



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

“ESTUDIO DE MINERALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE Ag EN EL
SECTOR LOS BRONCES DEL COMPLEJO PORFÍDICO Cu-Mo RÍO
BLANCO-LOS BRONCES, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE.”

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

FERNANDO ALEXANDER MAXIMILIANO VARGAS DÍAZ

PROFESOR GUÍA:
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

MIEMBROS DE LA COMISIÓN
XAVIER EMERY
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

SANTIAGO DE CHILE
2015

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR AL
TÍTULO DE: GEÓLOGO
POR: FERNANDO VARGAS DÍAZ
FECHA: 09/03/2015
PROFESOR GUIA: VICTOR MAKSAEV

**“ESTUDIO DE MINERALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE Ag EN EL
SECTOR LOS BRONCES DEL COMPLEJO PORFÍDICO Cu-Mo RÍO
BLANCO-LOS BRONCES, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE.”**

El presente trabajo presenta el estudio de mineralización de plata, y un modelo de distribución de ésta, en el sector Los Bronces, del distrito Río Blanco – Los Bronces.

El trabajo se divide en dos etapas. Una primera parte dedicada al estudio de las fases mineralógicas portadoras de plata. Una segunda etapa dedicada al estudio del comportamiento espacial de la plata, y el posterior desarrollo de un modelo de distribución de las leyes de plata en el yacimiento.

Las metodologías empleadas para el estudio de ocurrencia corresponden al estudio de base de datos y antecedentes bibliográficos, caracterización macroscópica y descripción microscópica mediante microscopia óptica en zonas con anomalía de plata, caracterización mineral mediante difracción de rayos X, análisis de elementos químicos mediante ICP óptico, y mineralogía automatizada mediante plataforma SEM – EDS.

Las metodologías empleadas para el desarrollo del modelo de distribución corresponden al estudio de resultados de ocurrencia, estudio variográfico de la plata para los distintos dominios estipulados, y estimación mediante kriging ordinario, en función de los variogramas obtenidos.

Los resultados indican presencia de plata en cuatro minerales: Freibergita, Matildita, Berryita, Hessita. Todos los minerales están asociados a evento de mineralización en vetas tardías del sistema.

Los resultados de la distribución indican anisotropía con dirección N70E, consistente con modelo estructural en la zona norte de la mina (Donoso), un comportamiento isótropo en la zona sureste (Infiernillo), y un comportamiento anisótropo en la zona sur (Los Bronces Sur). La zona que concentra el mayor contenido de Ag corresponde a Los Bronces Sur, aunque también existen zonas de interés en Donoso debido a su concentración y al estar ubicadas dentro del plan de desarrollo de la mina.

A mis padres, los quiero mucho.

Tabla de contenido

Capítulo 1 introducción	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Hipótesis	1
1.3. Objetivos.....	1
1.4. Ubicación y vías de acceso	2
1.5. Trabajos anteriores	3
Capítulo 2 Marco Geológico.....	5
2.1. Marco Geológico Regional	5
2.1.1. Generalidades.....	5
2.1.2. Rocas Estratificadas.....	5
2.1.3. Rocas Intrusivas.....	7
2.1.4. Tectónica regional y marco metalogénico.....	8
2.2. Marco Geológico Distrital.....	9
2.2.1. Generalidades.....	9
2.2.2. Rocas volcánicas	10
2.2.3. Batolito San Francisco.....	12
2.2.4. Complejo de brechas	14
2.2.5. Diatrema de brecha Riolítica	19
2.2.6. Marco estructural distrital y local	19
2.2.7. Clasificación de vetillas en Los Bronces.....	19
2.2.8. Alteraciones hidrotermales en Los Bronces.....	23
Capítulo 3 Metodología.....	25
3.1. Estudios bibliográficos, de antecedentes y datos	25
3.1.1. Estudio bibliográfico y de antecedentes	25
3.1.2. Exploración datos	25
3.2. Estudios y búsqueda de fases mineralógicas de plata	25
3.2.1. Definición de zona de estudio para muestreo.....	25
3.2.2. Muestreo.....	30
3.2.3. Descripción Macroscópica	30
3.2.4. Microscopía óptica: descripción cortes pulidos y transparentes... 30	
3.2.5. Microscopía óptica: descripción de briquetas	30
3.2.6. Difracción de rayos X	31
3.2.7. ICP-Óptico.....	31
3.2.8. Mineralogía automatizada TIMA.....	32
3.3. Modelamiento de distribución mineral	33
3.3.1. Estudio Variográfico.	33
3.3.2. Modelamiento distribución	33
Capítulo 4 Resultados	34
4.1. Análisis exploratorio de datos en estudio.....	34
4.2. Descripción mineralógica	36

4.2.1. Descripción mineralógica población alto arsénico:	36
4.2.2. Descripción mineralógica población bajo arsénico:	40
4.3. Difracción de rayos X.....	42
4.4. Análisis químico.....	44
4.5. Mineralogía automatizada TIMA	47
4.6. Estudio variográfico y modelamiento	50
4.6.1. Análisis Donoso.....	52
4.6.1. Análisis Infiernillo.....	53
4.6.1. Análisis Los Bronces Sur.....	54
4.6.4. Vistas del modelo	56
Capítulo 5 Discusiones	60
5.1. Mineralogía de plata	60
5.2. Evento tardío	61
5.3. Temporalidad de la precipitación de plata.....	61
5.4. Relación con alteración y litología.....	64
5.5. Modelo estructural y zonas de interés	64
Capítulo 6 Conclusiones	66
Capítulo 7 bibliografía	68
ANEXO A.....	73
ABREVIACIONES	73
ANEXO B.....	75
SONDAJES EN ESTUDIO.....	75
ANEXO C.....	83
DESCRIPCIÓN DE BRIQUETAS	83
ANEXO D	90
DESCRIPCIÓN DE CORTES PULIDOS Y TRANSPARENTES	90
ANEXO E.....	103
RESULTADOS LABORATORIO ICP Y DRX.....	103
ANEXO F.....	107
DETALLE DE FASES BRILLANTES ENCONTRADAS.....	107
ANEXO G	121
VALIDACIÓN CRUZADA.....	121

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación zona de estudio (tomado de Barros, 2007).....	2
Figura 2. a) Localización de la región de estudio en relación con el "flat slab" de Chile central. b) Mapa geológico de los Andes de Chile central y Argentina. Solamente se muestran las principales fallas activas en el neógeno.(tomado de Farías 2008)	6
Figura 3. Franjas metalogénicas de cobre en los Andes (desde Perú al sur), en naranja franja mioceno - plioceno temprano (modificado de Sillito & Perello, 2005).	9
Figura 4. Litología y principales estructuras del sector Los Bronces.	11
Figura 5: Composición de 53 muestras del batolito San Francisco, recolectadas en las cercanías de Rio Blanco - Los Bronces y ploteadas en el diagrama de Streckeisen 1979. (tomada de Wanaars et al., 1985)...	12
Figura 6. A) Brecha Fantasma. B) Brecha Central. C) Brecha Infiernillo. D) Brecha Anhidrita. E) Brecha Gris Fina. F) Brecha Donoso.....	18
Figura 7. Fallas principales (en Azul) y mayores (en negro) distrito Los Bronces, (tomado de Carrizo et al., 2013).....	20
Figura 8. A) Veta tipo "EB". B) Veta tipo "A". C) Veta tipo "B". D) Veta tipo "C". E) Veta tipo "C1". F) Veta tipo "C2". G) Veta tipo "C3". H) Veta tipo "D". I) Veta tipo "D tardía" (reglilla está en centímetros).....	22
Figura 9. Sondajes en estudio. A-A perfil en coordenada 101100 N, B-B' en coordenada 99200 N. T: punto toma de muestras en terreno.	26
Figura 10. Ubicación toma de muestra en perfil A-A'	28
Figura 11. Ubicación toma de muestra en perfil B-B'	28
Figura 12. Izquierda: Corte pulido con calcopirita siendo reemplazada por bornita y calcosina, a su vez bornita igual es reemplazada por calcosina. Derecha: Muestra de briqueta, reemplazo total de calcopirita por bornita (cristal grande central). Se observa calcopirita sin reemplazo (otro evento).	37
Figura 13. Izquierda: Muestra briqueta con asociación galena, esfalerita y calcopirita, esta última ocluida en esfalerita. Grano liberado de pirita. Derecha: Muestra de briqueta, asociación tenantita, marcasita, calcopirita y esfalerita. Marcasita en reemplazo de pirita.	37
Figura 14. Izquierda: Corte pulido, asociación tenantita, enargita, calcopirita y marcasita. Derecha: Corte pulido, asociación esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y marcasita en reemplazo pirita	38
Figura 15. Corte pulido, veta tardía con relleno de marcasita en reemplazo de pirita y bordes de calcopirita, esfalerita y galena.	38
Figura 16. Izquierda: Corte pulido, veta tardía de especularita y pirita. Derecha: Corte transparente, halo de veta tardía de arcillas y cuarzo gradando a sericita	39
Figura 17. Izquierda: Corte transparente con alteración de tipo sericita cuarzo. Derecha: Corte transparente con vetilla de cuarzo inserta en roca con textura obliterada por alteración fílica.....	39

Figura 18. Izquierda: Muestra briqueta reemplazo de calcopirita por calcosina. Derecha: Corte pulido con asociación calcopirita y hematina.	40
Figura 19. Izquierda: Muestra briqueta, asociación pirita con calcopirita. Derecha: Muestra briqueta asociación pirita hematita.	40
Figura 20. Muestra briqueta, covelina reemplaza a bornita.	41
Figura 21. Corte transparente, alteración sericita, cuarzo con presencia de turmalina	41
Figura 22. Imagen BSE, asociación de sulfuros en un grano mixto. Se observan proporciones mayores de pirita (Py) en contacto con agregados anhedrales de calcopirita (Cp) y láminas finas de freibergita (Fbg) y tenantita/enargita.	48
Figura 23. Imagen BSE, ocurrencia de un grano mixto intercrecido de pirita (Py), freibergita (Fbg) y matildita (Mtd).	48
Figura 24. Imagen BSE, en el centro de la fotografía se observa un grano mixto constituido por cristales alotriomorfos de calcopirita (Cp), hessita (Hst) y matildita (Mtd).	49
Figura 25. Imagen BSE, grano subredondeado de pirita (Py) que presenta inclusiones de cristales de berryita (Brt) y calcopirita (Cp).	50
Figura 26. Delimitación dominios para modelamiento (LBS: Los Bronces Sur).	51
Figura 27. Izquierda: histograma de Ag Donoso. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Donoso.	52
Figura 28. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Donoso.	52
Figura 29. Izquierda: Histograma Ag Infiernillo. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Infiernillo.	53
Figura 30. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Infiernillo.	54
Figura 31. Izquierda: Histograma Ag Los Bronces Sur. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Los Bronces Sur.	54
Figura 32. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Los Bronces Sur.	55
Figura 33. Vista planta modelo distribución de plata, sólidos en rojo representan cuerpos de isoley de 3ppm. Los perfiles que se observan (A a D) corresponde a las secciones realizadas que se muestran en las siguientes figuras.	56
Figura 34. Vista aérea con una rotación de 50° al oeste y una inclinación de 50°. Sólidos en rojo corresponden a isoley 3 ppm.	57
Figura 35. Arriba: Perfil A-A', abajo perfil B-B' modelo distribución Ag, Los Bronces.	58
Figura 36. Arriba perfil C-C', abajo perfil D-D' modelo distribución Ag, Los Bronces.	59
Figura 37. Diagrama de fugacidad de azufre v/s temperatura. $RS \approx \log (XH_2/XH_2O)$ En puntos azul se muestra el modelo evolutivo propuesto del depósito hasta la precipitación de plata en la zona achurada. (modificado de Einaudi et al., 2003).	62

Figura 38. Dominios estructurales, caracterizados por sus diagramas de contorno de polos en Los Bronces, en rojo ubicación aproximada de los dominios empleados en el estudio de distribución. (modificado de Carrizo et al. 2013). 65

Índice de Tablas

Tabla 1. Metodología aplicada a cada muestra. Ag-25 y Ag-26 son recolectadas en terreno por lo que en una primera instancia no se cuenta con información de leyes.	29
Tabla 2. Estadística descriptiva leyes Ag en estudio.	34
Tabla 3. Resumen minerales identificados mediante difracción de rayos X..	42
Tabla 4. Correlación de Pearson.	44
Tabla 5. Resumen resultados ICP	45
Tabla 6. Paragénesis mineral en Los Bronces. Vetas tardías S.A. se refiere a sulfidización alta; vetas tardías S.I. se refiere a sulfidización intermedia; Minerales de Ag, hace referencia a los minerales identificados en este estudio.....	63

Índice de gráficos

Gráfico 1. Histograma e histograma acumulativo leyes Ag en estudio.	35
Gráfico 2. Diagrama boxplots leyes Ag según alteraciones, de este estudio se excluyeron datos de alteración argílica por contar con baja cantidad de datos (7 datos).	35
Gráfico 3. Diagrama boxplots leyes Ag según litología.	35
Gráfico 4. Arriba: minerales identificados mediante DRX en población alto As (>20ppm). Abajo: minerales identificados mediante DRX en población bajo As.	43
Gráfico 5. Dispersión log-log de Ag/Pb; Ag/As; Ag/Sb; Ag/Bi. Serie en círculos rojos corresponde a datos trabajados para el proyecto plata. Serie en azul corresponde a datos de alimentación.....	46

Capítulo 1 introducción

1.1. Introducción

El siguiente trabajo se realiza en el yacimiento Los Bronces, el cual pertenece al complejo porfídico de Cu-Mo Río Blanco - Los Bronces, ubicada en la franja metalogénica de cobre de los Andes del Mioceno - Plioceno temprano. El yacimiento se localiza en la Región Metropolitana, al noreste de Santiago.

El trabajo a tratar en este informe surge a partir de la presencia de plata como un subproducto en los procesos extractivos de la mina. Dado este antecedente, y la carencia de estudio previos específicos en la zona, se requiere caracterizar la presencia de la plata.

Se requiere al final de este trabajo caracterizar la presencia de la plata en el sector Los Bronces, contextualizando su mineralización temporal y espacialmente.

1.2. Hipótesis

Existen varias etapas mineralizadoras de plata en el depósito, donde la distribución dependerá de los factores geológicos que controlen la precipitación en cada uno de estos eventos. Estas etapas son:

- Ag se encuentra dentro de la estructura cristalina de sulfuros de cobre hipógenos, ligado a la etapa hidrotermal principal.
- Cristaliza como sulfosales en ambiente tardío del sistema, el cual se expresa como vetas tardías con fuerte control estructural.
- Existe removilización de Ag producto de evento supérgeno, hospedándose en la estructura de sulfuros de cobre secundarios.

1.3. Objetivos

El objetivo general de esta tesis es estudiar cómo mineraliza y dónde se ubica espacialmente la plata en el depósito Los Bronces, Región Metropolitana, Chile.

Para esto se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar alteraciones hidrotermales, litologías, estructuras y asociaciones minerales en zonas con anomalías de plata.
- Encontrar fases mineralógicas de plata.

- Generar un modelo preliminar de distribución.

1.4. Ubicación y vías de acceso

El área de estudio, correspondiente a la mina Los Bronces, que se encuentra ubicada a 45 kilómetros hacia el noreste de la ciudad de Santiago, a 3600 metros sobre el nivel del mar, entre las coordenadas geográficas 33°08' latitud sur y 70°15' longitud oeste. Siendo sus coordenadas UTM: 6.330.000N-6.334.000N y 381.000E-383.000E.

El acceso a la mina es a través de 65 kilómetros de camino desde Santiago, siguiendo la ruta G21 que conduce al centro invernal de Farellones, hasta el km 31, sector de Corral, donde se toma un desvío hacia el norte por el valle de San Francisco y recorrer 34 kilómetros hasta la mina Los Bronces.



Figura 1. Ubicación zona de estudio (tomado de Barros, 2007)

1.5. Trabajos anteriores

Warnaars et al. (1985), describen Los Bronces como un complejo de brechas sobreimpuesto a un sistema porfídico, el cual está formado al este del batolito San Francisco (intrusión peraluminosa y de carácter calco-alkalina). Se exponen edades de formación para el depósito de 7.4 a 4.9 Ma. Indican que Los Bronces está compuesto por siete brechas, las cuales son: Fantasma, Central, Oeste, Infiernillo, Anhidrita, Gris Fino y Donoso, además caracterizan a cada una de ellas.

Serrano et al. (1996), señalan que durante un periodo de 3 Ma ocurren los emplazamientos del pórfido Río Blanco - Los Bronces y las brechas mineralizadas en conjunto con cambios en la química del magma y engrosamiento cortical durante el mioceno.

Vargas et al. (1999), mediante petrología, geoquímica y estudios de inclusiones fluidas, en brechas Sur-Sur y Americana pertenecientes al depósito Río Blanco - Los Bronces, señalan relación temporal y espacial de la mineralogía de mena en las brechas.

Skewes et al. (2003), se centran en La Brecha Donoso (dentro de 15 brechas que señalan en el sistema Río Blanco - Los Bronces), y la ubican con una edad entre 5.2 y 4.9 Ma. Describen la mineralogía de la matriz, los tipos de clastos y su alteración, además de la mineralización metálica asociada a la brecha. Indican que el origen de la brecha es causada por la exsolución de fluidos magmáticos durante el enfriamiento del plutón, y que la mineralización metálica, precipita de estos mismos fluidos.

Jara (2003), realiza estudio de bornitas en el sector Los Bronces. Mediante estudios de microscopía define dos etapas de formación de bornita, una primera asociada a una alteración potásica con temperaturas mayores a 460°C. Una segunda etapa asociada a vetas tardías ricas en minerales de arsénicos, la bornita se presenta reemplazando a calcopirita en un ambiente a temperaturas menores a 230°C

Barros (2007), mediante petrografía, calcografía, técnicas de absorción atómica y microsonda electrónica, realiza estudio de distribución de As, Bi, Pb, Sb, Ag y Au en el sector Los Bronces. Concluye que estos elementos mineralizan en etapa tardía del yacimiento, hospedándose en vetas tardías con orientación NE en el sector norte de la mina y con orientación NW en el sector Sur.

Irarrázaval et al. (2010), describen la historia del descubrimiento del yacimiento Los Sulfatos, ubicado en la zona sur del depósito Río Blanco - Los Bronces, el cual corresponde a un depósito con mineralización de cobre-molibdeno que está relacionada a dos centros porfídicos y a un complejo de

brechas magmático hidrotermal. Indican que las claves del descubrimiento se deben a un mapeo en detalle, perforación profunda, y pensamiento geológico innovador.

Toro et al. (2012), definen el distrito mediante tres dominios geológicos: bloque Los Piches - Ortiga, bloque San Manuel - El Plomo, bloque Río Blanco - Los Bronces - Los Sulfatos, en los cuales describen litologías y alteración hidrotermales presentes, además de presentar un modelo evolutivo del sistema.

Cruz et al. (2012), estudian el contenido de plata en el depósito Río Blanco, mediante uso de microscopía óptica, QEMSCAN y microsonda electrónica, comprueban que mineralización de plata está asociada a sulfosales (tenantita).

Carrizo et al. (2013), realizan un modelo de estructuras presentes en sector Los Bronces. Dividen la zona en 7 dominios en función de estructuras mayores y menores. Además generan un modelo 3D con ubicación de fallas principales y estructuras.

Deckart et al. (2013), mediante nuevas dataciones U-Pb, Re-Os y termocronología $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, refinan la evolución tiempo-espacio en el pórfido Río Blanco - Los Bronces.

Deckart et al. (2014), realizan nuevas dataciones mediante: U-Pb, Re-Os y $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, en sector Río Blanco - Los Bronces, para honrar en conocimiento acerca del tiempo duración de la actividad hidrotermal en el cluster.

Abarzúa (2014), realiza un estudio de caracterización y temporalidad relativa de los tipos de alteración hidrotermal en el sector Los Bronces, desarrollando un modelo conceptual de distribución para las alteraciones. Define 3 eventos de alteración, uno temprano, principal y tardío, señala que en el último existe mineralización con As, Pb, Zn, Ag.

Capítulo 2 Marco Geológico

2.1. Marco Geológico Regional

2.1.1. Generalidades

El distrito Rio Blanco Los Bronces se ubica en el arco magmático del Mioceno tardío – Plioceno temprano. Su localización coincide con la transición del “flat-slab” a una subducción normal (tipo chilena), concordante con la subducción de la dorsal de Juan Fernández, que coincide con los mega eventos de mineralización en El Teniente (Skewes & Holmgren, 1993; Skewes & Stern, 1995; Kurtz et al. 1997; Kay & Mpodozis, 2002; Ramos et al., 2002; Hollings et al. 2005).

En el sector afloran rocas andesíticas pertenecientes a las formaciones Abanico y Farellones de edad oligoceno a mioceno medio, instruidas por rocas plutónicas pertenecientes al batolito San Francisco, de edad Mioceno inferior a medio, además de cuerpos menores subvolcánicos y complejos de brechas hidrotermales de edad Plioceno inferior (Serrano et al, 1996).

2.1.2. Rocas Estratificadas

2.1.2.1. Formación Abanico

La formación Abanico es una secuencia continental con una potencia cercana a 3000 metros de espesor (Aguirre, 1960; Thiele, 1980). Está compuesta por lavas básicas a intermedias, rocas piroclásticas e intercalaciones sedimentarias fluviales, aluviales y lacustres, además de niveles ocasionales de ignimbritas ácidas y lavas riolíticas. La formación se expresa por dos franjas norte-sur separadas por los afloramientos de la formación Farellones (Figura 2).

Su límite inferior es concordante con la formación Colimapu de edad Hauteriviano - Albiano (González, 1963; Muñoz et al., 2006) o en contacto por falla (Thiele, 1980; Muñoz et al., 2006). Su límite superior es por discordancia angular con la formación Farellones.

La formación se atribuye a un episodio volcánico continuado de largo tiempo, o a varios eventos volcánicos desde el cretácico superior al oligoceno (Drake et al., 1976; Thiele, 1980; Vergara y Drake, 1979).

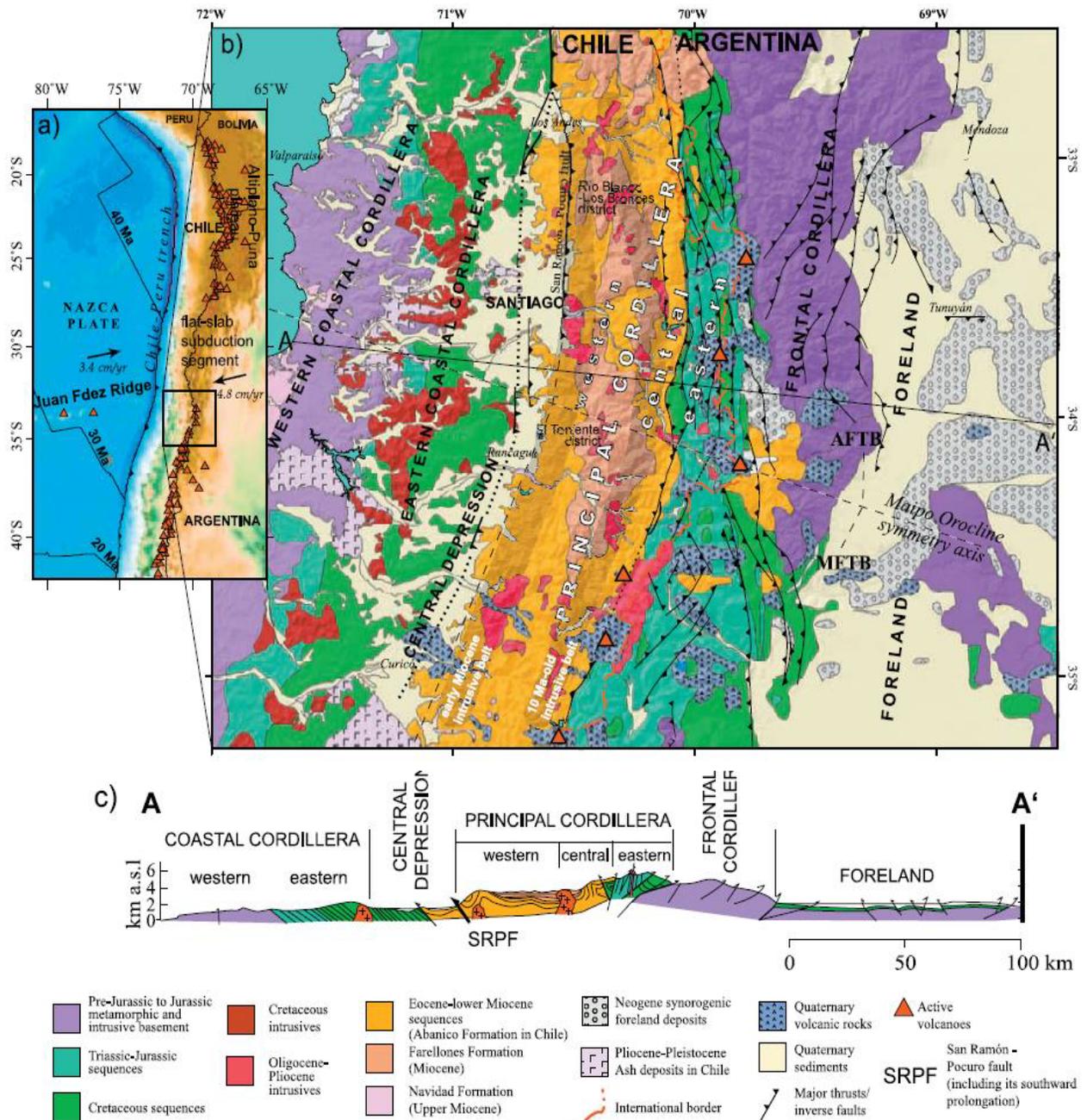


Figura 2. a) Localización de la región de estudio en relación con el "flat slab" de Chile central. b) Mapa geológico de los Andes de Chile central y Argentina. Solamente se muestran las principales fallas activas en el neógeno. (tomado de Farías 2008)

2.1.2.2. Formación Farellones

La formación se expresa como una faja longitudinal de aproximadamente 400km. con un ancho que varía entre 24 y 25 km (Hollings et al., 2005), tiene una potencia aproximada de 2500 m (Thiele, 1980) y está constituida por dos Miembros: el inferior está formado por tobas e ignimbritas riolíticas con poca meteorización, con intercalación de lavas delgadas que se encuentra por arriba de la formación Abanico en discordancia angular. El miembro superior está compuesto por lavas andesíticas y basálticas, con tobas y aglomerados andesíticos intercalados. (Rivano et al. 1990).

La formación está acotada en su límite superior por la superficie de erosión, y en su límite inferior por una discordancia angular sobre la formación Abanico.

Mediante datación radiométrica por método K/Ar en plagioclasas, se le ha asignado una edad Mioceno medio - superior (Drake et al., 1976; Vergara & Drake, 1979; Beccar et al., 1986). Posteriormente Deckart et al. (2005) mediante dataciones U/Pb en circón obtuvieron edades de 17.20 ± 0.05 Ma. y 16.77 ± 0.25 Ma.

2.1.2.3. Depósitos no consolidados

Estos depósitos corresponden a sedimentos aluviales, fluviales, fluvioglaciales y glaciales. Los primeros se presentan en una mayor extensión, rellenando valles. Los sedimentos de origen glacial se expresan en las cabeceras de los ríos por sobre la cota 2500 m y están compuestos mayormente por morrenas marginales y detritos de glaciares de roca ubicados en circos o nichos en las altas cumbres (Thiele, 1980).

2.1.3 Rocas Intrusivas

2.1.3.1 Intrusivos Mioceno

Esta unidad corresponde a la de mayor extensión presente en la zona, está representada por el batolito San Francisco, el cual aflora en un área de 200 km², 20 km en la dirección Norte-Sur y 10 km en la dirección Este-Oeste (Warnaars et al., 1985). Es de composición mayoritariamente diorita cuarcífera, granodiorita, monzonita cuarcífera (cuarzomonzonita),

monzodiorita cuarcífera (cuarzomonzodiorita) y en menor grado granitos y sienitas (Serrano et al. 1996; Warnars et al., 1985), con texturas que varían de porfídica a faneríticas. Es fuertemente peraluminosa y con una composición calcoalcalina (Warnars et al., 1985). Estas rocas instruyen a la formación Abanico y farellones (Warnars et al., 1985; Thiele, 1980).

Diferentes dataciones realizadas en K-Ar y en U/Pb indican una edad de entre 20 y 8.4 Ma (Serrano et al., 1996; Deckart et al., 2005). Considerando estas dataciones con relaciones de contacto con la formación Farellones se le asigna una edad miocénica medio superior.

2.1.3.2 Intrusivos mioceno tardío plioceno

Corresponden a intrusivos de menor extensión de tipo stocks, lacolitos, filones-manto y Diques, además de algunas chimeneas de brechas. De composición dacítica y andesítica (Thiele, 1980), estas rocas intruyen a la formación Farellones y a los intrusivos del batolito San Francisco (Intrusivos miocenos). Dataciones mediante el método U/Pb realizadas en el sector Río Blanco indican edades de emplazamiento de 6.32 ± 0.09 a 4.92 ± 0.07 Ma (Deckart et al., 2005).

2.1.4. Tectónica regional y marco metalogénico

El distrito porfídico de Cu-Mo Río Blanco-Los Bronces se ubica cercano a la latitud 33°S de la franja metalogénica del Mioceno tardío – Plioceno temprano, misma franja donde se ubican los depósitos de Los Pelambres y El Teniente. Esta franja se extiende de manera casi continua desde el suroeste de Colombia hasta la zona central de Chile (Sillitoe & Perelló, 2005; Figura 3).

La latitud del distrito coincide con el límite entre una subducción plana (flat slab) carente de volcanismo activo y la zona volcánica sur, con volcanismo activo (Stern & Skewes, 2004). La génesis del distrito se asocia con la subducción de la dorsal de Juan Fernández alrededor de 6 a 3 Ma (Yañez et al., 2002), periodo en el cual se produce un peak compresional en los Andes centrales (Farías et al., 2008), la actividad magmático - hidrotermal y la rápida exhumación de los pórfidos Río Blanco - Los Bronces y El Teniente (Maksaev et al., 2009).

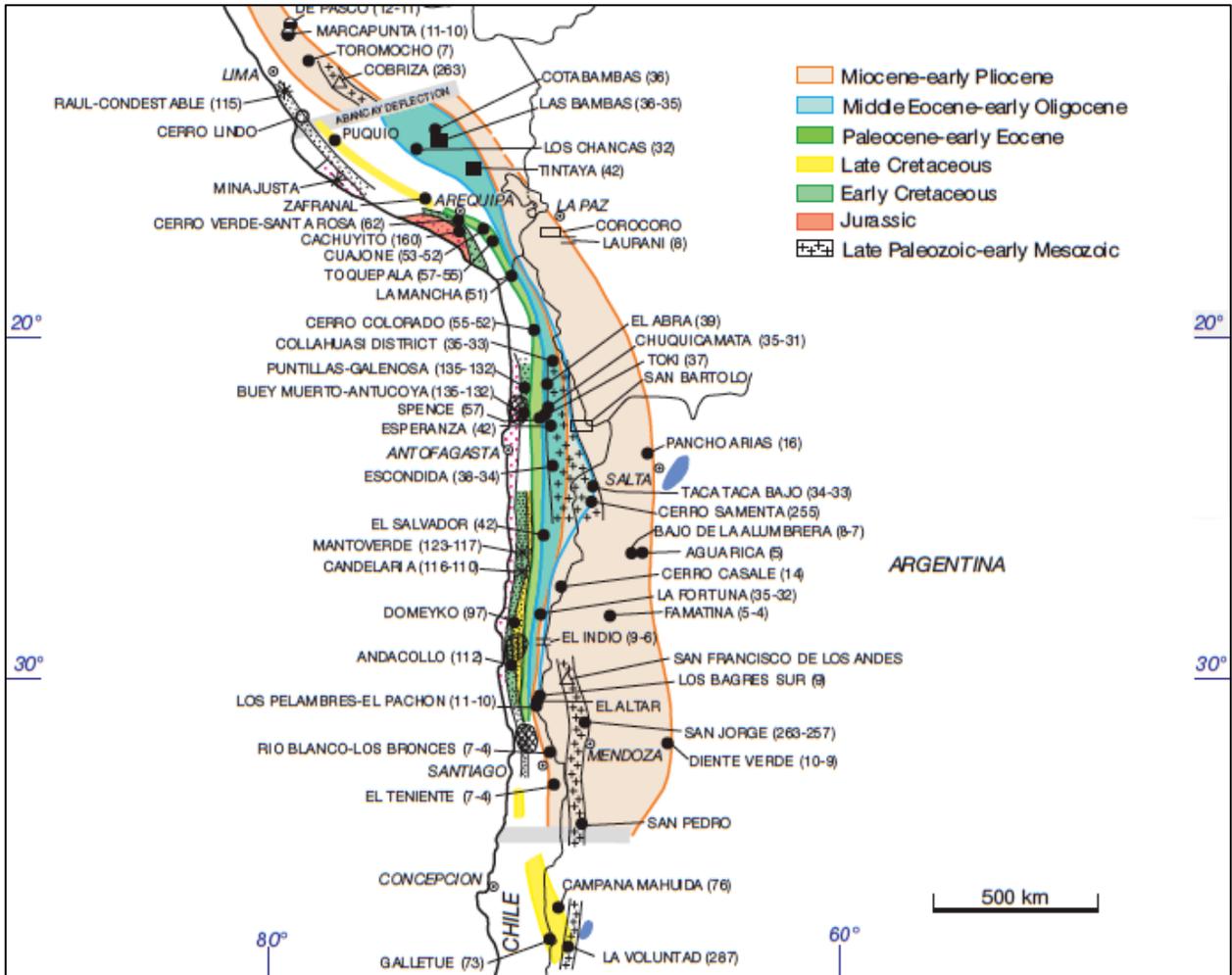


Figura 3. Franjas metalogénicas de cobre en los Andes (desde Perú al sur), en naranja franja mioceno - plioceno temprano (modificado de Sillito & Perello, 2005).

2.2. Marco Geológico Distrital

2.2.1. Generalidades

El mega yacimiento de Rio-Blanco los Bronces se encuentra emplazado en la franja metalogénica de edad Mioceno- Plioceno en Chile Central.

Ubicado entre 6.330.000N-6.334.000N y 381.000E-383.000E (coordenadas UTM), en el lado oriental del Batolito San Francisco, este sistema se extiende por cerca de 5 kilómetros si se cuentan los depósitos de Sur-Sur, La Americana y Los Sulfatos Sur. En el yacimiento afloran rocas estratificadas pertenecientes a la formación Farellones, las cuales son intruidas por rocas plutónicas del lado este del batolito San Francisco correspondientes a cuerpos cuarzo-monzodiorítico y cuarzo-monzonítico,

además de intrusiones menores del mioceno – plioceno. Sobre estas unidades se han emplazado al menos nueve tipos de brechas hidrotermales y un tipo de brecha ígnea (Contreras, 2003), las cuales se diferencian entre sí por composición y características de matriz y clastos (Warnaars et al., 1985).

El origen de estas brechas, importantes económicamente por su gran contenido de cobre, está asociado según Skewes y Holmgren (1993) a remoción de un gran volumen de roca producto de erosión glacial, provocando disminución de presión confinante y acelerando el enfriamiento de las fases fluida del sistema magmático provocando la liberación violenta de volátiles. Otra alternativa, según Sillitoe (1985), el posible origen de las brechas se asocia a la interacción de magma con fuentes meteóricas de agua que provocaron múltiples explosiones generando expansión, fragmentación y fluidización de partículas de magma.

La mineralización tipo pórfido cuprífero, alteración y brechas portadoras de cobre en la parte del yacimiento que conforma la mina Los Bronces, se formó durante un periodo de al menos 2.5 Ma entre los 7.4 y 4.9 Ma (Warnaars et al., 1985).

2.2.2. Rocas volcánicas

Las rocas volcánicas estratificadas que afloran en la zona de la mina Los Bronces, pertenecientes al yacimiento Rio Blanco - Los Bronces, corresponden a estratos de rocas de composición andesitas basálticas, traquiandesitas y dacitas de las formaciones Farellones y Abanico (Gajardo, 1969; Urqueta, 1969). Estas rocas representan la roca caja pre-mineralización del depósito, siendo a su vez las rocas de la formación Abanico las más antiguas del depósito. En estas formaciones se emplazan los cuerpos intrusivos pertenecientes al batolito San Francisco, además de las brechas hidrotermales, las cuales contienen clastos de estas rocas y en donde se aloja parte de la mineralización de cobre y molibdeno.

Las andesitas presentes en el sector se caracterizan por ser de un color gris oscuro, con una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasas de forma subhedral a anhedral, con un tamaño menor a 4 mm, por lo general presentando una sericitación, dispuestos en una textura seriada sobre una masa fundamental afanítica; además de presencia de fenocristales de biotita.

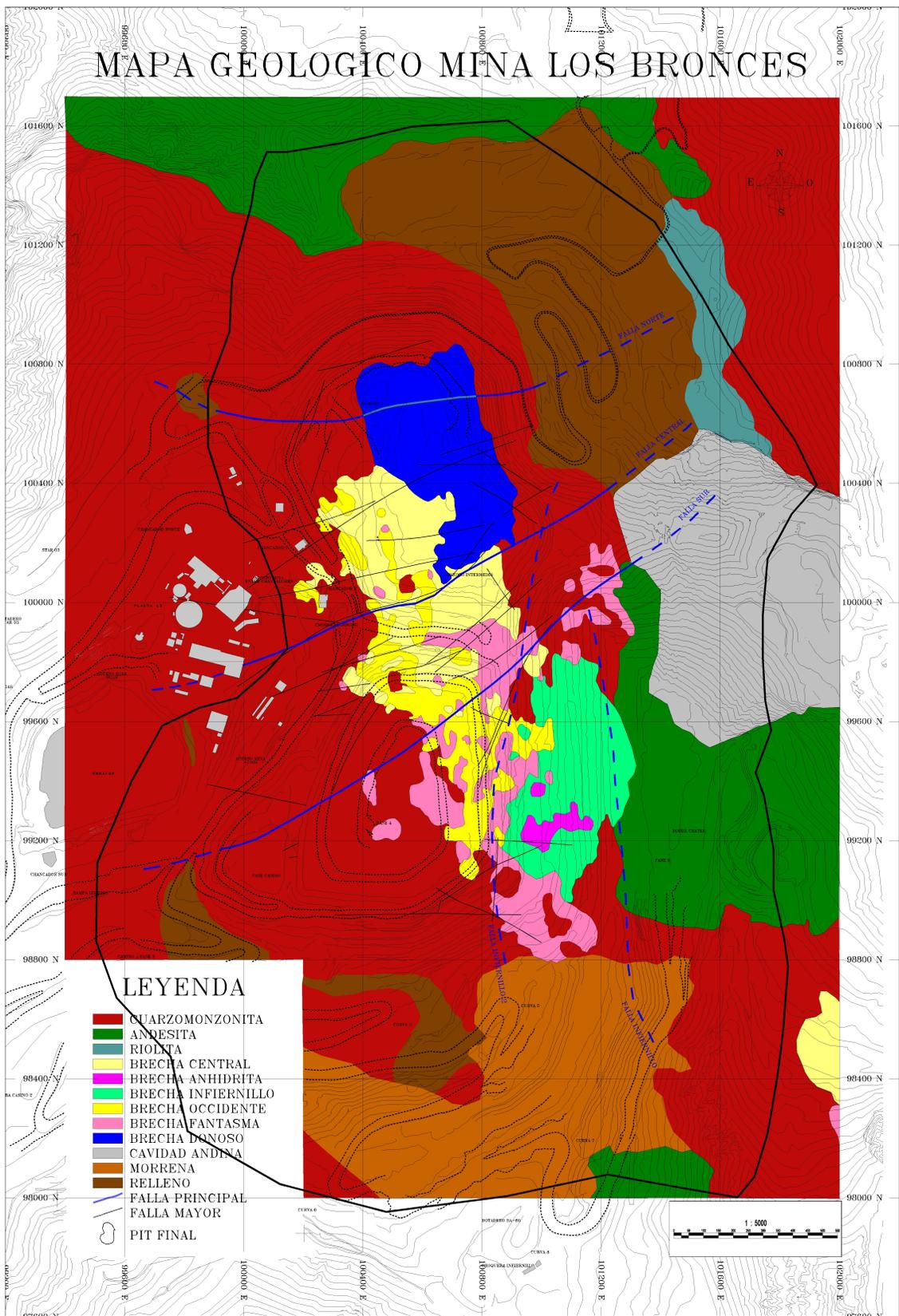


Figura 4. Litología y principales estructuras del sector Los Bronces.

Las rocas volcánicas de esta unidad poseen alteración cuarzo-sericita pervasiva y biotización en sus bordes de contacto brechizados, en roca maciza éstas presentan una fuerte alteración propilítica marcada por la presencia de clorita y un fuerte magnetismo (Stanbuk et al., 1982). También se distinguen zonas profundas con alteración potásica – biotítica.

2.2.3. Batolito San Francisco

Dentro de las rocas intrusivas que se observan en la zona de la mina se encuentran las pertenecientes al batolito San Francisco. Estas intruyen a rocas de la formación Abanico y Farellones, y a su vez se encuentran intruidas por cuerpos menores pertenecientes a rocas porfídicas del mioceno superior – plioceno. El batolito está compuesto por rocas del tipo cuarzomonzonitas y cuarzomonzodioritas, con una geoquímica peraluminosa y composición calco-alcalina con afinidad alcalina cálcica (Warnaars et al., 1985, Figura 5).

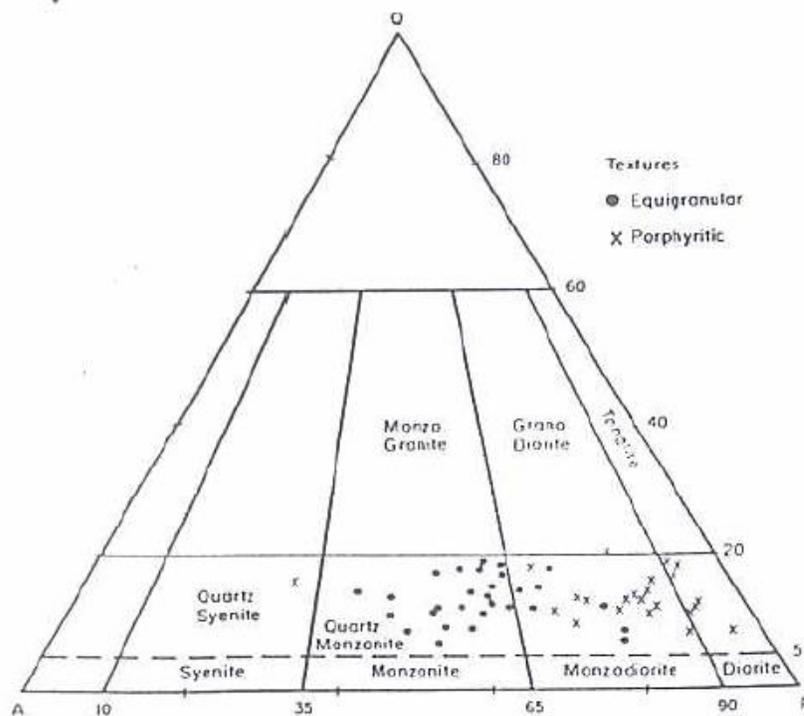


Figura 5: Composición de 53 muestras del batolito San Francisco, recolectadas en las cercanías de Rio Blanco - Los Bronces y ploteadas en el diagrama de Streckeisen 1979. (tomada de Warnaars et al., 1985)

Las unidades que se definen mayoritariamente correspondientes al batolito son Cuarzo-monzonítico (QM) y Cuarzo-monzodiorítico (QMD), además de otros filones que cortan estas unidades y son denominados Pórfido Cuarzomonzodiorítico y Pórfido Cuarzodiorítico (Contreras, 2003).

2.2.3.1. Unidad Cuarzomonzonita (QM)

Esta unidad está compuesta por intrusivo clasificados como: granito, granodiorita, cuarzomonzonita y cuarzomonzodiorita, según la clasificación Streckeisen (1979) (Contreras, 2003).

Las rocas de esta unidad presentan una textura hipidiomórfica inequigranular de grano medio a grueso de un color gris rozado. Está compuesta por feldespatos alcalinos anhedrales e inequigranulares, feldespatos plagioclasas anhedrales e inequigranulares y en menor medida de cuarzo anhedral, biotita cloritizadas y anfíboles. La alteración predominante es de carácter potásico, definida por biotita secundaria, presencia de anhidrita. También se observa alteración propilítica compuesta de clorita, biotita secundaria, epidota y menor carbonato. En menor medida se observa alteración cuarzo - sericita y zonas muy limitadas con una alteración con gran presencia de arcillas.

Esta es la unidad intrusiva más antigua, que se encuentra presente en la zona mina. En función de su equivalente intrusivo en la zona de Rio Blanco se le asigna una edad entre 11.96 y 8.16 Ma (Deckart et al., 2005).

2.2.3.2. Unidad Cuarzomonzodiorita (QMD)

Esta unidad está compuesta por intrusivos clasificados como: cuarzomonzodiorita, diorita, tonalita, según clasificación de Streckeisen (1979) (Contreras, 2003).

Presenta una textura hipidiomórfica inequigranular de grano fino y color gris a gris verdoso. Está compuesta mayoritariamente por un agregado fino de plagioclasas, cuarzo y menor feldespato alcalino. También se distinguen biotitas primarias y hornblendas. La alteración predominante en esta unidad es alteración propilítica, definida por la asociación clorita - epidota. En menor medida y limitada a zonas más profundas se reconoce alteración potásica, definida por presencia de feldespatos, biotita secundaria y anhidrita. Se distinguen zonas con plagioclasas sericitizadas.

Esta unidad instruye a la formación Farellones, es instruida a su vez por filones pertenecientes a las unidades Pórfido Cuarzomonzodiorítico y Pórfido Cuarzodiorítico, así como también por el complejo de brechas.

2.2.3.3. Pórfido Cuarzomonzodiorítico (PQMD)

Esta unidad está compuesta por cuerpo filoneanos de composición cuarzomonzodiorita, según la clasificación Streckeisen (1979) (Contreras, 2003).

Las rocas de esta unidad presentan textura porfídica, con fenocristales de grano medio. Las rocas presentan un color gris claro-blanco (Warnaars et al., 1985). La masa fundamental representa por lo general más del 75% y está compuesta por agregados de cuarzo, feldespato potásico y anhidrita. Los fenocristales presentes son: plagioclasas, cuarzoes, feldespatos potásicos y menor máficos. La alteración predominante corresponde a una cuarzo - sericita - clorita, definida por asociación mineral de sericita clorita y cuarzo en masa fundamental, con menor presencia de yeso y carbonatos, además de pirita; sobreimpuesta a una potásica de fondo definida por asociación feldespato potásico, menor anhidrita y magnetita. Existe presencia menor de alteración propilítica definida por asociación clorita, montmorillonita, calcita y epidota (Contreras, 2003).

Esta unidad instruye a la formación Farellones, a las unidades Cuarzomonzonita y Cuarzomonzodiorita, y está en contacto gradacional con el Pórfido Cuarzomonzonita.

2.2.4. Complejo de brechas

El complejo de brechas de Los Bronces está conformado por 9 brechas de origen hidrotermal y una de origen magmático (Contreras 2003). Estas fueron descritos en un comienzo por Warnaars et al. (1985), quienes identifican siete brechas distintas: Fantasma, Central, Occidente, Infiernillo, Anhidrita, Gris-Fina y Donoso. Estas están ordenadas cronológicamente de acuerdo a relaciones de contacto observadas por los autores. Posteriormente Contreras (2003) identifica dos nuevas brechas de origen hidrotermal, que denomina: Brecha de Magnetita y Biotita, y Brecha de Biotita, además de una brecha magmática: Brecha Ígnea. Estas han sido clasificadas en función de matriz y/o cemento, tipo de clastos y mineralización.

Las brechas son usualmente monomícticas, siendo la mayoría de sus clastos cuarzomonzonita o andesita; en menor cantidad y localmente se reconocen clastos de pórfido cuarzolatita, monzodiorita y vetas de cuarzo. 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).

En total este complejo forma un cuerpo elongado de forma elíptica con su eje mayor orientado N – NO y de un largo aproximado de 2 km y con un ancho de 0.75 km (Warnaars et al., 1985).

2.2.4.1 Brecha Ígnea (BXIG)

Brecha de origen magmático, con matriz de grano fino englobando clastos de composición cuarzo-monzonítica. Brecha monomíctica con clastos subredondeados a redondeados también de composición cuarzo-monzonítica. Se interpreta su emplazamiento por la intrusión de la unidad QMD en la unidad QM (Contreras, 2003).

2.2.4.2 Brecha de Magnetita - Biotita (BXBM)

Brecha de origen hidrotermal, formada por matriz de biotita secundaria, magnetita, clorita, cuarzo, anhidrita, sericita y sulfuros, mayoritariamente pirita y calcopirita, menor bornita. Brecha polimíctica con clastos de composición tonalítica, cuarzodiorítica y diorítica, con predominante alteración potásica. Presencia de vetillas formadas por biotita secundaria, feldespato potásico y anhidrita, caracterizadas en la mina bajo el nombre de vetillas tipo A.

2.2.4.3 Brecha de Biotita (BXB)

Brecha de origen hidrotermal, formada por matriz compuesta de biotita secundaria, sericita, feldespato potásico, cuarzo y sulfuros, principalmente pirita, calcopirita, menor molibdenita y bornita, menor turmalina y clorita. Brecha polimíctica, los clastos están formados principalmente de intrusivos profundos, de composición tonalítica, cuarzodiorítica y diorítica. Al igual que en la brecha magnetita-biotita su alteración predominante es potásica y presenta vetillas tipo A.

2.2.4.4. Brecha Fantasma (BXF)

Brecha de origen hidrotermal. La matriz está compuesta por polvo de roca cuarzomonzonita, puede presentar cemento compuesto por cuarzo, turmalina, especularita y sulfuros. Los clastos corresponden a fragmentos finos a gruesos de cuarzomonzonita, y en menor medida andesita, con mineralización diseminada y en stockwork de pirita - calcopirita - calcosina - molibdenita. La alteración predominante en esta brecha es una alteración pervasiva de cuarzo-sericita afectando a clastos y matriz, haciendo difícil su identificación.

2.2.4.5. Brecha Central (BXC)

Brecha de origen hidrotermal, con una matriz compuesta por turmalina con menor cantidad de cuarzo, especularita, sericita, sulfuros y ocasionalmente anhidrita, de color gris oscura a negra. Sus clastos son homogéneos en tamaño (menor 5 cm) con forma subredondeados a subangulares, y con una gran homogeneidad de tamaños, de composición principalmente cuarzo-monzonita, y menor andesitas y latitas.

La brecha presenta una alteración predominante de cuarzo-sericita, aunque con zonas silicificadas y argilizadas. Presenta mineralización diseminada, y en menor cantidad de vetillas, de pirita y menor calcopirita.

2.2.4.6. Brecha Occidente (BXO)

Brecha de origen hidrotermal, con una matriz de clorita y polvo de roca, en menor cantidad turmalina y especularita, de color verde a gris verdoso. Sus clastos son heterogéneos en cuanto a tamaños (2-15 cm) de forma subangular a angular de cuarzomonzonitas.

En la brecha predomina una alteración dada por la asociación Clorita, turmalina, especularita y menor calcita epidota. También se distingue zonas con alteración cuarzo sericita. Presenta una escasa mineralización de pirita, calcopirita y molibdenita diseminados en la matriz.

2.2.4.7. Brecha Infiernillo (BXI)

Brecha de origen hidrotermal, con una matriz compuesta por cuarzo, clorita, especularita, turmalina, epidota, magnetita y sulfuros (pirita, calcopirita), de un color verde intenso. Sus clastos son heterogéneos en tamaño (desde centímetros hasta mayores a un metro), corresponden a andesitas y menor cuarzomonzonitas y Pórfido Cuarzomonzonita y cuarzolatita. La alteración principal en esta unidad está dada por la asociación clorita, sílice, sericita turmalina y menor epidota, aunque en varias zonas la brecha se encuentra sin alterar.

2.2.4.8. Brecha Anhidrita (BXA)

Brecha de origen hidrotermal, con una matriz de grano grueso compuesta de anhidrita, especularita, pirita, calcopirita y molibdenita. En la zona más alta del depósito, aparece mayor yeso, producto de la hidratación de anhidrita. Los clastos son angulosos y corresponden a fragmentos de la brecha infiernillo y brecha central, además de andesitas. Se observa una alteración caracterizada por asociación clorita con menor sericita, en los clastos.

2.2.4.9. Brecha Gris Fina (BXGF)

Brecha de origen hidrotermal, de color gris. Su matriz microcristalina está formada por formada por polvo de roca, turmalina de grano fino, sericita y cuarzo. Los clastos corresponden a fragmentos de cuarzomonzonitas, con menor presencia de clastos de pórfidos cuarzo-latíticos, andesitas y fragmentos de la brechas Central, Infiernillo y Occidente.

La Brecha posee una alteración predominantemente de cuarzo-sericita, aunque con presencia local de silicificación y cloritización.

2.2.4.10. Brecha Donoso (BXD)

Brecha de origen hidrotermal. Su matriz está compuesta por turmalina, calcopirita, especularita y menor anhidrita, bornita sericita, clorita y polvo de roca. Brecha monomíctica, sus clastos son angulares a subangulares de composición cuarzomonzonita y menor cuarzo-diorita, sienita y andesita. Las oquedades son comunes y el contenido de cobre es mayor a cualquier otra.

Esta brecha es la más joven del complejo y además una de alto interés debido a sus concentraciones de cobre (Skewes et al., 2003).

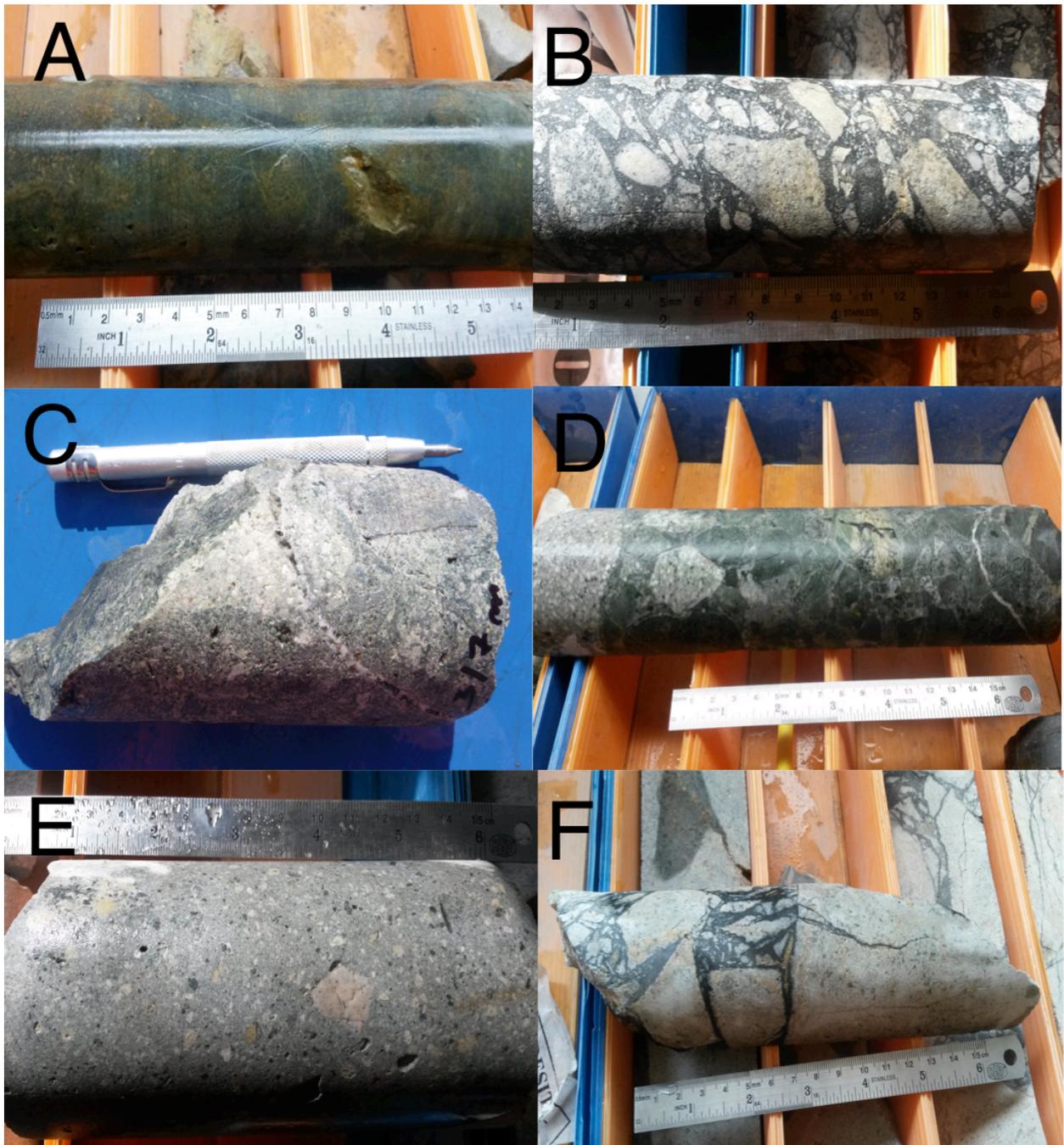


Figura 6. A) Brecha Fantasma. B) Brecha Central. C) Brecha Infiernillo. D) Brecha Anhidrita. E) Brecha Gris Fina. F) Brecha Donoso.

2.2.5. Diatrema de brecha Riolítica

Denominada como el miembro La Copa (Latorre, 1981) es una unidad postmineral, que define el término del sistema en Los Bronces. Tiene un rango de edad de 4.9 a 4.7 Ma. (Deckart et al., 2013). Corresponde a una chimenea de brecha subvolcánica de composición principalmente dacítica y riolítica, en su parte superior está compuesta por fluidos de brechas tobaceas soldadas riolíticas y pórfidos riolíticos.

2.2.6. Marco estructural distrital y local

A nivel distrital la evolución tectónica está controlada por un sistema de fallas pre-mineral de orientación NS, NE-NNE y NW-NNW. Carrizo (2012) explica esta evolución debido a la propagación de fallas NS como unos remanentes del acortamiento ortogonal a la fosa y al desarrollo de fallas NE junto a la efusión de lavas de la formación Farellones. Finalmente se genera la intrusión sintectónica del batolito San Francisco y el complejo intrusivo de Rio Blanco – Los Bronces generando un acortamiento diferencial y propagación de las fallas NNW – NW.

A nivel local se distinguen 5 fallas principales, definidas de esta manera por tener una persistencia mayor a 150 metros, estas estructuras son subverticales, además se distingue varias estructuras menores. Asimismo se definen una serie de dominios estructurales en función de falla mayores (con una persistencia menor a 150 metros), litología y alteraciones (Carrizo et al, 2013; Figura 7)

En cuanto a la mineralización existe un trend estructural principal con una dirección N – NNW que define los lineamientos de brechización y mineralización principal de cobre, asimismo como pórfidos tardíos y diques. Existe un segundo set de estructuras con dirección N40°E a N60°E, que está definido por estructuras menores, con y sin mineralización, que corresponden a fracturas, fallas menores, diaclasas, venas y diques (pebble dike) (Serrano et al., 1996).

2.2.7. Clasificación de vetillas en Los Bronces

La clasificación de las vetillas en el distrito los Bronces, corresponde a la realizada por un trabajo interno de la superintendencia de geología en el año 2011, a su vez ese trabajo se basa en clasificaciones realizadas por Gustafson & Hunt (1975).

2.2.7.1. Vetillas Clase EB

Pertenecen a la etapa temprana. Son continuas, con bordes irregulares. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo, anhidrita, calcopirita, bornita y pirita,. Presentan un halo simétrico de biotita y menor sericita verde y magnetita, pueden tener asociada sulfuros diseminados. Se observan mayoritariamente en roca caja dominada por alteración potásica.

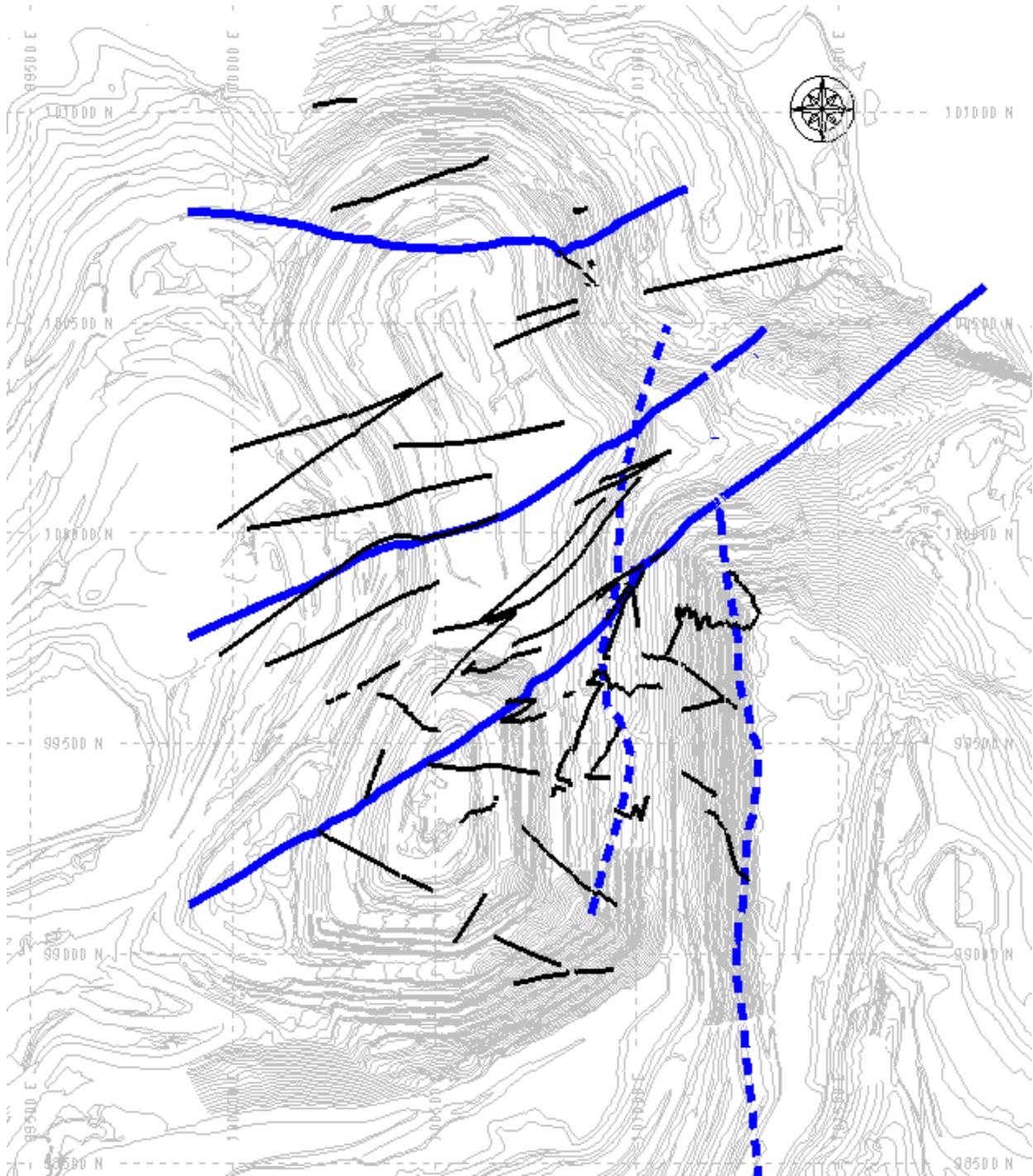


Figura 7. Fallas principales (en Azul) y mayores (en negro) distrito Los Bronces, (tomado de Carrizo et al., 2013)

2.2.7.2. Vetillas A

Pertenecen a la etapa temprana. Son continuas y de bordes regulares bien definidos. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo y anhidrita, con menor calcopirita, bornita, pirita, yeso y feldespato potásico. Generalmente no presentan halo, cuando lo tienen es fino y discontinuo con presencia de feldespato potásico albita y cuarzo.

2.2.7.3. Vetillas B

Pertenecen a la etapa temprana. Son continuas y de bordes regulares bien definidos. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo dentado con molibdenita y anhidrita, menor sulfuros de cobre. Presentan un halo fino de sericita feldespato y cuarzo. Se asocian mayoritariamente a zonas con alteración potásica aunque también es apreciable en zonas propilíticas.

2.2.7.4. Vetillas C

Pertenecen a la etapa principal. Son continuas, sinusoidales y de bordes irregulares. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo anhidrita y biotita, con menores sulfuros de cobre y pirita. Poseen un halo difuso y gradacional de feldespato potásico y cuarzo a menor albita y sericita verde.

2.2.7.5. Vetillas C1

Pertenecen a la etapa principal. Son continuas y de borde regulares bien definidos. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo crustiforme, calcopirita y bornita, menor pirita y anhidrita. Tienen un halo difuso de feldespato potásico y albita, con menor cuarzo y sericita. Se ubican en roca caja con alteración potásica y clorítica.

2.2.7.6. Vetilla C2

Pertenecen a la etapa principal. Son continuas y de bordes regulares bien definidos. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo calcopirita pirita bonita y anhidrita. Tienen un halo simétrico y penetrativo de sericita verde y menor biotita, presentan mineralización diseminada en el halo de calcopirita y bornita. Se ubican en la roca caja con alteración potásica y clorítica.

2.2.7.7. Vetilla C3

Pertenecen a la etapa principal. Son continuas de bordes irregulares. Se caracterizan por tener un relleno de turmalina y cuarzo, con menor presencia de sulfuros. Tienen un halo simétrico y delgado de albita y menor

cuarzo y feldespatos potásicos. Se asocian a roca caja con alteración de cuarzo sericita y clorita.

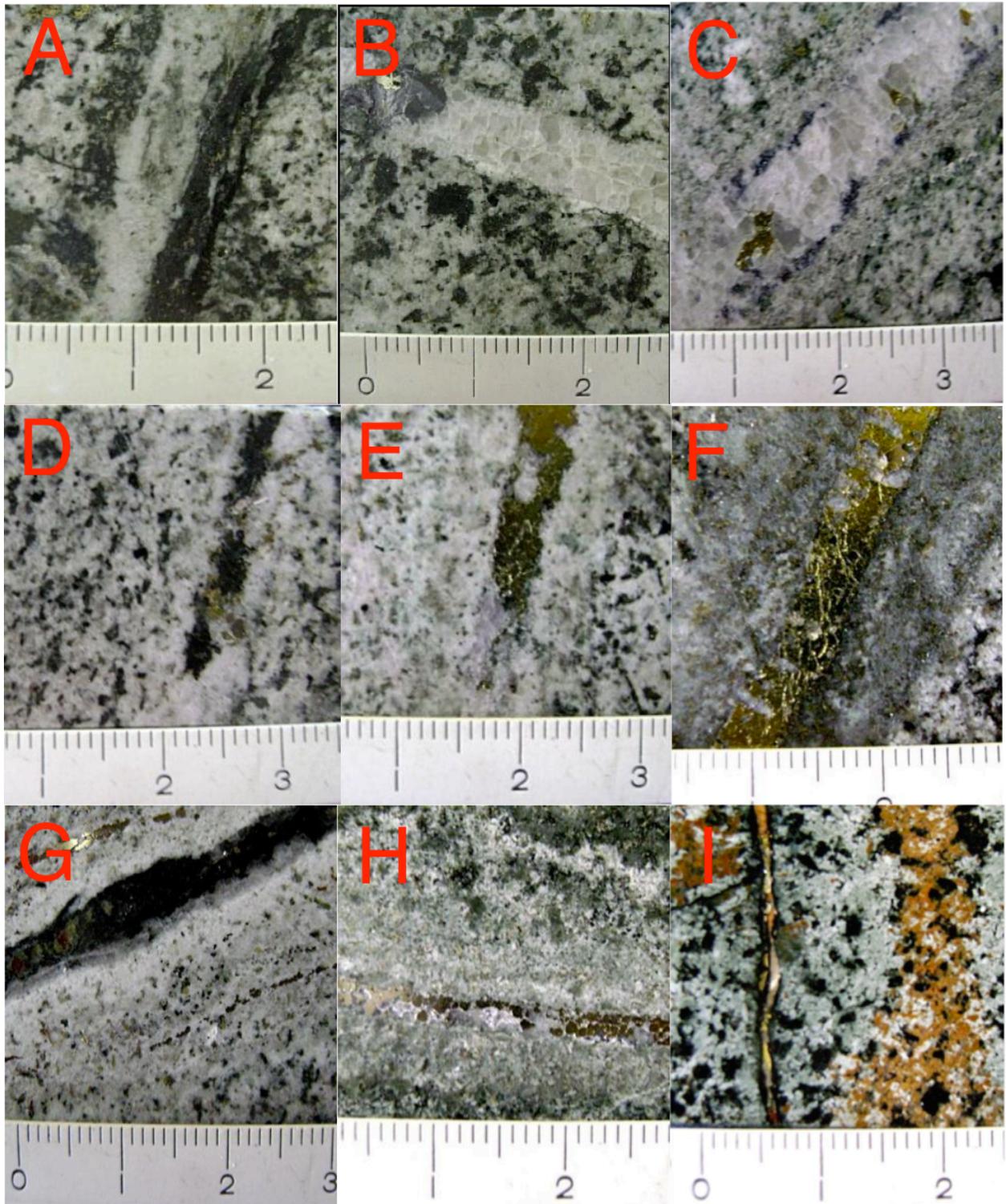


Figura 8. A) Veta tipo "EB". B) Veta tipo "A". C) Veta tipo "B". D) Veta tipo "C". E) Veta tipo "C1". F) Veta tipo "C2". G) Veta tipo "C3". H) Veta tipo "D". I) Veta tipo "D tardía" (reglilla está en centímetros).

2.2.7.8. Vetillas D

Pertenecen a la etapa tardía del sistema. Son continuas y de bordes regulares bien definidos. Se caracterizan por tener relleno de cuarzo y pirita, menor calcopirita, pueden tener a nivel de traza tenantita, tetraedrita, enargita y esfalerita. Tienen un halo penetrativo y extenso de cuarzo y menor arcilla y clorita. Se asocian a una roca caja alterada a cuarzo sericita, arcillas y clorita.

2.2.7.9. Vetillas D Tardías

Pertenecen a la etapa tardía del sistema. Son continuas y de bordes regulares. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo clorita yeso y siderita. Presentan mineralización de especularita, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, con trazas de enargita y tenantita. Tienen un halo penetrativo de cuarzo arcillas y carbonatos con menor clorita y epidota. Se asocian a zonas con alteración cuarzo sericita clorita.

2.2.8. Alteraciones hidrotermales en Los Bronces

2.2.8.1. Alteración Actinolita-Magnetita

Presente principalmente en intrusivos de batolito San Francisco. Corresponde a la alteración más temprana y está caracterizada por la presencia de actinolita en reemplazo de biotita y anfíboles más la presencia de magnetita y menor plagioclasas, cuarzo, clorita. Esta alteración no presenta asociada una mayor mineralización de sulfuros (Contreras, 2003; Skewes et al., 1994).

2.2.8.2. Alteración Potásica

Presente en rocas del batolito San Francisco y andesitas. Se reconocen 3 fases:

- Biotita-magnetita: caracterizada por biotita en reemplazo de máficos más la presencia de magnetita, cuarzo, anhidrita intersticial, y menor clorita. Se le asocia mineralización de pirita, calcopirita y bornita.
- Biotita-Feldespatos potásicos: Caracterizada por biotita en reemplazo de máficos, feldespato potásico reemplazando plagioclasas, más la presencia de cuarzo y menor clorita y sulfuros. Se le asocia mineralización en vetillas de tipo A y en matriz de brechas, con contenidos de pirita, calcopirita, bornita y molibdenita.
- Feldespato K – cuarzo: caracterizada por el reemplazo de plagioclasas por feldespato potásico más presencia de cuarzo, se le asocia mineralización de pirita con calcopirita.

2.2.8.3. Alteración Fílica

Presente en los intrusivos QMD y PQMD, y en el complejo de brechas, se caracteriza por la presencia de cuarzo, sericita en reemplazo de feldespato y pirita, con menor turmalina, especularita y clorita. Se la asocia mineralización diseminada y en vetillas B con pirita calcopirita. Se observa la coexistencia espacial con la alteración potásica.

2.2.8.4 Alteración Propilítica

Presente en la parte alta del sistema por lo general subordinada a la alteración potásica, la cual es dominante a mayor profundidad. También se presenta en zonas de la brecha Donoso y Occidente. Se caracteriza por la asociación clorita, epidota, calcita, especularita, pirita.

Capítulo 3 Metodología

Para lograr los objetivos de esta memoria, se realiza los siguientes estudios y análisis, los cuales se dividen en tres etapas: estudio de trabajos previos, estudio de mineralización de plata en el depósito y desarrollo del modelo de distribución.

3.1. Estudios bibliográficos, de antecedentes y datos

3.1.1. Estudio bibliográfico y de antecedentes

En una primera parte se recopila información bibliográfica acerca de los factores que controlan el transporte y depositación de Ag en sistemas porfídicos, y en epitermales de alta y baja sulfuración, además se instruye en la geología del depósito Rio Blanco – Los Bronces. Posteriormente se estudian los diferentes trabajos realizados en el sector con relación a la distribución y mineralización de Ag.

3.1.2. Exploración datos

Se selecciona la población a estudiar, dentro del total de la base de datos que contienen información de análisis químico de Ag. A estos datos se les realiza estadística descriptiva, donde se estudia el comportamiento de Ag con respecto a otros elementos en el sistema. Se analiza también su comportamiento con relación a la litología y alteración hidrotermal-

3.2. Estudios y búsqueda de fases mineralógicas de plata

3.2.1. Definición de zona de estudio para muestreo

Para la comprensión y realización del estudio de ocurrencia y caracterización del mineral de plata y su distribución, se realizan 2 perfiles representativos, con orientación Este-Oeste. Se elige uno en el Norte de la mina en fase Donoso, y la otra sección al sur en fases Infiernillo – Casino. En el estudio también se incluye un punto de estudio en terreno en la zona sur-este en fase infiernillo 5 (figuras 9, 10 y 11)

Para la elección de los perfiles se toma en cuenta que atraviesen unidades litológicas representativas del distrito, además de poseer características de alteración hidrotermal variadas y concentrar zonas con

anomalías de Ag. Se considera una influencia de 50 metros, hacia cada lado, al incorporar sondajes en cada sección.

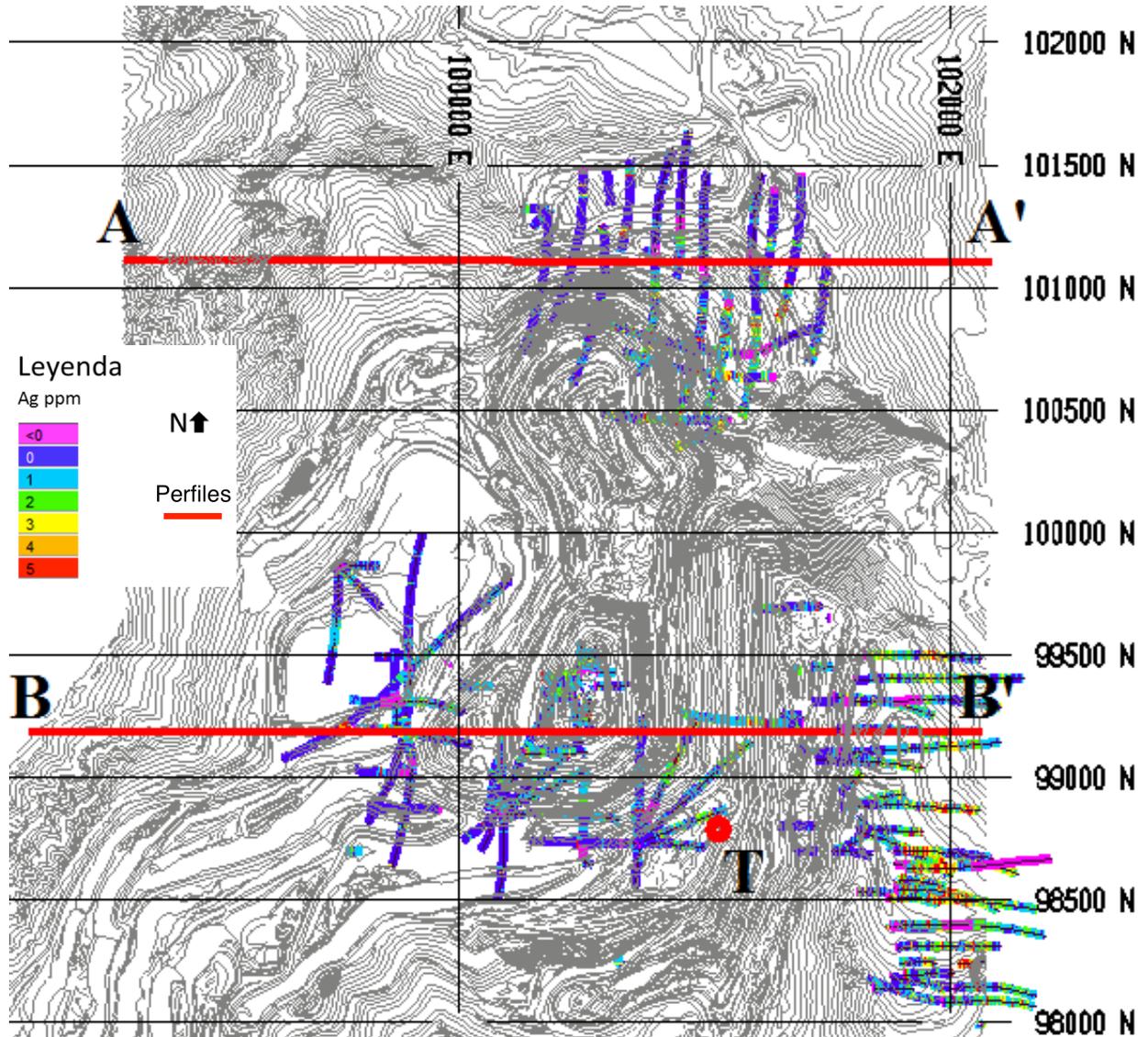


Figura 9. Sondajes en estudio. A-A perfil en coordenada 101100 N, B-B' en coordenada 99200 N. T: punto toma de muestras en terreno.

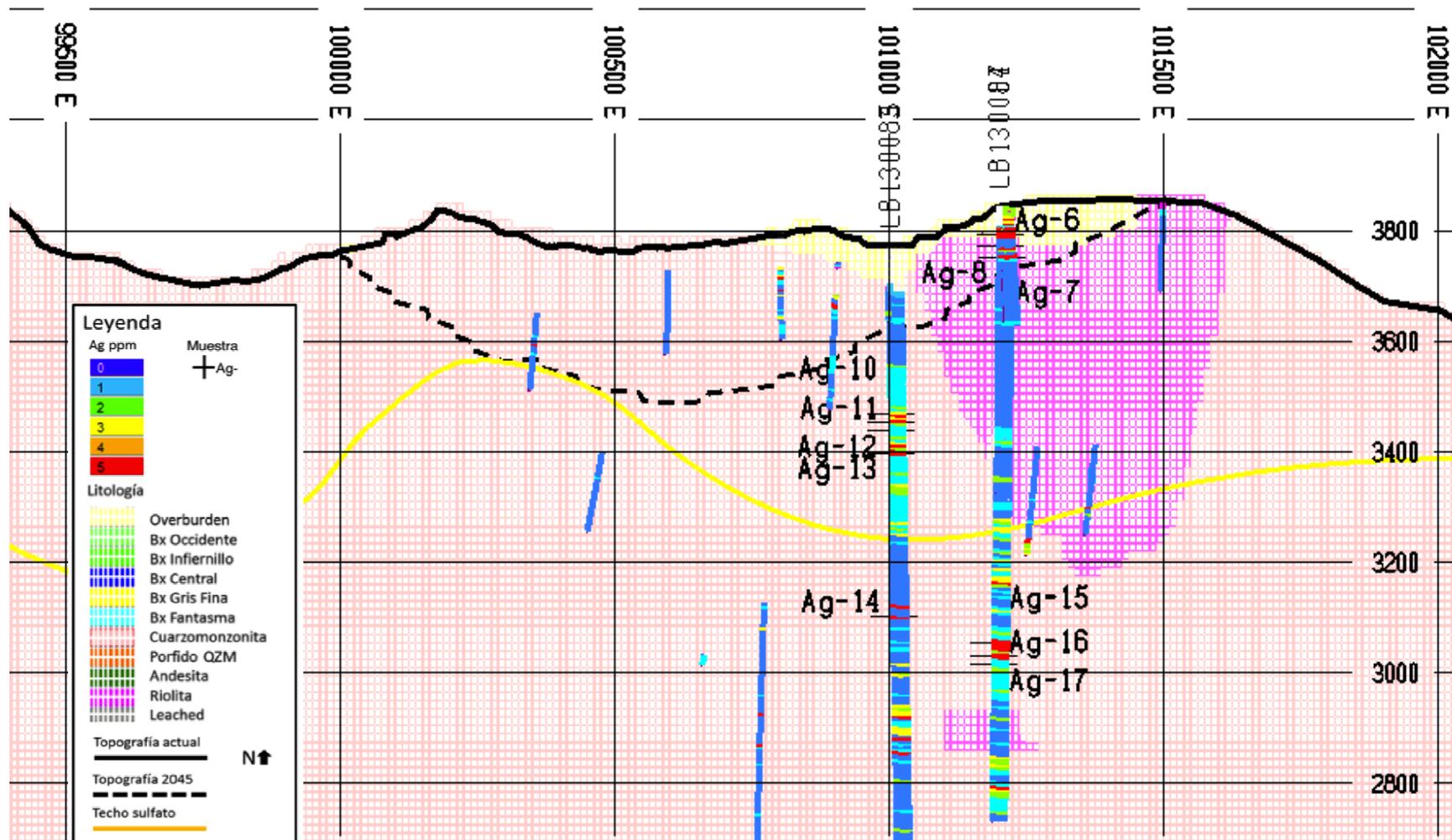


Figura 10. Ubicación toma de muestra en perfil A-A'

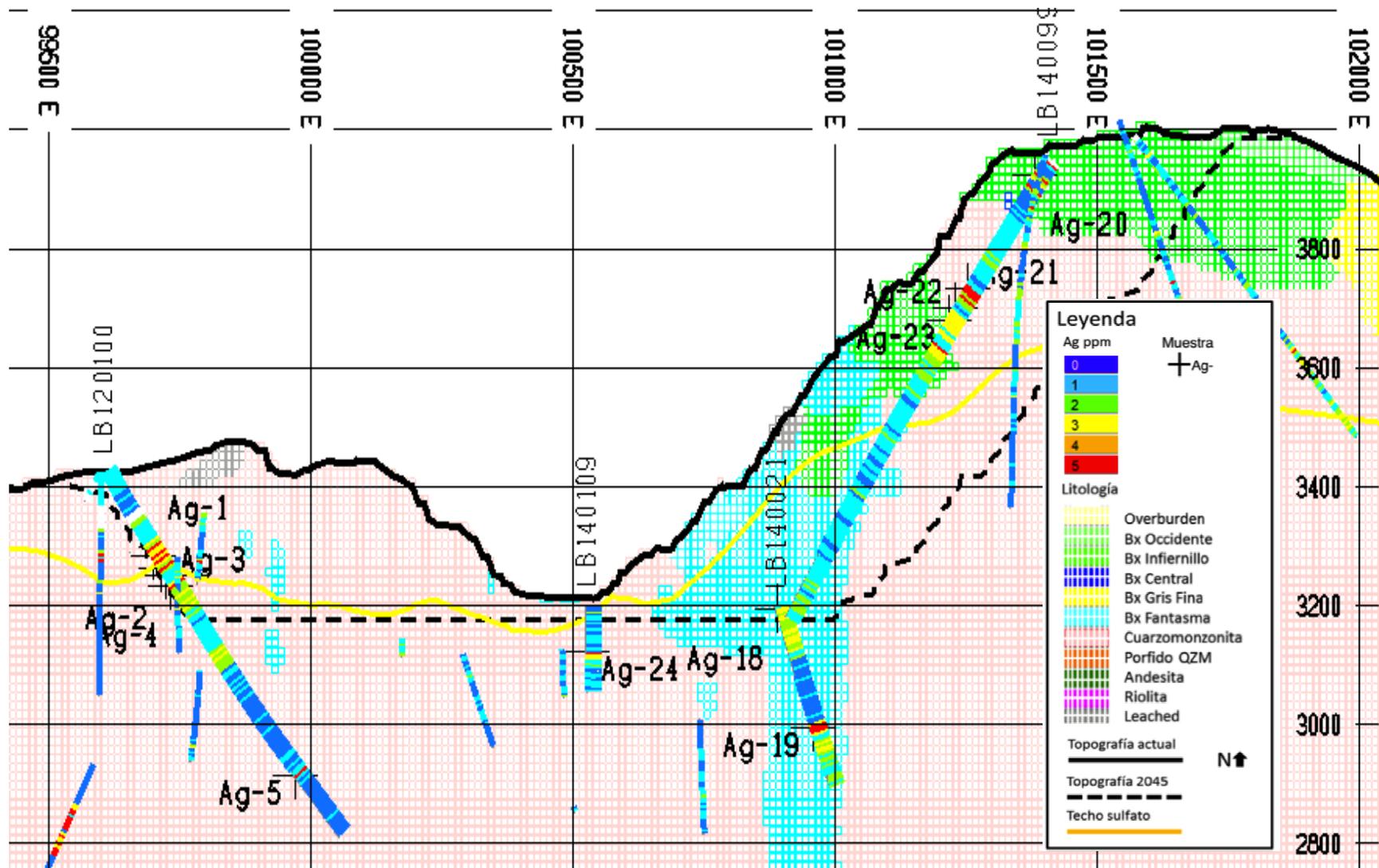


Figura 11. Ubicación toma de muestra en perfil B-B'

Muestra	Sondaje	Profundidad	Ag ppm	As ppm	Cu %	Litología	Alteración	Metodología
Ag-1	LB120100	170	7.9	5	4.3	Brecha Turmalina	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-BQ-CT-CP
Ag-2	LB120100	195	13.1	376	0.25	Cuarzomonzonita	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-BQ-TIMA
Ag-3	LB120100	210	1.1	122	0.19	Cuarzomonzonita	Clorita-Biotita	ICP
Ag-4	LB120100	230	8.4	47	2.37	Cuarzomonzonita	Sericita Gris Verde	ICP-DRX
Ag-5	LB120100	630	5.5	1140	1.05	Cuarzomonzonita	Potásica	ICP-DRX
Ag-6	LB130004	65	13.2	8	0.18	Overburden	N/A	ICP-DRX
Ag-7	LB130004	70	0.3	10	0.08	Riolita	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX
Ag-8	LB130004	110	10.7	2624	0.16	Riolita	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-CT-CP
Ag-9	LB130004	445	7.3	270	0.632	Cuarzomonzonita	Clorita-Sericita	ICP-DRX-BQ-TIMA-CT-CP
Ag-10	LB130085	295	1.4	10	0.26	Cuarzomonzonita	Potásica	ICP-DRX
Ag-11	LB130085	315	15.6	946	0.783	Cuarzomonzonita	Sericita Gris Verde	ICP-DRX-BQ-TIMA-CT-CP
Ag-12	LB130085	330	1	206	0.14	Cuarzomonzonita	Potásica	ICP-DRX-BQ
Ag-13	LB130085	375	16.2	1394	1.136	Cuarzomonzonita	Clorita-Sericita	ICP-DRX-CT-CP
Ag-14	LB130085	670	10.3	2	0.08	Cuarzomonzonita	Albita-Turmalina	ICP-DRX
Ag-15	LB130087	790	20	241	2.121	Cuarzomonzonita	Albita-Turmalina	ICP-DRX-BQ-TIMA-CT-CP
Ag-16	LB130087	815	20.7	266	0.589	Cuarzomonzonita	Clorita-Sericita	ICP-DRX-BQ-TIMA-CT-CP
Ag-17	LB130087	825	1.2	14	0.16	Cuarzomonzonita	Potásica	ICP-DRX
Ag-18	LB140021	610	5.9	12	0.96	Brecha anhidrita	Clorita-Biotita	ICP-DRX-TIMA
Ag-19	LB140021	885	6.9	5	0.486	Brecha Fantasma	Clorita-Biotita	ICP-DRX-BQ-TIMA
Ag-20	LB140099	35	24.8	5	0.637	Andesita	Clorita-Biotita	ICP-DRX-BQ-TIMA
Ag-21	LB140099	270	16.1	137	1.179	Cuarzomonzonita	Clorita-Sericita	ICP-DRX-BQ-TIMA
Ag-22	LB140099	305	0.9	5	0.298	Cuarzomonzonita	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-BQ
Ag-23	LB140099	325	4.8	9	0.24	Brecha Infiernillo	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-TIMA
Ag-24	LB140109	110.8	16.8	5	1.528	Brecha Fantasma	Potásica	ICP-DRX-BQ-TIMA
Ag-25	Terreno					Brecha Fantasma	Cuarzo-Sericita	ICP-DRX-CT-CP
Ag-26	Terreno					Veta polimetálica	Cuarzo-Arcillas	ICP-DRX-CT-CP

Tabla 1. Metodología aplicada a cada muestra. Ag-25 y Ag-26 son recolectadas en terreno por lo que en una primera instancia no se cuenta con información de leyes.

3.2.2. Muestreo

Para el muestreo se eligen 7 sondajes representativos, dentro de los perfiles de estudio. Estos son seleccionados por ser interesantes desde el punto de vista de anomalías de Ag. Como criterio para la selección de muestras, estas deben cumplir con:

- Estar dentro de los sondajes en estudio o punto en terreno,
- Ser zonas con anomalías de Ag,
- Abarcar las distintas hipótesis en estudio,
- Interceptar litologías y alteraciones hidrotermales relevantes al estudio.

3.2.3. Descripción Macroscópica

Se caracteriza macroscópicamente la zona de estudio mediante un relevo de los sondajes, además de una descripción en detalle dentro del sector de las muestras tomadas. Se caracteriza tanto la litología, alteración hidrotermal, estructuras y mineralogía de mena.

3.2.4. Microscopía óptica: descripción cortes pulidos y transparentes

El objetivo de esta etapa es contar con una descripción mineralógica, tanto de alteración como de mineralización metálica, además de caracterizar estructuras con mineralogía de mena.

Las muestras utilizadas corresponden a especímenes de sondajes, en tramos con anomalías de Ag y estructuras de interés, se realiza la descripción de 12 cortes pulidos y 12 cortes transparentes.

Esta técnica tiene como limitación que al ser especímenes, pueden no representar las zonas que correspondan a los eventos mineralizadores de Ag. También se tiene en cuenta que al ser pequeña la concentración de Ag, la identificación de minerales portadores de Ag es poco factible, por lo que esta etapa está enfocada en una caracterización de las zonas de anomalía y sus estructuras (vetillas).

3.2.5. Microscopía óptica: descripción de briquetas

El objetivo que se persigue con estas descripciones es obtener una caracterización cuantitativa de la cantidad de minerales de mena presente en la muestra.

Se realizan 12 descripciones de briquea. Las muestras tienen un soporte muestral de 5 metros y una granulometría de 20% +65# (malla Tyler) homogenizada, la cual es reducida a una muestra de 2.5 gramos.

Para la descripción de la briqueta se realiza un conteo de puntos, para el cual se emplea un retículo de 10 x 10 micrones, un lente ocular de 15x y un lente objetivo de 20x. Se realiza mediante un barrido línea a línea del retículo contando la mineralogía que intercepta los vértices de la retícula, contando al menos 600 puntos de mineralogía sin considerar minerales de ganga.

La técnica tiene como limitación el no poder correlacionar directamente la mineralogía de mena a un evento en particular debido a su soporte muestral, además de perder información texturales de la mineralogía.

3.2.6. Difracción de rayos X

El objetivo que se persigue con esta técnica es realizar un análisis de mineralógica con énfasis en la mineralogía de alteración, específicamente filosilicatos presente en las zonas de anomalías de Ag.

Se someten 25 muestras al análisis, el cual es encargado a un laboratorio externo. Las muestras tienen un soporte muestral de 5 metros, están homogeneizadas y tienen una granulometría de 95% < 150# (malla Tyler).

El análisis se realiza mediante un difractómetro Siemens D8. El software para el análisis de datos y cuantificación de datos corresponde a Diffract plus EVA v.2005.

La técnica tiene como limitaciones que puede identificar y cuantificar compuestos que se encuentren sobre 1% en peso de la muestra, además el soporte muestral conlleva que serán analizados distinto eventos en cada análisis.

3.2.7. ICP-Óptico

El objetivo que se persigue con esta técnica es obtener información de otros elementos presentes en las zonas de anomalía, con énfasis en Pb, Zn, Sb.

Se someten 27 muestras a un análisis químico mediante un ICP óptico, de 4 ácidos, y una batería de 38 elementos, encargado a un laboratorio externo. Las muestras tienen un soporte muestral de 5 metros, están homogeneizadas y tienen una granulometría de 95% < 150# (malla Tyler).

3.2.8. Mineralogía automatizada TIMA

TIMA (TESCAN integrated mineral analyzer) es un sistema integrado compuesto por: un microscopio de barrido electrónico y detectores EDS (energy dispersive X-ray), BSE (back scattering electrons) y SE (secondary electrons), además de un software que controla la adquisición y procesamiento de los datos.

El objetivo de este análisis es encontrar fases mineralizadas con Ag. Este estudio es encargado a un laboratorio externo y se realiza en dos etapas.

En la primera parte se desarrolla una librería mineral del depósito, también llamado lista SIP (special identification protocol), con el objetivo de calibrar la base de datos. Se seleccionan 20 especímenes de testigos de sondajes con un tamaño no menor a 10 centímetros. Estas muestras deben abarcar la mayor cantidad de mineralogía del depósito, por lo que son recolectadas de sondajes de toda la mina. Las muestras son descritas macroscópicamente, previo al envío, señalando litología, alteración y mineralización.

Procedimiento laboratorio

Las muestras son revisadas macroscópicamente mediante lupa binocular. Posteriormente se selecciona una zona para realización de corte, encapsulamiento y pulido. Estos cortes son revisados mediante luz reflejada en microscopio óptico.

Finalmente la superficie de la muestra es bañada con una capa de grafito, para ser sometido a un equipo de Barrido de Electrones y detectores EDS. Se identifican los espectros EDS y son agregados a la librería mineral.

En la segunda etapa se desarrolla la búsqueda de minerales portadores de plata, mediante una técnica de búsqueda llamada BSP (bright search phases), la cual está condicionada por el uso del detector BSE, el cual capta estas señales y le otorga un rango de brillo característico dependiendo del peso atómico promedio de la especie mineral. Esto quiere decir que dentro de un campo de análisis, los minerales cuyo peso atómico promedio son más elevado (ej: minerales de oro y plata), presentarán una mayor dispersión de electrones "BSE", por lo tanto reflejarán un brillo mayor.

Para este estudio se enviaron 15 muestras de pulverizado con un soporte muestral de 5 metros y una granulometría de 20% +65# (malla Tyler).

Procedimiento laboratorio

Las muestras son encapsuladas (se generan briquetas), luego pulidas y grafitadas antes de ingresar al microscopio de barrido. Una vez dentro del equipo se emite un haz de electrones que interactúa con la superficie de la muestra excitando los electrones de la muestra, los cuales son captados por diversos detectores (EDS, BSE y SE). Estos datos son procesados y analizados.

3.3. Modelamiento de distribución mineral

3.3.1. Estudio Variográfico.

El estudio se realiza por dominios que son en función de los resultados obtenidos en el estudio de ocurrencia, la correcta interpretación de los eventos de mineralización de Ag y la disposición espacial de las muestras.

Para el análisis variográfico, previamente se revisa la estadística descriptiva de la población en estudio con el fin de excluir valores atípicos y duplicados de datos, además de corroborar que estemos en presencia de una sola población de plata. Luego se realiza estudio de anisotropías mediante mapas variográficos. Se genera un variograma experimental, el cual es ajustado por un variograma teórico. Para la validación del modelo se utiliza método de validación cruzada.

3.3.2. Modelamiento distribución

Mediante el software Leapfrog se realiza la interpolación de leyes de Ag, utilizando kriging ordinario. Posterior a esto se traza volúmenes de isoleyes de plata, específicamente para los valores de 1.8 ppm y 3 ppm. La interpolación se realiza para cada dominio definido previamente, utilizando su variograma teórico correspondiente.

Capítulo 4 Resultados

4.1. Análisis exploratorio de datos en estudio

Para este estudio se trabaja con datos de 177 sondajes distribuidos en tres grandes áreas: Donoso al norte, Infiernillo al sur y Los Bronces Sur en el sur-este. Estos sondajes cuentan con 24707 datos de análisis químicos de plata, que contienen además leyes de arsénico, cobre total, cobre soluble y molibdeno, a un soporte de 5 metros. También se cuenta con información de litología, alteración hidrotermal y mineralogías principales.

Los análisis químicos son realizados mediante absorción atómica y presentan valores de detección de 0.1 ppm para la plata. Cabe destacar que todos los datos en el estudio presentan como mínimo este valor, por lo que no se le hizo corrección a los datos de plata.

La plata presenta una distribución log-normal, con valores desde 0,1 ppm hasta 94.4 ppm. La media es de 1.462 ppm, el resumen de la estadística descriptiva se observa en la tabla 2 y en el gráfico 1.

Estadística	AG ppm
No. de observaciones	24707
Mínimo	0.100
Máximo	94.400
1° Cuartil	0.500
Mediana	1.000
3° Cuartil	1.800
Media	1.462
Varianza (n-1)	3.927
Desviación típica (n-1)	1.982

Tabla 2. Estadística descriptiva leyes Ag en estudio.

En cuanto a la relación de contenido de plata y litología, se observa una concentración mayor en brechas, resaltando la brecha Donoso, Infiernillo y Monolito (gráfico 2). En cuanto a la relación con la alteración se observa una mayor concentración en la alteración cuarzo - sericita (Gráfico 3).

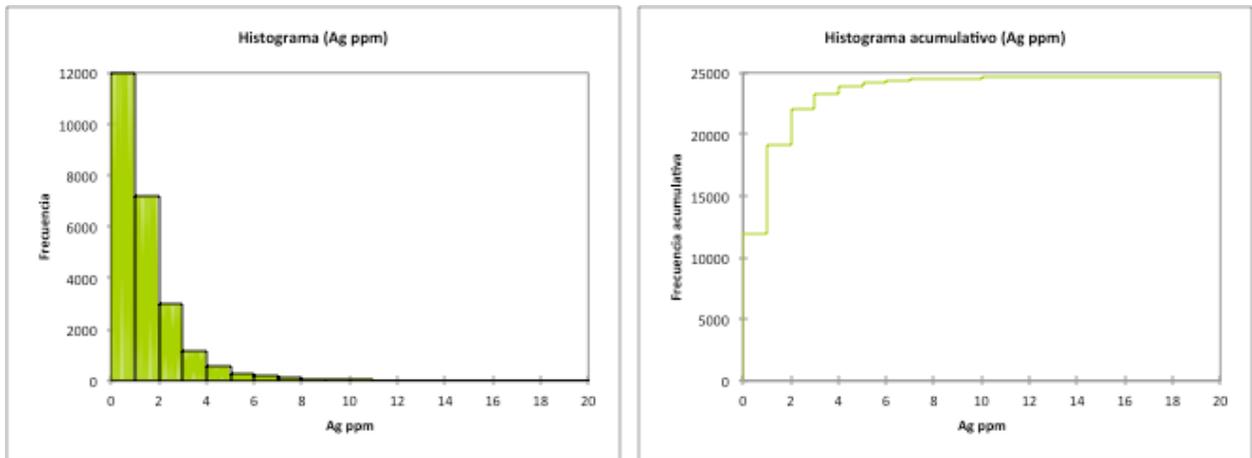


Gráfico 1. Histograma e histograma acumulativo leyes Ag en estudio.

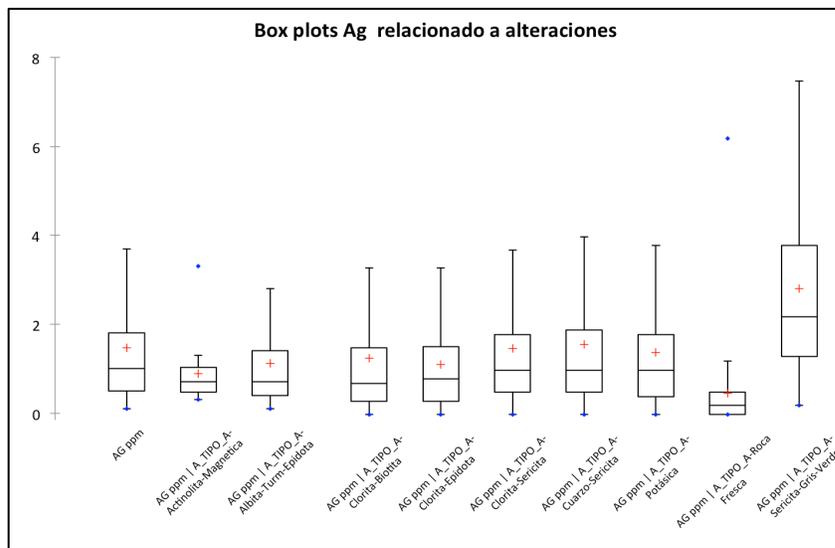


Gráfico 2. Diagrama boxplots leyes Ag según alteraciones, de este estudio se excluyeron datos de alteración argílica por contar con baja cantidad de datos (7 datos).

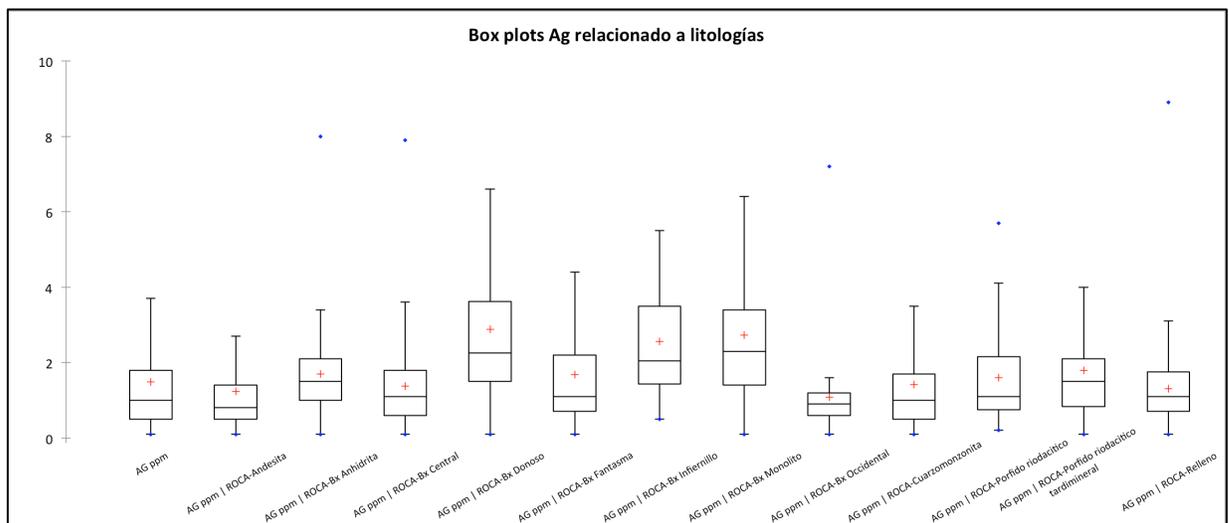


Gráfico 3. Diagrama boxplots leyes Ag según litología.

4.2. Descripción mineralógica

Los resultados son agrupados en dos poblaciones con el fin de verificar la hipótesis que se maneja: existen varios eventos de mineralización. Para esto una población es definida como de alto arsénico, mayor a 20 ppm, debido a que el arsénico está asociado a eventos tardíos en el depósito. La otra población es definida bajo arsénico, con el fin de estudiar posible presencia de Ag en estructuras de sulfuros de cobre. El valor de corte para ambas poblaciones, 20 ppm de ley de As, es definido en función del valor background de arsénico en el depósito.

Por último cabe recordar que las muestras fueron seleccionadas en función de leyes de Ag, entre otras características (ver metodología), pero las leyes químicas tienen un soporte de 5 metros, por lo que es posible que varios eventos se dispongan en el mismo tramo de la muestra.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de las descripciones de muestras de mano y descripciones mediante microscopía óptica de briquetas, cortes pulidos y cortes transparentes (descripciones completas en anexos B, C y D).

4.2.1. Descripción mineralógica población alto arsénico:

Los minerales que predominan en esta población son pirita y calcopirita, presente en todas las muestras. Se presentan de forma diseminada, incluidas en la matriz de brechas y vetas desde tempranas tipo A hasta tardías tipo D tardías.

La calcopirita se presenta en textura de entrecrecimiento con bornita y pirita, en etapas tempranas y principales de mineralización del sistema. En la etapa tardía se presenta el reemplazo de calcopirita por bornita (figura 12).

También se encuentra de forma ocluida en cristales de esfalerita, asimismo en entrecrecimiento con galena y esfalerita (figura 13), y en una última etapa asociada a sulfosales como tenantita y enargita, además de especularita. En zonas de enriquecimiento secundario presenta textura de reemplazo en bordes y fracturas por calcosina.

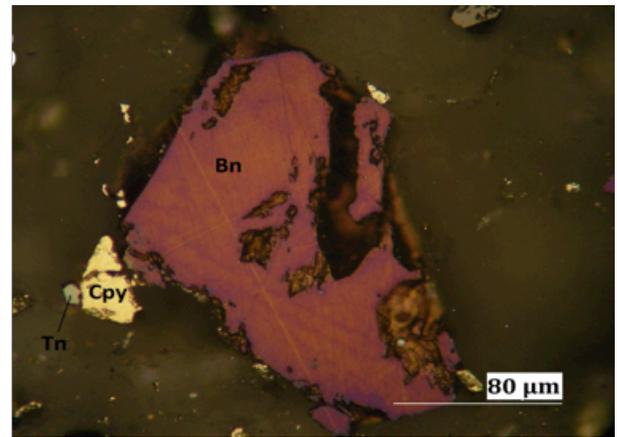
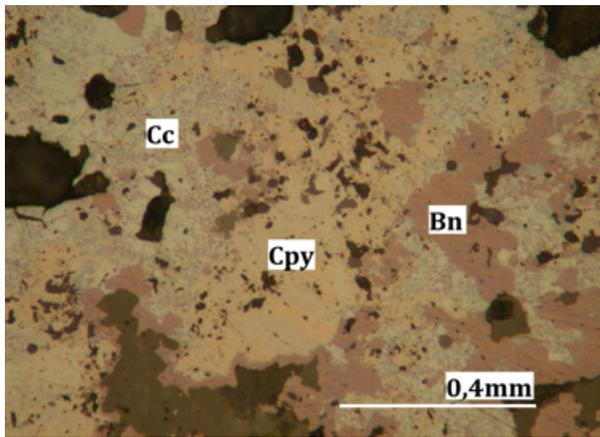


Figura 12. Izquierda: Corte pulido con calcopirita siendo reemplazada por bornita y calcosina, a su vez bornita igual es reemplazada por calcosina. Derecha: Muestra de briqueta, reemplazo total de calcopirita por bornita (cristal grande central). Se observa calcopirita sin reemplazo (otro evento).

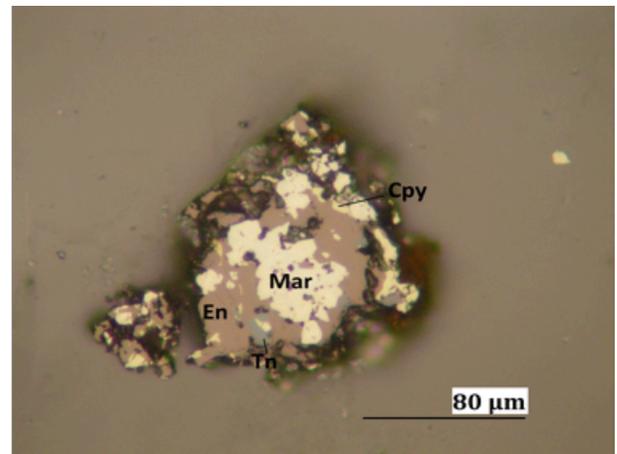
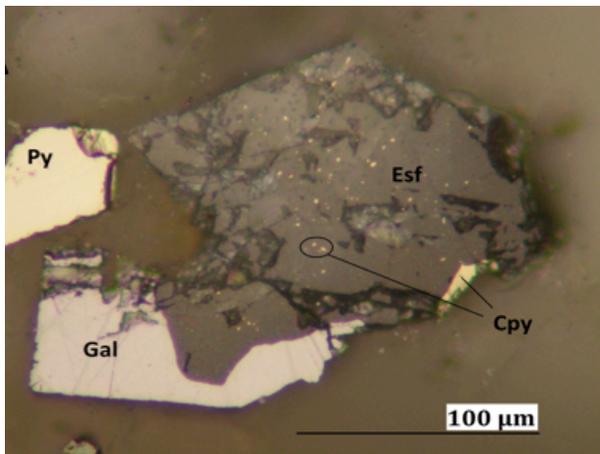


Figura 13. Izquierda: Muestra briqueta con asociación galena, esfalerita y calcopirita, esta última ocluida en esfalerita. Grano liberado de pirita. Derecha: Muestra de briqueta, asociación tenantita, marcasita, calcopirita y esfalerita. Marcasita en reemplazo de pirita.

La pirita presenta un comportamiento similar a la calcopirita en los eventos temprano y principal. En la etapa tardía (vetas tipo D y D tardía) es reemplazada por marcasita, cuando ésta se encuentra asociada a sulfosales (figura 13).

Los minerales portadores de arsénico, presentes en los tramos de estudio, corresponden mayoritariamente a enargita y tenantita, aunque también se observa menor tetraedrita y luzonita. Se presentan mayoritariamente como relleno en vetillas de eventos tardíos, aunque también se observa, en menor medida, diseminados en halos de estas vetillas. Presentan texturas de entrecrecimiento con calcopirita y en menor cantidad se observa con calcopirita, bornita, marcasita, galena y esfalerita.

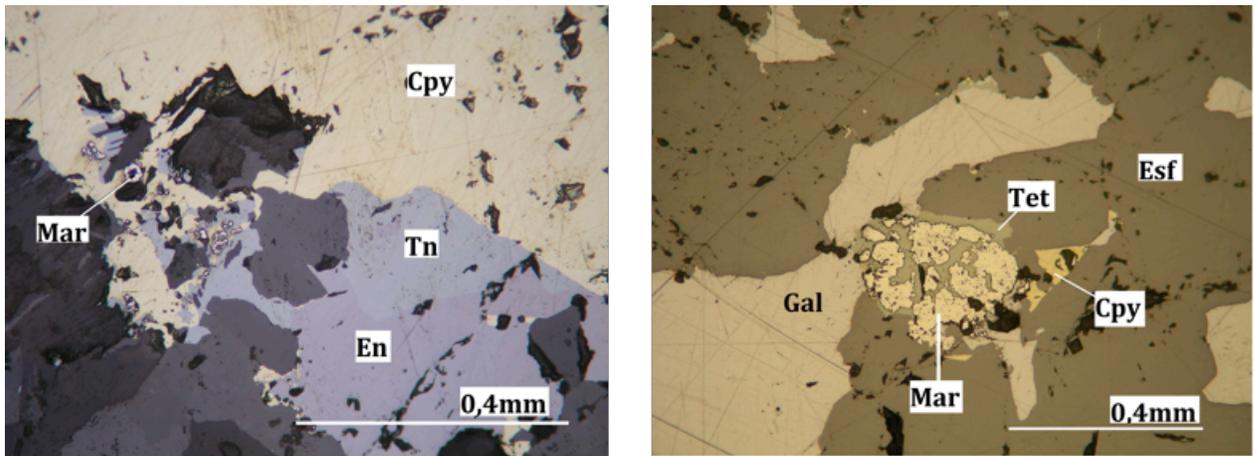


Figura 14. Izquierda: Corte pulido, asociación tenantita, enargita, calcopirita y marcasita. Derecha: Corte pulido, asociación esfalerita, galena, tetraedrita, calcopirita y marcasita en reemplazo pirita

La esfalerita y la galena son los minerales que siguen en importancia en esta población. Se presentan básicamente en vetas tardías con relleno cuarzo, y con halo de arcillas y sericita. Estos minerales presentan textura de entrecrecimiento entre ellos, además de calcopirita. Es común observar calcopirita ocluida en cristales de esfalerita. También se observan asociados a las sulfosales previamente descritas.

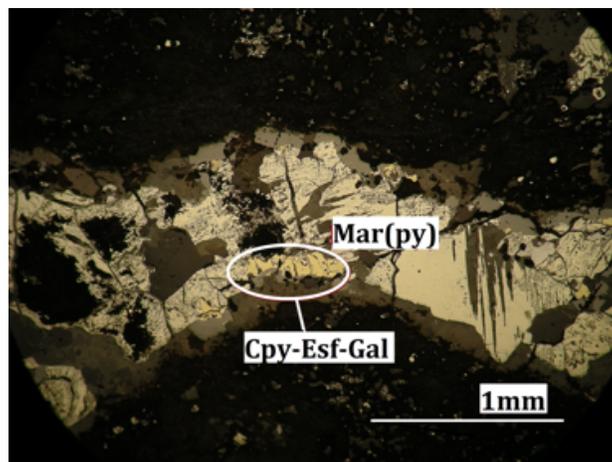


Figura 15. Corte pulido, veta tardía con relleno de marcasita en reemplazo de pirita y bordes de calcopirita, esfalerita y galena.

En la descripción de algunas briquetas, se observa la presencia de bornita. Esta se observa en entrecrecimiento y también como reemplazo de calcopirita. Es reemplazada por calcosina al igual que la calcopirita, pero se presenta con reemplazo selectivo por covelina.

En la zona de estudio se encuentran presentes dos vetillas de interés, las cuales corresponden a un evento tardío. Las vetillas clase D presentan un relleno principalmente de cuarzo, pirita y calcopirita, presentando un halo de sericita y arcillas. En estas vetillas es común la aparición de tenantita,

enargita, galena y esfalerita. Se observa en una muestra una zonación lateral de pirita (marcasita) a asociación calcopirita, tenantita, esfalerita. (figura 15).

Las otras vetillas, de interés, presentes corresponden a vetillas D tardía, las cuales presentan un relleno de cuarzo, especularita y pirita, con menor calcopirita, poseen un halo sericítico con arcillas. En estas vetas se observa al igual que en las anteriores cantidades importantes de esfalerita, galena, tenantita.

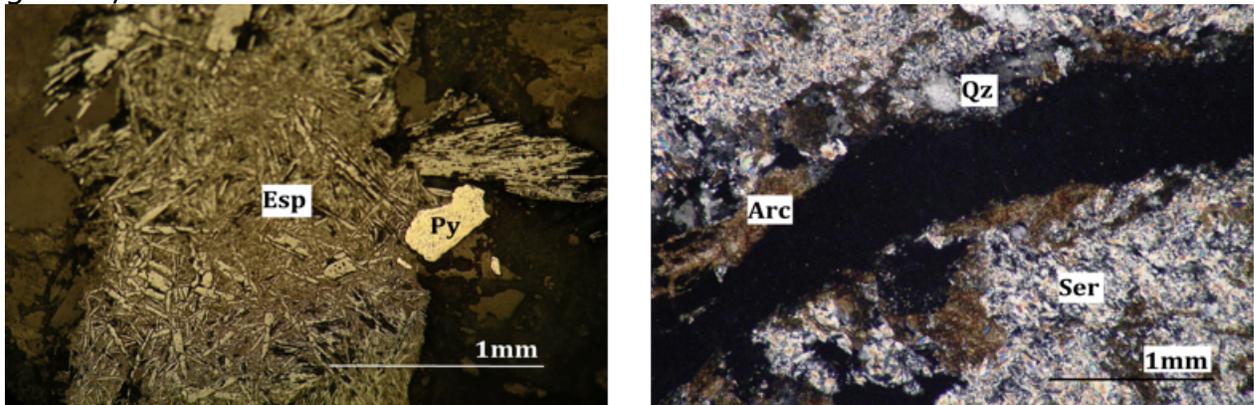


Figura 16. Izquierda: Corte pulido, veta tardía de especularita y pirita. Derecha: Corte transparente, halo de veta tardía de arcillas y cuarzo gradando a sericita

Las alteraciones que se observan en este grupo corresponden a sericita dominante en reemplazo de feldespatos, muchas veces obliterando la textura, con cuarzo secundario en vetillas y arcillas asociadas a halos de vetillas, muy local. Hay presencia de turmalina y anhidritas intersticiales.

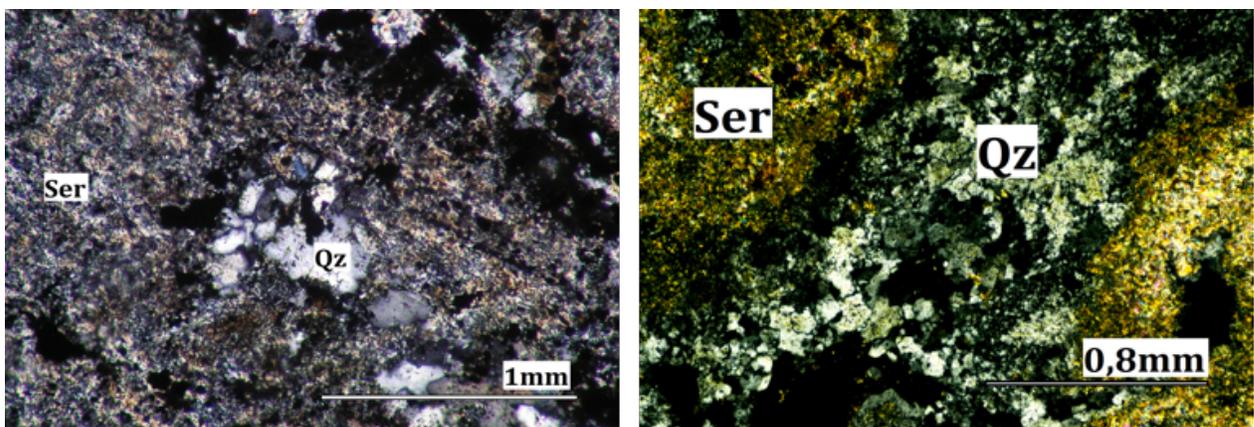


Figura 17. Izquierda: Corte transparente con alteración de tipo sericita cuarzo. Derecha: Corte transparente con vetilla de cuarzo inserta en roca con textura obliterada por alteración filica

4.2.2. Descripción mineralógica población bajo arsénico:

La calcopirita es el mineral más abundante en esta población, se encuentra tanto diseminado, en matriz y en vetillas de eventos tempranos y principal. Se presenta junto a Pirita con textura de entrecrecimiento. Misma textura ocurre con bornita. También se observa reemplazada por calcosina.

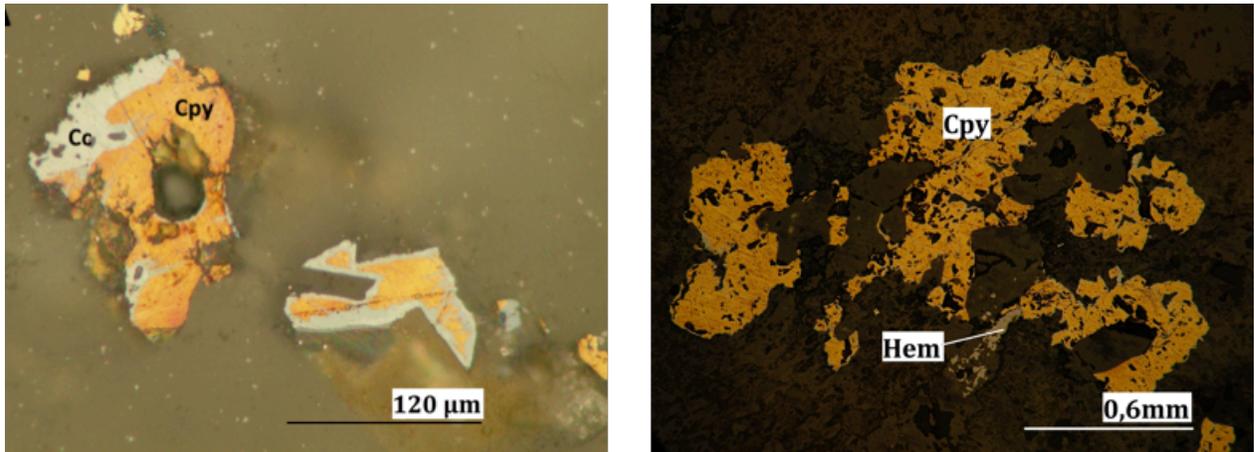


Figura 18. Izquierda: Muestra briqueta reemplazo de calcopirita por calcosina. Derecha: Corte pulido con asociación calcopirita y hematina.

La pirita es el segundo mineral más abundante en esta población, aparece en todas las muestras de estudio, y presenta una ocurrencia similar a la de la calcopirita.

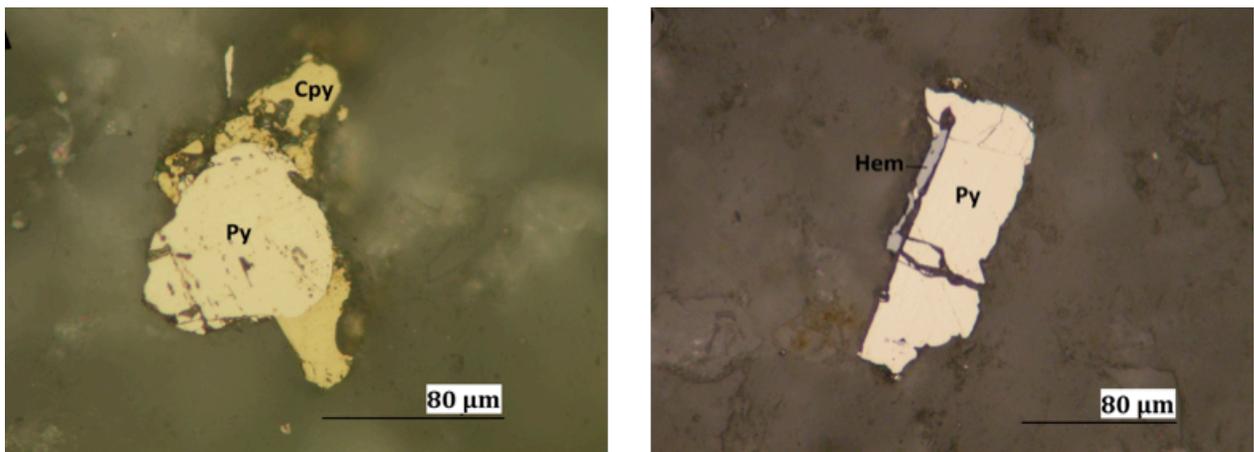


Figura 19. Izquierda: Muestra briqueta, asociación pirita con calcopirita. Derecha: Muestra briqueta asociación pirita hematita.

La bornita es el tercer mineral de mena en importancia en la población, se encuentra en vetillas tempranas y transicionales, también se presenta de forma diseminada, especialmente en brechas.

Existe zona con enriquecimiento secundario, siendo calcosina el mineral más común reemplazando a calcopirita y bornita. En menor medida aparece covelina en forma de reemplazo selectivo de bornita. Hay presencia de molibdenita generalmente a nivel traza.

En la población de estudio se distinguen vetillas pertenecientes al evento principal y temprano, se observan mayoritariamente vetillas de tipo A y C3. Las vetillas de clase A presentan mayoritariamente cuarzo y anhidrita intersticial además de mineralización de calcopirita, bornita y pirita, no poseen halo. Las vetillas del tipo C3 se presentan con relleno de turmalina y cuarzo y mineralización de pirita, con menor calcopirita, presentan un halo cuarzo sericítico.

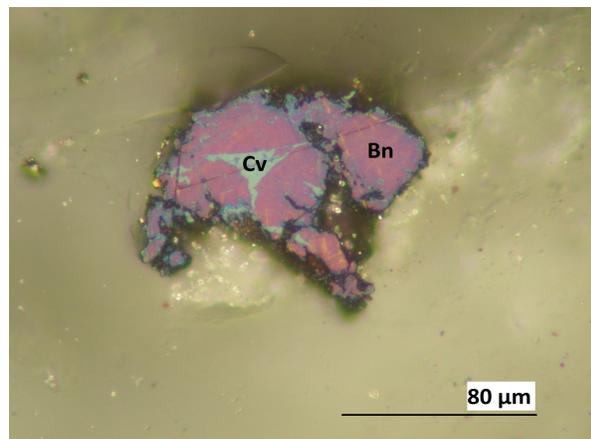


Figura 20. Muestra briqueta, covelina reemplaza a bornita.

Las alteraciones presentes en esta zona abarcan desde estados tempranos, hasta la alteración fílica caracterizados por dominio de cuarzo sericita, pero se observan mayor cantidad de feldespatos potásicos, clorita y turmalina.

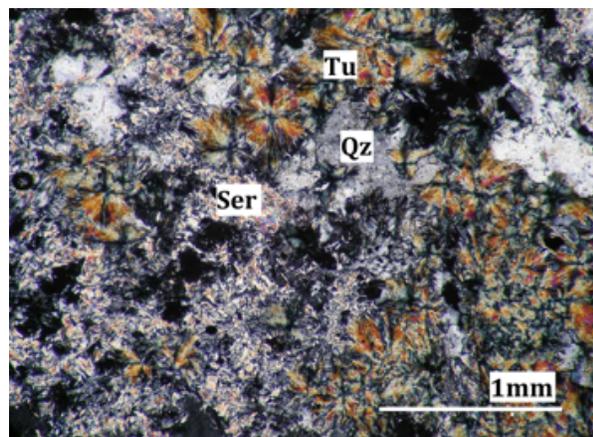


Figura 21. Corte transparente, alteración sericita, cuarzo con presencia de turmalina

4.3. Difracción de rayos X

En la tabla 3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para las 27 muestras realizadas (resultados completos en anexo E).

Se observa que las especies mayoritarias corresponden a cuarzo con un 34.1%, illita con 19.2% y oligoclasa con un 11.5 %. Para estos promedios no son consideradas las muestras de veta de terreno. Salvo la illita, no se distinguen mas filosilicatos del grupo de las arcillas. Estos datos son bastantes similares tanto en la población con bajo arsénico como en la de alto arsénico.

Muestra	Minerales	Ley Ag
Ag-1	Qz - Il - Cpy	7.9
Ag-2	Qz - Il - Ms - Sd - Ys	13.1
Ag-4	Qz - Il - Ys - Ms - Cpy - Chl - Py	8.4
Ag-5	Qz - Il - Ms - Sd - Ys - Py	5.5
Ag-6	Qz - Il - Pl - Or - Chl - Ms - Bt	13.2
Ag-7	Pl - Qz - Il - Bt	0.3
Ag-8	Ms - Qz - Il - Or - Pl - Sd	10.7
Ag-9	Qz - Or - Pl - Ms - Sd - Il	7.3
Ag-10	Qz - Pl - Ms - Or - Chl	1.4
Ag-11	Il - Qz - Sd - Py	15.6
Ag-12	Pl - Qz - Ms - Or	1
Ag-13	Qz - Il - Or - Sd - Py - Cpy	16.2
Ag-14	Pl - Qz - Or - Bt - Ms - Chl	10.3
Ag-15	Or - Qz - Il - Pl - Cpy - Bt - Chl - Ms	20
Ag-16	Qz - Pl - Il - Or - Ms - Sd - Bt - Py	20.7
Ag-17	Pl - Qz - Or - Ms - Bt - Chl	1.2
Ag-18	Pl - Qz - Ms - Chl - Anh	5.9
Ag-19	Pl - Qz - Il - Ms - Anh - Chl - Bt	6.9
Ag-20	Qz - Il - Pl - Chl - Py - Ms - Bt - Sd - Cpy	24.8
Ag-21	Qz - Il - Pl - Chl - Bt	16.1
Ag-22	Qz - Il - Chl - Ms - Py	0.9
Ag-23	Qz - Il - Chl - Pl - Ms - Cpy	4.8
Ag-24	Qz - Pl - Or - Ms - Il - Anh - Chl	16.8
Ag-25	Qz - Il - Bt - Ms - Py	1.1
Ag-26	Hm - Py - Qz - Cpy - Ms	2.5

Tabla 3. Resumen minerales identificados mediante difracción de rayos X

Ambas poblaciones difieren en el contenido de siderita (grafico 4), siendo importante en la población de alto arsénico y casi inexistente en la otra. La mica dominante varía de acuerdo a cada población, siendo la muscovita de mayor importancia en población arsenical, en la otra población existe una mayor presencia de clorita. La presencia de sulfatos es más

común en las muestras sin contenido de As, siendo importante la presencia de anhidrita. Las poblaciones también difieren en contenido de plagioclasas, se observa en la población de bajo arsénico un gran contenido de oligoclasa.

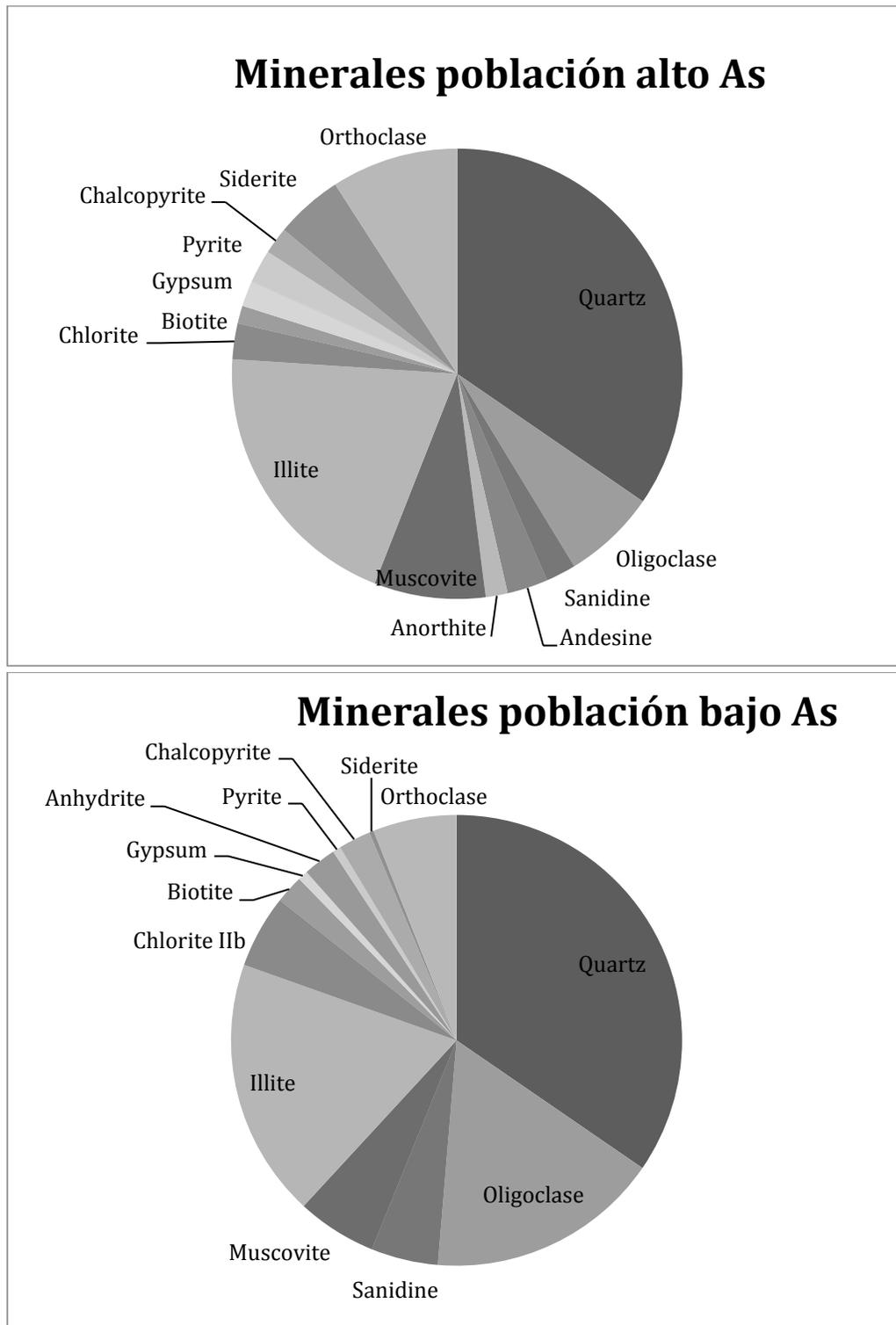


Gráfico 4. Arriba: minerales identificados mediante DRX en población alto As (>20ppm). Abajo: minerales identificados mediante DRX en población bajo As.

4.4. Análisis químico

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los análisis químicos mediante ICP-Óptico (para una revisión de los resultados en detalle ver anexo E).

A un nivel general, se toman en cuenta los análisis obtenidos para el muestreo de este estudio, además de datos de análisis químicos de alimentación mina. De los 37 elementos analizado, se observa una correlación de plata con Pb, Zn, Bi, Sb, Cd, Cr, Mn, Te, Cu y As. Solo se observa una pequeña tendencia negativa con Na (tabla 4). Este comportamiento también se ve reflejado en diagramas de dispersión (gráfico 5), para estos diagramas se utilizaron datos de muestras de alimentación a planta, a modo de comparar, estas muestras reflejan el material enviado a planta durante 8 horas.

Al comparar el comportamiento de las muestras calificadas con alto arsénico, ligadas a los eventos más tardíos del sistema con las muestras con un contenido de arsénico inferior al background, se observa que para estas muestras poseen un porcentaje similar de cobre (un poco mayor a 1%), pero los valores de los elementos metálicos aumentan considerablemente en el evento tardío, con una buena concentración de Zn, Pb y Sb. También hay presencia, aunque en menor cantidad, de estos elementos en la otra población (tabla 5).

	<i>Ag</i>	<i>As</i>	<i>Bi</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Mn</i>	<i>Pb</i>	<i>Sb</i>	<i>Te</i>	<i>Zn</i>	<i>S</i>	<i>Na</i>
Ag	1.												
As	0.31	1.											
Bi	0.57	0.18	1.										
Cd	0.41	0.42	0.24	1.									
Cr	0.45	0.12	0.24	0.09	1.								
Cu	0.46	0.17	0.12	0.12	0.03	1.							
Mn	0.57	0.32	0.23	0.38	0.41	-0.01	1.						
Pb	0.55	0.49	0.48	0.72	0.34	0.01	0.42	1.					
Sb	0.52	0.59	0.29	0.35	0.3	0.22	0.49	0.47	1.				
Te	0.24	0.08	0.16	0.43	0.12	0.18	0.35	0.07	0.1	1.			
Zn	0.53	0.16	0.38	0.1	0.16	0.4	0.18	0.23	0.3	0.08	1.		
S	0.34	0.06	0.06	0.33	0.27	0.18	0.16	0.31	0.08	0.08	0.08	1.	
Na	-0.25	-0.27	-0.17	-0.35	-0.06	-0.38	-0.18	-0.16	-0.24	-0.22	-0.1	-0.32	1.

Tabla 4. Correlación de Pearson.

Muestra	Ag ppm	As ppm	Bi ppm	Cd ppm	Cr ppm	Cu %	Mn ppm	Na %	Pb ppm	S %	Sb ppm	Te ppm	Zn ppm
Ag-1	9.1	11	0	0	15	4.33	54	0.62	7	2.4	8	2	57
Ag-2	4.1	388	0	2	240	0.27	2511	0.4	23	1.49	91	13	108
Ag-3	3	122	2	0	249	0.19	2119	1.1	20	0.88	8	13	105
Ag-4	10.2	47	0	0	335	2.37	120	0.51	11	6.62	18	0	64
Ag-5	7.7	1140	19	2	153	1.05	1323	0.49	40	3.6	295	6	233
Ag-6	3.1	8	0	0	117	0.18	469	1.49	19	0.3	5	5	126
Ag-7	2.8	10	0	0	108	0.08	364	3.26	27	0.06	10	0	163
Ag-8	13.1	2624	2	34	85	0.16	2013	1.03	1688	3.94	153	7	>10000
Ag-9	11.1	354	0	2	465	0.64	3370	1.22	93	0.59	62	3	766
Ag-10	2.6	10	0	0	263	0.26	371	1.58	30	0.22	6	6	110
Ag-11	16.9	1042	98	18	423	0.8	542	0.39	1741	2.1	163	0	4446
Ag-12	2.6	206	0	0	803	0.14	451	1.72	12	0.11	13	0	64
Ag-13	18.3	1580	8	15	363	1.2	2448	0.34	638	3.46	529	9	2661
Ag-14	2.7	2	0	0	305	0.08	244	3.15	10	0.04	0	0	52
Ag-15	20.9	250	0	2	215	3.5	585	1.21	20	2.43	178	4	218
Ag-16	23.2	430	0	25	502	0.63	2413	0.56	1381	2.5	51	5	7051
Ag-17	3.1	14	0	0	347	0.16	542	2.61	21	0.16	8	6	133
Ag-18	4.3	0	0	0	183	0.96	212	3.39	6	2.15	0	2	78
Ag-19	2.4	0	0	0	271	0.48	283	1.96	9	2.74	0	1	90
Ag-20	30.8	209	65	5	307	1.25	1996	1.03	135	9.13	23	20	463
Ag-21	3.5	0	0	1	278	0.3	361	2.06	6	1.43	0	14	100
Ag-22	0.9	9	0	1	300	0.24	514	1.59	7	2.66	3	18	124
Ag-23	6.9	0	0	2	374	1.49	542	0.78	9	2.47	0	3	126
Ag-24	1.9	0	0	0	296	0.62	212	2.18	10	2.08	3	3	81
Ag-25	1.1	615	0	2	146	0.92	54	0.51	54	3.42	0	5	99
Ag-26	2.5	523	8	12	160	1.04	988	0.74	80	10	19	54	224

Tabla 5. Resumen resultados ICP

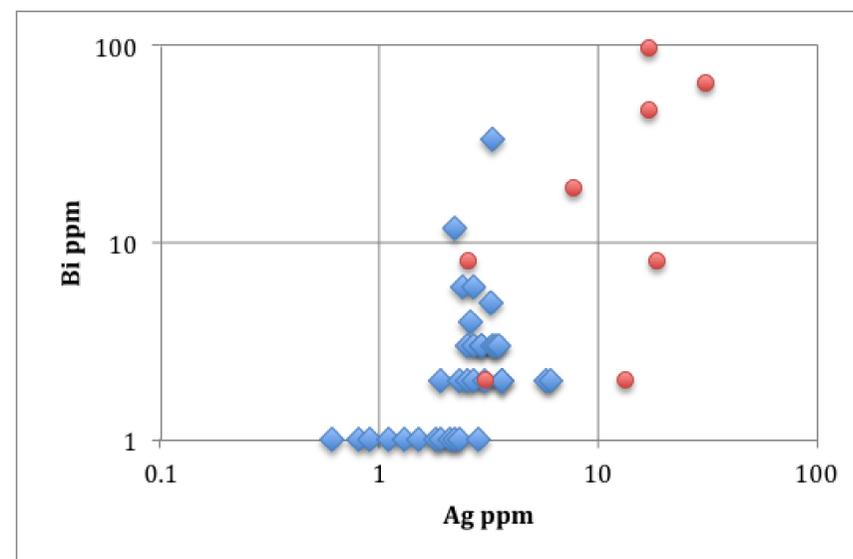
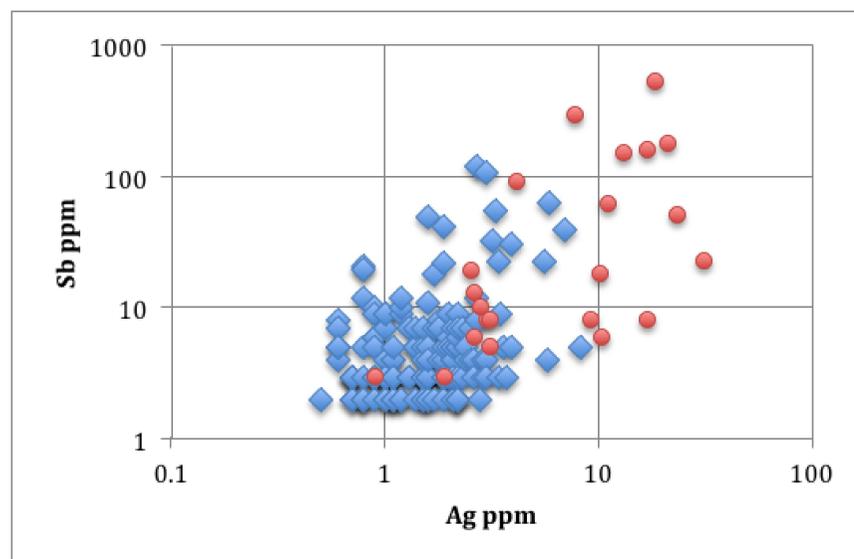
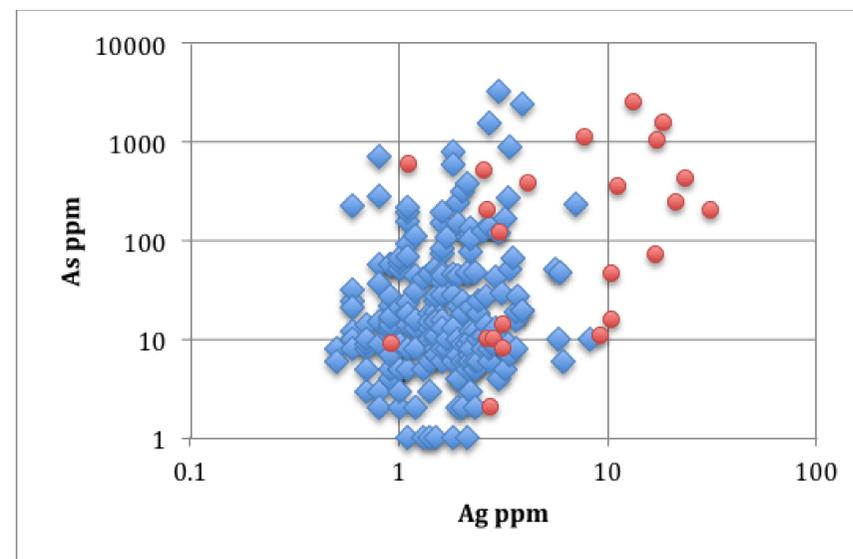
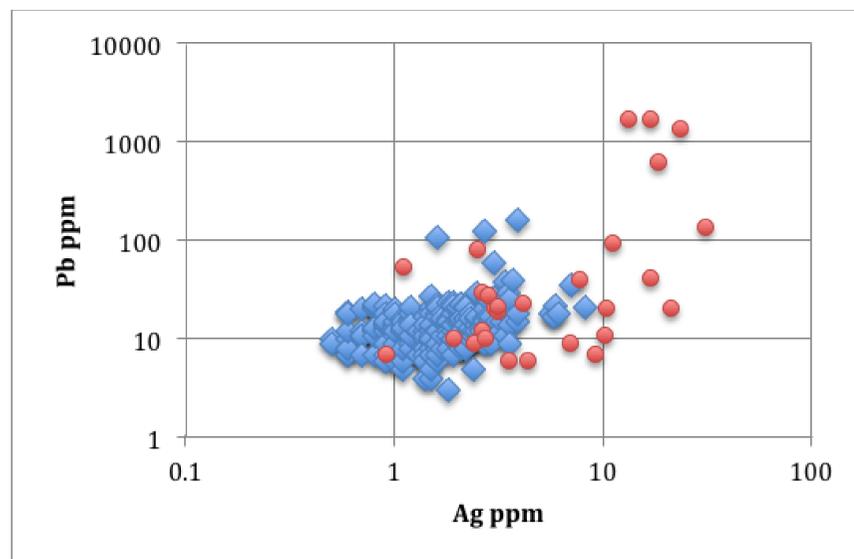


Gráfico 5. Dispersión log-log de Ag/Pb; Ag/As; Ag/Sb; Ag/Bi. Serie en círculos rojos corresponde a datos trabajados para el proyecto plata. Serie en azul corresponde a datos de alimentación

4.5. Mineralogía automatizada TIMA

A continuación se presenta un resumen de los análisis de BSP (para una revisión completa de los resultados ver anexo F).

A pesar del bajo contenido de Ag en las muestras (13 ppm promedio) se logró determinar en 6 de las 15 muestras en estudio (40%) fases minerales portadoras de Ag, identificando 4 minerales:

- Matildita $AgBiS_2$
- Freibergita $Ag_6[Cu_4Fe_2]Sb_4S_{13-x}$
- Hessita Ag_2Te
- Berryita $Cu_3Ag_2Pb_3Bi_7S_{16}$

Los principales minerales de ganga que acompañan a fases portadoras de Ag, en las muestras en estudio, corresponden a Cuarzo (15%), circón (6%), y feldespato potásico (3%).

Los principales minerales metálicos, detectados por la búsqueda de fases brillantes, corresponden a pirita (38%), galena (3%), hematita/magnetita (1%), calcopirita (1%).

También se destaca la presencia de Esfalerita, Enargita/tenantita, tetradimita, torita, ankerita.

Freibergita

Se distingue en dos muestras, Ag-16 y Ag-21. Una en sector sur (Ag-21), en el sondaje lb140099 en el tramo 270 a 275, se encuentra hospedada en cuarzomonzonita, por sobre el techo de sulfato y presenta una alteración, a grandes rasgos, de cuarzo sericita.

La otra muestra se ubica en el sector norte en el sondaje lb130087 en el tramo 815-820m. Se encuentra hospedada en una roca Cuarzomonzonita, presentando una alteración, a grandes rasgos, clorita sericita. La muestra está ubicada por el techo de sulfato asociado a una zona de alto arsénico.

La freibergita en la muestra del sector sur, se observa en asociación con matildita y pirita, donde se observa claramente un plano de separación entre la pirita y la freibergita (figura 22).

La muestra del sector norte se encuentra en asociación a pirita y calcopirita, presentándose como láminas finas entremedio de los granos mixtos (figura 23).

El tamaño de los granos de Freibergita fluctúa entre 4,7 – 15 µm

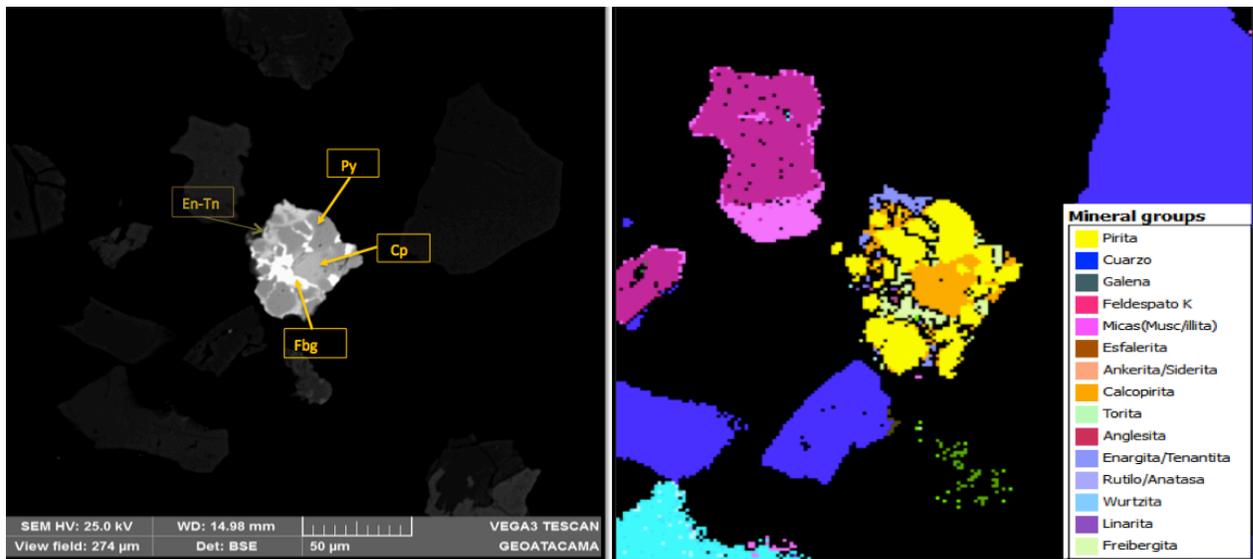


Figura 22. Imagen BSE, asociación de sulfuros en un grano mixto. Se observan proporciones mayores de pirita (Py) en contacto con agregados anhedrales de calcopirita (Cp) y láminas finas de freibergita (Fbg) y tenantita/enargita.

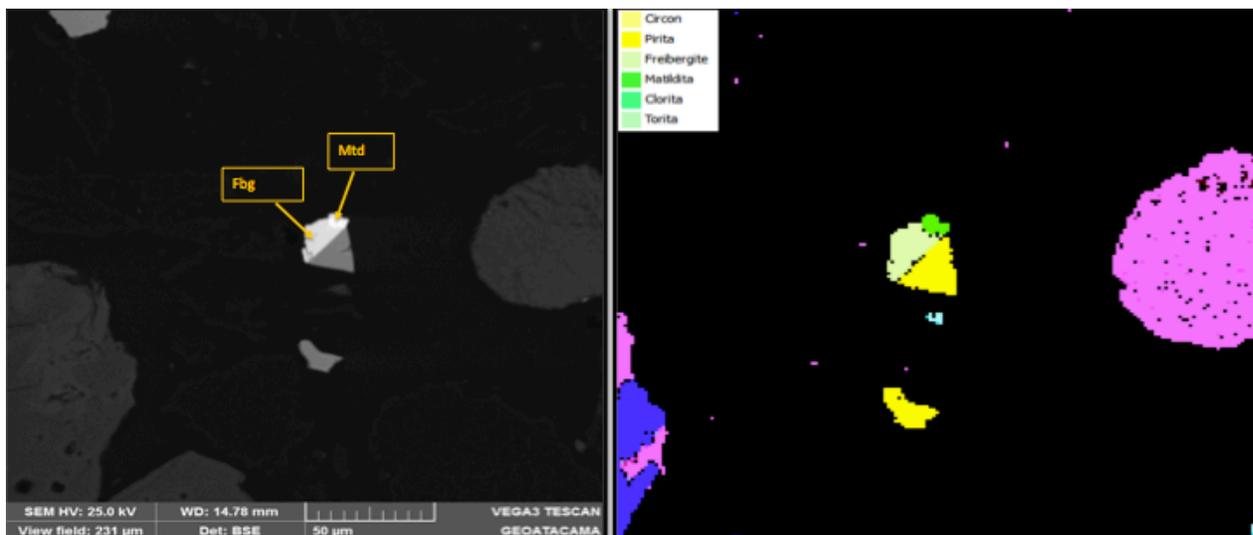


Figura 23. Imagen BSE, ocurrencia de un grano mixto intercrecido de pirita (Py), freibergita (Fbg) y matildita (Mtd).

Matildita

Se distingue en dos muestras, Ag-21 y Ag-23, ambas muestras pertenecientes al mismo sondaje (Ib140099), localizado en el perfil del sector sur, en los tramos 270-275m y 325-330m.

La muestra más superficial, correspondiente a Ag-21, fue descrita anteriormente.

La otra muestra, Ag-23, se localiza sobre la brecha Infiernillo, por sobre el techo de sulfuro y presenta una alteración, a grandes rasgos, cuarzo - sericita. Esta muestra presenta a la matildita como un grano liberado, y también en asociación como una partícula terciaria constituida por cristales alotriomorfos de calcopirita y hessita (figura 24).

El tamaño de los granos de Matildita fluctúa entre 4,7 – 17 μm

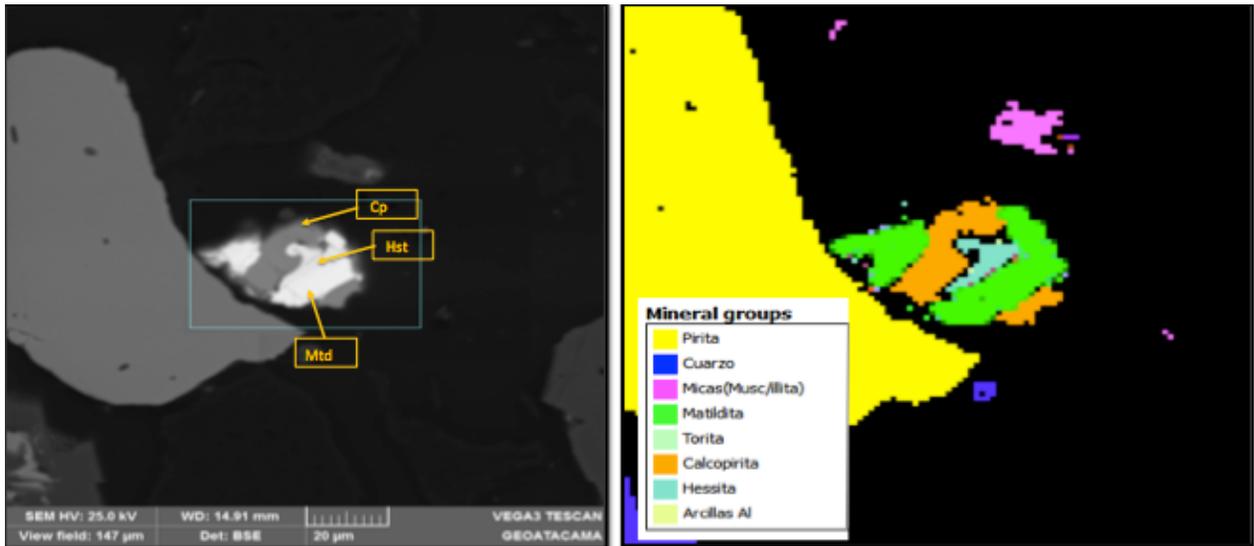


Figura 24. Imagen BSE, en el centro de la fotografía se observa un grano mixto constituido por cristales alotriomorfos de calcopirita (Cp), hessita (Hst) y matildita (Mtd).

Hessita

Se distingue en dos muestras, Ag-20 y Ag-23. Una se ubica en el perfil sur (ag-20), en el sondaje lb140099 en el tramo 35-40m. Se encuentra por sobre el techo de sulfato, hospedada en una roca andesítica y presenta una alteración, a grandes rasgos, de clorita biotita. Se observa asociada a tetradimita, mostrándose como cristal menor.

La muestra Ag-23, se ubica en el perfil sur, en el mismo sondaje que la muestra anterior (lb140099) en el tramo 325-330m. Está ubicada por sobre el techo de sulfato, hospedada en brecha infiernillos, presentando una alteración cuarzo sericita. Se encuentra como partículas terciarias en asociación con cristales alotriomorfos de calcopirita y matildita.

El tamaño de los granos de hessita fluctúa entre 3,3 – 25 μm .

Berryita

Se distingue en dos muestras. Una corresponde a la muestra Ag-19, ubicada en el perfil sur, en el sondaje lb140021, en el tramo 815-820m. Está

ubicada muy por debajo del techo de sulfato, hospedada en la brecha fantasma y presenta una alteración clorita - biotita. La berryita se presenta en este tramo como granos anhedrales ocluidos en un cristal de pirita.

La muestra Ag-11, se ubica en el perfil norte, en el sondaje lb130085, en el tramo 315-320m. Está ubicada sobre el techo sulfato, hospedada en cuarzomonzonita y presenta una alteración cuarzo sericita con un stockwork vetillas de cuarzo y halo sericítico gris verde. El mineral se presenta ocluido a pirita, la cual está asociada a cristales de calcopirita (figura 25).

El tamaño de los granos de berryita fluctúa entre 3-40 μm .

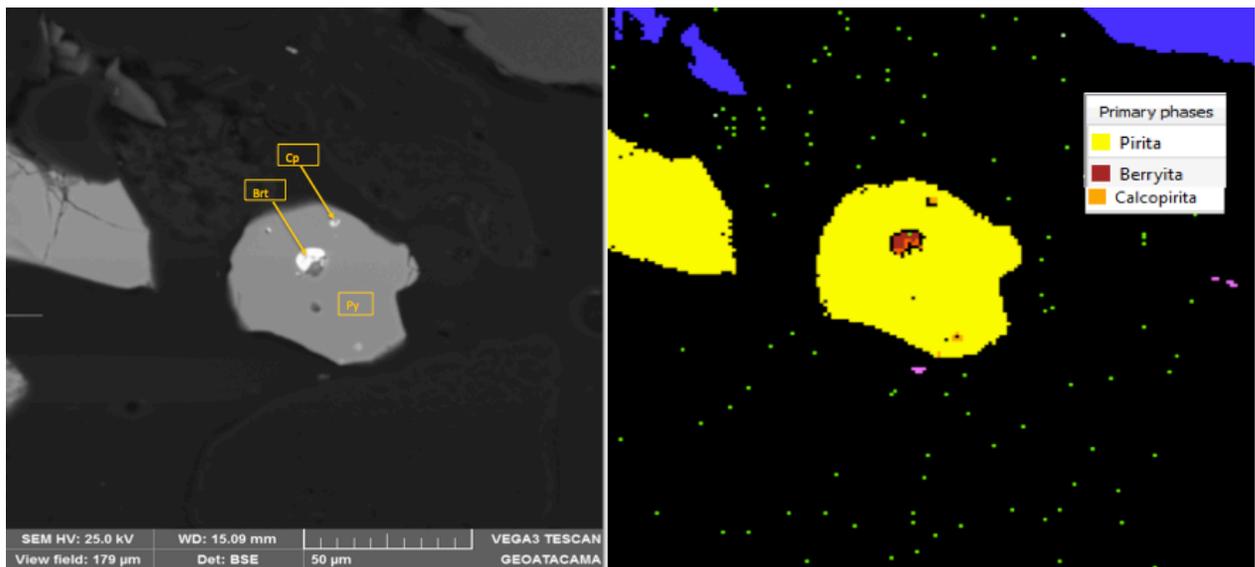


Figura 25. Imagen BSE, grano subredondeado de pirita (Py) que presenta inclusiones de cristales de berryita (Brt) y calcopirita (Cp).

4.6. Estudio variográfico y modelamiento

En un comienzo se eligen los dominios a estudiar. Esto se realiza en función de la distribución de las muestras, donde se observa tres zonas con muestreo preferencial: Donoso, Infiernillo y Los Bronces Sur (figura 26). En estos dominios serán interpoladas las leyes de Ag mediante Kriging ordinario usando el software Leapfrog. Esto en función del estudio variográfico siguiente, el cual es realizado mediante el software Isatis.

Para el posterior análisis se cambia el soporte de las leyes de Ag de 5 a 20 metros, además el 1% de los datos más elevados, serán reemplazado por el valor posterior al 1% de los datos mas elevados, quedando el valor máximo en 9.7 ppm. Esto se realiza para palear los efectos de valores outliers al momento de modelar.

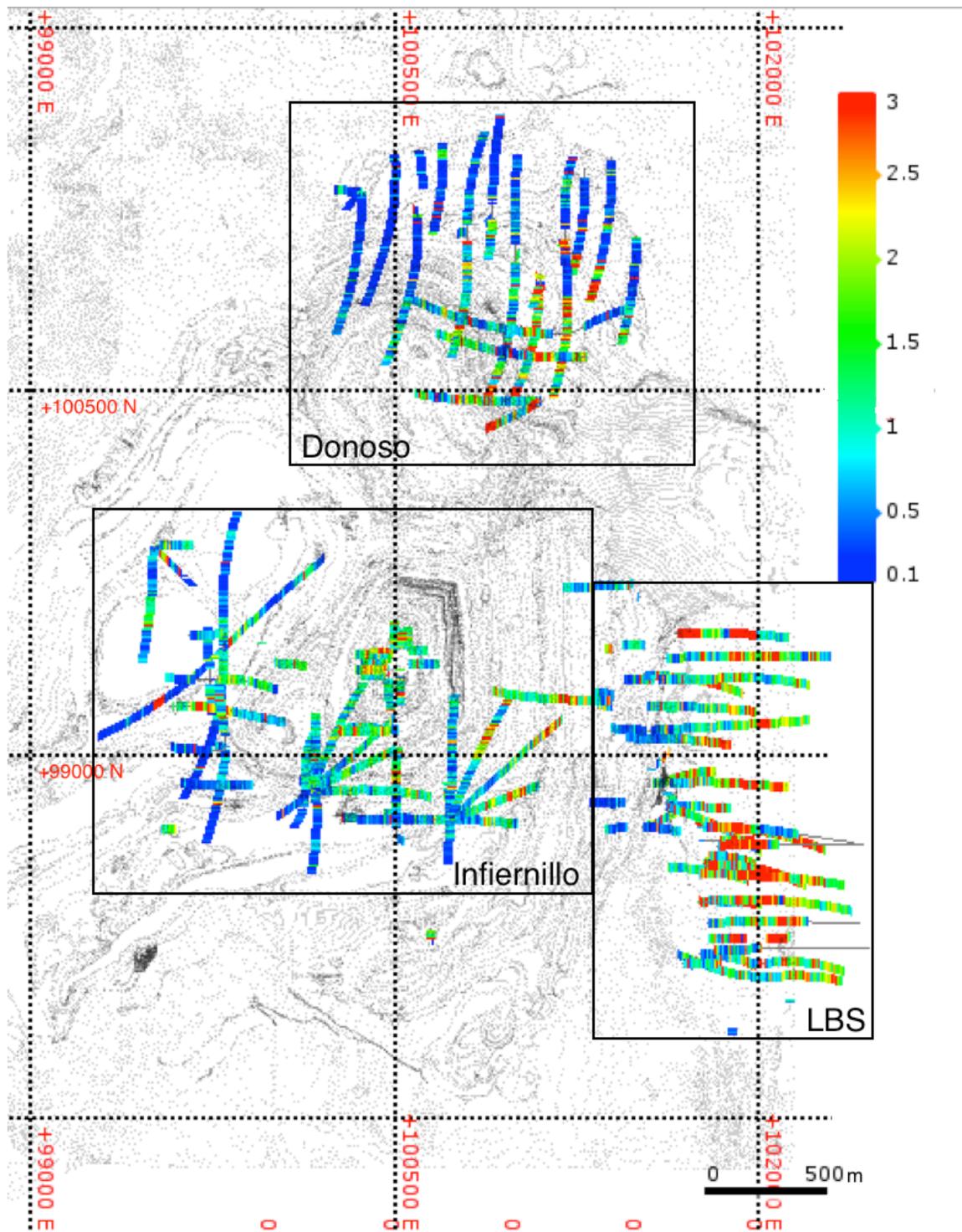


Figura 26. Delimitación dominios para modelamiento (LBS: Los Bronces Sur).

4.6.1. Análisis Donoso

En esta zona se trabaja con 1625 muestras, las cuales presentan una distribución altamente asimétrica de leyes de plata. Mediante mapa variográfico se distingue anisotropía zonal en el plano XY en la dirección N70E (figura 27).

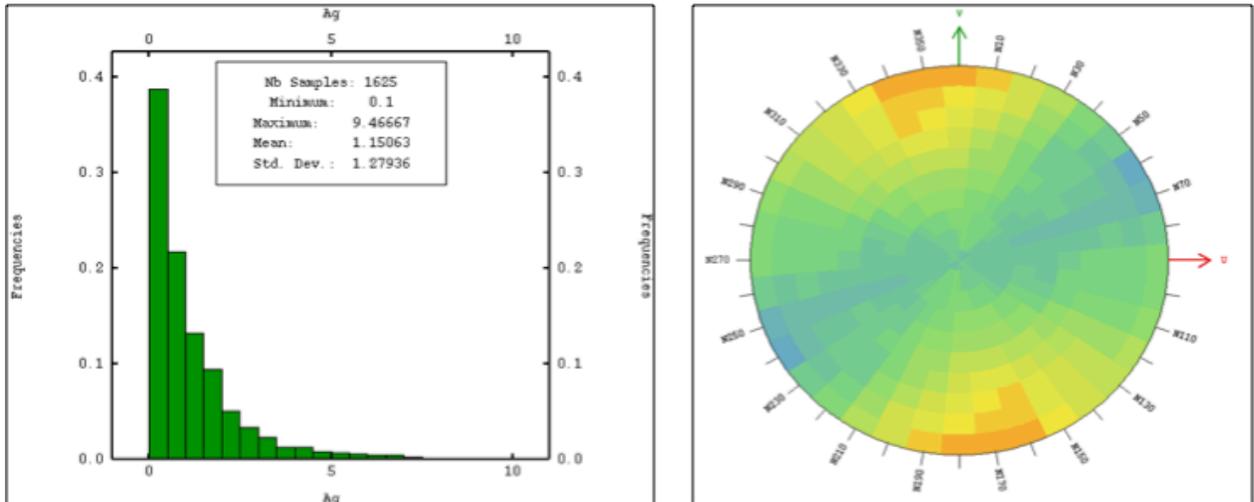


Figura 27. Izquierda: histograma de Ag Donoso. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Donoso.

Eligiendo las direcciones de la anisotropía identificada se plantea el modelo variográfico que se presenta en la figura 28. Este es modelado mediante un modelo anidado, con un efecto pepita y tres modelos esféricos, donde los valores entre paréntesis indican los alcances en metros, es decir, la máxima distancia de correlación, a lo largo de las direcciones N70, N160 y vertical, respectivamente.

$$\gamma(h) = 0,6 + 0,5 \text{ esf}(100,30,100) + 0,35 \text{ esf}(280,300,300) + 0,1 \text{ esf}(\infty,400,400)$$

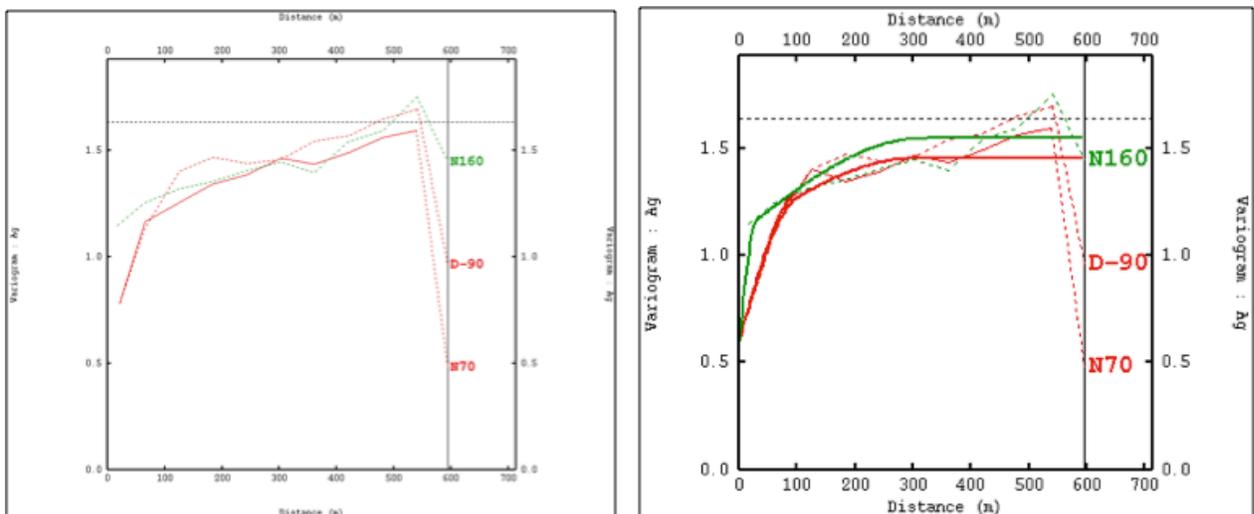


Figura 28. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Donoso.

La vecindad de kriging definida para este dominio se divide en octantes con un dato como mínimo y 6 datos como óptimo en cada sector. Se define una rotación de N70E, y distancia de búsqueda en el eje principal de 500 m, eje menor de 300 m y eje vertical de 320 m (resultados de validación cruzada en anexo G).

4.6.1. Análisis Infiernillo

En esta zona se trabaja con 1985 muestras, las cuales presentan una distribución de tipo log-normal. No se distingue ninguna anisotropía en ningún plano (figura 29).

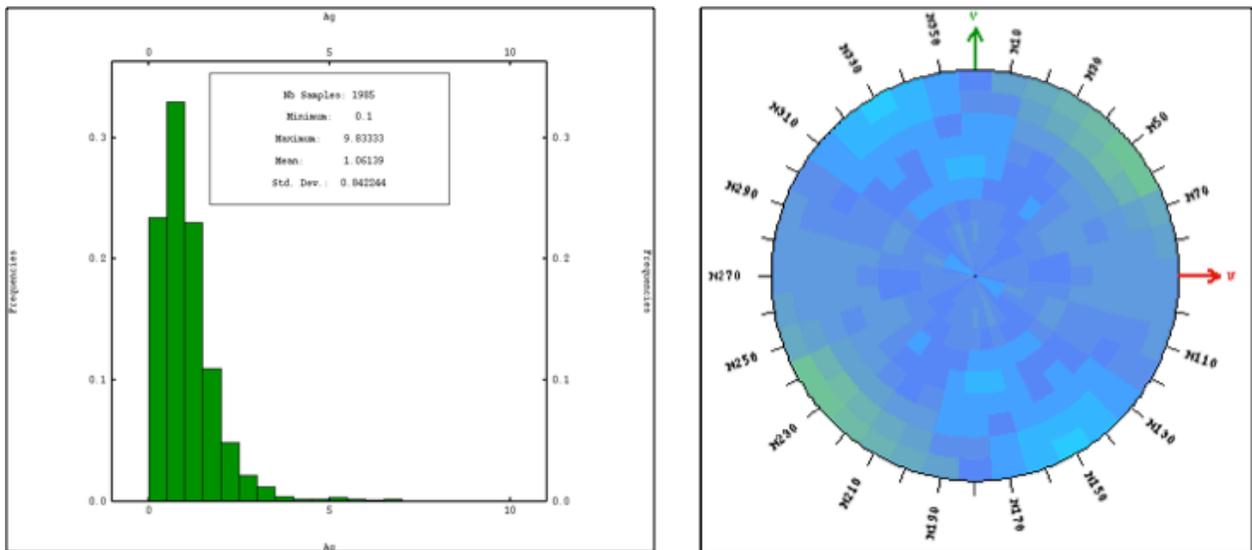


Figura 29. Izquierda: Histograma Ag Infiernillo. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Infiernillo.

Se plantea un variograma isótropo que se presenta figura 30. Este es modelado mediante un modelo anidado, con un efecto pepita y dos modelos esféricos, donde los valores entre paréntesis indican los alcances en metros, es decir, la máxima distancia de correlación, la cual es igual en todas las direcciones del espacio.

$$\gamma(h) = 0,35 + 0,2 \text{ esf} (110,110,110) + 0,1 \text{ esf} (350,350,350)$$

La vecindad de kriging definida para este dominio: viene dada por una búsqueda en todos los ejes de 500 m (resultados de validación cruzada en anexo G).

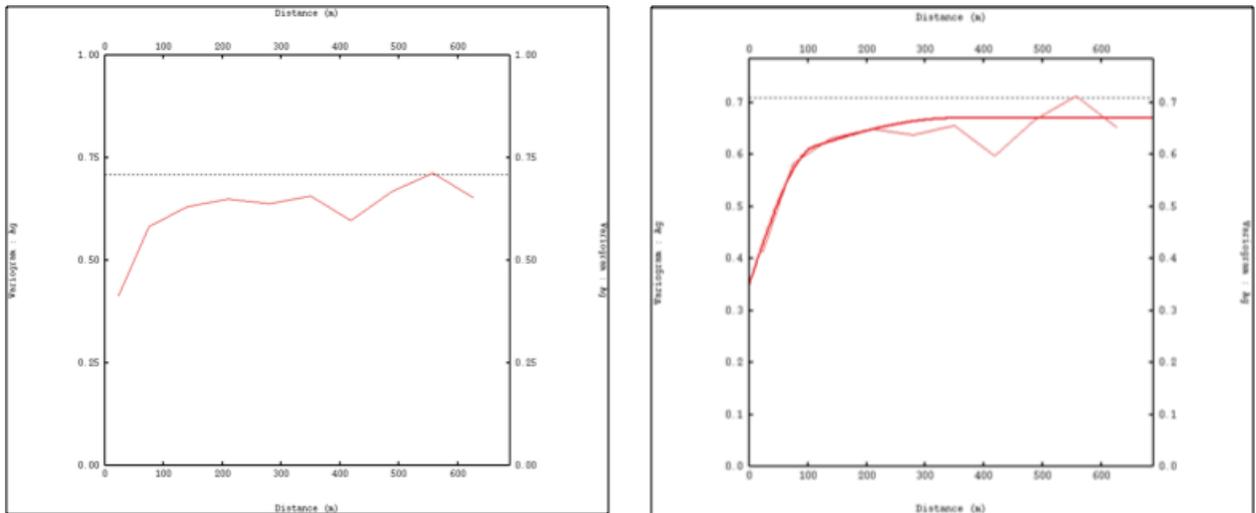


Figura 30. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Infiernillo.

4.6.1. Análisis Los Bronces Sur

En esta zona se trabaja con 2160 datos, las cuales presentan una distribución log-normal, con valores máximos de 9.73 ppm. Mediante mapa variográfico se distingue anisotropía zonal en el plano XY en la dirección N10E.

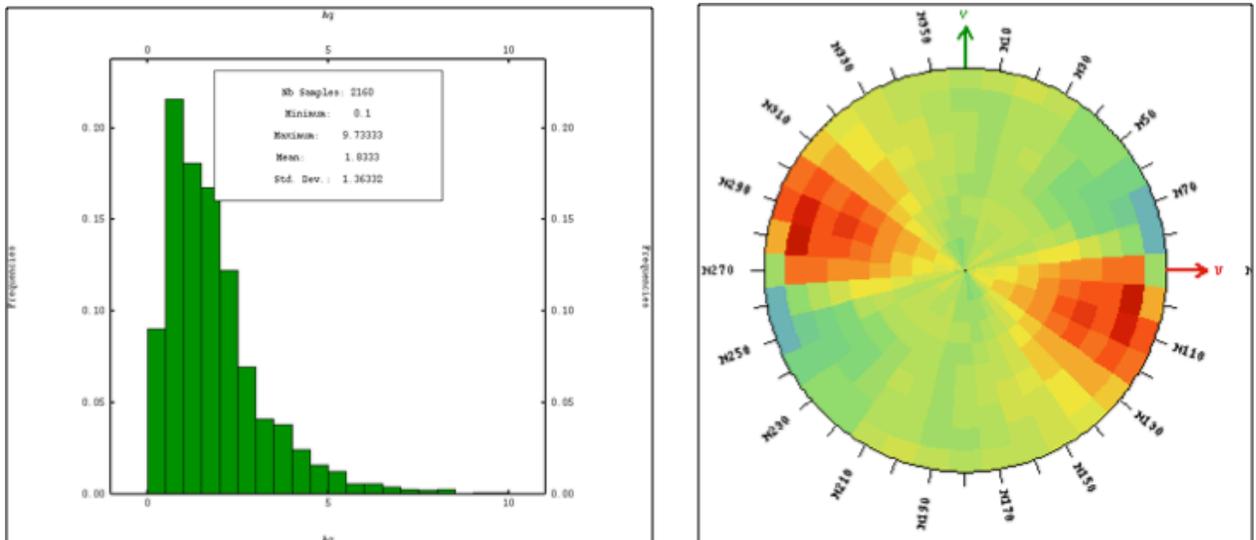


Figura 31. Izquierda: Histograma Ag Los Bronces Sur. Derecha: Mapa variográfico, plano X-Y Los Bronces Sur.

Eligiendo las direcciones de la anisotropía identificadas se plantea el variograma que se presenta en la figura 32. Este es modelado mediante un modelo anidado, que comprende un efecto pepita y tres modelos esféricos, donde los valores entre paréntesis indican los alcances en metros, es decir, la máxima distancia de correlación, a lo largo de las direcciones N10, N100 y vertical, respectivamente.

$$\gamma(h) = 0,85 + 0,8 \text{ esf}(330,120,220) + 0,1 \text{ esf}(\infty,350,400) + 0,4 \text{ esf}(\infty,480, \infty)$$

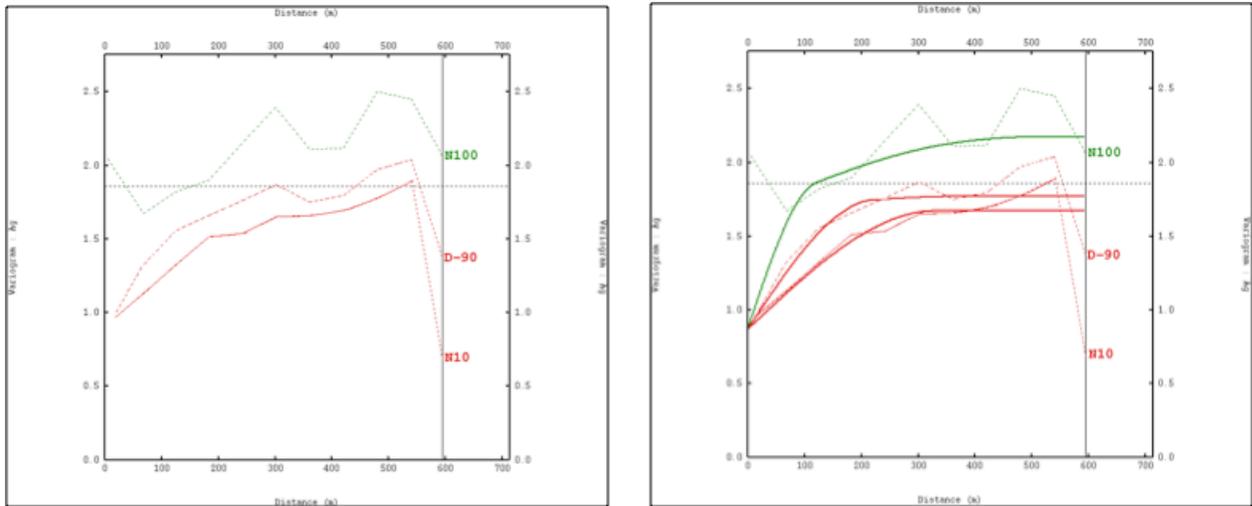


Figura 32. Izquierda: Variograma experimental de leyes de Ag. Derecha: Variograma modelado. Los Bronces Sur.

La vecindad de kriging definida para este dominio se divide en octantes con un dato como mínimo y 6 datos como óptimo en cada sector. Se define un ángulo de rotación de N10E, y distancia de búsqueda en el eje principal de 500 m, eje menor de 280 m y eje vertical de 300 m (resultados de validación cruzada en anexo G).

4.6.4. Vistas del modelo

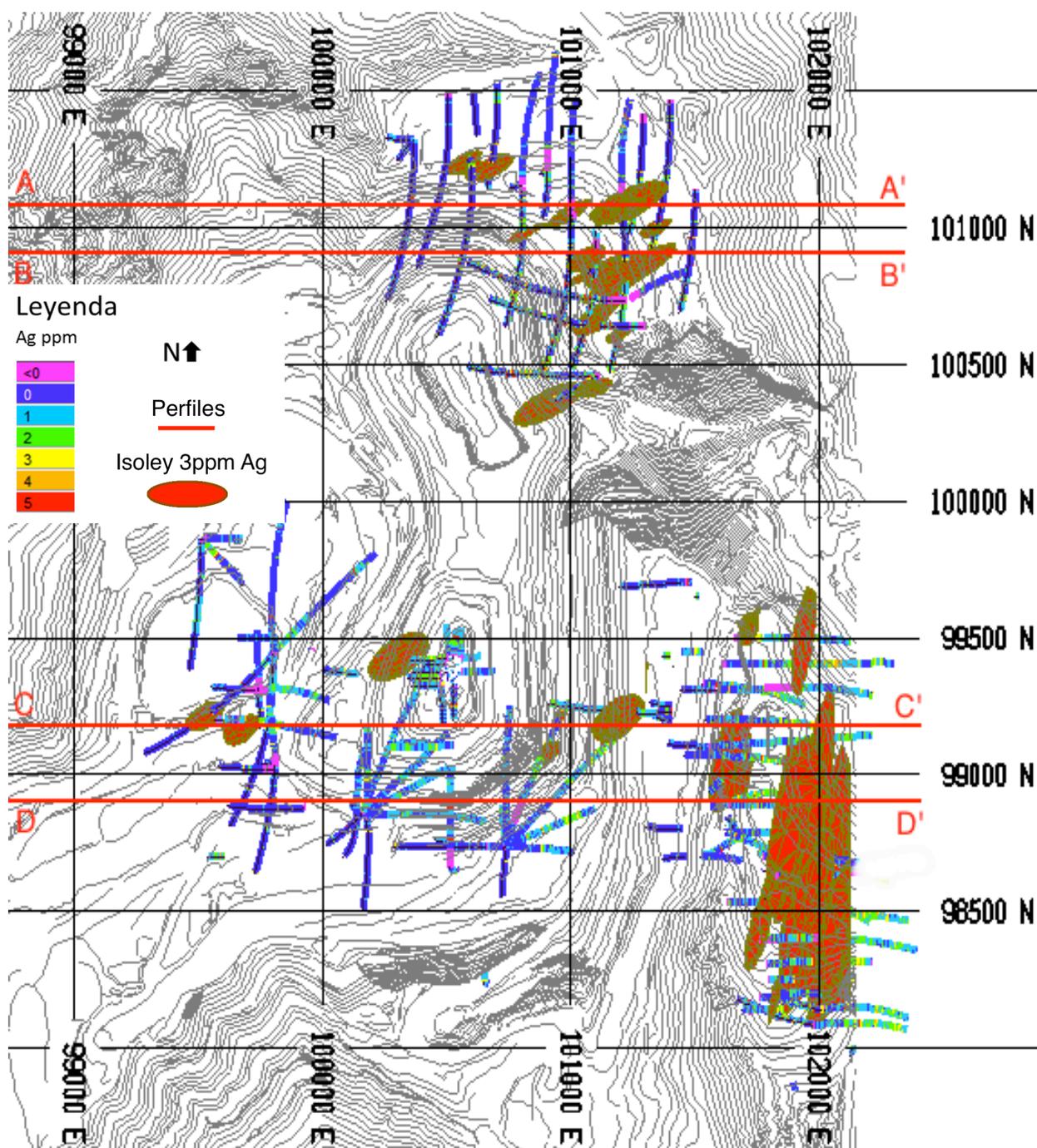


Figura 33. Vista planta modelo distribución de plata, sólidos en rojo representan cuerpos de isoley de 3ppm. Los perfiles que se observan (A a D) corresponde a las secciones realizadas que se muestran en las siguientes figuras.

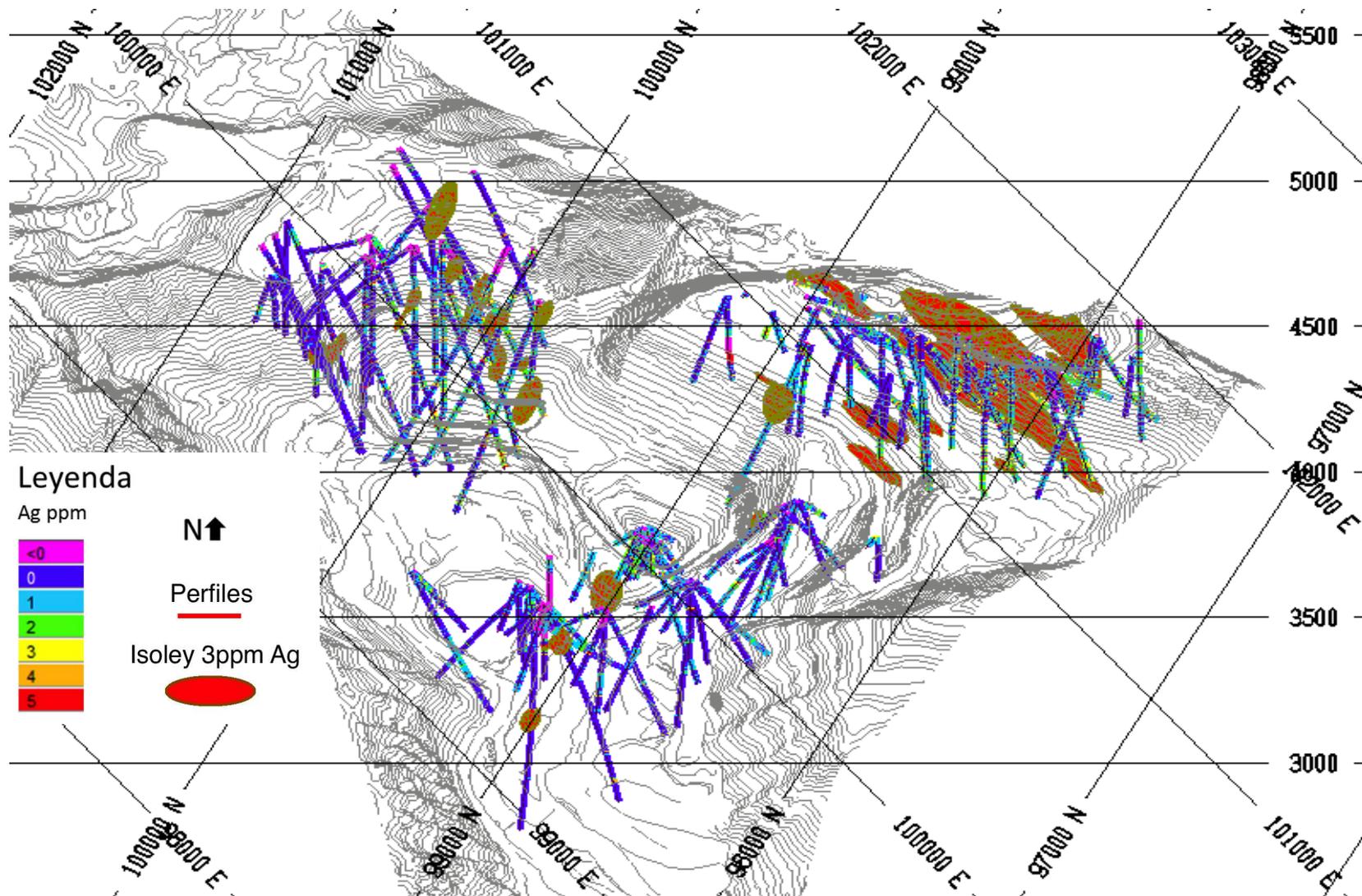


Figura 34. Vista aérea con una rotación de 50° al oeste y una inclinación de 50°. Sólidos en rojo corresponden a isoley 3 ppm.

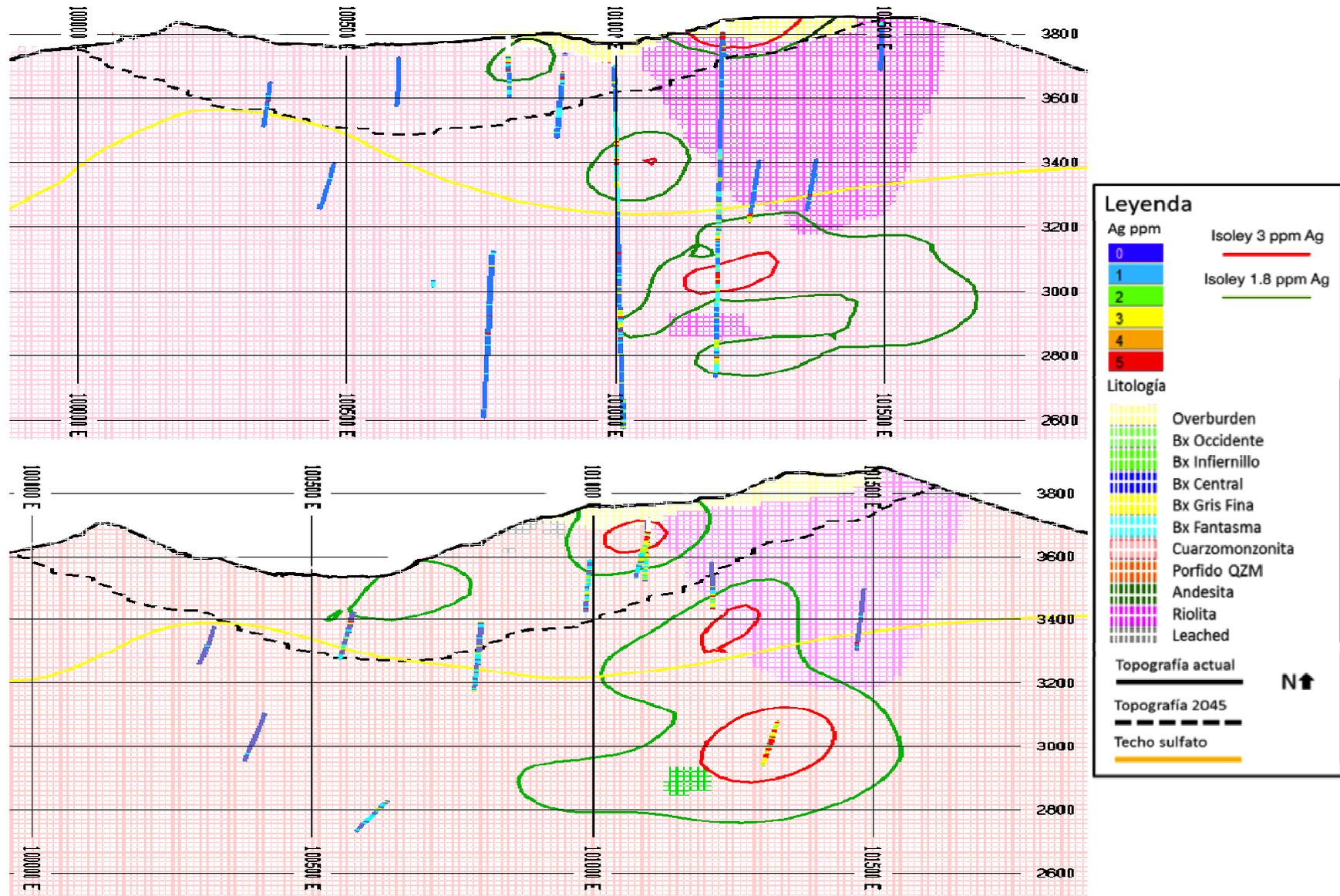


Figura 35. Arriba: Perfil A-A', abajo perfil B-B' modelo distribución Ag, Los Bronces

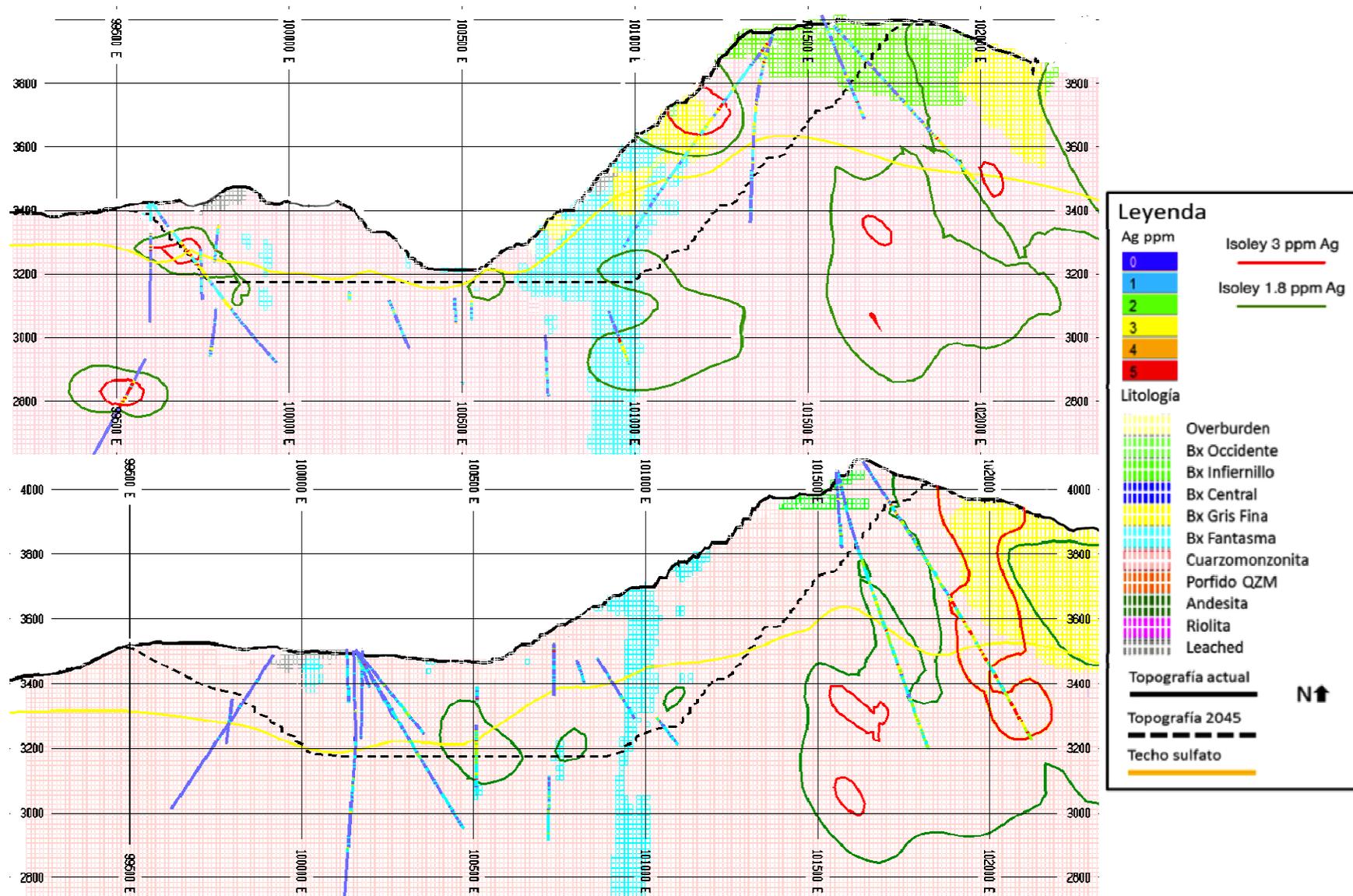


Figura 36. Arriba perfil C-C', abajo perfil D-D' modelo distribución Ag, Los Bronces.

Capítulo 5 Discusiones

5.1. Mineralogía de plata

Se encontraron cuatro especies por medio de mineralogía automatizada, estos son: Freibergita, Matildita, Hessita, Berryita, los cuales corresponden a sulfosales y telururos. Cabe recordar que las especies fueron encontradas mediante revisión de briquetas, lo que impide relacionar a un evento en particular (ej: vetillas tardías) de forma directa, por lo que resulta clave un buen entendimiento de las condiciones del depósito, una correcta interpretación de los datos, para poder ligar esta mineralización a un evento en particular.

La freibergita corresponde al extremo de alto contenido de plata de la solución sólida de tenantita-tetraedrita, conteniendo hasta un 18% de plata, es una sulfosal hipógena (Boyle, 1968; Anthony, 2003). En el depósito aparece en asociación a calcopirita, pirita, tenantita y enargita, éstos dos últimos minerales se asocian a condiciones de intermedia sulfidización en caso tenantita y de alta sulfidización en caso enargita (Einaudi, 2003). Asimismo en el yacimiento la presencia de tenantita y enargita está ligada a las vetas de etapa tardía (Contreras, 2003, Barros, 2007), comúnmente mineralizando como relleno de vetas tipo "D".

La matildita es una sulfosal que se genera en depósitos hidrotermales, asociada comúnmente a galena, esfalerita, bismutinita, pirita, calcopirita, tenantita (Boyle, 1968; Anthony, 2003), con un amplio rango de estabilidad en cuanto a temperatura (Craig, 1967). En el depósito aparece en asociación a freibergita y pirita, además de asociación a hessita y calcopirita.

La hessita es un telururo de plata, que se genera en vetas hidrotermales de baja a mediana temperatura, generándose en las etapas tardías de estos sistemas a temperaturas máximas de 300°C (Zhang 1994). Está asociada a calaverita, pirita, tenantita, entre otros (Anthony, 2003). En el depósito aparece en asociación a matildita y berryita.

Berryita es una sulfosal que se genera en vetas hidrotermales, está asociada a galena, matildita, esfalerita y calcopirita, entre otras especies (Anthony, 2003). En el depósito aparece ocluida en pirita.

La aparición de freibergita y hessita limitan la presencia de estos a condiciones de bajas temperaturas y de sulfidización intermedia, estas condiciones en el yacimiento están dadas por la presencia del evento tardío

que se expresa comúnmente por vetillas clasificadas como tipo "D" y "D tardía".

5.2. Evento tardío

Este evento tardío está caracterizado por la presencia de vetas polimetálicas con alto contenido de arsénico, zinc, antimonio, plomo (Barros 2007), estas vetas están clasificadas en el yacimiento como vetas tipo "D" y "D tardía". La mineralogías típicas que se observan en estos eventos, como se describió en el capítulo de marco geológico, corresponden a predominio de pirita y calcopirita, con presencia de bornita reemplazando a calcopirita, enargita, tenantita, y menor esfalerita y galena.

En una primera etapa de este evento tardío se observa presencia de calcopirita siendo reemplazada por bornita. Jara (2003) indica que la aparición de bornitas en la etapa tardía estaría limitada a temperaturas menores a 230°C, en este evento también se aprecia enargita, y marcasita en reemplazo de pirita. Marcasita indica condiciones de estabilidad con un pH inferior a 5 y temperaturas menores a 250°C (Murowchick, 1985). Estas temperaturas, tanto la de estabilidad de marcasita, como la obtenida por Jara (2003) son congruentes con la temperatura de estabilidad de hessita, asimismo las asociaciones son coincidentes con las esperadas para freibergita.

En la etapa final de este evento, las vetas del sistema cuentan con mayor proporción de esfalerita, galena y tenantita, y menor enargita, esto quizás debido al reemplazo de enargita por tenantita, que indica un ambiente de menor sulfidización, además al ser un evento más tardío, tiende a ser de menor temperatura por el enfriamiento progresivo de la intrusión generadora de fluidos hidrotermales.

5.3. Temporalidad de la precipitación de plata

Se observa en una primera parte la evolución del sistema de una etapa temprana caracterizada por la intrusión de pórfidos mineralizadores, una posterior brechización y una tercera etapa de importancia mineralizadora caracterizadas por vetas tardías con alto contenido de As (Contreras 2003, Barros, 2007). La mineralogía encontrada en este estudio indica presencia de plata ligada al evento tardío.

En el comienzo del evento tardío, caracterizado por la presencia de vetas tardías, las cuales tienen mineralización de pirita con reemplazo de marcasita, que indica temperaturas bajas y pH ácido. Se observa un aumento de la sulfidización debido a la presencia de enargita y a la re-

Se propone un modelo evolutivo del fluido al ir bajando su temperatura desde un ambiente porfídico de cobre-molibdeno hasta vetas polimetálicas con zonación mineral, como se ilustra en la figura 37. donde la precipitación de plata está asociada a la parte más tardía del evento (tabla 6), y asociada fuertemente a la precipitación de esfalerita y galena, lo que también se sustenta en la buena correlación entre Ag – Zn – Pb.

Mineral \ Etapa	Hidrotermal temprana	Hidrotermal principal	Vetas tardías		Procesos supérgenos	
			S.A.	S.I.		
Pirita	-----	-----	-----	-----		
Calcopirita	-----	-----	-----	-----		
Bornita	-----	-----	-----	---		
Hematita	-----	-----	-----	-----		
Magnetita	-----	-----	-----	-----		
Enargita	-----	-----	-----	---		
Tenantita	-----	-----	---	-----		
Esfalerita	-----	-----	-----	-----		
Galena	-----	-----	-----	-----		
Minerales Ag	-----	?	---	-----		?
Calcosina	-----	-----	-----	-----		-----
Covelina	-----	-----	-----	-----		-----
Molibdenita	-----	-----	-----	-----		-----
Marcasita	-----	-----	-----	---		-----
Cuarzo	-----	-----	-----	-----		
Ortoclasa	-----	-----	-----	-----		
Biotita	-----	-----	-----	-----		
Clorita	-----	-----	-----	-----		
Turmalina	-----	-----	-----	-----		
Sericita	-----	-----	-----	-----		
Arcillas	-----	-----	-----	-----		-----
Anhidrita	-----	-----	-----	-----		-----
Yeso	-----	-----	-----	-----		-----
Siderita	-----	-----	-----	-----		-----
Baritina	-----	-----	-----	-----	-----	

Tabla 6. Paragénesis mineral en Los Bronces. Vetas tardías S.A. se refiere a sulfidización alta; vetas tardías S.I. se refiere a sulfidización intermedia; Minerales de Ag, hace referencia a los minerales identificados en este estudio.

5.4. Relación con alteración y litología

La presencia de plata en el depósito se encuentra asociada generalmente a la alteración cuarzo - sericita. Esto en parte se debe a que la mineralización encontrada está asociada a vetillas de tipo "D" y "D Tardía", que se emplazan generalmente en zonas con esta alteración. Estas vetillas también indican condiciones de pH levemente ácidas producto de los halos de alteración generados, comúnmente sericita y menor arcillas. En cuanto al modelo de distribución no se puede hacer mayor comparación debido a la inexistencia de un modelo de alteración en el depósito, solo se cuenta como antecedente un modelo preliminar realizado por Abarzúa en 2014, donde no se distingue mayor correlación.

En cuanto a la litología, no se observa una relación directa de mayor concentración en función de algún tipo específico de roca, estadísticamente se observa una mayor concentración en cuanto a litologías, pero esto no se ve representado en cuanto al modelo ni el estudio de ocurrencia, donde se observa que el control de precipitación de Ag tiene un control caracterizado por la presencia de vetas tardías, las cuales a su vez son controladas por factores estructurales.

5.5. Modelo estructural y zonas de interés

Se observa que el modelo de distribución generado a partir del estudio variográfico, tiene una marcada anisotropía en el dominio Donoso, con una orientación N70E, la cual es bastante coincidente con un set de estructuras mayores con la misma orientación ubicadas en los dominios nortes definidos por Carrizo en 2013 (figura 38). Esto refuerza la idea de un control principal estructural y una precipitación asociada al evento tardío de vetillas, las cuales tienen esta orientación en el esquema.

En el dominio de Infiernillo el estudio de mapa variográfico indica un comportamiento isotrópico. La ausencia de una dirección preferencial de distribución de plata, como sería el caso en un ambiente donde la mineralización está asociada a estructuras con un claro comportamiento, puede deberse en parte a que el dominio del estudio variográfico comprende varios dominios estructurales, además de poseer una baja densidad de datos en estudio para ese sector.

En Los Bronces Sur se observa que el modelo tiene una distribución con orientación preferencial cercana al norte-sur, en el diagrama de contorno de polo asociado a este dominio, se distingue estructura en esa dirección, pero esta no corresponde a un set principal, ni se condice con los registros previos donde se indica que las vetas tardías tienen una orientación preferentemente norte este. Quizás acá exista otro evento o control, lo cual

en este trabajo no fue estudiado en detalle, ya que las muestras fueron tomadas de una zona más al norte debido a que hubo preferencia por estudiar la ocurrencia en la zona mina actualmente en producción (Donoso e Infiernillo).

Se observa que las zonas con mayor concentración de plata están ubicadas en el dominio Los Bronces Sur, seguido de Donoso. En cuanto a importancia económica se puede ver que resulta de interés la distribución en la zona de Donoso, cercana al contacto con la riolita donde se distingue presencia de leyes de plata a un nivel somero que cabrían dentro de lo que es el plan minero para los próximos años. Por otra parte al hacer futuras evaluaciones a la zona de Los Bronces Sur, podría ser de interés tomar en cuenta la variable plata debido a sus altas concentraciones, dentro de lo que es el distrito.

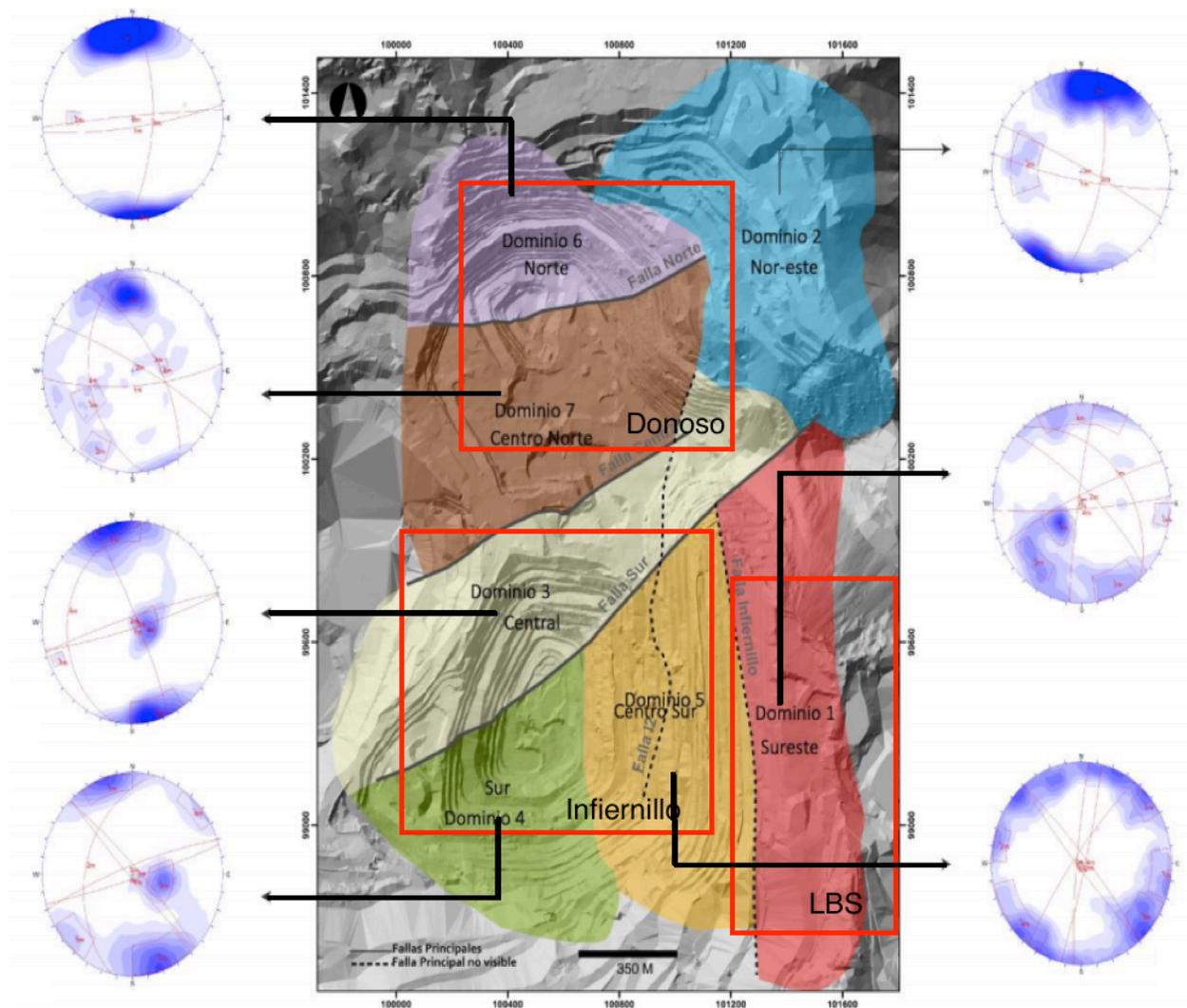


Figura 38. Dominios estructurales, caracterizados por sus diagramas de contorno de polos en Los Bronces, en rojo ubicación aproximada de los dominios empleados en el estudio de distribución. (modificado de Carrizo et al. 2013).

Capítulo 6 Conclusiones

Se identifican 4 especies minerales de plata. Estas corresponden a las sulfosales freibergita, matildita, berryita, y al telururo Hessita. Los minerales están asociados al evento tardío del sistema, específicamente ligados a vetas polimetálicas tardías, descritas en el depósito como "D tardías", en asociación a pirita, calcopirita, tenantita, tetraedrita, esfalerita y galena. Esta etapa corresponde al último evento mineralizador reconocido en la zona, en donde las especies portadoras de plata precipitan en un ambiente de sulfidización intermedia y temperaturas menores a 250 grados.

En este estudio no se observa mineralización asociada a un evento previo a las etapas tardías, ni presencia de Ag asociada a minerales supérgenos, pero debido a las pequeñas concentraciones de plata y a limitaciones de las técnicas empleadas en el trabajo, no se descarta la presencia de plata en estos eventos.

La mineralización de plata se aloja en zonas con alteración preferentemente cuarzo sericítica, congruente con una etapa más tardía en la evolución del depósito. Por otro lado no se observa mayor control litológico en el estudio. La distribución de plata tiene control preferentemente estructural, esto debido a su asociación a vetas tardías.

El estudio de distribución se realiza en función de tres dominios: Donoso, Infiernillo y Los Bronces Sur. En Donoso existe una dirección preferencial en la distribución de plata, con rumbo N70E, el cual es coincidente con el set de estructuras en ese dominio, reafirmando la idea de un control estructural en la depositación de plata, coincidente con la presencia de plata en vetillas tardías. En Infiernillo no existe una dirección preferencial en la distribución. Los Bronces Sur presenta un comportamiento anisótropo con dirección cercana a norte – sur, la cual coincide con un set de estructuras del modelo estructural.

Las mayores concentraciones de plata se observan en el dominio de Los Bronces Sur, el cual es un sector que aún no está en producción, se recomienda tomar en cuenta en futuras evaluaciones del sector, la variable plata, debido a las concentraciones bastante anómalas al común del depósito. En cuanto a la distribución de plata en el área mina, se observa una concentración importante en el sector Donoso, incluso a un nivel somero que estaría incluido en el desarrollo de la mina en los próximos años. Por otro lado el sector Infiernillo posee concentraciones discretas en comparación a los otros dos dominios.

Se recomienda realizar estudio de microsonda electrónica en sulfuros de cobre, con énfasis en las zonas más profundas y que presenten anomalías de plata, con el fin de poder caracterizar una posible asociación de plata en sulfuros de cobre, indicando otro posible evento de mineralización de plata en el sistema de Los Bronces.

Se recomienda seguir con el muestreo de leyes de plata en el área, y se insta a generar un modelo de estimación formal, con énfasis en la zona de Donoso, debido a concentraciones interesantes de plata, a un nivel superficial, que entran dentro del plan minero de los próximos años.

Capítulo 7 bibliografía

Abarzúa A. 2013. Zonación de los tipos de alteración hidrotermal en el sector Los Bronces, como parte del sistema porfídico Cu-Mo Río Blanco-Los Bronces, Región Metropolitana, Chile". Memoria para optar al título de Geólogo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago.

Aguirre, L. 1960. "Geología de Los Andes de Chile Central, Provincia de Aconcagua". Instituto de Investigaciones Geológicas, Vol. 9, Santiago, Chile, 70 pp.

Anthony W.; Bideaux R.; Bladh K.; Nichols M. Handbook of Mineralogy, Volume I, 2003.

Barros, C. 2007. "Distribución y Modelamiento preliminar del Arsénico, Bismuto, Plomo, Zinc, Plata y Oro en la mineralización profunda de la Mina Los Bronces, Región Metropolitana, Chile". Memoria de título, Universidad Católica del Norte, Facultad de Ingeniería y Ciencias Geológicas, Departamento de Ciencias Geológicas, Antofagasta, Chile.

Beccar, I.; Vergara, M.; Munizaga, F. 1986. "Edades K-Ar de la Formación Farellones, en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile". Revista Geológica de Chile. N° 28-29. Pp. 109-113. Santiago, Chile.

Boyle R.; 1968, The geochemistry of silver and its deposit, Geological survey of Canada, Bulletin 160.

Carrizo D. 2012. Estructura del distrito cercano Los Bronces, Anglo American Chile: Tectónica y Tomografía sísmica. Estudio desarrollado para la Unidad de Desarrollo de Proyectos de Anglo American Chile.

Carrizo, D.; Barros, C.; Gallardo, S. 2013. Modelo Estructural 3D de la Mina Los Bronces, Anglo American Sur S.A. (Chile).

Contreras, A. 2003. "Geología Sondajes Profundos en la Mina Los Bronces". Informe Interno de la Compañía Minera Anglo American, División Los Bronces. Superintendencia de Geología. Pp. 38. Santiago, Chile.

Craig, J., 1967. Phase Relations and Mineral Assemblages in the Ag-Bi-Pb-S System, Mineralium Deposita 1, 278—306.

Deckart, K.; Clark, A. H.; Aguilar, C.; Vargas, R. 2005. "Magmatic y hidrotermal chronology of the supergiant Río Blanco Porphyry Copper Deposit, Central Chile: Implications of an integrated UPb y 40Ar-39Ar database". *Economic Geology* 100, p.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 40Ar/39Ar thermochronolog data". *Miner Deposita* (2013) 28: 57-79.

Deckart, K.; Silva, W.; Sprohnló, C.; Vela, I. 2014. "Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: an update", *Miner Deposita*.

Drake, R. 1974. *Cronology of Cenozoic Igneous and Tectonic Events in the Central Chilean Andes*, Jaucei Institute Sympocium, *Volcanology*, p. 23.

Drake, R.; Vergara, M.; Munizaga, F y Vicente, J. 1976. *Geochronology of Mesozoic Cenozoic Magmatism in Central Chile*. Universidad de Chile, Santiago.

Einaudi, M.T.; Hedenquist, J.W.; y Inan, E., 2003. "Sulfidation state of hydrothermal fluids: The porphyry-epithermal transition and beyond", in Simmons, S.F, and Graham, I.J., eds., *Volcanic, geothermal and ore-forming fluids: Rulers and witnesses of processes within the Earth: Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication 10, Chapter 15*, p. 285-313.

Farías, M.; Charrier, R.; Carretier, S.; Martinod, J.; Fock, A.; Campbell, D.; Cáceres, J.; Comte, D. 2008. Late Miocene high and rapid Surface uplift and its erosional response in the Andes of Central Chile (33°-35°S). *Tectonics* 27: TC1005.

Gajardo, M. 1969. "Distribución del Molibdeno del Yacimiento Río Blanco, Provincia de Aconcagua". Memoria de Título. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

González, O. 1963. Observaciones Geológicas en el Valle del Río Volcán. Universidad De Chile, Departamento de Geología, *Comunicaciones* (41), 20-61.

Hollings, P.; Cooke, D. y 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, v. 100, pp. 887-904.

Irarrázaval, V.; Sillitoe, R.; Wilson, A.; Toro, J. "Discovery History of a giant, High-Grade, Hypogene Porphyry Copper-Molybdenum. Deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Río Blanco District, Central Chile". 2010 Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 15, pp. 253-269.

Jara, S. 2005. "Distribución y Composición de la Bornita, en relación con la Génesis de la Mina Los Bronces, Yacimiento Río Blanco-Los Bronces, Región Metropolitana, Chile". Memoria de título, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Ciencias de la Tierra, Concepción, Chile.

Murowchick, J.; Barnes, H.; 1986, Marcasite precipitation from hydrothermal solutions *Geochimica Cosmochimica* Vol. 50, pp. 2615-2629.

Kay, S.; and Mpodozis, C.; 2002, Magmatism as a probe to the Neogene shallowing of the Nazca plate beneath the modern Chilean flat-slab: *Journal of South American Earth Sciences*, v. 15, p. 39-57.

Kurtz, A.; Kay, S.M.; Charrier, R.; Farrar, E.; 1997. "Geochronology of Miocene plutons and Andean uplift history in the El Teniente region, central Chile (34°-35°S)". *Revista Geológica de Chile*, v. 24, no. 1, p. 75-90.

Latorre, J. 1981. "La Formación Río Blanco en el Área de la Mina Andina". Memoria de Título. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Maksaev, V.; Munizaga, F., Zentilli, M. y Charrier, R., 2009. "Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33°-35°S): Implications for tectonics evolution and porphyry Cu-Mo mineralization". *Andean Geology*, 36 (2), p. 153-171.

Muñoz, M.; Fuentes, F.; Vergara, M.; Aguirre, L.; Nyström, J.; Féraud, G. y Demant, A.; 2006. Abanico East Formation: petrology and geochemistry of volcanic rocks behind Cenozoic arc front in the Andean Cordillera, Central Chile (33°50'S), *Revista Geológica de Chile*, v. 33, n. 1, pp. 109- 140.

Rivano, S.; Godoy, E.; Vergara, M.; Villaroel, M. 1990. Redefinición de la Formación Farellones de los Andes de Chile Central (32°-34°S). *Revista Geológica de Chile*, N° 15, Santiago, Chile, pp. 59-70.

Serrano, L.; Vargas, R.; Stambuck, V.; Aguilar, C.; Galeb, M.; Holmgren, C.; Contreras, A.; Godoy, S.; Vela, I; Skewes, M. 1996. "The Late Miocene to Early Pliocene Río Blanco - Los Bronces Copper Deposit, Central Chilean Andes. In *Andean Copper Deposits: New Discoveries, Mineralization, Styles*

and Metallogeny". Society of Economic Geologists. Special Publication N°5. Pp. 119-130.

Sillitoe, R. 1985. "Ore Related Breccias in Volcano-Plutonic Arc". In a Special Issue Devoted to Breccia-Hosted Ores. Society of Economic Geologists. Vol. 80. N° 6. Pp.1467- 1514.

Sillitoe, R.H.; Perelló, J., 2005. "Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery". Economic Geology 10th Anniversary Volume: 845-890.

Skewes, A.; Holmgren, C.; y Stern, CH. 2003. "The Donoso Copper-Rich, Tourmaline-Bearing Breccia Pipe in Central Chile: Petrology, Fluid Inclusion and Stable Isotope Evidence for an Origin from Magmatic Fluids". Mineralium Deposita. N°38. Pp. 2-21.

Skewes, M. y Holmgren, C. 1993. Solevantamiento Andino, Erosión y Emplazamiento de Brechas Mineralizadas en el Depósito de Cobre Porfírico Los Bronces, Chile Central (33°): Aplicación de Termometría de Inclusiones Fluidas. Revista Geológica de Chile, v. 20, pp. 71-84.

Skewes, M. y Stern, CR. 1994. Tectonic Tigger for the Formation of late Miocene Cu-Rich Mega-Breccias in the Andes of Central Chile., Geology, v. 22, N° 6, pp. 551-554.

Skewes, M., Holmgren, C. y Vargas, R. 1994. Alteración a Anfibolita y Magnetita en el Megayacimiento Río Blanco-Los Bronces, Chile Central., VII Congreso Geológico Chileno, Vol. 2, Concepción, Chile, pp. 1623-1626.

Skewes, M., Holmgren, C. y Stern, C. 2003. The Donoso Copper Rich, Tourmaline-Bearing Breccia Pipe in Central Chile: Petrologic, Fluid Inclusion and Stable Isotope Evidence for an Origin from Magmatic Fluids. Mineralium Deposita, v. 38, pp. 2-21.

Stambuck, V.; Blondel, J. y Serrano, L. 1982. "Geología del Yacimiento Río Blanco". III Congreso Geológico Chileno. Vol. 2. Pp. E419 - E442. Concepción, Chile.

Stern, C.R.; Skewes, M.A. 2004. "Origin of Giant Miocene and Pliocene Cu-Mo Deposits in Central Chile: Role of Ridge Subduction, Decreased Thickening, and Long-lived, Batholith-size, Open-system Magma Chambers". T.M. (Ed.), Super Porphyry Copper & Gold Deposits: A Global Perspective; PGC Publishing, Adelaide.

Streckeisen, A. 1979. "Classification of Igneous Rocks of Lamprohyres, Carbinites, and Mililitic rock". Geology. Vol. N° 7. Pp. 331-335.

Thiele, R. 1980. Hoja Santiago, escala 1:250000, Carta Geológica de Chile N° 39, Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago, Chile, 51 pp.

Toro J. C. 2012. Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Concentration of Copper, *Economic Geology*.

Vargas, F.; Gustafson, L.; Vukasovic, M.; Skewes, A. 1999. "Ore Breccias in the Rio Blanco-Los Bronces Porphyry Copper Deposit, Chile". *Society of Economic Geologists. Special Publication N° 7*. Pp. 281-297.

Urqueta, I. 1969. "Antecedentes de Alteración Hidrotermal y de Génesis del Yacimiento Cuprífero Río Blanco". Memoria de título. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Pp. 109. Santiago, Chile.

Warnaars, F.; Holmgren, C.; Barassi, S. 1985. "Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces, Chile". *Society of Economic Geologists. Vol. 80*. Pp. 1544-1565.

Yañez, 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*, v. 15, p. 23-38.

Zhang, X.; Spry P.; 1994, Calculated Stability of Aqueous Tellurium Species Calaverite, and Hessite at Elevated Temperatures, *Economic geology* Vol. 89, 1994, pp. 1152-1166.

ANEXO A

ABREVIACIONES

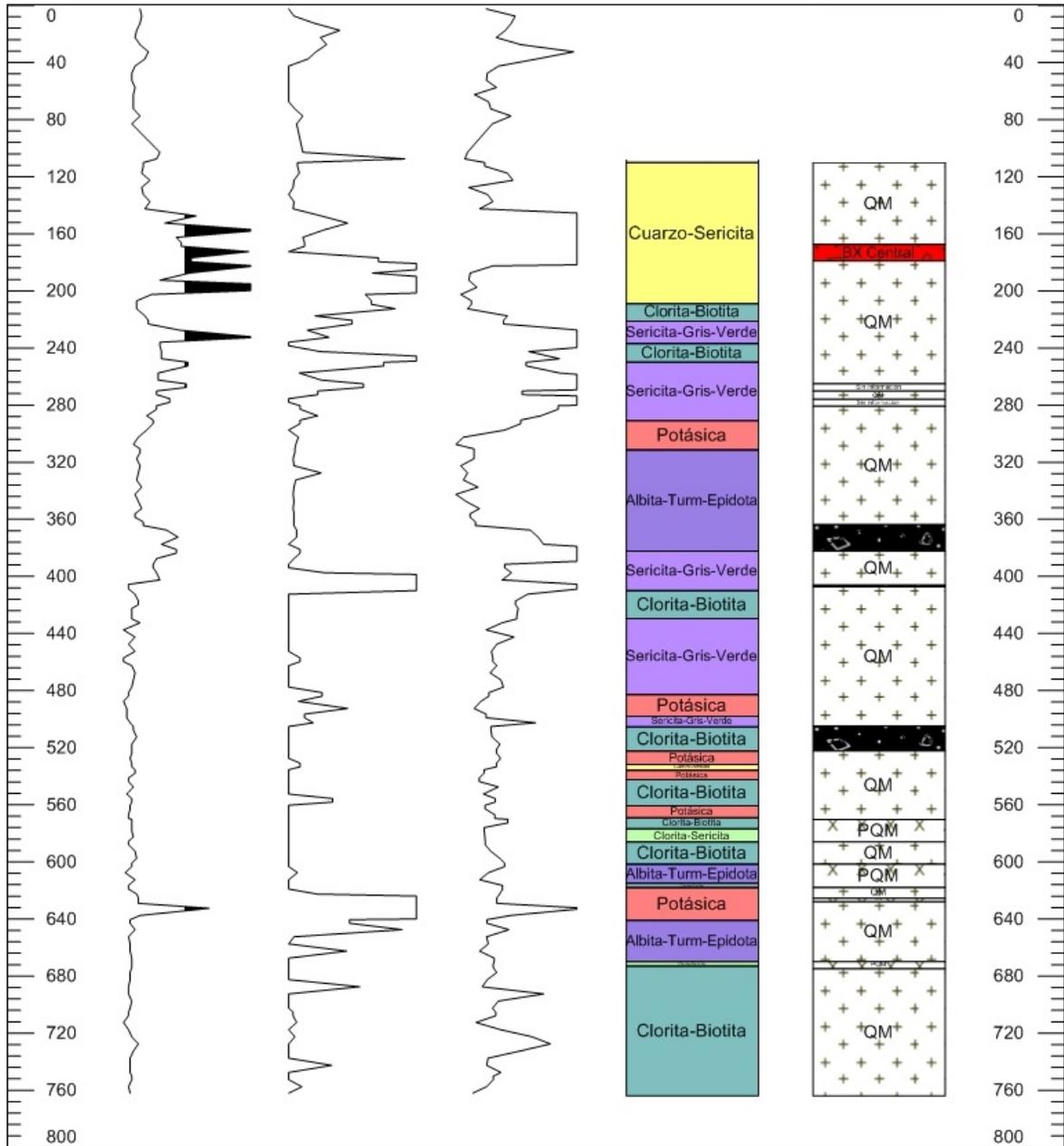
?: Porcentaje indeterminado
Ab: Albita
Anh: Anhidrita
Arc: Arcillas
Bn: Bornita
Bt: Biotita
BX: Brecha
Cal: Calcita
Cc: Calcosina
Cpy: Calcopirita
Chl: Clorita
Cv: Covelina
Dg: Digenita
En: Enargita
Ep: Epidota
Esp: Especularita
Esf: Esfalerita
Fdk, FeldK: Feldespato potásico
Gal: Galena
Hem: Hematita
Mgt: Magnetita
N/A: No aplica
NP: Nícoles paralelos
NX: Nícoles cruzados
Pl: Plagioclasa
Py: Pirita
QM: Cuarzomonzonita
PQM: Pórfido Cuarzomonzonita
Qz: Cuarzo
Ser: Sericita
Tet: Tetraedrita
Tn: Tenantita
Tor: Torita
Tu: Turmalina
Ys: Yeso

Otras abreviaciones utilizadas en las imágenes de la microscopía automatizada, aparecen explicitadas en las descripciones de las mismas imágenes.

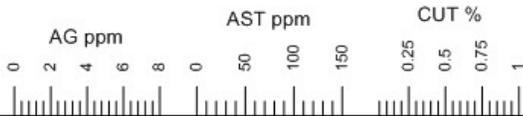
ANEXO B

SONDAJES EN ESTUDIO

LB120100

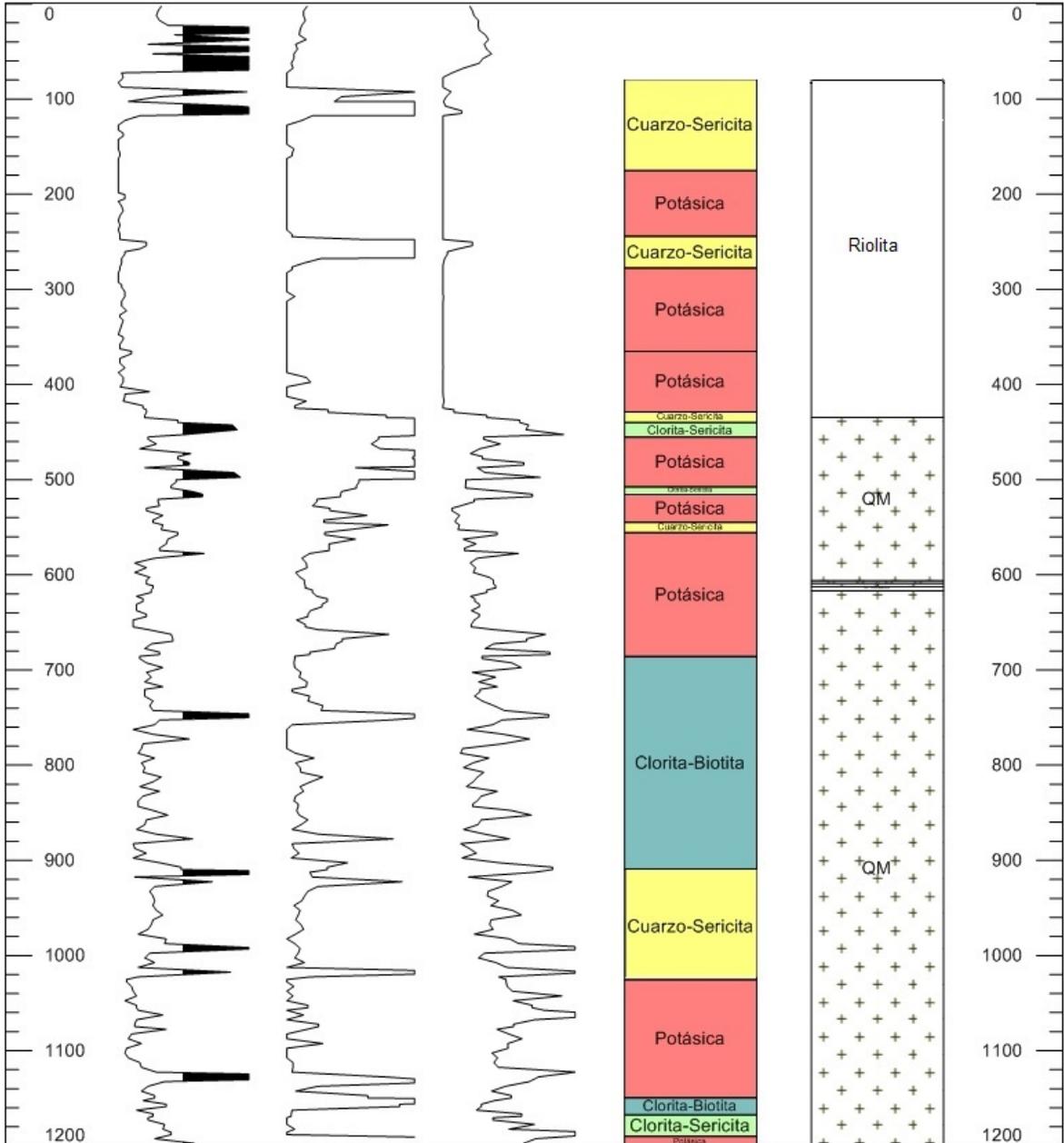


LB130004

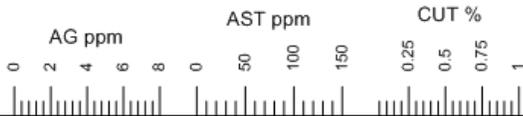


- Alteracion
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turm-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

- Litologia
- Sin informacion
 - Sobrecarga
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - Riolita
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidrita

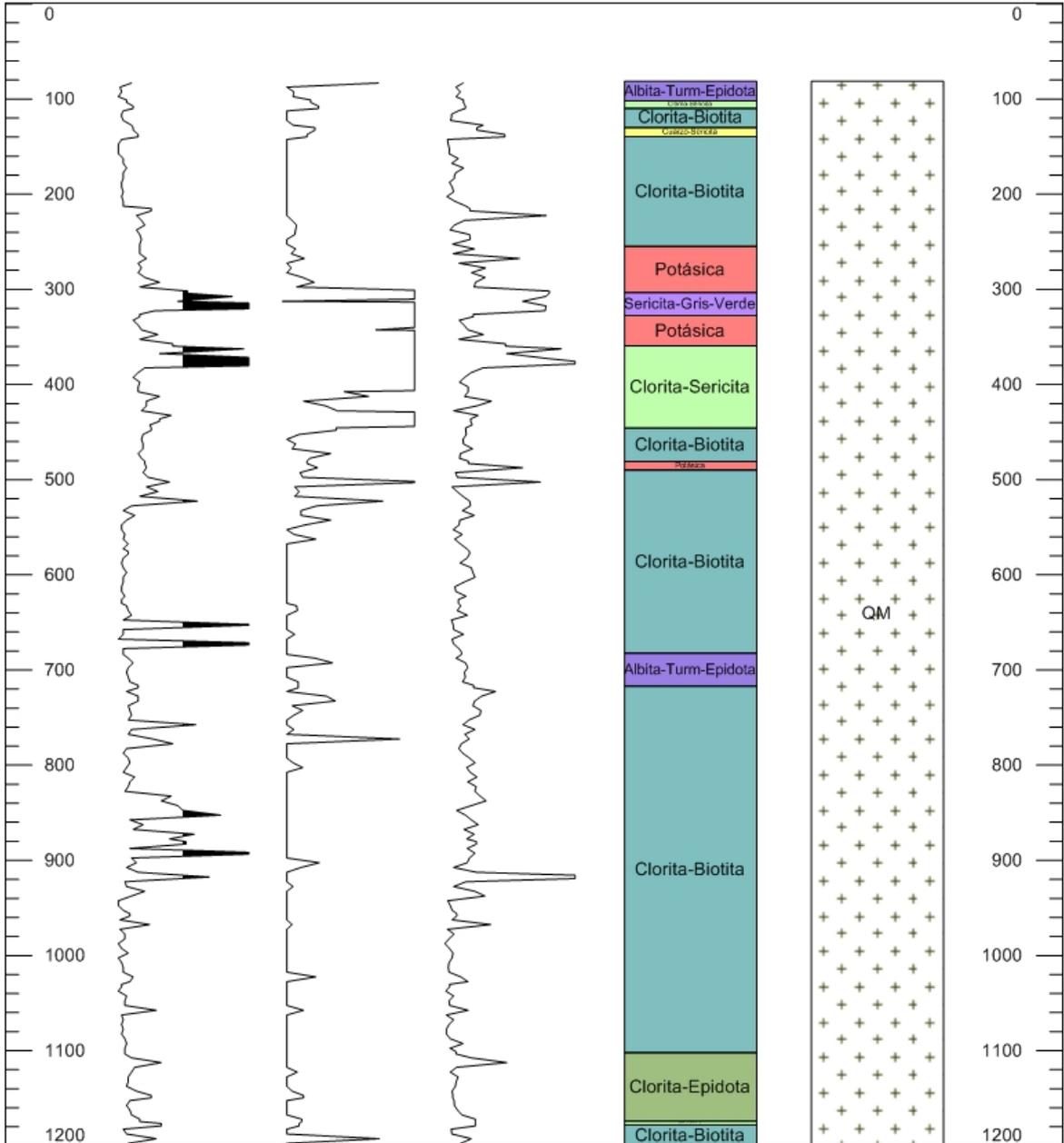


LB130085

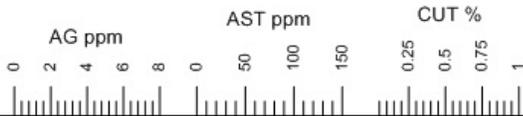


- Alteracion
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turm-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

- Litologia
- Sin informacion
 - Sobrecarga
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - PRT
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidrita

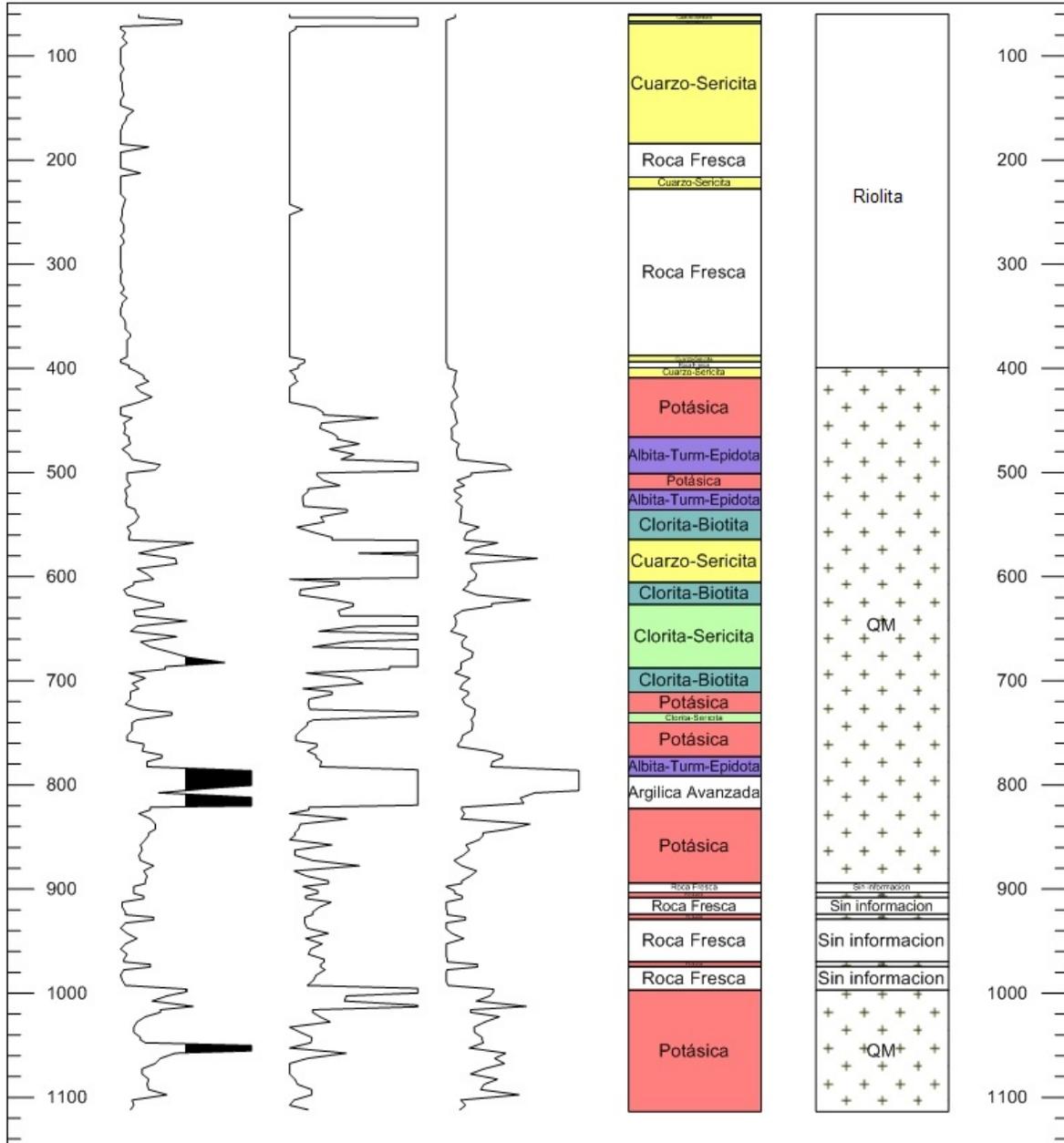


LB130087

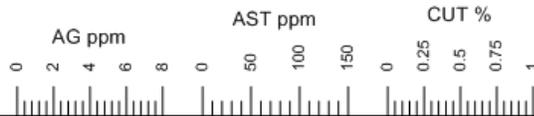


- Alteracion
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turm-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

- Litologia
- Sin informacion
 - Sobrecarga
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - Riolita
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidrita

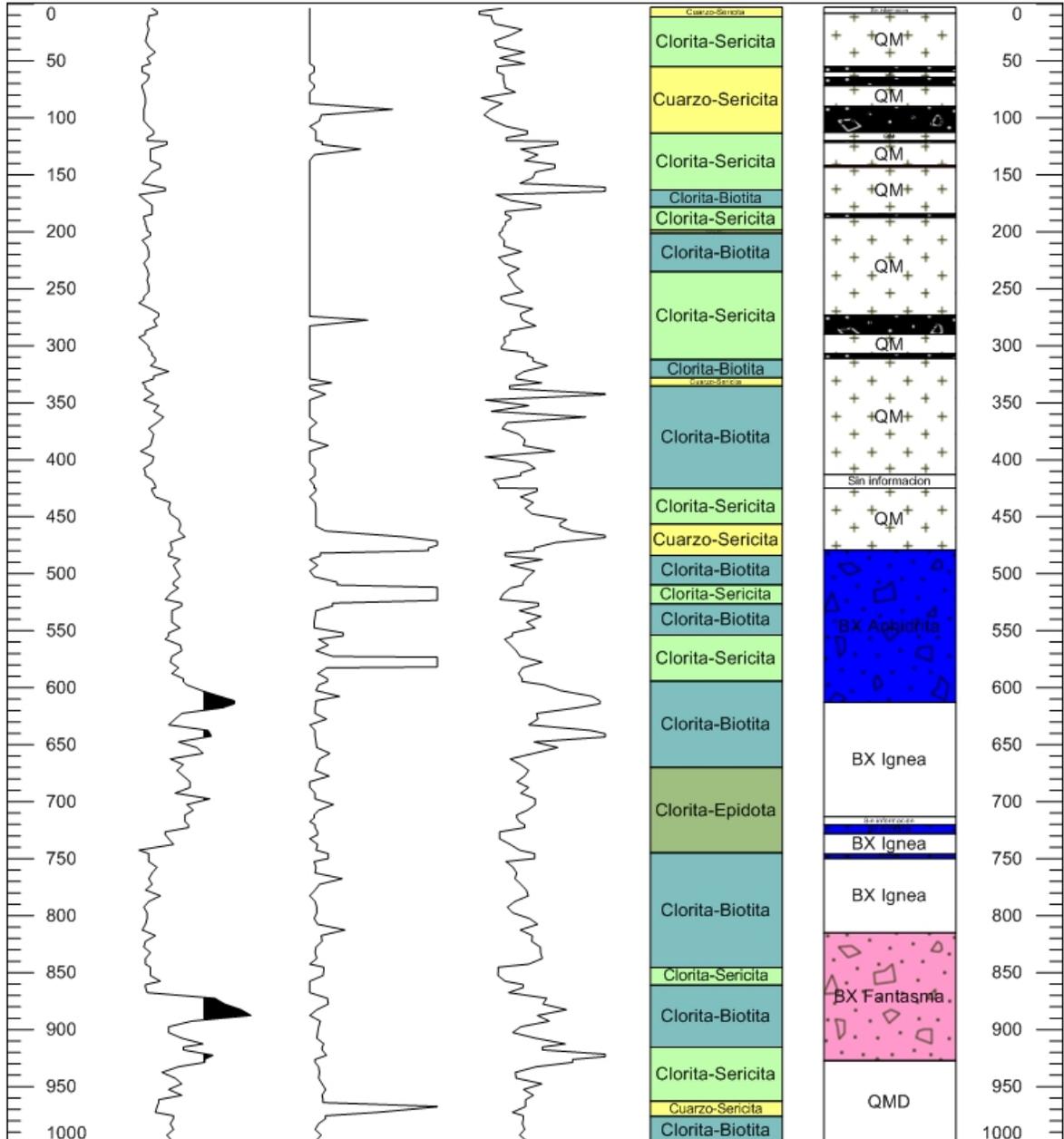


LB140021



- Alteración
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turm-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

- Litología
- Sin información
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - PRT
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidita

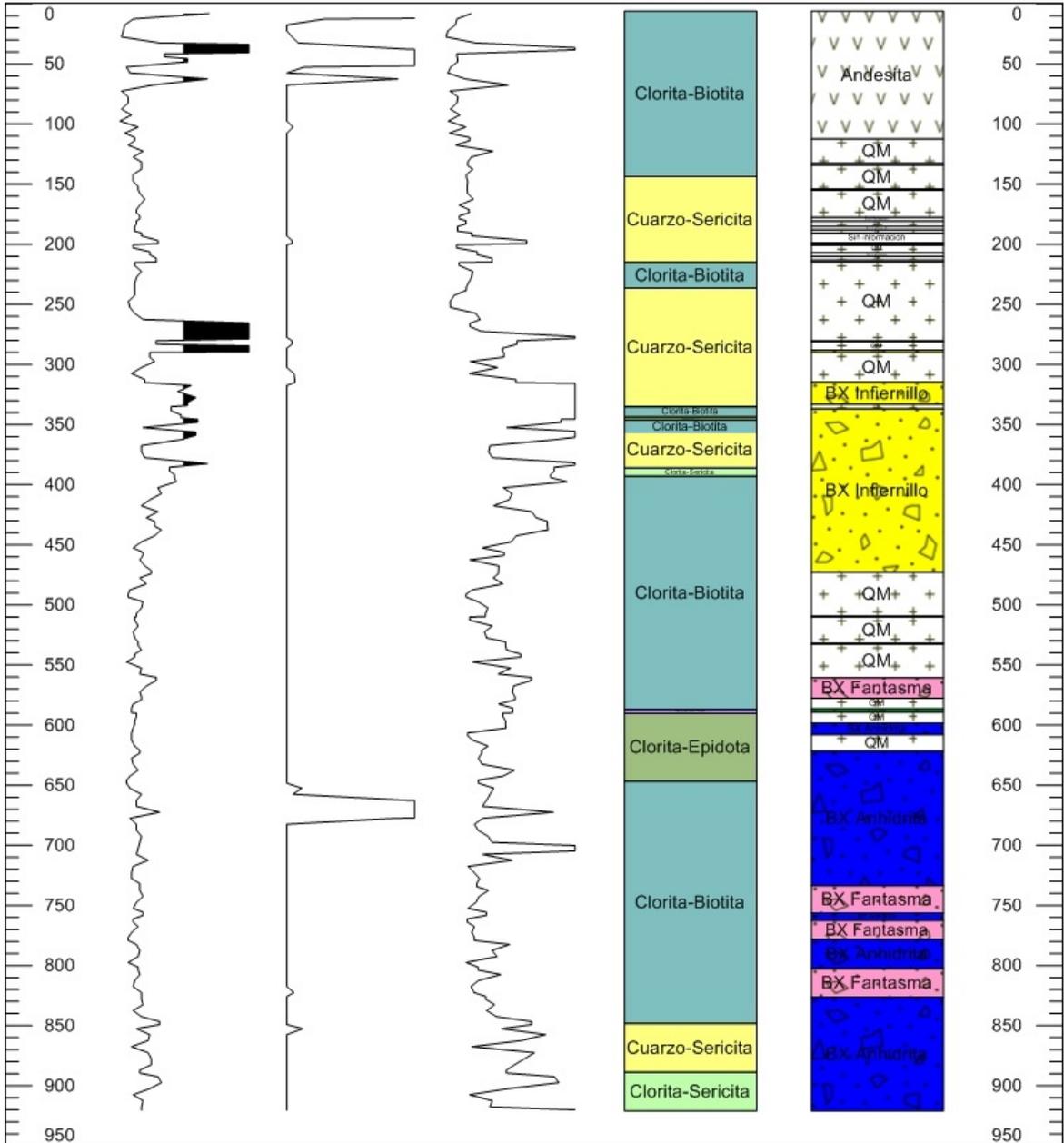


LB140099

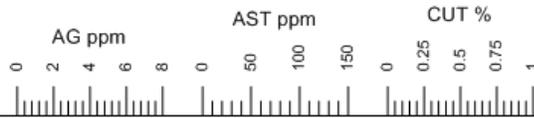


- Alteracion
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turmalina-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

- Litologia
- Sin informacion
 - Sobrecarga
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - PRT
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidrita

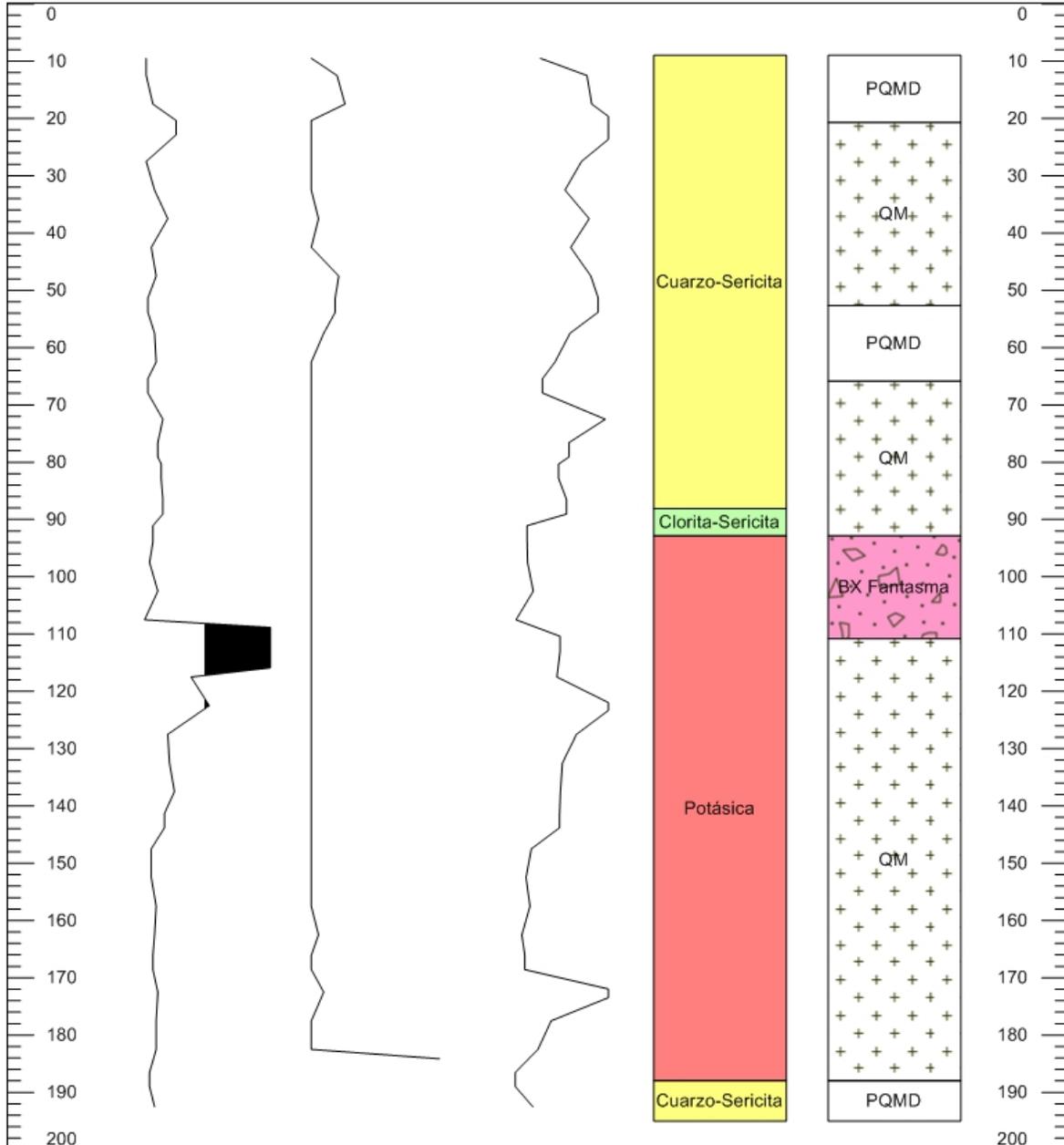


LB140109



- Alteración
- Sin Información
 - Cuarzo-Sericita
 - Potásica
 - Clorita-Sericita
 - Clorita-Epidota
 - Clorita-Biotita
 - Albita-Turm-Epidota
 - Sericita-Gris-Verde
 - Argilica Intermedia

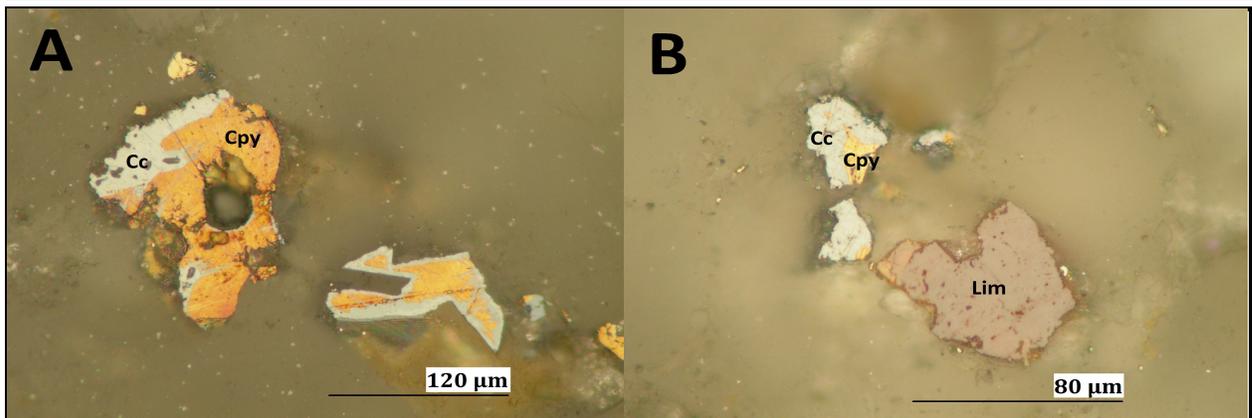
- Litología
- Sin información
 - BX Turmalina
 - Andesita
 - QM
 - BX Central
 - BX Infiernillo
 - BX Fantasma
 - PRT
 - PQM
 - BX Occidente
 - BX Anhidrita



ANEXO C

DESCRIPCIÓN DE BRIQUETAS

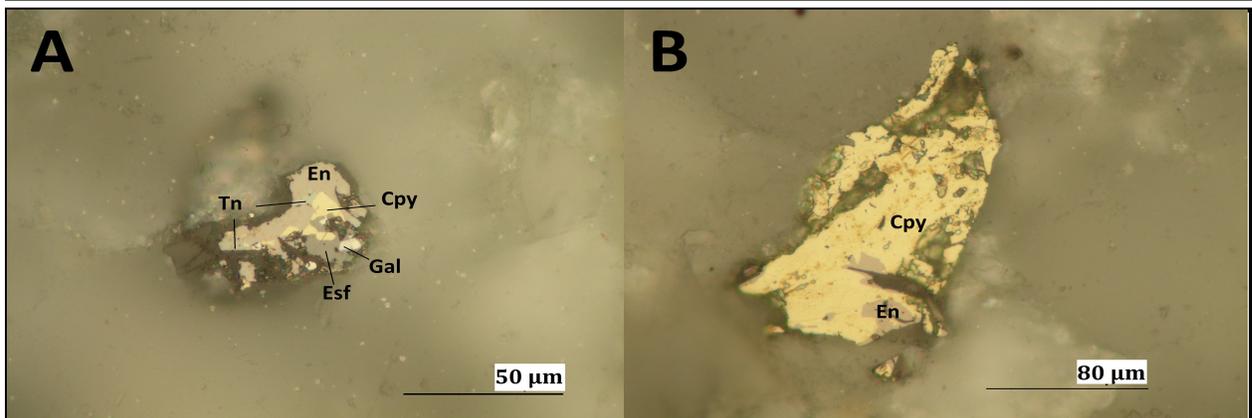
Muestra	Ag-1	Sondaje	LB120100	Profundidad	170m
---------	------	---------	----------	-------------	------



A: Calcosina reemplazando desde los bordes a calcopirita. Reemplazo no se da en toda la población, observar grano calcopirita arriba a izquierda. B: Calcosina en reemplazo de calcopirita, abajo izquierda grano de limonita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Calcopirita	53	Molibdenita	Tr	Frecuente	Cpy-Cc		
Calcosina	28			Escasos	Cpy-Py		
Hematita	14						
Pirita	4			Traza	Cpy-Py-Cc		
Limonita	1						

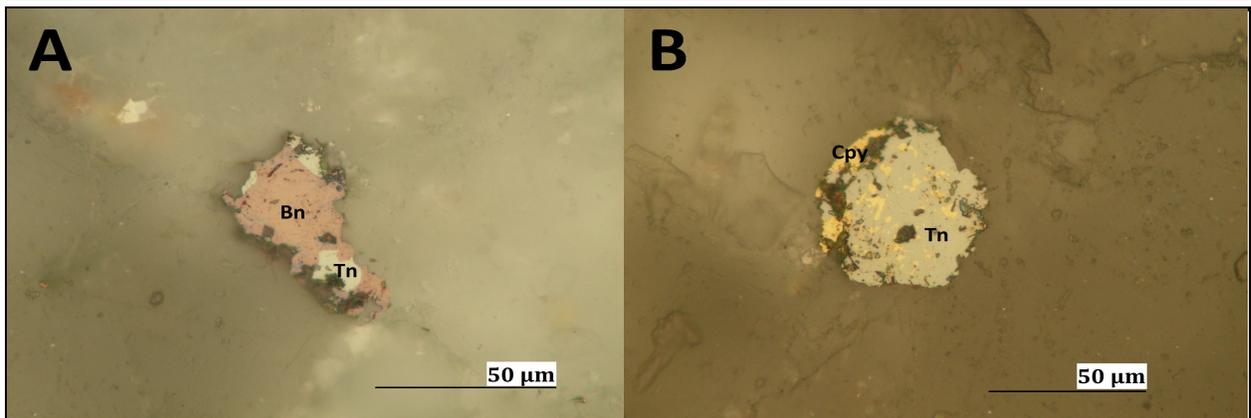
Muestra	Ag-2	Sondaje	LB120100	Profundidad	195m
---------	------	---------	----------	-------------	------



A: Asociación tenantita, enargita, calcopirita, esfalerita y galena. Posible reemplazo de enargita por cristales de tenantita, galena y esfalerita en equilibrio. B Grano de calcopirita con menor enargita en equilibrio.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	54	Tenantita	1	Frecuente	Cpy-Py	Cpy-En	
Hematita	21	Calcosina	1		Escasos	Py-Tn	Cpy-Tn
Calcopirita	16	Esfalerita	Tr			Py-Hem	
Magnetita	4	Galena	Tr	Traza	Cpy-Cc	En-Tn-Esf-Gal-Cpy	Cc-En
Enargita	3	Marcasita	Tr				

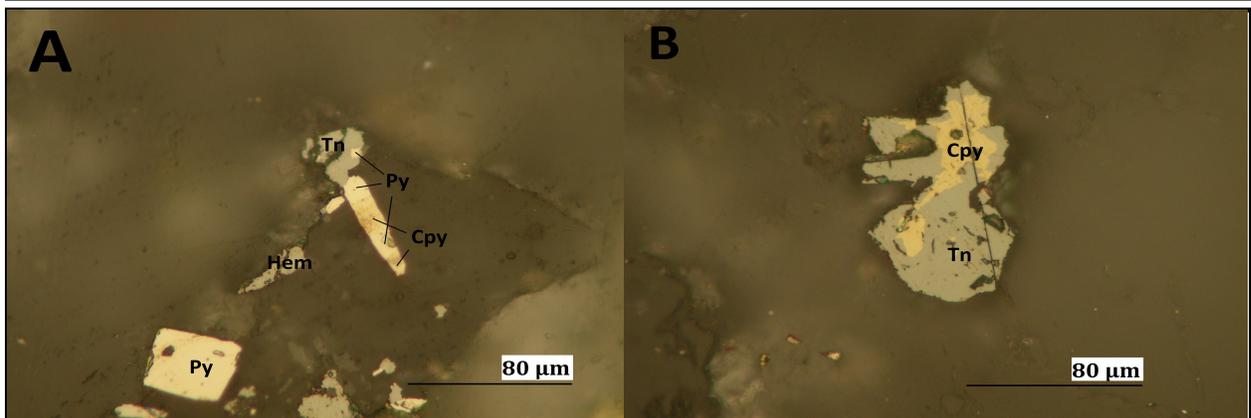
Muestra	Ag-9	Sondaje	LB130004	Profundidad	445m
---------	------	---------	----------	-------------	------



A: Tenantita en asociación con bornita. B: Tenantita con oclusiones de calcopirita

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Calcopirita	52	Esfalerita	2	Frecuente	Cpy-Bn		
Pirita	17	Calcosina	Tr	Escasos	Cpy-Tn		
Bornita	12	Covelina	Tr				
Hematita	11	Digenita	Tr	Traza	Cpy-Bn-Cc	Cpy-Bn-Cv	Bn-Tn
Tenantita	5	Marcasita	Tr		Esf-Cpy	Cpy-Py	

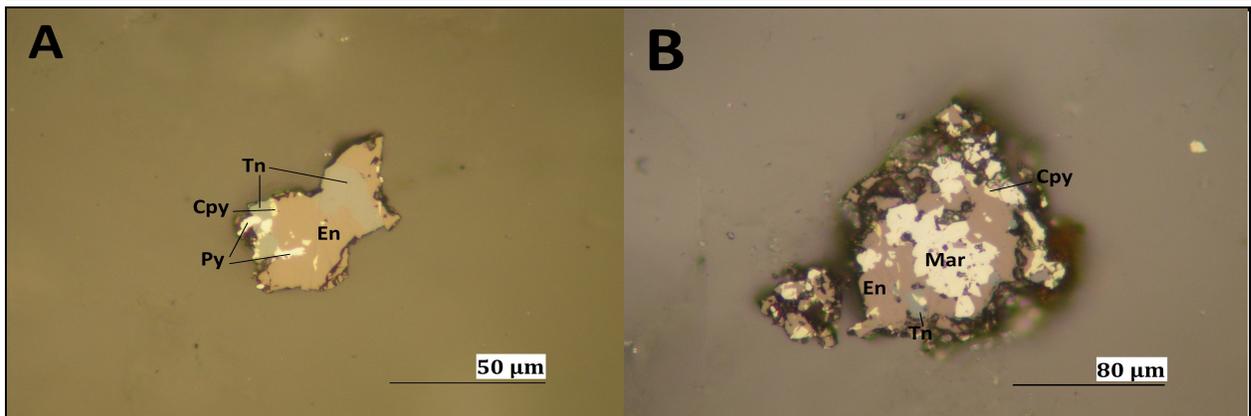
Muestra	Ag-11	Sondaje	LB130085	Profundidad	315m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Asociación de tenantita con pirita, calcopirita en reemplazo de pirita. Abajo a la izquierda se observan granos liberados de hematita y pirita. B: Asociación de tenantita con calcopirita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	42	Magnetita	3	Frecuente	Cpy-Tn	Py-Tn	
Calcopirita	34	Hematita	3	Escasos	Cpy-En	Py-Esf	Cpy-Tn-Esf
Esfalerita	5	Galena	2				
Tenantita	4	Marcasita	2	Traza	En-Cpy-Mar		
Enargita	3	Molibdenita	2				

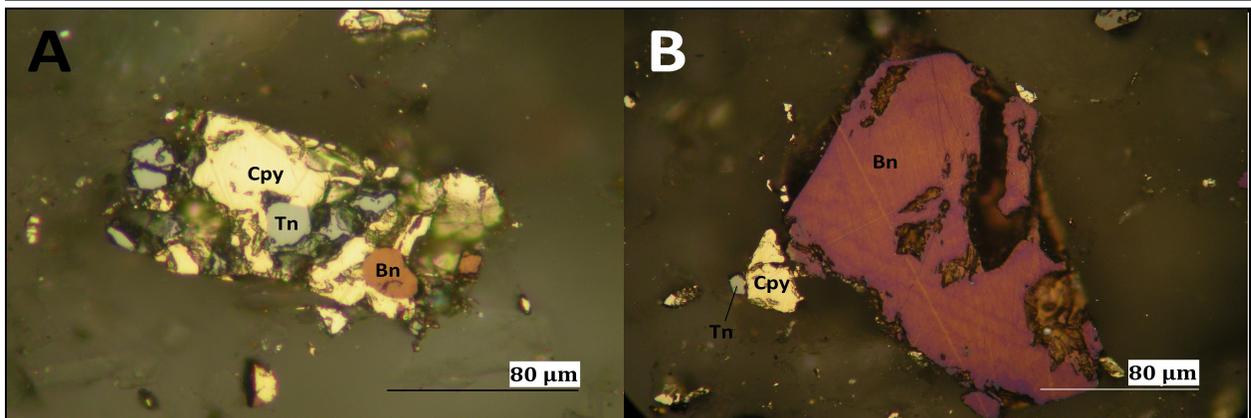
Muestra	Ag-12	Sondaje	LB130085	Profundidad	330m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Asociación enargita, tenantita, calcopirita y pirita. B: Enargita en entrecrecimiento con tenantita y pirita, la cual esta siendo reemplazada por marcasita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Calcopirita	45	Marcasita	3	Frecuente	Cpy-En	Cpy-Tn	
Magnetita	21	Tenantita	3	Escasos	Mar-En	Cpy-Mar-En-Tn	
Hematita	16	Bornita	Tr				
Pirita	7	Calcosina	Tr	Traza	Bn-Cc		
Enargita	5						

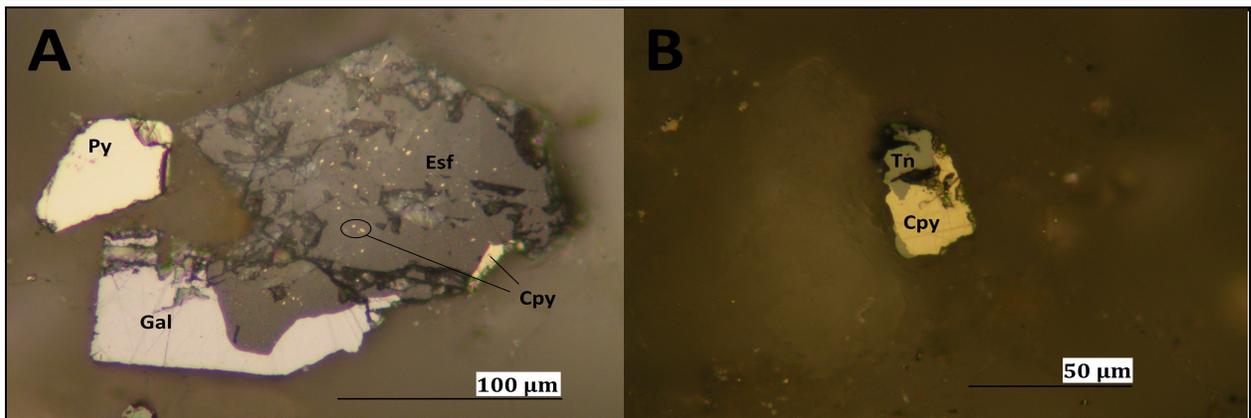
Muestra	Ag-15	Sondaje	LB130087	Profundidad	790
---------	-------	---------	----------	-------------	-----



A: Calcopirita en asociación a tenantita y bornita, aparentemente en equilibrio. B: Reemplazo casi total de bornita por calcopirita (cristal grande), Calcopirita en asociación a tenantita

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Calcopirita	47	Pirita	2	Frecuente	Cpy-Bn		
Bornita	33	Tenantita	2	Escasos	Cpy-Bn-Tn	Cpy-Tn	Bn-Tn
Hematita	8	Marcasita	Tr				
Magnetita	5	Esfalerita	Tr	Traza	Cpy-Bn-Cc		
Molibdenita	3	Calcosina	Tr				

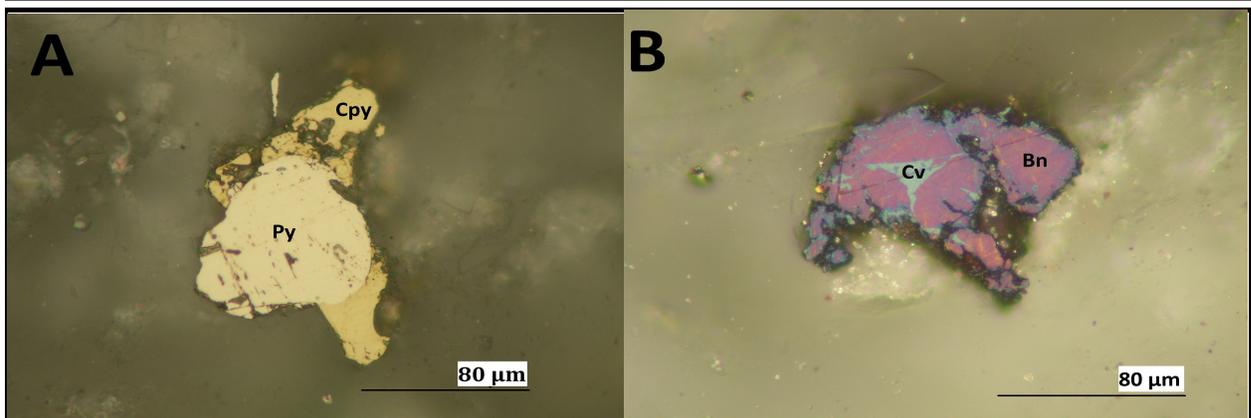
Muestra	Ag-16	Sondaje	LB130087	Profundidad	815m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Cristal de esfalerita con oclusiones de calcopirita. Esfalerita se observa en equilibrio con galena, a la izquierda pirita totalmente liberada. B: calcopirita con tenantita en asociación.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	44	Galena	2	Frecuente	Cpy-Esf	Cpy-Tn	
Calcopirita	34	Hematita	2	Escasos	Gal-Py	Py-Esf	Py-Tn
Esfalerita	7	Magnetita	2		Cpy-Tn-Esf	Esf-Gal	
Tenantita	4	Marcasita	2	Traza	Cpy-Py-En	Cpy-Gal	
Enargita	3						

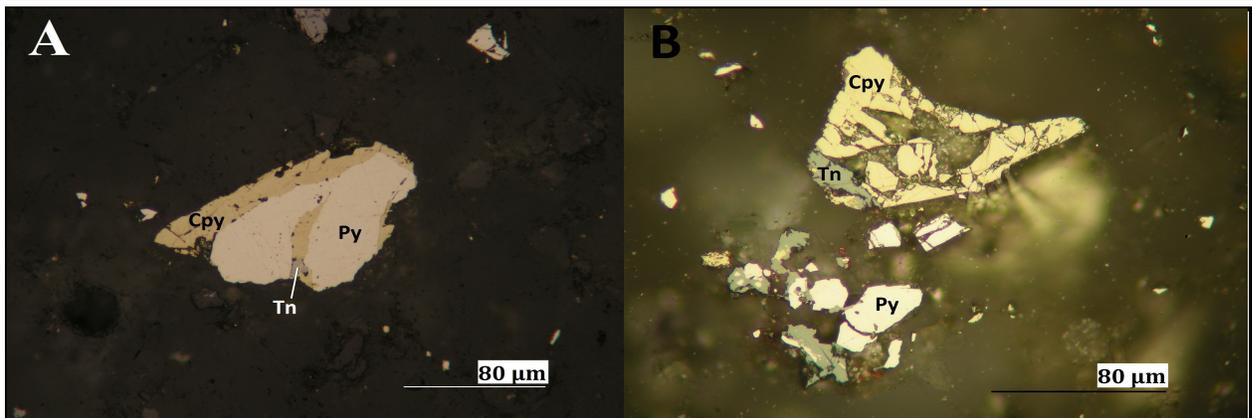
Muestra	Ag-19	Sondaje	LB140021	Profundidad	885m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Cristal subhedral de pirita en equilibrio con calcopirita. B: Covelina reemplazando desde los bordes y en fisura a bornita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	42	Calcosina	Tr	Frecuente	Py-Cpy		
Calcopirita	33	Digenita	Tr	Escasos	Cpy-Bn		
Bornita	11	Covelina	Tr				
Hematita	9			Traza	Bn-Cc	Bn-Cv	
Magnetita	5						

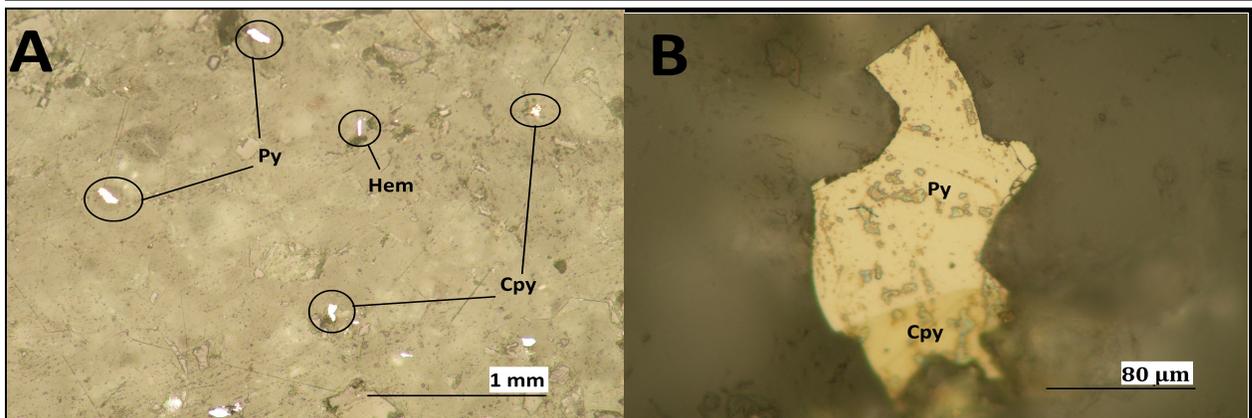
Muestra	Ag-20	Sondaje	LB140099	Profundidad	35m
---------	-------	---------	----------	-------------	-----



A: Entrecrecimiento de cristales de calcopirita con pirita en equilibrio con tenantita. B: Asociación de calcopirita con tenantita y de tenantita con pirita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	51	Galena	1	Frecuente	Cpy-Py		
Calcopirita	27	Esfalerita	1	Escasos	Cpy-Py-Tn	Cpy-Hem	Py-Tn
Magnetita	11	Enargita	Tr				
Hematita	7	Bornita	Tr	Traza	Cpy-Esf-Gal	Bn-Cpy	
Tenantita	2	Marcasita	Tr				

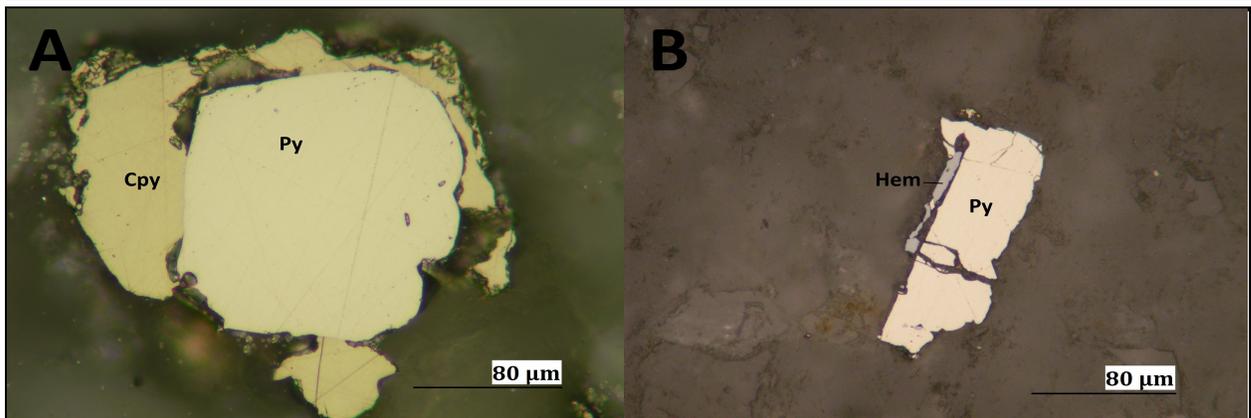
Muestra	Ag-21	Sondaje	LB140099	Profundidad	270m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Cristales liberados de pirita y calcopirita, escasa asociación mineral. B: Cristal en equilibrio de calcopirita con pirita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	45			Frecuente	Py-Cpy		
Calcopirita	34			Escasos			
Magnetita	17						
Hematita	4			Traza	Cpy-Hem		

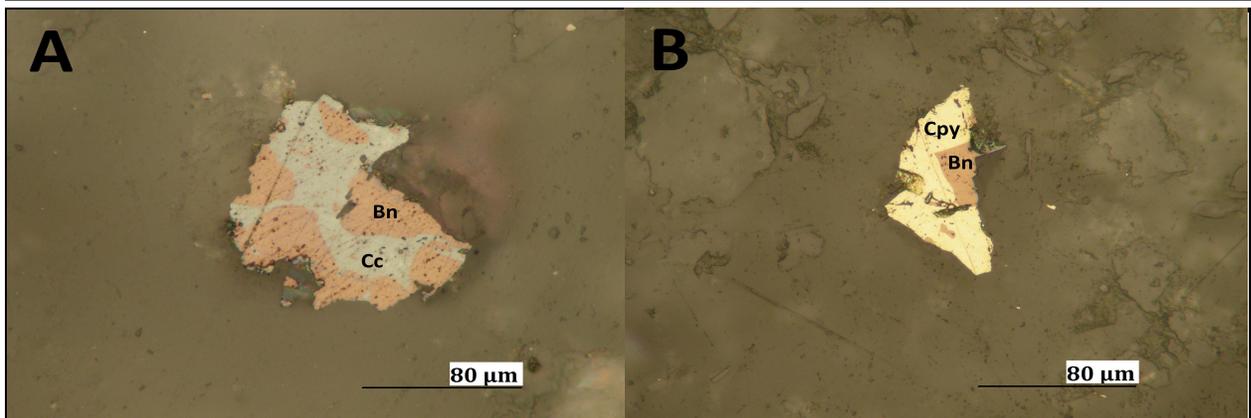
Muestra	Ag-22	Sondaje	LB140099	Profundidad	305m
---------	-------	---------	----------	-------------	------



A: Cristal subhedral de pirita en aparente equilibrio con calcopirita B: asociación hematita con pirita.

Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Pirita	42			Frecuente	Py-Cpy		
Calcopirita	37			Escasos			
Hematita	14						
Magnetita	7			Traza	Py-Hem		

Muestra	Ag-24	Sondaje	LB140109	Profundidad	110m
---------	-------	---------	----------	-------------	------

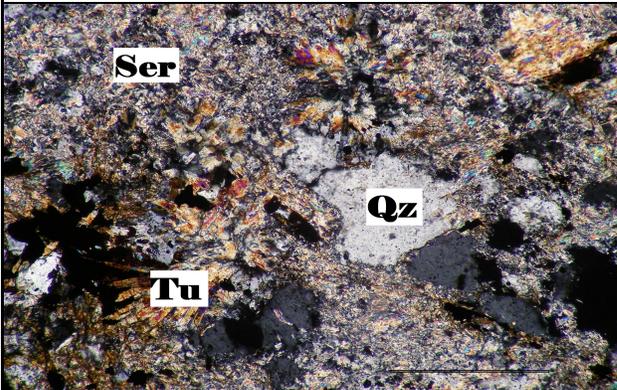
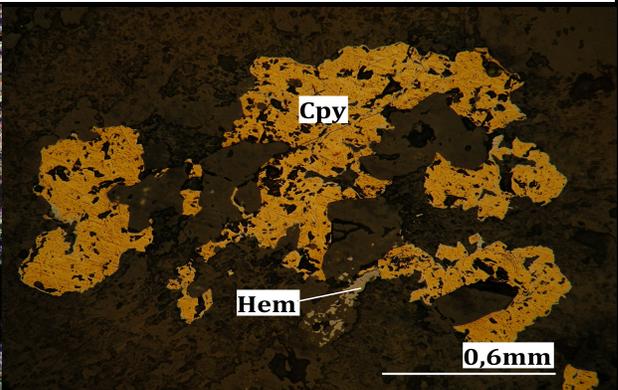


A: Exsolución de calcosina con bornita. B: Grano de calcopirita con bornita en equilibrio

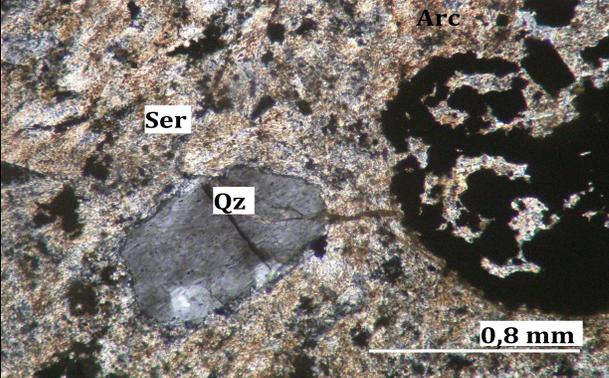
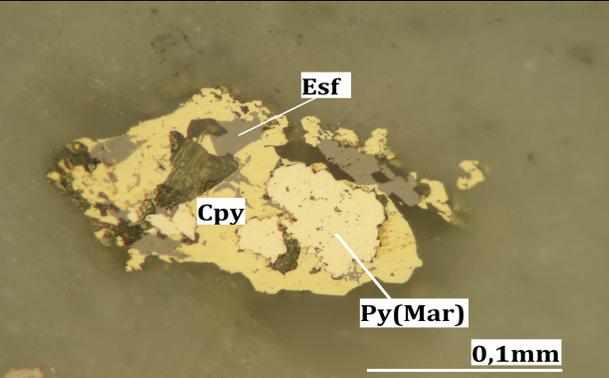
Porcentaje relativo minerales de mena				Asoc. Mineral			
Calcopirita	58	Molibdenita	1	Frecuente	Cpy-Bn	Bn-Cc	
Bornita	22			Escasos			
Calcosina	8						
Pirita	7			Traza	Cpy-Bn-Cc		
Hematita	4						

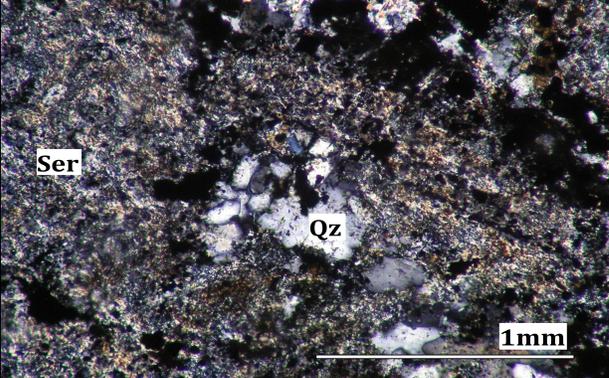
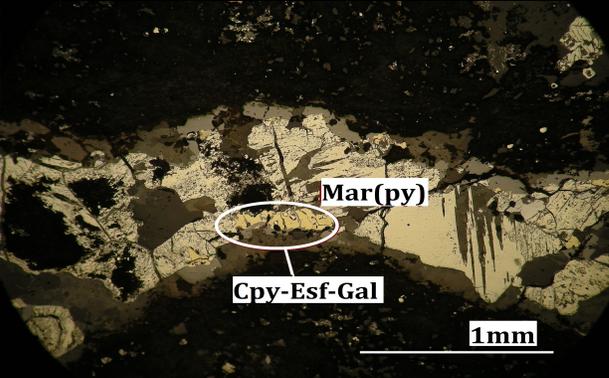
ANEXO D

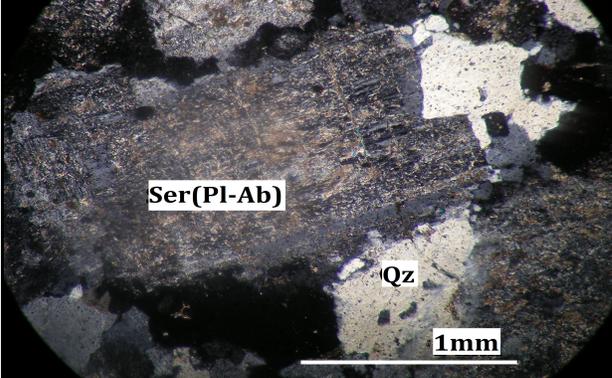
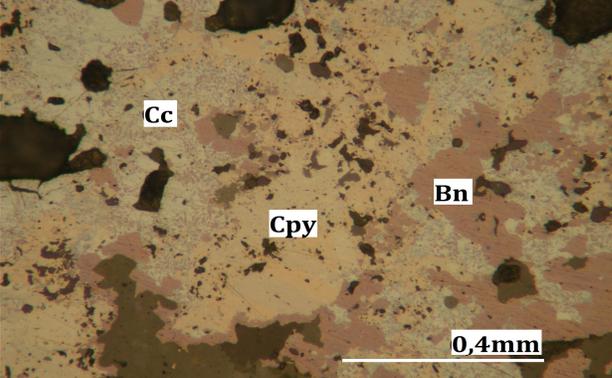
DESCRIPCIÓN DE CORTES PULIDOS Y TRANSPARENTES

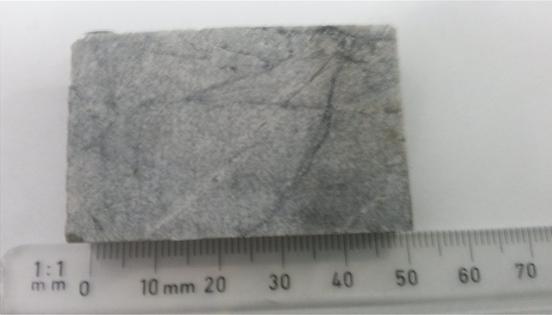
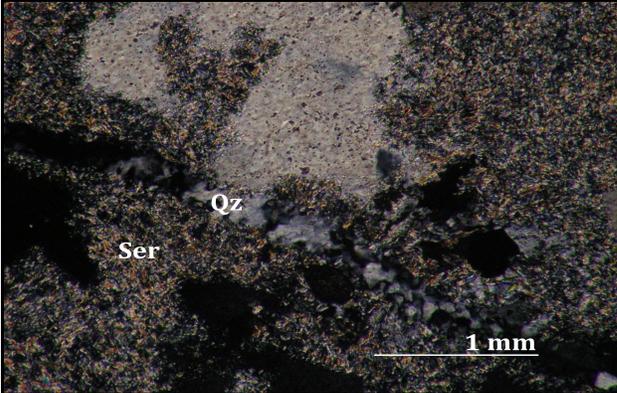
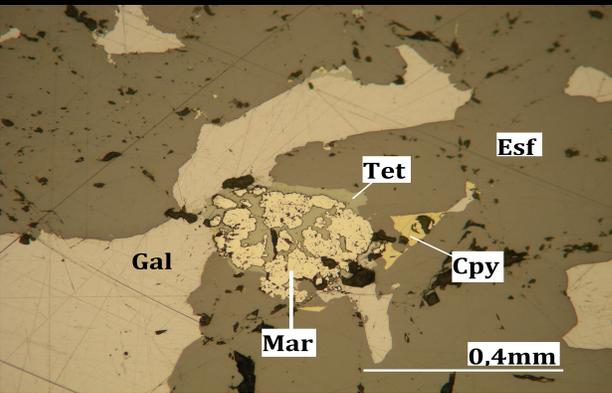
Muestra	Ag-1a	Sondaje	LB120100	Profundidad	173.45
Clasificación	Brecha de turmalina con clastos cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca textura brechosa, con matriz de turmalina y clastos de QM. Presenta alteración en clastos de cuarzo, sericita y arcillas. Mineralización de calcopirita, bornita y calcosina en matriz. menor calcopirita-pirita diseminado en clastos</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Turmalina	50	Cristales intersticiales con hábito acicular			
Feldespatos	20	Cristales relictos altamente alterados			
Cuarzo	10	Cristales anhdrales de aspecto fresco			
Minerales Alteración	50%	Características			
Sericita	75	Alterando selectivamente cristales de feldespatos			
Arcillas	14	Alterando cristales de feldespatos			
Turmalina	5	Cristales con hábito acicular diseminados en los clastos QM			
Cuarzo	5	En relleno de vetillas			
Anhidrita	1	Rellenando espacios			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a calcopirita, pirita y calcosina, además de hematita. Entre calcopirita y pirita se observa textura de entrecrecimiento. Existe una textura de reemplazo de calcosina por sobre los bordes y en fracturas de los cristales de calcopirita. La mineralización se concentra principalmente en la matriz de la roca formando cúmulos, en los clastos se observa mineralización diseminada y menor vetilla.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Microfotografía tomada en la zona de los clastos de la brecha, se observa cuarzo de aspecto fresco junto a la alteración pervasiva de sericita, con turmalina en relleno de espacios (Luz transmitida a nícoles cruzado) . Derecha: Calcopirita diseminada en la matriz en asociación a hematita (Luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

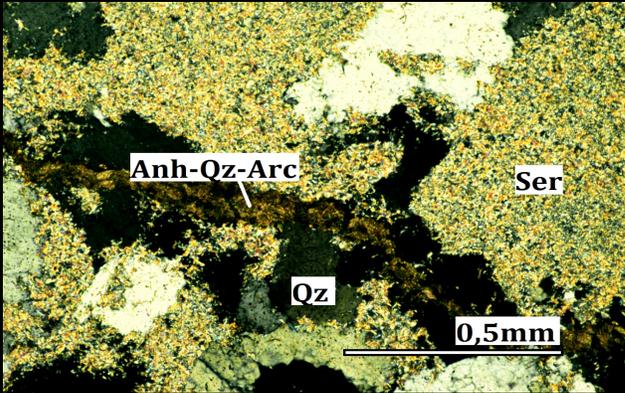
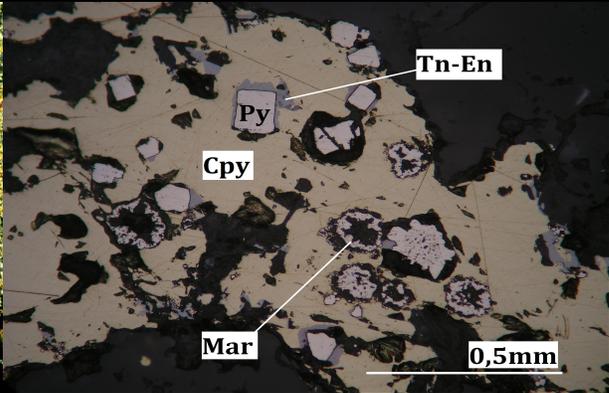
Muestra	Ag-1b	Sondaje	LB120100	Profundidad	178.75
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita-Clorita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca textura fanerítica de grano medio (3mm), con alteración de sericita, clorita y menor arcilla, cortado por vetillas con halo de cuarzo - arcillas y relleno de pirita, calcopirita y especularita. Calcopirita también esta diseminada.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Feldespato	75	Cristales relictos altamente alterados			
Cuarzo	20	Cristales anhdrales de aspecto fresco			
Biotitas	5	Cloritizados			
Minerales Alteración	80%	Características			
Sericita	70	Alterando feldespatos			
Arcillas	15	Alterando feldespatos			
Clorita	5	Alterando máficos			
Turmalina	5	Cristales con habito acicular, diseminados			
Cuarzo	5	Asociado a vetillas, comunmente en sus bordes			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a esfalerita, pirita, calcopirita y en forma de traza enargita, galena, tenantita. Entre calcopirita, enargita, tenantita se observa textura de entrecrecimiento, al igual que entre especularita, pirita, calcopirita. La mineralización se concentra en vetillas tardías. Se reconocen al menos dos familias de vetillas, las primeras tipo D de calcopirita, sulfosales y cuarzo. Vetillas tipo D tardía de especularita con calcopirita y pirita cortando a las primeras. existe mineralización diseminada de calcopirita y pirita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Vetilla tipo D tardía, rellana de opacos y bordes de cuarzo arcilla, se observa parte del halo de sericita arcilla. (Luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: Se observa el relleno de vetilla con mineralización masiva de especularita y menor pirita (Luz reflejada, nícoles paralelos).</p>					

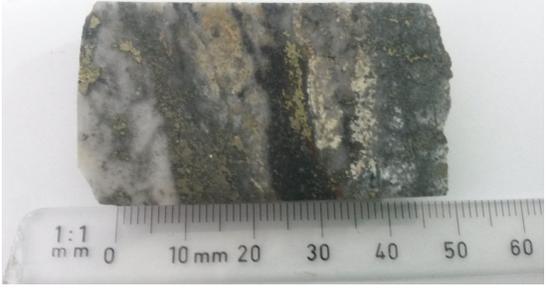
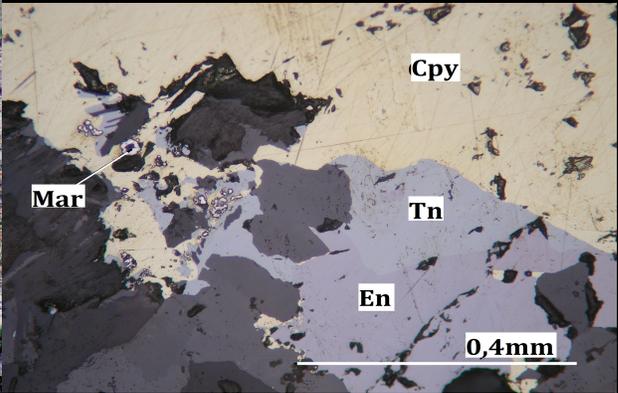
Muestra	Ag-8a	Sondaje	LB130004	Profundidad	107.7
Clasificación	Riolita brechizada				
Alteración	Cuarzo - Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca brechosa, con clastos de riolita y una matriz de polvo de roca y arcillas. Los clastos presentan alteración de sericita y cuarzo, menor arcillas y clorita, es atravesado por vetillas de cuarzo, arcilla y mineralización de calcopirita y esfalerita.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	35	Cristales subhedrales alterados a sericita			
Plagioclasa	35	Crisales subhedrales con presencia de macla polisintética alterados a ser.			
Cuarzo	30	Cristales anhdrales de aspecto fresco			
Minerales Alteración	60%	Características			
Sericita	89	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Cuarzo	5	Rellenando vetillas			
Arcillas	5	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Anhidrita	1	En forma intersticial			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a marcasita, calcopirita, pirita y menor esfalerita. Entre calcopirita, esfalerita se observa textura de entrecrecimiento. Existe una textura de reemplazo selectivo de marcasita sobre pirita. La mineralización se concentra mayoritariamente en vetillas de cuarzo y arcilla con espesor < 1mm. Hay menor presencia de pirita y calcopirita diseminados.</p>					
Fotomicrografía					
 					
<p>Izquierda: Cristal de cuarzo anhedral en medio de alteración sericítica y menor arcillas, se observa diseminado de opacos (luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: Asociación de calcopirita, esfalerita y pirita, ésta última siendo reemplazada a marcasita (luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

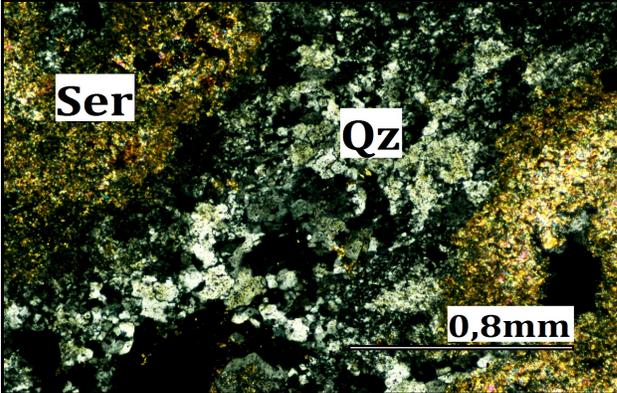
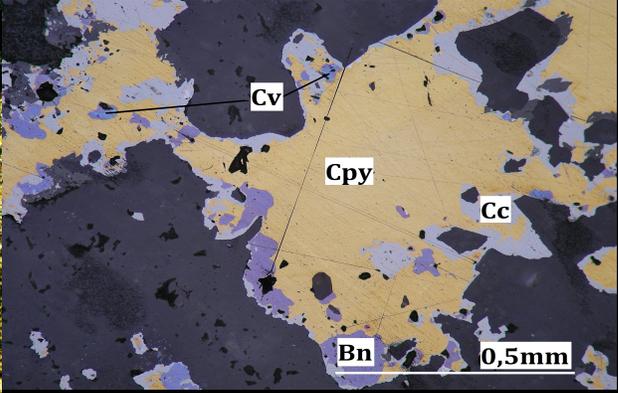
Muestra	Ag-8b	Sondaje	LB130004	Profundidad	111.25
Clasificación	Riolita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca porfírica, presenta fenocristales de grano medio (2mm) de plagioclasa con dirección preferencial de crecimiento. Los fenocristales presentan alteración a sericita y arcillas. Se observa menor turmalina asociada a fracturas, mineralización diseminada de pirita.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	35	Cristales subhedrales alterados a sericita			
Plagioclasa	35	Crisales subhedrales con presencia de macla polisintética alterados a ser.			
Cuarzo	30	Cristales anhdrales de aspecto fresco			
Minerales Alteración	55%	Características			
Sericita	88	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Cuarzo	5	Rellenando vetillas			
Arcillas	5	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Turmalina	1	En forma intersticial			
Anhidrita	1	En forma intersticial			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a marcasita, calcopirita, esfalerita y galena. Entre calcopirita, esfalerita, galena se observa textura de entrecrecimiento. Existe una textura de reemplazo selectivo de marcasita sobre pirita. La mineralización se concentra diseminado y también en vetillas de cuarzo con un espesor cercano a 1 mm. Existe zonación lateral en la vetilla tardía: con un centro de marcasita (reemplazo de pirita) y bordes con asociación calcopirita, esfalerita y galena.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Agregado de cuarzo junto a agregado microcristalino de sericita, presentes en el borde de vetilla de foto a la derecha (Luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: Vetilla con relleno de cuarzo pirita, calcopirita, esfalerita y galena. presenta zonación horizontal, con centro de pirita siendo reemplazada a marcasita y bordes con mineralogía en equilibrio de calcopirita, pirita, esfalerita, galena (luz reflejada a nícoles cruzado)</p>					

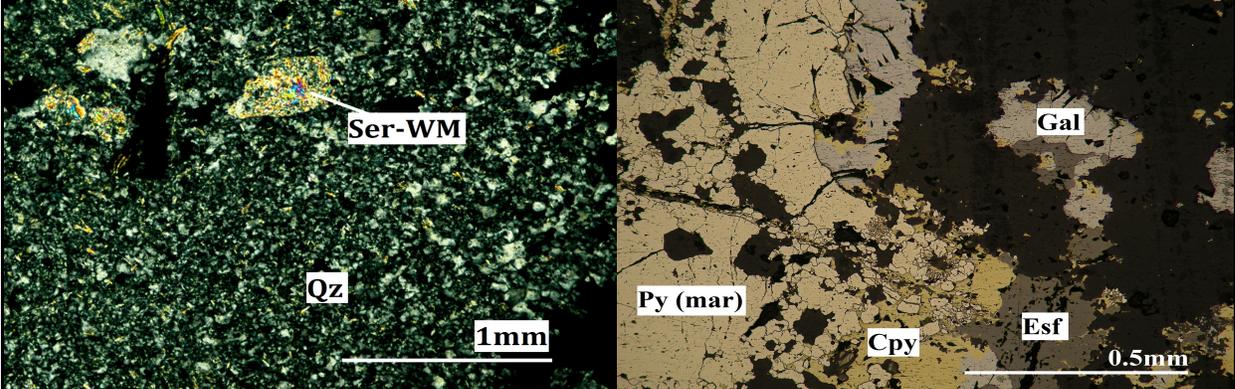
Muestra	AG-9	Sondaje	LB130004	Profundidad	450.1
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
Roca textura fanerítica de grano medio (2mm), con alteración de cuarzo y sericita reemplazando feldespatos, menor clorita en remplazo de máficos, cortado por vetillas tipo D tardías con halo de cuarzo - arcillas y relleno de pirita, calcopirita y especularita. Calcopirita también esta diseminada, se observan vetillas con mineralización de bornita, calcopirita, calcosina, digenita?. menor pirita diseminada.					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	40	Cristales subhedrales alterados a sericita albita y arcillas			
Plagioclasa	40	Alterados a albita y sericita			
Cuarzo	15	Cristales anhdrales de aspecto fresco			
Biotitas	5	Alterada por cloritas			
Minerales Alteración	45%	Características			
Sericita	80	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Albita	8	reemplazo feldespatos			
Arcillas	5	Alterando plagioclasas y ortoclasas			
Cuarzo	5	Rellenando vetillas			
Clorita	2	Alterando biotitas			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a bornita, calcopirita, calcosina, pirita, covelina, digenita? y enargita. Se observa reemplazo de calcopirita por bornita. Existe reemplazo de calcosina sobre bornita y calcopirita, además de uno selectivo de covelina sobre bornita. La mineralización se concentra principalmente en vetillas de cuarzo y tambien diseminado. Enargita aparece asociado a calcopirita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Cristal de cuarzo con plagioclasa, la plagioclasa esta albitizada y sericitizada (Luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: Reemplazo de calcosina sobre calcopirita y bornita, a su vez bornita reemplaza a calcopirita (luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

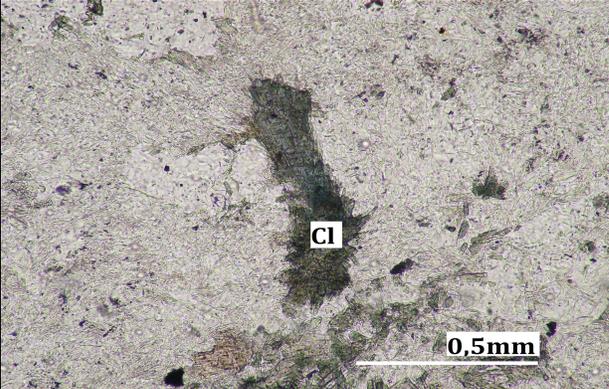
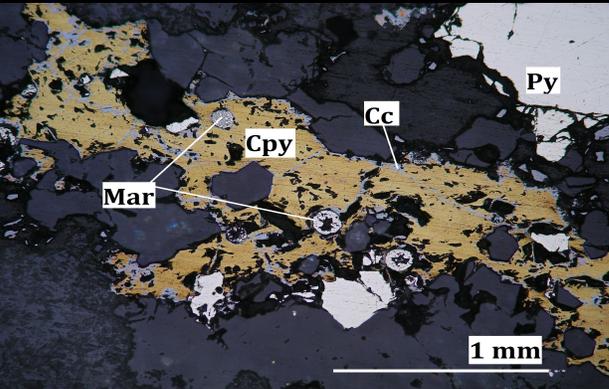
Muestra	Ag-11	Sondaje	LB130085	Profundidad	317.75
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca con textura fanerítica de grano fino, alterada pervasivamente por sericita, también hay presencia de cuarzo y menor clorita, arcillas. La alteración al parecer se debe a los halos de un stockwork de vetillas finas con mineralización de esfalerita, calcopirita, galena, tenantita?.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Feldespatos	80	Cristales relictos altamente alterados			
Cuarzo	20	Cristales anhedrales de aspecto fresco			
Minerales Alteración	75%	Características			
Sericita	78	Agregado microcristalino alterando feldespatos			
Cuarzo	10	Cuarzo secundario como agregados y rellenando vetillas			
Arcillas	10	Alterando a feldespatos			
Turmalina	2	Habito acicular se encuentran en vetillas			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en este tramo corresponden a galena, esfalerita, calcopirita, pirita, marcasita y sulfosales (tn-tet-en-lzn). Existen dos tipos de vetas unas de cuarzo, turmalina, calcopirita y pirita. Otras posteriores de cuarzo con minerales de galena, esfalerita, además de sulfosales, se observan textura de entrecrecimiento entre las sulfosales, además de mayor presencia de marcasita en estas vetillas.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Vetillas finas tipo D de cuarzo y opacos (luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: Mineralogía metálica presente en las vetillas finas de cuarzo, se observa entrecrecimiento de galena, esfalerita con menor pirita y calcopirita. La pirita esta reemplazada total o parcialmente por marcasita (Luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

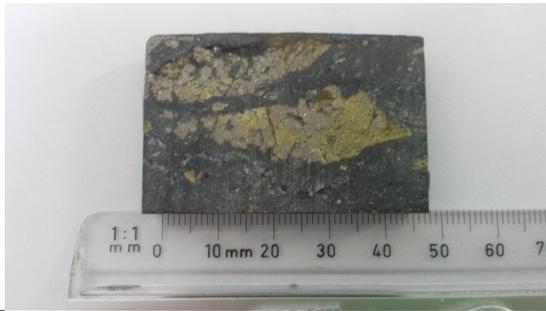
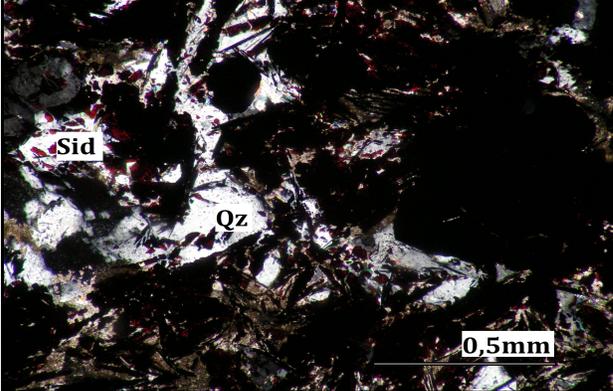
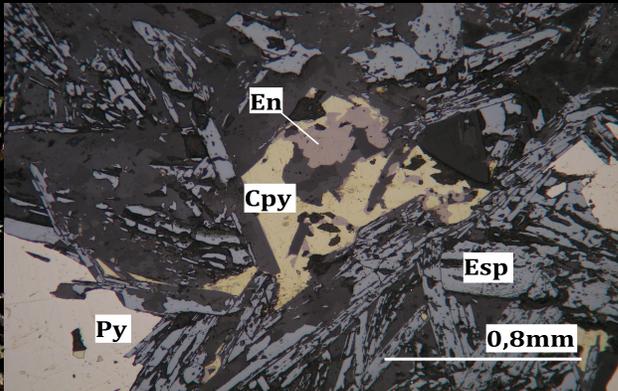
Muestra	Ag-13a	Sondaje	LB130085	Profundidad	372.6
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca textura fanerítica grano medio (2mm), con feldespatos altamente alterado a sericita y menor arcilla, presencia de cuarzo asociado a vetillas tardías con mineralización de calcopirita, pirita, esfalerita y tenantita?. calcopirita y pirita también se encuentran diseminados</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	40	Cristales anhedrales alterados a sericita y arcillas			
Plagioclasa	30	Cristales anhedrales alterados a sericita y arcillas			
Cuarzo	22	Cristales anhedrales de aspecto fresco			
Máficos	8	Pseudomorfos de minerales máficos alterados a biotita secundaria			
Minerales Alteración	65%	Características			
Sericita	60	Agregado microcristalino alterando a plagioclasas y ortoclusas			
Cuarzo	25	Agregado de cuarzo secundario en vetillas			
Clorita	5	Producto de alteración de biotita primaria			
Biotita	5	Amorfo, producto de alteración de minerales máficos			
Arcillas	3	Alterando a plagioclasas			
Anhidrita	2	De forma intersticial			
Descripción mineralogía metálica					
<p>La mineralogía metálica corresponde al 5%, se observa predominio de calcopirita la cual esta presente en vetillas (tardías) y diseminado. Hay presencia de cristales subhedrales de pirita y cristales reniformes de marcasita en reemplazo de pirita. Existe precipitación de sulfosales como enargita, tenantita, luzonita en aberturas de vetillas (tardías). también existe presencia de galena y esfalerita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: vetilla con relleno de cuarzo, arcillas y anhidrita (Luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: vetilla tipo D con relleno de calcopirita y pirita. Con reemplazo selectivo de marcasita por pirita y presencia de tenantita y enargita (Luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

Muestra	Ag-13b	Sondaje	LB130085	Profundidad	375.1
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca con textura completamente obliterada por alteración pervasiva de sericita y cuarzo. La roca es atravesada por 2 familias de vetas, unas corresponden a vetillas de cuarzo con mineralización de pirita y calcopirita. Las otras vetillas se superponen, tienen mineralización de esfalerita con menor pirita y calcopirita.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Cuarzo	?	Cristales anhedrales de hasta 1 mm de espesor			
Feldespatos	?	Cristales completamente alterados			
Minerales Alteración	90%	Características			
Cuarzo	74	Agregado de cuarzo secundario en vetillas			
Sericita	20	Alterando feldespatos			
Arcillas	5	Alterando feldespatos			
Anhidrita	1	En forma intersticial en vetillas			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en este tramo corresponden a especularita, calcopirita, marcasita, pirita, tenantita, enargita. Estos minerales se disponen en dos tipos de vetilla: tipo D tardía con mineralización masiva de especularita entrecrecida con calcopirita y menor marcasita. La otra vetilla tipo D de calcopirita, pirita y cuarzo, presenta enargita y tenantita con una textura de entrecrecimiento con calcopirita. Hay reemplazo de marcasita por pirita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Relleno de vetilla tipo D con agregados de cuarzo y opacos, sericita en los bordes (luz transmitida a nícoles cruzados). Derecha: mineralización metálica de la vetilla, se presenta entrecrecimiento entre tenantita, enargita y calcopirita. Menor marcasita como reemplazo de pirita (Luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

Muestra	Ag-15	Sondaje	LB130087	Profundidad	790.05
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Sericita gris verde				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca textura fanerítica altamente alterada por sericita en feldspatos y clorita en biotitas, esta alteración probablemente debido a los halos de un stockwork, se observa presencia de cuarzo en vetillas y existen oquedades con mineralización de calcopirita, bornita, calcosina y covelina.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	40	Granos anhedrales alterados a sericita			
Plagioclasa	26	Cristales alterados a sericita y arcillas principalmente.			
Cuarzo	25	Cristales anhedrales de aspecto fresco			
Máficos	8	Relictos de fenocristales máficos, reemplazados por biotita hidrotermal			
Minerales Alteración	60%	Características			
Sericita	60	Agregados microcristalinos alterando a plagioclasas y ortoclasas			
Cuarzo	15	Agregados de cuarzo secundario rellenando vetillas principalmente			
Arcillas	10	Alterando a plagioclasas y ortoclasas			
Clorita	6	Alterando a máficos			
Biotita	6	Amorfo, producto de alteración de minerales máficos			
Anhidrita	3	De forma intersticial y en vetillas			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a calcopirita, bornita, calcosina, digenita?. Se observa reemplazo de calcopirita por bornita. Sobre estos minerales existe un remplazo desde los bordes por calcosina y un reemplazo selectivo de covelina en bornita. La mineralización se concentra mayoritariamente en vetillas de cuarzo espesor < 1mm. aunque hay presencia de los minerales en forma diseminada.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: vetilla recta de curazo y maficos con halo sericitico (Luz transmitida a nicoles cruzados). Derecha: Relleno metalico de la vetilla de cuarzo, presenta asociación calcopirita y bornita siendo reemplazada por calcosina, existe reemplazo selectivo de covelina en bornitas (luz reflejada a nicoles paralelos).</p>					

Muestra	Ag-16	Sondaje	LB130087	Profundidad	815.1
Clasificación	Cuarzomonzonita				
Alteración	Cuarzo-Sericita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca con textura fanerítica de grano fino, alteración intensa de plagioclasas por sericita, y máficos por clorita, también hay presencia de cuarzo y arcilla. La roca es cortada por vetillas tardías polimetálicas de esfalerita, piritita, calcopirita y galena, presentan bordes de cuarzo.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Ortoclasa	38	Cristales con alteración de sericita			
Plagioclasa	30	Fragmentos de cristales con alteración de sericita			
Cuarzo	24	Cristales anhedrales de aspecto fresco			
Máficos	8	Relictos de fenocristales máficos, reemplazados por biotita hidrotermal			
Minerales Alteración	80%	Características			
Sericita	50	Alterando a plagioclasas y ortoclasas			
Cuarzo	40	Cuarzo secundario anhedral y de bordes muy irregulares			
Epidota	3	Finos cristales diseminados			
Clorita	3	Reemplazando a cristales finos de biotita			
Turmalina	3	Se encuentra en vetillas			
Anhidrita	1	En forma intersticial			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Vetas controlan mineralización metálica, se observan vetillas de un centímetro de espesor. con contenido de piritita (en reemplazo por marcasita), calcopirita esfalerita y galena. Se observa entrecrecimiento entre los minerales, se distingue asociación paragenética entre piritita-calcopirita-galena-esfalerita. además se observa tenantita ligada a calcopirita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Plagioclasa alterada a sericita junto a un agregado de cuarzo (Luz transmitida a nicoles cruzdos). Derecha: Vetilla polimetálica con asociación calcopirita, esfalerita, galena y piritita, la piritita esta siendo reemplazada por marcasita (Luz reflejada nicoles paralelos).</p>					

Muestra	Ag-25	Terreno		Profundidad	N/A
Clasificación	Brecha Fantasma				
Alteración	Cuarzo sercita				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Roca brechosa, con clastos de textura fanerítica de plagioclasas alteradas a sercita y arcillas, posiblemente perteneciente a cuarzomonzonitas. La matriz es de polvo de roca y menor turmalina, existe mineralización de pirita, calcopirita y calcosina diseminada y asociadas a vetillas de especularita.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
Feldespatos	70	Cristales relictos altamente alterados a sercita y arcilla			
Cuarzo	25	Cristales anhedrales de aspecto fresco			
Máficos	5	Cristales relictos altamente alterados a clorita			
Minerales Alteración	%	Características			
Sercita	80	Agregados microcristalinos alterando a feldespatos			
Cuarzo	10	Agregados de cuarzo secundario rellenando vetillas principalmente			
Clorita	5	Alterando a máficos			
Arcillas	5	Alterando a feldespatos			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en el tramo corresponden a pirita, calcopirita y calcosina. Entre calcopirita y pirita se observa textura de entrecrecimiento. Existe un reemplazo de calcosina sobre calcopirita. La mineralización se concentra en vetillas de cuarzo continuas y rectas con un espesor cercano a 1mm. También hay mineralización con la misma asociación de forma diseminada.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>metálica en vetilla, se observa reemplazo selectivo de calcosina en los bordes de calcopirita, también hay reemplazo de marcasita por pirita en centro de la vetilla, este reemplazo no se observa en el resto de las piritas, como se puede ver en la esquina superior derecha (Luz reflejada a nícoles paralelos).</p>					

Muestra	Ag-26	Sondaje	Terreno	Profundidad	N/A
Clasificación	Veta polimetálica en Brecha Fantasma				
Alteración	N/A				
Observaciones Macroscópicas			Macrofotografía		
<p>Veta maciza de especularita, pirita y calcopirita, presenta pequeñas oquedades, se distinguen pequeñas zonas con alteración de cuarzo sericita y arcillas. Muestra muy densa.</p>					
Minerales Primarios	%	Características			
		No se reconocen (muestra atraviesa veta)			
Minerales Alteración	%	Características			
Cuarzo	90	Cristales de bordes rectos por toda la veta			
Arcillas	5	Rellenando cavidades			
siderita	5	Se encuentra en forma intersticial			
Descripción mineralogía metálica					
<p>Los minerales presentes en este tramo corresponden a especularita dominante, pirita y menor calcopirita y enargita. La mineralogía corresponde a una veta de evento tardío completamente mineralizada, con textura de entrecrecimiento de especularita, pirita y calcopirita. La enargita aparece asociada a calcopirita.</p>					
Fotomicrografía					
					
<p>Izquierda: Se observan cristales de cuarzo de aspecto fresco y bordes rectos alrededor de minerales opacos, también se distingue en los bordes menor arcillas y siderita (Luz transmitida a nicóles cruzados). Se observa textura de entrecrecimiento con bordes rectos entre cristales de especularita, pirita, y calcopirita. Cristal de enargita en asociación a calcopirita (Luz reflejada a nicóles paralelos).</p>					

ANEXO E

RESULTADOS LABORATORIO ICP Y DRX

Análisis elemental mediante DRX

	Si	Al	Mg	Fe	Na	K	Ca	S	Cu	C	O	H	SUMA
Ag-1	34.6	6.1	0.0	2.3	0.0	3.0	0.5	3.1	2.6	0.0	47.7	0.2	100.0
Ag-2	25.8	9.7	0.0	5.8	0.0	5.7	1.0	0.8	0.0	1.2	49.6	0.4	100.0
Ag-4	27.2	7.3	0.6	3.4	0.0	4.1	2.3	5.7	2.4	0.0	46.7	0.5	100.0
Ag-5	24.4	9.0	0.1	5.6	0.0	5.3	2.2	2.8	0.0	1.0	49.1	0.5	100.0
Ag-8	24.2	11.6	0.2	5.0	0.6	8.2	0.2	2.1	0.0	0.7	46.9	0.3	100.0
Ag-9	28.6	7.9	0.2	5.9	1.1	5.7	0.4	0.4	0.4	1.2	48.0	0.1	100.0
Ag-6	31.6	9.5	1.8	0.5	1.3	4.8	0.4	0.0	0.0	0.0	49.9	0.3	100.0
Ag-7	28.5	10.1	0.5	0.5	2.7	3.4	3.1	0.3	0.0	0.0	50.8	0.1	100.0
Ag-10	29.9	9.8	1.3	0.1	1.6	6.2	0.5	0.0	0.0	0.0	50.4	0.2	100.0
Ag-11	35.3	6.4	0.0	3.0	0.0	3.2	0.0	1.7	0.6	0.3	49.3	0.2	100.0
Ag-12	30.4	6.7	0.4	0.9	1.3	6.3	1.3	0.0	0.0	0.2	52.5	0.1	100.0
Ag-13	32.3	5.8	0.1	6.1	0.0	4.1	0.0	2.8	0.8	0.8	47.1	0.1	100.0
Ag-14	29.2	10.8	1.5	1.0	2.2	2.8	4.2	0.0	0.0	0.0	48.2	0.1	100.0
Ag-15	28.8	9.9	0.9	2.2	0.8	7.1	0.3	2.0	2.0	0.0	45.8	0.2	100.0
Ag-16	31.3	8.3	0.4	3.4	1.6	4.6	0.5	1.2	0.0	0.4	48.1	0.1	100.0
Ag-17	29.8	8.9	1.8	0.6	2.8	5.2	0.8	0.0	0.0	0.0	49.9	0.2	100.0
Ag-18	25.9	8.6	1.1	0.1	3.0	5.6	2.7	1.4	0.0	0.0	51.5	0.2	100.0
Ag-19	26.0	8.5	1.9	0.7	1.8	5.6	2.7	1.7	0.0	0.0	50.9	0.2	100.0
Ag-24	29.6	8.6	0.8	0.1	1.9	4.9	2.7	1.6	0.0	0.0	49.6	0.2	100.0
Ag-20	24.3	7.9	3.2	8.6	0.7	2.9	0.9	7.0	1.1	0.4	42.8	0.3	100.0
Ag-21	33.0	8.7	1.9	0.8	1.6	3.0	0.5	0.0	0.0	0.0	50.2	0.2	100.0
Ag-22	31.7	8.8	2.0	1.3	1.2	3.5	0.4	1.3	0.0	0.0	49.5	0.3	100.0
Ag-23	30.2	8.6	2.3	2.7	0.5	3.6	0.2	2.0	1.3	0.2	48.2	0.3	100.0
Ag-25	31.8	8.9	0.6	2.9	0.0	4.6	0.0	2.0	0.6	0.2	48.3	0.2	100.0
Ag-26	3.4	0.6	0.0	54.8	0.0	0.5	0.0	11.5	1.1	1.3	26.7	0.0	100.0

Especies encontradas mediante DRX

Muestra	SiO2	Si2.83 Al1.17 Na0.84 Ca0.16 O8	Si1.5 Al0.5 Na0.07 K.93 O8	Si1.5 Al0.5 Na0.35 K.65 O8	Na0.52Ca0.48Al1.48Si2.52O8	Ca (Al2 Si2 O8)	K1.4Al2.3Si1.7O8(OH)2	KAl2Si3AlO10(OH)2	H8 Al1.75 Fe0.25 Mg5 O18 Si3	Al0.721 Fe0.24 H3 Mg1.338 O9 Si1.36	AlFeH2KMg2O12Si3	CaSO4(H2O)2	CaO4 S	Fes2	Cufes2	FecO3	Si3 Al K O8	Fe2O3	GOF	Rexp	SUMA
Quartz	Oligoclase An16	Sandine Na0.07	Sandine Na0.35	Andesine An50 Clstructure	Anorthite	Muscovite 1M	Illite	Chlorite 1lb	Vermiculite	Biottle 2M1	Gypsum	Anhydrite	Pyrite	Chalcopyrite	Siderite	Orthoclase	Hematite				
Ag-1	60.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	1.9	6.8	100.0
Ag-2	35.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.6	35.0	0.0	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	12.0	0.0	0.0	1.5	5.9	100.0	
Ag-4	42.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	25.7	2.8	0.0	9.9	0.0	2.6	6.9	0.0	0.0	0.0	2.0	6.7	100.0	
Ag-5	33.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	31.7	0.5	0.0	9.5	0.0	2.0	0.0	9.7	0.0	0.0	1.6	6.4	100.0	
Ag-8	21.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.3	20.9	0.8	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	6.6	11.4	0.0	1.5	6.2	100.0	
Ag-9	29.3	15.6	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	9.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	11.5	21.7	0.0	1.6	6.1	100.0	
Ag-6	34.7	17.7	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	22.4	7.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	9.3	9.3	0.0	1.7	6.4	100.0	
Ag-7	21.8	7.9	0.0	16.0	35.7	0.0	0.0	12.6	0.0	1.3	3.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	7.3	100.0	
Ag-10	28.4	19.1	0.0	6.7	0.0	0.0	13.9	13.5	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.6	0.0	0.0	1.9	6.7	100.0	
Ag-11	61.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	30.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	1.7	3.2	0.0	0.0	1.6	6.9	100.0	
Ag-12	35.7	15.5	28.0	0.0	0.0	6.7	7.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	3.6	0.0	1.6	7.5	100.0	
Ag-13	50.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	20.8	0.5	0.0	0.0	0.0	3.8	2.2	7.6	13.2	0.0	1.5	6.1	100.0	
Ag-14	20.4	13.4	0.0	0.0	27.0	13.8	3.6	0.0	3.3	0.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	11.4	0.0	1.9	7.0	100.0	
Ag-15	22.1	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	24.7	2.7	0.0	3.2	0.0	0.0	5.8	0.0	28.8	0.0	1.7	6.4	100.0	
Ag-16	33.8	21.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	17.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	2.3	0.0	14.2	0.0	1.5	6.4	100.0	
Ag-17	21.9	34.5	0.0	7.2	0.0	0.0	11.2	0.0	6.6	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	15.1	0.0	2.1	6.7	100.0	
Ag-18	16.2	38.7	22.3	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	5.0	0.0	0.0	1.8	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	7.6	100.0	
Ag-19	23.0	22.4	16.2	0.0	0.0	0.0	9.0	11.4	6.9	0.0	3.9	0.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	7.3	100.0	
Ag-24	28.0	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.3	6.9	3.9	0.0	0.0	1.9	5.4	0.0	0.0	16.3	0.0	1.6	7.7	100.0	
Ag-20	28.9	2.5	0.0	0.0	11.3	0.0	5.1	18.0	13.1	0.0	3.1	0.0	0.0	10.9	3.3	3.7	0.0	1.3	5.2	100.0	
Ag-21	40.8	21.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.2	6.3	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	6.7	100.0	
Ag-22	41.8	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	23.8	9.4	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	6.5	100.0	
Ag-23	41.9	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	29.1	10.5	0.0	0.0	0.0	1.3	3.7	1.4	0.0	0.0	1.5	6.1	100.0	
Ag-25	47.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	40.1	1.0	0.0	3.1	0.0	0.0	2.6	1.7	1.5	0.0	0.0	1.6	7.1	100.0
Ag-26	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.5	3.2	12.5	0.0	55.4	1.2	3.7	100.0	
																	Promedio	1.7	6.5		

Resultados análisis químico mediante ICP óptico

Elemento	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	
Unidad	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	
Limite Detec	0.5	0.01	1	3	0.5	1	0.01	1	1	1	0.001	0.01	1	0.01	1	1	0.01	1	1	2
Muestra																				
Ag-1	9.1	6.61	11	154	1.8	0	0.1	0	5	15	4.33	3.08	29	2.49	15	7	0.71	54	134	
Ag-2	4.1	6.67	388	370	0.9	0	0.72	2	23	240	0.27	6.8	25	2.7	14	10	0.44	2511	104	
Ag-3	3	7.3	122	678	1.1	2	1.49	0	16	249	0.19	4.69	23	2.88	18	18	0.87	2119	173	
Ag-4	10.2	5.25	47	276	1	0	2.74	0	11	335	2.37	5.5	19	2.61	22	8	0.54	120	3939	
Ag-5	7.7	5.73	1140	148	0.8	19	2.14	2	20	153	1.05	6.81	24	3.5	9	15	0.41	1323	88	
Ag-8	13.1	8.19	2624	372	2.1	2	0.38	34	88	85	0.16	6.19	26	2.31	18	25	0.54	2013	37	
Ag-9	11.1	6.73	354	587	1.2	0	0.74	2	17	465	0.64	4.67	23	2.24	17	14	0.74	3370	31	
Ag-6	3.1	7.19	8	557	0.9	0	0.56	0	11	117	0.18	3.66	21	2.5	21	12	1.04	469	151	
Ag-7	2.8	7.73	10	734	1.4	0	1.47	0	6	108	0.08	1.35	20	2.64	11	14	0.31	364	8	
Ag-10	2.6	7.15	10	650	0.9	0	1.03	0	12	263	0.26	3.87	22	3.47	24	13	0.85	371	6	
Ag-11	16.9	5.49	1042	217	0.7	98	0.11	18	7	423	0.8	3.74	18	2.01	16	13	0.35	542	359	
Ag-12	2.6	5.98	206	620	1	0	0.23	0	4	803	0.14	1.64	16	2.72	18	11	0.14	451	9	
Ag-13	18.3	5.32	1580	121	0.8	8	0.12	15	22	363	1.2	6.56	21	2.69	9	16	0.31	2448	576	
Ag-14	2.7	6.89	2	477	1	0	2.02	0	11	305	0.08	2.38	19	2.62	16	14	0.91	244	12	
Ag-15	20.9	8.2	250	531	1.3	0	0.55	2	14	215	3.5	5.09	29	3.79	49	15	0.75	585	817	
Ag-16	23.2	6.85	430	635	1.1	0	0.48	25	10	502	0.63	5.37	23	3.11	15	19	0.64	2413	191	
Ag-17	3.1	7.38	14	618	1.1	0	1.64	0	11	347	0.16	3.43	22	2.84	18	15	0.95	542	243	
Ag-18	4.3	6.95	0	527	0	0	2.18	0	9	183	0.96	1.36	16	3.26	9	5	0.78	212	59	
Ag-19	2.4	6.85	0	594	0	0	2.54	0	7	271	0.48	2.32	19	2.9	13	6	0.86	283	5	
Ag-24	1.9	6.51	0	500	0	0	2.36	0	6	296	0.62	1.45	14	2.52	24	5	0.67	212	58	
Ag-20	30.8	6.05	209	98	1	65	0.96	5	54	307	1.25	14.86	36	2.26	14	19	1.65	1996	20	
Ag-21	3.5	7.33	0	415	1.1	0	0.36	1	15	278	0.3	3.72	23	2.99	20	13	0.86	361	34	
Ag-22	0.9	7.17	9	439	0	0	0.29	1	26	300	0.24	4.97	22	3.31	13	6	0.94	514	69	
Ag-23	6.9	6.86	0	509	1	0	0.22	2	15	374	1.49	7	25	3.73	16	13	1.2	542	432	
Ag-25	1.1	7.24	615	348	0	0	0.24	2	18	146	0.92	3.77	28	3.9	76	6	0.53	54	63	
Ag-26	2.5	1.66	523	67	0	8	0.25	12	118	160	1.04	>15	61	0.82	9	7	0.22	988	2	

Elemento	Na	Nb	Ni	P	Pb	S	Sb	Sc	Se	Sn	Sr	Te	Ti	Tl	V	W	Ytrio	Zn	Zr
Unidad	%	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Limite Detec	0.01	1	1	0.01	1	0.01	2	1	12	5	2	1	0.01	10	1	2	1	1	0.5
Muestra																			
Ag-1	0.62	8	7	0.12	7	2.4	8	9	0	10	22	2	0.15	0	102	41	3	57	11.3
Ag-2	0.4	6	8	0.07	23	1.49	91	8	0	0	488	13	0.17	0	75	13	4	108	10.4
Ag-3	1.1	7	8	0.07	20	0.88	8	9	0	0	234	13	0.2	0	85	12	7	105	8.9
Ag-4	0.51	3	8	0.07	11	6.62	18	7	0	0	278	0	0.1	0	65	14	6	64	11.8
Ag-5	0.49	3	15	0.07	40	3.6	295	6	0	0	517	6	0.13	0	72	54	3	233	12.3
Ag-8	1.03	13	31	0.07	1688	3.94	153	14	0	0	102	7	0.37	0	131	265	7	>10000	49.5
Ag-9	1.22	5	16	0.06	93	0.59	62	8	0	0	118	3	0.2	0	73	23	6	766	8.5
Ag-6	1.49	8	13	0.05	19	0.3	5	11	0	0	202	5	0.22	0	88	12	5	126	19.8
Ag-7	3.26	3	4	0.03	27	0.06	10	5	0	0	672	0	0.13	0	28	9	4	163	20.2
Ag-10	1.58	6	10	0.05	30	0.22	6	7	0	0	191	6	0.19	0	66	12	5	110	10
Ag-11	0.39	2	8	0.02	1741	2.1	163	5	0	0	87	0	0.06	0	32	86	2	4446	8.2
Ag-12	1.72	1	6	0.02	12	0.11	13	4	0	0	95	0	0.06	0	21	8	3	64	8
Ag-13	0.34	2	9	0.05	638	3.46	529	7	0	0	280	9	0.1	0	52	73	3	2661	6.6
Ag-14	3.15	7	12	0.05	10	0.04	0	8	0	0	426	0	0.23	0	66	5	5	52	14
Ag-15	1.21	5	17	0.11	20	2.43	178	9	0	0	107	4	0.17	0	86	15	7	218	15.6
Ag-16	0.56	5	12	0.06	1381	2.5	51	8	0	0	63	5	0.17	0	69	130	5	7051	11.6
Ag-17	2.61	7	13	0.05	21	0.16	8	8	0	0	324	6	0.22	0	74	8	6	133	11.2
Ag-18	3.39	5	8	0.07	6	2.15	0	5	0	0	281	2	0.14	0	65	7	3	78	11.2
Ag-19	1.96	7	28	0.06	9	2.74	0	5	0	0	362	1	0.18	0	93	11	3	90	12.5
Ag-24	2.18	4	38	0.06	10	2.08	3	4	0	0	285	3	0.11	0	58	5	5	81	13.1
Ag-20	1.03	8	38	0.12	135	9.13	23	14	0	0	121	20	0.34	0	126	32	10	463	12.2
Ag-21	2.06	5	12	0.06	6	1.43	0	8	0	0	102	14	0.15	0	68	11	5	100	11.2
Ag-22	1.59	13	16	0.06	7	2.66	3	6	0	0	78	18	0.17	0	73	12	2	124	31.9
Ag-23	0.78	6	21	0.07	9	2.47	0	11	0	0	31	3	0.21	0	97	23	5	126	17.1
Ag-25	0.51	8	45	0.09	54	3.42	0	5	0	0	23	5	0.12	0	104	12	3	99	14.1
Ag-26	0.74	0	9	0.04	80	>10	19	3	0	0	20	54	0.05	0	63	370	0	224	15.7

ANEXO F

DETALLE DE FASES BRILLANTES ENCONTRADAS

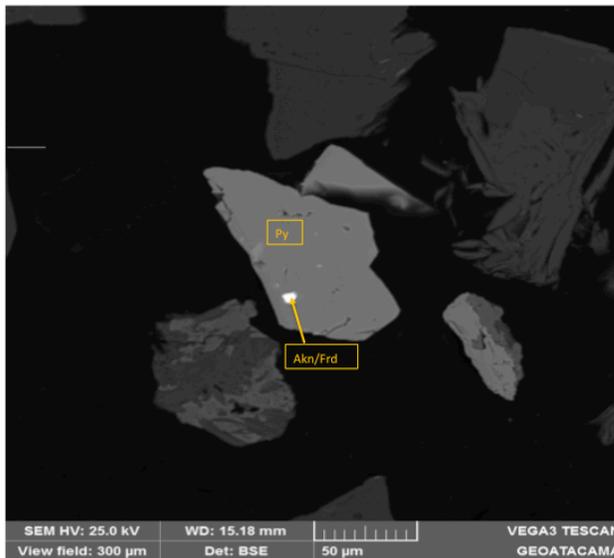
Ag-2

Fase	%
Pirita	72.90
Cuarzo	10.61
Wittichenita	7.98
Calcopirita	4
Ankerita/Siderita	3.10
Aikinita/Friedrichita	0.47
Hematita/Magnetita	0.43
Galena	0.25
Torita	0.23
Apatito	0.16
Micas(Musc/illita)	0.09
otros	0.02
Total	100

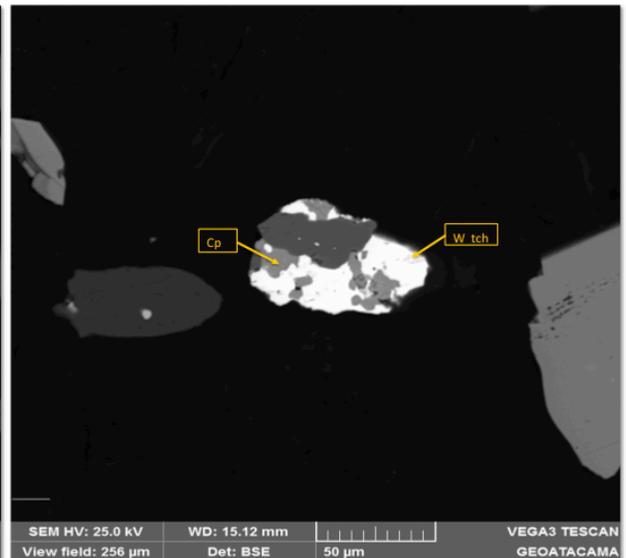
Fases brillantes

Fase Mineral	Calcopirita	Galena	Ankerita/Siderita	Pirita	Apatito	Wittichenita	Torita	Aikinita/Friedrichita	Micas(Musc/illita)	Hematita/Magnetita	Cuarzo
Partículas libres											
Partículas binarias		100		65.2				62.5			
Galena		---		50.66							
Pirita		100		---				62.5			
Aikinita/Friedrichita				14.54				---			
Ternary particles	3.65			34.8				37.5			
Calcopirita + Pirita	---			---				37.5			
Calcopirita + Aikinita/Friedrichita	---			34.8				---			
Pirita + Aikinita/Friedrichita	3.65			---				---			
Partículas complejas	96.35		100		100	100	100		100	100	100
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Ocurrencia de un grano fino de aikinita (Akn) incluido en cristal subhedral mayor de pirita (Py).
Aumento 691x.



Asociación de las fases mineralógicas sulfuradas. Se observa un grano constituido por wittichenita (Wtch) y menor proporción de calcopirita (Cp).
Aumento 810x.

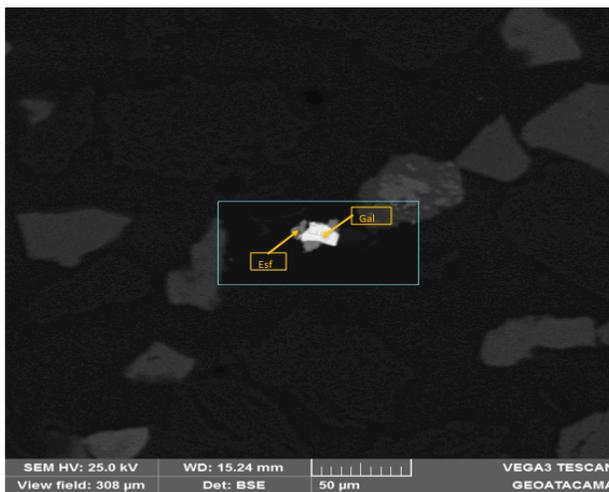
Ag-9

Fase	%
Ankerita/Siderita	28.41
Pirita	20.83
Cuarzo	18
Galena	12.62
Feldespatos K	10.73
Calcopirita	3.34
Circón	1.78
Torita	1.47
Apatito	1.25
Rutilo/Anatasa	0.47
Esfalerita	0.39
Micas(Musc/illita)	0.31
Albita	0.17
Total	100

Fases brillantes

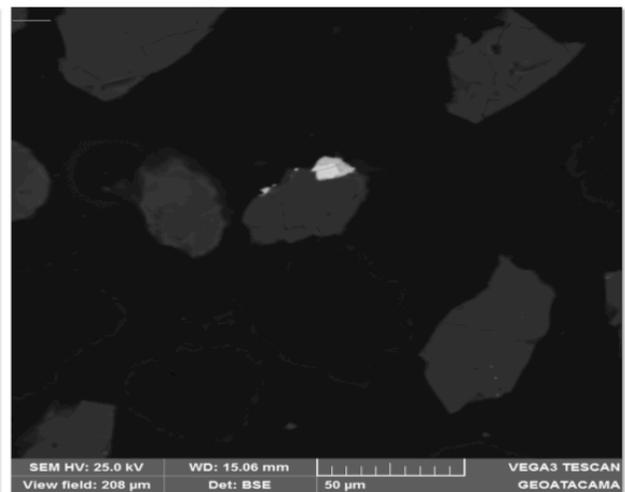
Fase Mineral	Calcopirita	Rutilo/Anatasa	Galena	Circon	Esfalerita	Pirita	Apatito	Torita	Ankerita/Siderita	Albita	Micas(Musc/illita)	Feldespatos K	Cuarzo
Partículas libres													
Partículas binarias			25.23			45.98		60.87					29.98
Cuarzo			23.36					60.87					---
Galena			---			45.98							3.41
Pirita			1.87			---							---
Torita								---					26.58
Ternary particles	77.94		32.71		100	6.51			14.16				
Calcopirita + Galena	---		---		100								
Calcopirita + Esfalerita	---		32.71		---								
Calcopirita + Pirita	---					---			14.16				
Calcopirita + Ankerita/Siderita	---					6.51			---				
Galena + Esfalerita	17.77		---		---								
Pirita + Ankerita/Siderita	60.17					---			---				
Partículas complejas	22.06	100	42.06	100		47.51	100	39.13	85.84	100	100	100	70.02
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Cristal anhedral de galena (Gal) intercrecido con granos finos de esfalerita (Esf).

Aumento 673x.



En la fotografía se observa un cristal menor de torita (Tor) que ocurre como borde de un grano mixto, asociado a un cristal de cuarzo (Qz) de mayor tamaño.

Aumento 893x.

Ag-11

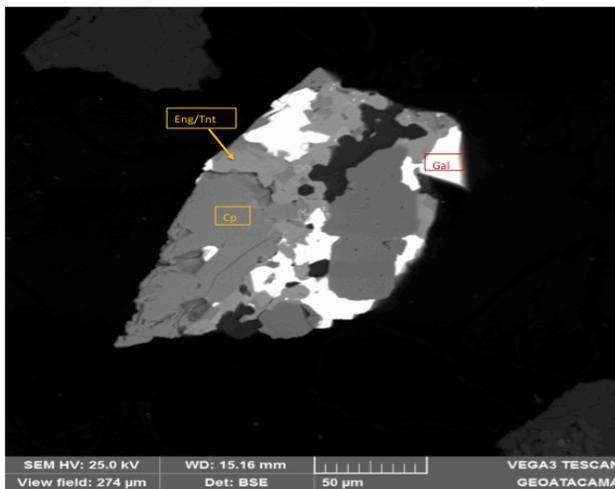
Fase	%
Pirita	35.23
Cuarzo	34.71
Galena	8.84
Enargita/Tenantita	5.83
Esfalerita	4.98
Hematita/Magnetita	4.59
Micas(Musc/illita)	1.79
Torita	1.03
Aikinita/Friedrichita	0.98
Baritina	0.88

Fase	%
Calcopirita	0.72
Molibdenita	0.12
Linarita	0.1
Ankerita/Siderita	0.05
Monazita	0.05
Turmalina	0.04
Berryita	0.02
Biotita/Flogopita	0.02
Wittichenita	0.01
Total	100

Fases brillantes

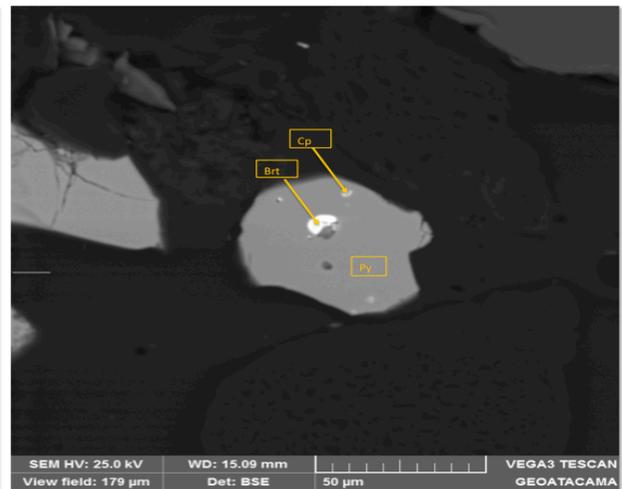
Fase Mineral	Torita	Aikinita/Friedrichita	Berryita	Calcopirita	Galena	Enargita/Tenantita	Esfalerita	Baritina	Pirita	Monazita	Wittichenita	Micas(Musc/illita)	Hematita/Magnetita	Cuarzo
Partículas libres	28.16				12.22				0.83					0.01
Partículas binarias		46.84			2.11		1.9		53.79					2.42
Cuarzo							1.9							---
Galena					---				35.79					---
Esfalerita							---							2.42
Pirita		46.84			2.11				---					---
Aikinita/Friedrichita		---							18					---
Partículas ternarias	18.97	16.84	100	10.62	25.24	15.96	11.44		25.88			33.84		35.95
Micas(Musc/illita) + Cuarzo	18.97				0.74							---		---
Micas(Musc/illita) + Galena					---							---		9.76
Micas(Musc/illita) + Torita	---											---		3.04
Cuarzo + Galena					---	15.62	11.44		0.63			24.95		---
Cuarzo + Ankerita/Siderita		15.26												---
Cuarzo + Enargita/Tenantita					9.86	---								---
Cuarzo + Esfalerita					10.52		---							---
Cuarzo + Pirita		1.58			3.87				---					---
Cuarzo + Torita	---											8.89		---
Cuarzo + Aikinita/Friedrichita		---							11.39					---
Calcopirita + Galena				---	---				3.25					---
Calcopirita + Enargita/Tenantita				---	---				0.87					---
Calcopirita + Pirita			100	---	0.12	0.33			---					---
Calcopirita + Berryita			---	---					2.69					---
Galena + Molibdenita					---				7.04					---
Galena + Enargita/Tenantita					---	---								9.72
Galena + Esfalerita					---	---	---							7.38
Galena + Pirita				0.84	---	---			---					2.83
Molibdenita + Pirita					0.12				---					---
Ankerita/Siderita + Aikinita/Friedrichita		---												3.18
Enargita/Tenantita + Pirita				7.63		---			---					---
Pirita + Aikinita/Friedrichita		---							---					0.04
Pirita + Berryita			---	2.15					---					---
Partículas complejas	52.87	36.32		89.38	60.43	84.04	86.66	100	19.5	100	100	66.16	100	61.63
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Asociación de sulfuros en un grano mixto constituido por calcopirita (Cp), galena (Gal) y menor proporción de enargita/tenantita (Eng/Tnt).

Aumento 758x.



Grano subredondeado de pirita (Py) que presenta inclusiones de cristales de berrylita (Brt) y calcopirita (Cp).

Aumento 1160x

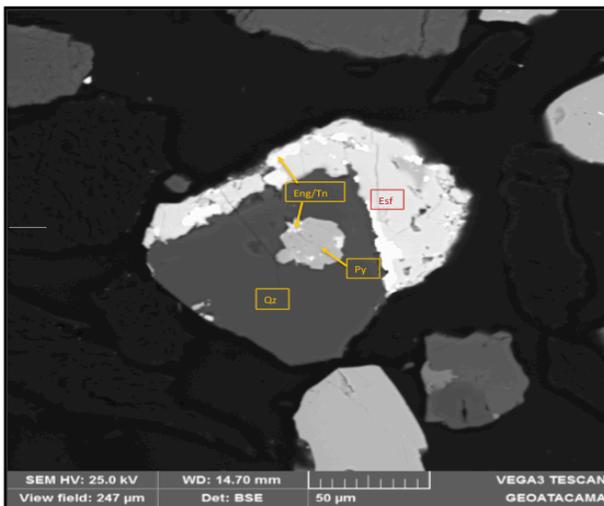
Ag-13

Fase	%
Pirita	58.50
Cuarzo	20.41
Esfalerita	5.66
Enargita/Tenantita	5.66
Galena	5
Circón	2.51
Aikinita/Friedrichita	1.23
Micas(Musc/illita)	0.27
Calcopirita	0.15
Torita	0.13
otros	0.11
Total	100

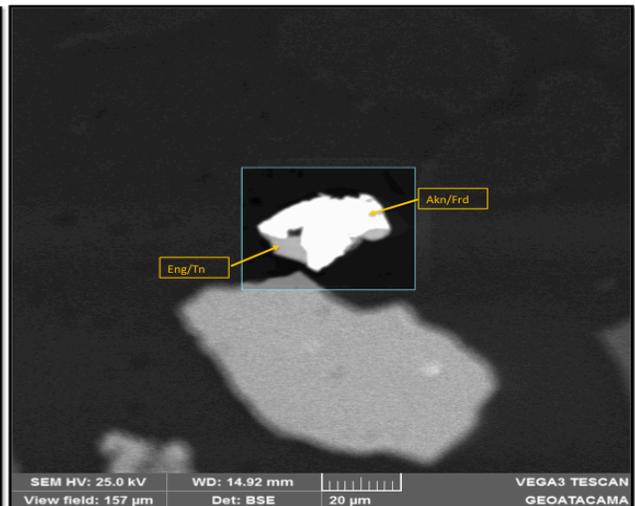
Fases brillantes

Fase Mineral	Cuarzo	Calcopirita	Galena	Enargita/Tenantita	Circon	Esfalerita	Pirita	Linarita	Tetraedrita	Monazita	Torita	Aikinita/Friedrichita
Partículas libres			44.63									
Partículas binarias	14.74		10.74	4.38			31.55			100		100
Cuarzo	---									100		
Galena			---				28.39					
Enargita/Tenantita				---			3.16					100
Pirita			10.74	2.77			---					
Monazita	14.74									---		
Aikinita/Friedrichita				1.61								
Partículas ternarias	12.88	36.21	17.22	48.12	100		46.04		100		100	
Cuarzo + Enargita/Tenantita	---			---					100			
Cuarzo + Tetraedrita	---			5.54					---			
Calcopirita + Galena		---	---				6.87					
Calcopirita + Pirita		---	5.97				---					
Galena + Enargita/Tenantita			---	---			39.17					
Galena + Pirita		36.21	---	38.02			---					
Enargita/Tenantita + Circon				---	---						100	
Enargita/Tenantita + Pirita			11.25	---			---					
Enargita/Tenantita + Tetraedrita	12.88			---					---			
Enargita/Tenantita + Torita				---	100						---	
Circon + Torita				4.55	---						---	
Partículas complejas	72.38	63.79	27.41	47.5		100	22.41	100				
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Ocurrencia de fases sulfuradas ocluidas en cuarzo (Qz). En el centro de la fotografía se observa un grano de pirita (Py) con reemplazos menores de enargita/tenantita (Eng/Tn), incluidos en un cristal mayor de cuarzo, que a su vez se encuentra en contacto con cristales anhedrales de esfalerita (Esf) y enargita/tenantita.
Aumento 840x.



Asociación de sulfosales. Se aprecia un grano subhedral de aikinita/ friedrichita (Akn/Frd) intercrecido con cristales de menor tamaño de enargita/ tenantita (Eng/ Tnt).

Aumento 1320x.

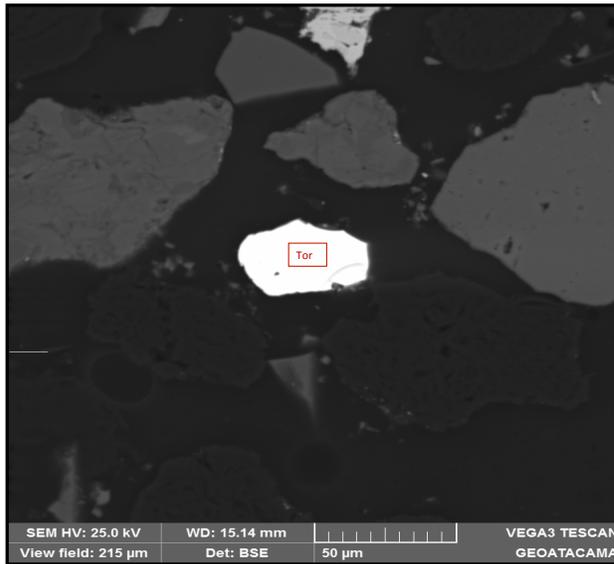
Ag-15

Fase	%
Orto-branerita	36.18
Rutilo/Anatasa	15.21
Torita	12.93
Micas(Musc/illita)	11.13
Ilmenita	10.68
Hematita/Magnetita	6.73
Oligoclasa	3.11
Calcopirita	2.23
Titanomagnetita	0.79
Biotita/Flogopita	0.71
Albita	0.3
Total	100

Fases brillantes

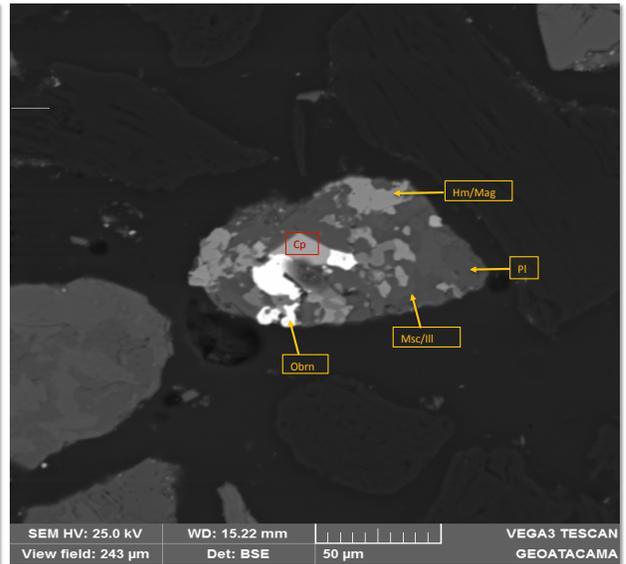
Fase Mineral	Biotita/Flogopita	Albita	Micas(Musc/illita)	Ilmenita	Titanomagnetita	Oligoclasa	Hematita/Magnetita	Orto-branerita	Calcopirita	Rutilo/Anatasa	Torita
Partículas libres								80.49			100
Partículas binarias											
Complex particles	100	100	100	100	100	100	100	19.51	100	100	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Ocurrencia de un cristal anhedral liberado de torita (Tor).

Aumento 965x.



Se observan cristales alotriomorfos de ortobranerita (Obrn) que constituyen un grano mixto, junto a hematita /magnetita (Hm/Mag), plagioclasa (Pl), micas (Msc/Il) y menor proporción de calcopirita (Cpy) e ilmenita (Ilm).

Aumento 854x.

Ag-16

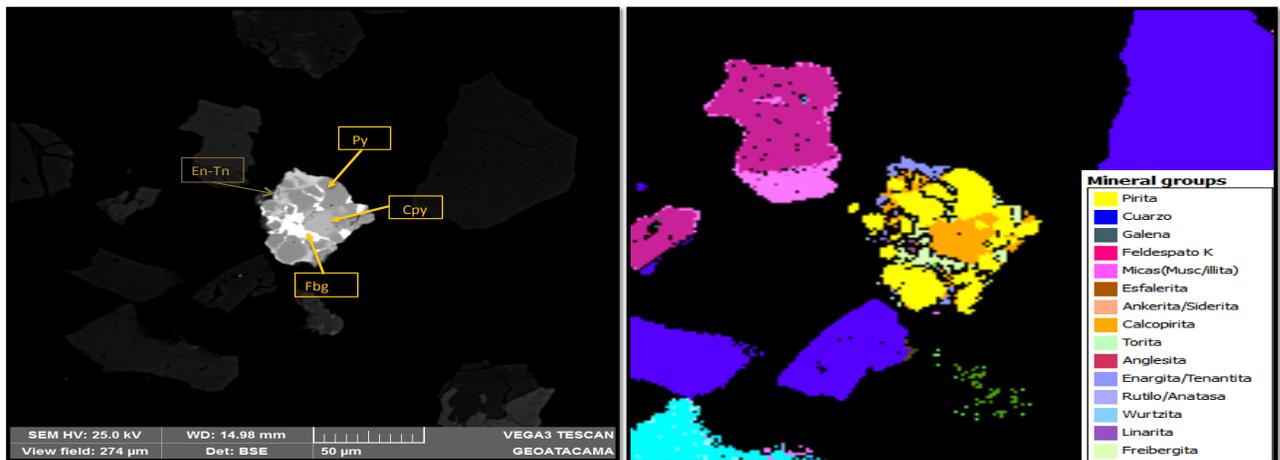
Fase	%
Pirita	58.91
Cuarzo	16.6
Galena	11.45
Feldespato K	3.69
Micas(Musc/illita)	2.1
Esfalerita	2.06
Ankerita/Siderita	1.72
Calcopirita	1.27
Torita	0.57
Anglesita	0.4

Fase	%
Enargita/Tenantita	0.38
Rutilo/Anatasa	0.38
Wurtzita	0.08
Linarita	0.08
Freibergita	0.07
Ilmenita	0.06
Bornita	0.05
Biotita/Flogopita	0.05
Otros	0.09
Total	100

Asociación fases brillantes

Min. group	Micas(Musc/illita)	Feldespato K	Cuarzo	Calcopirita	Rutilo/Anatasa	Bornita	Galena	Ankerita/Siderita	Enargita/Tenantita	Esfalerita	Wurtzita	Anglesita	Pirita	Torita	Freibergita
Partículas libres				33.31			26.17			6.39			13.51	100	
Partículas binarias	27.36		30.01			100	39.99			15.16	7.69	16.67	42.13		
Micas(Musc/illita)	---		---			100	0.44						0.62		
Cuarzo			---				2.73						3.07		
Bornita			6.56												
Galena	27.16		21.47							4.16		16.67	38.44		
Esfalerita							5.62			---	7.69				
Wurtzita										11	---				
Anglesita							20.7								
Pirita	0.2		1.98				10.5								
Partículas ternarias	4.14	14.47	19.84	17.29	3.39		15.77	2.96	7.83	32.54	23.08	11.9	31.03		
Micas(Musc/illita) + Galena	---		7.59				---						12.45		
Micas(Musc/illita) + Pirita	---		0.47				0.98						---		
Ilmenita + Galena					3.39		---								
Feldespato K + Calcopirita		---		---			0.05								
Feldespato K + Galena		---		1.71			---								
Feldespato K + Anglesita		---	4.86				---								
Feldespato K + Pirita		---	0.04				---								
Cuarzo + Galena	0.97		---				---			1.04			4.95		
Cuarzo + Esfalerita			---				0.54			---					
Cuarzo + Anglesita			11.69				---								
Cuarzo + Pirita	0.3		0.47				0.98								
Calcopirita + Galena			2.31				---								
Calcopirita + Ankerita/Siderita				---			0.49		2.96					8.81	
Calcopirita + Esfalerita				---			---		---						
Calcopirita + Wurtzita				---			---		---	29.57	---				
Calcopirita + Pirita				---			1.12		---						
Rutilo/Anatasa + Galena					---		---		---						
Galena + Ankerita/Siderita				2.94			---		---						
Galena + Enargita/Tenantita				---			---		---				1.32		
Galena + Esfalerita			4.42				---		---				1.02		
Galena + Anglesita			---				---		---				0.25		
Galena + Pirita	2.87		2.46	6.24			---		7.83	1.93		2.38	---		
Enargita/Tenantita + Pirita							0.05		---				---		
Esfalerita + Wurtzita				6.4			---		---				---		
Esfalerita + Pirita							0.15		---				---		
Anglesita + Pirita							2.49		---				---		
Partículas complejas	68.5	85.53	50.15	49.4	96.61		18.07	97.04	92.17	45.91	69.23	71.43	13.33		100
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Asociación de sulfuros en un grano mixto. Se observan proporciones mayores de pirita (Py) en contacto con agregados anhedrales de calcopirita (Cp) y láminas finas de freibergita (Fbg). Aumento 758x.

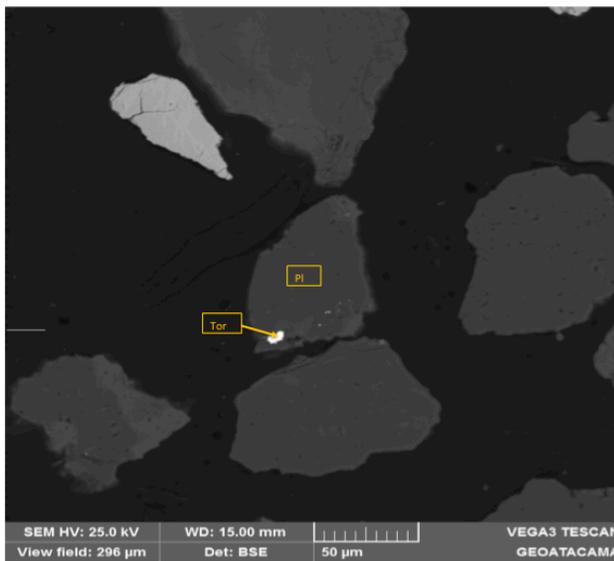
Ag-18

Fase	%
Cuarzo	42
Oligoclasa	30.98
Pirita	12.16
Albita	7.52
Micas(Musc/illita)	3.44
Feldespato K	2.3
Galena	0.66
Torita	0.65
Orto-branerita	0.19
otros	0.07
Total	100

Fases brillantes

Fase Mineral	Albita	Micas(Musc/illita)	Andesina	Oligoclasa	Feldespato K	Orto-branerita	Cuarzo	Arcillas Al	Galena	Pirita	Torita
Partículas libres											
Partículas binarias						100	18.34		100	100	
<i>Orto-branerita</i>						---	18.34				
<i>Cuarzo</i>						100	---				
<i>Galena</i>									---	100	
<i>Pirita</i>									100	---	
Partículas complejas	100	100	100	100	100		81.66	100			100
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Se aprecia un cristal alotriomorfo de plagioclasa (Pl), que presenta inclusiones de granos finos de torita (Tor).

Aumento 701x.



Se aprecia un cristal incluido de ortobrannerita (Obrn) en un grano mayor de cuarzo (Qz), el cual se observa en contacto con cristales de plagioclasa (Pl) y muscovita (Msc/Ill).

Aumento 703x.

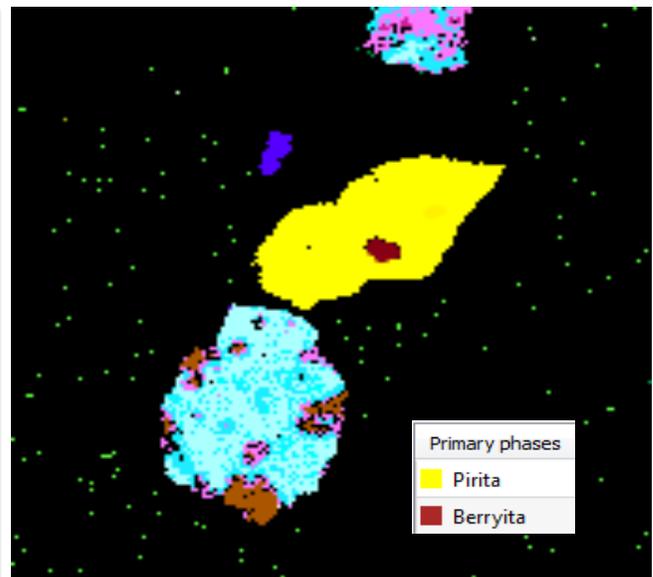
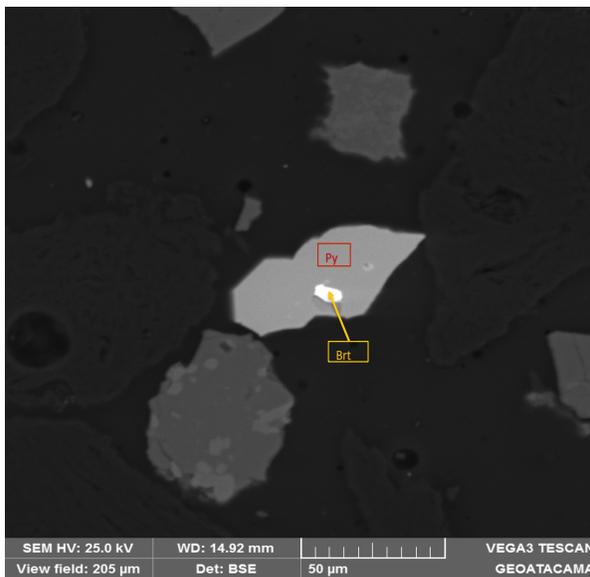
Ag-19

Fase	%
Pirita	98.05
Berryita	1.95
Total	100

Fases brillantes

Fase Mineral	Berryita	Pirita
Partículas libres		
Partículas binarias	100	100
Berryita	---	100
Pirita	100	---
Total	100	100

Asociación fases brillantes



En el centro de la fotografía se aprecia un grano anhedral de berrylita (Brt) que ocurre ocluido en un cristal de pirita (Py) de mayor tamaño.

Aumento 1010x.

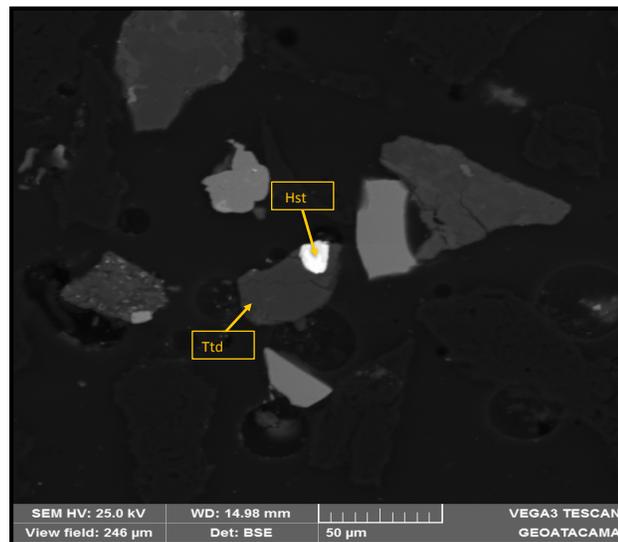
Ag-20

Fase	%
Pirita	93.20
Ankerita	2.32
Cuarzo	1.99
Calcopirita	0.71
Galena	0.59
Tetradimita	0.48
Bismutinita	0.34
Enargita/Tenantita	0.13
Hessita	0.01
Otros	0.25
Total	100

Fases brillantes

Fase Mineral	Cuarzo	Calcopirita	Bornita	Galena	Enargita/Tenantita	Bismutinita	Pirita	Torita	Tetradimita	Hessita
Partículas libres				6.25			43.13			
Partículas binarias	77.19		100	71.88		100	45.14	100	67.92	100
Cuarzo	---					100	1.85			
Bornita			---				2.3			
Galena				---			19.72			
Bismutinita	76.71					---				
Pirita	0.49		100	71.88			---	100		
Torita							1.39	---		
Tetradimita							5.1		---	100
Hessita									67.92	---
Partículas ternarias	22.81	45		17.19			1.65		32.8	
Cuarzo + Tetradimita	---								---	
Calcopirita + Galena		---		---			3.88			
Calcopirita + Pirita		---		4.69			---		1.89	
Calcopirita + Tetradimita		---					4.87		---	
Galena + Pirita		41.29		---			---			
Pirita + Tetradimita		3.71					---		---	
Partículas complejas		55		4.69	100		1.8			
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Ocurrencia de un cristal subredondeado de hessita (Hst) intercrecido con un grano de mayor tamaño de tetradimita (Ttd).

Aumento 842x.

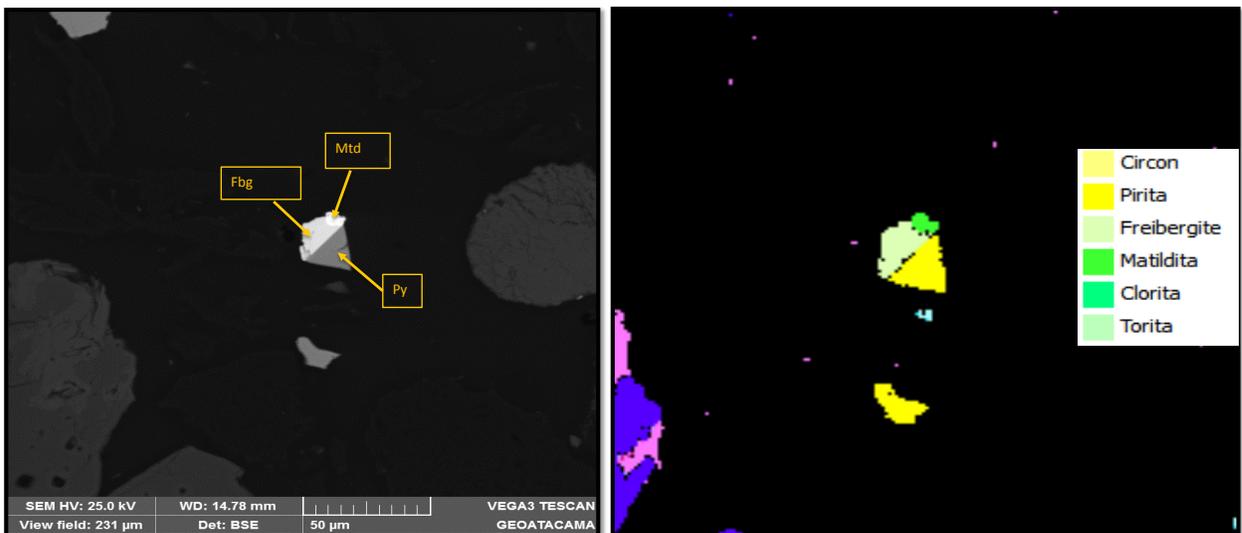
Ag-21

Fase	%
<i>Circón</i>	74.45
<i>Pirita</i>	10.30
<i>Freibergite</i>	6.77
<i>Matildita</i>	5.07
<i>Clorita</i>	1.95
<i>Torita</i>	1.47
Total	100

Fases brillantes

Fase mineral	Clorita	Torita	Matildita	Freibergite	Circon	Pirita
Partículas libres						
Partículas binarias						
Ternary particles	100	100	100	100	100	100
Clorita + Torita	---	---			100	
Clorita + Circon	---	100			---	
Torita + Circon	100	---			---	
Matildita + Freibergite			---	---		100
Matildita + Pirita			---	100		---
Freibergite + Pirita			100	---		---
Partículas ternarias						
Total	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Ocurrencia de un grano mixto intercrecido de pirita (Py), freibergita (Fbg) y matildita (Mtd).

Aumento 899x.

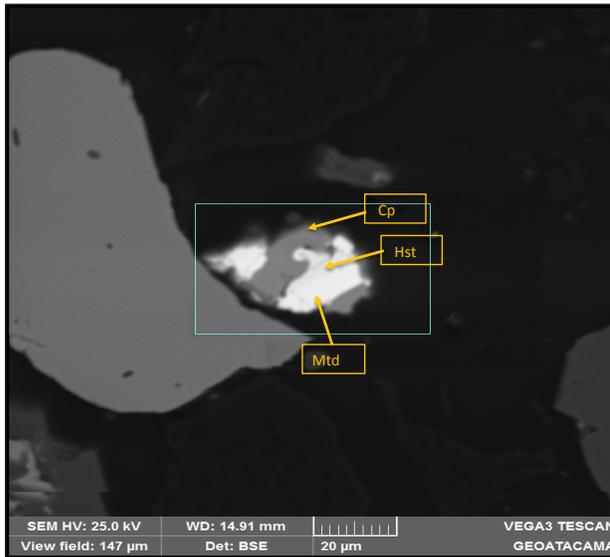
Ag-23

Fase	%
Pirita	52.59
Cuarzo	25.60
Micas(Musc/illita)	6.31
Matildita	4.82
Torita	3.91
Calcopirita	3.78
Hessita	2.57
Arcillas Al	0.42
Total	100

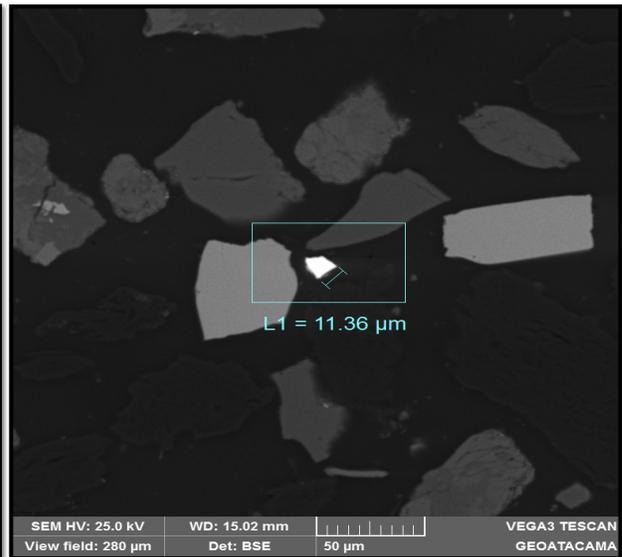
Fases brillantes

Min. group / Mass [%]	Calcopirita	Arcillas Al	Pirita	Torita	Hessita	Matildita
Partículas libres				84.62		32.81
Partículas binarias						
Partículas ternarias	100		100		100	67.19
Calcopirita + Pirita	---		---			3.12
Calcopirita + Hessita	---				---	64.06
Calcopirita + Matildita	---		100		100	---
Pirita + Matildita	26.52		---			---
Hessita + Matildita	73.48				---	---
Partículas complejas		100		15.38		
Total	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



En el centro de la fotografía se observa un grano mixto constituido por cristales alotriomorfos de calcopirita (Cp), hessita (Hst) y matildita (Mtd).
Aumento 1420x.



Ocurrencia de un cristal subhedral liberado de matildita (Mtd).
Aumento 741x.

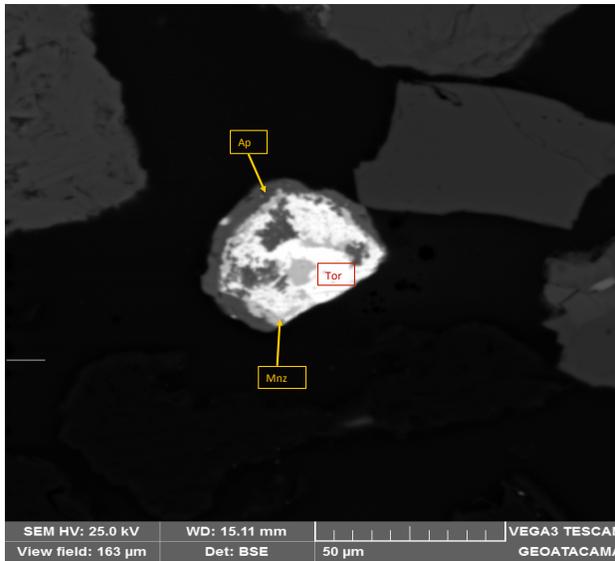
Ag-24

Fase	%
Cuarzo	43
Torita	34.81
Apatito	9.37
Hematita/Magnetita	5.65
Micas(Musc/illita)	3.66
Monazita	3.4
Total	100

Fases brillantes

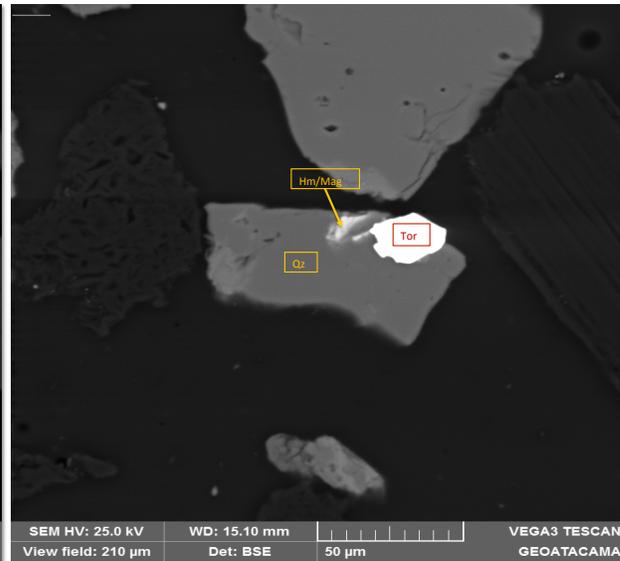
Fase Mineral	Micas(Musc/illita)	Hematita/Magnetita	Cuarzo	Apatito	Monazita	Torita
Partículas libres						
Partículas binarias						
Partículas ternarias				100	100	74.05
Apatito + Monazita				---	---	74.05
Apatito + Torita				---	100	---
Monazita + Torita				100	---	---
Partículas complejas	100	100	100			25.95
Total	100	100	100	100	100	100

Asociación fases brillantes



Agregado anhedral de torita (Tor) y monazita (Mnz), que presenta un borde fino de apatito (Ap).

Aumento 1280x.

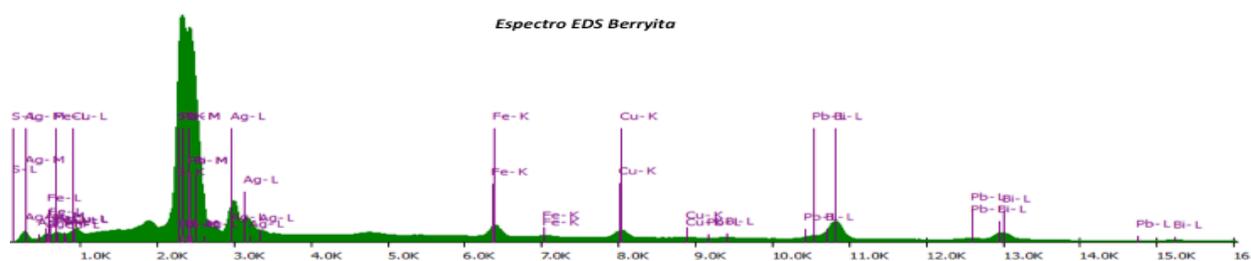


En el centro de la fotografía se reconocen 2 fases brillantes correspondientes a torita (Tor) y hematita/magnetita (Hm/Mag), las cuales ocurren asociadas a cristales de cuarzo (Qz).

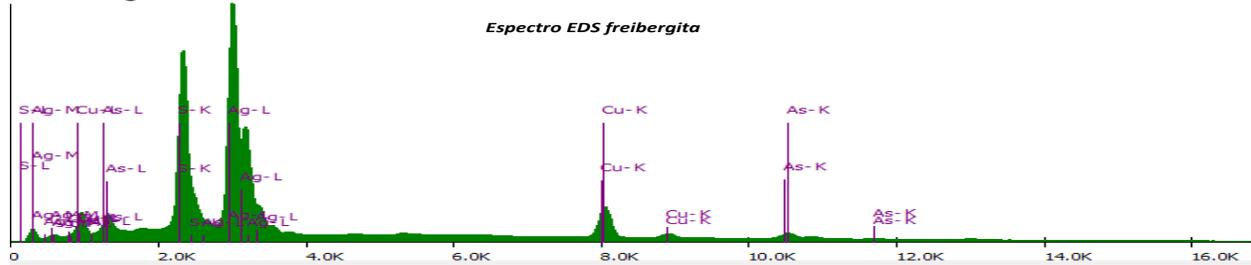
Aumento 989x.

Detalle espectros EDS de minerales con plata

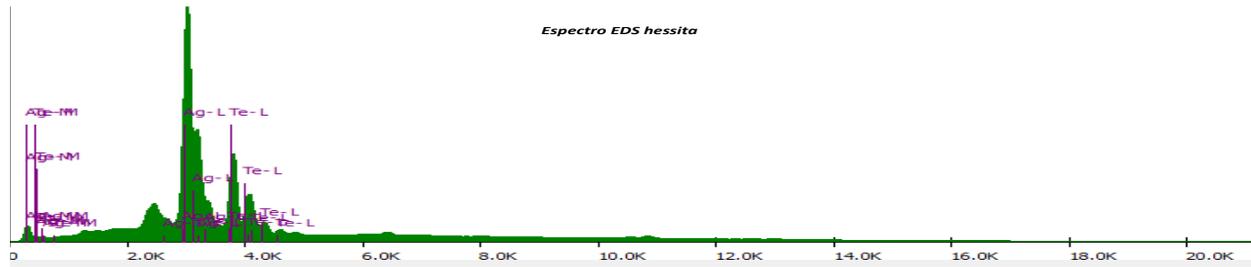
Berryita



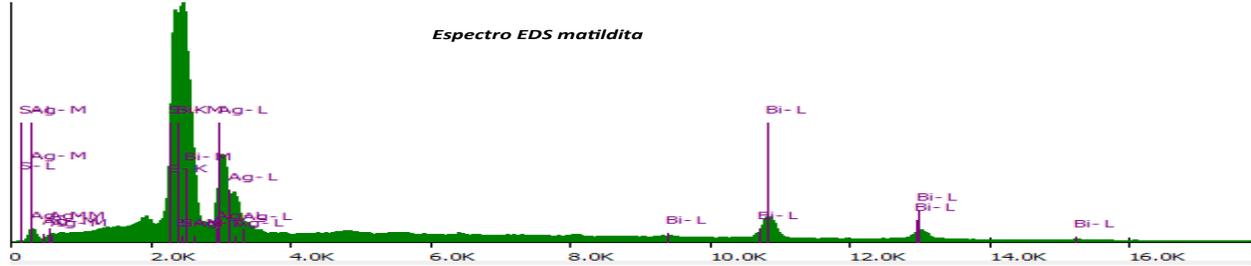
Freibergita



Hessita



Matildita



ANEXO G

VALIDACIÓN CRUZADA

Los resultados de la validación cruzada son presentados mediante test gráficos, donde se tiene:

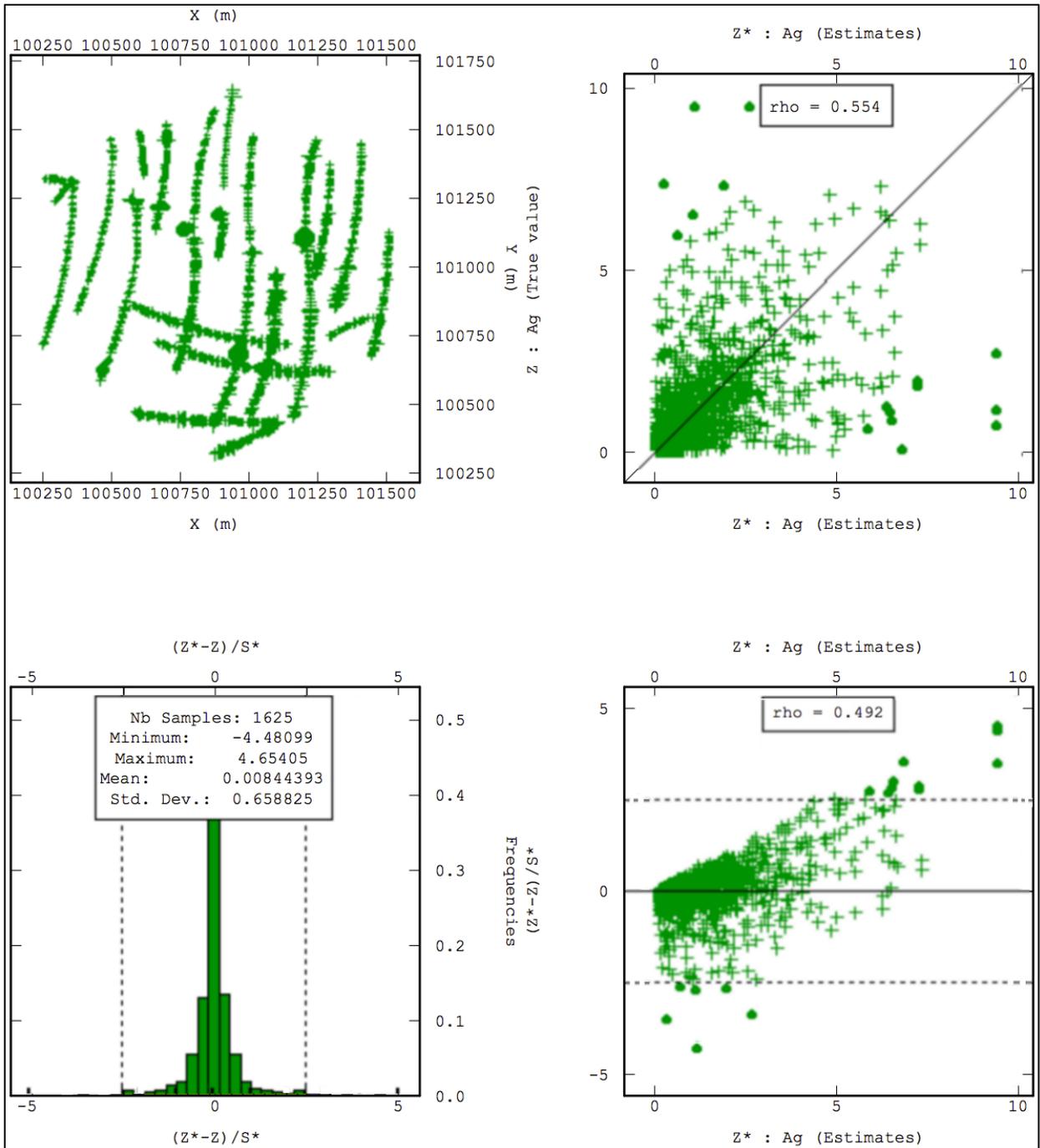
- El mapa de ubicación de los datos (gráfico arriba a la izquierda).
- Nube de correlación diferida entre los valores medidos $\{z(x_\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$ y los valores estimados $\{z^*(x_\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$ (gráfico arriba a la derecha).
- El histograma de los errores estandarizados, mediante:

$$\frac{z^*(x_\alpha) - z(x_\alpha)}{\sigma^*(x_\alpha)}$$

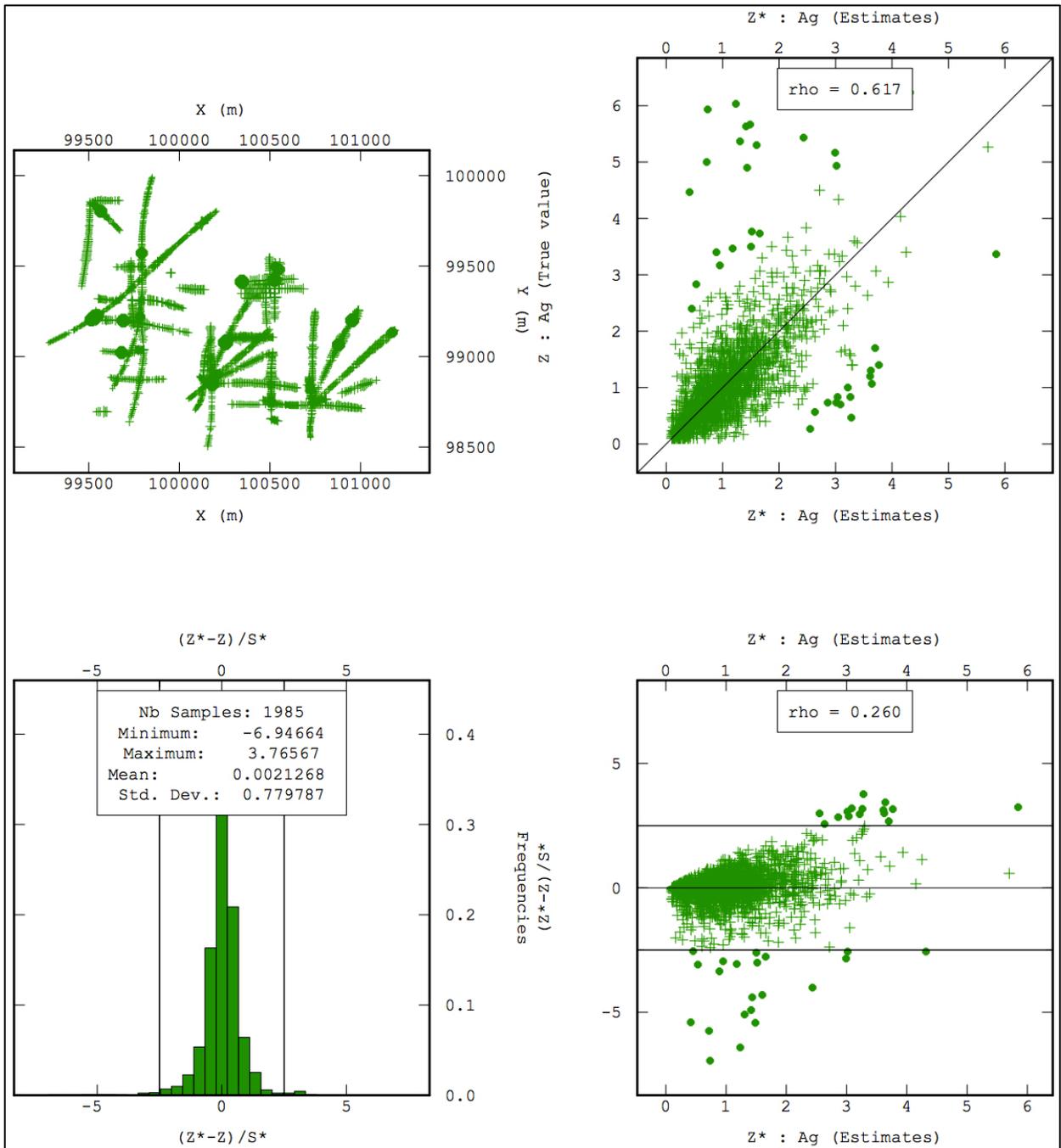
Donde $\sigma^*(x_\alpha)$ es la desviación estándar del kriging para el punto x_α . Comúnmente una estimación se considera buena si el error estandarizado asociado está situado en el intervalo $[-\alpha, \alpha]$, con $\alpha = 2.5$ (gráfico abajo a la izquierda).

- La nube de correlación entre los errores estandarizados y los valores estimados (gráfico abajo a la derecha).

Donoso



Infiernillo



Los Bronces Sur

