.
Sericita	10		2	8	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <0,02 mm. Se presenta principalmente en el relleno de vetilla v1.32 . Además se presenta en el halo de vetilla v2.32.
Hematita	12		12		Cristales euhedrales <0,1 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas en paragénesis con calcopirita y pirita.
Calcopirita	9		9	tr	Agregado masivo < 2 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas en paragénesis con pirita y hematita.
Pirita	6		6	tr	Agregado masivo < 2 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas en paragénesis con calcopirita y hematita.
Carbonato	5		5		Cristales subhedrales a euhedrales prismáticos <0,2 mm. Se encuentra en relleno de veta v1.32 y en paragénesis con cuarzo y en desequilibrio con especularita indicando su precipitación anterior a esta.
Mineralogía Primaria					
	100				

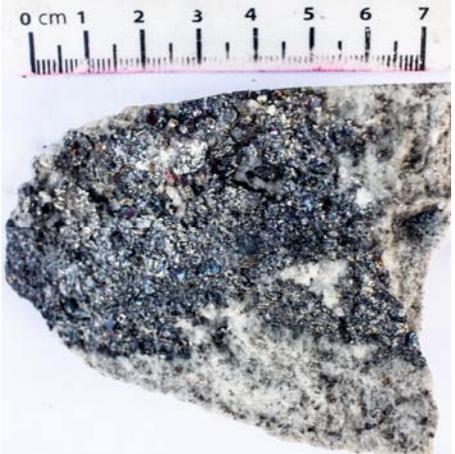
b) Vetillas	
v1.32 qz-cpy-py-pyrrt-hem-chl-cb	Veta principal de todo el corte transparente. Presenta una textura bandeada con mineralización en el centro de cuarzo, calcopirita, pirita, carbonato y hematita especular. El cuarzo presenta una textura crustiforme con el crecimiento de sus cristales perpendicular a las paredes de esta. Hacia el exterior su relleno está compuesto principalmente de clorita con menor cuarzo y sericita. Se puede observar que esta veta es cortada en su borde externo por vetilla v2.32, pero esta última es cortada por el centro de la veta v1.32, indicando su relación cogenética y de multi evento.
v2.32 py-cpy-qz con halo de qz-ser	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante < 2 mm, rellena principalmente de pirita y calcopirita con menor cuarzo. Presenta un halo penetrativo, bien definido y de espesor constante de sericita y cuarzo. Esta vetilla es cogenética a vetilla v1.32 por el caracter multievento del sistema. relleno: cuarzo, pirita, calcopirita halo: cuarzo sericita

**OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES**



- A:** Fotomicrografía 10x a nícoles paralelos en luz transmitida. Se observa la mienralogía que conforma el relleno central de la veta principal (v1.32).
- B:** Fotomicrografía 5x. Se observa cristales de cuarzo subhedrales a euhedrales orientados perpendicular a la vetilla. Cristales más pequeños en el borde y cristales mas grandes en el centro.
- C:** Fotomicrografía 5x a nícoles cruzados en luz transmitida. Se observa la mineralogía que forma parte del relleno de la veta principal (v1.32).
- D:** Fotomicrografía 10x a nícoles paralelos en luz reflejada. Se observa mineralogía del relleno de la vetilla, compuesto principalmente por calcopirita, pirita y especularita.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	27/09/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-33			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	LB-33
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB140178	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		Elevación (m)	
		3.220	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces		28/05/2018
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA			
Fragmento de vetilla D con mineralización de pirita en el relleno, la cual posee una mineralización en pátina de calcosina supérgena con menor covelina.			

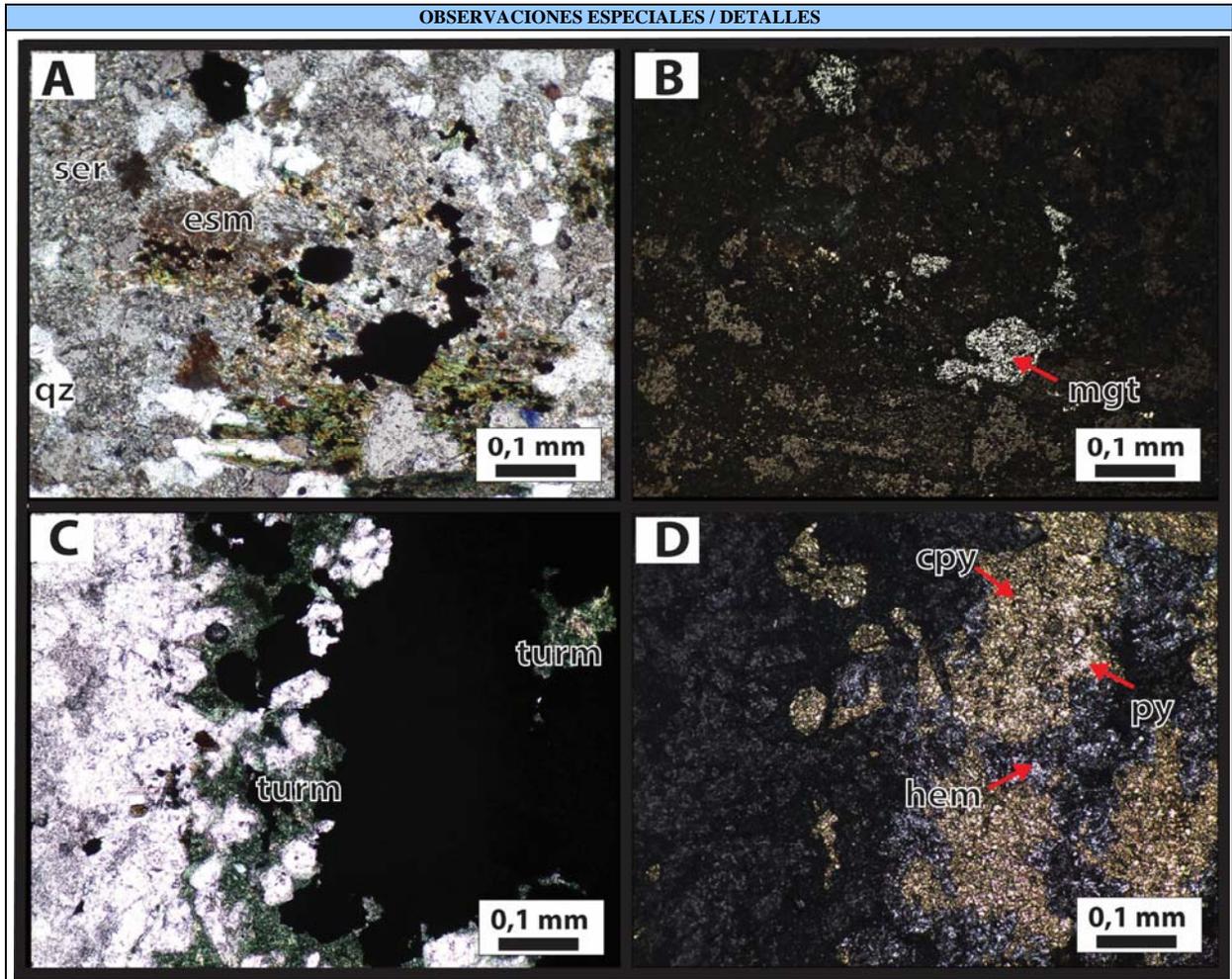
Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	28/05/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-34			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geocronología
		<b>N° Muestra</b>	LB-34
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB140178	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		Elevación (m)	
		3.218	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces		28/05/2018
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA			
Fragmento de vetilla D con mineralización de pirita en el relleno, la cual posee una mineralización en pátina de calcosina supérgena con menor covelina.			

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	28/05/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-35			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	
		<b>Nº Muestra</b>	SEM-35
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
LB140032			3.790
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces		02/09/2018
OBSERVACION MACROSCOPICA			
<p>Brecha magmático-hidrotermal clasto-soportada (80-20%), monomítica. Los clastos son angulosos y exhiben una textura de jigsaw. Presentan una fuerte alteración sericita-clorita, sericitización de plagioclasas y cloritización de biotita. El cemento es principalmente de calcopirita, piritita, cuarzo, turmalina y menor clorita.</p> <p>Se observa un grupo de vetillas:</p> <p>V1.35 vetilla recta, continua de límites definidos y espesor relativamente constante de 2 – 3 mm, rellena principalmente de cuarzo y calcopirita, menor clorita y piritita. Posee un halo de alteración pervasivo, constante, con espesor de hasta 1 cm conformado principalmente de qz-ser. (vetillas D en LB).</p>			
<b>Clasificación</b>	Brecha hidrotermal de turmalina		
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS			
<p>Brecha magmática hidrotermal clasto-soportada del tipo jigsaw. Los clastos son angulosos alterados pervasivamente a sericita-clorita-arcillas. El cemento es conformado principalmente por calcopirita intercrecida con piritita, turmalina y hematita. Esta brecha es cortada por vetilla V1.35 (D).</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: De acuerdo a la mineralogía de alteración presente en los clastos esta brecha fue emplazada en el evento tardío asociado a una alteración filica a argílica moderada.</p>			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
<p>En el corte transparente se puede apreciar con mayor detalle la mineralogía primaria y secundaria de los clastos y también los minerales que conforman el cemento.</p>			
DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL			
<b>a) Clastos (85%)</b>	<b>% Total</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>	
<b>a.1) Mineralogía Primaria</b>			
Cuarzo	25	Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm. Forma parte de la masa fundamental de la roca.	
Plagioclasa	50	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares < 3,0 mm. Son los fenocristales de la roca. Se encuentran alteradas pervasivamente a sericita y de forma local moderadamente a arcillas.	
Feldespato-k	20	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares < 0,1 mm. Se observa de manera local texturas de reabsorción (embahamiento). Alterados moderadamente a feldespato potásico secundario y sericita.	
Biotita	5	Cristales subhedrales tabulares <1 mm. Se encuentran alteradas pervasivamente a clorita y mica blanca.	
<b>a.2) Mineralogía secundaria</b>			
Sericita	65	Agregados microcristalinos tabulares < 0,01 mm. Se encuentran alterando principalmente plagioclasas y en menos proporción feldespato potásico.	
Clorita	3	Cristales subhedrales tabulares < 0,5 mm. Se encuentran alterando de forma pervasiva a biotitas primarias.	
Rutilo	tr	Agregados cumulares de cristales subhedrales prismáticos < 0,01 mm. Se encuentran asociados a biotitas primarias cloritizadas.	
Esmeclita	7	Agregados criptocristalinos de color marrón localizados principalmente en plagioclasas y de forma local en feldespatos potásicos primarios.	
Turmalina	tr	Cristales euhedrales prismáticos < 0,1 mm.	
Calcopirita	3	Cristales anhedrales < 0,1 mm. Se encuentran de forma diseminada en el clasto.	
Magnetita	7	Cristales subhedrales a euhedrales < 0,5 mm. Se encuentra diseminada en el clasto.	
Mineralogía primaria	15		
	100		
<p>Clastos angulosos, monomíticos de roca ígnea intrusiva de textura porfírica alterados pervasivamente por sericita y en menor medida arcillas. Mineralización diseminada de calcopirita y magnetita.</p>			

<b>b) Cemento (15%)</b>		
Turmalina	tr	Cristales anhedrales < 0,2 mm.
Cuarzo	3	Cristales euhedrales prismáticos < 0,5 mm.
Clorita	4	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares < 0,5 mm.
Pirita	tr	Agregado masivo intrerrecido con calcopirita y bordeado por hematita.
Calcopirita	7	Agregado masivo intrerrecido con pirita y bordeado por hematita.
Hematita	1	Cristales anhedrales <0,20 mm en agregados masivos en el cemento. Se presenta como relleno entre agregados masivos de calcopirita y pirita intercrecidos.



A y B: Fotomicrografía 10x a nículos paralelos en luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se observa en el clasto cristales euhedrales a subhedrales de magnetita, biotita primaria fuertemente cloritizada con rutilo asociado y feldspatos y plagioclasas alterados a illita y esmectita.

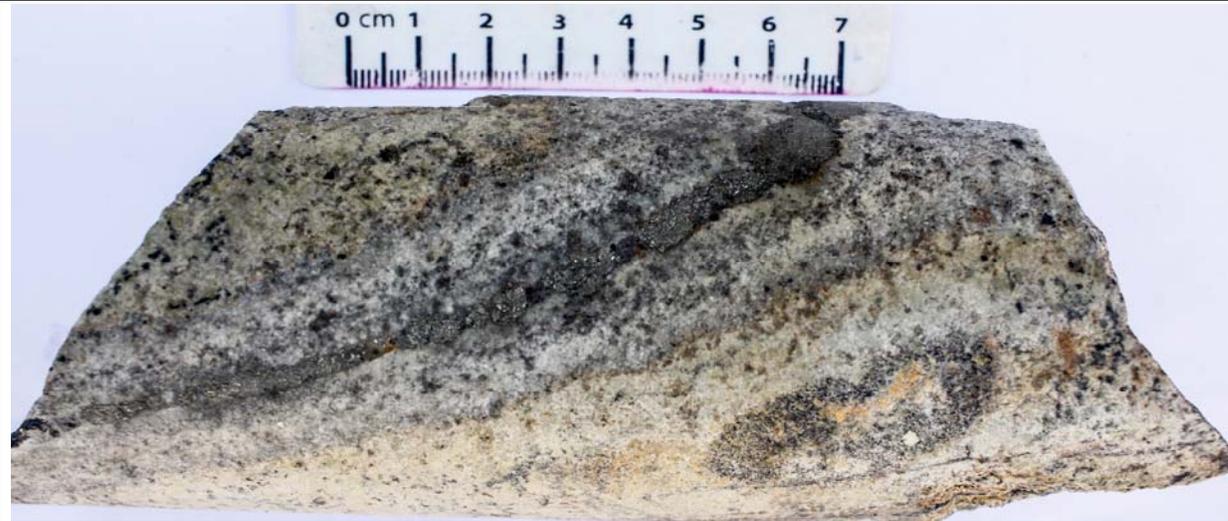
C y D: Fotomicrografía 10x a nículos paralelos en luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se observa la mineralogía del cemento conformado por turmalina, cuarzo y mineralización de calcopirita-pirita intercrecidas bordeadas por hematita.

Estudio nor	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	02/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-36**

<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica isotópica
		<b>N° Muestra</b>	LB-36
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB140178	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
			<b>Elevación (m)</b>
			3.220
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces		28/05/2018

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**



Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante. Su relleno está conformado principalmente de pirita y menor cuarzo. Se observa que en la sutura centra de esta, la cual no está rellena por completa, presenta una mineralización en pátina de calcosina, la cual fue precipitada durante un evento supérgeno posterior. Presenta un halo penetrativo y continuo, principalmente de de sericita y cuarzo. Se observa también, en toda muestra la presencia de opátinas de óxidos e hidróxidos de hierro y, también, óxidos de manganeso en textura dendrítica.

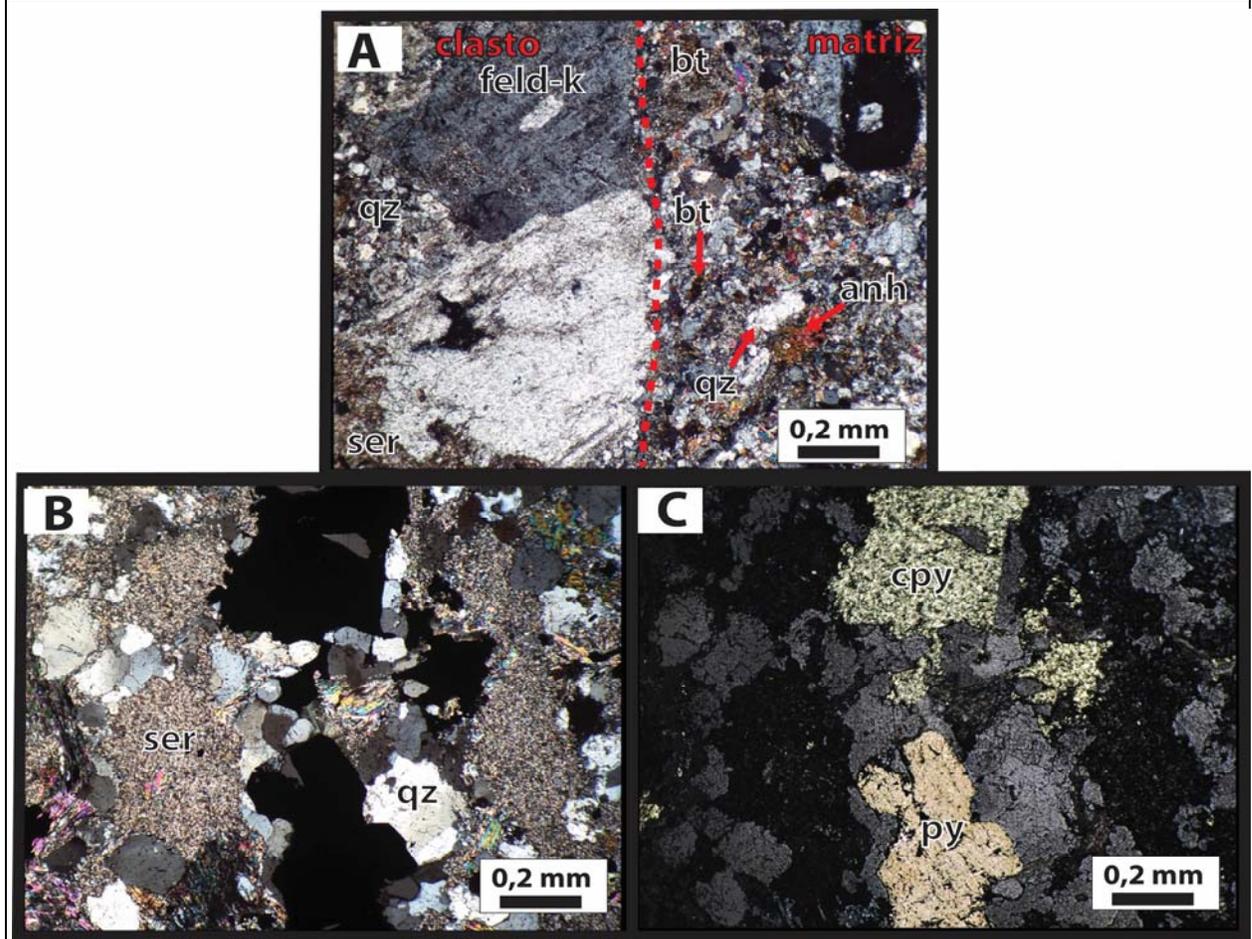
Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	28/05/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-38			
Objetivo del estudio :		Confeción	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
		Nº Muestra	LB-38
		Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
	LB140178		2.191
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra	Fecha	
	Minera Los Bronces	03/09/2018	
OBSERVACION MACROSCÓPICA			
			
Brecha magmático – hidrotermal matriz soportada y monomítica. Los clastos son subangulosos a subredondeados >3 cm. La matriz (60%) es principalmente de fragmentos menores de rocas < 1 cm y polvo de roca. El cemento es de cuarzo, biotita, sericita con calcopirita diseminada. La brecha es cortada por un stockwork de vetillas rectas, continuas, de límites difusos y espesor constante de 1 – 2 mm, rellena principalmente de calcopirita, pirita y cuarzo, menor anhidrita (vetillas v1.28). Presentan un halo de alteración de límites difusos y espesor constante proporcional al ancho de la vetilla de sericita.			
Clasificación	Brecha magmático hidrotermal de biotita con polvo de roca.		
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS			
Brecha magmático hidrotermal de biotita y polvo de roca. Brecha matriz soportada monomítica. Los clastos se roca intrusiva de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico alterados a feldespato potásico secundario (sobrecrecimiento), biotitas primarias alteradas a biotita secundaria y en menor medida se observa una debil sericitización en plagioclasas. La matriz está conformada principalmente de polvo de roca compuesta por fragmentos de plagioclasa, feldespato potásico y biotita. El cemento está compuesto por biotita, cuarzo y trazas de anhidrita. Esta brecha es cortada por una serie de vetillas v1.38 (C2) asociadas a una alteración sericita gris verde.			
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) brecha biotita polvo de roca - alteración potásica; 2) vetillas v1.38 (C2) - alteración sericita gris verde.			
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA			
En el corte transparente se puede apreciar con mayor detalle la mineralogía primaria y secundatia de los clastos y matriz; los minerales que conforman el cemento y la del stockwork de vetillas v1.38.			
DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL			
a) Clastos (50%)	% Total	Características (Composicionales y texturales)	
a.1) Mineralogía Primaria		Roca ignea intrusiva de textura porfírica con fenocristales de plagioclasa y feldespato potásico.	
Cuarzo	12	Cristales anhedrales <0,02 mm. Se observan en la masa fundamental.	
Plagioclasa	25	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares < 5,00 mm. Alteradas parcialmente a sericita y a arcillas.	
Biotita	3	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares < 1,5 mm. Se encuentran alterados parcialmente a clorita, biotita secundaria y a mica blanca.	
Feldespato-k	10	Cristales subhedrales tabulares <1,5 mm. Se encuentran alterados a sericita débilmente a arcillas. Algunos bordes están alterados por feldespato-k secundario (sobrecrecimiento).	
Magnetita	tr	Cristales subhedrales prismáticos < 0,1 mm.	
a.2) Mineralogía secundaria	% Total	Características (Composicionales y texturales)	
Biotita	7	Agregado microcristalinos tabulres <0,02 mm. Se encuentran alterando biotitas primarias.	
Sericita	15	Agregado microcristalinos tabulres <0,02 mm. Se encuentran alterando débilmente a feldespatos potásicos primarios y plagioclasas.	
Feldespato-k	5	Se presenta en los bordes de grano de feldespatos-k primarios.	
Clorita	3	Se observan alterando moderadamente a biotitas primarias.	
Rutilo	tr	Agregados de cristales aciculares <0,02 mm. Se encuentra asociado a biotita primaria cloritizada.	
Mineralogía primaria	70		
	100		
b) Matriz	8	Fragmentos truncados de plagioclasa, biotita y feldespato <0,5 mm (Polvo de roca).	

e) Cemento (10%)		
Biotita	4	Agregados cristalinos tabulares <0,02 mm.
Cuarzo	5	Cristales anhedrales <0,05 mm.
Anhidrita	1	Cristales subhedrales prismáticos <0,20 mm.
Calcopirita	tr	Cristales anhedrales <0,01 mm diseminados en el cemento
Pirita	tr	Cristales anhedrales <0,01 mm diseminados en el cemento
Sericita	tr	Agregados cristalinos tabulares <0,02 mm.

d) Vetillas (40%)			
d.1) Mineralogía	Relleno	Halo	Características (composicionales y texturales)
Calcopirita	15	tr	Agregado masivo en paragénesis con pirita en el relleno y diseminado en el halo.
Pirita	20	tr	Agregado masivo en paragénesis con calcopirita en el relleno y diseminado en el halo.
Clorita	7		Cristales tabulares subhedrales <0,2 mm. Se encuentra en el borde del relleno de la vetilla.
Anhidrita	3		Cristales subhedrales prismáticos <0,5 mm. Se observa en el relleno de la vetilla.
Sericita		50	Cristales subhedrales tabulares <0,01 mm. Se observa en el halo de la vetilla.
Cuarzo	5		Cristales anhedrales <0,2 mm. Se encuentra intercrecido con anhidrita en el relleno de la vetilla.
d.2) Tipo de vetilla			
cpy-py-chl-anh	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 3,00 mm. El relleno se caracteriza por calcopirita, pirita, clorita, anhidrita y cuarzo, en orden de abundancia. Presenta un halo de alteración penetrativo y simétrico de sericita con espesor constante de 5,00 mm.		

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A: Fotomicrografía 5x a nicóles cruzados en luz transmitida. Se observa la mineralogía del cemento/matriz de brecha, conformado por biotita, anhidrita, cuarzo, sulfatos (opacos) y fragmento de feldespatos potásico (polvo de roca).

B y C: Fotomicrografía 5x a nicóles cruzados en luz transmitida y paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa mineralogía del relleno y halo de vetilla v1.38. El relleno está conformado principalmente por calcopirita y pirita masiva con menor cuarzo. El halo está compuesto principalmente por sericita de grano fino.

Estudio nor	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-39**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	Confección	CT Estandar
	Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
	N° Muestra	LB-39
	Origen	Minera Los Bronces

Procedencia Exacta	LB140178	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)	2.174
--------------------	----------	--------------	-------------	---------------	-------

Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra	Fecha
	Minera Los Bronces	03/09/2018

**OBSERVACION MACROSCÓPICA**

Brecha magmático hidrotermal polimicta matriz soportada con fragmentos subangulosos a subredondeados > 3 cm los cuales algunos presentan una alteración potásica selectiva biotítica sobrepuesta por una alteración filica y otros con alteración scc. El cemento está conformado principalmente por biotita, cuarzo, calcopirita diseminada, sericita. La brecha es cortada por una vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 2 mm rellena principalmente de calcopirita y cuarzo. Presenta un halo de alteración penetrativo de límites definidos y espesor constante de 3 mm principalmente de sericita y menor clorita (vetillas C2). La mineralización de sulfuros se da en cemento de brecha, diseminado en los clastos y como relleno en vetillas .



Clasificación	Brecha magmático hidrotermal de biotita y polvo de roca
---------------	---

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

TEMPORALIDAD DE EVENTOS:

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

En el corte transparente se puede observar en detalle la mineralogía primaria y secundaria de los clastos; la mineralogía de la matriz y cemento; y la composición del halo y relleno de la vetilla v1.39.



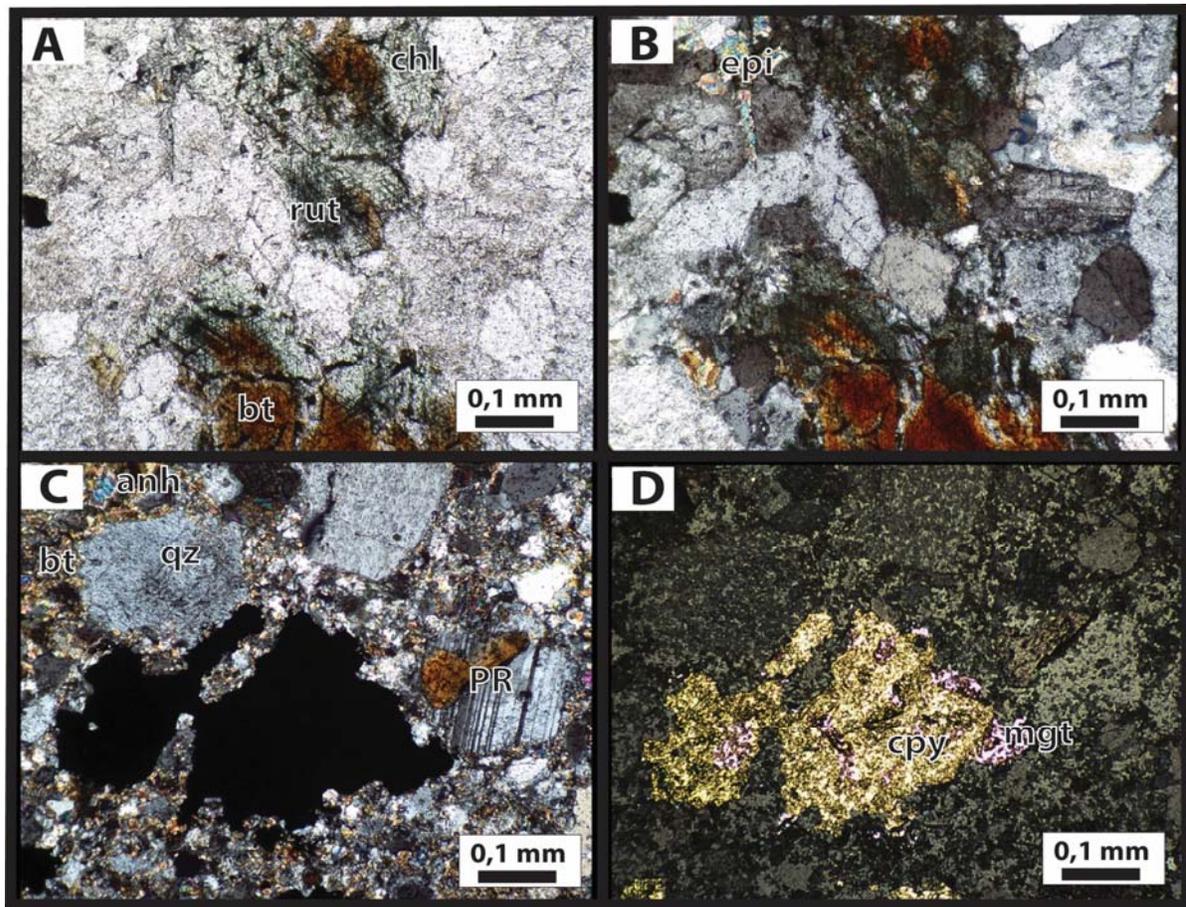
**DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL**

a) Clastos (20%)	% Total	Características (Composicionales y texturales)
a.1) Mineralogía Primaria	%	Cuarzo monzonita textura fanerítica inequigranular
Cuarzo	15	Cristales anhedrales <0,3 mm.
Plagioclasa	35	Cristales subhedrales tabulares <3,00 mm. Se observa en sus bordes alteración a feldespato potásico.
Biotita	10	Cristales subhedrales tabulares <1,00 mm. Se encuentran alterados moderadamente a biotita secundaria y clorita.
Feldespato-k	40	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares <2,00 mm. Se encuentran alterados a feldespato-k secundario (bordes zonados) producto de una reprecipitación.
a.2) Mineralogía secundaria	%	
Biotita secundaria	1	Agregado microcristalinos tabulres <0,02 mm. Se encuentran alterando pervasivamente a biotitas primarias.
Calcopirita	tr	Se observa de forma diseminada en los clastos.
Pirita	tr	Se observa de forma diseminada en los clastos.
Epidota	1	Cristales anhedrales <0,2 mm. Se encuentra en los intersticios de feldespato potásico y plagioclasa.
Clorita	3	Se observan alterando moderada a fuertemente biotitas primarias y en paragénesis con rutilo como subproducto de la cloritización de estas.
Sericita	tr	Agregado microcristalinos tabulres <0,02 mm. Se encuentran alterando a plagioclasas de forma local.
Rutilo	tr	Agregados de cristales aciculares <0,02 mm. Se encuentra asociado a biotita primaria cloritizada.
Mineralogía primaria	95	
	100	
Clastos angulosos, monomicticos de roca ignea intrusiva de textura fanerítica inequigranular aletardos pervasivamente por arcillas y sericita. Mineralización diseminada de calcopirita y pirita		
b) Matriz (45%)	45	Fragmentos de cristales angulosos de plagioclasa y cuarzo <0,5 mm.

c) Cemento (65%)	60	
Biotita	30	Agregados cristalinos tabulares <0,02 mm.
Cuarzo	20	Cristales anhedrales <0,05 mm.
Anhidrita	6	Cristales subhedrales prismáticos <0,25 mm.
Magnetita	2	Cristales subhedrales <0,2 mm. en paragénesis con calcopirita.
Calcopirita	5	De forma disseminada y amorfa.
Pirita	2	De forma disseminada y amorfa.

d) Vetillas (15%)			
d.1) Mineralogía	%	Halo	Características (composicionales y texturales)
Calcopirita	2	tr	Agregado amorfo.
Pirita	4	tr	Agregado amorfo.
Clorita	tr		Cristales tabulares subhedrales <0,2 mm. Se encuentra en el borde del relleno de la vetilla.
Anhidrita	tr		Cristales subhedrales prismáticos <0,5 mm. Se observa en el relleno de la vetilla.
Sericita	tr	8	Agregado microcristalino <0,01 mm. Se observa en el halo de la vetilla.
Cuarzo	1		Cristales anhedrales <0,2 mm. Se encuentra intercrecido con anhidrita.
d.2) Tipo de vetilla			
cpy-py-chl-anh	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 3,00 mm. El relleno se caracteriza por calcopirita, pirita, clorita, anhidrita y cuarzo, en orden de abundancia. Presenta un halo de alteración penetrativo y simétrico de sericita con espesor constante de 5,00 mm.		

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 10x a nícolas paralelos y cruzados respectivamente. Se observa la mineralogía primaria y secundaria del clasto: biotitas primarias alteradas en los bordes a clorita y rutilo acicular como subproducto y epidota en los intersticios entre feldespatos potásico y plagioclasa.

C y D: Fotomicrografía 10x a nícolas cruzados en luz transmitida y paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa la mineralogía del cemento de la brecha y parte de la matriz. Cemento: Biotita, cuarzo, anhidrita, calcopirita-magnetita. Matriz: Fragmentos de plagioclasa, biotita y feldespatos-k (polvo de roca = PR).

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - LB-40**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	<b>Confeción</b>	CT Estandar
	<b>Tipo Estudio</b>	Geocronología
	<b>N° Muestra</b>	LB-40
	<b>Origen</b>	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
LB140178			2.159

<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces	03/09/2018

**OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA**

<p>Brecha magmático hidrotermal matriz-soportada monomictica, con clastos subangulosos subredondeados de 6 mm hasta 15 mm, con alteración potásica biotítica y los bordes están cloritizados. El cemento es de biotita, cuarzo, sericita y calcopirita-pirita diseminada. Presencia de óxidos de Fe (posible presencia de magnetita). Se observan un stockwork de vetillas rectas, continuas, de límites difusos y espesor relativamente constante de 1 a 4 mm, rellena de calcopirita y cuarzo. Presenta un halo de alteración oscuro de sericita-clorita.</p>	
---	--

<b>Clasificación</b>	brecha magmático hidrotermal de biotita.
----------------------	--

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Brecha magmático hidrotermal matriz-soportada, con clastos subangulosos. El cemento está compuesto principalmente por biotita con menor cuarzo, sericita y anhidrita. Esta es cortada por los siguientes grupos de vetillas: v1.40 cpy-qz-chl-anh con halo principalmente de sericita (C2); v2.40 vetillas más pequeñas y discontinuas de bt-qz-anh-mgt-py-cpy.  
**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1) Alteración potásica - brecha hidrotermal de biotita; 2) vetillas v2.40 (EB); 3) vetillas v1.40 (C2)- alteración sericita gris verde.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

<p>En el corte transparente no es posible distinguir la separación entre lo que es fragmento, cemento y matriz, puesto que la intensidad de alteración en los clastos es fuerte y pervasiva (textura obliterada), y además es igual a la de los demás componentes.</p>	
--	--

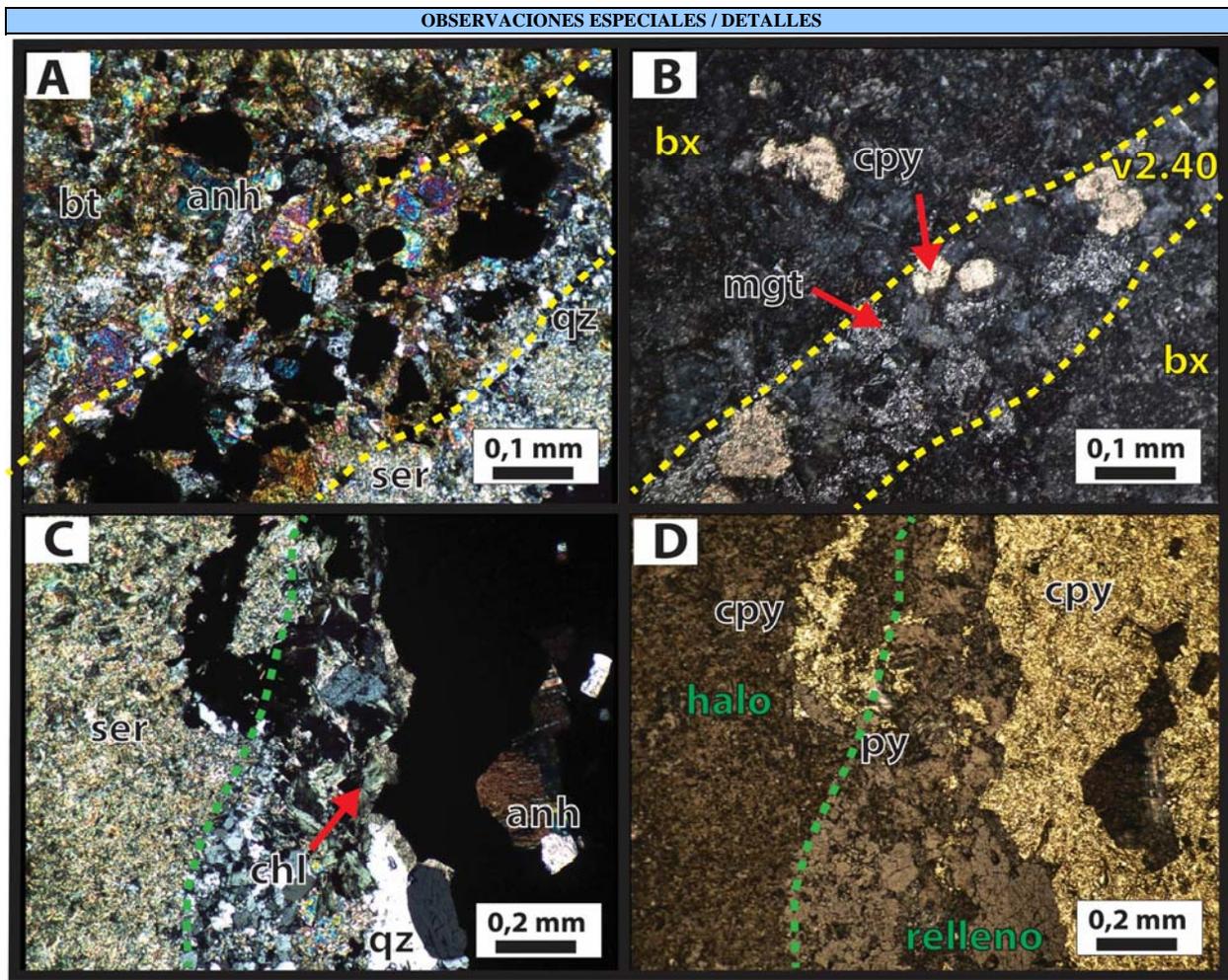
**DESCRIPCIÓN BRECHAS MAGMÁTICO-HIDROTHERMAL**

a.1) Mineralogía secundaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Biotita	20	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Estos pueden ser parte del cemento como también alterando los fragmentos mayores y la matriz.
Sericita	70	Cristales subhedrales tabulares <0,01 mm. Estos pueden ser parte del cemento como también alterando los fragmentos mayores y la matriz.
Cuarzo	8	Cristales anhedral <0,06 mm. Estos pueden ser parte del cemento como también alterando los fragmentos mayores y la matriz.
Anhidrita	2	Cristales subhedrales prismáticos <0,5 mm. Estos pueden ser parte del cemento como también alterando los fragmentos mayores y la matriz.
Pirita	tr	Cristales euhedrales cúbicos <0,1 mm. Se encuentran de forma diseminada en el cemento/fragmento.
Calcopirita	tr	Cristales anhedral <0,1 mm. Se encuentran de forma diseminada en el cemento/fragmento.
Mineralogía primaria		
	<b>100</b>	

**b) Vetillas (30%)**

b.1) Mineralogía	Relleno	Halo	Características (composicionales y texturales)
Calcopirita	5	tr	Agregado amorfo.
Pirita	3	tr	Se presenta principalmente como agregado amorfo y de forma local en cristales cúbicos <0,1 mm.
Clorita	1	tr	Cristales tabulares subhedrales <0,2 mm. Se encuentra en el borde del relleno de la vetilla.
Anhidrita	3	1	Cristales subhedrales prismáticos <0,5 mm. Se observa en el relleno de la vetilla y en menor proporción, diseminado en el halo.
Sericita	tr	15	Agregado microcristalino <0,01 mm. Se observa en el halo de la vetilla y en menor proporción en el relleno.
Magnetita	tr		Cristales subhedrales prismáticos <0,2 mm.
Cuarzo	2	tr	Cristales anhedral <0,2 mm. Se encuentran tanto en relleno como en el halo de la vetilla.

b.2) Tipo de vetilla	
V1.40 cpy-qz-chl-anh	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor mínimo de 4,00 mm. El relleno está conformado principalmente por calcopirita, cuarzo, clorita y anhidrita. Presenta un halo penetrativo de espesor constante 10,00 mm. y límites definidos conformado por sericita, cuarzo, menor clorita y trazas de anhidrita.
V2.40 bt-qz-anh-mgt-py-cpy	Stockwork de microvetillas irregulares y discontinuas de límites difusos y espesores variable, rellenas de biotita, cuarzo, anhidrita, magnetita, pirita y menor calcopirita.



A y B: Fotomicrografía 10x a nícolas cruzados en luz transmitida y a nícolas paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa mineralogía del relleno de vetilla v2.40 (cpy, anh, qz, mgt) y de la matriz/cemento de la brecha (bt, anh, ser, qz, cpy)

B y C: 6038: Fotomicrografía 5x a nícolas cruzados en luz transmitida y a nícolas paralelos en luz reflejada. Se observa la mineralogía tanto del relleno como del halo de la vetilla V1.40. Relleno: Calcopirita, clorita, cuarzo y anhidrita. Halo: Sericita, cuarzo y anhidrita. Fotomicrografía 10x a nícolas paralelos y cruzados en luz transmitida y a nícolas paralelos en luz reflejada.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	03/09/2018	Katja Deckart

**DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-41**

<b>Objetivo del estudio :</b> Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.	Confección	CT Estandar
	Tipo Estudio	Geoquímica isotópica
	N° Muestra	SEM-41
	Origen	Minera Los Bronces

<b>Procedencia Exacta</b>	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
			2.983

<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>	<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces	12/09/2018

**OBSERVACION MACROSCOPICA**

<p>Brecha magmático-hidrotermal clasto-soportado con clastos subangulosos a angulosos monomíticos de composición félsica. Los clastos presentan alteración potásica biotítica y albitización de plagioclasas y sobreimposición de una alteración filica. El cemento es principalmente de molibdenita y menor calcopirita con trazas de bornita. La brecha esta cortada por una vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 8 mm rellena principalmente de pirita, calcopirita y cuarzo, con anhidrita subordinada. Presenta un halo de alteración de límites difusos y espesor relativamente constante de 2 mm conformado por sericita.</p>	
--	---

<b>Clasificación</b>	<b>Brecha de molibdenita</b>
----------------------	------------------------------

**RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS**

Brecha magmática hidrotermal clasto-soportada con clastos monomíticos angulosos a subangulosos. El cemento es principalmente de molibdenita con menor calcopirita y biotita. Esta brecha es cortada por una vetilla recta, de límites definidos con textura crustiforme (cristales de cuarzo perpendiculares a la pared de esta) y mineralización continua de calcopirita y pirita a lo largo de la sutura central. Podría ser clasificada como una vetilla del tipo B reactivada con mineralización de pirita y después de calcopirita.

**TEMPORALIDAD DE EVENTOS:** 1) Alteración potásica - brecha; 2) Vetilla B; 3) Reactivación de vetilla B con mineralización de calcopirita.

**DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA**

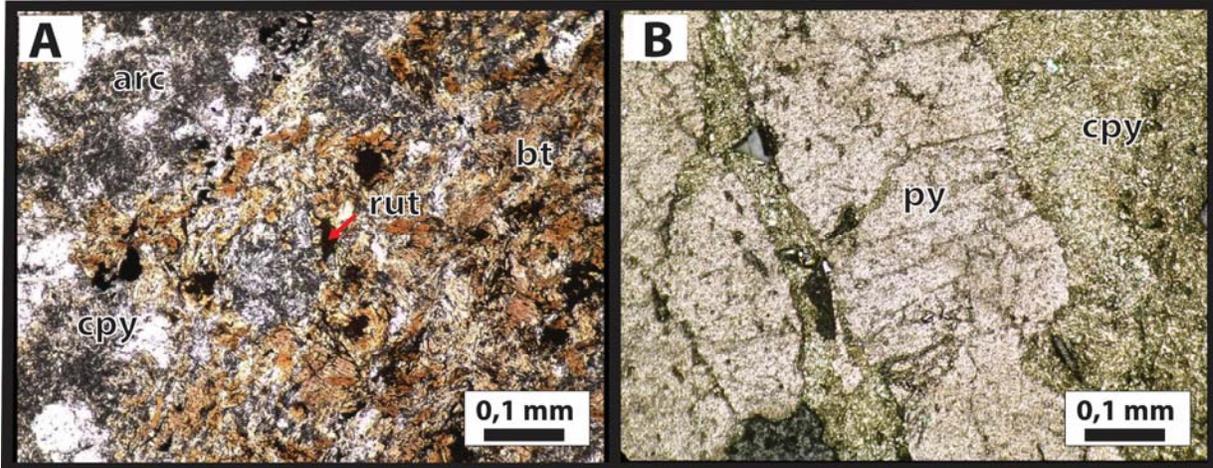
<p>En el corte se observa sólo la mineralogía primaria y de alteración de los clastos, como también de la vetilla que corta a la brecha.</p>	
--	--

**DESCRIPCION BRECHAS MAGMATICO-HIDROTERMAL**

a) Clastos(80%)	% Total	Características (Composicionales y texturales)
<b>a.1) Mineralogía Primaria</b>		
Cuarzo	20	Cristales anhedrales <1,5 mm.
Plagioclasa	5	Cristales tabulares subhedrales <3,00 mm alterados pervasivamente.
Biotita	15	Cristales tabulares subhedrales <1,00 mm alterados fuertemente a biotita secundaria y en menor medida sericita.
<b>a.2) Mineralogía secundaria</b>		
Biotita secundaria	28	Agregados cristalinos subhedrales tabulares <0,01 mm.
Sericita	25	Agregados cristalinos <0,001 mm, alterando plagioclasas y feldespatos primarios de los clastos.
Rutilo	tr	Agregados granulares subhedrales <0,1 mm.
Arcillas	18	Agregados criptocristalinos de color marrón, alteran de forma selectiva a plagioclasa y feldespato primarios de los clastos.
Calcopirita	5	Agregados masivos de tamaños variables, en paragenesis con biotita secundaria, anhidrita y sericita. También se observa en vetillas junto a cuarzo y biotita.
Pirita	2	Cristales euhedrales cúbicos <1,00 mm, se observa en paragénesis con calcopirita, biotita secundaria, anhidrita y sericita.
Anhidrita	2	Cristales euhedrales <0,5 mm. Se observa en paragénesis con biotita secundaria, calcopirita y pirita.
<b>Mineralogía Primaria</b>	20	
	<b>100</b>	

b) Vetillas (20%)		
b.1) Mineralogía		
Calcopirita	30	Agregado masivo que muestra una textura de cristalización posterior a la precipitación de cuarzo, rellenando espacios entre cristales euhedrales de cuarzo. Localmente se observa bordeando los agregados de piritita.
Piritita	30	Agregado masivo que muestra una textura de cristalización posterior a la precipitación de cuarzo, rellenando espacios entre cristales euhedrales de cuarzo.
Cuarzo	39	Cristales subhedrales a anhedral prismáticos <1,00 mm. De forma local se observan creciendo perpendicular a la pared de la roca y en paragénesis con anhidrita.
Anhidrita	1	Cristales euhedrales prismáticos <1,00 mm. Se observa en paragénesis con cuarzo.
Clorita	tr	Cristales subhedrales tabulares <0,25 mm. Se observan en paragénesis con cuarzo.
b.2) Tipo de Vetilla		Características
qz-cpy-py-anh±chl	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 1 cm, rellena principalmente de cuarzo, calcopirita y piritita con anhidrita subordinada y trazas de clorita.	

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



**A:** Fotomicrografía 10x a nicóles paralelos. Se observa mineralogía de alteración en los clastos de la brecha: alteración potásica biotítica con mineralización diseminada de calcopirita y piritita en paragénesis, acompañando a eso se observan cúmulos granulares de rutilo. Se observa además una superposición de alteración sericita-arcillas posterior a la alteración potásica, con biotita parcialmente a mica blanca.

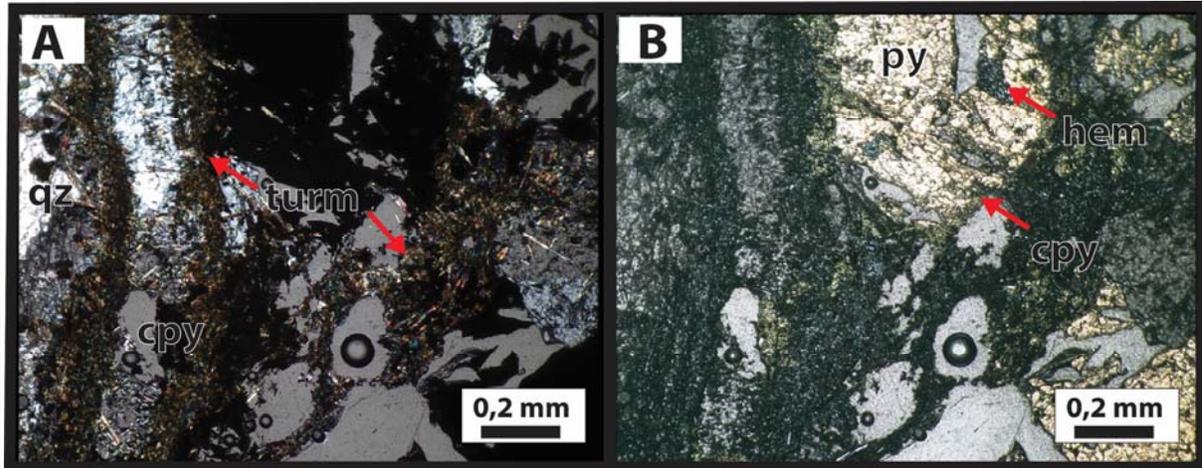
**B:** Fotomicrografía 10X a luz reflejada. Se observa mineralización de calcopirita en los bordes de piritita y también en las fracturas de estas. Indicando una precipitación posterior a la piritita.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	12/09/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-43				
<b>Objetivo del estudio :</b>			<b>Confeción</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica
			<b>N° Muestra</b>	SEM-43
			<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB110044	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
				3.711
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>	
	Minera Los Bronces		10/10/2018	
OBSERVACION MACROSCÓPICA				
<p>Brecha magmática hidrotermal con matriz de turmalina, especularita, calcopirita y pirita, con forma de dique. Roca huésped corresponde a una roca ígnea fanerítica equigranular alterada pervasivamente a sericita, clorita y arcillas. En el contacto con la brecha, se observa una alteración filica penetrativa y en centro clorita-sericita, con mineralización diseminada de calcopirita.</p>				
<b>Clasificación</b>		Brecha magmático hidrotermal de turmalina		
RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS				
<p>Brecha magmático hidrotermal de turmalina con forma de dique. Se hospeda en una roca intrusiva la cual se encuentra alterada fuertemente por sericita-arcillas-clorita. El cemento de la brecha está conformado por turmalina, calcopirita, pirita y especularita.  <b>TEMPORALIDAD DE EVENTOS:</b> 1) Alteración SCC asociada a brecha de turmalina con forma de dique.</p>				
DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA				
<p>En el corte transparente se puede observar en detalle la mineralogía primaria y de alteración presente en la roca huesped, como también, la mineralogía que compone el cemento de la brecha.</p>				
DESCRIPCIÓN BRECHAS MAGMÁTICO-HIDROTERMAL				
<b>a) Roca huésped (85%)</b>	<b>% Total</b>	<b>Características (Composicionales y texturales)</b>		
<b>a.1) Mineralogía Primaria</b>				
Cuarzo	7	Cristales anhedrales <0,3 mm.		
Feldespato-k	5	Cristales subhedrales tabulares <0,5 mm. Alterados fuertemente a feldespato potásico secundario, sericita e illita-esmectita y arcillas.		
Biotita	1	Cristales subhedrales tabulares <0,5 mm. Alterados fuertemente a clorita.		
Plagioclasa	7	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares <3,00 mm. Se encuentran alterados fuertemente a sericita, illita - esmectita y arcillas.		
<b>a.2) Mineralogía secundaria</b>				
Sericita	25	Agregado microcristalino <0,02 mm. Se encuentra alterando fuertemente a plagioclasa y feldespato - K.		
Feldespato - K secundario	15	Cristales anhedrales <0,3 mm. Se encuentran alterando fuertemente a feldespatos - K primarios.		
Hematita	2	Cristales subhedrales a euhedrales hojosos <0,3 mm. Se observan asociados a clorita, carbonatos, epidota y sericita.		
Calcopirita	5	Cristales anhedrales <0,5 mm. Se encuentran diseminada en el clasto.		
Pirita	1	Cristales anhedrales <0,2mm. Se encuentra diseminada en el clasto.		
Illita - esmectita	25	Agregado microcristalino <0,02 mm. Se encuentra alterando moderadamente y de forma local a plagioclasa y feldespato - K.		
Clorita	6	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares <0,2 mm. Se encuentran alterando a biotitas primarios y junto a carbonatos y epidota.		
Rutilo	1	Agregados cumulares prismáticos <0,1 mm. Se encuentran asociados a clorita.		
<b>Mineralogía primaria</b>	<b>20</b>			
	<b>100</b>			

b) Cemento (15%)	%	
Turmalina	4	Cristales euhdrales prismáticos <0,3 mm.
Cuarzo	5	Cristales anhedrales <1,00 mm.
Pirita	2	Cristales anhedrales < 2,00 mm. Se observa en sus bordes y fracturas precipitación de calcopirita.
Calcopirita	3	Cristales anhedrales < 2,00 mm. Se encuentra relleno de espacios y precipitando en los bordes y fracturas de pirita.
Hematita	1	Cristales euhdrales hojosos < 0,20 mm. Se asocian espacialmente a calcopirita.

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 5x a nicols cruzados en luz transmitida y a nicols paralelos en luz reflejada, respectivamente. Se observa la mineralogía del cemento de la brecha: calcopirita, pirita, hematita, turmalina y cuarzo.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/10/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-44			
<b>Objetivo del estudio :</b>		<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		<b>Tipo Estudio</b>	Geoquímica
		<b>N° Muestra</b>	SEM-44
		<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB120022	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>
		<b>Elevación (m)</b>	
		3,054	
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>		<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces		09/09/2018
OBSERVACIÓN MACROSCÓPICA			
<p>Brecha magmático hidrotermal clasto soportada, monomictica con fragmentos &gt; 2 cm de roca intrusiva con alteración potásica biotítica, sobrepuesta por una alteración filica. Su cemento está conformado por biotita, magnetita, turmalina, calcopirita, pirita y trazas de bornita.</p>			

<b>Clasificación</b>	Brecha magmático hidrotermal de turmalina y menor biotita.
----------------------	--

#### RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS

Brecha magmático hidrotermal clasto soportada monomictica. Los clastos son de roca porfírica con textura obliterada, alterados fuertemente a sericita-illita en los bordes y en el centro biotita-sericita, indicando una previa alteración potásica y posterior alteración filica asociada a la brechización. El cemento está conformado principalmente por calcopirita, turmalina y cuarzo con menor pirita y biotita.

TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) alteración potásica biotítica; 2) brechización- alteración sericita-arcillas (illita)

#### DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA

<p>El corte transparente permite una descripción detallada de la mineralogía de alteración presente en los clastos y, también, la mineralogía que compone el cemento de la brecha.</p>	
--	--

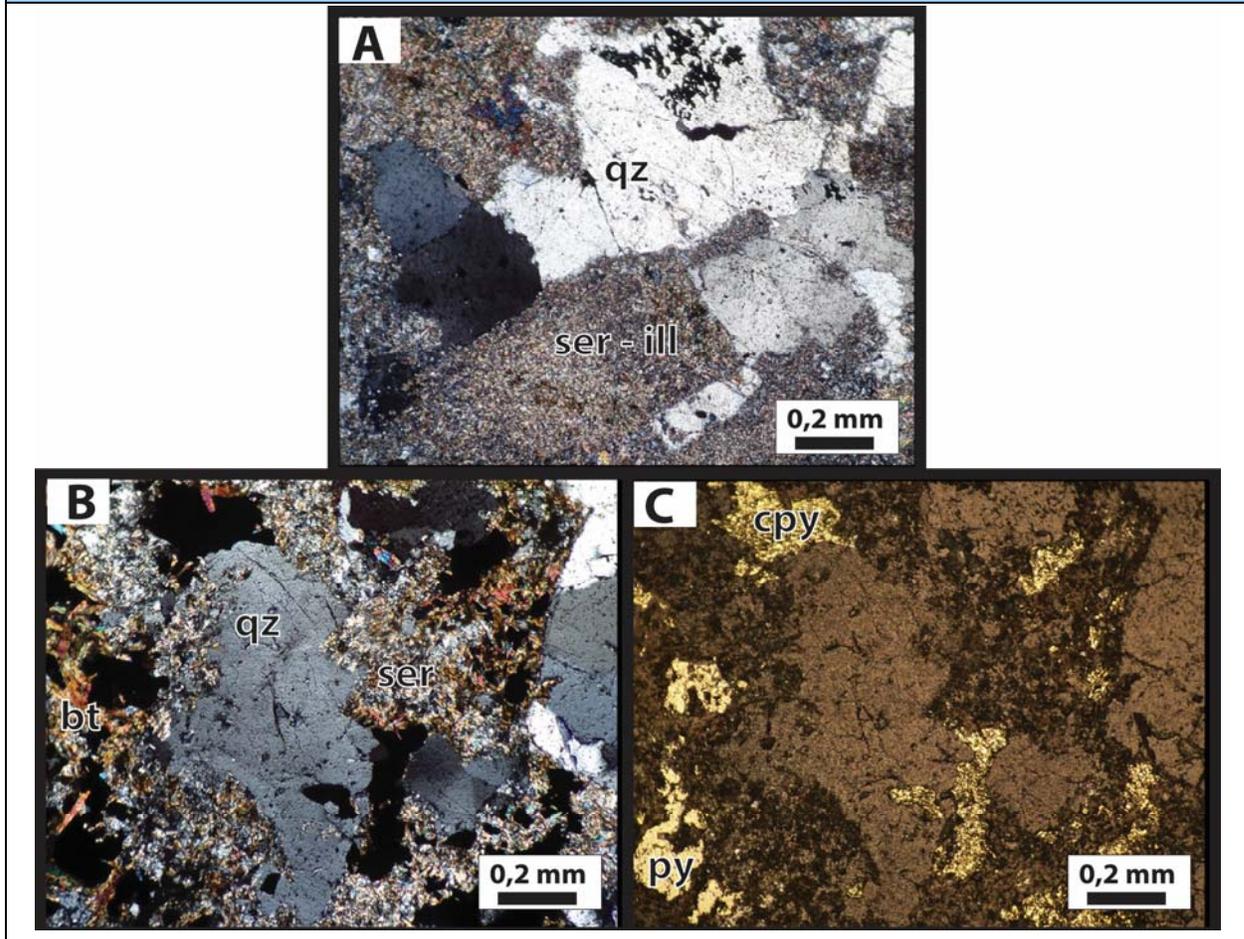
#### DESCRIPCIÓN BRECHAS MAGMÁTICO-HIDROTERMAL

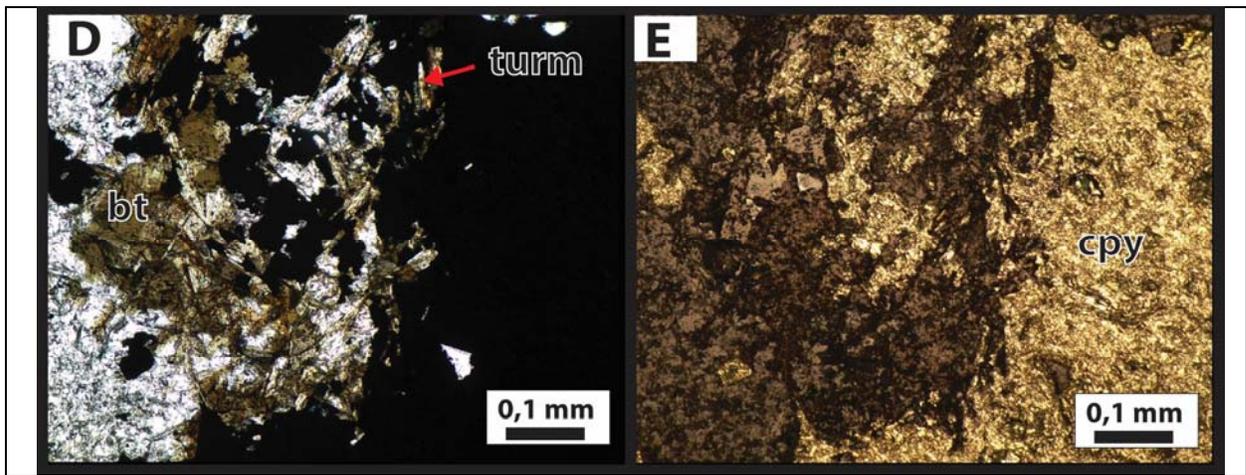
a) Clastos (75%)	% Total	Características (Composicionales y texturales)
<b>a.1) Mineralogía Primaria</b>		
Cuarzo	10	Cristales anhedrales < 0,5 mm
Feldespato-k /plagioclasa	20	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares < 3 mm, alterados fuertemente a sericita y arcillas.
Biotita	2	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares < 5 mm, alterados fuertemente a mica blanca y a biotita secundaria.
<b>a.2) Mineralogía secundaria</b>		
Calcopirita	tr	Se encuentra principalmente como relleno en vetillas como también diseminado en el halo y en la roca huésped en paragénesis con bornita
Pirita	tr	Se encuentra principalmente como relleno de microvetillas y en menor proporción diseminado en la roca, en paragénesis con calcopirita y biotita
Sericita	30	Cristales subhedrales tabulares <0,02 mm. Se encuentra principalmente alterando los bordes de los clastos en paragénesis con cuarzo microcristalino.
Arcillas	20	Se encuentra alterando pervasivamente plagioclasas y feldespatos potásicos en el centro del clasto.
Cuarzo	24	Agregado microcristalino en paragénesis con sericita. Se encuentra alterando principalmente el borde de los clastos.
Rutilo	tr	Cristales subhedrales prismáticos <0,02 mm. Se encuentran en agregados cumulares diseminados en el clasto.
Magnetita	tr	Cristales subhedrales prismáticos < 0.2 mm. Se observa de forma diseminada en los clastos en paragénesis biotita secundaria y calcopirita.
Anhidrita	1	Cristales subhedrales prismáticos <0,25 mm. Se encuentra en paragénesis con biotita secundaria y calcopirita.
Biotita secundaria	15	Cristales subhedrales tabulares <0.03 mm. Se encuentran alterando pervasivamente a biotitas primarias y en paragénesis con calcopirita, magnetita y anhidrita. Algunos agregados cristalinos se encuentran alterados moderadamente a sericita.
Mineralogía Primaria	10	Cristales subhedrales prismáticos < 0.2 mm. Se observa de forma diseminada en los clastos en paragénesis biotita secundaria y calcopirita.
	100	

Fragmentos subasngulosos de roca ígnea intrusiva alterados fuertemente a sericita y arcillas quedando solamente el cuarzo primario y también la forma tabular de las plagicolasas. Los clastos presentan alteración cuarzo - sericita en los bordes sobrepuesta a una alteración potásica bioítica selectiva en biotitas primarias asociadas a mineralización de calcopirita, pirita y magnetita.

b) Cemento (25%)	%	
Biotita	2	Cristales subhedrales a euhdrales tabulares <2.00, localizados principalmente en el borde del clasto y de forma local en el centro del cemento.
Calcopirita	17	Se encuentra como relleno en cemento de forma masiva, texturalmente se infiere que es la última en precipitar dado que rellena el espacio de minerales euhdrales.
Turmalina	3	Cristales euhdrales prismáticos <3.00 mm intercrecidos con calcopirita, cuarzo, pirita, anhidrita, biotita y hematita especular.
Cuarzo	2	Cristales subhedrales prismáticos <1.5 mm intercrecidos con calcopirita, pirita, turmalina, anhidrita, biotita y hematita especular.
Hematita especular	1	Cristales euhdrales hojosos <2.00 mm intercrecidos con calcopirita, pirita, cuarzo, anhidrita, biotita y turmalina.
Pirita	tr	Cristales euhdrales cubicos <1.00 mm intercrecidos con calcopirita, cuarzo, turmalina, anhidrita, biotita y hematita especular.
Anhidrita	tr	Cristales euhdrales prismáticos <2.00 mm intercrecidos con calcopirita, pirita, turmalina, cuarzo, anhidrita, biotita y hematita especular.

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES





A: Fotomicrografía 5x a nículos cruzados. Se observa la mineralogía de alteración en el borde los clastos conformado por sericita-illita.

B y C: Fotomicrografía 5x a nículos paralelos en luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se observa en los clastos la alteración potásica biotítica asociado con mineralización diseminada de calcopirita y pirita y una superposición de alteración filica.

D y E: Fotomicrografía 10x a nículos paralelos en luz transmitida y reflejada, respectivamente. Se observa parte de la mineralogía que conforma el cemento de la brecha con mineralización de calcopirita, biotita, cuarzo y turmalina.

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	09/09/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-45			
Objetivo del estudio :		Confección	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.		Tipo Estudio	Geoquímica
		N° Muestra	SEM-45
		Origen	Minera Los Bronces
Procedencia Exacta	Coord. Norte	Coord. Este	Elevación (m)
LB110063			3.014
Geólogo Solicitante	Procedencia de la muestra	Fecha	
	Minera Los Bronces	10/10/2018	
OBSERVACION MACROSCÓPICA			
<p>Roca ígnea intrusiva de textura porfírica con fenocristales de biotita de hasta 4 mm. La roca presenta una alteración potásica biotítica sobreimpuesta por una alteración filica moderada con sericitización de plagioclasas y feldespatos potásicos y débil cloritización de biotitas. En la muestra se observan vetillas rectas, continuas, de límites difusos y espesor constante de 5 mm rellena principalmente de calcopirita, pirita y cuarzo. Presenta un halo de alteración penetrativo, de límites definidos y espesor constante de 15 mm conformado principalmente de sericita y menor clorita (vetilla v1.45).</p>			
Clasificación		Cuarzomonzonita	

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
<p>Cuarzomonzonita alterada pervasivamente por una alteración potásica biotítica, la cual es sobreimpuesta por una alteración sericita gris verde asociada a vetillas v1.45 (vetillas C2). Se observa en el relleno de la vetilla que la mineralización de la calcopirita fue posterior a la de la pirita. Además, se observa una cloritización de biotitas primarias y secundarias, y sericitización de plagioclasas y feldespatos potásicos.</p> <p>TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) Alteración potásica biotítica; 2) Alteración sericita gris verde - vetillas v1.45 (C2); 3) clorita - sericita</p>

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>En el corte transparente se puede observar la mineralogía primaria y de alteración como también los minerales que conforman el relleno y halo de la vetilla v1.45.</p>	

DESCRIPCIÓN GENERAL ROCAS ÍGNEAS INTRUSIVAS		
Textura	Fanerítica inequigranular	
a) Mineralogía primaria (15%)	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	5	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad media < 2,5 mm, alterados débilmente a sericita y adyacente a la vetilla fuertemente.
Biotita	2	Cristales subhedrales a euhedrales tabulares, de integridad media < 0,5 mm alterados moderadamente a clorita y biotita secundaria.
Cuarzo	3	Cristales anhedrales <0,5 mm, de alta integridad.
Feldespato-k	5	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares, de integridad media <1,00 mm, alterados moderadamente a sericita.

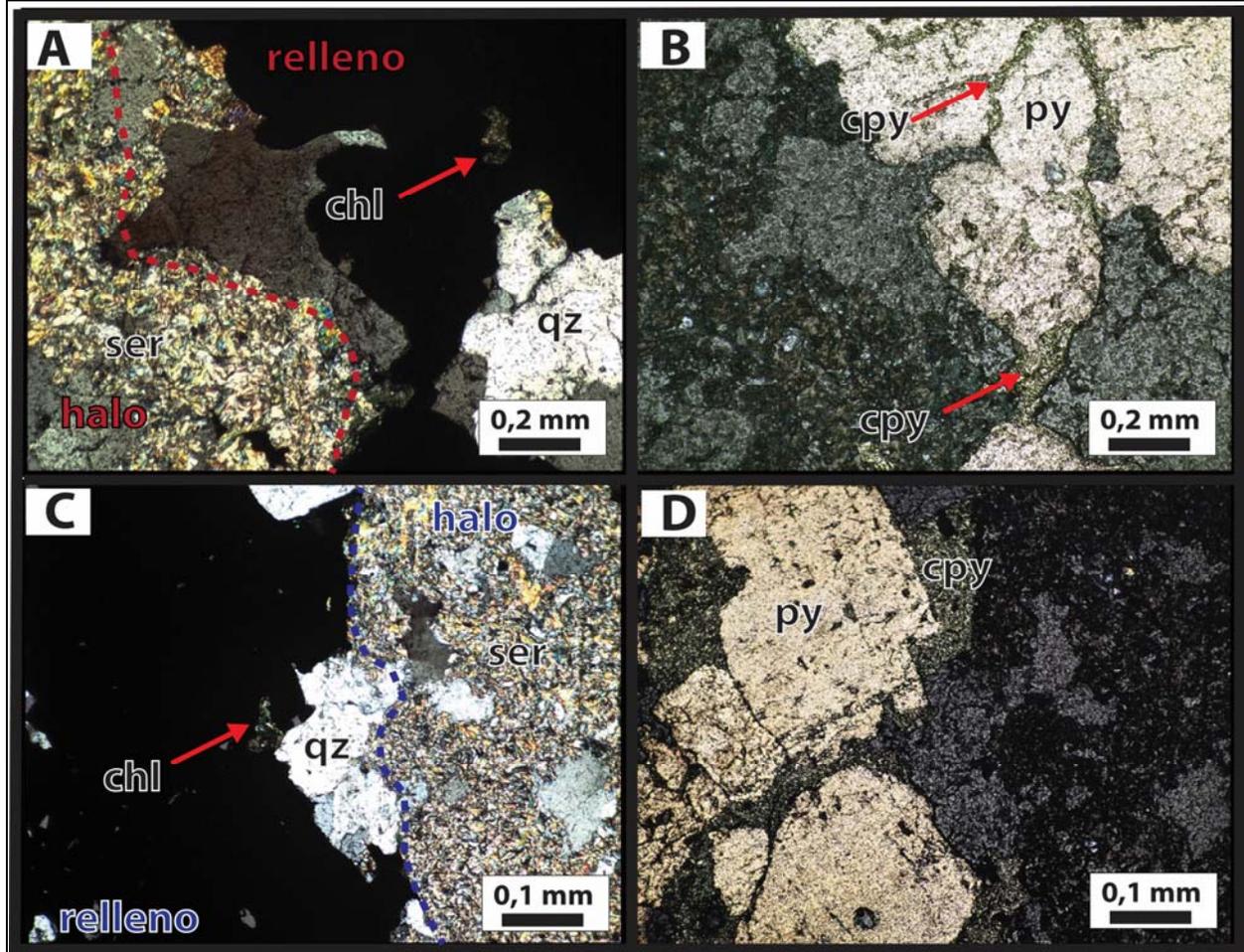
b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita secundaria	10	10			Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0,25 mm. Se presentan alterando débil a moderadamente a biotitas primarias.
Sericita	55	10	40	5	Cristales anhedrales a subhedrales hojosos de <0,1 mm alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos, y también, como halo en vetillas
Clorita	5	3		2	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares de <0,1 mm, alterando débilmente a biotitas primarias y secundarias.
Calcopirita	6		5	1	Cristales anhedrales < 0,4 mm. Se presenta como relleno en vetillas precipitado alrededor de piritas y en fracturas de estas.
Cuarzo secundario	4		4		Cristales anhedrales de < 0,5 mm. Se encuentra como relleno de vetillas.
Feldespato-k secundario	1		1		Cristales anhedrales de <1 mm. Se encuentra como relleno en vetilla.
Rutilo	tr	tr			Agregados cumulares de cristales subhedrales prismáticos <0,05 mm. Se encuentran diseminados en el halo y en el protolito.

Pirita	7		5	2	Cristales subhedrales cúbicos <0,3 mm diseminados en la roca y agregados masivos en relleno de veta
Min Primaria sin Alteración	15				
	103				

c) Vetillas					
py-cpy-qz-± feld-k	Vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 8 mm, rellena principalmente de pirita, calcopirita, cuarzo con trazas de feldespato-k alterados parcialmente a mica blanca. Presenta un halo continuo, penetrativo y espesor constante de 2,5 cm de mica blanca, clorita y trazas de rutilo, con minerización diseminada de pirita				

Texturas sufuros	En el relleno de la vetilla se observan texturas que indican que la precipitación de la calcopirita fue posterior a la precipitación de la pirita. (calcopirita precipitada alrededor de pirita y además en fracturas de este).
------------------	---

OBSERVACIONES ESPECIALES/DETALLES



A y B: Fotomicrografía 10x a nícoles cruzados en luz transmitida y a nícoles paralelos en luz reflejada. Se observa mineralogía del relleno y halo de la vetilla. Relleno conformado por cuarzo, pirita y calcopirita, trazas de clorita. Halo: sericita, cuarzo.

C y D: Fotomicrografía 5x a nícoles cruzados en luz transmitida y a nícoles paralelos en luz reflejada. Se observa mineralogía del relleno y halo de la vetilla. Relleno conformado por cuarzo, pirita y calcopirita, trazas de clorita. Halo: sericita, cuarzo. Además se observa la precipitación posterior de calcopirita (sobrecrecimiento y relleno en fracturas).

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/10/2018	Katja Deckart

DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA - SEM-46				
<b>Objetivo del estudio :</b>			<b>Confección</b>	CT Estandar
Determinar composición del protolito, identificando texturas y mineralogía primaria. Clasificar la roca en base a la mineralogía. Composición de vetillas y mineralogía de alteración.			<b>Tipo Estudio</b>	Geocronología
			<b>N° Muestra</b>	SEM-46
			<b>Origen</b>	Minera Los Bronces
<b>Procedencia Exacta</b>	LB110063	<b>Coord. Norte</b>	<b>Coord. Este</b>	<b>Elevación (m)</b>
				3,023
<b>Geólogo Solicitante</b>	<b>Procedencia de la muestra</b>			<b>Fecha</b>
	Minera Los Bronces			10/01/2018

OBSERVACION MACROSCOPICA	
<p>Roca ígnea intrusiva alterada selectiva y pervasiva por una alteración potásica bt-mgt en biotitas primarias sobreimpuesta por una alteración clorita-sericita moderada a fuerte. La mineralización de calcopirita-pirita se presenta diseminada en la roca y como relleno en vetillas. Se observan stockwork de vetillas de: V1.46 vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor constante de 1 - 4 mm relleno de calcopirita cuarzo y pirita. Presenta un halo de alteración difuso, discontinuo de espesor de 1 mm de sericita y clorita.</p>	

<b>Clasificación</b>	Cuarzomonzonita fina
----------------------	----------------------

RESUMEN RESULTADOS OBTENIDOS
Cuarzomonzonita fina alterada pervasivamente por una alteración potásica biotítica selectiva la que es sobreimpuesta por una alteración sericita gris verde relacionada a las vetillas v1.46 (C2). Además se observa una cloritización de biotitas primarias y secundarias.
TEMPORALIDAD DE EVENTOS: 1) alteración potásica biotítica; 2) Alteración sericita gris verde - vetillas v1.46 (C2); 3) cloritización de biotitas

DESCRIPCIÓN MICROSCÓPICA	
<p>En el corte transparente se observa la mineralogía primaria y de alteración de la muestra. Además, permite una descripción detallada de los minerales que conforman el halo y relleno de las vetillas.</p>	

DESCRIPCIÓN VETILLAS	
----------------------	--

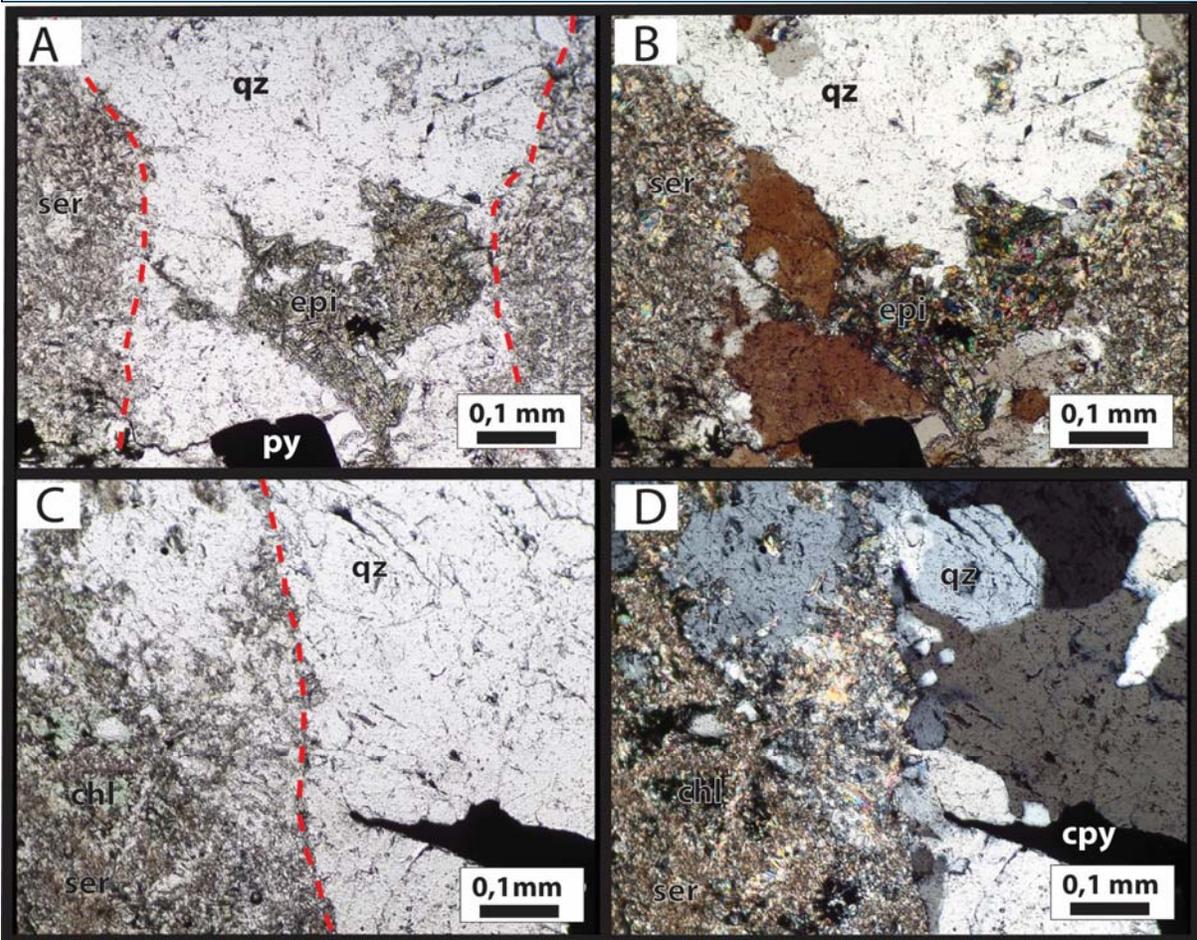
a) Mineralogía Primaria	%	Características (Composicionales y texturales)
Plagioclasa	50	Cristales euhedrales a subhedrales tabulares de 1 a 3 mm alterados pervasivamente a illita-esmectita y sericita.
Feldespato-k	30	Cristales subhedrales a anhedrales tabulares de 0,5 a 1 mm alterados pervasivamente a illita-esmectita y sericita
Cuarzo	15	Cristales anhedrales de 0,5 mm.
Biotita	5	Cristales subhedrales tabulares de 0,25 a 2 mm alterados pervasivamente a clorita.
	100	

b) Mineralogía secundaria	% Total	% Protolito	% Relleno	% Halo	Características (Composicionales y texturales)
Biotita	2	2			Cristales subhedrales tabulares <0,25 mm. Se presenta principalmente alterando a biotitas primarias.
Cuarzo	10		10		Cristales anhedrales <0,5 mm. Se presenta como relleno de vetillas
Feldespato-k	tr		tr		Cristales anhedrales <0,5 mm. Se encuentra como relleno en vetillas. Alterados parcialmente a sericita.
Clorita	6	3	tr	3	Cristales anhedrales a subhedrales tabulares <0,5 mm. Se presenta alterando débil a fuertemente a biotitas primarias y secundarias, como también en microvetillas y como halo de alteración
Epidota	2		2		Cristales subhedrales prismáticos de 0,1 mm se encuentra principalmente como relleno en vetilla.
Rutilo	tr		tr	tr	Cristales euhedrales a subhedrales prismáticos y aciculares <0,1 mm. Se presenta como subproducto de una cloritización de biotitas
Calcopirita	3		3	tr	Cristales anhedrales <0,5 mm. Se encuentra principalmente como relleno en vetillas como también diseminado en el halo y en la roca huésped en paragénesis con pirita.

Pirita	2	tr			Se encuentra principalmente como relleno de microvetillas y en menor proporción diseminado en la roca, en paragénesis con calcopirita y biotita
Sericita	20	15		5	Cristales anhedrales a euhedrales tabulares <0.02 mm. Se presenta alterando débilmente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
illita-esmectita	5	3		2	Cristales de grano muy fino (<0,03mm) que se encuentran alterando moderadamente a plagioclasas y feldespatos potásicos.
Mineralogía Primaria	50				
	100				

b) Vetillas	
Qz-cpy-py ± feld-k	vetilla recta, continua, de límites definidos y espesor constante de 4 mm rellena principalmente de cuarzo, calcopirita y pirita, con trazas de feldespatos alterados parcialmente a sericita y trazas de epidota. Presenta un halo de alteración penetrativo de sericita con cloritización de biotitas primarias y rutilo como subproducto.
Qz-epi-py±cpy	vetilla recta, continua, de límites difusos y espesor relativamente constante de 1 mm rellena principalmente de cuarzo, epidota y pirita, con trazas de calcopirita. Presenta un halo difuso, penetrativo, constante de 2 mm de espesor compuesto principalmente de sericita.

OBSERVACIONES ESPECIALES / DETALLES



A y B: Fotomicrografía 10x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía del halo y relleno de vetilla v2.46. Relleno: qz-epi-py. Halo: ser.

C y D: Fotomicrografía 10x a nícoles paralelos y cruzados, respectivamente. Se observa mineralogía del relleno y halo de vetilla v1.46. Relleno: qz-cpy. Halo: chl-ser-qz

Estudio por	Fecha	Geólogo responsable:
Claudia Magerkurth	10/01/2018	Katja Deckart

## **ANEXO E: RESUMEN CONGRESOS**

## Copper isotopes as a potential tool for copper porphyry exploration: the Río Blanco - Los Bronces porphyry Cu-Mo deposit study case

Claudia Magerkurth<sup>2,1</sup>, Katja Deckart<sup>2,1</sup>, Brian Townley<sup>2,1</sup>, Ryan Mathur<sup>3</sup>, Mauricio Carranza<sup>4</sup>, Marcia Munoz<sup>5</sup>, Pablo Cabello<sup>4</sup>

(1) Geología, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Advanced Mining Technology Center, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile,

Santiago, Chile

(3) Juniata College, USA

(4) Anglo American, Los Bronces, Chile

(5) Geología, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile

Copper isotope ratios measured in sulfide minerals provide a further look into the high-temperature mineralization of the Río Blanco – Los Bronces mega-porphyry Cu-Mo deposit, belonging to the late Miocene to lower Pliocene metallogenic belt of Central Chile. Previous published ratios in addition to our new data demonstrate the potential use of copper isotope distribution as a vectoring tool in mineral exploration. We analyzed 22 chalcopyrite and bornite samples from the hypogene mineralization belonging to 5 drill holes distributed on a NW-SE profile through tree sectors in the Los Bronces cluster. Published available geochronological Re-Os data reveal two hydrothermal alteration-mineralization events of ~8 and 5 Ma, San Manuel and Los Bronces sectors respectively. Copper isotope ratios have been measured by MC-ICP-MS and the results show a meaningful variance in  $\delta^{65}\text{Cu}$ , ranging from -0.3 to 2.5 ‰ (relative to NIST976). The results show that there is a systematic increase in  $\delta^{65}\text{Cu}$  values from deeper to shallower portions of the deposit. Also, the two hydrothermal mineralization-alteration events display different copper isotopic signatures. The older mineralization event ranges close to 0.0‰ (-0.03 to 0.2‰) whereas the younger event, economically the most important one, shows a wide range, from -0.7 to 2.5‰. Furthermore, the  $\delta^{65}\text{Cu}$  values for silicate hydrothermal alteration assemblages display a wide range of copper isotopic signatures with calco-sodic and potassic alterations close to 0.0‰ and -0.3 to 0.3‰, respectively, and the green gray sericite alteration (EDM) values ranging between -0.7 to 1‰. On the other hand, most samples show a variation of  $\delta^{65}\text{Cu}$  ranges, weakly mineralized rocks have lower values than high copper-grade samples. These preliminary results indicate that fractionation of Cu isotopes during hypogene alteration is controlled by pH and/or temperature variations, gradients of these physical chemistry and thermodynamic properties of direct application to exploration vectoring in porphyry copper hydrothermal systems.



# XV CONGRESO GEOLÓGICO CHILENO

## “GEOCIENCIAS HACIA LA COMUNIDAD”

18 AL 23 DE NOVIEMBRE DE 2018, UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,  
CONCEPCIÓN, CHILE

### $\delta^{65}\text{Cu}$ isotope variations at the Los Bronce cluster, Rio Blanco-Los Bronces porphyry Cu-Mo deposit

**Claudia Magerkurth<sup>2,1</sup>, Katja Deckart<sup>2,1</sup>, Brian Townley<sup>2,1</sup>, Ryan Mathur<sup>3</sup>, Mauricio Carranza<sup>4</sup>, Marcia Munoz<sup>5</sup>, Pablo Cabello<sup>4</sup>**

(1) Geología, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(2) Advanced Mining Technology Center, Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile

(3) Juniata College, USA

(4) Anglo American, Los Bronces, Chile

(5) Geología, Universidad Andrés Bello, Santiago, Chile

Copper isotope ratios measured in sulfide minerals pretend to provide insights into high-temperature mineralization at the Río Blanco–Los Bronces mega-porphyry Cu-Mo deposit, belonging to the late Miocene to lower Pliocene metallogenic belt of Central Chile. Mineralization concentrates mainly in hydrothermal breccias, as well as in different veinlet types as product of multiple alteration-mineralization events. The deeper parts of the system are dominated by an early calco-sodic hydrothermal overprinted by a strong potassic alteration. Co-genetic to the potassic alteration is the sericite gray green alteration as a product of an early hydrolysis representing a transitional event between potassium and phyllic hydrothermal alterations. Towards to the surface, above and superimposed on the potassic alteration, a phyllic alteration is associated to the different breccia bodies. Finally, the propylitic alteration occurs as gradation of potassic alteration as a distal halo, varying from chlorite-biotite nearby the hydrothermal center to chlorite-epidote to the periphery. Copper isotope ratios in chalcopyrite and bornite belonging to different veinlet types were measured by laser ablation multi-collector inductively coupled plasma-mass spectrometry (MC-ICP-MS) from samples selected strategically from around the hydrothermal centers Los Bronces open pit and San Enrique Monolito, covering the different hydrothermal alterations through a NW-SE trending profile. Preliminary results show that there is a systematic increase in  $\delta^{65}\text{Cu}$  values from deeper to shallower portions of both hydrothermal centers. In addition, a pattern is identified in copper isotopic signatures respect to hydrothermal alterations, where the early calco-sodic  $\delta^{65}\text{Cu}$  values are close to 0.0‰. Both, bt-feld-k and sericite gray green belonging to potassic alteration display in a wide range of copper isotope ratios varying from -0.26 to 1.15‰ and -0.3 to 1.26‰, respectively. The phyllic alteration shows a higher signature from 2.05 to 2.5‰. In general, the samples nearby to hydrothermal centers dominated by high-temperature potassic alteration are isotopically lighter than the samples with phyllic alteration. These preliminary results indicate that fractionation of Cu isotopes during hypogene alteration is controlled by pH and/or temperature variations, physicochemical gradients and thermodynamic properties. This might be useful in exploration for vectoring porphyry copper hydrothermal systems.