



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

GEOLOGÍA DE LOS CUERPOS DE ALTA LEY DEL SECTOR LA UNIÓN INFERIOR, YACIMIENTO RÍO BLANCO, REGIÓN DE VALPARAÍSO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

ROXANA MACARENA ALONSO VERGARA

PROFESOR GUÍA:
FERNANDO BARRA PANTOJA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JUAN JOSÉ VERDUGO HITSCHFELD
VICTOR MAKSAEV JURCHUC

SANTIAGO DE CHILE
2015

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE:** Geólogo
POR: Roxana Alonso Vergara
FECHA: 07/04/2015
PROFESOR GUÍA: Fernando Barra Pantoja

GEOLOGÍA DE LOS CUERPOS DE ALTA LEY DEL SECTOR LA UNIÓN INFERIOR, DISTRITO RÍO BLANCO-LOS BRONCES, REGIÓN DE VALPARAÍSO

Este trabajo tiene su desarrollo en La Unión Inferior, un sector del depósito Río Blanco caracterizado por poseer una concentración de cobre promedio $>1,5\%$, bastante superior al de la mina subterránea (0,9%). Por este motivo, a las unidades litológicas que lo comprenden, se les conoce -en su conjunto- como Cuerpos de Alta Ley (CAL).

Se realiza una caracterización general del sector que contribuye a futuros mapeos, tratando de dilucidar los factores que contribuyeron a dichas concentraciones anómalas de cobre. Para ello se han tomado muestras de galerías, asociadas a los caserones W01 y W02, y de tres sondajes (4853, 4898 y 5375) para la realización de descripciones petro-calcográficas. De datos de mapeos previos (DDH-620 y 5039) se relaciona tipos de alteraciones hidrotermales con: (a) información de análisis químicos de concentraciones de cobre total (CuT) y con (b) sulfuros de cobre predominantes. Datos de análisis QEMSCAN (*Quantitative Evaluation of Materials by Scanning Electron Microscopy*) se han utilizado para ver asociaciones de calcopirita y bornita con mineralogía secundaria y de mena.

La ocurrencia de la mineralización es predominantemente diseminada, en cúmulos ($<3\text{mm}$), en microvetillas y vetillas (en orden de relevancia). La superposición de la alteración sericita gris-verde (SGV) a la potásica (biotítica y feldespática) y su mineralogía de mena sulfurada hipógena evidencia una alteración transicional potásica-sericítica de alta temperatura ($<550^\circ\text{C}$). Sin embargo, en andesitas y granodioritas, se observó además la asociación corindón-sericita con presencia de andalucita, asociación que derivaría de una hidrólisis temprana previa a la alteración SGV, dada su alta temperatura ($\sim 550^\circ\text{C}$), la que se habría originado a partir de fluidos magmáticos-hidrotermales. En cuanto a las condiciones de formación, caben en el rango de intermedia a alta sulfuración.

Se establece que el control de la mineralización es fundamentalmente hidrotermal. Las leyes de CuT fluctúan del mismo modo en que lo hace la presencia de la alteración SGV en más de 1000 metros de sondaje, ya que sin importar la unidad litológica, el patrón permanece. Los CAL se caracterizan por las unidades litológicas mineralizadas: Andesita, Granodiorita Río Blanco, Brecha de Turmalina, Brecha Polvo de Roca, Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos y Brecha de Pórfido; todas las unidades previas a la intrusión del Pórfido Don Luis. Aunque las unidades litológicas no sean el control de las concentraciones de cobre, constituyen un factor importante en cuanto al nivel de alteración que puedan sufrir, dada la composición y la permeabilidad que posean.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres, que me han entregado la formación que solo puede adquirirse en el hogar, que alentaron mis deseos de ser profesional e independiente, y que me han dado el apoyo necesario para cumplir mis metas de la manera correcta.

A la Superintendencia de Geología de CODELCO - División Andina por permitirme realizar esta memoria, pero sobre todo al equipo humano que me aceptó, me entregó las herramientas y me enseñó cómo trabajar sin dejar de lado el compañerismo. Al equipo del área de Geología de Producción, a las grandes mujeres: Elba, Yasna y Silvana, con cada una de las cuales pude compartir un pedacito de mi vida: gracias. Y en especial a Elba Vega, que tuvo la mejor disposición que podría haber esperado de alguien que no tenía por qué hacerlo. A los del área de Geometalurgia, que me respondieron siempre cada duda fome de responder, con mención especial a Héctor Suazo, quién me ayudó de sobremanera y con el que pude, además, compartir mis ñoñeces. Por último, al memorista geometalúrgico de esa época, Francisco, que me hizo reír con su particular forma de ser y que compartió conmigo sus conocimientos en microscopia a luz reflejada (lol).

Al equipo de profesionales que conforman la comisión de este trabajo. A Juan José por mostrarme que se puede ser un buen líder y por permitirme ser autodidacta. A Fernando por su paciencia y buena disposición, por ayudar a pulir mi trabajo. A Makshev por estar siempre presente y por responder mis dudas de una manera tan objetiva.

Agradezco mi paso por la universidad con sus altos y bajos. Aprendí a aceptar el fracaso, a ser perseverante y ver el lado positivo mis errores. Ahora sé lo importante que tener una meta para avanzar el camino. Logré entender que no existe nada que no pueda aprender si tengo la voluntad de hacerlo. No solo aprendí ciencia en esta facultad (que me pareció tan “cuadrada”, por cierto), también aprendí a creer en mi misma.

A mis amigos de teatro que me ayudaron a sobrellevar la exigencia y el estrés de esta universidad durante varios años; a mis amigos de geología, con mención especial a los grupos tecornofis y tunino blessers. A mis amigos de siempre, desde la sección 6 de plan común: Pancha, sobre todo por darme ánimo en mis etapas de angustia; y Hermann, por ser ese amigo incondicional. Y gracias a los astros por poner en mi camino a mi amor, Rafael, que me hace profundamente feliz y quien estuvo a mi lado durante todo el desarrollo de este trabajo (y desde siempre).

Gracias a todos ustedes ♥

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PRESENTACIÓN	2
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	3
1.4. METODOLOGÍA	4
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.6. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO	5
2. ANTECEDENTES	7
2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL	7
2.1.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS	10
2.1.2. UNIDADES INTRUSIVAS	12
2.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO RÍO BLANCO	14
2.2.1. LITOLOGÍA	14
2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	22
2.2.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN	24
2.2.4. LOS CUERPOS DE ALTA LEY	24
3. SECTOR DE ESTUDIO	28
3.1. CASERONES Y LABORES	29
4. METODOLOGÍA	33
4.1. FAMILIARIZACIÓN	33
4.2. GABINETE	33
4.2.1. OBTENCIÓN Y COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN	33
4.2.2. USO DE SOFTWARE	33
4.3. TRABAJO EN TERRENO	34
4.3.1. RECONOCIMIENTO DE GALERÍAS	35
4.3.2. MAPEO	35
4.3.3. SELECCIÓN DE MUESTRAS	35
4.4. SONDAJES	35

4.4.1.	PARA SELECCIÓN	35
4.4.2.	MAPEOS PREVIOS	36
4.5.	DESCRIPCIONES PETRO-CALCOGRÁFICAS	36
4.6.	DATOS QEMSCAN.....	37
5.	MUESTRAS.....	38
5.1.	MUESTRAS DE GALERÍAS	38
5.1.1.	UBICACIÓN	38
5.1.2.	MUESTRAS BASE Y TECHO	38
5.2.	MUESTRAS DE SONDAJES.....	41
5.2.1.	SONDAJE W01 (4853).....	41
5.2.2.	SONDAJE W02 (4898).....	43
5.2.3.	SONDAJE C01 (5375).....	43
5.2.4.	GENERALIDADES.....	43
6.	RESULTADOS	45
6.1.	UNIDADES LITOLÓGICAS.....	45
6.1.1.	ANDESITA	45
6.1.2.	GRANODIORITAS	46
6.1.3.	PÓRFIDOS.....	47
6.1.4.	COMPLEJO DE BRECHAS.....	51
6.1.5.	CHIMENEA DACÍTICA.....	56
6.2.	ALTERACIONES HIDROTERMALES	57
6.2.1.	ALTERACIÓN Y LITOLOGÍA	57
6.2.2.	ALTERACION Y LEYES	57
6.2.3.	SULFUROS DE COBRE.....	59
6.3.	MINERALIZACIÓN METALICA	64
6.3.1.	MINERALOGÍA DE MENAS.....	64
6.3.2.	UNIDADES MINERALIZADAS.....	65
6.3.3.	MODO DE OCURRENCIA.....	65
6.3.4.	GANGAS METÁLICAS.....	65
6.4.	PRESENCIA DE CORINDÓN	67
6.5.	ANÁLISIS QEMSCAN.....	69
6.5.1.	MINERALOGÍA Y ASOCIACIÓN DE SULFUROS.....	69

6.5.2.	MINERALOGÍA Y ASOCIACIÓN DE GANGA.....	71
7.	DISCUSIONES.....	74
7.1.	UNIDADES LITOLÓGICAS.....	72
7.1.1.	ANDESITAS.....	72
7.1.2.	GRANODIORITAS.....	75
7.1.3.	PÓRFIDO DON LUIS.....	75
7.1.4.	BRECHAS.....	76
7.2.	ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....	76
7.2.1.	ALTERACIÓN POTÁSICA.....	77
7.2.2.	ALTERACIÓN SERICÍTICA GRIS-VERDE (SGV).....	78
7.2.3.	ALTERACIÓN FÍLICA.....	78
7.3.	ASOCIACIÓN CORINDÓN-SERICITA.....	78
7.4.	TEMPERATURAS DE ALTERACIÓN.....	80
7.4.1.	TRANSICIONAL POTÁSICA-SERICÍTICA E HIDRÓLISIS TEMPRANA.....	80
7.4.2.	RESUMEN.....	81
7.5.	MINERALIZACIÓN.....	82
7.5.1.	OCURRENCIA.....	82
7.5.2.	RELACIÓN CON ALTERACIONES.....	82
8.	CONCLUSIONES.....	84
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temporalidad de unidades litológicas de los sectores Río Blanco y Don Luis. Nota Interna, División Andina.	21
Tabla 2. Eventos mineralizadores principales reconocidos en los sectores Río Blanco y Don Luis, en conjunto con dataciones realizadas.	24
Tabla 3. Ubicación de las muestras seleccionadas de galerías.	42
Tabla 4. Detalle de muestras seleccionadas de los sondajes 4853, 4898 y 5375.	44
Tabla 5. Muestras analizadas mediante técnica QEMSCAN.	69
Tabla 6. Detalle de mineralogía de ganga presente en las muestras.	72

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Vías de acceso a la mina subterránea Río Blanco (entrada en rosado) ubicada al SE de Los Andes. Líneas amarillas simbolizan la ruta 60 y la ruta E-767, cuya extensión se marca en líneas punteadas.	5
Figura 2. Vista en detalle de la mina subterránea Río Blanco (en verde) y su ubicación respecto a otros sectores mineros (globo azul): Don Luis y Sur Sur (pertenecientes a CODELCO); y Donoso e Infiernillo (pertenecientes a AngloAmerican, CODELCO y Mitsui).	6
Figura 3. Fajas metalogénicas de Chile Central y norte de Chile. Se observa además el segmento de <i>flat-slab</i> y la ubicación del <i>Ridge</i> de Juan Fernández, el cual coincide con el límite sur del segmento. Modificado de Sillitoe (1988).	9
Figura 4. Mapa simplificado de la geología regional de Chile Central, asociado a la faja magmática del Terciario superior. Se muestra la ubicación del depósito río Blanco-Los Bronces y otros pórfidos gigantes de Cu-Mo de edad Mioceno-Plioceno. Modificado de Serrano et al., 1996.	13
Figura 5. Sectores y unidades litológicas del yacimiento Río Blanco. El área de estudio se encuentra bajo La Unión (en La Unión Inferior). Cota 3188.	20
Figura 6. Interpretación 2D de las estructuras presentes a escala mina del sector La Unión. Imagen tomada del Informe de Modelo Estructural (2006), CODELCO-División Andina.	23
Figura 7. Diagrama de las unidades litológicas del yacimiento en relación a su temporalidad, según dataciones realizadas para División Andina por diversos autores. En esta también se muestra la temporalidad de los tipos de vetillas y los eventos de mineralización definidos. Imagen facilitada por el área de Geología de Desarrollo.	24
Figura 8. a) Vista en detalle del área de interés. Cota 3220; y b) sección XC-225, donde se marca en línea punteada el sector de los Cuerpos de Alta Ley.	26
Figura 9. Esquema de un caserón con techo abovedado, donde se observa la distribución radial de los explosivos y las labores asociadas al techo y a la base que es donde se receptiona el material que se extrae por tajadas.	27
Figura 10. Leyes de cobre (%) estimadas para el yacimiento Río Blanco en la cota 3024, haciendo referencia al sector Río Blanco. En líneas punteadas se demarcan los Cuerpos de Alta	

Ley. A la izquierda, el sector La Unión Inferior; a la derecha, el Clavo Don Luis. Las coordenadas utilizadas son locales de División Andina.	28
Figura 11. Imágenes comparativas que muestran las concentraciones de Cu y Mo respectivamente, donde se enmarca el área donde los patrones no coinciden y cuya unidad litológica es la Granodiorita Cascada donde se emplaza el Pórfido Don Luis.	29
Figura 12. Relación espacial de los caserones (rectángulos) y las unidades litológicas a la cota 3156. En verde se muestra el caserón W01; en morado, W02; en azul, C01; en celeste, C02; en amarillo, E01.	30
Figura 13. Socavones donde se ubican los caserones. Imagen de la base o piso (Nivel 17).	31
Figura 14. Socavones donde se ubican los caserones. Imagen del techo (Nivel 16 1/2 y Subnivel 16).	31
Figura 15. Disposición de los caserones y labores en 3D, conjugando las imágenes de los cuerpos de alta ley en la base y el techo. Nótese que el caserón W01 posee un techo plano, diferente al resto.	32
Figura 16. Labores de la base de los caserones que muestran los mapeos realizados y la ubicación de las muestras, localizadas en coordenadas locales División Andina. Los códigos en celeste no presentan descripción petro-calcográfica en el Anexo.	39
Figura 17. Labores del techo de los caserones que muestran los mapeos realizados y la ubicación de las muestras, localizadas en coordenadas locales División Andina. Los códigos en celeste no presentan descripción petro-calcográfica en el Anexo.	40
Figura 18. Sondajes de los cuales se extrajeron muestras para confeccionar cortes transparentes y pulidos. En la imagen de la izquierda se observa la disposición en planta de los sondajes 4853, 4898 y 5375; a la derecha, en perspectiva. Caserones localizadas en coordenadas locales División Andina.	43
Figura 19. Aspecto general de las andesitas del sector en estudio, pertenecientes a: a) Caserón W02; b) sondaje 5375 / tramo 32.	45
Figura 20. Se observa en a), clastos de andesita en Brecha de Sílice-Feldespato Potásico; en b), andesitas como clastos en Brecha de Pórfido. Imágenes del sondaje 4853.	46
Figura 21. Granodiorita Río Blanco del sondaje 4853 / tramo 167,5.	47
Figura 22. Pórfido Cuarzomonzónico correspondiente al caserón W02 (código WD-2).	48
Figura 23. Vista en planta del sector Río Blanco, donde se observa la geología del yacimiento, la Falla G (NE-SW) y la Falla B (NW-SE).	49
Figura 24. Muestra de sondaje (4853) del Pórfido Don Luis (PDL). Se observan clastos de Granodiorita Río Blanco (GDRB), de Andesita (AN) y del Pórfido Cuarzomonzónico (PQM).	50
Figura 25. Muestra del Pórfido Don Luis cortado por vetillas EBT.	50
Figura 26. Brecha de Turmalina con clastos de principalmente de Granodiorita Río Blanco con alteración sericita gris verde fuerte y fondo biotítico.	52
Figura 27. Pórfido Feldespático cortando Brecha de Turmalina. Imagen tomada en la Rampa Norte.	52
Figura 28. Transición entre el Pórfido Don Luis y la Brecha de Pórfido a medida que se acerca a la Andesita. Imagen de galería tomada del Socavón Sur.	53

Figura 29. Brecha Polvo de Roca del sondaje DDH.922 / tramo 71,5 m. Imagen obtenida de la Litoteca de Geología de Desarrollo, División Andina.	54
Figura 30. Muestra de Brecha de Molibdenita, en donde se aprecian clastos de diversos tamaños del Pórfido Don Luis angulares a sub-redondeados. La matriz contiene molibdenita con escasa arsenopirita de hasta 2 mm. (Muestra tomada del sondaje 4853 / tramo 10,6 m).....	55
Figura 31. Imagen a) corresponde a una Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos con abundantes clastos de Andesita (muestra del sondaje 4853 / tramo 56,3). Notar la diferencia con la matriz más “limpia” de la imagen b) correspondiente a una Brecha de Pórfido (muestra del Socavón Sur).	56
Figura 32. Muestra representativa de la Chimenea Dacítica (CHDAC). (Litoteca de Geología de Desarrollo, División Andina).	56
Figura 33. Minerales de Alteración y leyes de CuT en Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos (sondaje 4853).	58
Figura 34. Minerales secundarios y leyes de CuT en Granodiorita Río Blanco (sondaje 4853). .	58
Figura 35. Minerales de alteración y leyes de CuT en Granodiorita Río Blanco (sondaje 4898).	59
Figura 36. Minerales secundarios y leyes de Cu visual (estimadas visualmente) en Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos (sondaje 5375).	59
Figura 37. Relación alteración SGV y leyes de CuT (sondaje 5039).	60
Figura 38. Relación entre alteraciones sericitas gris-verde (SGV), biotítica y feldespática.	61
Figura 39. Porcentaje visual de sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) por tramo en el sondaje 5039.	62
Figura 40. Relación alteración sericitas gris-verde (SGV) y leyes de CuT (sondaje DDH-620). ..	63
Figura 41. Relación entre alteraciones sericitas gris-verde (SGV), biotítica y feldespática.	63
Figura 42. Porcentaje visual de sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) por tramo en el sondaje DDH-620.	64
Figura 43. Relación textural entre sulfuros de cobre. En (a) hay reemplazo de digenita en la bornita, en una Granodiorita Río Blanco (sondaje 4898); en (b) se observa claramente el reemplazo envolvente de calcosina en la bornita, en una Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos (sondaje 4853). En cuanto a calcopirita y bornita, ambos son minerales primarios.	66
Figura 44. Relación textural entre sulfuros de cobre. Se observa calcopirita intercrecida con bornita, hematita asociada con calcopirita, calcosina reemplazando bornita y rutilo diseminado. Fotomicrografía correspondiente a una Granodiorita Río Blanco del sondaje 4898.	66
Figura 45. Arsenopirita en asociación con calcopirita, en una muestra de Brecha de Molibdenita (BXMO) del sondaje 4853.	67
Figura 46. Fotomicrografías de la asociación corindón-sericita en (a) Brecha de Turmalina a nícoles paralelos (a.1.) y nícoles cruzados (a.2); y en (b) Granodiorita Río Blanco a nícoles paralelos (b.1) y nícoles cruzados (b.2). Imágenes pertenecientes al testigo de sondaje 5375.	68
Figura 47. Asociación corindón-sericita a nícoles paralelos y nícoles cruzados.	68
Figura 48. Resultados QEMSCAN de asociación de bornita en base sulfuros (BS).	71
Figura 49. Resultados QEMSCAN de la asociación bornita con minerales de mena y ganga en base bornita (BBn).	71

Figura 50. Porcentaje de mineralogía de ganga en cada una de las muestras en Base Mineral (BM).	73
Figura 51. Granodiorita Río Blanco (GDRB) con alteración Potásica de Fondo, donde se observa un cúmulo de biotitas secundarias (<i>shreddy biotite</i>).	77
Figura 52. Evolución del fluido asociado a la asociación de alteración corindón-sericita (\pm andalucita) en un diagrama de relación SiO ₂ y temperatura (°C). En líneas punteadas se marca la presión en kbar.	79
Figura 53. Diagrama de fases de temperatura (°C) versus K/H, donde se delimitan las alteraciones hidrotermales (K: alteración potásica; S: alteración sericítica; P: alteración propilítica; AA: alteración argílica avanzada e IA: alteración argílica intermedia) a P(H ₂ O) = 1 kbar. Límite de fases modificado de Hemley y Jones (1964), Montoya y Hemley (1975) y Hemley et al. (1980) por Seedorf et al. (2005).	81
Figura 54. Diagrama Log fS ₂ – 1000/T (K) ilustrando ambientes de fluidos en pórfido cuprífero, pórfido cuprífero asociado a vetillas de metales base y depósitos epitermales de Au-Ag en términos de una serie de posibles patrones de enfriamiento, donde se muestra en celeste el límite entre intermedia y alta sulfuración. Los ambientes de los fluidos están basados en asociaciones y reacciones de sulfuros de Barton y Skinner (1979). Imagen tomada de Enaudi et al., 2003.	83

1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento Río Blanco, ubicado en el distrito Río Blanco-Los Bronces, corresponde a un pórfido gigante de tipo cobre-molibdeno formado en el arco magmático de Chile Central durante el Mioceno tardío y el Plioceno temprano. El yacimiento se encuentra ubicado a 70 km al NE de Santiago, entre los 3.000 y 4.000 msnm.

División Andina, perteneciente a la compañía minera CODELCO, explota el yacimiento Río Blanco, depósito cuyas reservas son de 1.980 Mt con una concentración de 0,82% de Cu para una ley de corte de 0,2%, lo que corresponde a 16,3 Mt de cobre fino (Nota Interna, CODELCO, 2008). Recientemente, en uno de los sectores del yacimiento se han encontrado (al ser interceptados por sondajes de reconocimiento de recursos) volúmenes de roca mineralizadas que poseen leyes anómalas, con promedio sobre un 1,5% de cobre. A estos se les ha denominado Cuerpos de Alta Ley (CAL), que aunque ya están siendo explotados, no han sido bien estudiados, lo que ha traído complicaciones en la extracción y recuperación del mineral.

Desde el año 2000 que existen estudios sobre varios de estos cuerpos en el yacimiento, habiéndose identificado al menos 26, los cuales han sido clasificados en varios tipos según sus características geológicas. No obstante, solo los CAL ubicados en los sectores La Unión Inferior y Don Luis son explotados. Estos serán la base del presente trabajo, el cual consiste primordialmente en comprender sus características geológicas, conjugando litología, alteración y mineralización; y si es posible, encontrar un patrón y relacionarlo con las altas concentraciones de cobre presentes en otros sectores de yacimiento.

1.1. PRESENTACIÓN

El yacimiento Río Blanco se divide en cuatro sectores (de N a S): Río Blanco, La Unión, Don Luis y Sur Sur. La Unión sirve de botadero y Sur Sur se dejó de explotar debido a aspectos operacionales. Actualmente existen labores subterráneas en el sector Río Blanco, y explotación a rajo abierto en Don Luis. Desde el año 2013 se explota, mediante *sub level open stopping*, el sector La Unión Inferior (ubicado bajo el sector La Unión) y el Clavo Don Luis, en los cuales se emplazan los Cuerpos de Alta Ley (CAL) que son motivo del presente estudio.

Estos cuerpos se comenzaron a explotar para suplir las bajas leyes de la mina Don Luis, pero su acceso es a través de la mina subterránea. Los CAL, altamente mineralizados, están limitados por dos unidades estériles: la Chimenea Dacítica (CHDAC) por el norte y el Pórfido Don Luis (PDL) por el sur, donde la mineralización sulfurada se hospeda principalmente en el complejo de brechas, de orientación aproximada NS, mineralizado previamente a la intrusión del pórfido.

La mineralización en el distrito Río Blanco-Los Bronces es el resultado de una superposición de eventos mineralizadores asociados a distintas alteraciones hidrotermales. Estas distintas etapas de alteración se encuentran relativamente bien datadas por diversos métodos.

El propósito del presente estudio es determinar el posible origen y control geológico de estas zonas de alta concentración de cobre que se encuentran limitadas por cuerpos estériles. La explotación del yacimiento está orientada en base a un control litológico de la mineralización, sin embargo es claro que las estructuras juegan un rol preponderante en la canalización de los fluidos mineralizadores.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo de este estudio consiste en dilucidar los factores que permitieron las altas concentraciones de cobre en el sector La Unión Inferior, consideradas anómalas respecto a las leyes del resto del yacimiento, caracterizando las unidades geológicas asociadas a los Cuerpos de Alta Ley, con énfasis en la mineralización y alteración.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para llevar a cabo el objetivo general, es necesario cumplir con los siguientes objetivos específicos:

- i. Comprender las unidades litológicas del sector La Unión Inferior.
- ii. Estudiar la mineralogía de mena y de alteración, sus texturas y modo de ocurrencia con el propósito de determinar la paragénesis mineral de los cuerpos de alta ley.
- iii. Interpretar según diagramas de estabilidad las condiciones de formación de las fases metálicas.
- iv. Estudiar los tipos de alteración hidrotermal presentes para determinar rangos aproximados de condiciones termodinámicas, y la secuencia de eventos de sobreimposición.
- v. Determinar el control de la mineralización de alta ley del sector La Unión Inferior, estableciendo el rol de la litología, alteración hidrotermal y estructuras.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Las unidades litológicas presentes en el sector La Unión Inferior son las mismas que en otros sectores del yacimiento Río Blanco, por lo que este parámetro no constituye el control principal de la mineralización de las altas leyes. El principal factor es hidrotermal, y el alto grado de alteración de las rocas es consecuente con las estructuras presentes, ya que los Cuerpos de Alta Ley se ubican en la intersección de tres dominios estructurales, que consecuentemente pueden favorecer el ascenso reiterado de fluidos hidrotermales mineralizadores asociados a distintos eventos.

1.4. METODOLOGÍA

Para lograr los objetivos específicos planteados se utilizará la siguiente metodología.

- i. Familiarización con la geología del yacimiento.
- ii. Revisión de las estructuras presentes en el yacimiento y dominios estructurales en el sector de estudio.
- iii. Mapeo de galerías.
- iv. Selección de muestras en galerías.
- v. Selección de muestras de sondajes.
- vi. Descripción petro-calcográfica de muestras recolectadas en las etapas anteriores.
- vii. Identificar las unidades litológicas del sector en estudio.
- viii. Caracterización de la mineralogía de mena y ganga, ocurrencia y volumen.
- ix. Interpretación de datos QEMSCAN.
- x. Determinación de relaciones entre ley de cobre y unidades litológicas y tipo de alteración hidrotermal.
- xi. Vinculación de las alteraciones con condiciones termodinámicas y presencia de sulfuros con diagramas de estabilidad.
- xii. Interpretación y discusión de los resultados obtenidos.

1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES

Durante el estudio de los Cuerpos de Alta Ley en el sector de estudio se ha desarrollado el acceso a otros caserones y labores ubicados unos metros más al E, en el Clavo Don Luis. Si bien este sector no se consideró en el estudio en un comienzo, ha sido posible observar algunas características geológicas en terreno que permiten complementar la caracterización de La Unión Inferior a medida que han sido habilitadas las galerías de ingreso y la perforación de sondajes.

Las clasificaciones de las unidades litológicas se realizan en base a las establecidas para el yacimiento Río Blanco, información entregada por el Área de Geología de Desarrollo. También existe información mineralógica de los CAL procedente del Área de Geometalurgia, la cual se integrará en este estudio. Por último, la información estructural a escala local y de yacimiento fue proporcionada por el Área de Geomecánica.

La selección de muestras en las galerías fue limitada por el acceso a estas, el recubrimiento de cemento y la poca visibilidad. En caso de estar con *shotcrete*, solo pudo observarse un área mínima y no representativa de las unidades litológicas. Además, en ocasiones el reingreso a los caserones fue limitado debido al avance de la explotación, lo que implicó clausuras o eliminación de las vías de acceso.

1.6. UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO

El yacimiento Río Blanco se ubica en la Cordillera de Los Andes de Chile Central en la Región de Valparaíso, a 70 km de la ciudad de Los Andes en dirección SE (Figura 1), situado entre 2700 y 4200 msnm, entre las coordenadas geográficas 32°55' -33°75'S y 70°15' -70°20'W.

El acceso es a través de la Ruta 60 hasta llegar a la carretera E-767, camino que conduce a la mina subterránea Río Blanco, hacia el sur. Casi llegando al límite con la Región Metropolitana, se encuentra la mina Don Luis.

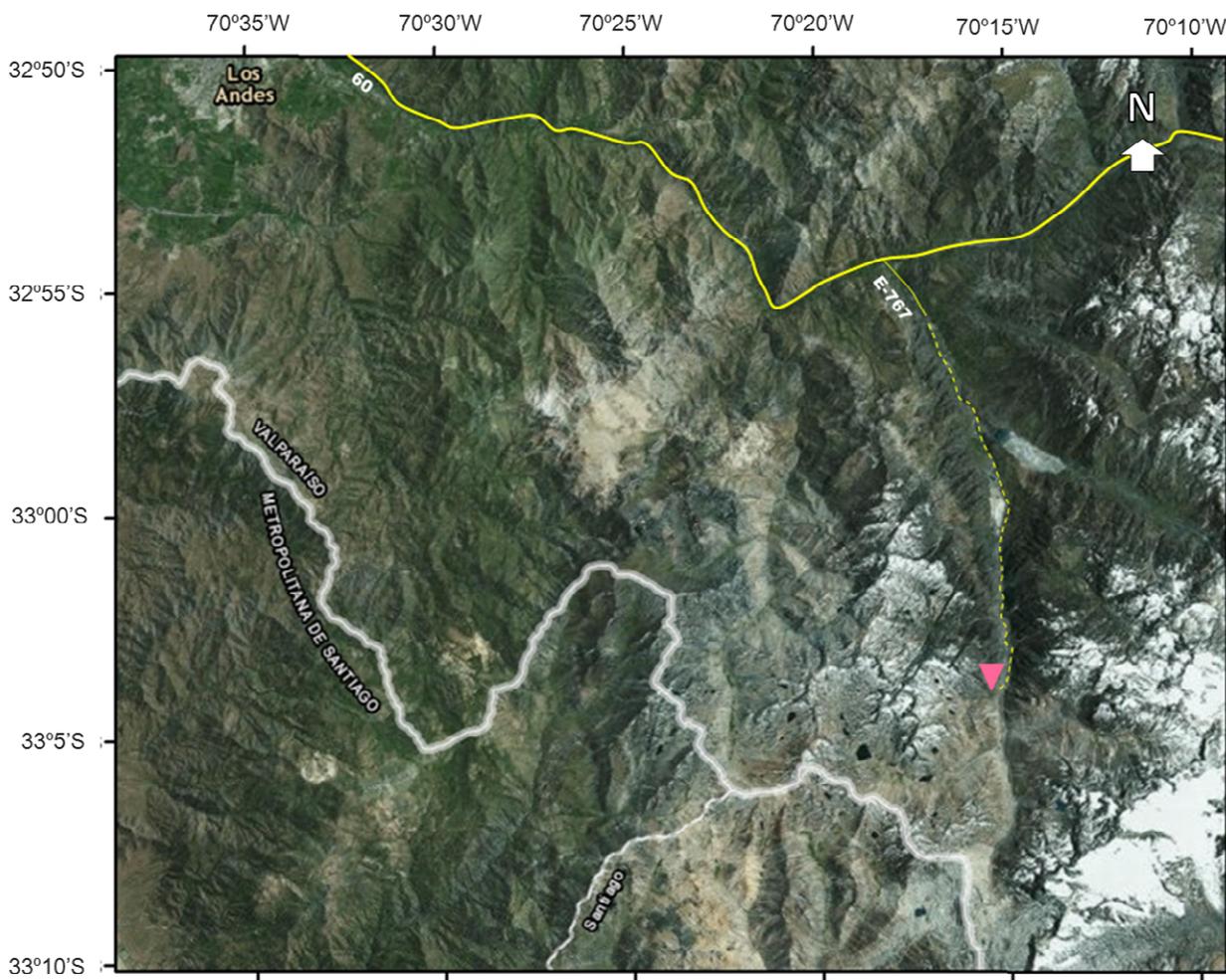


Figura 1. Vías de acceso a la mina subterránea Río Blanco (entrada en rosado) ubicada al SE de Los Andes. Líneas amarillas simbolizan la ruta 60 y la ruta E-767, cuya extensión se marca en líneas punteadas.

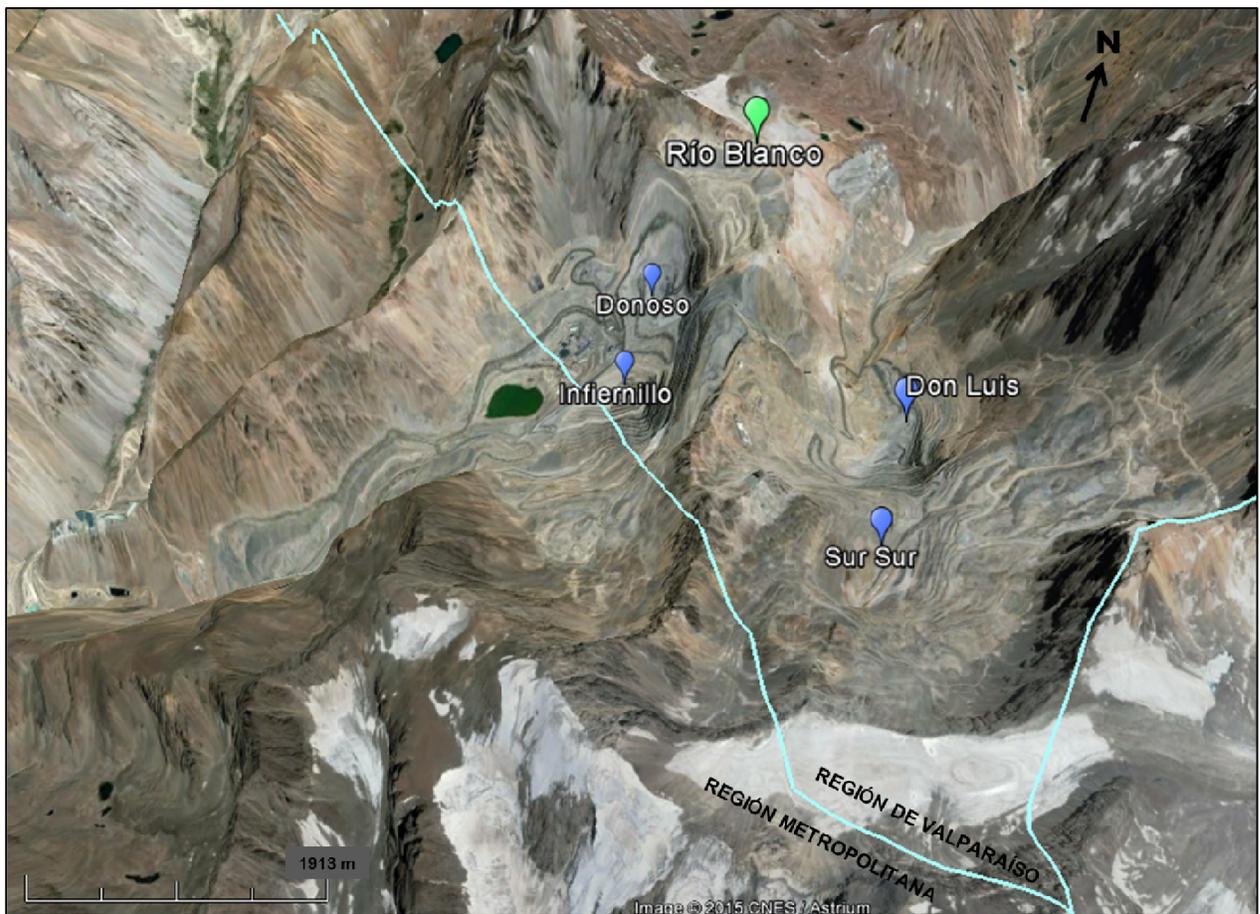


Figura 2. Vista en detalle de la mina subterránea Río Blanco (en verde) y su ubicación respecto a otros sectores mineros (globo azul): Don Luis y Sur Sur (pertenecientes a CODELCO); y Donoso e Infiernillo (pertenecientes a AngloAmerican, CODELCO y Mitsui).

2. ANTECEDENTES

2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

Chile se caracteriza por ser un país rico en recursos de minerales metálicos, especialmente importante en la producción de cobre. Esto, porque presenta un marco tectónico convergente activo tipo andino, cuya colisión de placa oceánica- continental genera un ambiente de subducción propicio para la generación de yacimientos de tipo pórfidos de Cu-Mo.

El Distrito Río Blanco–Los Bronces, formado entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano (el cual abarca 15 km², dispuesto entre 3.000 y 4.800 msnm en un área elongada de rumbo NNW-SSE entre las latitudes 33°07'45" y 33°10'20"), incorpora la faja de pórfido cuprífero (Cu-Mo) y yace cerca del extremo sur del cinturón metalogénico de edad Neógeno que se extiende por ~6000 km a los largo de los Andes, desde Colombia hasta Chile Central (Sillitoe y Perelló, 2005). A partir de finales del Eoceno al Mioceno temprano (~36-20 Ma), el volcanismo toleítico a calcoalcalino se acumuló en una cuenca intra-arco extensional con orientación NS, conformando las Formaciones Los Pelambres y Abanico (Charrier et al, 1974). Estas unidades representan la roca caja que alberga gran parte de la mineralización de los sistemas tipo pórfido del Mioceno-Plioceno (Toro et al., 2012).

Durante el periodo Mioceno-Plioceno, entre los 31° y 35°S, la evolución magmática del extremo sur de la faja fue asignada a dos etapas principales (Sillitoe y Perelló, 2005; Perelló et al., 2009 y referencias en ella): (1) Mioceno temprano a tardío, toleítica a calcoalcalina basáltica, dacítica y rocas volcánicas riolíticas provenientes de estratovolcanes y complejos de domo (Formación Farellones) y plutones granodioríticos y stocks de pórfidos emplazados entre ~12 y 8 Ma; y (2) Mioceno a Plioceno temprano, en que ocurrió la formación de Río Blanco-Los Bronces y El Teniente (Maksaev et al., 2004).

Los depósitos porfíricos de Río Blanco-Los Bronces y El Teniente se ubican en una zona de transición entre un dominio tectónico de bajo ángulo de subducción (*flat-slab*) de la placa de Nazca (entre latitudes 28°-33°S) y un dominio con un ángulo de subducción mayor, de 25° a 30° hacia el sur. Este último coincide con la Zona Volcánica Sur de los Andes (Stern, 1989; Cahill e Isaaks, 1992; Skewes y Stern, 1995). El menor ángulo de la zona de subducción se relaciona con la progresión hacia el sur de la subducción de la dorsal de Juan Fernández bajo la placa Sudamericana. La flexión del *slab* parece coincidir con los principales eventos mineralizadores en Río Blanco-Los Bronces y El Teniente (Stern, 1989; Skewes y Holmgren, 1993; Skewes y Stern, 1995; Kurtz et al., 1997; Kay y Mpodozis, 2002; Ramos et al, 2002; Hollings et al., 2005).

El depósito Río Blanco se encuentra alojado en el batolito San Francisco (Mioceno), el que intruyó secuencias volcano-sedimentarias débilmente deformadas del Terciario (Formaciones Abanico y Farellones).

La mineralización, en muchos depósitos de pórfidos de Chile Central, se aloja principalmente en brechas de turmalina. Estos complejos de brechas se hallan fracturados, brechizan diversas unidades litológicas y han sido intruídas por una serie de pórfidos cuarzo-monzoníticos, dacíticos y riolíticos débilmente mineralizados y alterados de edad comprendida entre el Mioceno tardío y el Plioceno temprano. Estas brechas fuertemente mineralizadas parecen estar estrechamente relacionadas, a modo espacial, con intrusiones del Pórfido Cuarzo-Monzonítico y del Pórfido Feldespático.

La dotación de cobre del distrito está ligada a la evolución magmática-hidrotermal del batolito San Francisco. López y Vergara (1982) llegaron a la conclusión de que el depósito de pórfido Río Blanco-Los Bronces es resultado de un proceso de concentración metálica, más que reflejar la existencia de una fuente rica en metal. Esto a partir de las semejantes características geoquímicas de las rocas granodioríticas más frescas del batolito con rocas granodioríticas de intrusivos no productivos del Terciario Superior y andesitas Plio-Cuaternarias, sugiriendo una historia genética y evolutiva similar.

El batolito San Francisco, que hospeda la mineralización, se emplazó progresivamente de S a N entre los $16,4 \pm 0,2$ Ma y $8,2 \pm 0,5$ Ma (Deckart et al., 2005. Método U-Pb en circones), mientras que la edad de la mineralización (obtenida en distintas vetillas de molibdenita) va de $5,94 \pm 0,03$ Ma a $4,50 \pm 0,02$ Ma (Deckart et al. 2013), extendida a $6,26 \pm 0,04$ Ma según Marthur et al. (2001), lo que sugiere un rango de edad de mineralización de Cu-Mo de al menos 2 Ma. Estas edades no se traslapan con las fases más tempranas de pórfido en el área: $7,1 \pm 0,2$ Ma a $6,48 \pm 0,05$ Ma (Bertens et al., 2010; Deckart et al., 2012. Método U-Pb en circones).

Si bien se identifican varios cuerpos mineralizados en el distrito Río Blanco-Los Bronces, genéticamente corresponden a un solo yacimiento, donde ocurren varios pulsos de mineralización, donde los cuerpos mineralizados son truncados por intrusiones de carácter estéril.

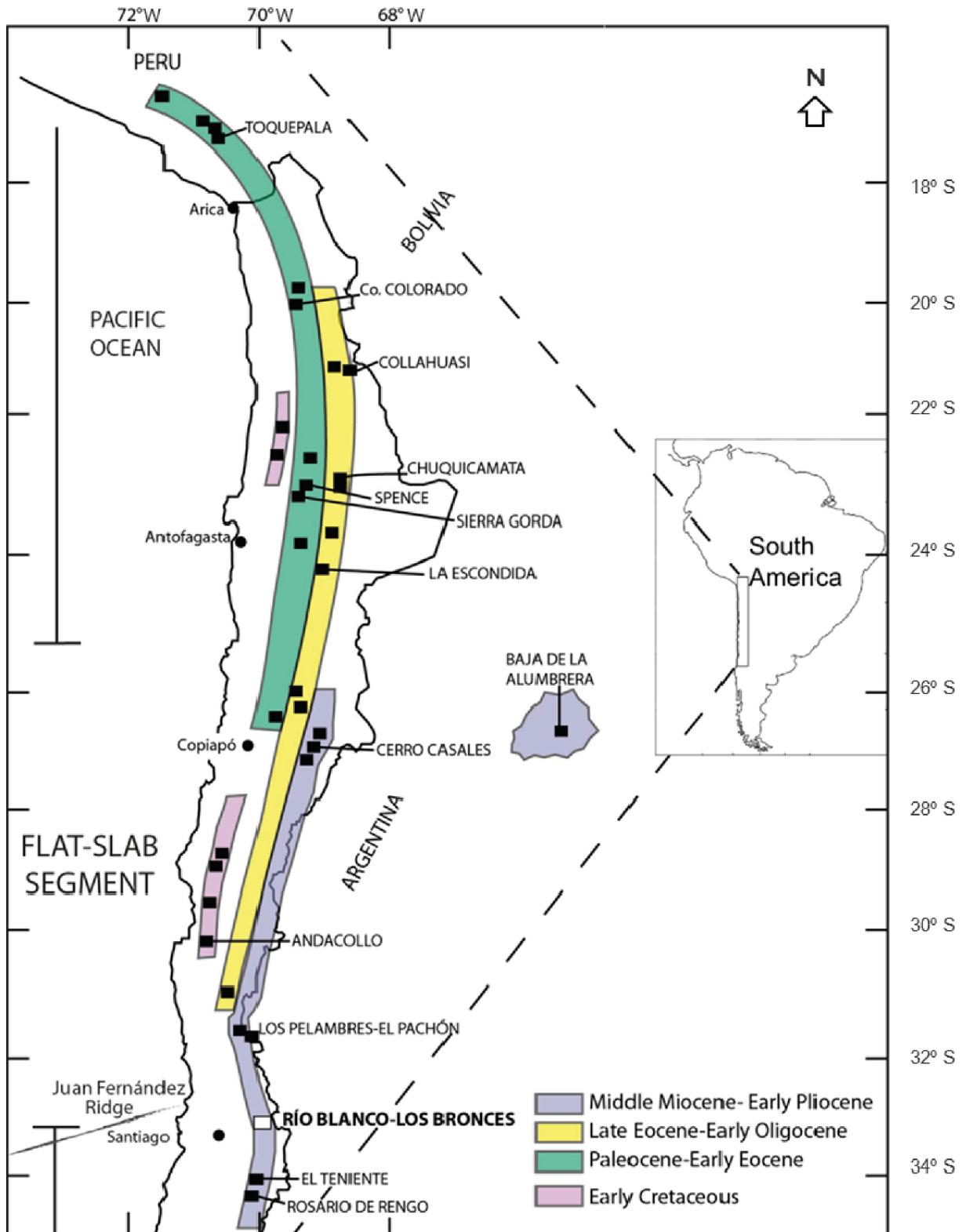


Figura 3. Fajas metalogénicas de Chile Central y norte de Chile. Se observa además el segmento de *flat-slab* y la ubicación del *Ridge* de Juan Fernández, el cual coincide con el límite sur del segmento. Modificado de Sillitoe (1988).

2.1.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS

2.1.1.1. FORMACIÓN ABANICO (Eoceno Superior – Mioceno Inferior)

La Formación Abanico es una secuencia continental que sobreyace a la Formación Colimapu de manera concordante. Los afloramientos tienen un amplio desarrollo en toda la Cordillera de los Andes de Chile Central, particularmente entre las latitudes 32°-35°S (Klohn, 1960; González, 1963; Thiele, 1980).

Su litología corresponde principalmente a lavas andesíticas, porfídicas, brechas y tobas andesíticas, con intercalaciones de arenisca, niveles ocasionales de ignimbritas ácidas y lavas riolíticas. La potencia de esta formación ha sido difícil de determinar (Vergara y Drake, 1979) ya que presenta numerosas intrusiones interestratificadas y su base está afectada por fallas normales que incrementan su potencia aparente (Thiele, 1980; Gana y Wall, 1997). Sin embargo, Aguirre (1960) estima un espesor de 3160 m.

En base a su contenido de fauna fósil y a las numerosas dataciones radiométricas efectuadas en esta formación, su edad estaría comprendida entre el Eoceno superior y el Mioceno inferior (Vergara y Drake, 1979; Drake et al., 1982; Flynn et al., 1995; Gana y Wall, 1997; Aguirre, 1999; Baeza, 1999; Sellés, 1999; Vergara et al., 1999; Fuentes et al., 2002; Charrier et al., 2002, 2005; Fock, 2005). En Chile Central, esta formación sería correlacionable hacia el sur con la Formación Coya-Machalí (Klohn, 1960).

2.1.1.2. FORMACIÓN FARELLONES (Mioceno Inferior – Mioceno Medio)

Esta formación de origen continental, conformada por depósitos volcánicos, sobreyace a la Formación Abanico, distribuyéndose como una franja elongada en dirección NS entre los afloramientos orientales y occidentales de la Formación Abanico, constituyendo una discordancia que se expresa con una angularidad variable que en algunos casos alcanza los 40°, pero que normalmente corresponde a una pseudo-concordancia. Su techo lo constituye la Formación Colorado-La Parva, levemente discordante, aun cuando la mayor parte de esta Formación corresponde a la actual superficie de erosión (Thiele, 1980).

Rivano et al. (1990) propusieron la existencia de dos miembros en esta formación: uno inferior tobáceo a ignimbrítico, de composición riolítico-dacítica, y otro superior, compuesto por flujos andesítico-basálticos, con intercalaciones de tobas y aglomerados andesíticos, intruídos por domos riodacíticos y filones andesíticos. Según los mismos autores, el primero representaría el producto de erupciones tipo caldera, y el segundo correspondería a una interdigitación de lavas y materiales volcanoclásticos.

En la Formación Farellones no existe fauna fósil que haya permitido determinar su edad, sin embargo se cuenta con numerosas dataciones radiométricas que la asignan al Mioceno inferior a medio (Drake et al., 1982; Vergara y Drake, 1979; Thiele, 1980; Sellés, 1999; Fuentes et al., 2001, 2002; Kay et al., 2005).

2.1.1.3. FORMACIÓN COLORADO – LA PARVA (Plioceno)

Esta formación corresponde a manifestaciones asociadas a la última etapa de la actividad volcánica en el distrito Río Blanco-Los Bronces, y sobreyace a la Formación Farellones en discordancia angular.

Thiele (1980) designa con este nombre a un conjunto de rocas ígneas que afloran en los cerros La Parva y Colorado. También agrupó al Complejo Volcánico Río Blanco (Vergara y Latorre, 1984) y otros cuerpos volcánicos y subvolcánicos, preferentemente riolíticos. Esta formación está constituida por pórfidos dacíticos, tobas soldadas riolíticas y riolitas; y su modo de emplazamiento es similar a la de diatremas volcánicas (Latorre, 1981). En muchos lugares, los conductos alimentadores de esta formación cortan a rocas mineralizadas hidrotermalmente, pero la formación misma carece de mineralización. El techo de esta unidad es la actual superficie de erosión.

De acuerdo a las relaciones de contacto, la Formación Colorado-La Parva es post-Mioceno. Las únicas dataciones K/Ar revelan un rango de edades entre 4,9 a 3,9 Ma (Rivano et al., 1985).

2.1.1.4. DEPÓSITOS NO CONSOLIDADOS

Los depósitos no consolidados del área están representados por sedimentos aluviales, fluviales y fluvio-glaciales, sedimentos morrénicos y glaciales, y escombros de falda.

Los sedimentos aluviales, fluviales y fluvio-glaciales son los de mayor extensión areal y se presentan relleno de valles, generando una superficie apta para el desarrollo de la agricultura y están conformados por material de variada granulometría que va de gravas y bloques a tamaño arcilla. Por otro lado, los sedimentos morrénicos y glaciales, que tienen su mayor desarrollo en las cabeceras de los ríos por sobre los 2500 m, son esencialmente morrenas marginales y acumulaciones de detritos provenientes del avance, retroceso y/o derretimiento de glaciares, y se hallan ubicados en los circos o nichos en las altas cumbres.

Los escombros de falda alcanzan su mayor desarrollo en todos los valles glaciales. Los más importantes son producto de la reptación del suelo, que producen acumulaciones detríticas importantes en la base de pendientes.

2.1.2. UNIDADES INTRUSIVAS

La actividad intrusiva de la región cordillerana de Chile Central tiene una edad que abarca desde el Mioceno al Plioceno, y sus edades son progresivamente más jóvenes hacia el oriente (Thiele, 1980; Skewes et al., 1991).

Las rocas intrusivas que afloran en el área, pertenecen al magmatismo Terciario que pertenecen, en sus fases finales, al ciclo Andino y que se extendió a la mayor parte de la Cordillera de Los Andes.

Los afloramientos de las rocas intrusivas están representados por cuerpos plutónicos e hipabisales de variada composición. Las rocas plutónicas corresponden a stocks de granitoides de modesta extensión, con una edad mínima miocénica. Las rocas hipabisales, que intruyen a las plutónicas, están constituidas por diques, filones, lacolitos y pequeños stocks de edad mínima mio-pliocénica. La mayoría de estos cuerpos han generado un metamorfismo de contacto y alteración hidrotermal de extensión variable en las rocas encajantes.

2.1.2.1. BATOLITO RÍO BLANCO – SAN FRANCISCO (Mioceno)

La unidad está representada en el sector de estudio por cuerpos intrusivos que alcanzan una extensión areal cercana a los 200 km². El intrusivo relacionado con la mineralización es de composición granodiorítica (López y Vergara, 1982), pero los tipos litológicos principales que constituyen este complejo intrusivo son monzonita cuarcífera, monzodiorita cuarcífera y diorita cuarcífera en la nomenclatura de Streckeisen (1976). La textura y composición del batolito es altamente variable, variando de tamaño de grano fino a grueso y de equigranular a porfírica (Warnaars et al., 1985) Fue definida por Cepeda (1981) como Plutón Disputada, aunque en el sector del yacimiento recibe el nombre de Plutón Río Blanco- San Francisco (Stambuk et al., 1982).

Deckart et al. (2005) mediante dataciones de U-Pb en circones por el método SHRIMP, reportan las siguientes edades miocénicas para las unidades litológicas intrusivas reconocidas en el distrito Río Blanco-Los Bronces: $11,96 \pm 0,40$ Ma (Granodiorita Río Blanco); $8,40 \pm 0,23$ Ma, (Granodiorita Cascada) y $8,16 \pm 0,45$ Ma (Diorita).

2.1.2.2. CUERPOS SUBVOLCÁNICOS PORFÍRICOS (Plioceno)

Esta unidad está representada por cuerpos intrusivos de bastante menor extensión tales como stocks, lacolitos, diques y sills que intruyen a la Formación Farellones, y considera también

a algunas chimeneas volcánicas. Basado en las relaciones de contacto con la Formación Farellones, se concluye que esta unidad se formó en el Plioceno (Thiele, 1980).

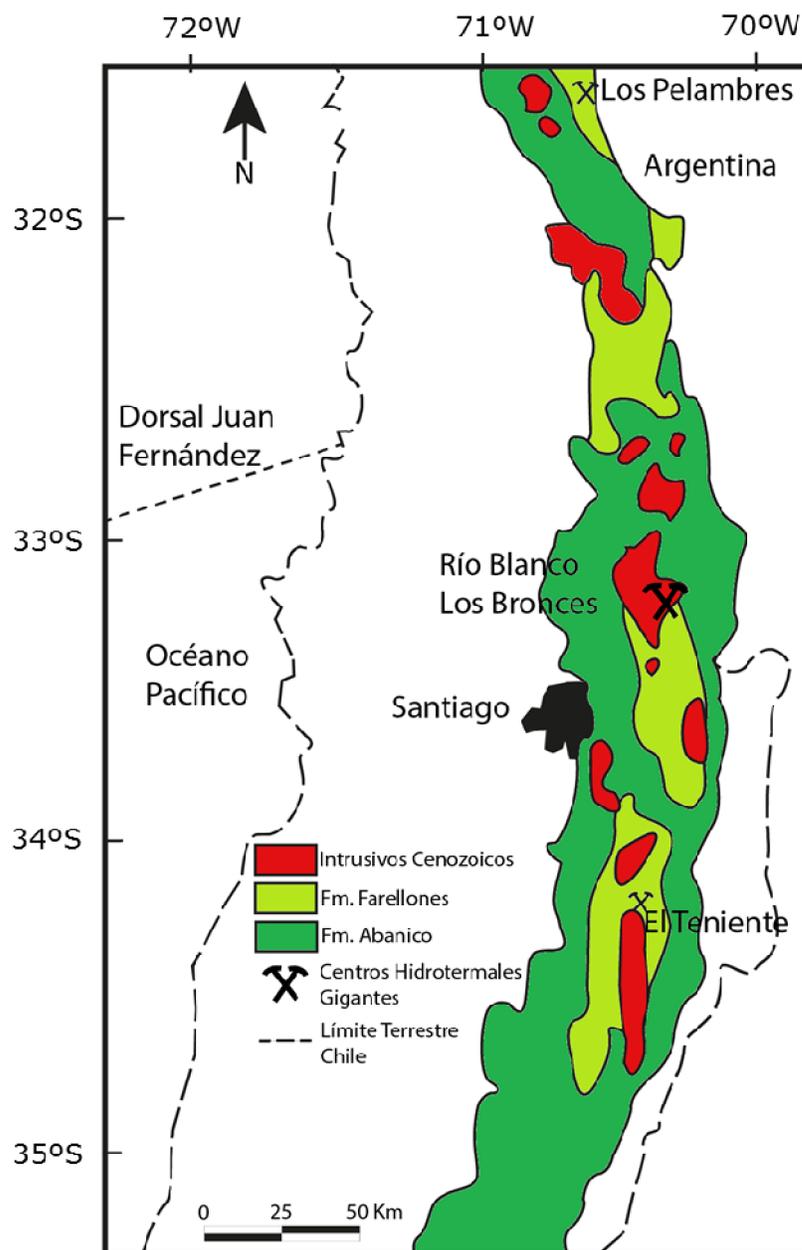


Figura 4. Mapa simplificado de la geología regional de Chile Central, asociado a la faja magmática del Terciario superior. Se muestra la ubicación del depósito río Blanco-Los Bronces y otros pórfidos gigantes de Cu-Mo de edad Mioceno-Plioceno. Modificado de Serrano et al., 1996.

2.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO RÍO BLANCO

2.2.1. LITOLOGÍA

Las principales unidades litológicas del yacimiento Río Blanco están relacionadas a rocas intrusivas y desarrollo de rocas fragmentales. Las rocas intrusivas que constituyen el yacimiento Río Blanco son unidades pertenecientes al batolito San Francisco, de edad Miocena, y los cuerpos subvolcánicos, de edad Pliocena, que algunos autores clasifican como parte del batolito.

2.2.1.1. UNIDADES INTRUSIVAS

Estas corresponden a rocas de composición granodiorítica principalmente, aunque existen otras variedades pertenecientes a facies más alcalinas. Las unidades con mayor distribución en el área del yacimiento son la Granodiorita Río Blanco y la Granodiorita Cascada (Figura 5), las cuales hospedan el depósito.

2.2.1.1.1. GRANODIORITA RÍO BLANCO (GDRB)

Esta es la unidad predominante del batolito San Francisco en el área del depósito, siendo reconocida principalmente en el sector Río Blanco. La roca es color rosado, con textura alotomorfa a hipidiomorfa granular, constituida por plagioclasa del tipo albita-andesina, ortoclasa (en partes micropertítico), cuarzo, biotita y anfíbola. El tamaño de los cristales varía el promedio entre 2 y 5 mm, pero pueden alcanzar incluso 10 mm.

En algunos sectores está afectada por alteración hidrotermal, la cual también es variable. Las plagioclasas se encuentran parcialmente sericitizadas y las anfíbolas cloritizadas y/o biotitizadas. Esta biotitización se observa en la superficie, preferentemente en el sector NW de la mina subterránea Río Blanco. Los minerales accesorios son turmalina, circón, esfeno y rutilo.

Es importante considerar el tamaño de los cristales de grano grueso, diferencia sustancial entre GDRB y Granodiorita Cascada. Además, se encuentra más mineralizada, con una ley de cobre de 0,84% (promedio en el yacimiento), superior a la GDCC (0,56% de Cu).

2.2.1.1.2. GRANODIORITA CASCADA (GDCC)

Esta unidad presenta mayor dominio en el sector Don Luis y Sur Sur. La roca es de color gris claro-verdoso y en sectores rosácea. La textura es hipidiomorfa granular a porfídica, con tamaños de cristales que varían entre 1 y 3 mm. La plagioclasa, que ocupa un 60% de la roca, es del tipo oligoclasa-andesina y la ortoclasa es en partes micropertita. Presenta hornblenda y biotita en cristales de hasta 3 mm y escaso cuarzo. Como minerales accesorios se

encuentran circón, magnetita, esfero y apatito. La edad de cristalización obtenida mediante U-Pb en circones es de $8,4 \pm 0,23$ Ma.

2.2.1.2. PÓRFIDOS

2.2.1.2.1. PÓRFIDO CUARZOMONZONÍTICO (PQM)

Este pórfido fue el primero en intruír, conformando un stock con desarrollo de digitaciones apicales de orientación preferencial N27°W.

La textura de estas rocas varía desde levemente porfídica, en los cuerpos más profundos, a pórfidos bien desarrollados en las ramificaciones apicales. Los fenocristales ocupan entre 28% y 54% de la roca y están incluidos en una masa fundamental aplítica, los cuales son subhedrales a anhedrales y están compuestos por plagioclasa, biotita alterada a clorita y sericita, con desarrollo de minerales opacos en los planos de clivaje, y feldespatos potásicos que ocasionalmente se encuentran en cristales de tamaño entre 5 y 15 mm. La masa fundamental aplítica está integrada por un agregado cristalino de cuarzo, feldespatos potásicos y plagioclasa; el tamaño de los cristales es variable, observándose dimensiones entre 0,1 y 0,3 mm; localmente se observa textura intersticial.

El PQM está caracterizado por asociaciones de alteración silícica y no contiene biotita de origen hidrotermal (Serrano et al., 1996). Presenta una ley promedio de 0.6% de cobre.

2.2.1.2.2. PÓRFIDO FELDESPÁTICO (PFELD)

De los pórfidos, es el menos abundante volumétricamente. Se presenta como cuerpos filonianos que intruyen a las unidades de Granodiorita Cascada y Brecha de Turmalina, con potencias variables entre 5 y 40 m, disponiéndose con orientaciones entre N(20-30)°W y tendencias de manteos subverticales. Se caracteriza por su textura porfídica, con fenocristales de cuarzo y feldespatos, y en general presentan colores claros, siendo común un tono blanco rosáceo. Es usual encontrar megacristales de feldespatos potásicos con textura rapakivi y ojos de cuarzo bipyramidales.

En esta unidad litológica se reconoce escasa mineralización primaria de calcopirita y pirita, en zonas con alteración biotítica, cuya proporción promedio es de 2:8. La distribución promedio de sulfuros muestra un fuerte predominio de vetillas sobre diseminado. El Pórfido Feldespático constituye una unidad estéril en mineralización de cobre. Además, se caracteriza por presentar vetillas con finos halos de alteración cuarzo sericítica con sutura central de pirita, con una ley de 0,5% cobre.

2.2.1.2.3. PÓRFIDO DON LUIS (PDL)

Este pórfido dacítico es el último que intruye en el yacimiento Río Blanco, evidenciado además por el bajo contenido en biotita comparado con el resto de los pórfidos (20-25%), lo que indicaría un bajo contenido en agua. Esto es consistente con lo poco desarrollado de las alteraciones hidrotermales presentes y el bajo grado de mineralización de cobre.

El PDL posee un cuerpo elongado y aflora en el centro del depósito, paralelo a los diques del Pórfido Cuarzomonzónico, corta las brechas mineralizadas en los sectores de La Unión y Don Luis y, a su vez, ha sido cortado a nivel local por vetas de cuarzo \pm sericita \pm anhidrita \pm sulfuros y por vetas de feldespato potásico. Limita al norte con la Chimenea Dacítica y corresponde al límite occidental del complejo de brechas, las cuales concentran la mineralización metálica.

Sus variedades petrográficas corresponden a dacita y dacita-latita, caracterizado por la presencia de “ojos de cuarzo”. Predomina en la parte central, sur y apical del stock subvolcánico y tiene masa fundamental con textura de transición entre aplítica fina y felsosídica (interrecimiento de feldespato en cuarzo). En su margen oriental posee una aureola brechizada con potencias variables entre 20 m y 80 m, denominado Pórfido Don Luis Brechizado (BXPDL) y se caracteriza por presentar numerosas vetillas finas de turmalina, cuarzo y pirita.

Este cuerpo es considerado estéril en el yacimiento, pues presenta una ley de 0.37% de cobre.

2.2.1.3. COMPLEJO SUBVOLCÁNICO

2.2.1.3.1. CHIMENEA DACÍTICA (CHDAC)

Esta diatrema corresponde a un cuerpo dacítico porfídico brechizado y brechas ígneas subvolcánicas con matriz de polvo de roca. A lo largo de su perímetro, esta chimenea posee un borde discontinuo y brechizado con un cemento dominado por óxidos de hierro con especularita, clorita y minerales de sulfuro asociados (Frikken, 2004). Aunque las leyes de cobre son bajas, la Chimenea Dacítica y la brecha emplazada parecen haber sido el centro para el flujo de fluidos de la última etapa mineralizadora y la consecuente deposición de cobre de menor ley (Frikken, 2004). Esta chimenea no contiene vetas de stockwork típicas de ambientes de pórfidos de cobre y está asociada a una alteración hidrotermal sericítica de intensidad moderada a fuerte.

LA CHDAC fue emplazada al norte del Pórfido Don Luis en forma de cono invertido, truncando la mineralización de cobre y molibdeno, pues corresponde a un cuerpo estéril ($<0.3\%$ de Cu). Su emplazamiento está relacionado con el inicio de fases de mineralización tardía, caracterizada por cantidades subordinadas de sulfuros y principalmente pirita, anhidrita, yeso y óxidos de hierro, siendo la relación promedio de calcopirita: pirita, 1:9.

En el margen de la unidad principal se reconoce una brecha denominada Brecha de Chimenea Dacítica (BXCHDAC), la que ha incorporado clastos de otros tipos litológicos, a veces mineralizados, durante el proceso de intrusión.

2.2.1.3.2. CHIMENEA RIOLÍTICA (CHRIO)

Esta unidad es parte del Complejo La Copa, que fue emplazado durante las fases finales del magmatismo en Río Blanco. Las rocas extrusivas (lavas riolíticas, ignimbritas y tobas) afloran en la parte suroeste del Complejo de La Copa a gran altura en el área de Los Bronces, lo que indica que el yacimiento habría sido parcialmente exhumado cuando este complejo fue emplazado. Las unidades intrusivas de La Copa y la diatrema brechosa también han truncado las brechas mineralizadas en el yacimiento Río Blanco. Se ha observado, en este complejo, alteración sericítica débil en varias unidades (Toro, 1986) y ausencia de minerales de mena.

La CHRIO se ubica al norte del yacimiento. Las rocas de esta unidad son de origen intrusivo y efusivo, con predominio de composiciones riolíticas. En el entorno de la unidad principal se reconoce una brecha marginal denominada Brecha de Chimenea Riolítica (BXCHRIO), que ha incorporado clastos de andesita, granodiorita, brechas y pórfidos durante su proceso violento de formación. Esta chimenea es estéril, a excepción de la brecha marginal que ocasionalmente posee algo de mineralización, la cual dependerá de su fracción clástica, pues en los clastos se reconoce calcopirita, pirita y molibdenita, las que son parte de las rocas de contacto que están mineralizadas.

Se reconoce una mineralización hidrotermal póstuma, caracterizada por la presencia de pirita, arsenopirita, blenda y carbonatos. La ocurrencia de calcopirita es muy restringida (razón de 1:9 en relación a la pirita). Esta mineralización, en general, es muy escasa y se encuentra principalmente diseminada.

2.2.1.4. COMPLEJO DE BRECHAS

Vergara y Latorre (1984) definieron dos complejos de brechas hidrotermales, denominados Río Blanco y Sur Sur. Estos comprenden varios tipos de brechas, cuyos contactos son netos y que además se disponen en forma vertical a subvertical.

El Complejo de Brechas Río Blanco está ubicado en el yacimiento Río Blanco a 3900 msnm y tiene una extensión aproximada de 600 m y 270 m de ancho en dirección N27°W. Está conformado por las siguientes cuatro unidades de brechas:

- i. Brecha de Turmalina
- ii. Brecha Ahuecada de Granodiorita
- iii. Brecha de Anhidrita-Especularita

- iv. Brecha Magmática, que fue definida convencionalmente como cualquier brecha de cemento ígneo, cristalino. Sin embargo, esta ya no existe como unidad, pues ha sido separada en otras tres brechas. Estas son: (a) Brecha de Sílice Feldespato, (b) Brecha de Polvo de Roca y (c) Brecha de Biotita.

El Complejo de Brechas Sur-Sur comprende los sectores de Sur-Sur, Don Luis, La Americana y San Enrique, siendo su extensión de 600 m en dirección NS, cuyo ancho varía entre 120 m y 260 m. También comprende cuatro unidades de brecha:

- i. Brecha de Turmalina
- ii. Brecha de Polvo de Roca
- iii. Brecha Monolito
- iv. Brecha de Polvo de Roca y Turmalina

Aquí se detallan solo aquellas involucradas en la zona de estudio, las cuales se describen a continuación.

2.2.1.4.1. BRECHA DE TURMALINA (BXT)

Esta brecha es la de mayor importancia económica en el yacimiento, pues es la que se halla más mineralizada. El cemento de la brecha constituye por lo general proporciones mayores al 75% de la matriz, siendo una de las características más distintivas.

La alteración que afecta a los clastos tiene relación con el tamaño de estos, de manera que los mayores son más frescos, en tanto que los pequeños (menor a 3 cm) están, en general, totalmente silicificados y/o sericitizados.

En el sector de Río Blanco, las raíces de la BXT se encuentran en la Granodiorita Río Blanco, por lo tanto, sus clastos en profundidad son de esa composición; en su parte superior está constituida por clastos de andesita. El cemento constituye entre un 5% y 25% en volumen de roca y está conformado por turmalina, óxidos de hierro, calcopirita, pirita, cuarzo y cantidades subordinadas de molibdenita y clorita. Esta puede ocasionalmente tener un aspecto fluidal o bandeado.

2.2.1.4.2. BRECHA DE SÍLICE – FELDESPATO POTÁSICO (BXSK)

Esta brecha es la que presenta mayor mineralización en el sector de los Cuerpos de Alta Ley. Su principal componente en la matriz es feldespato potásico y cuarzo. Son de aspecto difuso debido a una recristalización de la matriz. La composición de los fragmentos es felsítica, siendo estos de rocas con texturas semi-aplíticas, pórfidos dacíticos y granodioritas. La distribución de

este tipo de brecha en profundidad se asocia a un eje de pórfidos dacíticos, a los cuales se sobreimpone.

Una datación $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ en feldespato potásico de la matriz de la brecha entrega una edad de $4,79 \pm 0,03$ Ma (Deckart et al., 2005) y otra de $4,82 \pm 0,05$ Ma (Skewes, 1997, informe interno); sin embargo, se sugiere que estas edades no son representativas debido a un reseteo total o parcial del sistema Ar/Ar a causa de la intrusión de cuerpos a temperaturas sobre los 300°C (Deckart et al., 2005).

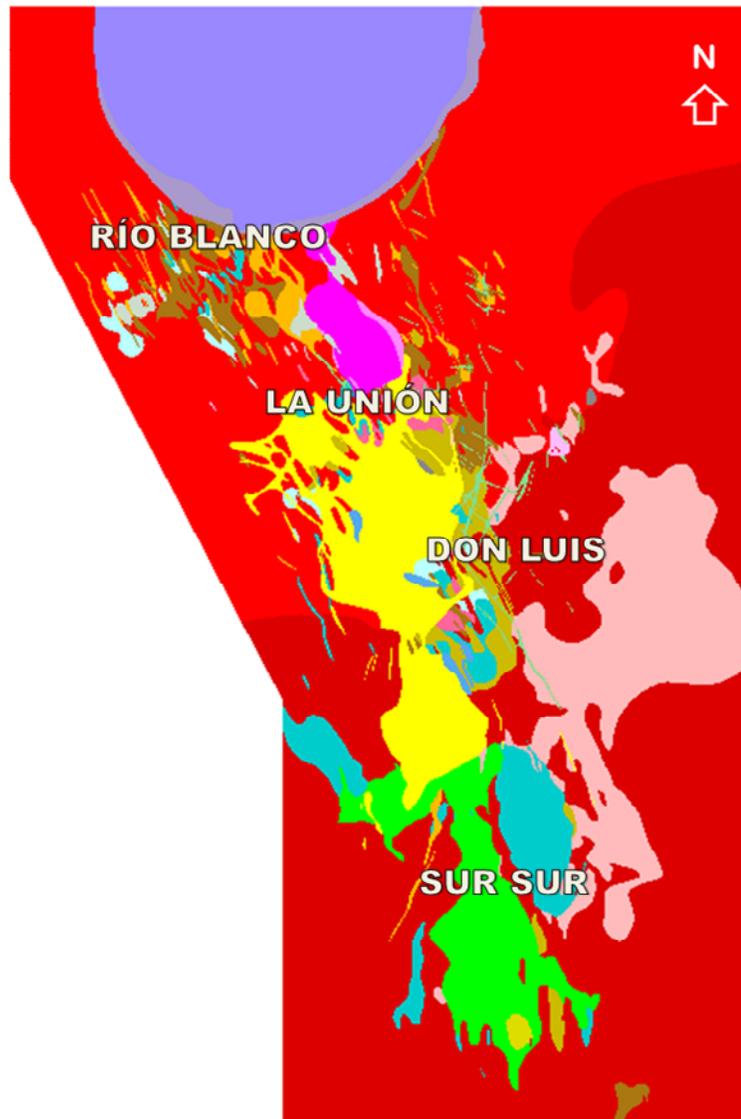
2.2.1.4.3. BRECHA POLVO DE ROCA (BXPR)

Este cuerpo elongado en dirección NS presenta un bajo grado de mineralización, excepto en sectores donde se halla asociado al contacto con la Brecha de Turmalina (a la cual intruye), ya que aumenta las concentraciones de cobre y molibdeno en zonas locales.

El color característico de esta unidad es gris claro, otorgado por la incipiente alteración cuarzo-sericítica que la afecta. Debido a esto, es difícil distinguir la fracción clástica de la matriz; en la mayoría de los sectores donde esto es posible, se observa que la matriz en general es superior al 60%, presentando una composición mixta, de fragmentos finos (polvo de roca) y una fracción microcristalina de cuarzo y feldespato. Los clastos raramente de tamaños mayores a 10 cm, presentan bordes difusos y un predominio de formas sub-redondeadas. Cuando se aprecian rasgos texturales, se reconocen variedades litológicas de andesita, granodiorita y en menor proporción la Brecha de Turmalina y la Brecha Monolito (esta última solo se encuentra en el sector Sur-Sur).

2.2.1.4.4. BRECHA DE BIOTITA (BXB)

Brechas cuyo componente principal de la matriz es biotita y polvo de roca, este último puede estar recristalizado. Contiene fragmentos de granodiorita, andesita, en menor proporción pórfidos de composición dacítica y rocas de textura aplítica. Es notable en este tipo de brechas el desarrollo heterogéneo de la alteración tardimagmática. La temporalidad de estas brechas aún no es clara, pero según observaciones de corte, se encontraría entre los eventos EBT y el A (relacionados a tipos de vetillas, cuya clasificación se basa en las descritas para El Salvador. En Anexos se encuentra el detalle).



LEYENDA

COMPLEJO SUBVOLCÁNICO LA COPA (5 – 4,5 Ma)		ROCAS PORFÍDICAS (7 – 5 Ma)
 CHIMENEA RIOLÍTICA		 PÓRFIDO DON LUIS
 CHIMENEA DACÍTICA		 PÓRFIDO FELDESPÁTICO
COMPLEJO DE BRECHAS (7 - 5 Ma)		 PÓRFIDO CUARZO-MONZONÍTICO
 BRECHA DE ANHIDRITA-ESPECULARITA		INTRUSIVAS (12 – 8 Ma)
 BRECHA DE TURMALINA-POLVO DE ROCA		 DIORITA
 BRECHA DE PÓRFIDO		 GRANODIORITA CASCADA
 BRECHA DE SÍLICE-FELDESPATO POTÁSICO		 GRANODIORITA RÍO BLANCO
 BRECHA DE BIOTITA		ROCAS VOLCÁNICAS (17– 16 Ma)
 BRECHA DE POLVO DE ROCA		 ANDESITA
 BRECHA DE TURMALINA		

Figura 5. Sectores y unidades litológicas del yacimiento Río Blanco. El área de estudio se encuentra bajo La Unión (en La Unión Inferior). Cota 3188.

Tabla 1. Temporalidad de unidades litológicas de los sectores Río Blanco y Don Luis. Nota Interna, División Andina.

Unidad Litológica (sigla)	Nombre	Edades U-Pb [Ma]
AN	Andesita	17
GDRB	Granodiorita Río Blanco	12
GDCC	Granodiorita Cascada	8,45 ± 0,12
DIOR	Diorita	8,8 - 8,2
PQM	Pórfido Cuarzomonzónico	6,8 ± 0,31
BXT	Brecha de Turmalina	---
PFELD	Pórfido Feldespático	5,9 ± 0,20
BXPR	Brecha Polvo de Roca	---
BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato Potásico	---
PDL	Pórfido Don Luis	5,2 ± 0,31
PDL-PFELD	PDL- Pórfido Feldespático	5,5 ± 0,26
PDL-fino	Pórfido Don Luis - fino	5,9
BXMO	Brecha de Molibdenita	---
CHDAC	Chimenea Dacítica	4,7 ± 0,20
BXHEM	Brecha de Hematita	---
CHRIO	Chimenea Riolítica	4,5 ± 0,20
PIN	Pórfido Indefinido	---
BXTTO	Brecha de Turmalina Tobácea	4,6

2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las unidades que competen al distrito Río Blanco-Los Bronces estuvieron influenciadas por un marco tectónico transicional, de extensión a compresión, durante la intrusión del batolito Río Blanco-San Francisco, hasta un régimen netamente compresivo a partir de los 15 Ma aproximadamente, lo que radicó en el cese del volcanismo a los ~5 Ma en el área de *flat slab*.

Este distrito se localiza a lo largo de un sistema de fallas de rumbo NS (destaca la Falla Río Blanco; Skarmeta et al., 2000), las cuales son consideradas estructuras asociadas a la acomodación de la cuenca y que han sido reactivadas, invirtiéndola y generando fallas inversas de alto ángulo en el área (Castelli, 1999). Menos predominante son las fallas de rumbo NW y NE. La frecuencia de ambos conjuntos se intensifica en las mismas áreas, lo que indica que están asociadas. Ambos tipos de fallas cortan todas las unidades del depósito Río Blanco.

2.2.2.1. ESTRUCTURAS EN EL YACIMIENTO RÍO BLANCO

Se han definido 4 dominios estructurales en el yacimiento Río Blanco, los cuales se clasifican según orientación. Estos se mencionan a continuación de manera cronológica según rumbo predominante. Las edades estimadas se han realizado en base a su asociación con unidades litológicas (Informe interno, CODELCO, 2006).

- i) Norte Sur (NS): Este sistema habría sido utilizado para el emplazamiento del complejo de chimeneas subvolcánicas de sur a norte, aunque existen evidencias regionales que indican que estaría asociado a la intrusión del Batolito San Francisco. Edad mínima: 12 Ma.
- ii) Noroeste (NW): Sistema sinistral que fue aprovechado para el emplazamiento de los diques de PQM en Río Blanco y limita los cuerpos de Brecha de Turmalina en Sur-Sur. Edad tentativa: entre 12 y 6 Ma.
- iii) Noreste (NE): Sistema dextral que corta a los sistemas NS y NW, y que controla el emplazamiento de la Granodiorita Cascada. Edad tentativa: entre 8 y 5 Ma.
- iv) Este-Oeste (EO): Sistema más joven reconocido y que corta a todos los sistemas de fallas anteriores. Está más desarrollado en las chimeneas, por lo que su edad se estima menor a 4 Ma.

2.2.2.2. ESTRUCTURAS DEL SECTOR LA UNIÓN INFERIOR

En el sector predominan dos dominios estructurales: NW y NE, pero además, se reconoce un sistema de fallas EW. En el sector La Unión Inferior se presentan todos los dominios estructurales (Figura 6), mientras que en el sector Río Blanco solo se presenta el sistema NW, y en el sector Sur-Sur, solo el sistema NE.

Además, es importante mencionar que la Granodiorita Río Blanco (GDRB) muestra una tendencia de aumento en su concentración de cobre hacia el depósito. Esto luego de comparar análisis químicos de cobre total de sondajes con la distancia hacia el depósito a lo largo de diversas fallas, lo que indica que la geología estructural es un factor importante en la mineralización del depósito.

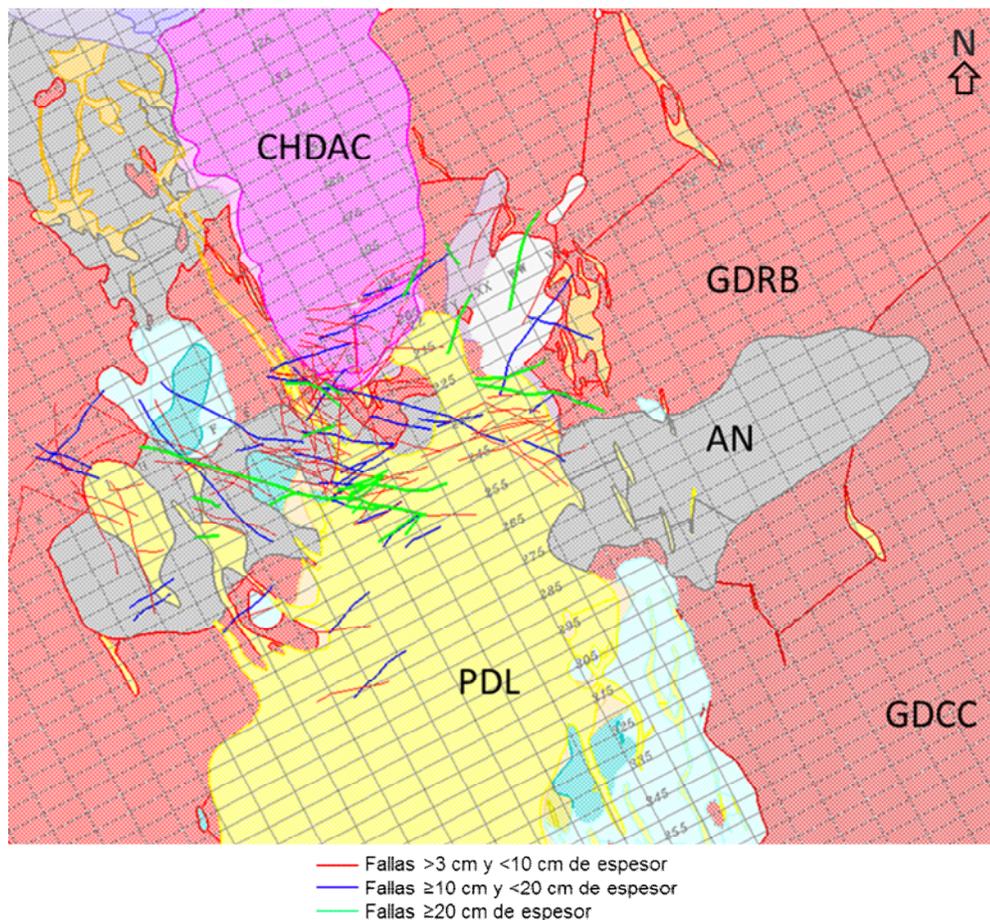


Figura 6. Interpretación 2D de las estructuras presentes a escala mina del sector La Unión. Imagen tomada del Informe de Modelo Estructural (2006), CODELCO-División Andina.

2.2.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

En Septiembre de 2014, el área de Geología de Desarrollo entregó un modelo de alteraciones de detalle que abarca actualmente 2/3 del yacimiento Río Blanco. Se ha establecido que el control de la mineralización es fundamentalmente litológico, por lo que no se trabajó en dicho modelo en años anteriores. Si bien estaban definidas las alteraciones hidrotermales que han actuado en el depósito, se vincularon solamente a la mineralización. Hasta este trabajo, no existe conocimiento sobre las condiciones termodinámicas de dichas alteraciones, sino que solo han sido descritas en forma general y datadas para establecer una temporalidad de los eventos mineralizadores, cuya información se encuentra en la Tabla 2.

Tabla 2. Eventos mineralizadores principales reconocidos en los sectores Río Blanco y Don Luis, en conjunto con dataciones realizadas.

Evento de Mineralización	Método Re-Os [Ma]	Datado en	Método Ar-Ar [Ma]	Datado en
EB-EBT / fondo potásico	6,7-6,5	vetilla EBT	-	-
SGV temprano	6,4	SGV	-	-
PQM-2	6,1-5,8	vetilla A-B	4,9-4,7	vetilla D (GDCC)
PDL	4,9	vetilla A-B	-	-
BXTTO	-	-	4,7	Ser (BXHEM)

2.2.4. LOS CUERPOS DE ALTA LEY

Hace más de una década se realizó un plan de explotación de los Cuerpos de Alta Ley, los cuales -se estimaba- tenían un tamaño superior a 3 millones de toneladas con una ley mayor al 1,5% de cobre. Se observó que estos cuerpos mostraban una distribución preferencial hacia el norte del yacimiento, pareciendo tener una estrecha relación con el Complejo Subvolcánico Río Blanco (que además de la CHDAC incluye a los pórfidos) y que muestran buzamiento hacia la raíz de la chimenea, siendo hospedados principalmente en rocas fragmentadas debido al fracturamiento hidráulico.

En ese plan se definieron varios tipos de CAL relacionados a brechas, vetas y cuerpos masivos de calcopirita, y enriquecimiento secundario. Los que actualmente están siendo explotados son los del tipo brechas, que corresponden a los de mayor volumen en el yacimiento, cuya mineralización se hospeda principalmente en Brecha de Sílice-Feldespatos Potásicos y Brecha de Turmalina, donde la alteración sericitica gris-verde ejerce un fuerte control de la mineralización de calcopirita.

Estos tipos de CAL se ubican entre el sector Río Blanco y Don Luis, limitados por dos cuerpos considerados estériles: la Chimenea Dacítica y el Pórfido Don Luis, los cuales engloban una zona de Granodiorita Río Blanco.

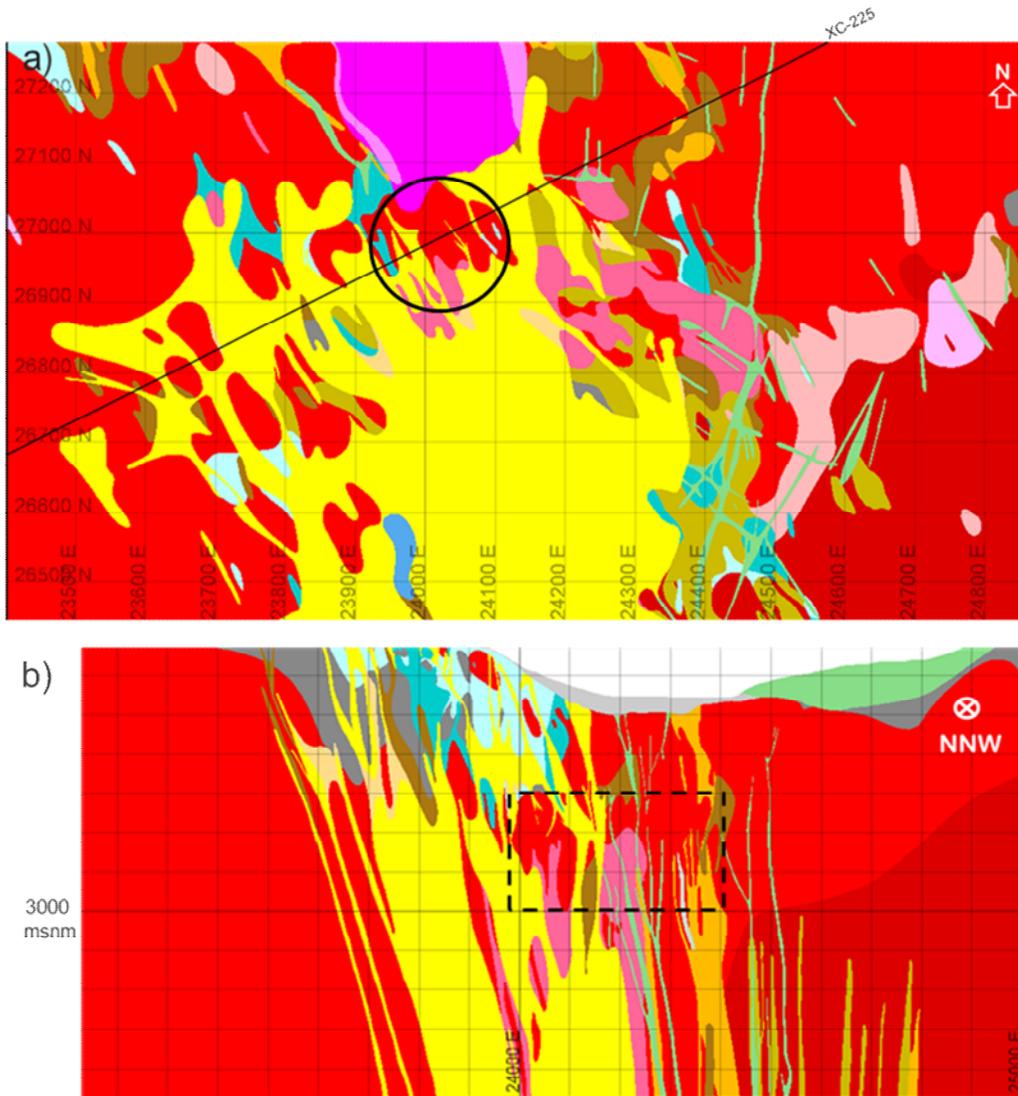
El objeto de este estudio corresponde al sector donde se encuentra dicho “embahiamiento”, en el que se han construido dos caserones para la explotación del Cuerpo de Alta Ley ubicado espacialmente entre 27075N-26850N y 23800E-24150N, y entre los 3100 y 3270 msnm aproximadamente.

2.2.4.1. TIPOS DE CUERPOS DE ALTA LEY

En base a la roca huésped, ocurrencia de la mineralización de cobre y/o las condiciones geológicas de formación es que se han reconocido 5 tipos de estos CAL:

- i. Brecha de Turmalina (BXT).
- ii. Brecha Magmática (BXMG) y Granodiorita Río Blanco.
- iii. Vetas y cuerpos masivos de cuarzo y calcopirita.
- iv. Enriquecimiento secundario.
- v. Asociado a rocas córneas, en Brecha de Andesita.

Los pertenecientes al sector La Unión Inferior constan de las unidades (i) BXT y (ii) BXMG y Granodiorita Río Blanco, donde la BXMG agrupa la Brecha de Biotita, la Brecha de Sílice-Feldespato Potásico y la Brecha Polvo de Roca. Los otros tipos de CAL ya fueron explotados, aunque existen remanentes de estos cuerpos asociados a rocas córneas.



LEYENDA

COMPLEJO SUBVOLCÁNICO LA COPA (5 – 4,5 Ma)		ROCAS PORFÍDICAS (7 – 5 Ma)	
	CHIMENEA RIOLÍTICA		PÓRFIDO DON LUIS
	CHIMENEA DACÍTICA		PÓRFIDO FELDESPÁTICO
COMPLEJO DE BRECHAS (7 - 5 Ma)		 PÓRFIDO CUARZO-MONZONÍTICO	
	BRECHA DE ANHIDRITA-ESPECULARITA	INTRUSIVAS (12 – 8 Ma)	
	BRECHA DE TURMALINA-POLVO DE ROCA		DIORITA
	BRECHA DE PÓRFIDO		GRANODIORITA CASCADEA
	BRECHA DE SÍLICE-FELDESPATOPOTÁSICO		GRANODIORITA RÍO BLANCO
	BRECHA DE BIOTITA	ROCAS VOLCÁNICAS (17– 16 Ma)	
	BRECHA DE POLVO DE ROCA	 ANDESITA	
	BRECHA DE TURMALINA		

Figura 8. a) Vista en detalle del área de interés. Cota 3220; y b) sección XC-225, donde se marca en línea punteada el sector de los Cuerpos de Alta Ley.

2.2.4.2. MÉTODO DE EXPLOTACIÓN

El Proyecto Cuerpos de Alta Ley está ubicado en los sectores La Unión y Don Luis de la mina subterránea. La calidad del macizo rocoso y la morfología de los cuerpos mineralizados permiten aplicar el método de explotación *Sub Level Open Stopping*, que requiere de la construcción de caserones y de una infraestructura de acceso a los techos para la perforación de producción e infraestructura para la extracción de mineral en su base, aprovechando piques existentes.

Estos caserones se explotan mediante tajadas que se van tronando a partir de una primera cara libre o corte desde abajo; y el mineral es extraído desde una zanja receptora a través de las estocadas de producción. Este método de explotación es selectivo y requiere de precisión para una adecuada extracción del mineral.

En total se construirán cinco caserones, siendo denominados (de oeste a este): Oeste 01 (W01), Oeste 02 (W02), Central 01 (C01), Central 02 (C02) y Este 01 (E01), cuya disposición se observa en la Figura 12. Para este estudio se trabajará con información obtenida de los caserones W01 y W02, pues a ellos está habilitado el acceso.

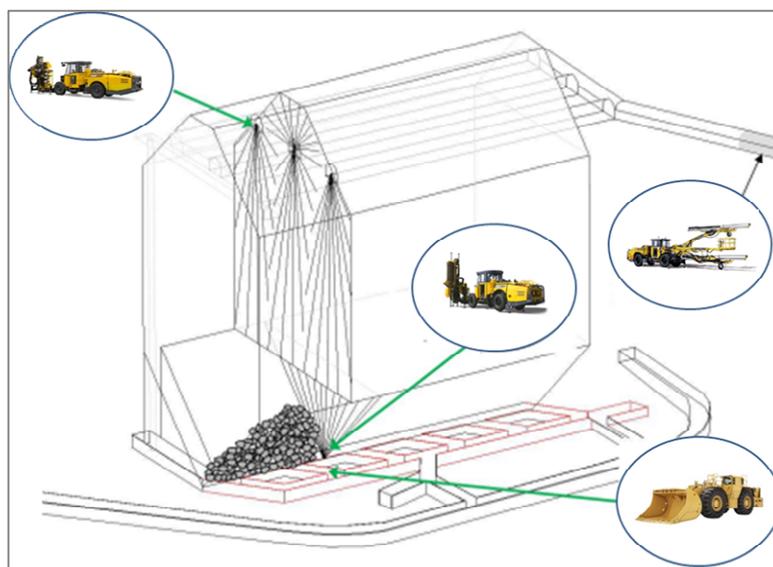


Figura 9. Esquema de un caserón con techo abovedado, donde se observa la distribución radial de los explosivos y las labores asociadas al techo y a la base que es donde se recibe el material que se extrae por tajadas.

3. SECTOR DE ESTUDIO

La zona de trabajo se focaliza en el sector La Unión Inferior. El sector se denomina así dado que conecta la Granodiorita Río Blanco del E con la ubicada al W de los cuerpos subvolcánicos (emplazados de S a N), entre el Pórfido Don Luis y la Chimenea Dacítica a niveles más profundos.

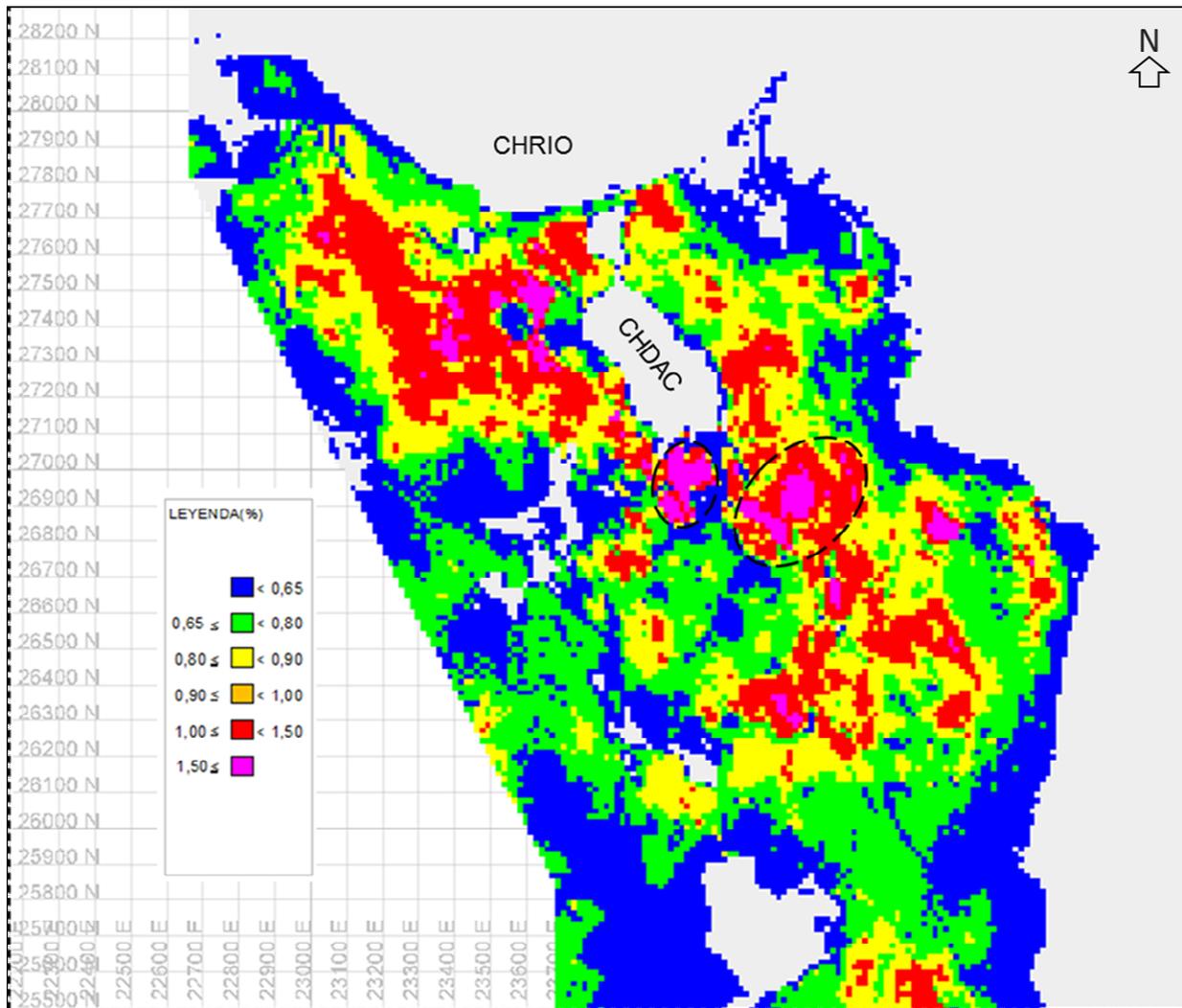


Figura 10. Leyes de cobre (%) estimadas para el yacimiento Río Blanco en la cota 3024, haciendo referencia al sector Río Blanco. En líneas punteadas se demarcan los Cuerpos de Alta Ley. A la izquierda, el sector La Unión Inferior; a la derecha, el Clavo Don Luis. Las coordenadas utilizadas son locales de División Andina.

El sector es delimitado en este trabajo según las concentraciones de Cu, considerando el volumen de roca con leyes de cobre superiores al 1,5%, límite de concentración que define los CAL. Para esto se usó el modelo de bloques (modgeo_2013.bmf, con bloques de 15×16 m), el cual ha sido realizado por la Superintendencia de Geología, División Andina, para la estimación de recursos del yacimiento. El sector La Unión Inferior se observa demarcado en la Figura 10 para la cota 3204. En esta también se muestra el sector Clavo Don Luis, hacia el E.

Es importante mencionar que aunque se definen como sectores diferentes, lo único que los separa son los volúmenes de bajas leyes de cobre asociados a la existencia de un dique de Pórfido Don Luis.

Respecto a la concentración de molibdeno, existe un patrón en términos generales, similar a la distribución de cobre y, en ambos casos, las leyes son mínimas en el Pórfido Don Luis. El molibdeno se concentra, además, en la Granodiorita Cascada (Figura 11), pero cuya disposición se encuentra fuera del área de estudio.

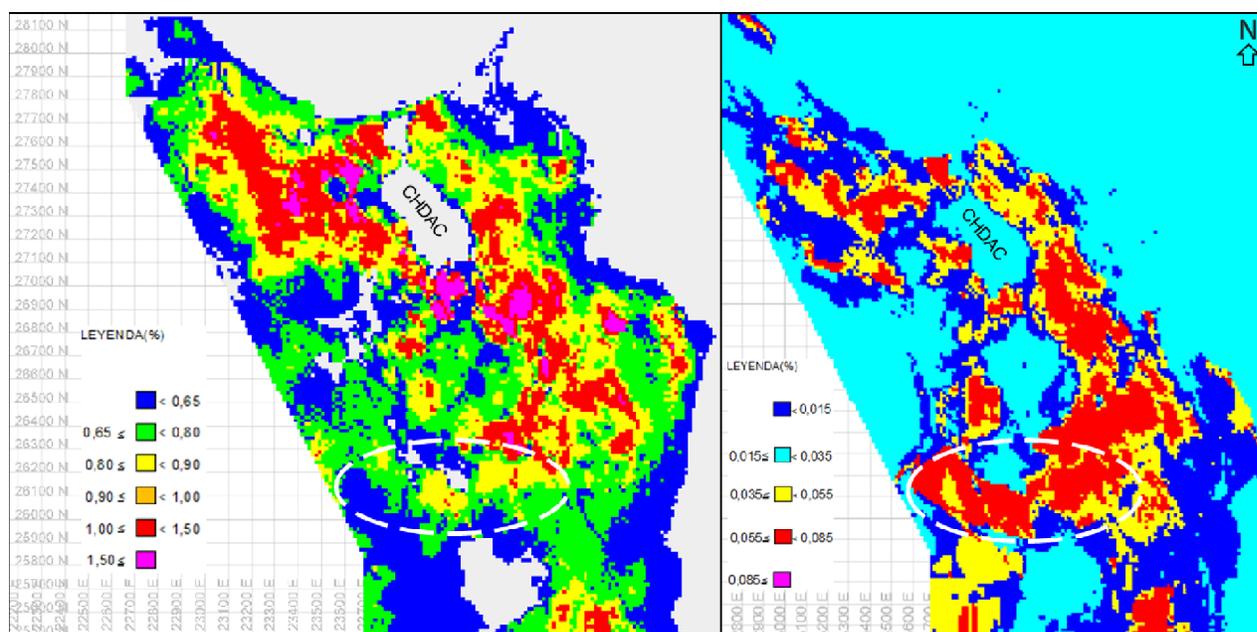


Figura 11. Imágenes comparativas que muestran las concentraciones de Cu y Mo respectivamente, donde se enmarca el área donde los patrones no coinciden y cuya unidad litológica es la Granodiorita Cascada donde se emplaza el Pórfido Don Luis.

3.1. CASERONES Y LABORES

La Unión Inferior comprende el desarrollo de los caserones W01 y W02, y las labores asociadas a estas. Si bien el área de trabajo no se centra en los caserones, de estos es de donde se obtiene la mayor cantidad de información; es decir, el mapeo y la toma de muestras está regido

por las galerías existentes con acceso permitido. Por otra parte, el Clavo Don Luis comprende los caserones C01, C02, E01 y labores asociadas.

En la Figura 12 se muestra la ubicación de los caserones. Los caserones pertenecientes a La Unión Inferior no abarcan totalmente las zonas de altas leyes debido a que la construcción de dicha infraestructura depende de otros factores que garanticen su estabilidad y fácil acceso. Se observa en color azul el área con ley de cobre menor o igual a 0,65% correspondiente al Pórfido Don Luis.

A medida que el proyecto de explotación de los caserones avanza, estos se van clausurando. El proyecto contempla explotar los caserones desde el oeste. Explotación y estudios geológicos se desarrollan de manera simultánea.

En las labores se realizaron mapeos y se extrajeron muestras para fines descriptivos. El conjunto de esta infraestructura en relación con las unidades litológicas en la cota 3156 se observa en la Figura 12. La vista en planta de la base y techo con los nombres asignados, en la Figura 13 y Figura 14, respectivamente.

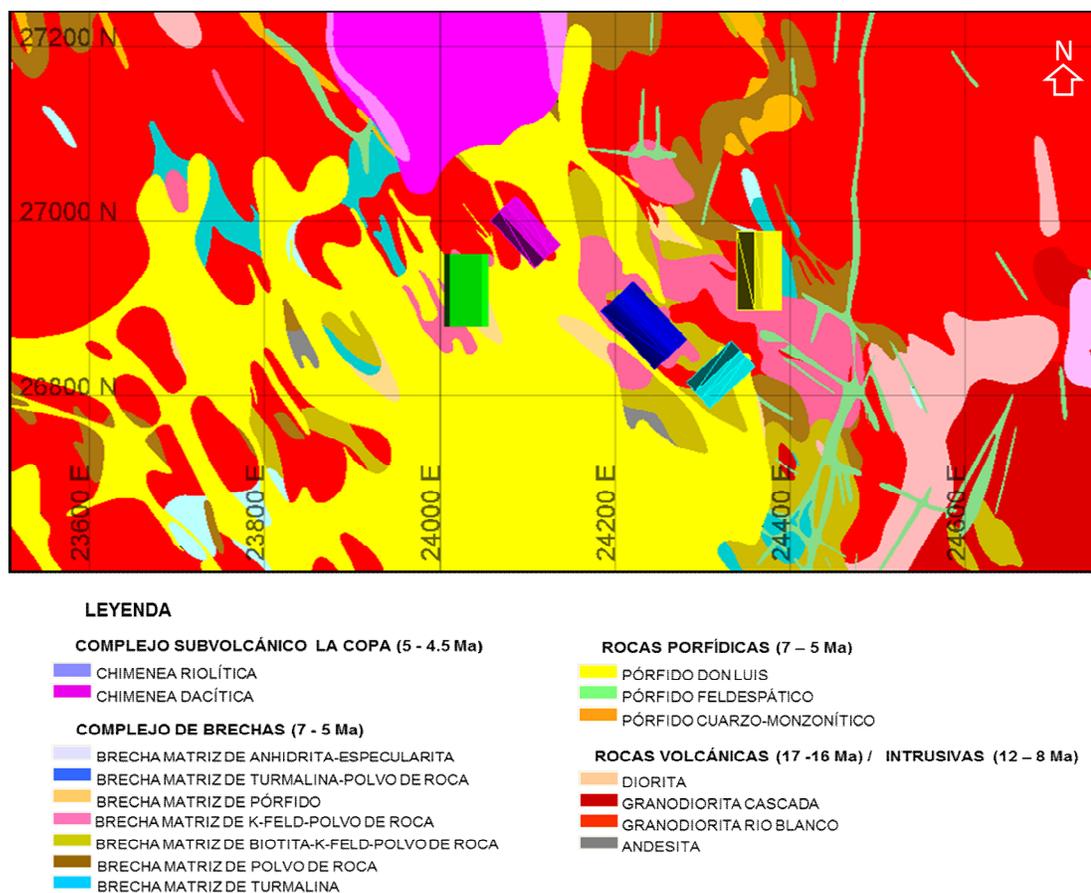


Figura 12. Relación espacial de los caserones (rectángulos) y las unidades litológicas a la cota 3156. En verde se muestra el caserón W01; en morado, W02; en azul, C01; en celeste, C02; en amarillo, E01.

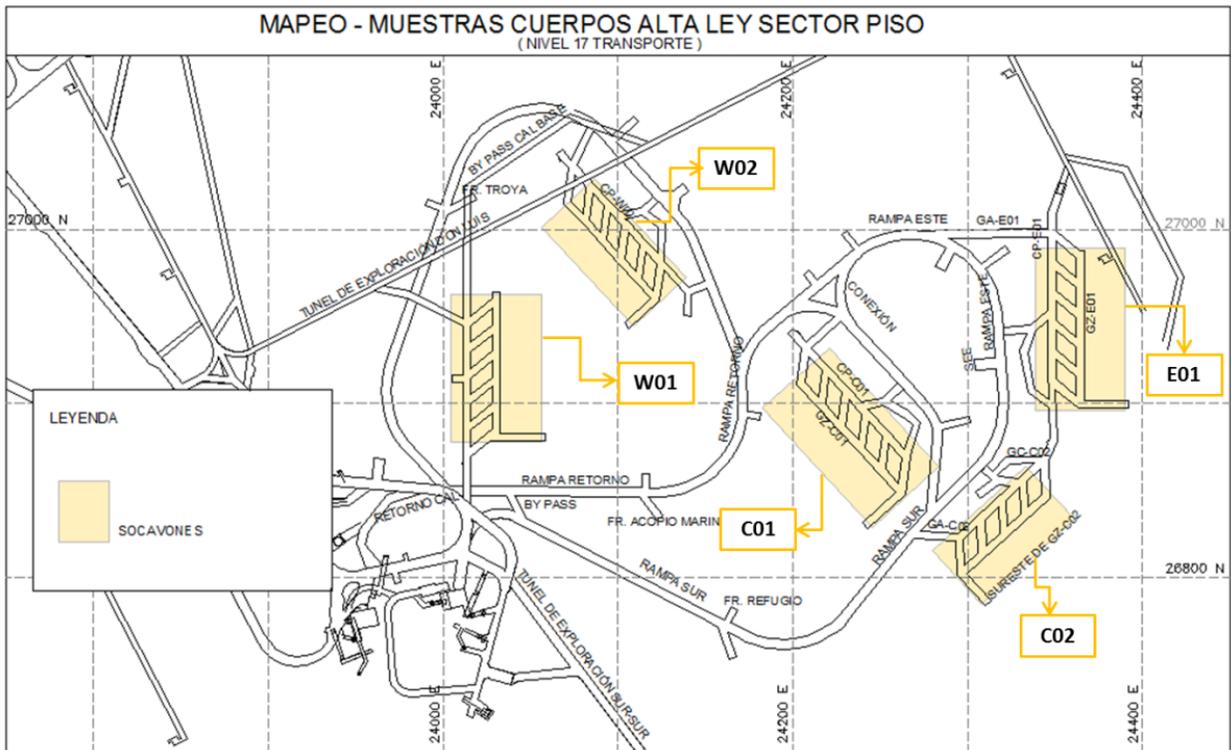


Figura 13. Socavones donde se ubican los caserones. Imagen de la base o piso (Nivel 17).

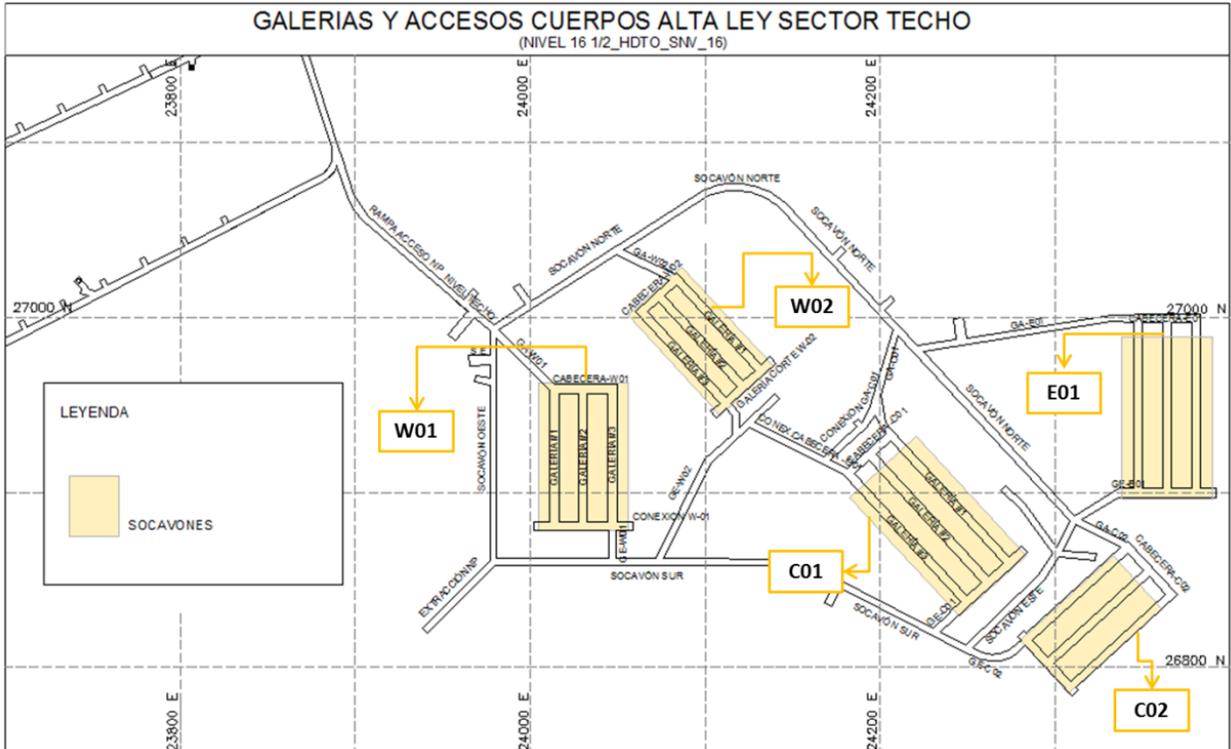


Figura 14. Socavones donde se ubican los caserones. Imagen del techo (Nivel 16 1/2 y Subnivel 16).

Como se explicó en la sección Método de Explotación, cada caserón posee galerías en el techo y en la base, que corresponden a infraestructuras de acceso para la perforación de producción e infraestructuras para la extracción de mineral, respectivamente. El estudio en terreno se efectuó aprovechando estos desarrollos, por lo que la información geológica se concentra en aquellas dos cotas (Nivel 15 ½ -techo- y Nivel 17 -base).

El techo del caserón W01 es plano, a diferencia de los otros que son abovedados, por lo que su cota techo es menor. En la Figura 15 se observan los caserones en conjunto con la disposición de las labores.

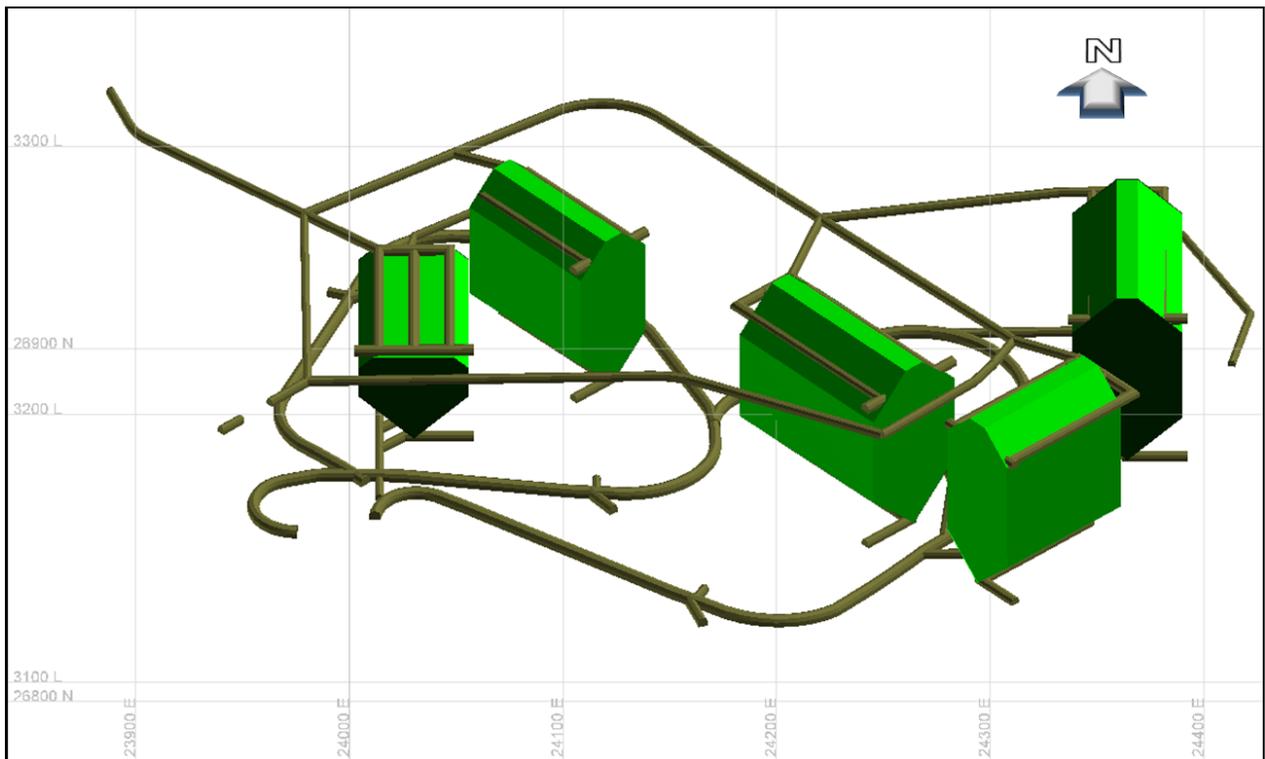


Figura 15. Disposición de los caserones y labores en 3D, conjugando las imágenes de los cuerpos de alta ley en la base y el techo. Nótese que el caserón W01 posee un techo plano, diferente al resto.

4. METODOLOGÍA

Para estudiar la geología del sector ha sido necesario realizar una serie de tareas, las cuales se detallan a continuación.

4.1. FAMILIARIZACIÓN

Para conocer la geología del yacimiento Río Blanco y familiarizarse con ella, se realizaron varios trabajos de terreno, en varios sectores: Río Blanco, La Unión Inferior y Clavo Don Luis. Se efectuó el mapeo geológico de muestras obtenidas en los puntos de extracción (PEX), lugar donde cae el material proveniente del hundimiento realizado en el sector Río Blanco, y se colaboró en el mapeo de galerías. Por último, se observó y describió la litología, mineralización y alteración de muestras de *cuttings* pertenecientes a los CAL, las cuales corresponden a fragmentos de roca de pequeño tamaño (<5 cm de diámetro) resultado de las perforaciones mecánica del muestreo de cada brazo de producción de estos cuerpos.

4.2. GABINETE

4.2.1. OBTENCIÓN Y COMPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A partir de los diversos informes internos y publicaciones científicas que existen.

4.2.2. USO DE SOFTWARE

Para el desarrollo de este trabajo se emplearon dos software que presentan información geológica. Estos corresponden a Vulcan, que se utilizó para visualizar las unidades litológicas por cotas, en secciones, la disposición de sondajes en el espacio y los caserones y labores en 3D; y Xilab, que permite capturar y acceder a la información de los mapeos realizados a los sondajes y a los mapeos de galerías en los niveles 15 ½ y 17. A continuación se explica el uso de cada uno de estos programas.

4.2.2.1. XILAB MAP

Software que permite capturar y visualizar el resultado de los mapeos, realizados tanto en sondajes como en galerías, de manera gráfica. Es decir, emplea imágenes con la información

contenida, la cual considera también resultado de análisis químicos con información de leyes. Gracias a esto se ha podido:

- i. Obtener información de testigos de sondajes, tales como: largo total, unidades litológicas mapeadas, alteración y mineralización presente, y leyes de Cu, Mo, As. Cada testigo puede contener varios mapeos simultáneos de la litología, pues se suele re-mapear para corroborar la información.
- ii. Visualizar el mapeo realizado en las galerías, que consta exclusivamente de información litológica, tanto en la base como en el techo de los caserones y sus labores asociadas.

4.2.2.2. XILAB ADMIN

Este programa posee toda la información que se pueda visualizar en Xilab Map, pero no gráfica. Mediante Xilab Admin se puede exportar todos los datos asociados a cada testigo de sondaje requerido a Excel.

4.2.2.3. VULCAN

Este software permite visualizar los datos geológicos y mineros en 3D, y ha permitido:

- i. Visualizar las unidades litológicas modeladas en el yacimiento, las cuales se despliegan según la cota requerida o según secciones.
- ii. Obtener información de las leyes de Cu obtenidas a partir del modelo de bloques.
- iii. Observar en 3D la ubicación espacial de los caserones y labores.
- iv. Desplegar la información litológica o de leyes de cobre total de sondajes.

4.3. TRABAJO EN TERRENO

El trabajo en terreno ha sido realizado en conjunto con el área de Geología de Producción, participando en el mapeo de galerías, el cual debe realizarse previo a la etapa de explotación de los caserones.

Como tarea fundamental, se obtuvieron muestras representativas de cada litología encontrada, incluyendo repetición de estas si difieren notoriamente en mineralización, alteración o aspecto textural.

4.3.1. RECONOCIMIENTO DE GALERÍAS

Antes de cada salida a terreno se debió definir con el equipo de trabajo la zona que se pretende mapear para completar el modelo litológico de los CAL.

4.3.2. MAPEO

Para realizar la labor de mapeo de galerías se examinan ambas paredes, identificando la litología aproximadamente a la misma altura (1m) y observando sus características en forma continua. Dependiendo de las características geológicas presentes puede no ser necesario realizar muestreos cada 1,5m. Si la galería tuviese información litológica variada, entonces la tarea tomará más tiempo y se deberá mapear cada 1m o incluso menos. En sectores, las paredes están cubiertas con *shotcrete*, por lo que resulta más difícil observar la litología de la roca. En este caso, lo que se hace es buscar los contactos entre distintas unidades y luego mapear de manera más detallada los tramos entre estos.

Para observar la roca es siempre necesario mojarla, pues con esto se aprecian mejor los minerales que, además, suelen estar cubiertos de polvo o tierra. En esta tarea no solo se considera la litología, sino también la mineralización presente y las alteraciones hidrotermales dominantes, y vetillas de interés económico. Producto de lo complejo de la geología del sector es fundamental el trabajo en equipo y la discusión acerca de la geología presente.

4.3.3. SELECCIÓN DE MUESTRAS

Las muestras se seleccionaron en primera instancia según unidad litológica. Sin embargo, también se han seleccionado muestras con el fin de dilucidar a qué tipo de roca corresponde, ya que muchas veces la alteración hidrotermal presente y la cantidad de eventos magmáticos hacen difícil su clasificación. Luego, la finalidad es definir la geología general del sector y notar las particularidades, para lo que también se tomaron muestras específicas.

4.4. SONDAJES

4.4.1. PARA SELECCIÓN

Dado que la información obtenida al interior de la mina a veces no es clara dadas las condiciones de observación, se decidió obtener muestras de sondajes. Se solicitó especialmente el despliegue de tres testigos, pertenecientes uno a cada caserón: W01, W02 y C01. El

correspondiente al C01 fue exclusivamente para observar características distintivas en cuanto a mineralización que parecieron ser interesantes.

Para realizar la selección de aquellos sondajes de los cuales se extrajeron muestras, se filtró primero por sondajes asociados a los caserones. En particular:

- i. Se observó la disposición espacial de cada sondaje respecto al caserón (visualización en Vulcan). Se revisó el mapeo litológico en Xilab para buscar las unidades litológicas faltantes.
- ii. Se procedió a la elección y, en conjunto, se determinó el tramo de testigo de sondaje a desplegar.
- iii. Se re-mapeó nuevamente cada sondaje (se requieren varios mapeos para corroborar que está correcto), poniendo énfasis en características geológicas especiales, como drástico aumento de la mineralización o relaciones de contacto entre unidades, y unidades litológicas faltantes en el estudio realizado en terreno. Incongruencias con mapeos anteriores fueron constatadas.
- iv. Se seleccionaron las muestras, las cuales se reemplazaron con un taco de madera que incluye el nombre del tramo y los fines de la extracción.

4.4.2. MAPEOS PREVIOS

Se revisó información de otros tres sondajes asociados al sector y al C01. Luego de filtrarlos, del mismo modo como se realizó con la selección de muestras, se revisaron los mapeos en Xilab Map (litología, alteración hidrotermal, mineralización y su ocurrencia, y leyes de Cu). A partir de estos datos se graficaron aquellas variables de las cuales se pudieran obtener correlaciones.

4.5. DESCRIPCIONES PETRO-CALCOGRÁFICAS

La confección de cortes transparentes y pulidos lo realizó el laboratorio *SGS Minerals Services* y el Taller de Corte del Departamento de Geología de la Universidad de Chile.

La descripción se enfocó en características generales y distintivas principalmente, mineralogía de mena y ganga; con los porcentajes asignados se estableció una ley de cobre para cada muestra. Además, se capturaron fotomicrografías para cada caso (luz transmitida y reflejada), destacando características representativas y, en otros casos que lo ameritaban,

especiales. Esto se realizó con el software Leica. Cada una de las descripciones se encuentra detallada en Anexos.

4.6. DATOS QEMSCAN

Se utilizaron datos de análisis QEMSCAN previos a algunas muestras de los caserones en cuestión, los cuales fueron aportados por el Área de Geometalurgia, y además se solicitó datos de asociaciones que involucran bornita, para estudiar y correlacionar observaciones microscópicas en relación a minerales secundarios y otras menas, como calcopirita y calcosina.

Estos fueron analizados mediante BMA (*Bulk Mineralogical Analysis* -análisis de minerales a granel-) un método rápido de lectura por líneas, usado para identificar el número y largo de las intersecciones con especies minerales. La información fue usada para determinar la abundancia modal, asociaciones minerales y tamaños de partículas (SGS Minerals, 2011).

5. MUESTRAS

5.1. MUESTRAS DE GALERÍAS

5.1.1. UBICACIÓN

Las muestras seleccionadas durante el trabajo en la mina subterránea se distribuyen en la base y en el techo asociado a los caserones de manera no homogénea, debido las limitaciones para ingresar a las galerías. Por este motivo se decide complementar la información con muestras obtenidas de sondajes, los cuales se fueron desarrollando durante el trabajo en terreno. De las galerías se describió petro-calcográficamente un total de 14 muestras.

5.1.2. MUESTRAS BASE Y TECHO

De la base se seleccionaron varias muestras de las cuales 5 se envían a laboratorio para la confección de cortes transparentes y pulidos. La ubicación de estas se presenta en la Figura 16. En cuanto al techo de los caserones, se realiza lo mismo con 9 muestras, cuya ubicación se ilustra en Figura 17.

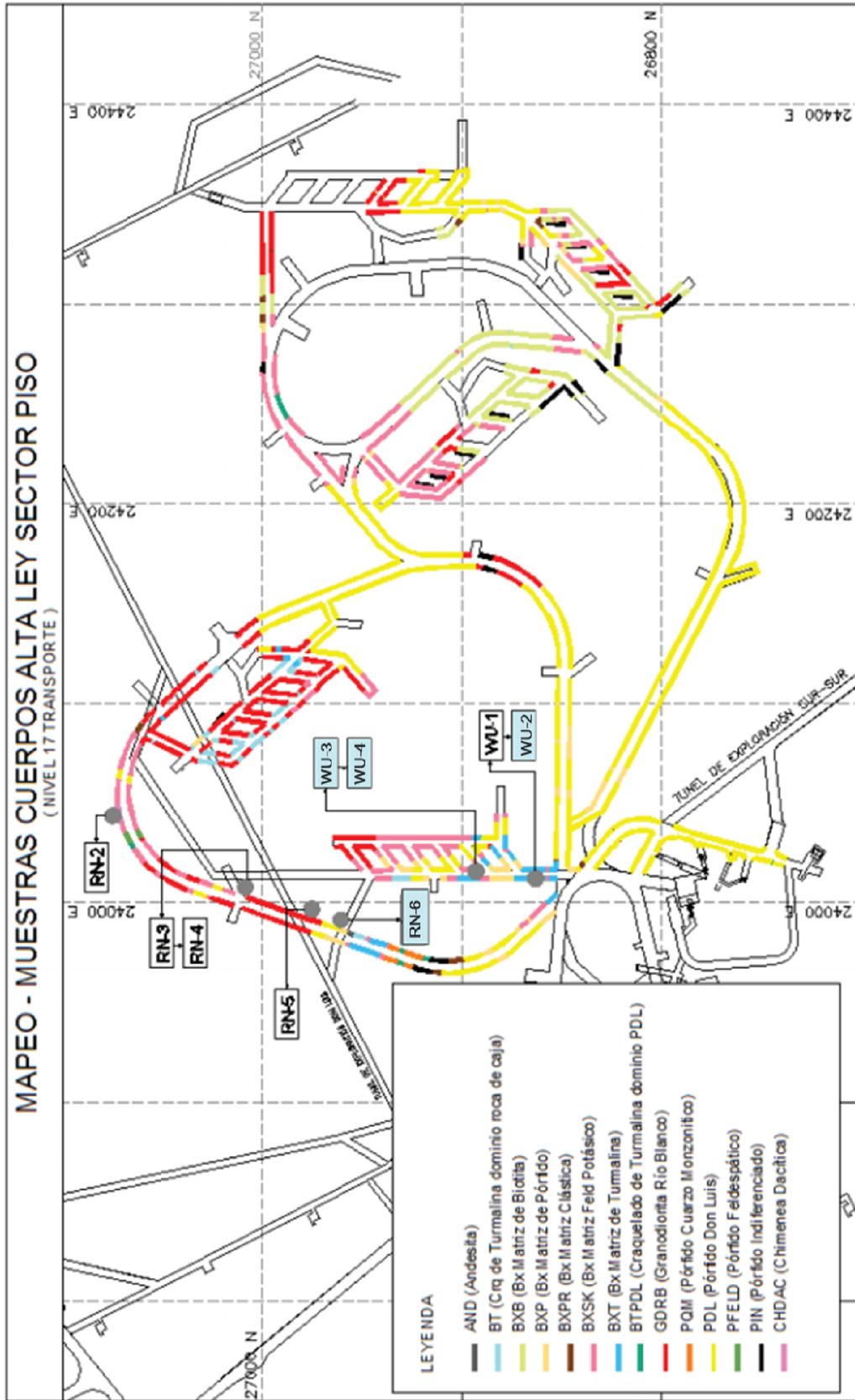


Figura 16. Labores de la base de los caserones que muestran los mapeos realizados y la ubicación de las muestras, localizadas en coordenadas locales División Andina. Los códigos en celeste no presentan descripción petro-calcográfica en el Anexo.

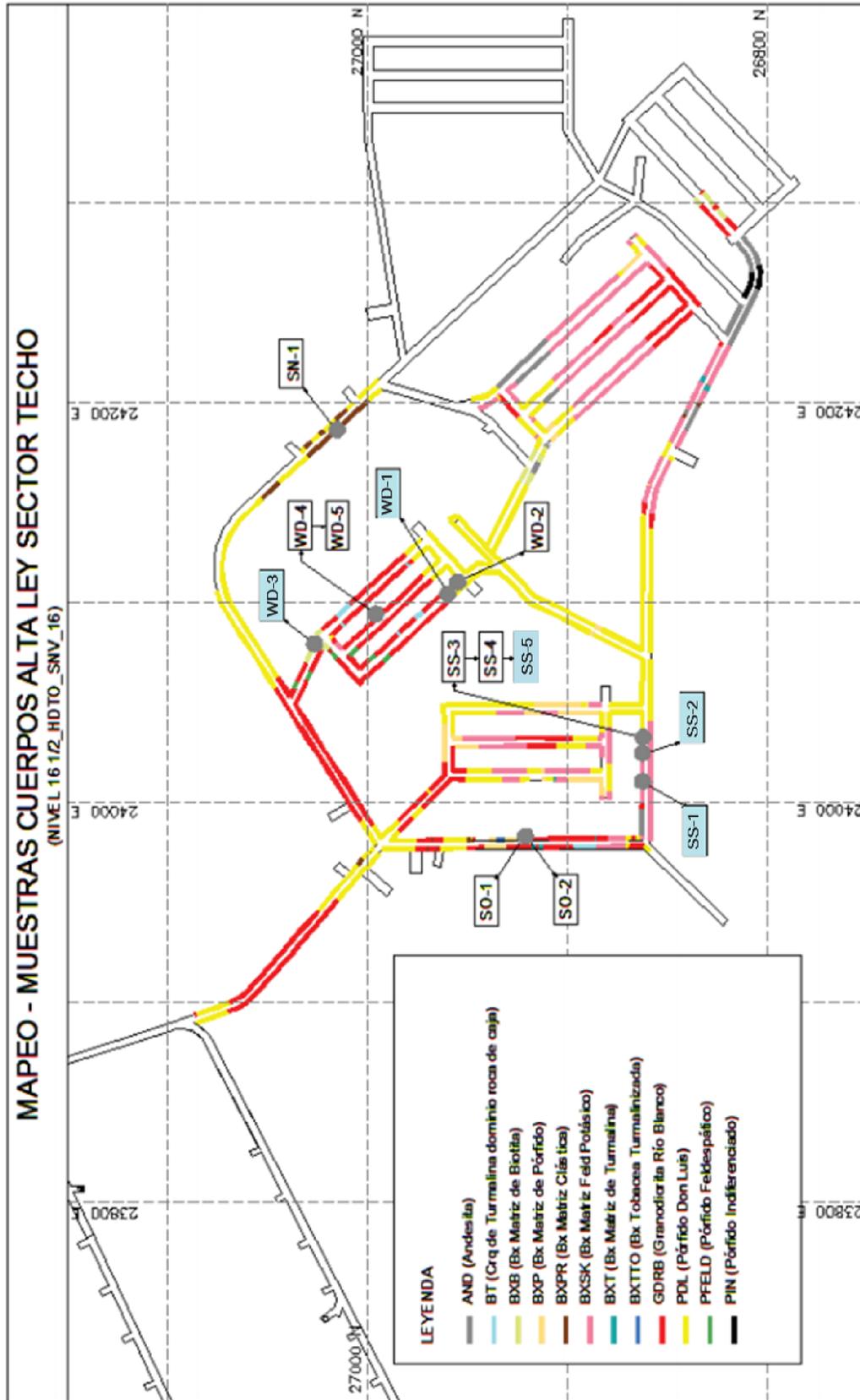


Figura 17. Labores del techo de los caserones que muestran los mapeos realizados y la ubicación de las muestras, localizadas en coordenadas locales División Andina. Los códigos en celeste no presentan descripción petro-calcográfica en el Anexo.

5.1.3. GENERALIDADES

Como se observa en las imágenes anteriores, ninguna muestra fue tomada en el caserón C01, porque: (1) en estricto rigor no pertenece al sector La Unión Inferior y (2) el acceso a este no estaba habilitado durante el período del trabajo en mina. Sin embargo, fue visitado esporádicamente cuando se pudo, pero sin la selección de muestras, dado que no estaba considerado en el presente estudio.

Los códigos de las muestras poseen las iniciales del lugar donde fueron tomadas. Nótese dónde se encuentran y el nombre del caserón o labores a las cuales pertenecen; estos van seguido de un número, que simplemente sirve para identificarlas.

Las muestras seleccionadas y la información asociada, tal como nombre, ubicación, unidad litológica asignada durante el mapeo en terreno y estado de cada una de ellas se resumen en la Tabla 3.

5.2. MUESTRAS DE SONDAJES

Dado que no fue posible obtener muestras características de todas las unidades litológicas involucradas en el sector, se decidió complementar la información con muestras extraídas de testigos de sondajes. Para seleccionar los sondajes de los que se extrajeron las muestras, varios debieron ser revisados. La información de sondajes previamente mapeados se visualiza en Xilab, los cuales además de tener información de mapeo geológico poseen (algunos) análisis químicos de leyes de Cu, Mo y As.

Basados en la metodología para la selección, se escogieron tres sondajes para la extracción de muestras con fines descriptivos: 4853, 4898, 5375 (Figura 18).

5.2.1. SONDAJE W01 (4853)

Se eligió el sondaje 4853 ya que, de los tres que cortan el caserón, se consideró el más representativo dada su disposición, abarcando el total del caserón longitudinalmente. El tramo del sondaje que está dentro de la infraestructura va desde los 25 a los 152,7 m.

Tabla 3. Ubicación de las muestras seleccionadas de galerías.

Muestra	Coordenadas E	Coordenadas N	Cota [msnm]	Caserón/ Labor
SO1	23983.205	26920.626	3234.673	Socavón Oeste
SO2	23983.205	26920.626	3234.673	Socavón Oeste
SS3	24032.736	26861.967	3234.673	Socavón Sur
SS4	24032.736	26861.967	3234.673	Socavón Sur
SS5	24032.736	26861.967	3234.673	Socavón Sur
WD1	24104.466	26959.753	3234.673	W02
WD2	24110.412	26954.658	3234.673	W02
WD3	24079.499	27026.505	3234.673	W02
WD4	24094.488	26995.672	3234.673	W02
WD5	24094.488	26995.672	3234.673	W02
WU1	24011.873	26863.218	3186.5027	W01
SN1	24186.679	27015.161	3234.673	Socavón Norte
RN2	24043.330	27075.025	3186.5027	Rampa Norte
RN3	24007.691	27008.641	3186.5027	Rampa Norte
RN4	24007.691	27008.641	3186.5027	Rampa Norte
RN5	23996.553	26975.250	3186.5027	Rampa Norte
RN6	23991.258	26960.836	3186.5027	Rampa Norte

5.2.2. SONDAJE W02 (4898)

El mismo criterio se usó para elegir el sondaje 4898. El tramo, que lo atraviesa longitudinalmente, va desde 0 a 109,5 m. En el caso de este caserón, se desecharon todos aquellos sondajes que no podían ser desplegados.

5.2.3. SONDAJE C01 (5375)

Como ya se mencionó, de este caserón no existen muestras de galerías. Sin embargo, se revisó un sondaje cuya mineralización era bastante importante, la cual aumenta drásticamente al cambiar las proporciones de alteraciones hidrotermales presentes, en que disminuye el porcentaje de alteración potásica y aumenta la sericítica. Esto era evidente, por lo que se decide tomar muestras para constatar la existencia de enriquecimiento hipógeno.

En este caso, el sondaje revisado corresponde al 5375, el cual atraviesa el caserón de base a techo, pero solo en la zona sur del C01.

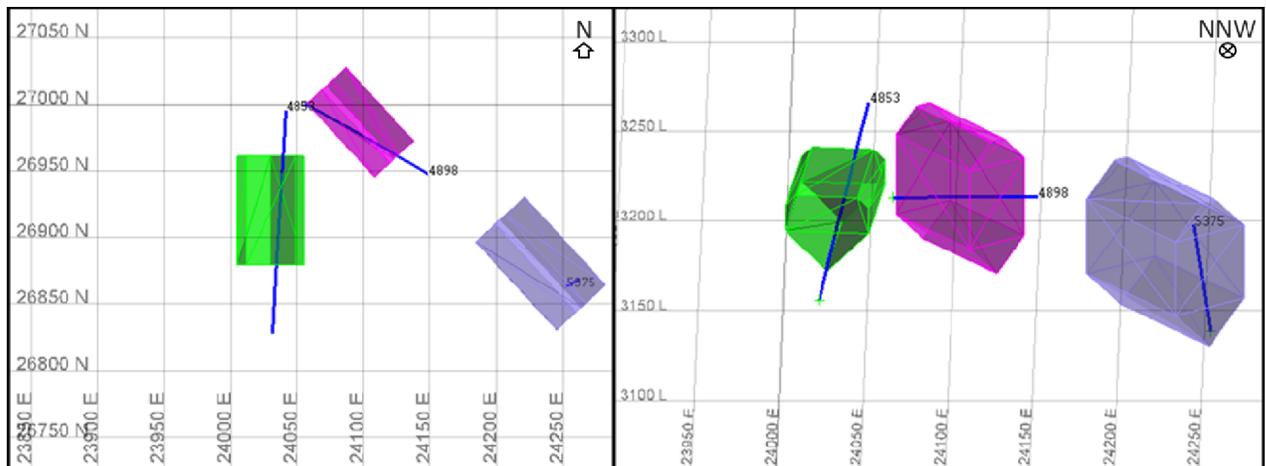


Figura 18. Sondajes de los cuales se extrajeron muestras para confeccionar cortes transparentes y pulidos. En la imagen de la izquierda se observa la disposición en planta de los sondajes 4853, 4898 y 5375; a la derecha, en perspectiva. Caserones localizadas en coordenadas locales División Andina.

5.2.4. GENERALIDADES

La disposición espacial de los sondajes descritos se muestra en las Figura 18, tanto la disposición en planta como en perspectiva; y la información de las 13 muestras tomadas para posterior descripción petro-calcográfica se indica en la Tabla 4. Se tomaron 5 muestras del sondaje 4853, 4 muestras del 4898 y 4 muestras del 5375.

Tabla 4. Detalle de muestras seleccionadas de los sondajes 4853, 4898 y 5375.

Sondaje	Metraje [m]
4853	10.6
4853	33.3
4853	46.3
4853	57
4853	16.75
4898	11.7
4898	81
4898	83
4898	69.9
5375	24.3
5375	32.0
5375	43.5
5375	55.3

6. RESULTADOS

6.1. UNIDADES LITOLÓGICAS

6.1.1. ANDESITA

Las andesitas en el sector de los CAL presentan un color gris oscuro a negro (Figura 19), cuya textura porfírica típica no es evidente a simple vista. Los fenocristales de plagioclasa son de hasta 1,5 mm en promedio. Más del 80% de la roca está alterada, afectada por una alteración potásica penetrativa y alteración sericítica sobrepuesta de intensidad moderada a débil en la masa fundamental, pero selectiva y fuerte en las plagioclasas. Por este motivo, no se preservan y/o se distinguen los minerales primarios de la masa fundamental, que conforma sobre el 55% de la muestra. Producto de su aspecto, se le suele mapear como Brecha de Biotita (BXB), aunque no se distinguen clastos. Localmente la andesita puede presentar zonas de brecha con turmalina.

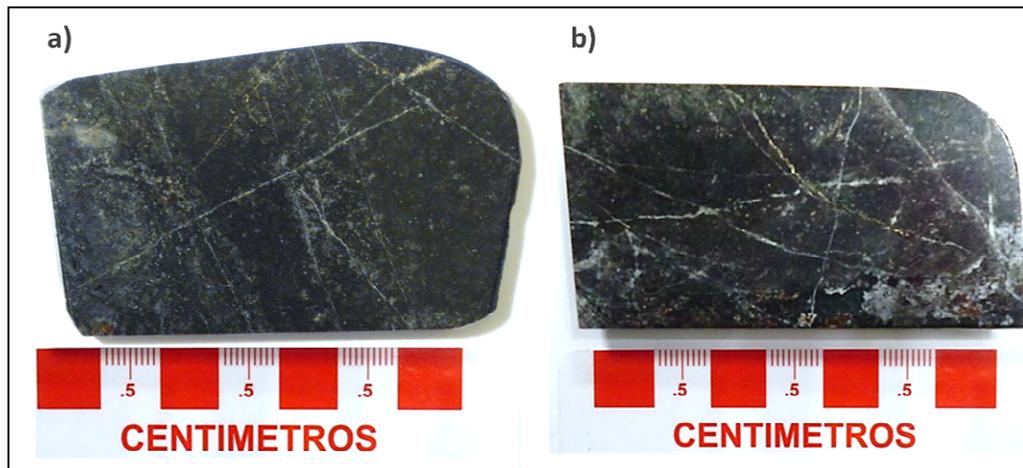


Figura 19. Aspecto general de las andesitas del sector en estudio, pertenecientes a: a) Caserón W02; b) sondaje 5375 / tramo 32.

Las andesitas, por lo general, se encuentran mineralizadas, con una ley promedio de 1,3% de Cu. El contenido de Cu depende de las proporciones en que se hallen las alteraciones hidrotermales mencionadas. La mineralización está representada por calcopirita (ccp) diseminada, en cúmulos y en microvetillas (en ese orden de ocurrencia) y frecuentemente presenta bornita (bn) muy fina diseminada como mineral primario. La presencia de ccp>bn con calcosina en trazas puede estar ligada a la asociación corindón-sericita (crn-ser) de carácter hidrotermal.

A la andesita se le suele encontrar aparentemente “cortando” a la Granodiorita Río Blanco, Pórfido Cuarzomonzónico, Pórfido Don Luis y Brecha de Sílice-Feldespatos Potásico (BXSK). También como clastos en la BXSK y en la Brecha de Pórfido (Figura 20). Dada estas observaciones de corte, no es claro si se trata de un intrusivo (diabasa) o de rocas volcánicas pertenecientes a la Formación Farellones, pero por el momento los geólogos de mina la identifican como rocas ígneas extrusivas de la Formación.

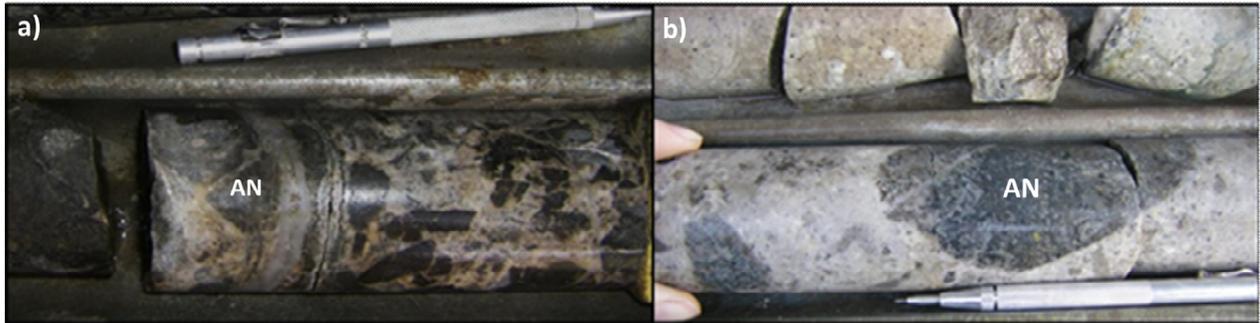


Figura 20. Se observa en a), clastos de andesita en Brecha de Sílice-Feldespatos Potásico; en b), andesitas como clastos en Brecha de Pórfido. Imágenes del sondaje 4853.

6.1.2. GRANODIORITAS

6.1.2.1. GRANODIORITA CASCADA (GDCC)

Esta roca intrusiva solo se presenta como clastos en algunas brechas de pórfido del sector (se observó específicamente en una BXP). Esto no sería inusual, ya que el contacto GDRB-GDCC está relativamente cerca, al SE de la zona de estudio. Sin embargo, su presencia es escasa; como tal, no es considerada importante en la geología del sector.

6.1.2.2. GRANODIORITA RÍO BLANCO (GDRB)

Esta unidad está representada en el 41% del área del sector (caseros W01 y W02). Se observa con textura fanerítica, conformada por minerales de grano medio, correspondientes a cuarzo, plagioclasa, feldespatos potásico y biotita secundaria. Generalmente la biotita está reemplazando hornblenda, por lo cual también se le observa en cúmulos irregulares.

Dado que se trata de la roca caja, este intrusivo se encuentra con diversos grados de alteración, pero se diferencia del resto de las unidades por su textura granular. Se le encuentra comúnmente con alteración biotítica de intensidad débil a moderada, feldespática moderada, sericitica débil a moderada y selectiva en feldespatos; clorita-esmectita débil. Suele haber presencia de carbonatos en espacios disponibles. Comúnmente está asociada con la Brecha de

Turmalina, Craquelado de Turmalina o presenta cristales de turmalina. Cuando posee alteración potásica penetrativa de intensidad fuerte, suele confundirse con una Brecha de Biotita.

La mineralización es variada, ya que depende del grado de alteración. La ocurrencia de esta es principalmente diseminada y en cúmulos, presentando comúnmente la asociación calcopirita-bornita (\pm calcosina), con una ley promedio de 1,8% de Cu en el sector.

Se presenta también como clastos en todos los tipos de brechas.



Figura 21. Granodiorita Río Blanco del sondaje 4853 / tramo167,5.

6.1.3. PÓRFIDOS

6.1.3.1. PÓRFIDO CUARZOMONZÓNICO (PQM)

Este pórfido no es característico de la zona de los CAL. Se encuentra en pequeñas proporciones como diques de pequeño tamaño. Usualmente se confunde con el Pórfido Don Luis, sin embargo este posee textura “cerrada” (mayor porcentaje de fenocristales que de masa fundamental) y cristales de biotita de tamaño medio, no aciculares y rellenas con carbonatos. Del total de muestras, solo dos fueron definidas como PQM (Figura 22).

Las muestras presentan cerca de un 60% de fenocristales, en los que predomina la plagioclasa (40%) con un tamaño promedio de 1 mm, además de cuarzo, feldespato potásico y biotita; mientras que la masa fundamental (60% de la roca) consta de un agregado de cuarzo-feldespato, fino $<0,1$ mm y plagioclasas de 0,08 mm en menor cantidad. Alrededor de un 25% de la roca está alterada, principalmente con una alteración sericítica que afecta mayormente a la

masa fundamental y selectiva en fenocristales de plagioclasas y biotitas. Carbonatos rellenan planos de exfoliación de biotitas, deformándolas.

La mineralización metálica diseminada corresponde a calcopirita con escasa bornita, con una ley de cobre de apenas un 0,2%.

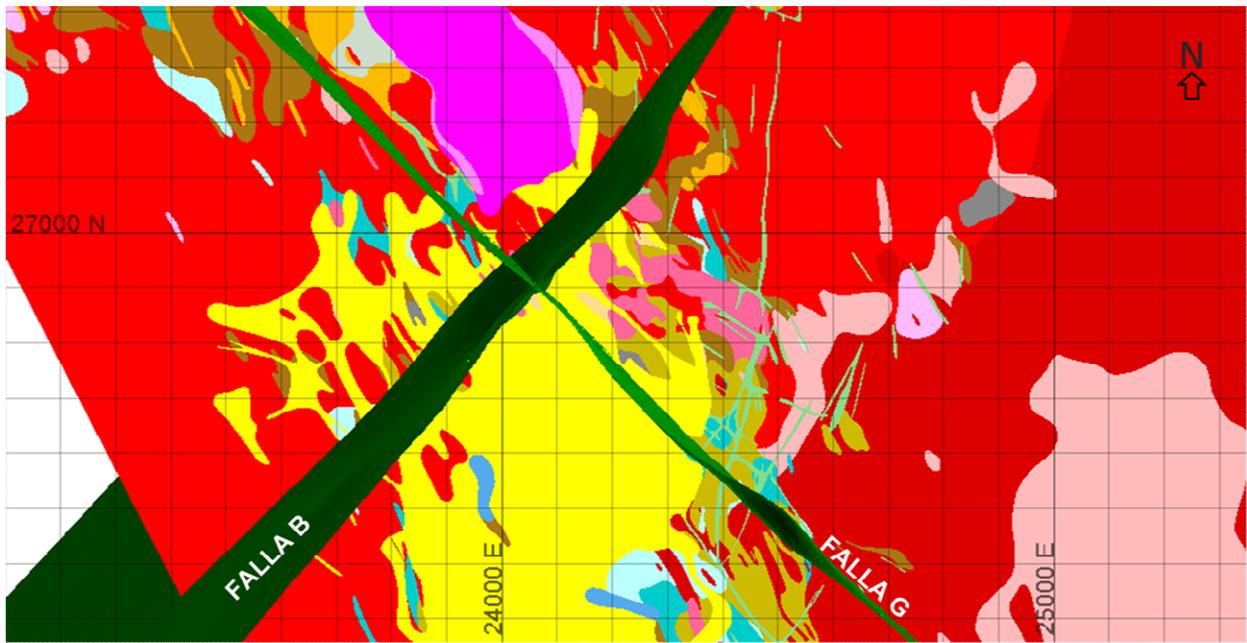


Figura 22. Pórfido Cuarzomonzónico correspondiente al caserón W02 (código WD-2).

6.1.3.2. PÓRFIDO DON LUIS (PDL)

Corresponde al pórfido más abundante en el sector de estudio, representando un en cuestión. Este se emplaza desde el S, como un solo cuerpo hasta intersectar la Falla G (manteo NW); luego se dispone como digitaciones. Los Cuerpos de Alta Ley de La Unión Inferior se ubican entre la Falla G y la Falla B (NW-SE) hacia el N. (Figura 23).

Muchas de las digitaciones de este pórfido podrían tratarse de intrusiones posteriores, pero asociadas al mismo magma. Estas intrusiones, en orden cronológico, son: el PDL-PFELD (pórfido parecido al PFELD, pero que corta al PDL) y el PDL fino. Sin embargo, estos no son diferenciados en los mapeos ya que, además de ser consecutivos en emplazamiento, poseen aproximadamente la misma composición, pero con variaciones texturales. En el sector de estudio no conforman un volumen considerable ni constituyen unidades con mineralización importante como para ser diferenciados.



LEYENDA

COMPLEJO SUBVOLCÁNICO LA COPA (5 – 4,5 Ma)		ROCAS PORFÍDICAS (7 – 5 Ma)	
	CHIMENEA RIOLÍTICA		PÓRFIDO DON LUIS
	CHIMENEA DACÍTICA		PÓRFIDO FELDESPÁTICO
COMPLEJO DE BRECHAS (7 - 5 Ma)			PÓRFIDO CUARZO-MONZONÍTICO
	BRECHA DE ANHIDRITA-ESPECULARITA	INTRUSIVAS (12 – 8 Ma)	
	BRECHA DE TURMALINA-POLVO DE ROCA		DIORITA
	BRECHA DE PÓRFIDO		GRANODIORITA CASCADA
	BRECHA DE SÍLICE-FELDESPATO POTÁSICO		GRANODIORITA RÍO BLANCO
	BRECHA DE BIOTITA	ROCAS VOLCÁNICAS (17– 16 Ma)	
	BRECHA DE POLVO DE ROCA		ANDESITA
	BRECHA DE TURMALINA		

Figura 23. Vista en planta del sector Río Blanco, donde se observa la geología del yacimiento, la Falla G (NE-SW) y la Falla B (NW-SE).

El PDL se caracteriza por la abundante presencia de ojos de cuarzo de tamaño <3 mm y fenocristales fragmentados. Por lo general, este pórfido tiene un aspecto fresco con una alteración sericítica y feldespática de intensidad débil. Por lo tanto, la mineralización es bastante débil, aunque el promedio de concentración de cobre en los caserones es de un 0,8%.

Se dispone en el sector de varias maneras: como cuerpo masivo, en diques, constituyendo la matriz de la Brecha de Pórfido (albergando clastos de unidades previas, tales como PQM, GDRB y AN) y como clasto en brechas posteriores (en el sector, en la Brecha de Molibdenita). Como observación, en el sondaje 4853 se constató que este pórfido es cortado también por vetillas EBT, las cuales según Salinero (2004), no las posee el PDL del sector Río Blanco de la mina subterránea.

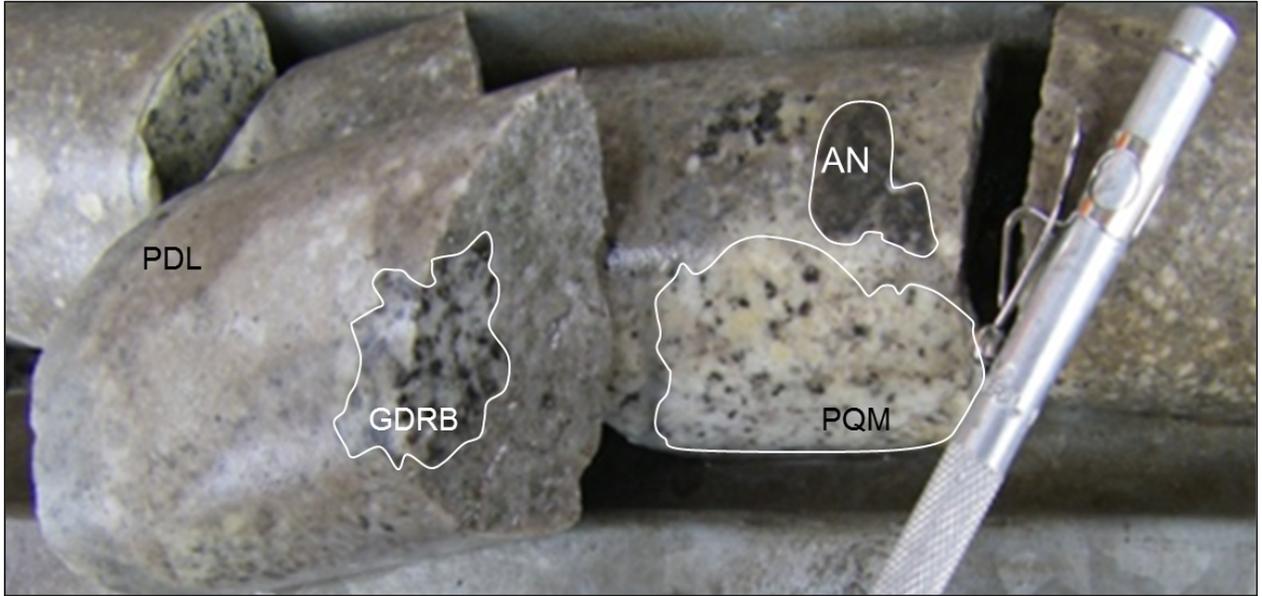


Figura 24. Muestra de sondaje (4853) del Pórfido Don Luis (PDL). Se observan clastos de Granodiorita Río Blanco (GDRB), de Andesita (AN) y del Pórfido Cuarzomonzónico (PQM).



Figura 25. Muestra del Pórfido Don Luis cortado por vetillas EBT.

6.1.3.3. PÓRFIDO INDEFINIDO (PIN)

Se ha decidido nombrar como PIN a aquellos pórfidos cuyas características difieren significativamente con las otras unidades de pórfido, y a aquellas matrices de brechas en las que la recristalización hace imposible identificar el protolito. En algunos casos, algunos geólogos han identificado un pulso asociado al Pórfido Don Luis, el ya mencionado PDL fino. Este pórfido, en el sector de los Cuerpos de Alta Ley, también está mapeado como PIN y suele presentarse como diques de poco espesor.

De esta unidad no existen muestras, ni tampoco es representativo del sector. Sin embargo, el PDL fino está descrito como un pórfido de textura muy fina con escasos fenocristales (10-15%) de plagioclasa y escasa biotita fina.

6.1.4. COMPLEJO DE BRECHAS

6.1.4.1. BRECHA DE TURMALINA (BXT)

Esta brecha se encuentra distribuida en todos los sectores del yacimiento Río Blanco y ha sido objeto de estudio en incontables ocasiones por el hecho de concentrar el mayor volumen de mineralización metálica de importancia económica. En el sector, la Brecha de Turmalina aparece subordinada, representando aproximadamente <1% del volumen de roca del sector, ya que no se suele mapear si no es predominante. Esta unidad posee una ley promedio de 1,3% de Cu.

La turmalina presenta un color negro intenso y dureza alta, similar a la del cuarzo. Los clastos de esta brecha corresponden a AN, GDRB y PQM. La turmalina suele estar asociada con algo de biotita y en ocasiones genera un halo de albita en los clastos u otra unidad que la corte. Esto se ha observado específicamente en pórfidos, pero se encuentra documentado en cualquier otro tipo de fragmento.

Si bien la Brecha de Turmalina tiene origen a partir de fluidos de tipo hidrotermal-magmático, no se considera dentro de la mina como un tipo de alteración hidrotermal *sensu stricto*, ya que no involucra la recristalización de la roca a nuevos minerales.

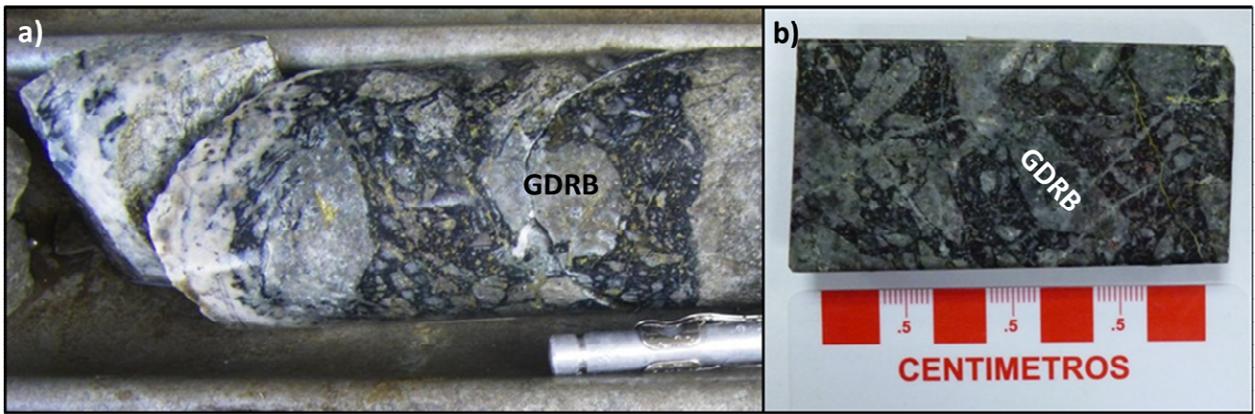


Figura 26. Brecha de Turmalina con clastos de principalmente de Granodiorita Río Blanco con alteración sericita gris verde fuerte y fondo biotítico.

La ocurrencia de la mineralización se concentra en la matriz de turmalina o toda la BXT (incluyendo clastos) y corresponde a calcopirita con menor molibdenita. Cuando el porcentaje de turmalina es $<4\%$, conforma un craquelado denominado Craquelado de Turmalina (BT).



Figura 27. Pórfido Feldespático cortando Brecha de Turmalina. Imagen tomada en la Rampa Norte.

La turmalina se presenta, además, formando cúmulos aislados de tamaño variable, pero generalmente $<0,3$ mm de diámetro en la Granodiorita Río Blanco.

6.1.4.2. BRECHA DE PÓRFIDO (BXP)

La matriz de la Brecha de Pórfido corresponde al Pórfido Don Luis. Presenta un color blanco a blanco-rosáceo producto de la alteración feldespática y gran cantidad de ojos de cuarzo. Se aprecia claramente la textura porfirica y presenta clastos de: Andesita (AN), granodioritas y Pórfido Cuarzomonzonítico (PQM), en porcentaje variable.

La mineralización de mena consta casi exclusivamente de calcopirita y, en los casos vistos, se distribuye de manera homogénea y diseminada en toda la roca. El volumen de mineralización suele ser bajo, aunque según datos de Andina su ley de cobre promedio en los caserones es de 1,1%.

Cuando la roca está muy alterada, suele confundirse con una Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (BXSK). Sin embargo, la variación de leyes de cobre entre ambas roca difiere, siendo esta menor respecto a un 1,8% de la BXSK. Otra diferencia es que el aspecto de esta matriz es más fresco (menos alterado y minerales secundarios se concentran en los clastos) en comparación a una BXSK que sufre alteración feldespática fuerte y recristalización de la matriz, otorgándole un aspecto heterogéneo.

Las tres muestras de BXP estudiadas fueron recolectadas en el Socavón Sur (Figura 28) donde se observa un aumento de clastos a medida que la proximidad a la andesita aumenta.

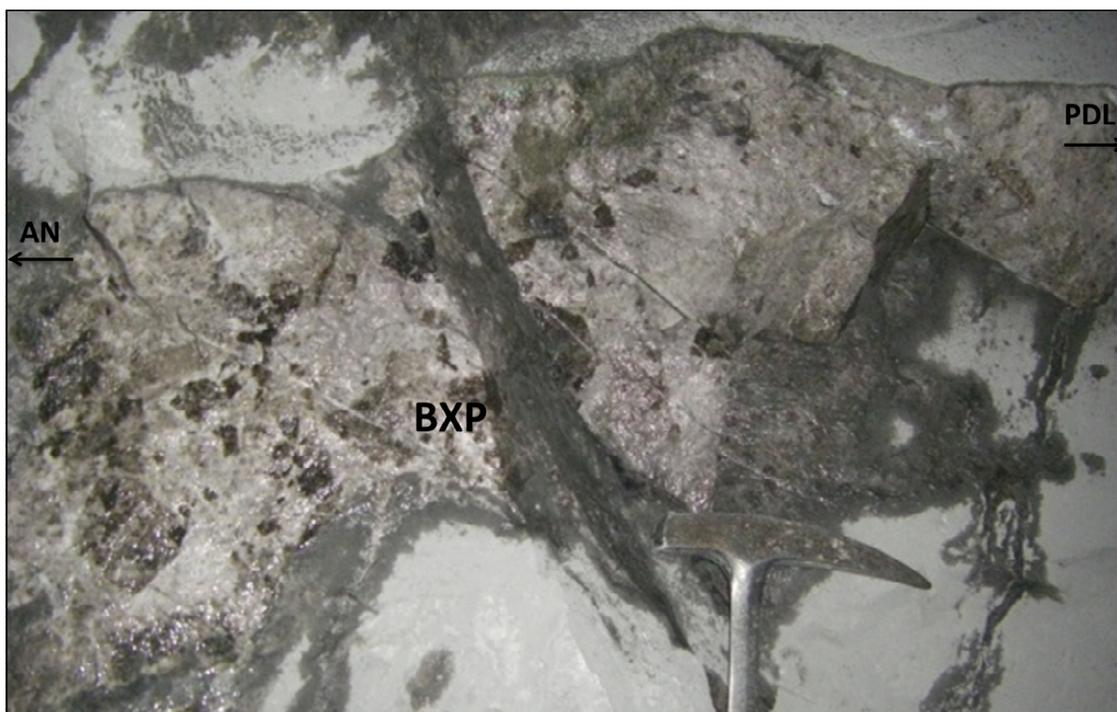


Figura 28. Transición entre el Pórfido Don Luis y la Brecha de Pórfido a medida que se acerca a la Andesita. Imagen de galería tomada del Socavón Sur.

6.1.4.3. BRECHA POLVO DE ROCA (BXPR)

El color característico de esta brecha es gris claro a gris oscuro. Está formado por una matriz de fragmentos de cristales de cuarzo, plagioclasa y feldespato potásico. Según datos de Geología de Desarrollo, también presenta minerales máficos. En este estudio se ha observado con clastos de Andesita (AN), Granodiorita Río Blanco (GDRB) y Pórfido Indefinido (PIN).

Este tipo de brecha no es significativa en el sector La Unión Inferior, ya que se dispone mayoritariamente al E del Pórfido Don Luis, en el sector Clavo Don Luis. La ley estimada para la BXPR del caserón W02 es de 1,3% de cobre, aunque la mineralización se concentra en los clastos de Granodiorita Río Blanco. Las muestras revisadas presentan calcopirita, menor bornita y trazas de calcosina, de ocurrencia diseminada en clastos y matriz, aunque en los clastos es sutilmente más fina.

El tipo de alteración es variable y depende de la litología de los clastos. Sin embargo, es común la presencia de turmalina heredada y recristalización de cuarzo-feldespato potásico en la matriz.



Figura 29. Brecha Polvo de Roca del sondaje DDH.922 / tramo 71,5 m. Imagen obtenida de la Litoteca de Geología de Desarrollo, División Andina.

6.1.4.4. BRECHA DE MOLIBDENITA (BXMO)

La Brecha de Molibdenita estudiada presenta características similares a la Brecha Polvo de Roca, sin embargo se diferencia de esta última por poseer clastos del Pórfido Don Luis y molibdenita fina en la matriz (Figura 30).

La BXMO se dispone principalmente en el Tercer Panel de la mina subterránea, aunque se ha observado en el sector de estudio.



Figura 30. Muestra de Brecha de Molibdenita, en donde se aprecian clastos de diversos tamaños del Pórfido Don Luis angulares a sub-redondeados. La matriz contiene molibdenita con escasa arsenopirita de hasta 2 mm. (Muestra tomada del sondaje 4853 / tramo 10,6 m).

6.1.4.5. BRECHA DE SÍLICE – FELDESPATO POTÁSICO (BXSK)

Esta brecha de matriz feldespática es la unidad litológica que posee la mayor concentración de cobre. Suele confundirse con la Brecha de Pórfido, debido a que presenta un color similar (blanco-rosáceo), ojos de cuarzo y clastos de composición similar, pero algo más angulosos. Su aspecto es más heterogéneo y difuso.

El porcentaje de clastos es variable, aunque el porcentaje de clastos es menor al de la matriz. La mineralización es diseminada y en cúmulos, asociada mayormente a los clastos (70%). Esta consta de calcopirita (ccp) y menor bornita (bn), aportando a una ley promedio de 1,8% de Cu en el sector de estudio. Cabe mencionar que, según información de Andina y constatado por lo observado, no se han reconocido relaciones de corte entre esta unidad y la Brecha de Biotita ni la Brecha Polvo de Roca.

El grado de alteración hidrotermal de la brecha depende del tipo de clastos que posea, pero la matriz presenta principalmente alteración feldespática, biotítica y seritización selectiva. Suele estar asociada al Pórfido Don Luis, a la Brecha de Pórfido y a la Brecha Polvo de Roca.

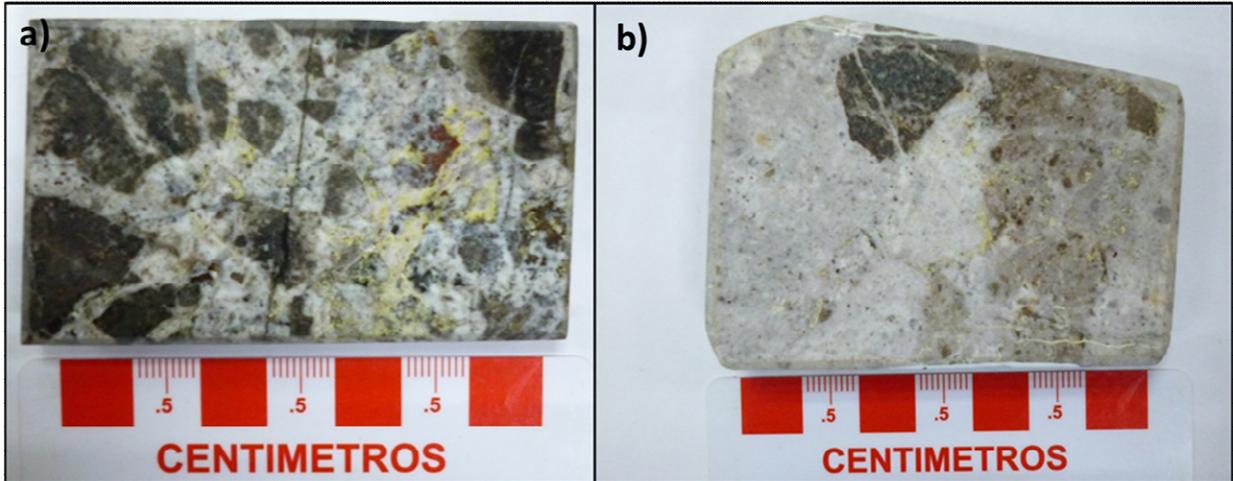


Figura 31. Imagen a) corresponde a una Brecha de Sílice-Feldespato Potásico con abundantes clastos de Andesita (muestra del sondaje 4853 / tramo 56,3). Notar la diferencia con la matriz más “limpia” de la imagen b) correspondiente a una Brecha de Pórfido (muestra del Socavón Sur).

6.1.5. CHIMENEA DACÍTICA

A muestra de mano esta roca presenta un color blanquecino producto de la alteración albítica. Es confundible con un pórfido, principalmente con el Pórfido Don Luis, sin embargo posee una textura más caótica. La muestra estudiada presenta un 40% de fenocristales de plagioclasa (40%), biotita (15%) y cuarzo (20%), donde la biotita se halla con seritización moderada a fuerte e inclusiones de cuarzo en su interior (Figura 32).



Figura 32. Muestra representativa de la Chimenea Dacítica (CHDAC). (Litoteca de Geología de Desarrollo, División Andina).

6.2. ALTERACIONES HIDROTERMALES

6.2.1. ALTERACIÓN Y LITOLOGÍA

En general, las rocas pertenecientes al sector de estudio se hallan fuertemente alteradas. Aquellas que poseen mayores leyes de cobre, presentan una sobreimposición de alteraciones hidrotermales en distintas proporciones. Los fluidos hidrotermales durante su ascenso interactúan con la roca caja, produciendo diferentes efectos de acuerdo a la composición mineralógica de la roca, la química del fluido, la temperatura y la relación fluido-roca.

Las principales alteraciones hidrotermales observadas son: biotítica, sericítica gris-verde, cuarzo-sericítica con pirita, feldespática (feldespato potásico) y albítica.

La alteración sericítica gris-verde (SGV) es la de mayor desarrollo en relación al resto de las alteraciones. En andesitas y granodioritas se le observa con intensidad moderada a fuerte y de un color gris-verde (tipo musgo) dispuesta como “manchones”, constituyendo al menos un 30% de la mineralogía secundaria. En cambio la alteración cuarzo-sericita-pirita (QS) es la de menor desarrollo en el sector y corresponde al último evento de alteración. Se presenta con pirita y escasa calcopirita. Es frecuente la presencia de clorita alterando de manera selectiva a minerales máficos (biotitas).

6.2.2. ALTERACION Y LEYES

6.2.2.1. ROCA CAJA Y BRECHA MINERALIZADA

Con el propósito de determinar si existe una relación entre el tipo de alteración, el tipo de roca y las leyes de Cu, se confeccionaron una serie de gráficos en donde se ha representado la relación entre tipo de alteración hidrotermal y las leyes de cobre total (CuT) para un tipo litológico determinado, datos que fueron obtenidos de análisis químicos realizados a diversas muestras de sondajes. A las leyes de CuT se les agregó una línea de tendencia polinómica de período 4, que es la que mejor modela los datos. Si bien los datos de leyes son cuantitativos, los mapeos son interpretativos; por tal motivo, se escogieron tramos donde existe un consenso entre geólogos de mina del tipo de litología. Mapeos previos y datos de análisis químicos se extraen del software Xilab Admin.

La Figura 33 y la Figura 34 representan las leyes de CuT y el tipo de alteración en 110 m (entre los tramos [m] 70 y 180) del sondaje 4853, el cual abarca una sección con Brecha de Sílice Feldespato-Potásico (BXSK) y otra con Granodiorita Río Blanco (GDRB). De estos gráficos se desprende que un aumento de las leyes de CuT coincide con las mayores proporciones de alteración SGV, mientras que cuando dicho porcentaje de alteración disminuye, también lo hace la concentración de cobre. En relación a la presencia de la alteración cuarzo-sericítica, no se observa ningún patrón característico.

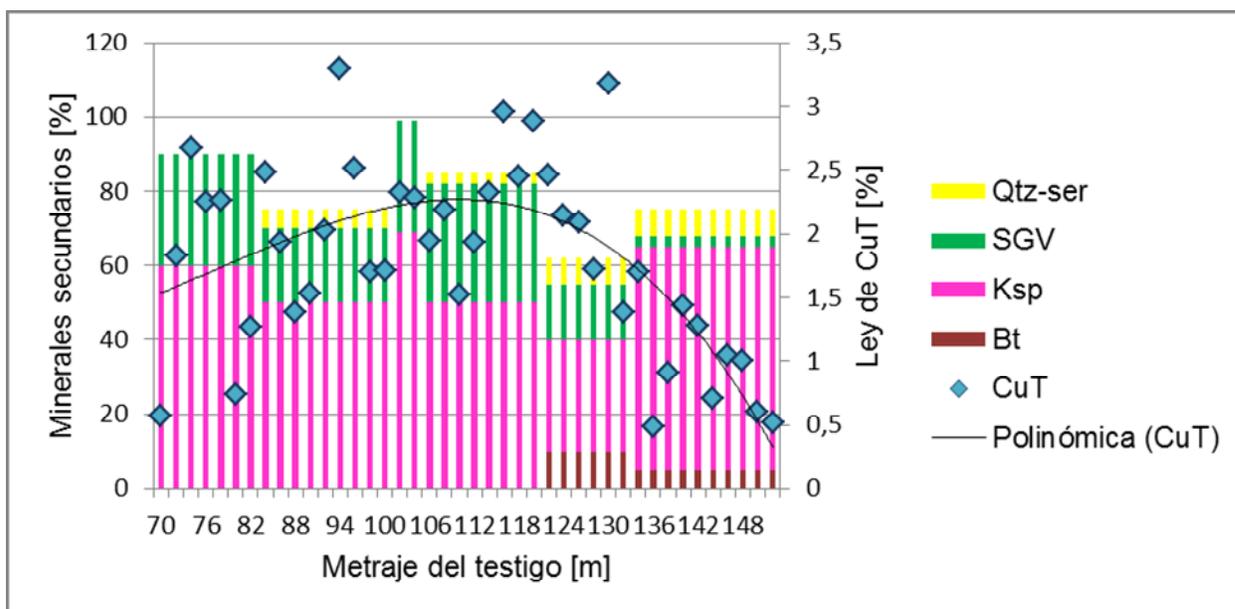


Figura 33. Minerales de Alteración y leyes de CuT en Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (sondaje 4853).

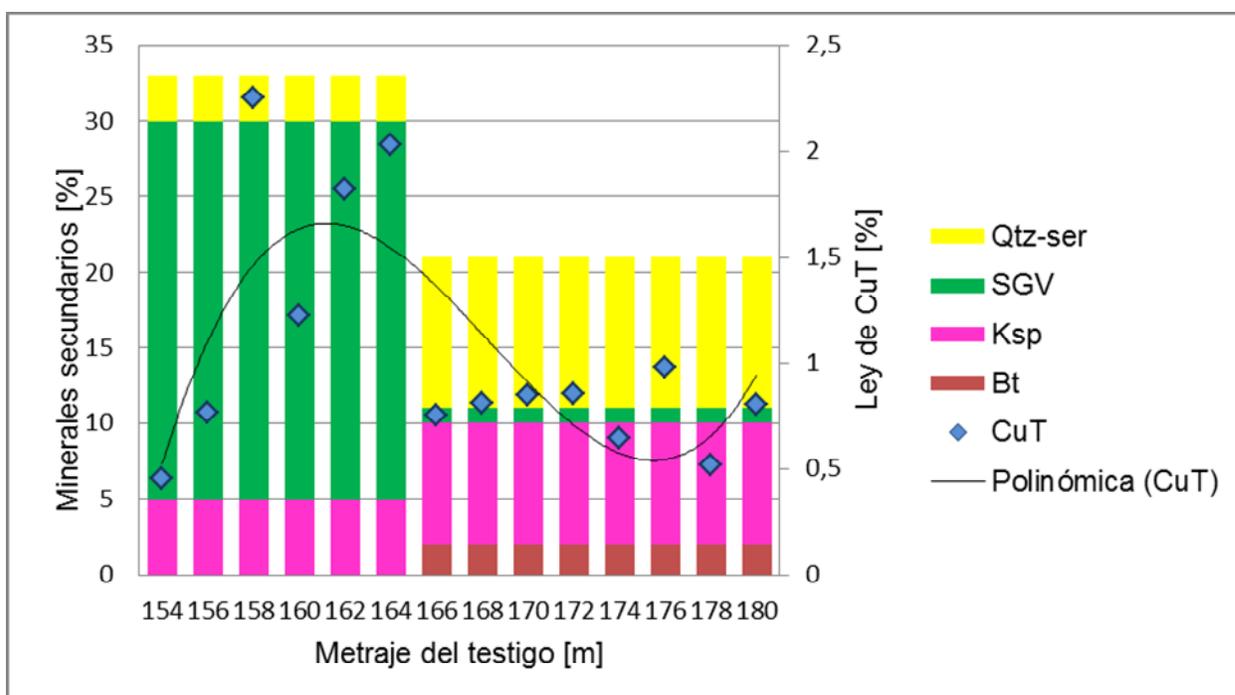


Figura 34. Minerales secundarios y leyes de CuT en Granodiorita Río Blanco (sondaje 4853).

En la Figura 35, correspondiente a Granodiorita Río Blanco (GDRB) del sondaje 4898, se observa un patrón similar al observado en el sondaje 4853. Sin embargo, para esta figura se observan dos máximos de leyes de CuT que coinciden también con el desarrollo de la alteración SGV; el segundo máximo se caracteriza además por una alteración biotítica de fondo >10%. En

relación a la presencia de la alteración cuarzo-sericítica, no se observa ningún patrón característico.

Otro caso, pero esta vez con datos de leyes de CuT “visual”, es el ilustrado en la Figura 36 en un tramo de Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (BXSJ) correspondiente al sondaje 5375. Nuevamente se observan las mismas relaciones ya mencionadas.

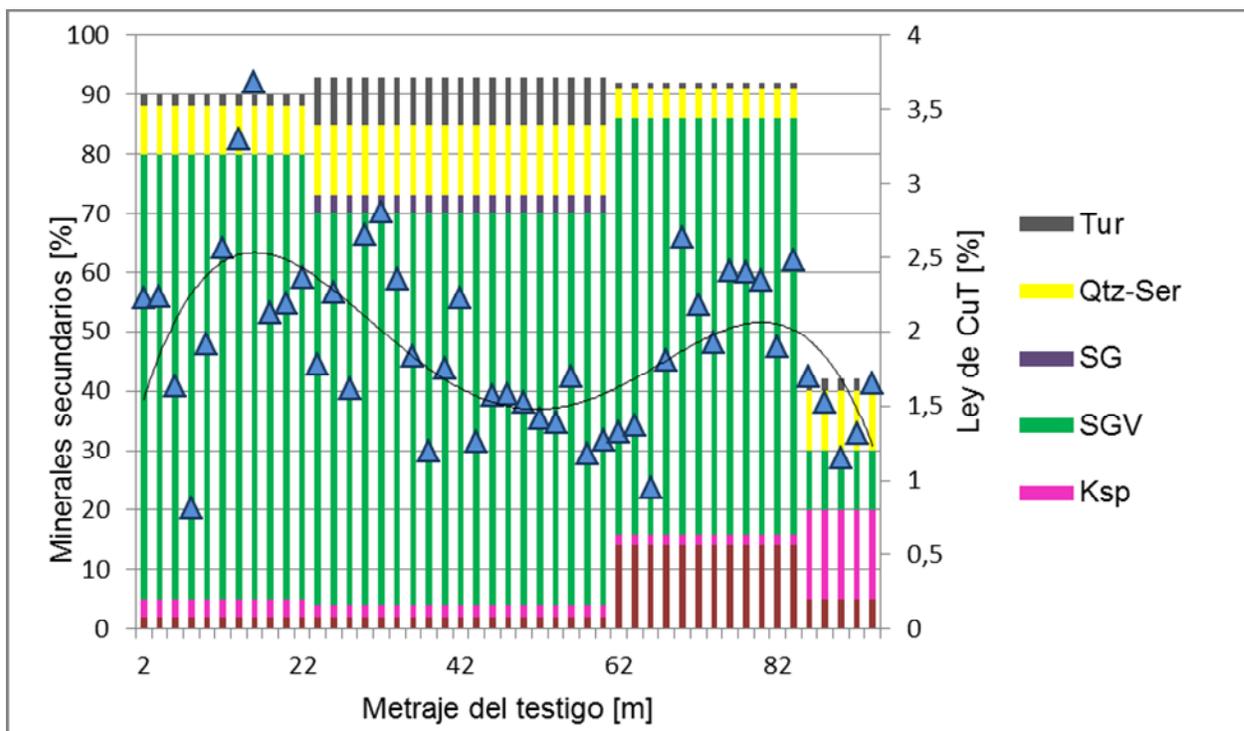


Figura 35. Minerales de alteración y leyes de CuT en Granodiorita Río Blanco (sondaje 4898).

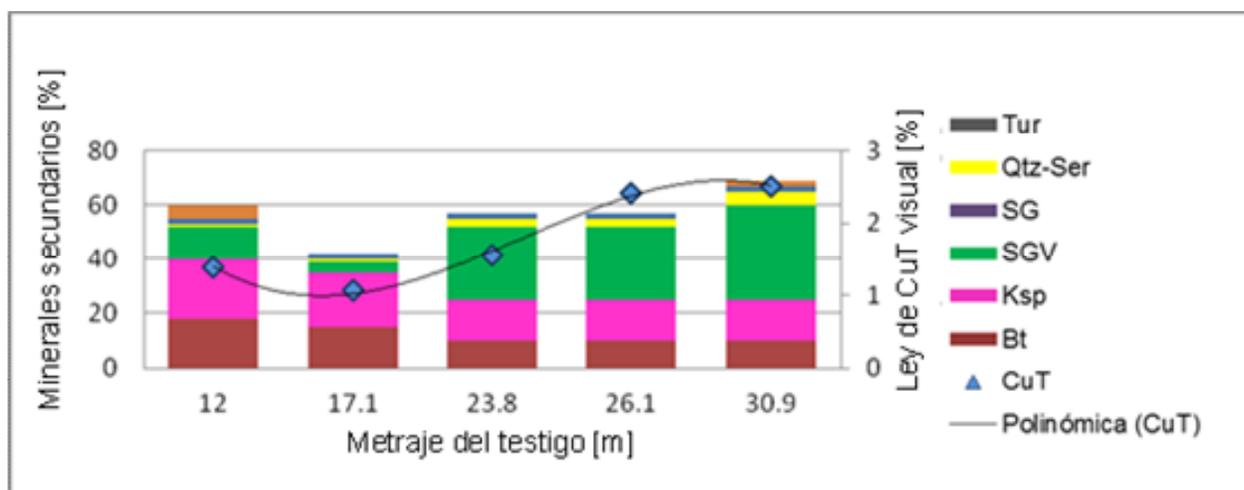


Figura 36. Minerales secundarios y leyes de Cu visual (estimadas visualmente) en Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (sondaje 5375).

6.2.3. SULFUROS DE COBRE

A partir del estudio anterior se observó una relación entre leyes de CuT y alteración hidrotermal. Por esto se decidió realizar otra comparación, pero esta vez sin discriminar por unidad litológica e incluyendo la comparación con bornita y calcopirita, que son los minerales de mena que más contribuyen a dichas concentraciones. Esto se realizó en dos sondajes, en su tramo completo (sondajes 5039 y DDH-620), ambos con más de 500 m de largo.

6.2.3.1. SONDAJE 5039

En la Figura 37 se representan los porcentajes de alteración SGV y el porcentaje de CuT. Para ambos casos se trazaron líneas polinómicas de período 4, que son las que más se ajustan a la densidad de puntos observados. Ambas líneas de tendencia coinciden en máximos y mínimos, y presentan curvaturas muy semejantes.

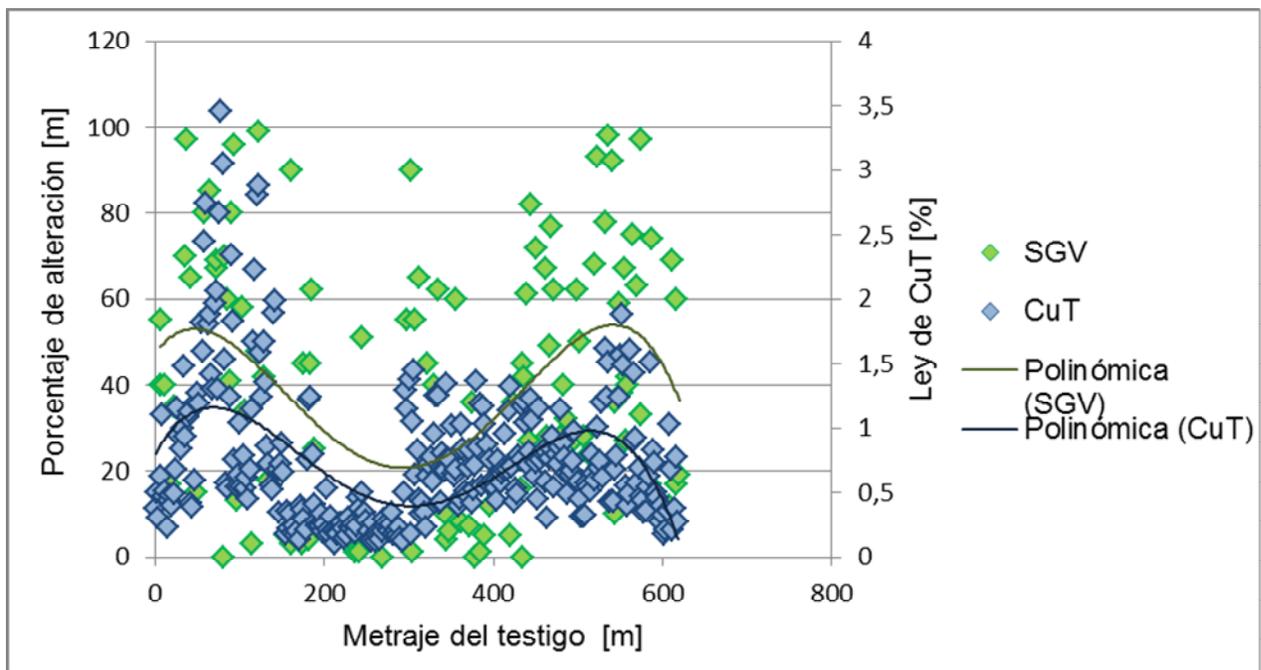


Figura 37. Relación alteración SGV y leyes de CuT (sondaje 5039).

En vista de lo observado entre las leyes de CuT y la alteración SGV, se decide graficar las tendencias de las alteraciones biotítica y feldespática con el fin de compararlas. En la Figura 38 se muestra que presentan curvaturas similares, pero opuestas a la alteración SGV.

Los datos de leyes de CuT no entregan información sobre el tipo de mineral de mena involucrado, por lo cual se revisó la base de datos para obtener el porcentaje de calcopirita y bornita según el tramo de sondaje.

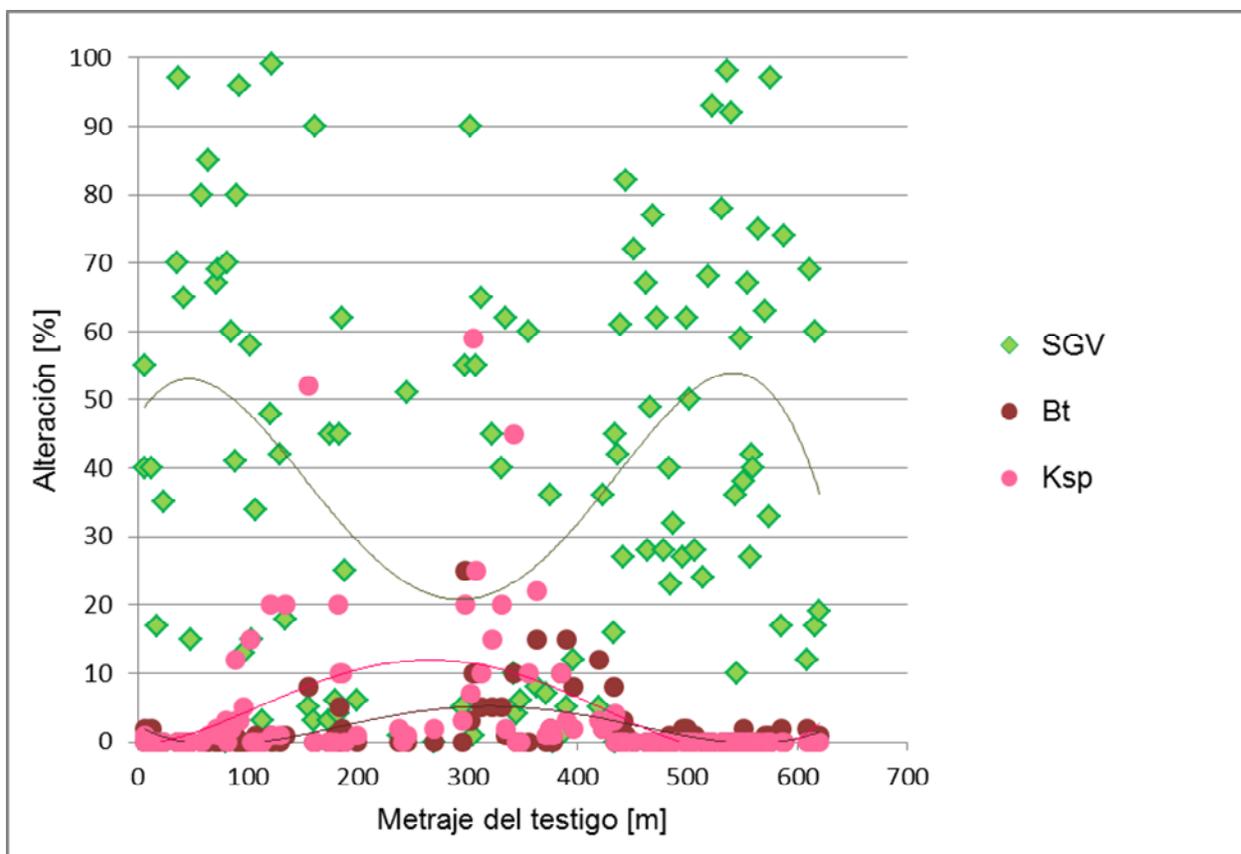


Figura 38. Relación entre alteraciones sericita gris-verde (SGV), biotítica y feldespática.

En la Figura 39 se observa que la línea de tendencia de mineralización de calcopirita coincide con la curva de la alteración SGV y, en consecuencia, con la línea de tendencia de leyes de CuT. No así la bornita, que es completamente opuesta. El máximo de la línea de tendencia de la bornita (entre los 200 y 300 m) coincide con el máximo de las curvas de alteraciones biotítica y feldespática.

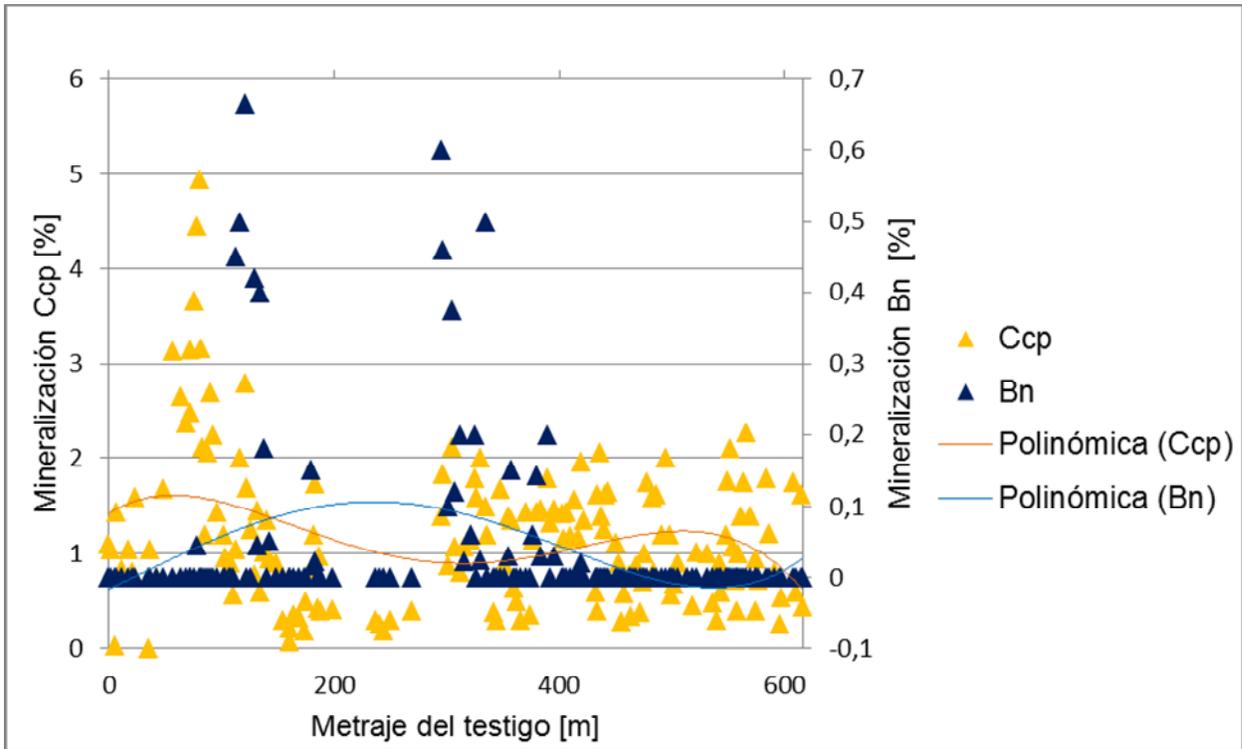


Figura 39. Porcentaje visual de sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) por tramo en el sondaje 5039.

6.2.3.2. SONDAJE DDH-620

En este sondaje se observa el mismo patrón, donde coincide el comportamiento de leyes de CuT con la curva de la alteración SGV.

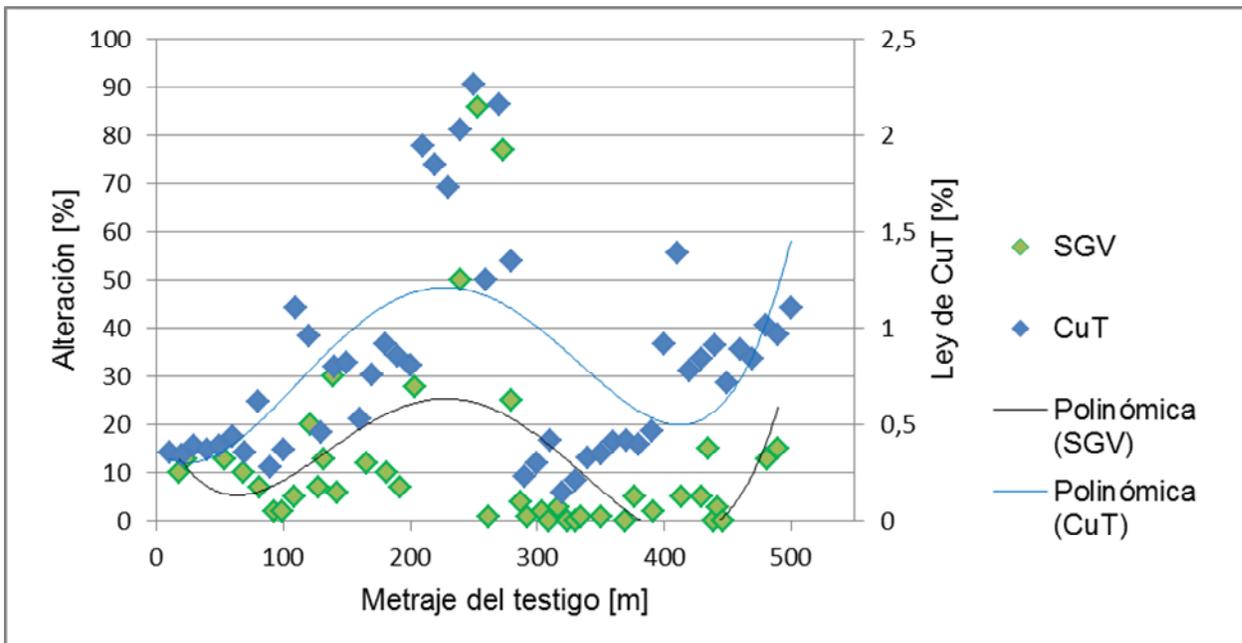


Figura 40. Relación alteración sericita gris-verde (SGV) y leyes de CuT (sondaje DDH-620).

Las alteraciones biotítica y feldespática tienen comportamientos similares y sus máximos coinciden aproximadamente con el de la SGV (entre 165 y 270 m). Entre los 415 y 500 metros aproximadamente aumenta la alteración SGV en conjunto con la biotítica.

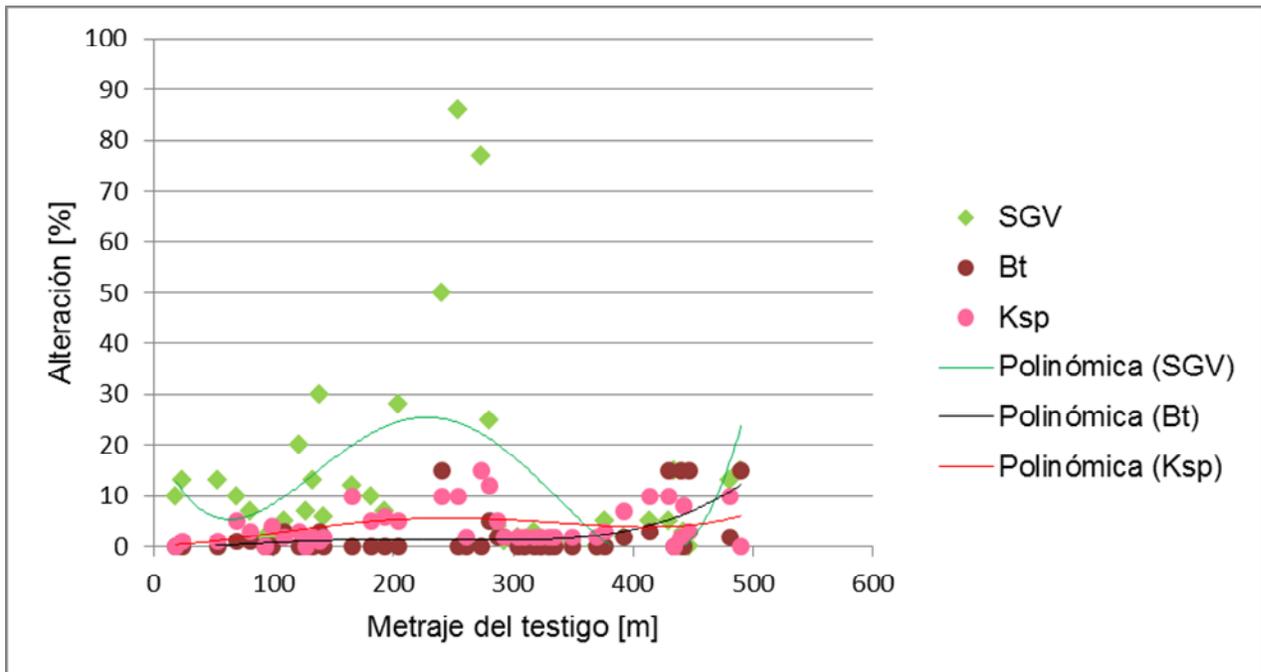


Figura 41. Relación entre alteraciones sericita gris-verde (SGV), biotítica y feldespática.

La curva de la calcopirita y la bornita están desfasadas, siendo la de la bornita de un comportamiento similar a la línea de tendencia de CuT. Su máximo coincide con la de la SGV, pero también coincide con el máximo de las alteraciones biotítica y feldespática, y con el aumento de la alteración biotítica entre los 415 y 500 m. En ambos tramos, el porcentaje de minerales secundarios es superior al 10%.

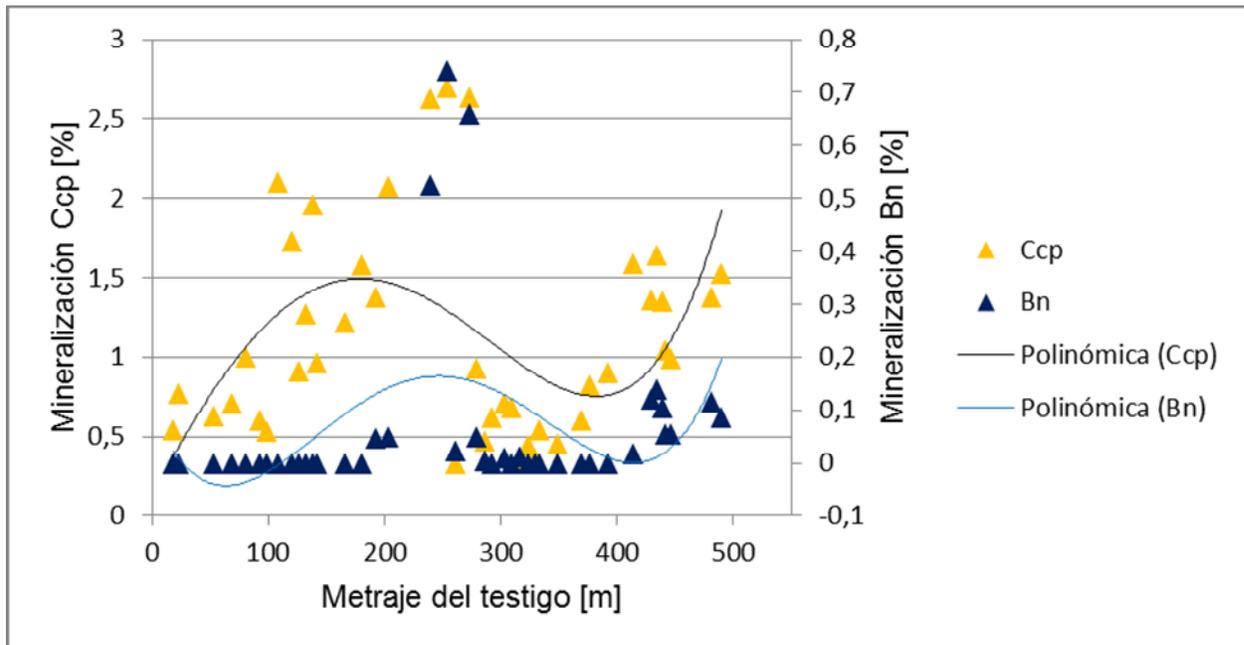


Figura 42. Porcentaje visual de sulfuros de cobre (calcopirita y bornita) por tramo en el sondaje DDH-620.

6.3. MINERALIZACIÓN METALICA

6.3.1. MINERALOGÍA DE MENAS

La mineralización de mena presente en los CAL consiste principalmente en calcopirita (ccp), bornita (bn) y molibdenita (mo) subordinada. La proporción predominante de estos minerales sulfurados sigue la relación $ccp \gg \gg bn \gg mo$ a excepción de las brechas de molibdenita, donde dicho mineral predomina. Otras menas de cobre presente comúnmente son la calcosina y la djurleita (o digenita), aunque en cantidades trazas.

La calcopirita es el mineral de mena más abundante, siendo en promedio, mayor al 60% del total de sulfuros. Le sigue la bornita y finalmente la molibdenita. Sin embargo, las proporciones relativas dependen del tipo de unidad litológica que hospeda la mineralización.

6.3.2. UNIDADES MINERALIZADAS

De lo observado, se constató que las unidades más mineralizadas son las brechas Brecha de Sílice-Feldespato Potásico, Brecha de Turmalina y la roca caja, Granodiorita Río Blanco. Esto se confirma con los datos de leyes de CuT promedio para cada unidad litológica de cada caserón. La Brecha de Biotita y Brecha Polvo de Roca también presentan mineralización metálica importante. Por el contrario, en el caso de los pórfidos (Pórfido Feldespático, Pórfido Don Luis y Brecha de Pórfido) la mineralización es bastante pobre, pero aunque el PDL sea considerado estéril en el resto del yacimiento, en los Cuerpos de Alta Ley posee una ley de cobre de un 0,8% en promedio.

La ocurrencia de bornita (sin excluir la calcopirita), abunda mayoritariamente en las unidades litológicas: Andesita y Granodiorita Río Blanco.

6.3.3. MODO DE OCURRENCIA

En el sector de los CAL la mineralización es predominantemente diseminada; luego le sigue la ocurrencia en cúmulos, que considera aquellos minerales >3 mm (tamaño asignado en base a las poblaciones de minerales observados) y, por último, las vetillas-microvetillas.

En particular, la calcopirita se presenta en todos los tipos de ocurrencia y característicamente en microvetillas en Andesita. Adicionalmente se le observa en vetillas tipo C, D o E (ver Apéndice). La bornita está presente casi exclusivamente en forma diseminada y en relleno de vetillas de manera discontinua, principalmente intercrecida con calcopirita. La relación textural entre la calcopirita y la bornita es de intercrecimiento y no de reemplazo. Por último, la ocurrencia de la molibdenita es diseminada, en cúmulos (en Brecha Polvo de Roca) y como parte de algunas vetillas B, aunque de ocurrencia discontinua.

La calcosina está presente como un mineral secundario en trazas, asociado a reemplazo de bornita en andesitas y granodioritas (GDRB). Digenita (o djurleita) se observa en forma puntual asociada a bornita.

6.3.4. GANGAS METÁLICAS

La pirita también está presente en el sector, pero en proporciones relativamente bajas a muy bajas. De los análisis QEMSCAN realizados, se obtiene que solo representan un 0,38% del total de los minerales y un 8,72% del total de sulfuros en la roca. Suele estar como granos anhedrales discretos aislados o en asociación con calcopirita. Fundamentalmente se le encuentra asociado a vetillas tipo D.

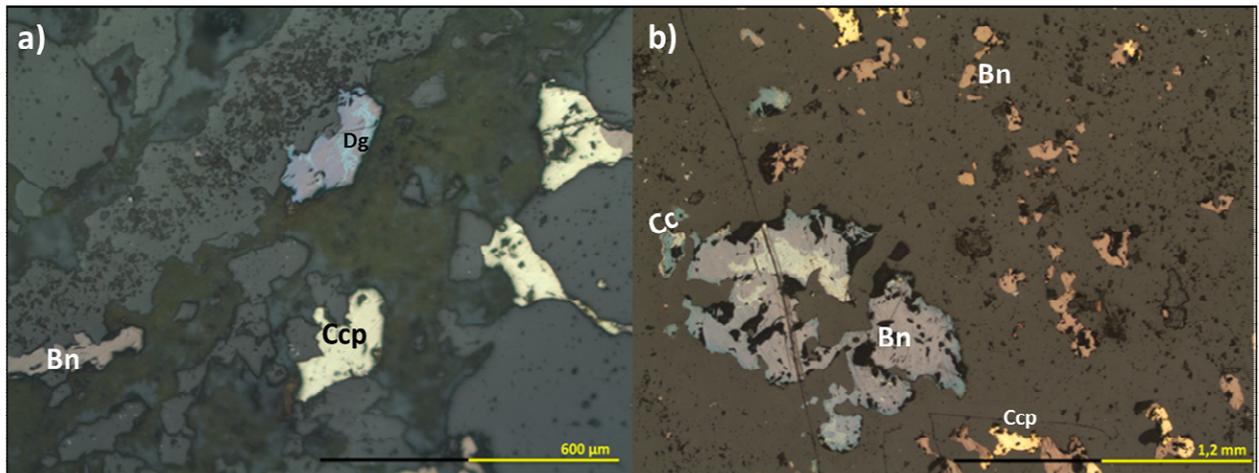


Figura 43. Relación textural entre sulfuros de cobre. En (a) hay reemplazo de digenita en la bornita, en una Granodiorita Río Blanco (sondaje 4898); en (b) se observa claramente el reemplazo envolvente de calcosina en la bornita, en una Brecha de Sílice Feldespato Potásico (sondaje 4853). En cuanto a calcopirita y bornita, ambos son minerales primarios.

Otro mineral que se ha observado en un par de muestras es la arsenopirita; en una de ellas (Brecha Polvo de Roca del sondaje 4853) incluso con su hábito prismático bien formado y distinguible a muestra de mano.

Una alta concentración de arsénico en algunas zonas de los CAL fue determinada mediante análisis químicos. Tanto los estudios calcográficos como de QEMSCAN indican que el As se asocia a arsenopirita y en menor medida a enargita.

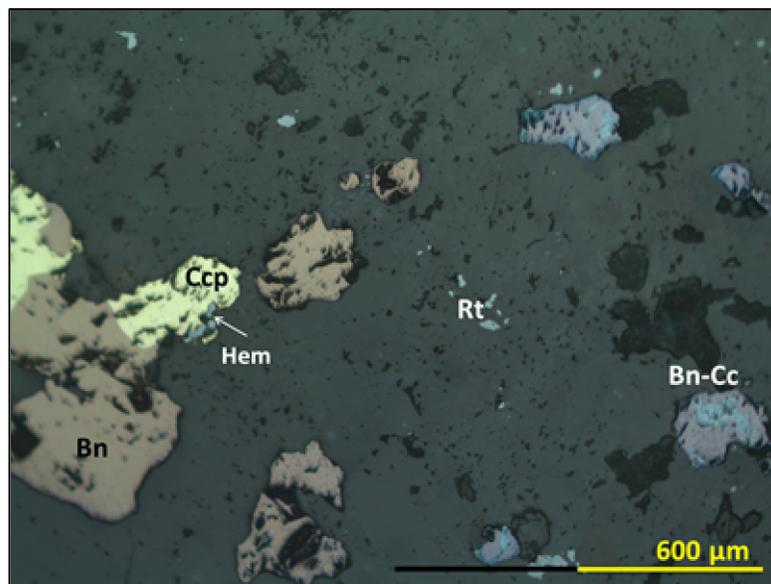


Figura 44. Relación textural entre sulfuros de cobre. Se observa calcopirita intercrecida con bornita, hematita asociada con calcopirita, calcosina reemplazando bornita y rutilo diseminado. Fotomicrografía correspondiente a una Granodiorita Río Blanco del sondaje 4898.

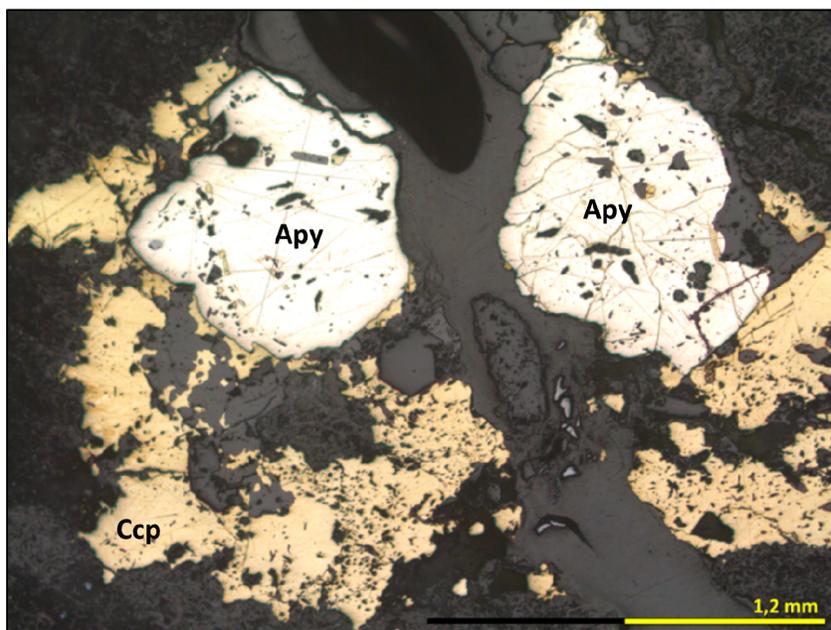


Figura 45. Arsenopirita en asociación con calcopirita, en una muestra de Brecha de Molibdenita (BXMO) del sondaje 4853.

También se han identificado sulfosales tales como tenantita o tetraedrita comúnmente presente en vetillas tipo E. Estos se dan en baja proporción y no fueron encontrados en ninguna muestra seleccionada para el presente estudio petro-calcográfico, mas sí observadas en muestras de mano tomadas en galerías o muestras de sondajes.

Por último, señalar la importante cantidad de hematita que presentan muestras con calcopirita y bornita, asociación de minerales estables en condiciones limítrofes de sulfuración intermedia a alta, en un rango de temperatura que va desde 400°C a 700°C (Ohmoto, 1986).

6.4. PRESENCIA DE CORINDÓN

Durante la descripción petro-calcográfica de muestras se identificó corindón (Al_2O_3) en andesitas y en la Granodiorita Río Blanco. Este mineral se desarrolla de manera subhedral a euhedral, de bordes irregulares, aspecto turbio y tamaño variable (hasta 600 μm); presenta pleocroísmo azul-verde y colores de interferencia de primer orden (en general tonos grises).

El corindón está asociado a sericita, la cual lo rodea completamente, conformando una especie de anillo. En algunos cortes, luego de la sericita lo rodea un anillo de biotita secundaria, pero en ningún caso en contacto con otro tipo de mineral (Figura 46).

Aquellas muestras que poseen proporciones de bornita en cantidades significativas (no trazas) de lo observado suelen presentar dicha asociación mineral. Es importante recalcar que esto es una observación y no una equivalencia entre mineralización de bornita (\pm calcosina) y corindón.

Por último, mencionar que existe presencia de andalucita (Al_2SiO_5), pero de carácter es subordinado.

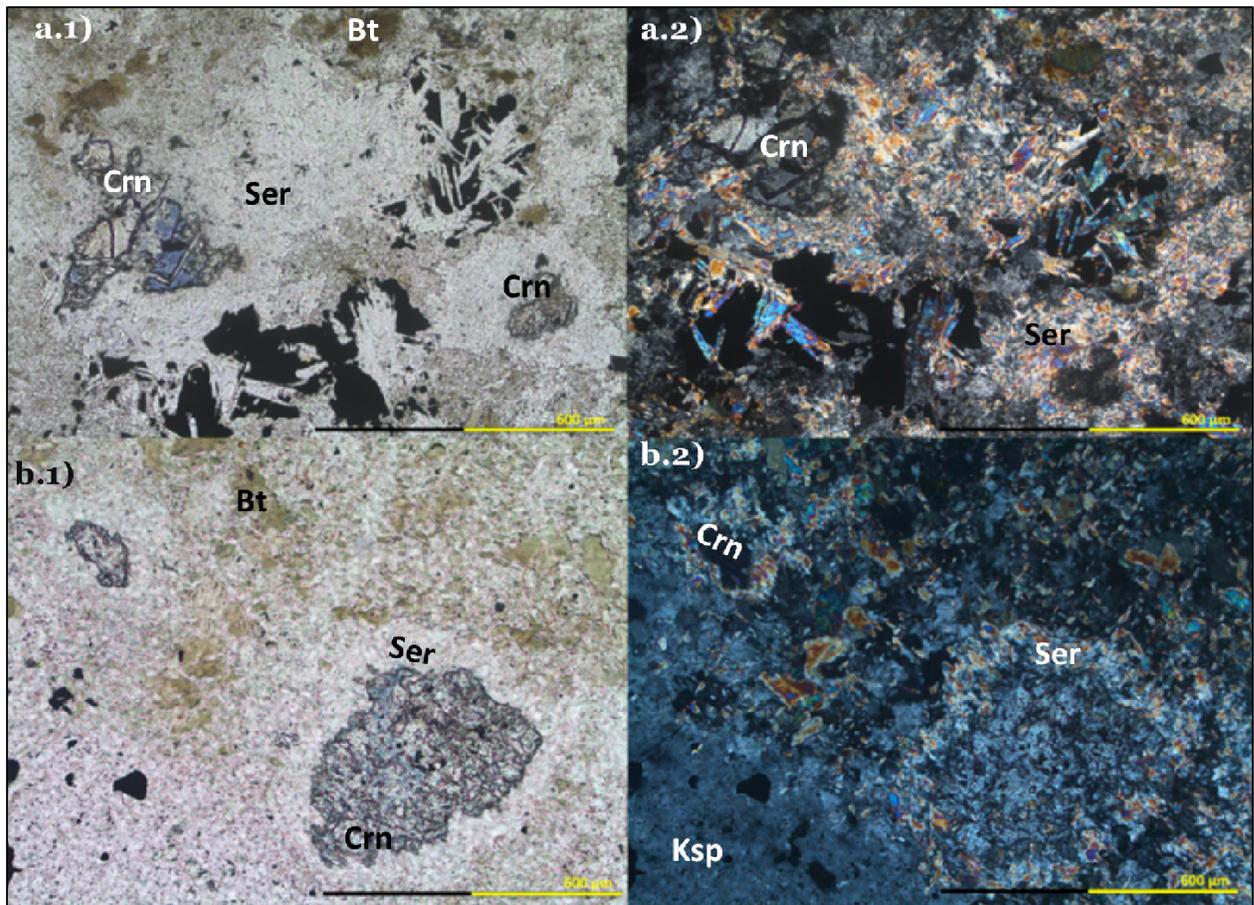


Figura 46. Fotomicrografías de la asociación corindón-sericita en (a) Brecha de Turmalina a nicoles paralelos (a.1.) y nicoles cruzados (a.2); y en (b) Granodiorita Río Blanco a nicoles paralelos (b.1) y nicoles cruzados (b.2). Imágenes pertenecientes al testigo de sondaje 5375.

6.5. ANÁLISIS QEMSCAN

Se realizaron estudios mineralógicos mediante QEMSCAN con el propósito de identificar en forma más precisa la mineralogía y el grado de liberación de las menas de cobre (calcopirita y en particular bornita) y de molibdenita.

Los resultados aquí presentados corresponden a aquellos realizados en las cabezas, ya que consideran toda la mineralogía presente en la roca. La metodología utilizada corresponde al método BMA (*Bulk Mineral Analysis*), que consiste en un escaneo rápido en una partícula siguiendo una línea recta, lo que otorga datos estadísticos en cuanto a mineralogía modal. Estos resultados se visualizan en base sulfuro (BS), base bornita (BBn) y base mineral (BM). La base sulfuro (BS) considera el conjunto sulfuros, el cual corresponde al 100%; la base bornita (BBn) considera solo asociaciones que poseen bornita y la base mineral (BM) comprende todos los minerales presentes, tanto ganga como menas.

6.5.1. MINERALOGÍA Y ASOCIACIÓN DE SULFUROS

A continuación se muestran los resultados mineralógicos obtenidos para 12 muestras correspondientes a los caserones W01, W02 y C01. En estas muestras se representan las unidades litológicas: Granodiorita Río Blanco, Brecha de Biotita, Brecha Polvo de Roca, Brecha de Sílice-Feldespatos Potásico y Pórfido Don Luis, detalladas en la Tabla 5.

Tabla 5. Muestras analizadas mediante técnica QEMSCAN.

Muestras	Caserón	Unidad litológica
M-2748	C01	BXSK
M-2754	C01	BXSK
M-3766	C01	GDRB
M-3769	C01	GDRB
M-3852	C01	GDRB
M-3857	C01	BXSK
M-3764	W01	BXSK
M-3765	W01	PDL
M-2659	W02	BXSK
M-2743	W02	BXB
M-3849	W02	GDRB
M-3850	W02	BXPR

El promedio del total de sulfuros de las muestras es de un 4,57%. De los análisis realizados (Figura 48) se constata que el sulfuro dominante es la calcopirita, equivalente al 69,9%. En proporciones le sigue la bornita con un 18,7%, la cual se presenta en todas las muestras alcanzando un mínimo de 3%; luego le sigue la pirita con un 8,7%, que en ocasiones es casi nula (<0,8% en tres muestras). La molibdenita alcanza un 1,43% y la calcosina un 0,14%. En términos generales, todas las muestras presentan una proporción relativa de $cc > bn > py > mo > cc$. No existen óxidos de cobre en las muestras analizadas.

En cuanto a la mineralización de bornita y sus asociaciones minerales, la mayoría está asociada con calcopirita, calcopirita-silicatos y libre, en ese orden de predominancia. En la Figura 49 se observa visualmente esta relación en base a bornita (BBn), donde además se destaca la asociación bornita-calcosina en la muestra M-3764 correspondiente a una BXS_K, y que coincide con la presencia de la asociación bornita-biotita, bornita-feldespatos potásico-sericita.

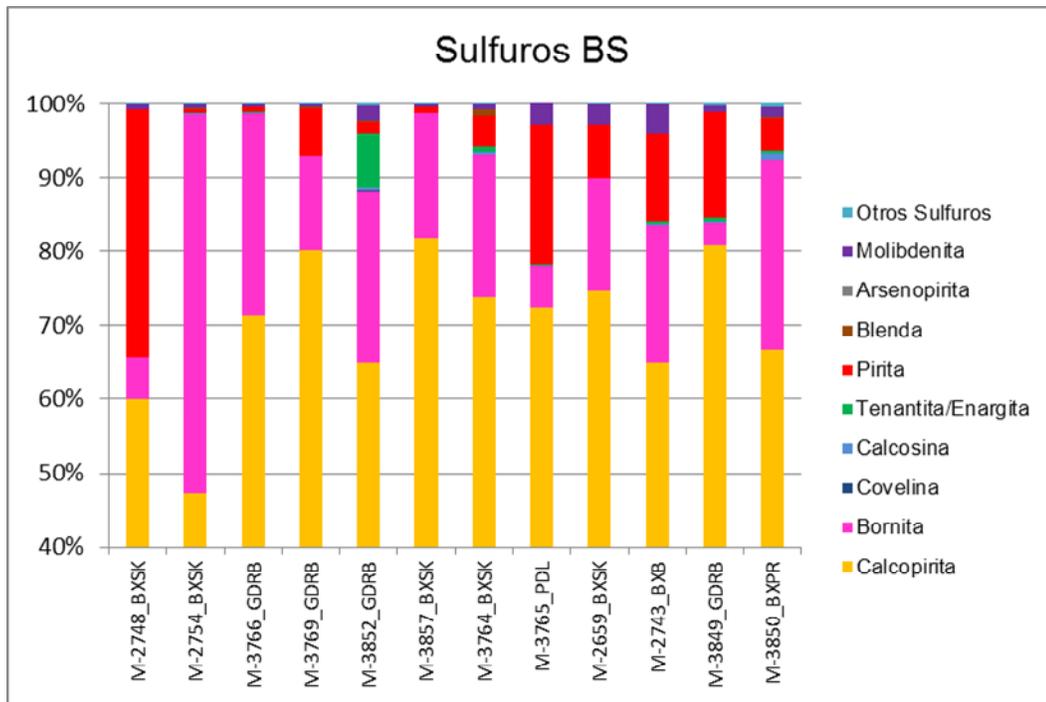


Figura 48. Resultados QEMSCAN de asociación de bornita en base sulfuros (BS).

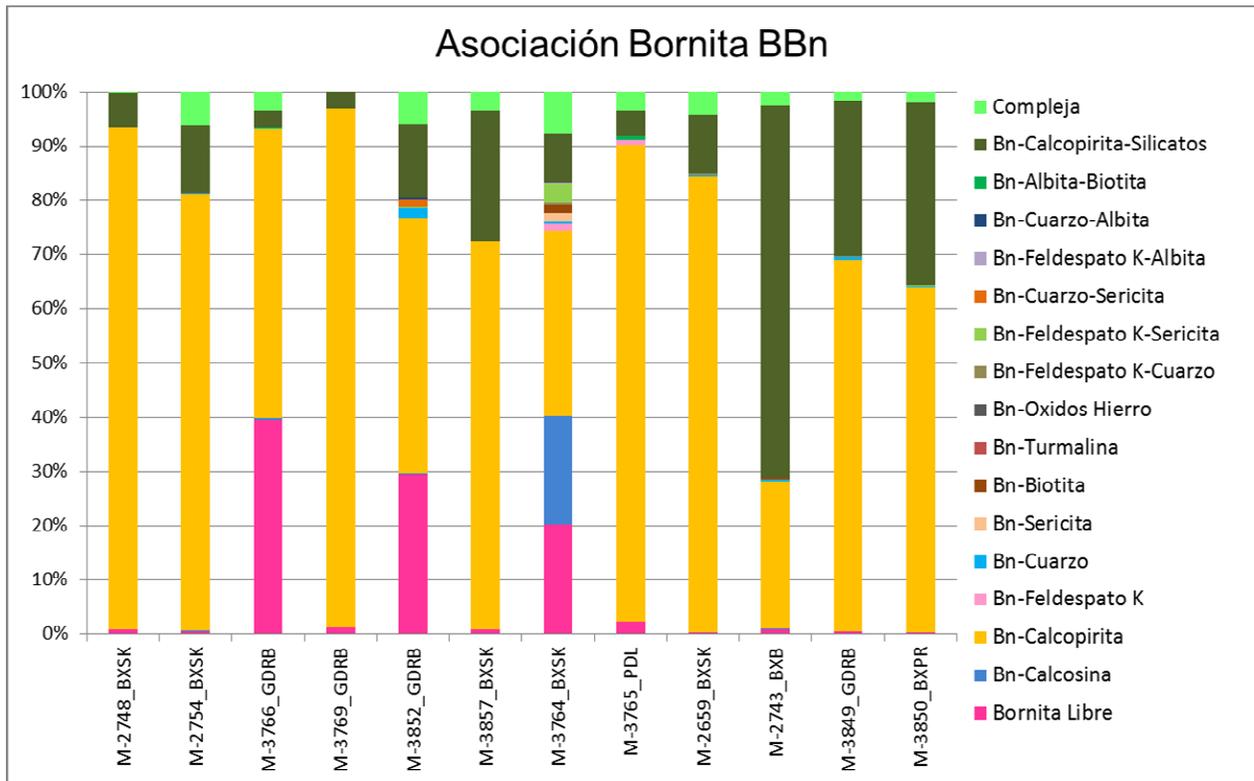


Figura 49. Resultados QEMSCAN de la asociación bornita con minerales de mena y ganga en base bornita (BBn).

6.5.2. MINERALOGÍA Y ASOCIACIÓN DE GANGA

La mineralogía de ganga constituye en promedio un 94,55% de las muestras analizadas mediante QEMSCAN.

El detalle mineralógico es relevante en cuanto se pueda relacionar con la mineralogía de alteración. En general, el patrón de predominancia de ganga en las muestras es el siguiente: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa-albita, sericita-muscovita, biotita, yeso-anhidrita, caolinita, turmalina, clorita, cuyos porcentajes de estos y otros minerales se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Detalle de mineralogía de ganga presente en las muestras.

Ganga	Porcentaje [%]
Ganga Total	94,33
Cuarzo	27,44
Feldespato Potásico	23,86
Plagioclasa-Albita	17,72
Sericita-Muscovita	11,90
Biotita	7,36
Yeso-Anhidrita	1,36
Caolinita	1,25
Turmalina	1,17
Cloritas	0,82
Siderita (Manganosiderita)	0,34
Anfiboles	0,28
Apatito	0,23
Dolomita	0,19
Montmorillonita	0,17
Calcita	0,10
Otras Arcillas	0,05
Circón	0,04
Otros	0,03
Epidota-Zoisita	0,01

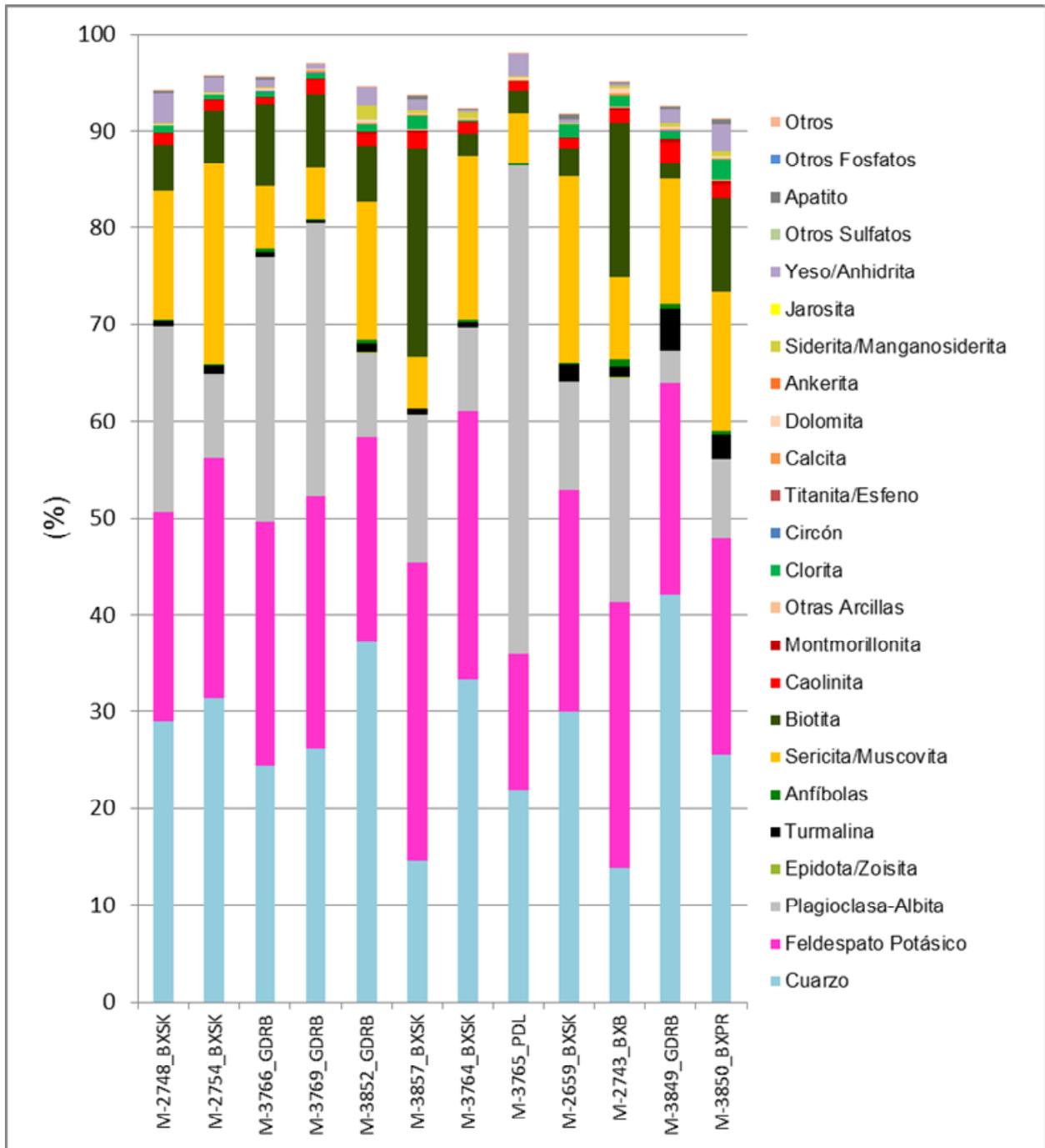


Figura 50. Porcentaje de mineralogía de ganga en cada una de las muestras en Base Mineral (BM).

7. DISCUSIONES

7.1. UNIDADES LITOLÓGICAS

Las tres unidades litológicas de mayor volumen en el sector La Unión Inferior son, en orden de abundancia, la Granodiorita Río Blanco, el Pórfido Don Luis y la Brecha de Sílice-Feldespató Potásico. En cuanto a volumen de mineralización, la hospedan mayormente la Granodiorita Río Blanco, la Brecha de Sílice-Feldespató Potásico y la Brecha de Turmalina. Si bien el Pórfido Don Luis es considerado estéril en el yacimiento Río Blanco (ley de 0,37% de Cu), en el sector de los CAL posee mineralización (0,88% de Cu). Por otro lado, aquellas unidades litológicas que poseen minerales con mayor concentración de cobre (además de calcopirita, bornita y calcosina subordinada) son las correspondientes a la roca caja: Granodiorita Río Blanco y Andesita.

Según esta información, los Cuerpos de Alta Ley estarían definidos principalmente gracias a la presencia de la roca caja mineralizada y a las brechas de Turmalina y Sílice-Feldespató Potásico. La Brecha Polvo de Roca y la Brecha de Biotita también se encuentran mineralizadas, pero se presentan con un volumen reducido en el sector.

A partir de datos de División Andina, el promedio de ley de cobre total calculado en los caserones W01 y W02 (sector La Unión Inferior) es de un 1,52% ponderado por tonelaje según la última actualización (Junio 2014), valor que se encuentra muy cercano al límite inferior definido para delimitar un Cuerpo de Alta Ley (debe ser superior a 1,5%). Esto debido a que considera unidades de menores concentraciones de cobre (Pórfido Don Luis y Brecha de Pórfido), lo que trae problemas si el proyecto de explotación no está bien dirigido.

En cuanto a cada unidad litológica, es importante destacar algunas observaciones que se detallan a continuación.

7.1.1. ANDESITAS

Las andesitas presentes son en muchas ocasiones mapeadas como Brecha de Biotita dado que posee un gran porcentaje de alteración potásica penetrativa o son simplemente ignoradas, porque se presentan en pequeños volúmenes. Además, ha sido subestimada dado que su color oscuro, sumado a la poca visibilidad en la mina subterránea, no permite distinguir la fina mineralización de bornita que presenta.

Por otro lado, ha estado en duda si efectivamente corresponden a rocas ígneas extrusivas o intrusivas, dada su disposición frecuentemente en diques –como se observa en los mapeos de la base y el techo de los CAL- presentes en el sector. Lamentablemente la roca presenta un grado de alteración muy alto, generalmente >80%, con una textura obliterada lo que dificulta la caracterización de esta unidad.

7.1.2. GRANODIORITAS

El plutón granodiorítico Río Blanco-San Francisco posee características geoquímicas semejantes a granodioritas no productivas del Terciario Superior y andesitas Plio-Cuaternarias, lo que implica que el depósito de pórfido es resultado de un proceso de concentración metálica más que reflejar la existencia de una fuente rica en metal (López y Vergara 1982). Esto es coherente con el aumento gradual de las leyes de cobre de la roca caja hacia los Cuerpos de Alta Ley (CAL) según datos de análisis químicos de leyes de CuT, y la diferencia de mineralización metálica observada en distintas muestras del yacimiento Río Blanco. En el sector de los CAL, las granodioritas presentan calcosina ±digenita/djurleita en trazas, además de calcopirita y bornita diseminada con una ley de 1,45% de cobre, mientras que en el resto del yacimiento solo alcanza un 0,84%.

7.1.3. PÓRFIDO DON LUIS

El Pórfido Don Luis (PDL) presenta distintas fases evidenciadas por variaciones texturales y composicionales. Entre ellas se distingue el PDL-PFELD y PDL fino -mapeado como Pórfido Indefinido- los cuales se emplazan en ese orden cronológico, según observaciones de Andina, y dispuestos como diques en el sector. Esto implica el reconocimiento de distintos pulsos de intrusión a partir del emplazamiento del Pórfido Don Luis.

Según Salinero (2004), esta unidad litológica no presenta vetillas EBT en el Tercer Panel de la mina subterránea (sector Río Blanco), pero sí se ha reconocido en el sector de los CAL. Esto sugiere que otros procesos o eventos de mineralización ocurrieron en el sector de estudio, lo que además es coincidente con datos geocronológicos, donde las vetillas EB/EBT tempranas poseen una data de $5,2 \pm 0,3$ Ma (Nota Interna, CODELCO-División Andina) coincidente con el emplazamiento del PDL.

Si bien este pórfido es estéril en otros sectores del yacimiento, se ha encontrado en el sector de los CAL con bastante mineralización de calcopirita en vetillas, en cuyos planos se observa de manera diseminada, lo que implica que la permeabilidad secundaria en esta unidad es un factor importante para la concentración de cobre.

7.1.4. BRECHAS

Las brechas del sector son variadas. La unidad de brecha más mineralizada en el sector es la Brecha de Sílice-Feldespato Potásico (BXSK) y no la Brecha de Turmalina como ocurre en Sur Sur. Cabe señalar que en Sur Sur el volumen de esta última es bastante importante, mientras aquí es reducido.

Entre la BXSK y la Brecha Polvo de Roca (BXPR) no se ha observado ningún tipo de contacto en este estudio ni en estudios previos. Si a esto se añade que la disposición de ambas brechas comúnmente se da en forma conjunta y que el grado de alteración de la matriz de la BXSK es mayor al de la BXPR, entonces podría deducirse que la Brecha de Sílice-Feldespato Potásico deriva de una recristalización (qtz-ksp) de la matriz de la Brecha Polvo de Roca o bien, es una brecha distinta. Por otra parte, la BXSK se encuentra espacialmente asociada al Pórfido Don Luis (Figura 8, b) y litológicamente es bastante similar a la Brecha de Pórfido, lo que admite más interrogantes sobre su origen incierto.

La Brecha de Pórfido en algunas ocasiones se halla bastante mineralizada, al igual que el Pórfido Don Luis. Esto, porque incorpora clastos polimícticos mineralizados y, probablemente, la permeabilidad secundaria que adquirió dicha unidad al momento de brechizar incidió en un aumento de la mineralización de cobre.

7.2. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

Las alteraciones hidrotermales presentes en el sector, definidas según la mineralogía secundaria, se pueden agrupar principalmente en:

- i. Potásica: alteración biotítica y/o alteración feldespática.
- ii. Sericítica: donde el porcentaje de sericita > cuarzo, y la sericita está formada por muscovita-fengita, por lo que a esta asociación se le clasifica como alteración “sericita gris-verde” (SGV).
- iii. Fílica: donde el porcentaje de cuarzo > sericita, también llamada alteración QS (qtz-ser).

Según las observaciones de los gráficos de mineralogía secundaria y sus tendencias respectivas, se puede determinar que la alteración feldespática comúnmente mapeada está intrínsecamente asociada a la biotítica, dado que ambas mineralogías secundarias aumentan y disminuyen simultáneamente en la misma proporción, por lo que corresponden a una alteración potásica.

La alteración SGV suele seguir un patrón diferente a la potásica, demostrado por una línea de tendencia completamente opuesta. Además, es importante destacar que de presentarse ambas alteraciones, la alteración SGV se superpone a la alteración potásica.

Se ha observado otro evento hidrotermal, una hidrólisis temprana de mayor temperatura que la alteración sericítica, conformada por la asociación corindón-sericita (\pm andalucita), la cual se detallará más adelante.

Es importante discutir algunos aspectos de las alteraciones hidrotermales principales presentes en el sector.

7.2.1. ALTERACIÓN POTÁSICA

Esta alteración hidrotermal se encuentra presente con diferentes intensidades según el tipo de unidad litológica afectada. Es especialmente importante en dos unidades litológicas la roca caja y en brechas que contienen clastos con alteración potásica.

En Andesita, esta alteración es de intensidad pervasiva y oblitera la textura original de la roca. A esta se le denomina Potásica Penetrativa y afecta a $>60\%$ de la roca. En este caso, la mineralización es predominantemente diseminada, aunque existen zonas locales con microvetillas de calcopirita.

En la Granodiorita Río Blanco se observa esta alteración con intensidad moderada a débil, la que se clasifica como Potásica de Fondo donde afecta principalmente a hornblendas, formando en muchos casos cúmulos de tablillas finas de biotita secundaria (*shreddy biotite*) como se observa en la Figura 51. En general afecta a $<20\%$ de la roca.

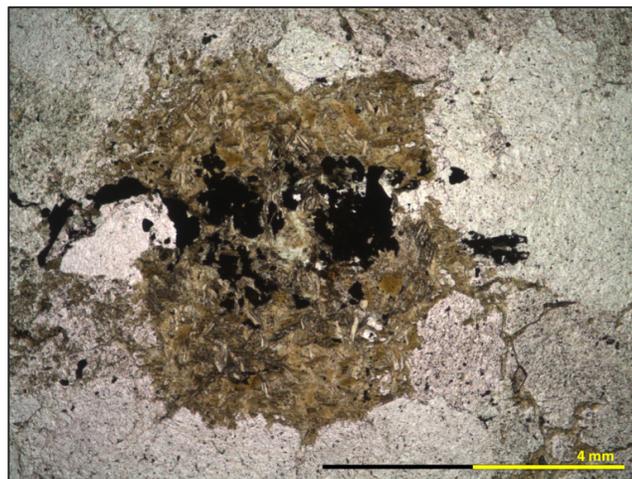


Figura 51. Granodiorita Río Blanco (GDRB) con alteración Potásica de Fondo, donde se observa un cúmulo de biotitas secundarias (*shreddy biotite*).

Estas observaciones permiten concluir que existen al menos dos eventos de alteración potásica.

7.2.2. ALTERACIÓN SERICÍTICA GRIS-VERDE (SGV)

Este tipo de alteración se observa en casi todos los tipos de unidades litológicas. En general es de carácter selectiva en plagioclasas y feldespatos con distintos grados de intensidad. Se superpone a la alteración potásica y es común verla asociada con biotita secundaria. Es la alteración que afecta al mayor volumen de roca y, según lo observado y ratificado en los gráficos asociados a leyes de CuT, constituye el control principal de la mineralización de cobre, dado que existe una correspondencia directa entre intensidad de este tipo de alteración y la concentración.

7.2.3. ALTERACIÓN FÍLICA

De escasa distribución, esta alteración está asociada a altos contenidos de arsénico y se caracteriza por la presencia (en pequeñas cantidades) de enargita, tenantita/tetraedrita (\pm esfalerita, galena) y mineralización de piritita dominante. No se observó particularmente en las muestras analizadas, pero ha sido observado en terreno y sondajes, y se conocen las consecuencias que trae si se presenta como alteración dominante en relación a la recuperación de cobre.

7.3. ASOCIACIÓN CORINDÓN-SERICITA

Esta asociación se encuentra presente solo en la roca caja (Andesita y Granodiorita Río Blanco), las cuales son las que poseen cantidades de bornita relativamente altas en comparación al resto de las unidades litológicas. De aparecer, el corindón correspondería a un mineral subordinado en alteración argílica avanzada (Lowell y Guilbert 1970), asociada a la raíz de un pórfido; sin embargo, no existe dicha alteración en el yacimiento Río Blanco. Según Seedorff et al. (2005) y, considerando la mineralogía sulfurada y secundaria, aparece subordinado en dos tipos de alteraciones:

- i. Alteración transicional potásica-argílica avanzada: cuyos silicatos y minerales ricos en Al (\pm qtz) son: feldespato potásico, biotita, albita y andalucita a temperaturas $>550^{\circ}\text{C}$, pero no incluye sericita. En este caso, la asociación de sulfuros-óxidos (incluyendo minerales con Ti) no incluye bornita, sino las asociaciones ccp, mo, mag, ilmenita.
- ii. Transicional potásica-sericítica-argílica avanzada: cuyos silicatos y minerales ricos en Al (\pm qtz) son: feldespato potásico, biotita, sericita y andalucita a temperaturas $\sim 550^{\circ}\text{C}$. En este caso, la asociación de sulfuros-óxidos (incluyendo minerales con Ti) si incluyen la bornita (bn+ccp \pm mag; ccp+py \pm mag; mo \pm ccp \pm py; ttn).

Aunque esté asociado a una alteración argílica avanzada, más bien se hace referencia a una hidrólisis importante, sin generar silicatos aluminicos típicos dicha alteración. Entonces, como no existe mineralogía secundaria asociada a la alteración argílica avanzada, ha de clasificarse como la alteración (ii), la cual se denominará simplemente como **alteración transicional potásica-sericítica**.

Según Hemley et al. (1980), Seedorff et al. (2005) y Sillitoe (2010), este tipo de asociación corresponde a un grado de alteración hidrolítica de la roca huésped y refleja cambios en la acidez del fluido con el descenso de la temperatura mientras fluye desde el pórfido a un ambiente epitermal de alta sulfuración (HS, *high sulfidation*). Estos tipos de alteraciones hidrotermales transicionales no son comunes en depósitos de pórfidos epitermales, pero se ha visto en pórfidos de Cu-Mo como el depósito El Salvador, donde se asocia además con diásporo, pirofilita y andalucita; pero dicho depósito no es del todo comparable con Río Blanco, ya que este no presenta enriquecimiento supérgeno de cobre.

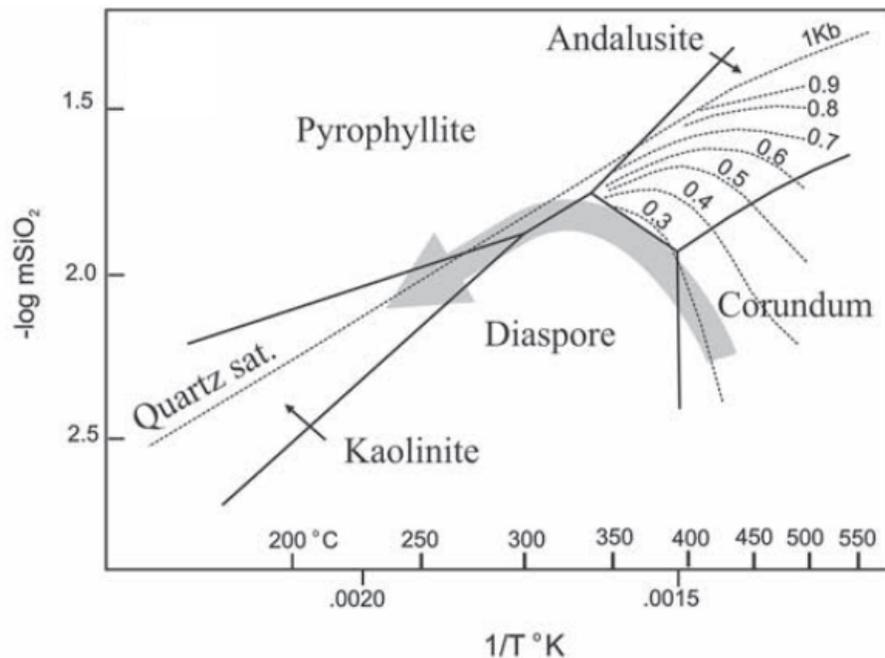


Figura 52. Evolución del fluido asociado a la asociación de alteración corindón-sericita (±andalucita) en un diagrama de relación SiO₂ y temperatura (°C). En líneas punteadas se marca la presión en kbar.

Voudouris (2014) plantea que la asociación corindón-sericita en ausencia de andalucita (en este caso, andalucita subordinada) se formaría como resultado de un enfriamiento rápido durante el ascenso de un fluido hidrotermal magmático a presiones entre 600 y 300 bar y a una temperatura superior a 370°C (Figura 52). Esta conclusión se basa en un estudio en Koryfes Hill, un área del pórfido de Cu-Mo-Re en Kassiteres Sapes (Grecia).

7.4. TEMPERATURAS DE ALTERACIÓN

Las tres alteraciones hidrotermales mencionadas no se dan por sí solas en una unidad litológica. Lo que usualmente se encuentra es una superposición de estas. La mayoría de las unidades litológicas se caracterizan por presentar alteración potásica y sericítica superpuesta. A partir de la información expuesta en este trabajo, se pueden determinar las condiciones termodinámicas como sigue, clasificando en dos grandes grupos a las alteraciones ya establecidas para el yacimiento, aplicadas al sector de los Cuerpos de Alta Ley.

7.4.1. TRANSICIONAL POTÁSICA-SERICÍTICA E HIDRÓLISIS TEMPRANA

Este es el tipo de alteración presente en andesitas, granodioritas y algunas brechas (cuando incorporan dichos clastos). En términos generales se puede establecer lo siguiente:

- i. La mineralización sulfurada correspondería a $bn+ccp \pm mag$; $ccp \pm py$, mag o $ccp \pm mo$ (Seedorff et al., 2005).
- ii. Se forma cerca de la intersección de los campos feldespato potásico, andalucita y muscovita en el diagrama T vs. K/H (Figura 53), cerca de los $\sim 550^{\circ}C$. Mientras que las condiciones de formación del corindón serían sobre los $370^{\circ}C$ (según las presiones establecidas), que coincide con la temperatura asociada a la alteración transicional potásica-sericítica.
- iii. Una alteración potásica selectiva y penetrativa tiene un rango de temperatura entre $350-500^{\circ}C$. La alteración sericítica gris verde (SGV) también se considera de alta temperatura, porque presenta una importante mineralización cuprífera hipógena, las cuales varían en el rango de $180^{\circ}-400^{\circ}C$ (Creasey, 1966).
- iv. Voudouris (2014) no pudo determinar qué mineral cristaliza primero en la asociación corindón-sericita, pero dada las temperaturas de formación asociadas a cada tipo de asociación mineral, lo más probable es que primero haya ocurrido la alteración potásica, luego una hidrólisis temprana que formó corindón-sericita ($\pm and$) y, posteriormente, la alteración SGV.
- v. Respecto a por qué no se encuentran minerales silicatados típicos de una alteración argílica avanzada, podría deberse a que la temperatura del fluido hidrotermal magmático en las rocas encajantes nunca disminuyó a la temperatura necesaria para su formación, a pesar de la disminución del pH.

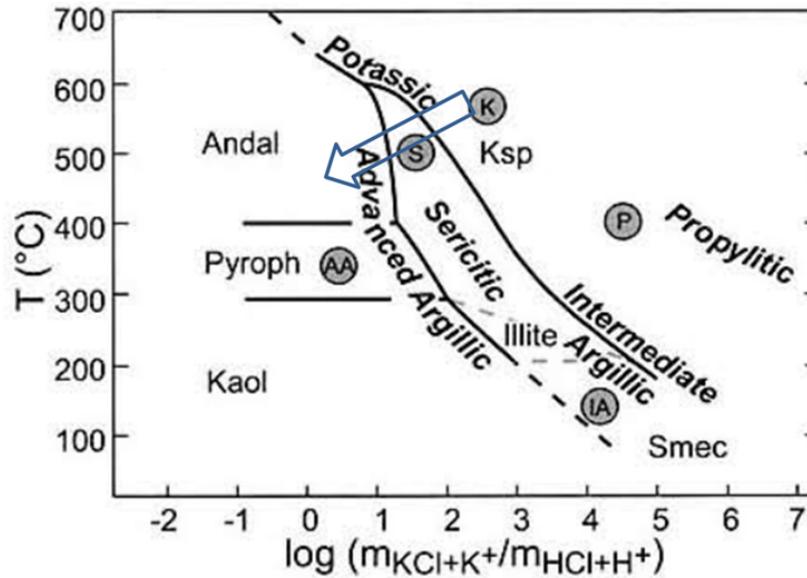


Figura 53. Diagrama de fases de temperatura (°C) versus K/H, donde se delimitan las alteraciones hidrotermales (K: alteración potásica; S: alteración sericítica; P: alteración propilítica; AA: alteración argílica avanzada e IA: alteración argílica intermedia) a $P(H_2O) = 1$ kbar. Límite de fases modificado de Hemley y Jones (1964), Montoya y Hemley (1975) y Hemley et al. (1980) por Seedorf et al. (2005).

Como no todas las unidades litológicas presentan la asociación corindón-sericita (\pm and), se presume que la hidrólisis afecto a ciertas unidades solamente, como son la Granodiorita Río Blanco y la unidad litológica a la que esta intruyó, las andesitas de la Formación Farellones.

En este caso, la mineralización secundaria está formada por feldespato potásico, biotita, sericita (\pm albita, turmalina, clorita) y la mineralización sulfurada asociada corresponde a $bn + ccp + mag$; $ccp + mag$; $ccp + py$; mo , tit (titanita), rt (rutilo) (Seedorff et al., 2005).

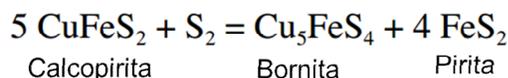
7.4.2. RESUMEN

En cuanto a la distribución espacial del montaje hidrotermal en Río Blanco- Los Bronces, el cemento de brecha hidrotermal contiene, en zonas poco profundas, $qtz-ser-tur$ con $py > ccp \pm mo$. A mayores profundidades, existe $bt-ksp$ con contenidos de $ccp-bn-mo$. Esto es un *telescoping* de alta temperatura (biotita y feldespato potásico) a baja temperatura (feldespato potásico destructivo), lo que quiere decir que, en base a la mineralización y mineralogía secundaria, se está en una zona de transición (Toro et al. ,2012).

7.5. MINERALIZACIÓN

La mineralización de cobre en el yacimiento es hipógena sulfurada, en ausencia de óxidos de cobre. En el resto del yacimiento es principalmente $ccp \gg py \gg \gg bn$, pero en el sector de La Unión Inferior es $ccp \gg \gg bn (\pm py)$. Sin embargo, los minerales de cobre no hipógenos presentes (calcosina, digenita/djurleita), aunque son típicos de enriquecimiento supérgeno, se presentan como minerales secundarios.

Según Einaudi et al. (2003), las asociaciones bornita y/o calcopirita, y pirita + calcopirita son típicas de un estadio de sulfuración intermedio, consecuente con las alteraciones hidrotermales descritas, y que coincide con el límite entre sulfuración intermedia a alta, la cual está dada dada por la reacción de sulfuración (definida por los mismos autores):



Así se determina que el estado de sulfuración de los Cuerpos de Alta Ley es de intermedio a alto.

7.5.1. OCURRENCIA

La ocurrencia de la mineralización es predominantemente diseminada, en cúmulos (>3 mm) y en vetillas-microvetillas. Esto quiere decir que la mineralización se produjo durante un dominio semi-dúctil de la roca, es decir, a temperaturas intermedias, lo que según el modelo de ocurrencia de Lowell y Guilbert (1970) ocurriría entre la zona potásica y filica, en la zona de mena, consecuente con los resultados (y la escasa pirita presente en el sector).

7.5.2. RELACIÓN CON ALTERACIONES

En base a las observaciones mineralógicas y a los resultados obtenidos en los gráficos de la sección Alteraciones Hidrotermales en Resultados, son las alteraciones las que controlan las leyes de cobre y no las unidades litológicas, aunque las características de la roca inciden en la interacción agua/roca dada su composición y permeabilidad. Esto se observa en la roca caja que posee diferentes grados de mineralización, por lo que encontrar Granodiorita Río Blanco no implica buenas leyes, pero sí si se halla con un alto porcentaje de alteración sericita gris-verde. Esta alteración (SGV) removilizaría el cobre, provocando un leve enriquecimiento hipógeno.

La mineralización de bornita va asociada a fluidos hidrotermales de alta temperatura, por lo que su pico de la línea de tendencia no concuerda con la de la alteración SGV, sino con la

8. CONCLUSIONES

La Unión Inferior está ubicada en un sector privilegiado del depósito Río Blanco, limitada por cuerpos estériles (Chimenea Dacítica y Pórfido Don Luis) y en un área en que se traslapan tres dominios estructurales (NW, NS, NE), en zonas profundas y rodeadas por Granodiorita Río Blanco (GDRB), la cual se mineralizó con la evolución del depósito. La roca caja, conformada por GDRB y la Andesita de la Formación Farellones en que la granodiorita se emplazó, presentan, además de una alteración potásica de fondo y penetrativa, una hidrólisis temprana de alta temperatura evidenciada por la asociación corindón-sericita (\pm andalusita), asociada a una alteración transicional potásica-sericítica de alta temperatura ($\sim 550^{\circ}\text{C}$); el corindón se forma en un rango superior a los 370°C , mientras que la alteración sericítica gris verde (SGV) se presentaría en un rango entre 180 y 400°C . Estas características le otorgan a la roca caja una mineralización de calcopirita con menor bornita y calcosina (digenita/djurleita) en trazas, como reemplazo, en ocurrencia primordialmente diseminada.

Las unidades posteriores corresponden principalmente a pórfidos y brechas asociadas a estos, las que también están mineralizadas. Las rocas con menores leyes son los pórfidos, y aunque sean considerados estériles en el resto del yacimiento, en este sector en particular poseen leyes superiores a $0,5\%$ de Cu. Por otra parte, la unidad litológica que posee mejor concentración de Cu es la Brecha de Sílice-Feldespatos Potásico, unidad cuyo origen no es muy claro. No se sabe con certeza si derivaría de la recristalización de la matriz de la Brecha Polvo de Roca, si es una facies distinta de la Brecha de Pórfido o si es una brecha completamente distinta. Sin embargo, según lo observado, posee más similitudes con la Brecha de Pórfido, confundiendo con esta y distinguiéndola a muestra de mano solo por la mineralización de mena sulfurada.

La mineralización sulfurada hipógena caracteriza al sector y al yacimiento Río Blanco, pero los CAL presentan la asociación calcopirita-bornita y poca pirita. A partir de esto, se concluye que los Cuerpos de Alta Ley están más alterados, porque el sector está ubicado en la intersección de distintos dominios estructurales cuyas fallas generan permeabilidad, controlando los conductos de transporte de fluidos. Además, el sector se encuentra entre cuerpos estériles que podrían colaborar a limitar el volumen de roca con alta concentración de Cu. Luego, los factores para que a partir de dicho fluido magmático-hidrotermal precipite calcopirita (que ocurriría entre 410°C y 300°C si se transporta como complejo clorurado) serían propicios. Estos son: (1) la intermedia a alta sulfuración del sector de estudio, (2) el aumento de la fugacidad de oxígeno y (3) la sobreimposición de las alteraciones hidrotermales definidas, las cuales evidencian: un aumento del pH (a partir de la hidrólisis) y una disminución de la temperatura hasta cerca de los 300°C , cuyo gradiente sería más abrupto a medida que los fluidos se acercan a la superficie.

Es importante destacar que, a pesar de que ciertas unidades litológicas se caractericen por hospedar la mineralización, no son estas las que controlan las concentraciones de cobre, sino las alteraciones hidrotermales que las afectan, aunque dependa de la composición y permeabilidad de la roca. La alteración sericita gris-verde parece tener una relación directa con las leyes de cobre, pues se observó que en más de 1000 metros de sondaje, la curva de tendencia polinómica de las leyes de cobre total (CuT) sufren las mismas fluctuaciones que la alteración SGV, sin mayor incidencia del tipo de unidad litológica.

9. BIBLIOGRAFÍA

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

AGUIRRE, R. 1999. "Deposición y deformación de la secuencia volcánica terciaria en el sector cordillerano de Pata del Diablo, Cajón del Maipo". Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 60 p.

BAEZA, O., 1999. "Análisis de litofacies, evolución depositacional y análisis estructural de la Formación Abanico en el área comprendida entre los ríos Yeso y Volcán, Región Metropolitana". Memoria, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 119 p.

BARTON, P.; SKINNER, B. 1979. "Sulfide mineral stabilities" in Barnes, H. L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Second Edition: New York, Holt, John Wiley & Sons, p. 278-403.

BECCAR, I.; VERGARA, M. y 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, p: 109-113. Santiago, Chile.

CAHILL, T.; ISAACS, B., 1992. "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate". Journal of Geophysical Research, vol. 97, p: 503-529.

CEPEDA, A. 1981. "Geología económica del Distrito Río blanco-Disputada". Inst. Inv. Geol. Chile, vol. 36, p: 1-46

CHARRIER, R.; DAVIDSON, J.; MPODOZIS, A.; RNANO, S.; THIELE, R.; TIDY, E., VERGARA, M.; VICENTE, J.-C. 1974. "Andean magmatism: its paleogeographic and structural setting in the central part (30" to 35"s) of the Southern Andes". Pacific Geol. vol. 8, p: 1-38.

CHARRIER, R.; BUSTAMANTE, M.; COMTE, D.; ELGUETA, S.; FLYNN, J. J., ITURRA, N.; WYSS, A. 2005. "The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift.(With 5 figures)". Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen, vol. 236, n° 1-2, p: 43-78.

CODELCO – División Andina. Superintendencia de Geología, Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo. "Manual de Estándar Geológico"

CORBETT, G.; LEACH, T. 1997. "Short course manual: Southwest Pacific rim gold-copper systems: Structure, alteration and mineralization". G. Corbett & T. Leach, 5/97 Edn.

CREASEY, S. 1966. "Hydrothermal alteration, in Tittley, S.R. and Hicks, C.L. eds., *Geology of the porphyry copper deposits*". Tucson: University of Arizona.

DECKART K, GODOY E., BERTENS A.; JÉREZ D.; SAEDD A. 2010. "Barren Miocene granitoids in the Central Andean metallogenic belt, Chile: geochemistry and Nd-Hf and U-Pb isotope systematics". *Andean Geology*, vol. 37, n° 1, p: 1–31.

DECKART, K.; CLARK, A.; AGUILAR, C.; VARGAS, R.; BERTENS, A.; MORTENSEN, J.; FANNING, M. 2005. "Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Rio Blanco porphyry copper deposit, central Chile: implications of an integrated U-Pb and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ database". *Economic Geology* vol. 100, n° 5, p: 905-934.

DECKART, K.; CLARK, A.; 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) and Re-Os geochronology and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ thermochronology data". *Mineralium Deposita*, vol. 48, p: 57–79.

DECKART, K.; SILVA, W.; VELA, I. 2014. "Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: an update" *Mineralium Deposita*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DRAKE, R.; CHARRIER, R.; THIELE, R.; MUNIZAGA, F.; PADILLA, H.; VERGARA, M. 1982. "Distribución y edades K-Ar de volcanitas post-Neocomianas en la Cordillera Principal entre 32 y 36 LS Implicaciones estratigráficas y tectónicas para el Meso-Cenozoico de Chile Central". In *Congreso Geológico Chileno*, n° 3, p: 42-78.

EINAUDI, M.; HEDENQUIST, J.; 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.

FLYNN, J.J.; SWISHER, C.C. III, 1995b. "An early Miocene anthropoid skull from the Chilean Andes". *Nature*, vol. 373, p: 603-607.

FOCK, A., 2005. "Cronología y tectónica de la exhumación en el neógeno de los Andes de Chile Central entre los 33° y los 34° S". Tesis para optar al grado de magíster en Ciencias, mención Geología, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 235p.

FRIKKEN, P. H.; COOKE, D. R.; WALSH, J. L.; ARCHIBALD, D.; SKARMETA, J.; SERRANO, L.; & VARGAS, R. 2005. "Mineralogical and isotopic zonation in the Sur-Sur tourmaline breccia, Rio Blanco-Los Bronces Cu-Mo deposit, Chile: Implications for ore genesis". *Economic Geology*, vol. 100, n° 5, p: 935-961.

FRIKKEN, P.H., 2003. "Breccia-Hosted Copper-Molybdenum Mineralization at Rio Blanco, Chile". Memoria de Doctorado, Universidad de Tasmania, Australia.

FUENTES, F.; VERGARA, M.; AGUIRRE, L.; FÉRAUD, G., 2002. "Relaciones de contacto de unidades volcánicas terciarias de los Andes de Chile central (33° S): una reinterpretación sobre la base de dataciones $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ". *Revista Geológica de Chile*, vol. 29, n° 2, p: 207- 225.

FUENTES, F.; VERGARA, M.; NYSTRÖM, J.; FÉRAUD, G; AGUIRRE, L. 2001. "Sr-Nd Isotope change of late Cretaceous to early Miocene volcanic rocks Central Chile (33°S)". *Third South American Symposium on Isotope Geology, extended Abstracts Volume (CD)*, p: 297-300.

GANNA, P.; WALL, R. 1997 "Evidencias geocronológicas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ y K-Ar de un hiatus cretácico superior-eoceno en Chile central (33-33° 30'S)." *Andean Geology* 24.2, p: 145-163.

GODOY, S.; VELA, I; SKEWES, M. y STERN, C. 1996. "The Late Miocene 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, p: 119-130.

GONZÁLEZ, O., 1963. "Observaciones geológicas en el Valle del río Volcán". Publicación n° 41, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, p: 20-61.

GUSTAFSON, L.; HUNT, J. 1975. "The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile." *Economic Geology*, vol. 70, n° 5, p: 857-912.

GUSTAFSON, L.; QUIROGA, J. 1995. "Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper ore body at El Salvador, Chile". *Economic Geology*, vol. 90, n° 1, p: 2-16.

HEMLEY, J.; MONTOYA, J.; MARINENKO, J. & LUCE, R. 1980. "Equilibria in the system $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ and some general implications for alteration/mineralization processes". *Economic Geology*, vol. 75, n° 2, p: 210–228.

HOLLINGS, P.; COOKE, D.; and 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*, vol. 100, p: 887–904.

KAY, S.; GODOY, E.; KURTZ, A. 2005. "Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion and magmatism in the south-central Andes". *Geological Society of America Bulletin*, vol. 117, n° 1, p 67-88.

KAY, S.; MPODOZIS, C. 2001. "Central Andean ore deposits linked to evolving shallow subduction systems and thickening crust". *GSA Today*, vol. 11, n° 3, p: 4-9.

KLOHN, C. 1960. "Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, Provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó". Instituto de Investigaciones Geológicas. Boletín n° 8, p: 95. Santiago, Chile.

KURTZ, S.; 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*, vol. 24, p: 75–90

LATORRE, M. 1981 "La Formación Río Blanco en el área de la Mina Andina". Tesis no publicada. Santiago, Universidad de Chile, Departamento de Geología, p: 1-112.

LEWIS, M. 1996 "Characterisation of hypogene covellite assemblages at the Chuquicamata porphyry copper deposit, Chile, Section 4500 N" Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Sciences, Dalhousie University Halifax, Nova Scotia.

LÓPEZ, L.; VERGARA, M. 1982. "Geoquímica y petrogénesis de rocas granodioríticas asociadas con el yacimiento cuprífero Río Blanco – Los Bronces". *Andean Geology*, nº 15.

LOWELL, D.; GUILBERT, J.M. 1970. "Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits". *Economic Geology*, vol. 65, nº 4, p: 373-408.

MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MCWILLIAMS, M.; FANNING, M.; MATHUR, R.; RUIZ, J.; ZENTILLI, M. 2004 "New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U/Pb, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, Re/Os and fission-track dating: implications for the evolution of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit." *Andean Metallogeny: New Discoveries, Concepts Update*. Society of Economic Geologists, Special Publication 11, p: 15-54.

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*, vol. 36, nº 2, p: 153-171.

MATHUR, R.; RUIZ, J.R.; MUNIZAGA, F. 2001. "Insights into Andean metallogenesis from the perspective of Re–Os analyses of sulphides". *South American Isotope Conference*, (CD-ROM). SERNAGEOMIN, Chile, p: 4.

MUNIZAGA, F.; VICENTE, J. 1982. "Acerca de la zonación plutónica y del volcanismo miocénico en los Andes de Aconcagua (La. 32-33°S): Datos radiométricos K-Ar". *Revista Geológica de Chile*, nº. 16, p: 3-21.

ORTIZ, F.; CALDERÓN, J. 2006. "Modelo Estructural Andina", Superintendencia de Geotecnia, Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo. CODELCO – División Andina.

RAMOS, V.; CRISTALLINI, E.; PÉREZ, D. 2002. "The Pampean flat-slab of the Central Andes". *Journal of South American Earth Sciences*, vol. 15, p: 59–78.

RIVANO, S.; GODOY, E; VERGARA, M. y VILLAROEL, M. 1990. "Redefinición de la Formación Farellones de los Andes de Chile Central (32°-34°S)". *Revista Geológica de Chile*. nº 15, p: 59-70. Santiago, Chile.

RIVANO, S.; SEPÚLVEDA, R.; HERVÉ, M.; PUIG, A. 1985 “Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud Sur, Chile”. *Revista Geológica, Chile*, vol. 24, p: 63-74.

SALINERO J. 2004. “Eventos de Alteración y Mineralización en el sector Río Blanco, Yacimiento Río Blanco, V Región, Chile”. Memoria para optar al título de Geólogo, Departamento de Geología, Universidad de Chile.

SEEDORF, E.; DILLES, J.; PROFFETT JR, J.; EINAUDI, M. et al. 2005 “Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features”. *Society of Economic Geologists*, vol. 100, p: 251-298.

SELLÉS, D., 1999. "La Formación Abanico en el Cuadrángulo Santiago (33° 15'-33° 30'S; 70°30'-70°45'O), Chile Central. Estratigrafía y geoquímica". Tesis, Departamento de Geología, Universidad de Chile, Santiago, 154p.

SERRANO, L.; VARGAS, R.; STAMBUCK, V.; AGUILAR, C.; GALEB, M.; HOLMGREN, C.; CONTRERAS, A.; SERRANO, L. 1996. “The late Miocene to early Pliocene Río Blanco-Los Bronces copper deposit, central Chilean Andes. Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny”. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, vol. 5, p: 119-130.

SGS MINERALS SERVICES. 2013. “QEMSCAN Operational Modes”. T3 SGS 1104.

SIIVOLA, J.; SCHMID R. 2007. “12. List of Mineral Abbreviations”. Recommendations by the IUGS Subcommittee on the Systematics of Metamorphic Rocks: Web version 01.02.2007.

SILLITOE R. H.; PERELLÓ, J. 2005. “Andean copper province: tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery”. *Economic Geology One Hundredth Anniversary* (Hedenquist, JW; Thompson, JFH; Goldfarb, R), p: 845-890.

SILLITOE, R. H. 2010. “Porphyry copper systems”. *Economic Geology*, vol. 105, nº 1, p: 3-41.

SKEWES, A.; STERN, C.; HOLMGREN, C.; CONTRERAS, A.; GODOY, E.; VELA, I.; RIVANO, S., 1991. "Evolución Magmática cerca del borde sur del segmento de bajo ángulo de subducción en Chile Central (32-34°S)". *Resúmenes ampliados del Congreso Geológico Chileno*, p: 146-148.

SKEWES, M. y STERN, C. 1995.”Genesis of the late Miocene to Pliocene copper deposits of Central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution”. *International Geology Review*, vol. 37 p: 71-84.

SKEWES, M.; HOLMGREN, C.; 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*, vol. 38, p: 2–21.

SKEWES, M.; STERN, C.R., 1995. "Genesis of the giant late Miocene to Pliocene Cu deposits of Central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution". *International Geology Reviews*, vol. 37, p: 893–909

STAMBUCK, V.; SERRANO, L.; BLONDEL, J. 1982. "Geología del Yacimiento Río Blanco". III Congreso Geológico Chileno, Tomo II, Concepción, Chile.

STAMBUCK, V.; HOLMGREN, C.; CONTRERAS, A.; SERRANO, L.; GODOY, S.; GALEB, M. y VELA, I. 1994. "Geología del Megayacimiento Río Blanco-Los Bronces, Chile Central". VII Congreso Geológico Chileno, vol. 2, p: 1627-1628. Concepción, Chile.

STERN, C., 2004. "Active Andean Volcanism: its geologic and tectonic setting". *Revista Geológica de Chile*, vol. 31, n° 2, p: 161-206.

STERN, C.; SKEWES, M. 2005 "Origin of giant Miocene and Pliocene Cu-Mo deposits in central Chile: Role of ridge subduction, decreased subduction angle, subduction erosion, crustal thickening and long-lived, batholith sized, open-system magma chambers." Porter Geoconsultancy Publishing, de Adelaide, Australia, p: 65-82.

STERN, C.R., 1989. "Pliocene to Present migration of the volcanic front, Andean southern volcanic zone". *Revista Geológica de Chile*, vol. 16, p: 145–162.

THIELE, R. 1980. "Hoja de Santiago". Carta Geológica. Instituto de Investigaciones Geológicas. n° 39, p: 51. Santiago, Chile.

TORO, J. C.; ORTÚZAR, J.; ZAMORANO, J.; CUADRA, P.; HERMOSILLA, J., & SPRÖNHLE, C. 2012. "Protracted magmatic-hydrothermal history of the Río Blanco-Los Bronces district, Central Chile: development of world's greatest known concentration of copper." *Society of Economic Geology, Special Publication*, vol. 16, p: 105-126.

VERGARA, M.; DRAKE, R., 1979a. "Edades K/Ar en secuencias volcánicas continentales post-neocomianas de Chile Central; su depositación en cuencas intermontanas restringidas". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, vol. 34, p: 42-52.

VERGARA, M.; DRAKE R. 1978. "Edades potasio-argón y su implicancia en la geología regional de Chile central." *Comunicaciones* 23, p: 1-11.

VOUDOURIS, P. 2014. "Hydrothermal corundum, topaz, diaspore and alunite supergroup minerals in the advanced argillic alteration lithocap of the Kassiteres-Sapes porphyry-epithermal system, western Thrace, Greece". *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry*, vol. 191, n° 2, p: 117-136.

WARNAARS, F. W.; HOLMGREN, C.; BARASSI, S. 1985. "Porphyry copper and tourmaline breccias at Los Bronces-Río Blanco, Chile". *Economic Geology*, vol. 80, n° 6, p: 1544-1565.

APÉNDICE A: ABREVIACIONES DE MINERALES

Tabla 1. Lista de abreviaciones de nombres de minerales utilizados en este trabajo, recomendado por SCMR (*Subcommission on the Systematics of Metamorphic Rocks*) (J. Siivola y R. Schmid, 2007).

Nombre Mineral	Abreviación
Albita	Ab
Andalucita	And
Anhidrita	Anh
Bornita	Bn
Biotita	Bt
Carbonato	Cb
Calcosina	Cc
Calcopirita	Ccp
Clorita	Chl
Corindón	Crn
Digenita	Dg
Feldespato	Fsp
Yeso	Gp
Hornblenda	Hbl
Hematita	Hem
Feldespato Potásico	Ksp
Magnetita	Mag
Molibdenita	Mo
Muscovita	Ms
Plagioclasa	Pl
Pirita	Py
Cuarzo	Qtz
Rutilo	Rt
Sericita	Ser
Turmalina	Tur
Circón	Zrn

APÉNDICE B: CLASIFICACIÓN DE VETILLAS

A continuación se describen los tipos de vetillas más importantes identificados en el yacimiento Río Blanco según temporalidad y su relación con los principales ambientes de alteración-mineralización (Información otorgada por la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo).

1. ETAPA TARDIMAGMÁTICA

Las estructuras asignadas a esta etapa forman parte de las zonas de alteración potásica. Se estima que su emplazamiento se produjo en un ambiente semi-dúctil, evidenciado por su forma sinuosa, mediante un proceso de metasomatismo potásico a temperaturas probables entre 600°C y 800°C. Se identifican tres tipos, las vetillas *Early Biotite* denominadas EB y vetillas transicionales, entre EB y A, denominadas EBT o *Early Biotite Transitional*; y las vetillas de cuarzo tipo A con característicos halos de feldespato potásico.

1.1. VETILLAS TIPO EB

Vetillas finas de potencia reducida de diseño irregular, comúnmente no sobrepasan los 10 mm y están compuestas de biotita y/o cuarzo con o sin halo de biotita y mineralización asociada predominante de bornita y calcopirita, aunque localmente se ha identificado pirita como componente principal.

1.2. VETILLAS TIPO EBT

Algunas vetillas de textura granular con relleno de cuarzo, feldespato potásico, anhidrita y sulfuros con halos biotíticos se observan transicionales entre el evento EB y las vetillas de cuarzo tipo A, denominándose vetillas EBT “Early Biotite Transitional”. Las vetillas EBT son más anchas que las vetillas EB, comúnmente >10 mm, poseen relleno granular bien definido entre 2-5 mm de ancho, compuesto de cuarzo, feldespato potásico, anhidrita y sulfuros en una disposición irregular bordeada por un claro halo biotítico fino pardo con proporciones menores de feldespato potásico, cuarzo y sericita. Calcopirita y bornita pueden estar presentes en el relleno como en halos de estas vetillas.

1.3. VETILLAS TIPO A

Vetillas milimétricas sinuosas y discontinuas con un relleno de textura granular compuesto por cuarzo y menores proporciones de feldespato potásico y anhidrita, con escasa mineralización en el relleno. Presentan halos estrechos de feldespato potásico y/o albita. Cortan a todas las vetillas anteriores y en el sector Sur-Sur cortan a la brecha turmalina. En algunos sectores contienen mineralización de molibdenita junto a los sulfuros anteriormente descritos, estas vetillas posiblemente correspondan a la transición entre vetillas tipo A y B.

2. ETAPA TRANSICIONAL

Corresponde a un ambiente frágil (evidenciado por la generación de planos rectos continuos donde se emplazan las vetillas), a temperaturas del orden de ± 400 °C. Se asume que rellenan fracturas producidas por pérdida de volumen en un sistema que se enfría. Forman parte del evento principal de depositación de molibdeno.

2.1. VETILLAS TIPO B

Vetillas milimétricas a centimétricas, planares, continuas, bandeadas, normalmente sin halo de alteración o con halos milimétricos de albita-feldespato potásico, constituidas principalmente por cuarzo crustiforme, típicamente con anhidrita y molibdenita, además de calcopirita y piritita y/o bornita. La mineralización está alineada tanto en las paredes como en la parte central. Presenta una sutura central en la unión de los cristales de cuarzo que se han desarrollado desde las paredes hacia el centro. Al presentar el cuarzo de tipo crustiforme dejan un importante espacio intercrystalino a modo de sutura, el que en ocasiones es reutilizado por vetillas de la etapa hidrotermal.

3. ETAPA HIDROTERMAL TEMPRANA

También llamada etapa fílica temprana, con aporte clorítico y con una asociación de alteración sericita-clorita. Se asume un ambiente frágil, con temperaturas entre 400°C a 300°C. La presencia de sericita hidrotermal obliterando textura y cloritización de las biotitas estaría marcando procesos de alteración retrógrados con hidrólisis.

3.1. VETILLAS TIPO C

Vetillas milimétricas a centimétricas constituidas por relleno de cuarzo y en forma subordinada anhidrita, sericita verde, biotita, clorita y sulfuros. También el relleno puede ser solo de sulfuros. Es característico un extenso y penetrativo halo gris verde (> 10 mm) de tono claro a oscuro, los cuales son preferentemente irregulares y su color estaría dado por la presencia de biotitas cloritizadas o clorita-sericita. Los sulfuros que acompañan a estas vetillas dependen de la zona donde se emplazan pudiendo desarrollar asociaciones de piritita, calcopirita-piritita o calcopirita-bornita, relativamente raras molibdenita y magnetita. Este tipo de vetillas se asemejan a las EBT, pero cortan sistemáticamente a las EBT, A y B, y son cortadas por las vetillas D de halos sericíticos blanquecinos.

4. ETAPA HIDROTERMAL PRINCIPAL

Se forman en condiciones de roca frágil a temperaturas $<300^{\circ}\text{C}$, siendo la hidrólisis el proceso principal de transformación mineralógica, obliterando la textura de la roca de caja. Este evento se superpone cortando o reutilizando vetillas anteriores.

4.1. VETILLAS TIPO D

Vetillas milimétricas a centimétricas (algunas alcanzan potencias decimétricas), planares muy continuas, constituidas principalmente por relleno de sulfuros (pirita-calcopirita) y cuarzo subordinado, con un halo de alteración cuarzo-sericita bien desarrollado color blanquecino por presencia de sericita-caolinita. Es característico que el halo destruya parcialmente la textura de la roca hospedante. Los halos presentan zonación del centro hacia afuera de sericita-caolinita-clorita-esmectita. Es común la presencia de carbonatos y turmalina como accesorio (rosetas) en los halos y ocasionalmente en el relleno.

5. ETAPA HIDROTERMAL TARDÍA

Etapla caracterizada por un ambiente de alta sulfidización, fuerte hidrólisis con valores anómalos de Pb, Zn y As.

5.1. VETILLAS TIPO E

Similares a las vetillas D, pero es característica la presencia de carbonatos de la serie calcita-ankerita-siderita tanto en el relleno como en el halo cuarzo sericítico gris blanco producto de mezcla con arcillas. Poseen relleno de sulfuros con pirita dominante sobre calcopirita y minerales de baja temperatura tales como galena, esfalerita, sulfosales de Cu y Fe (enargita, tennantita-tetraedrita).

Tabla 2. Principales características de las vetillas presentes en el Distrito Río Blanco-Los Bronces. Vetillas tomadas de Gustafson y Hunt (1975; tipos A,B y D) y Gustafson y Quiroga (1995: tipos EB y C).

Tipo de vetilla	Asociación de silicatos	Halo de Alteración	Estilo estructural	Asociación de sulfuros	Posición en el sistema
EB (<i>early biotite</i>)	Bt ± Ab, Ksp, Act	Ab	Discontinuo y sinuoso	Ccp, Bn, menor Py	Profundo
EBT (<i>early biotite</i>)	Ksp, Qtz grueso	Bt	Continuo y sinuoso	Ccp, Bn, menor Py	Profundo
A	Qtz	Ksp	Continuo y sinuoso	Ccp, Bn, Py local	Zona del núcleo
B	Qtz	Ksp local	Regular y continuo	Ccp-Mo, Py local	Zona del núcleo
C	Qtz-Ser (gris-verde), Bt local	Ser (greenish), Bt local	Regular y continuo	Ccp-Bn	Zona del núcleo
D	Qtz, Tur local	Ser	Regular y continuo	Py, Ccp local	Parte superior
DL (<i>D late</i>)	Qtz, Tur local	Ser-Kln	Regular y continuo	Py masiva	Parte superior

APÉNDICE C: ANÁLISIS QEMSCAN

QEMSCAN es un acrónimo de *Quantitative Evaluation of Materials by Scanning Electron Microscopy*, un sistema que difiere de los sistemas de análisis de imagen, ya que está configurado para medir la variabilidad mineralógica basado en la química a escala micrométrica. Consta de un microscopio electrónico de barrido de base, equipado con cuatro detectores de elementos de luz de energía dispersiva de rayos X, un microanalizador y una unidad de procesamiento electrónico diseñado por inteligencia. Por lo tanto, utiliza tanto la intensidad de la señal de electrones retrodispersados (BSE, *Backscattered Electron*) como el espectro de energía dispersiva (EDS, *Energy Dispersive Spectra Signal*) en cada punto de medición. Señales de EDS se utilizan para asignar identidades a los minerales en cada punto de medición comparándola con la señal de la BSE y verificando con un programa de identificación de especies minerales (SIP, *Species Identification Program*) o base de datos.

Típicamente se analizan entre 4-5 secciones pulidas por muestra, los cuales se trituran. El conjunto de datos resultante incluye información sobre entre 12.000 y 50.000 granos. En consecuencia, si la muestra contiene sólo 1% calcopirita, el análisis describirá entre 120 y 500 granos de calcopirita en su muestra.

6. MEDICIONES

Existen tres tipos generales de medición, los que interceptan linealmente y los basados en partículas de mapeo.

6.1. ANALISIS DE MINERALES A GRANEL

Bulk Mineral Analysis (BMA) es realizado utilizando el método de intersección lineal, y se utiliza para proporcionar estadísticamente abundancia de datos para la identificación del mineral, especiación, distribución y cuantificación.

6.2. MAPEO DE PARTÍCULAS

Modos de asignación de partículas incluyen el análisis de partículas (PMA, *Particle Mineral Analysis*), el análisis específico de mineral (SMS, *Specific mineral Search*) y la búsqueda de minerales traza (TMS, *Trace Mineral Search*). Estos proporcionan información sobre las relaciones espaciales de minerales, incluyendo la liberación y la asociación de datos y proporcionan una representación visual de las texturas minerales. Los modos de asignación de partículas de medida también permiten el análisis avanzado de los minerales de interés, como el grado versus relaciones de recuperación y curvas de liberación de minerales.

6.3. FIELD SCAN

El modo de exploración sobre el terreno (FS, *Field Scan*) de medición de los mapas de una muestra de roca o trozos centrales que se ha montado en la sección de pulido. Recoge un espectro químico en un intervalo establecido dentro del campo de visión. Cada campo de visión es luego procesada fuera de línea para producir un mapa digital de baja resolución de la campo de visión.

ANEXO A: IMÁGENES QEMSCAN

En esta sección se visualizan los resultados QEMSCAN de los mapeos de partículas mediante PMA en la Figura 1 y la Figura 2, clasificados según código de muestra y tamaño de malla. Cada malla es representado por un número que indica la cantidad de hilos cruzados por cada pulgada cuadrada, por ejemplo: la malla número 300 tiene 300 hilos verticales y 300 hilos horizontales formando una cuadrícula por cada pulgada cuadrada.

Las muestras utilizadas para este análisis fueron facilitadas por el Área de Geometalurgia. En la Tabla 2 se encuentran los códigos respectivos, su ubicación y la unidad litológica a la que pertenecen.

Tabla 1. Muestras utilizadas para el análisis de mapeo mineralógico según PMA.

Muestras	Caserón	Unidad litológica	Nombre Completo
M-2748	C01	BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato K
M-2754	C01	BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato K
M-3766	C01	GDRB	Granodiorita Río Blanco
M-3769	C01	GDRB	Granodiorita Río Blanco
M-3852	C01	GDRB	Granodiorita Río Blanco
M-3857	C01	BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato K
M-3764	W01	BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato K
M-3765	W01	PDL	Pórfido Don Luis
M-2659	W02	BXSK	Brecha de Sílice-Feldespato K
M-2743	W02	BXB	Brecha de Biotita
M-3849	W02	GDRB	Granodiorita Río Blanco
M-3850	W02	BXPR	Brecha de Polvo Roca



Figura 1. Mapeo de partículas según PMA pertenecientes a muestras de código M clasificadas según tamaño de malla.



Legend

- | | | | | |
|--------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Background | Sphalerite | Amphiboles | Al-Goethite-Harrisonite | Phosphates |
| Chalcopyrite | Arsenopyrite | Sericite/Muscovite | Rutile | Other |
| Bornite | Molybdenite | Biotite | Ilmenite | New Mineral 369 |
| Covellite | Galena | Kaolinite | Sphene | Freibergite-Argentotennantite |
| Chalcocite | Other Sulphides | Montmorillonite | Calcite | |
| Tennantite | Quartz | Other Clays | Dolomite/Ankerite | |
| Tetrahedrite | K-Feldspar | Chlorites | Siderite(Mn) | |
| Enargite | Plagioclase/Albite | Zircon | Gypsum-Anhydrite | |
| Bournonite | Epidote/Zoisite | Titanita/Esfeno | Jarosite | |
| Seligmannite | Tourmaline | Fe Oxides/Oxyhydroxides | Other Sulphates | |
| Pyrite | Amphiboles | Al-Goethite-Harrisonite | Apatite | |

Figura 2. Continuación del mapeo de partículas según PMA pertenecientes a muestras de código M clasificadas según tamaño de malla.

ANEXO B: DESCRIPCIONES PETRO-CALCOGRÁFICAS

1. DESCRIPCIONES DE MUESTRAS DE GALERÍAS

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: PIN
 Código: SN-1
 Origen: Socavón Norte

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
		% Mineralogía primaria: 40 % Mineralogía secundaria: 60
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (20%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	10	Ojos de Qtz de 1.5 mm promedio.
Plagioclasa	6	Euhedrales, sumamente alteradas, de 1 mm promedio.
Biotita	4	Cloritizadas, de 0.2 mm promedio, suelen tener Rt asociado. También suelen estar asociadas con carbonatos. Fácilmente identificables, presentan su hábito tabular bien formado.
Masa Fundamental (80%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespato K	60	Agregado de ambos minerales de tamaño <0,05mm promedio. También existe otra población de Qtz, de tamaño cercano a 0,2 mm.
Plagioclasa	20	De 0,2mm, alterados con Ser.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Rutilo	<1	Se observan algunos cristales aglomerados aislados.
Circón	trazas	Inclusiones.
Apatito	<1	0,1 mm, euhedral. Se observan algunos cristales aislados.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Clorita	27	Alterando biotitas y como minerales propios de Chl.
Sericita	30	Alterando Pl y rellenando espacios principalmente.
Carbonatos	1,2	Asociadas con biotita.
Anhidrita	1,8	Formando parte del relleno de una vetilla de Qtz y Ksp.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,20 % Mena: 0,55
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Diseminada en la muestra, con preferencia en halos de vetillas (60%).
Pirita	0,05	Asociada con cristales de Ccp.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	0,5	Diseminado y asociado con Ccp. Cristales <0,15 mm y otra población de grano muy fino <0,02 mm.
Hematita	0,05	Asociado con la Mag, en textura envolvente.
Rutilo	0,1	Esencialmente asociadas a Bt.

% Sulfuros totales:	0,55
---------------------	------

OBSERVACIONES: La muestra correspondería a una "matriz de pórfido", ya que presenta variación en el tamaño de grano de la masa fundamental y fenocristales de diferentes tamaños, algunos fragmentados. No presenta clastos. Además se halla cortada por un stockwork de vetillas no mineralizadas.

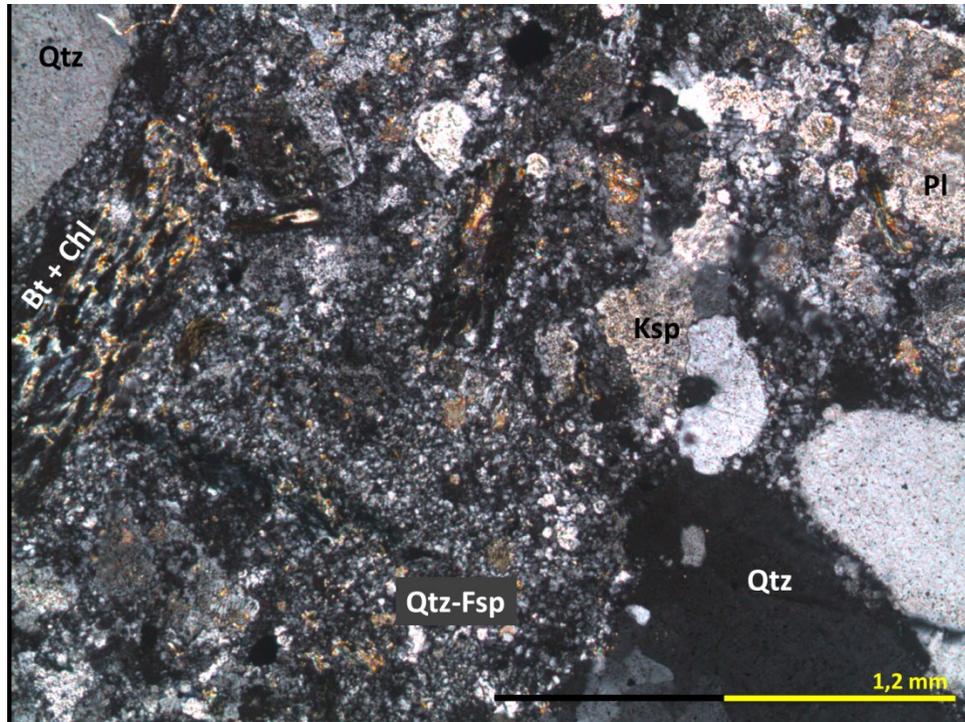


Figura 3. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SN-1 correspondiente a Pórfido Indefinido a nícoles cruzados.



Figura 4. Fotomicrografía de la muestra SN-1 correspondiente a Pórfido Indefinido a luz reflejada.

1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN
 Código: SO-1
 Origen: Socavón Oeste

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 20 % Mineralogía secundaria: 80		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (45%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	18	Existen pocos cristales diferenciables, la mayoría se vislumbra por su forma tabular y tamaño a Np. Fenocristales de hasta 1 mm de largo. Están sericitizadas.
Anfibolas	25	Bt primaria y secundaria. Se considera primarias aquellas distribuidas uniformemente en la muestra. De hábito tabular, son subhedrales.
Rutilo	2	Como mineral accesorio, de observan cristales aislados, subhedrales.
Masa Fundamental (55%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	55	Tipo microlitos, subhedrales.
OBS:		La masa fundamental se encuentra obliterada, debido a una alteración pervasiva de Bt y posterior Ser-Chl.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales Alteración	%	Características/Ocurrencia
Biotita	22	Está asociada a minerales opacos, pues estas anfíbolos los rodean. Conforman cristales tabulares euhedrales, y se encuentran distribuidos en toda la muestra, pero mayormente aglomerados. Intensidad fuerte, de manera penetrativa.
Sericita	30	Asociada con Qtz y en general alrededor de la Bt. Altera de manera fuerte a las Pl, siendo más selectiva con estos fenocristales.
Clorita	20	Cloritizando otros minerales. Como cristales de Chl por sí solos constituyen un 5%.
Cuarzo	8	Se observa en textura poiquilítica.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 2,0 % Mena: 0,5
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Ccp creciendo alrededor de Py, rodeada de óxidos. Diseminada en la roca (60%) y en vetillas (40%).
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Pirita	0,2	En pequeña proporción, asociado a Ccp.
Magnetita	1	Diseminada en la roca y en pequeños cúmulos.
Hematita	0,2	Textura de reemplazo envolvente en Mag mayoritariamente.
Arsenopirita	0,1	Diseminada y en vetillas.

% Sulfuros totales:	0,8
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Roca de composición andesítica, cortada por vetillas de Qtz y Ccp. Del 20% de roca fresca se observa un 45% de fenocristales, entre Pl y Anf; la masa fundamental está muy alterada. La roca sufrió una biotitización penetrativa y una posterior seritización en toda la muestra; cloritización selectiva en Bt. En cuanto a la mineralización, solo presenta Ccp y un 0,17% de Cu.

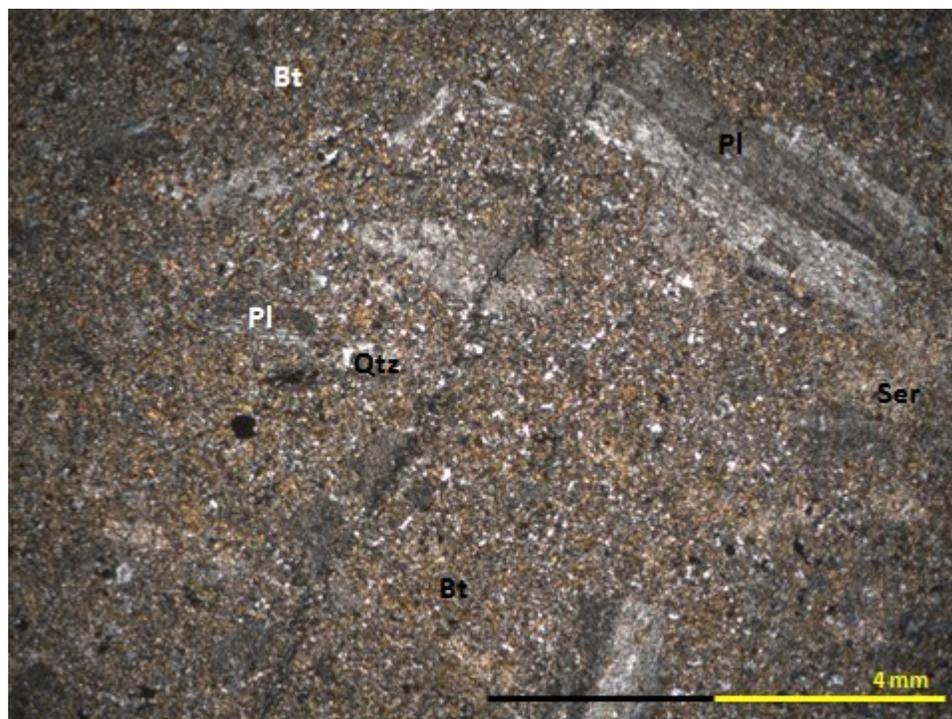


Figura 5. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SO-1 correspondiente a Andesita a nícoles cruzados.

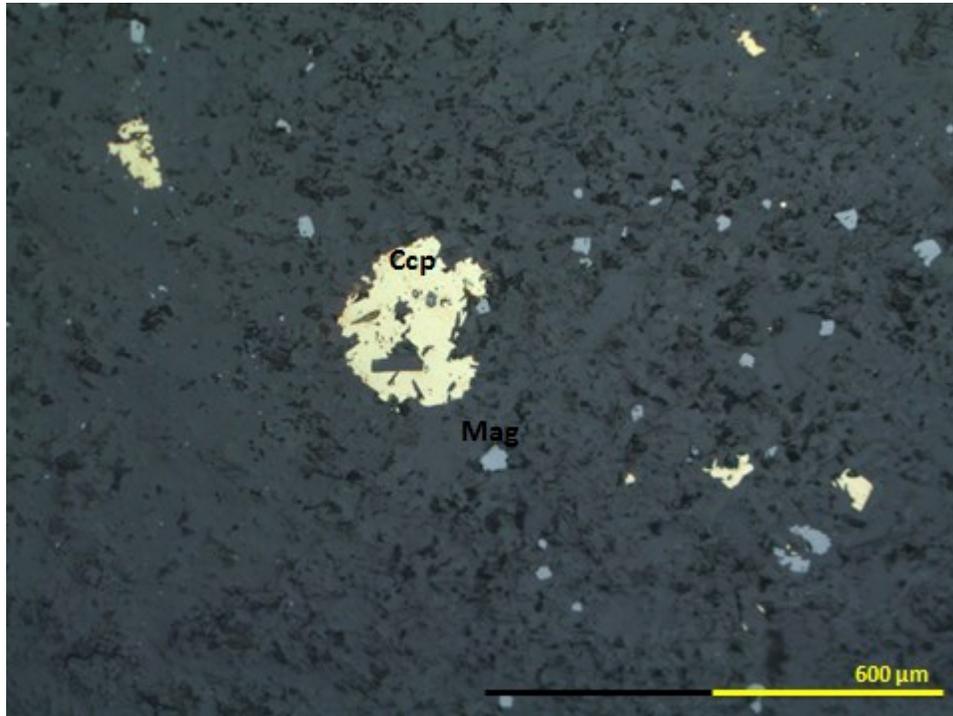


Figura 6. Fotomicrografía de la muestra SO-1 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

1.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXP
 Código: SS-3
 Origen: Socavón Sur

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 60 % Mineralogía secundaria: 40		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (40%)	%	Características/Ocurrencia
Andesita	25	Biotitizada principalmente. Es posible apreciar algunas Pl, aunque están casi todas sericitizadas.
PFELD	15	Se observa en ellas biotitas primarias.
Matriz (60%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	35	Como un agregado consertal de grano fino.
Plagioclasas	25	Se aprecian algunas Pl del mismo tamaño de grano aprox y otros fenocristales de hasta 1 mm.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Rutilo/Esfeno	1	Dispersos en la muestra, aglomerados o como cristales aislados.
Apatito	1	Euhedrales, asociados en general con Bt o Qtz.
Circón	<1	Trazas.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	5	En cúmulos, presentando su hábito acicular radial.
Carbonatos	5	Rellenando espacios, no conforman cristales euhedrales.
Anhidrita	3	En vetillas o relleno de cavidades, en general rodeada de yeso.
Yeso	2	Rodeando a la Anh.
Biotita	15	Es normal que se asocie con carbonatos. Selectivas en las andesitas y media en la masa fundamental del PFELD.
Sericita	10	Selectiva en las Pl principalmente.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,5 % Mena: 0,6
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,6	Diseminada (95%) en la muestra y en fracturas (5%).
Bornita	<<0,1	Asociada con Ccp o aislados. Cristales muy pequeños.
Calcosina	traza	Reemplazando Bn.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,3	Diseminada y en asociación con Ccp.
Rutilo	0,3	Diseminada.
Magnetita	<<0,1	Asociada con Ccp o Hem.
Pirita	0,3	Cristales aislados, diseminados y asociados con Ccp.

% Sulfuros totales:	~1
---------------------	----

OBSERVACIONES: Brecha cuya matriz se halla más recrystalizada que la SS-4 y se caracteriza por su textura consertal. La mineralización es pobre: Ccp diseminada principalmente, pero aparecen minerales de mayor ley (Bn y Cc).

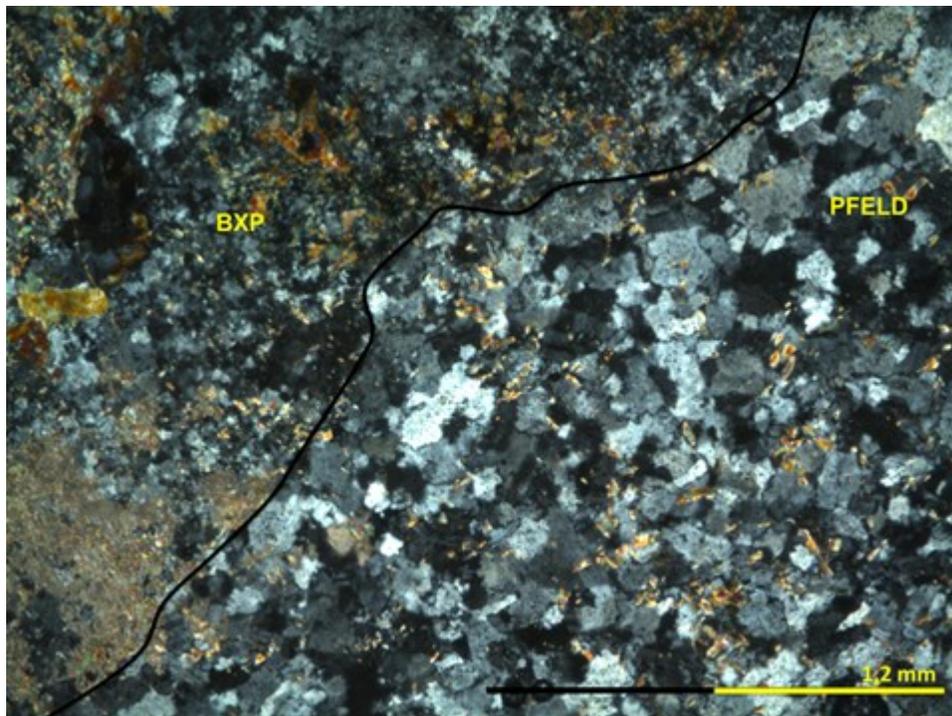


Figura 7. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-3 correspondiente a Brecha de Pórfido a nícoles cruzados.

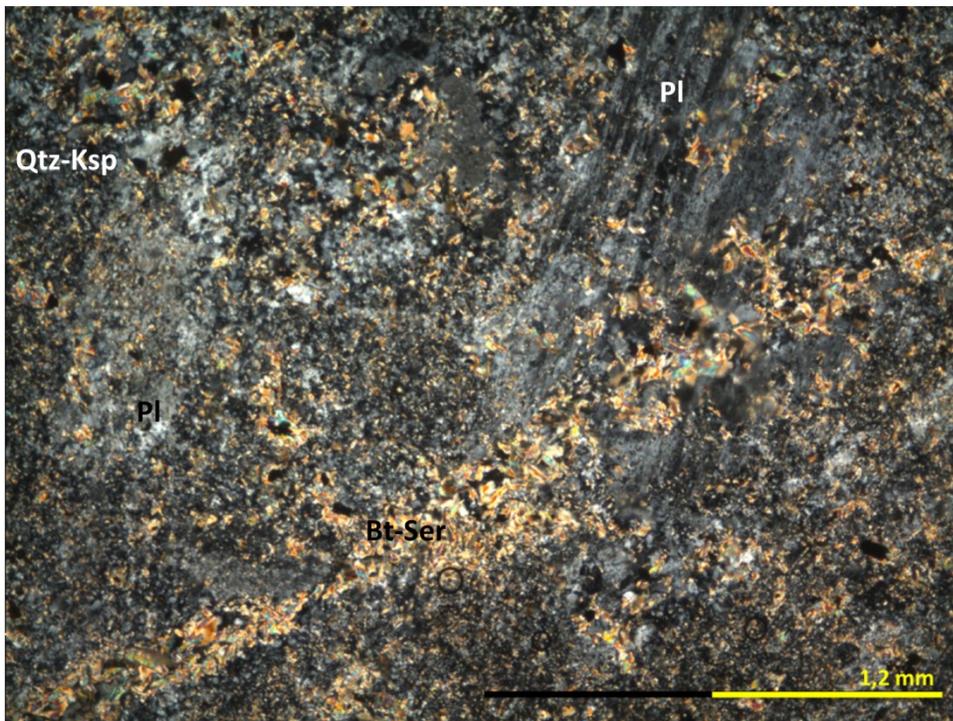


Figura 8. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-3 correspondiente a un clasto de Andesita en la Brecha de Pórfido a nícoles cruzados.

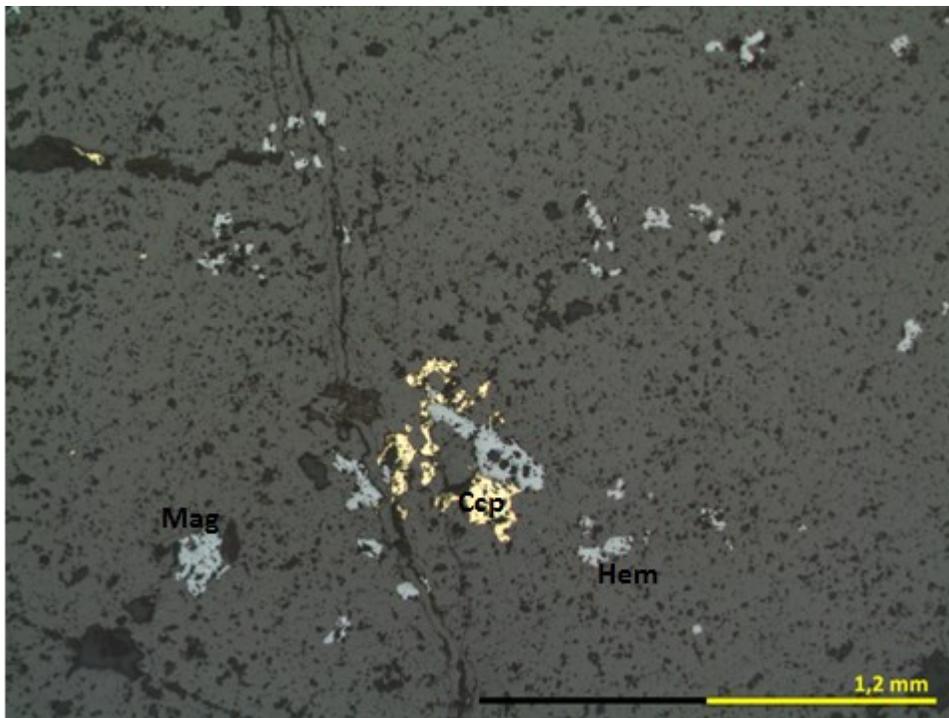


Figura 9. Fotomicrografía de la muestra SS-3 correspondiente a Brecha de Pórfido a luz reflejada.

1.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXP
 Código: SS-4
 Origen: Socavón Sur

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 80 % Mineralogía secundaria: 20		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (35%)	%	Características/Ocurrencia
GDCC	10	Típica, roca 10% alterada con Ser selectiva en las Pl. Con presencia de Bt primarias de 0,3mm promedio y fenocristales de Pl de hasta 2 mm.
PFELD	15	Típica, roca 10% alterada. Presencia de Bt secundarias en la masa fundamental y Ser selectiva en las Pl.
AND	10	Clasto obliterado. Se supone que se trataría de andesita dada su alteración típica.
Matriz (65%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	35	Como agregado, existente en dos poblaciones de tamaño diferentes (<0,05mm y >0,08mm en promedio). La matriz de mayor tamaño presenta fenocristales de plagioclasa.
Plagioclasa	25	Como fenocristales de (0,7 mm promedio) o siendo parte del agregado fino Qtz-Ksp. Alteradas localmente con Ser.
Ojos de cuarzo	5	Presentes en la masa fundamental de la matriz (matriz de la Brecha de Pórfido). Tamaño variable entre 0,5 y 1 mm.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Circón	<1%	Inclusiones en cristales de Qtz y en la masa fundamental.
Apatito	<1%	Inclusiones en cristales de Qtz y en la masa fundamental rodeado de Bt.
Rutilo	1%	
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales Alteración	%	Características/Ocurrencia
Biotita	10	Penetrativa en los clastos de AN, fuerte. También presente en las Pl de manera aislada.
Sericita	5	Selectiva en las Pl, débil.
Carbonatos	3	Rellenando espacios. Anhedrales.
Anhidrita	2	Cristales aislados, fracturados, relleno de cavidades. En promedio de 1 mm.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,0 % Mena: 0,5
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Diseminada (90%) en la muestra y en fracturas o venillas muy finas (10%).
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,3	Diseminada y en asociación con Ccp.
Rutilo	0,2	Diseminado.
Magnetita	<<0,1	Asociado con Ccp.

% Sulfuros totales:	0,5
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Brecha de pórfido, cuyo 65% de matriz presenta variaciones en cuanto a tamaño de grano y sus fenocristales se hallan fragmentados, con presencia de ojos de Qtz típicos de esta litología (PDL). Se observan Vetillas de Ccp-Hem discontinua, finas (<0,25 mm), sinuosas.

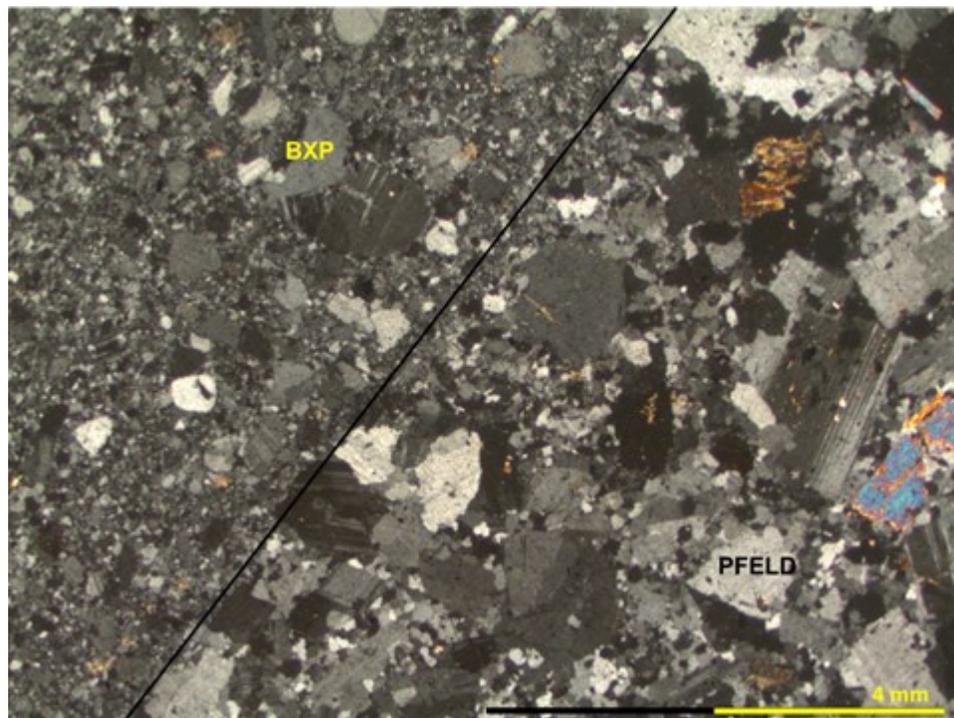


Figura 10. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-4 correspondiente al contacto entre la matriz de la Brecha de Pórfido y un clasto de Pórfido Feldespático a nicoles cruzados.

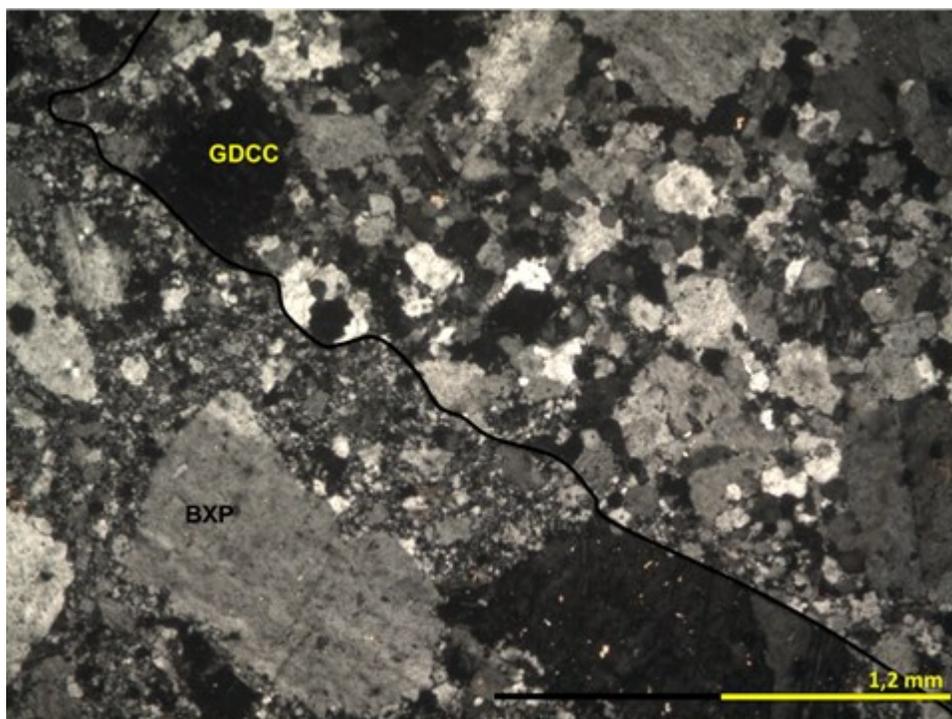


Figura 11. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-4 correspondiente al contacto entre la matriz de la Brecha de Pórfido y un clasto de Pórfido Feldespático a nicoles cruzados.

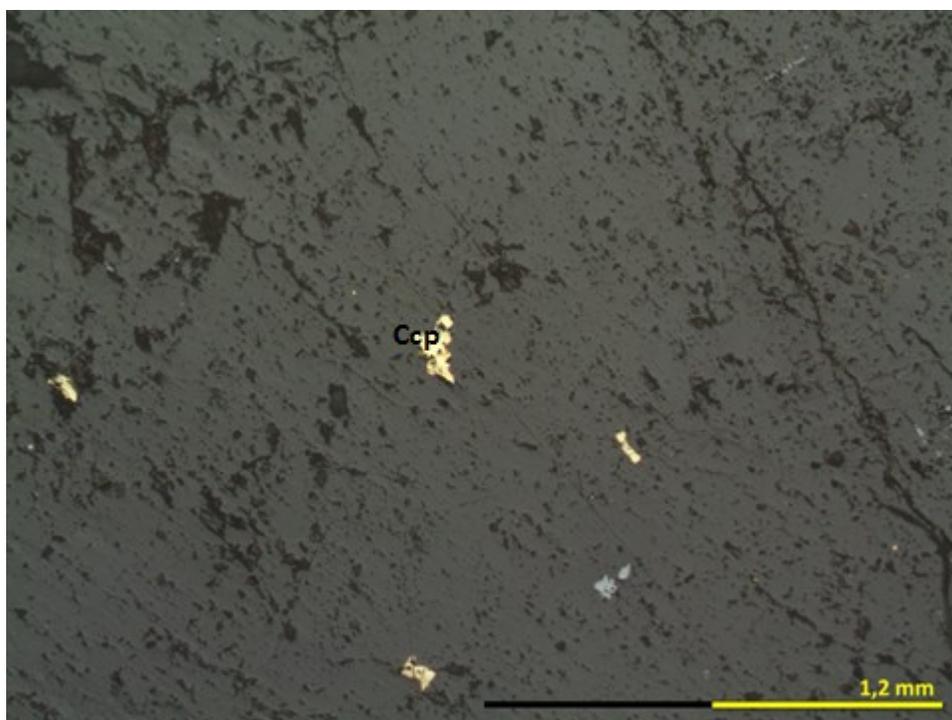


Figura 12. Fotomicrografía de la muestra SS-4 correspondiente a la Brecha de Pórfido a luz reflejada.

1.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXP
 Código: SS-5
 Origen: Socavón Sur

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 70 % Mineralogía secundaria: 30		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (30%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	10	Tipo ojos de Qtz y otros de menor tamaño.
Feldespato K	10	Cristales subhedrales, alterados, con Bordes irregulares de hasta 0,8 mm
Plagioclasa	8	Alteradas con mica blanca, presentan distintos tamaños. Suelen estar quebradas y es común hallarlas agrupadas. De hasta 1,2 mm.
Biotita	2	Existen vestigios de Bt alteradas y otras Bt posteriores, euhedrales, en asociación con apatito y Tur.
Matriz (70%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespato K	70	Agregado de minerales cuya textura parece ser del tipo consertal.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	5	En asociación con las Bt de origen magmático. Estas lo rodean.
Rutilo	<1	En aglomerados o como cristales aislados.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	70	Cristales grandes de mica blanca.
Turmalina	10	Acicular radial, en asociación con la biotita.
Anhidrita	5	Cristales aislados rodeados en asociación con Ser.
Carbonatos	5	Cristales aislados rodeados en asociación con Ser.
Clorita	10	Cloritizando minerales máficos: Bt

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 0,5 % Mena: 0,3
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,3	Diseminada, sin preferencia de matriz o clastos y en vetillas (10%) muy finas.
Bornita	trazas	3 cristales <0,04 mm. En matriz y un ojo de Qtz.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Pirita	0,05	Diseminada, como cristales aislados.
Hematita	0,05	Diseminado, asociado comúnmente con Ccp.
Rutilo	0,1	Diseminado en la roca y asociado con Ccp.
Magnetita	trazas	Pocos cristales, asociados con Hem.

% Sulfuros totales:	0,35
---------------------	------

OBSERVACIONES: Vetillas finas de 0,1 mm de relleno discontinuo de Ccp.

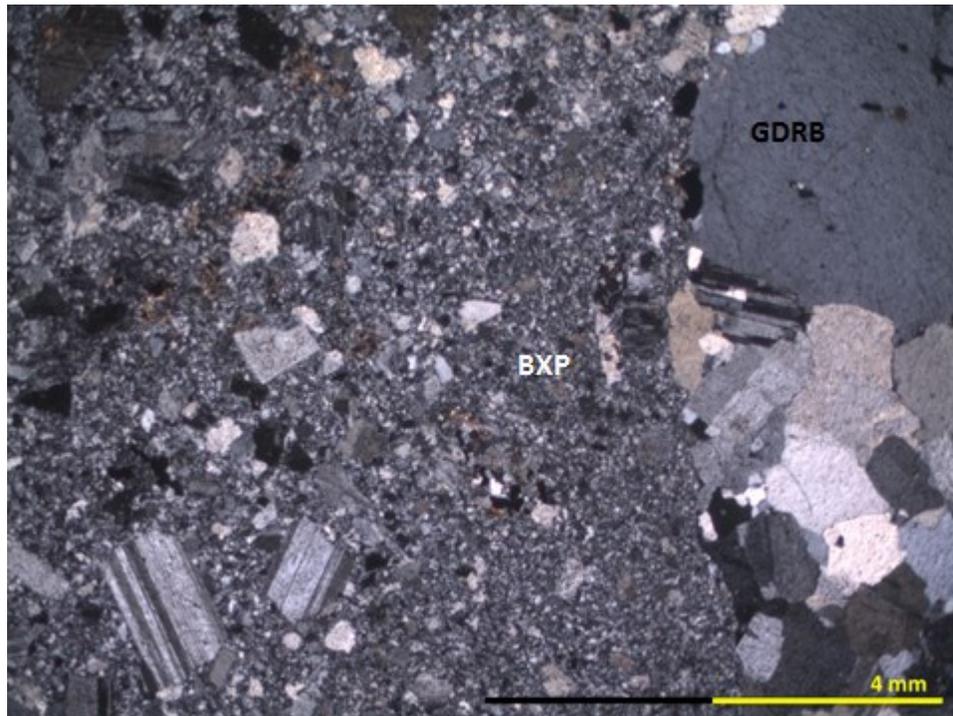


Figura 13. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-5 correspondiente al contacto entre la matriz de la Brecha de Pórfido y un clasto de Granodiorita Río Blanco a nícoles cruzados.

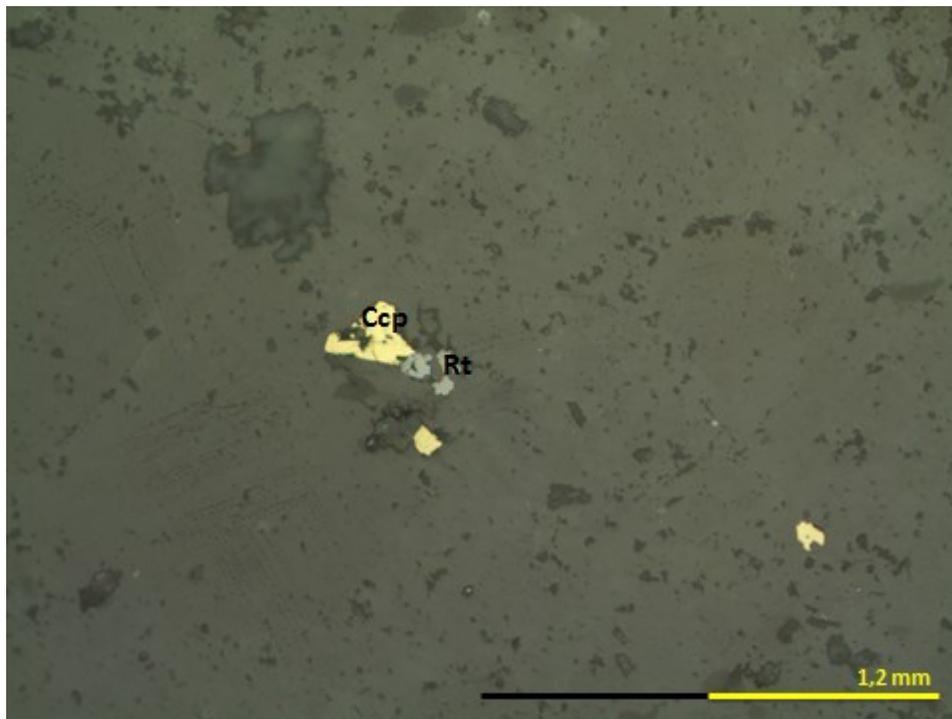


Figura 14. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra SS-5 correspondiente a la Brecha de Pórfido a luz reflejada.

1.6. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: PQM
 Código: WD-2
 Origen: Caserón W02

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 60 % Mineralogía secundaria: 40		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (60%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	40	Cristales de 1mm en general. Se hallan muy alteradas con Ser y arcillizadas en algunos sectores. También presenta textura poiquilítica, albergando albitas.
Cuarzo	13	Cristales tipo "ojos de cuarzo" se observan redondeados. Poseen texturas de absorción y corroídos en los bordes.
Feldespato K	4	
Biotita	3	Cristales de 1mm promedio, aunque hay otros de hasta 2,5mm euhedrales de hábito tabular, pero alterados con Ser y rellenas con carbonato, lo cual suele deformarlas.
Titanita/Rutilo	<1	Mineral accesorio en aglomerados, subhedrales.
Circón	trazas	Mineral accesorio presente en algunos cristales de Qtz.
Masa Fundamental (40%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	20	De 0.05 mm promedio, constituye un agregado con feldespato K, de tamaño uniforme.
Plagioclasa	5	0.1 mm promedio, se encuentra en menor proporción. Alteradas.
Feldespato K	15	Forma un agregado con el Qtz, del mismo tamaño.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales Alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	20	Selectiva en las Pl mayormente y en biotitas, ocurrencia en la masa fundamental también.
Cuarzo	8	Qtz posterior, de diferentes tamaños, relleno de cavidades.
Clorita	2	Ocurrencia en la masa fundamental y en bordes de algunas Pl. Se observa su color característico a Nx, y su tamaño es aprox. <0,05 mm.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,0 % Mena: 0,6
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,6	Diseminada en la roca y en algunas pequeñas fracturas. En general, menor a 0,3 mm, asociada con Py y Rt.
Bornita	<<1	
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Pirita	0,12	En general rodeada de Ccp, no se hallan cristales aislados. Diseminada.
Rutilo	0,8	En asociación con Bt, se encuentra diseminada en estas, pero asociada a los planos de fractura.

% Sulfuros totales:	0,72
---------------------	------

OBSERVACIONES: PQM de roca primaria sin Vetillas. Mineralización diseminada de Ccp>>>Bn, con una ley de 0,21%.

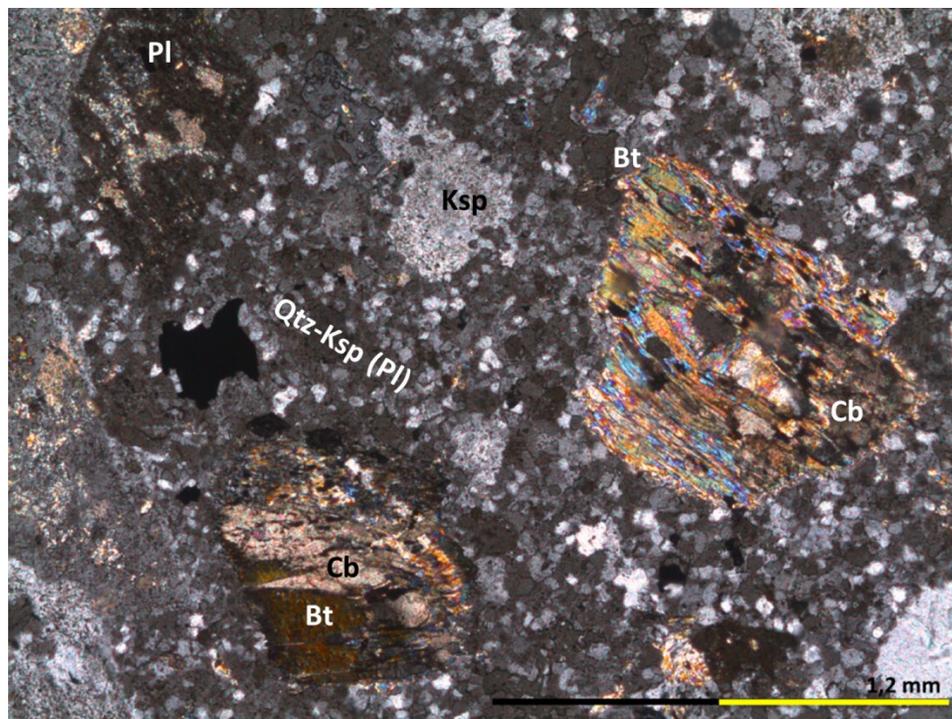


Figura 15. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-2 correspondiente Pórfido Cuarzomonzonítico a nícoles cruzados.

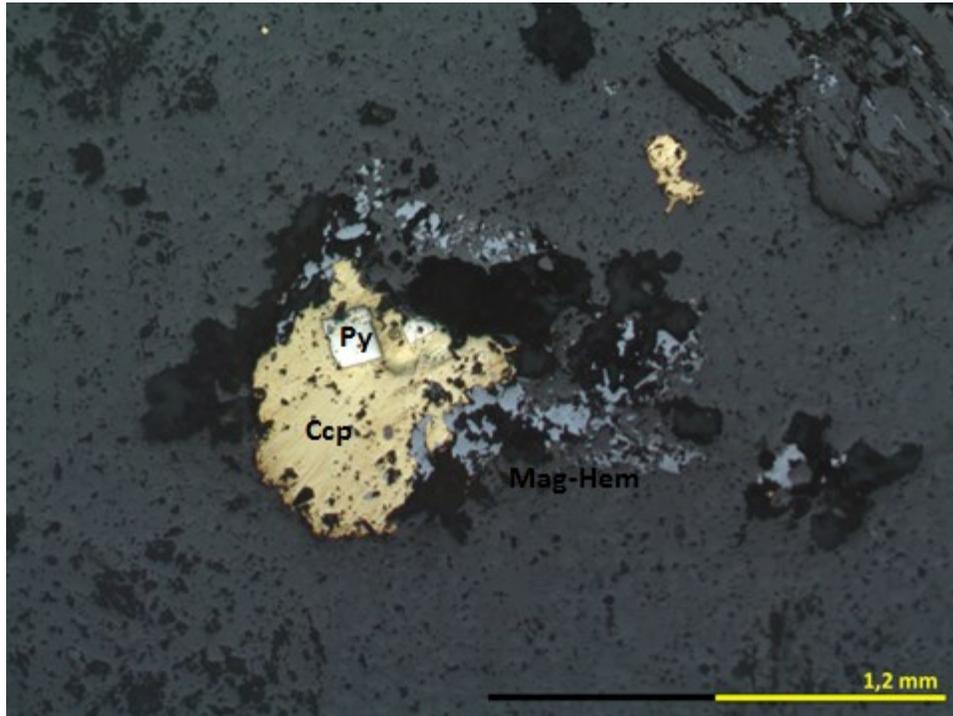


Figura 16. Fotomicrografía de la muestra WD-2 correspondiente Pórfido Cuarzomonzónico a luz reflejada.

1.7. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXPR
 Código: WD-4
 Origen: Caserón W02

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 20 % Mineralogía secundaria: 80		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (65%)	%	Características/Ocurrencia
GDRB	45	Clastos alterados con carbonatos. Posee Qtz (55%) y Ksp (45%) de hasta 1mm.
PIN	20	Pórfido cuya masa fundamental está compuesta casi completamente de Ksp-Pl. Fenocristales tabulares obliterados con Bt, Ser y Cb principalmente.
Matriz (35%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	35	Estos minerales constituyen un agregado fino, subhedral de tamaño ~0,02 mm.
Plagioclasa	0	No se observa.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Rutilo	3	Se presenta aglomerado o como cristales euhedrales aislados.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	10	De hábito tabular y acicular radial, se presenta junto a la Ser; de hasta 0,4 mm. Alteración selectiva.
Sericita	25	De hábito tabular y relieve moderado, presenta manto de arlequín a Nx. Relieve y tamaño mayor a muscovitas observadas en este tipo de rocas ígneas. Se observa penetrativa y entre cristales de Qtz, de intensidad fuerte.
Cuarzo-Feldespatos K	15	Recristalización de Qtz de mayor tamaño que el del protolito.
Biotita	10	Se observan algunos minerales aislados, algunos incluso euhedrales.
Carbonatos	20	Anhedral, de tonos pasteles. Rellenando espacios entre cristales.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 4,0 % Mena: 3,5
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	3	Diseminada (70%) y en cúmulos (30%), de variados tamaños. Forma irregular y rellenando espacios. Mayor mineralización en la matriz; en clastos, diseminación más fina.
Bornita	0,5	De tamaño máximo 0,15 mm, cristales generalmente aislados, diseminados en la roca.
Calcosina	<<0,1	Asociado a Bn en sus bordes.
Molibdenita	<<0,1	Cristales asociados a Ccp. Diseminado.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,4	Diseminado en la roca y asociado a la calcopirita.
Rutilo	0,1	Diseminado en la roca y asociado a la calcopirita.

% Sulfuros totales:	3,5
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Roca de color gris verdoso producto de la alteración SGV, correspondiente a BXPR con clastos de GDRB y PIN, bastante heterogénea. El 80% de la roca está alterada, además, con alteración carbonática>potásica. La mineralización es excelente, posee Ccp>>Bn (Cc, Mo) con una ley de cobre de 1,4%. Se observan vetillas con relleno discontinuo de Ccp menores a 0,2 mm.

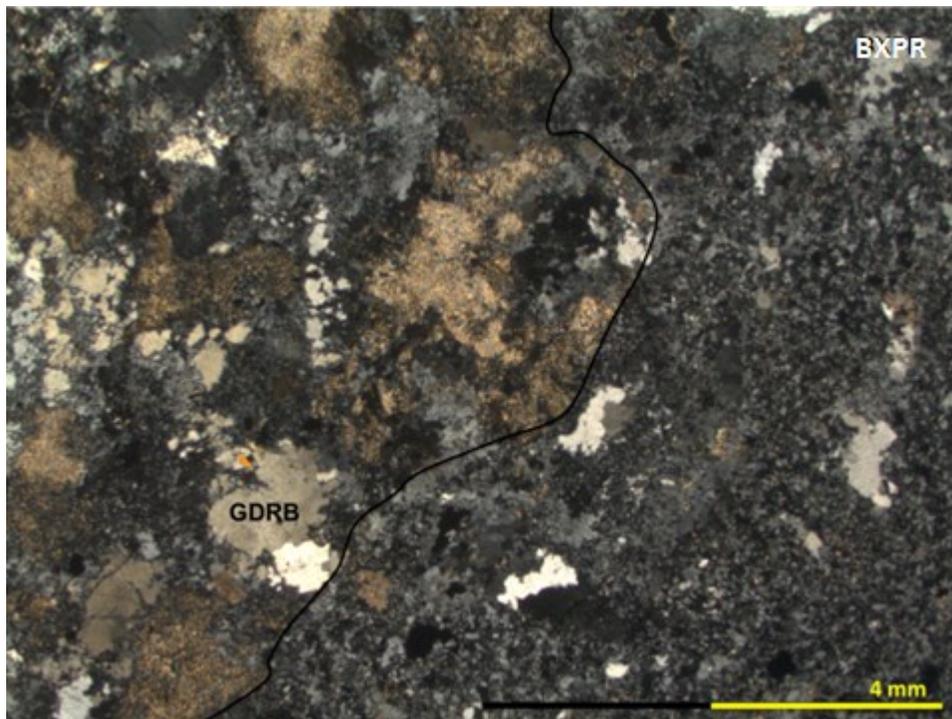


Figura 17. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-4 correspondiente al contacto de la matriz de Brecha Polvo de Roca y un clasto de Granodiorita Río Blanco a nícoles cruzados.

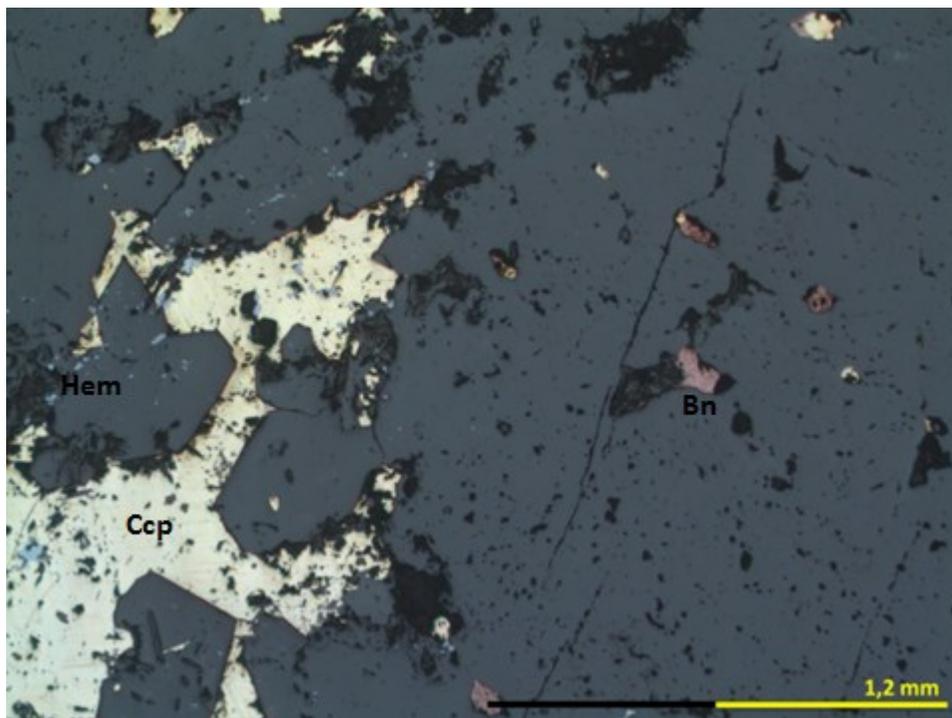


Figura 18. Fotomicrografía de la muestra WD-4 correspondiente a Brecha Polvo de Roca a luz reflejada.

1.8. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXPR
 Código: WD-5
 Origen: Caserón W02

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 25 % Mineralogía secundaria: 75		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (60%)	%	Características/Ocurrencia
GDRB	60	Clasto que preserva Qtz (70%) y Ksp (30%), dado que está alterado, casi obliterado
Matriz (40%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	0	No se observa, debería estar alterada en su totalidad.
Cuarzo	70	Se observa de varios tamaños, siendo considerados los más pequeños y de población homogénea los correspondientes a mineralogía primaria. Se observa textura consertal.
Feldespatos K	20	Cristales de gran tamaño, conforman en ocasiones textura gráfica.
Biotita	0	Aisladas, euhedrales. Dado el grado de alteración de la roca, se consideran secundarias.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Rutilo	9	Se presenta aglomerado o en cristales euhedrales aislados, sin asociarse a otros minerales.
Hematita	1	Se logra observar a Np, dado sus característicos reflejos internos rojos.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	10	Tabular y acicular radial, como mx de alteración y como craquelado.
Sericita	30	Hábito micáceo, rellena espacios entre cristales de Qtz y en agregados.
Carbonatos	5	Aislados, asociados a la Ser.
Biotita	10	De forma tabular, se hallan cloritizadas y aglomeradas.
Cuarzo	20	Recristalización evidenciada por los distintos tamaños de Qtz, irregulares y más grandes que aquellos más frescos.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,5 % Mena: 2,8
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	2	Diseminada (80%), en cúmulos (15%) y vetillas(5%). Cristales de 0,2 mm promedio, asociada con Bn.
Bornita	0,8	Diseminada principalmente, asociada a la Ccp en todas sus ocurrencias. Forma de cúmulos de hasta 1,8 mm. 65% en matriz.
Calcosina	<<0,1	Reemplazando Bn.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Rutilo	0,2	Asociado a Ccp, Bn y óxidos. Diseminado en la roca, de cristales anhedrales en agregados irregulares principalmente.
Magnetita	0,1	Diseminado en la roca, pequeños cristales <0,05
Hematita	0,3	Diseminado en la roca, en menor cantidad que Rt, asociado con este y sulfuros de Cu.

% Sulfuros totales:	2,8
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Roca de color gris verdoso producto de la alteración SGV y craquelada con Tur, correspondiente a BXPR con clastos de GDRB. El 80% de la roca está alterada; además hay gran presencia de carbonatos. Mineralización excelente, posee Ccp>Bn (Cc) con una ley de cobre de 1,2%. La muestra presenta vetillas con relleno discontinuo de Ccp-Bn de 0,3 mm de ancho.

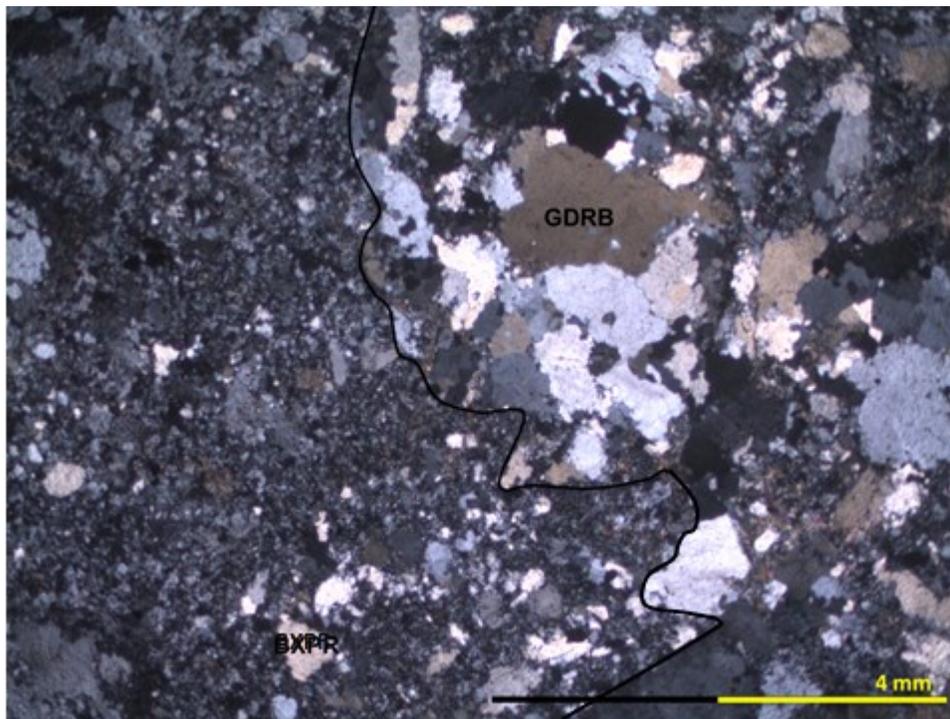


Figura 19. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-5 correspondiente al contacto de la matriz de Brecha Polvo de Roca y un clasto de Granodiorita Río Blanco a nícoles cruzados.

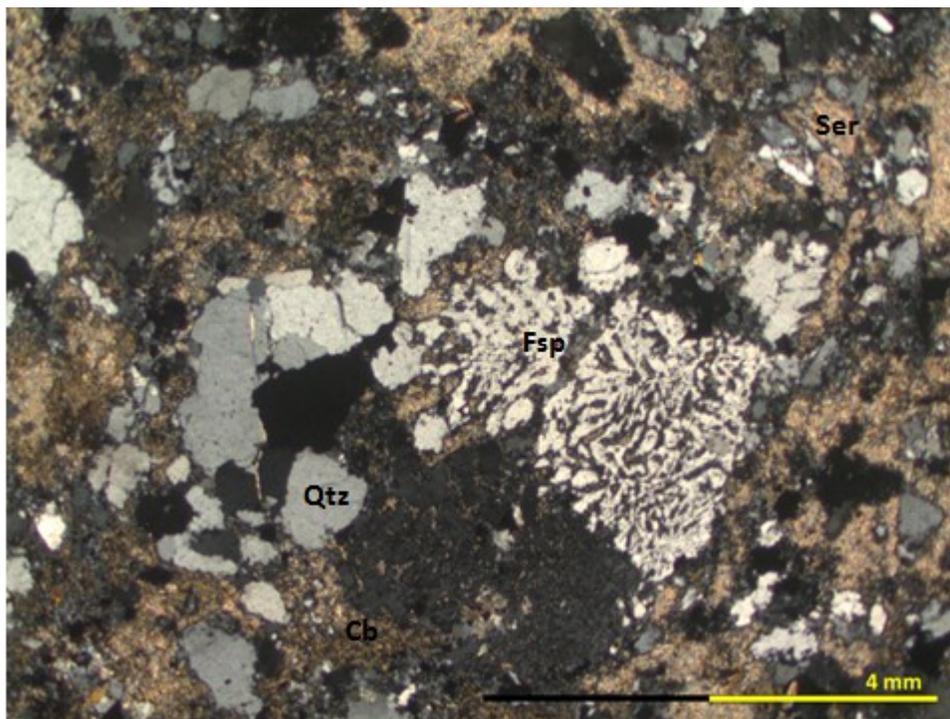


Figura 20. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-5 correspondiente a un clasto de Granodiorita Río Blanco a nícoles cruzados.

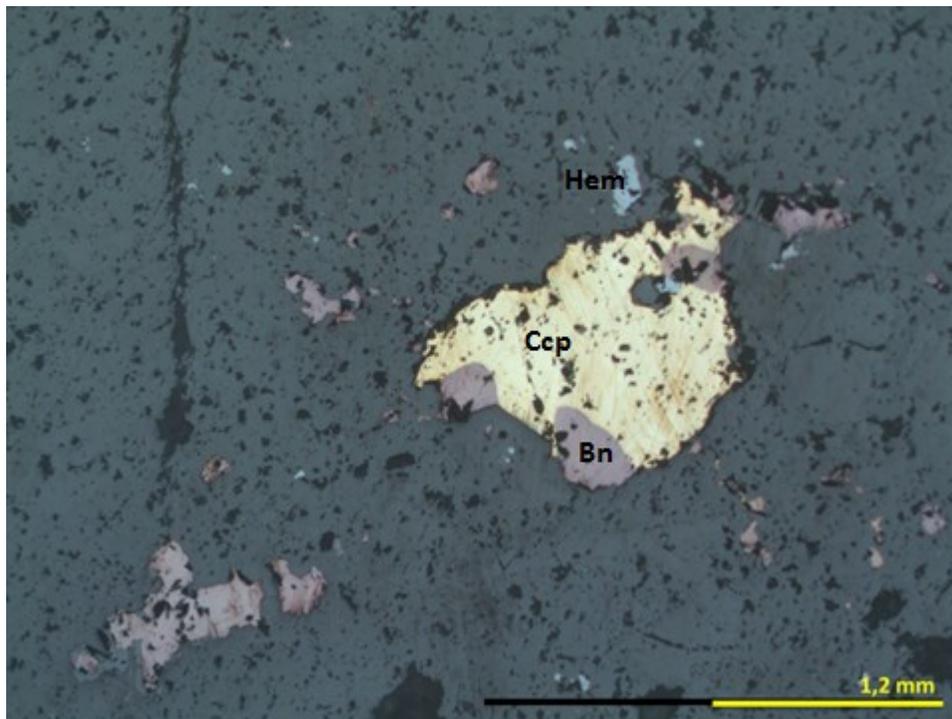


Figura 21. Fotomicrografía de la muestra WD-5 correspondiente a la Brecha Polvo de Roca a luz reflejada.

1.9. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXT
 Código: WU-1
 Origen: Caserón W01

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 40 % Mineralogía secundaria: 60		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (70%)	%	Características/Ocurrencia
Obliterados	70	A luz transmitida no se distingue completamente su mineralogía primaria. Se observa un agregado de Qtz y Ksp, con Bt aisladas de hasta 0,2 mm.
Observaciones		Alteración Ksp-Ser-Qtz moderada a fuerte, selectiva en los clastos.
Matriz (30%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	20	Agregado de cristales muy finos con Qtz recristalizado. *Minerales triturados con variable Qtz-Kfs-Ab.
Turmalina	10	Cristales tabulares, euhedrales, de variados tamaños.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Corindón	<1	Se presentan como cristales hexagonales, subhedrales, alterados. Aislados, pero rodeados de Ser. De 0,3 mm promedio.
Apatito	<1	Presentes en toda la muestra, como inclusiones en otros minerales como Qtz.
Rutilo/Esfeno	<1	Cristales en grupo. Aglomerados o aislados.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Anhidrita	2	Cristales subhedrales presentes en la matriz.
Sericita	15	Selectiva en los clastos y Pl presentes en la matriz. Tamaño variado, de hasta 0,3mm aprox. Alteración moderada.
Cuarzo	20	Se observa Qtz recristalizado y rellenando cavidades en los clastos y la matriz.
Feldespatos K	15	Diseminado en la matriz y los clastos. Alteración moderada.
Biotita	2	Se observan algunas biotitas secundarias diseminadas en la matriz. Débil.
Óxidos de Fe	5	Asociados con la matriz. Selectivos en ella. Intensidad débil.
Clorita	1	Selectiva en algunas biotitas. Débil.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,0 % Mena: 2,0
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	1,8	Diseminada (80%), pero preferentemente en la matriz (60%). 15% en cúmulos y 5% en vetillas.
Molibdenita	0,2	Diseminada (90%), se asocia con Ccp, Rt o Anh. En vetillas (10%).
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Pirita	0,5	Diseminada en los clastos, asociado con Ccp.
Rutilo	0,1	Diseminado.
Magnetita	<<0,1	Diseminada.
Hematita	0,4	Diseminada y asociada con la Ccp.

% Sulfuros totales:	2,5
---------------------	-----

Vetillas
Vetillas de Qtz con relleno discontinuo de Ccp-Mo.

OBSERVACIONES: La brecha consta de un 30% de matriz consistente en cristales de variados tamaños de turmalina. Los clastos (70%), a muestra de mano, parecen ser GDRB, sin embargo no se distingue su mineralogía primaria. Mineralización diseminada de Ccp>Mo con una ley de 0,62% de Cu.

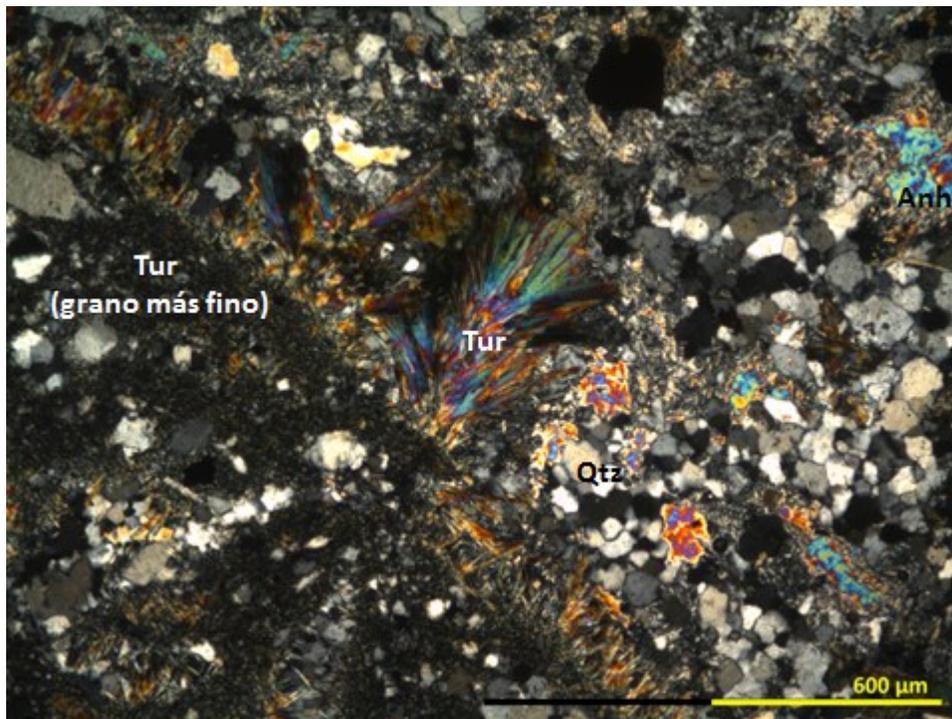


Figura 22. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WU-1 correspondiente a Brecha de Turmalina y un clasto obliterado a nícoles cruzados.

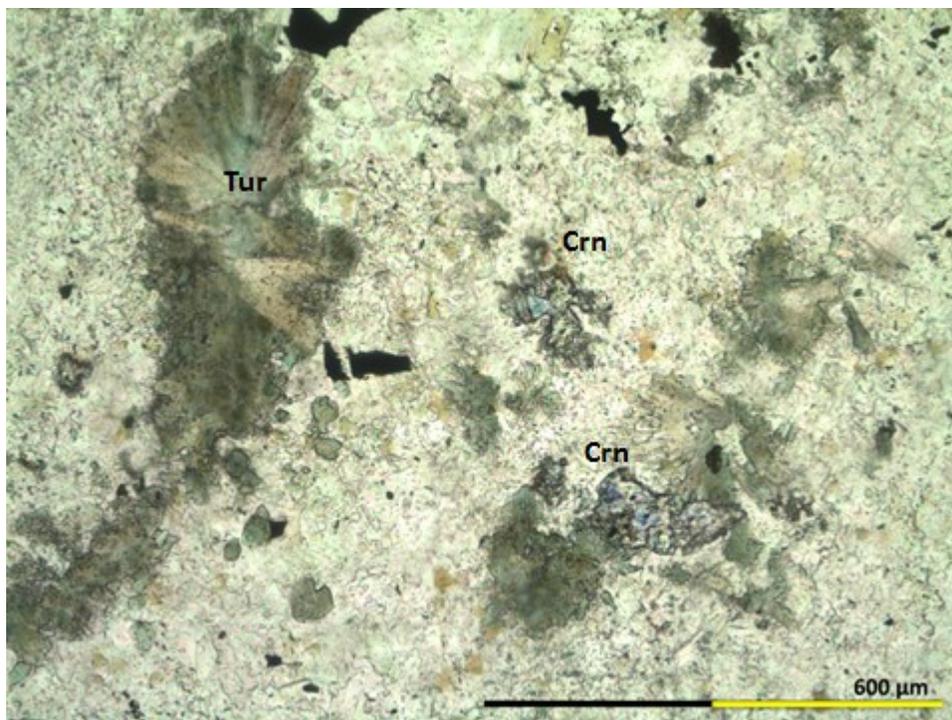


Figura 23. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-5 correspondiente a Brecha de Turmalina a nícoles paralelos, donde se observan cristales de corindón.

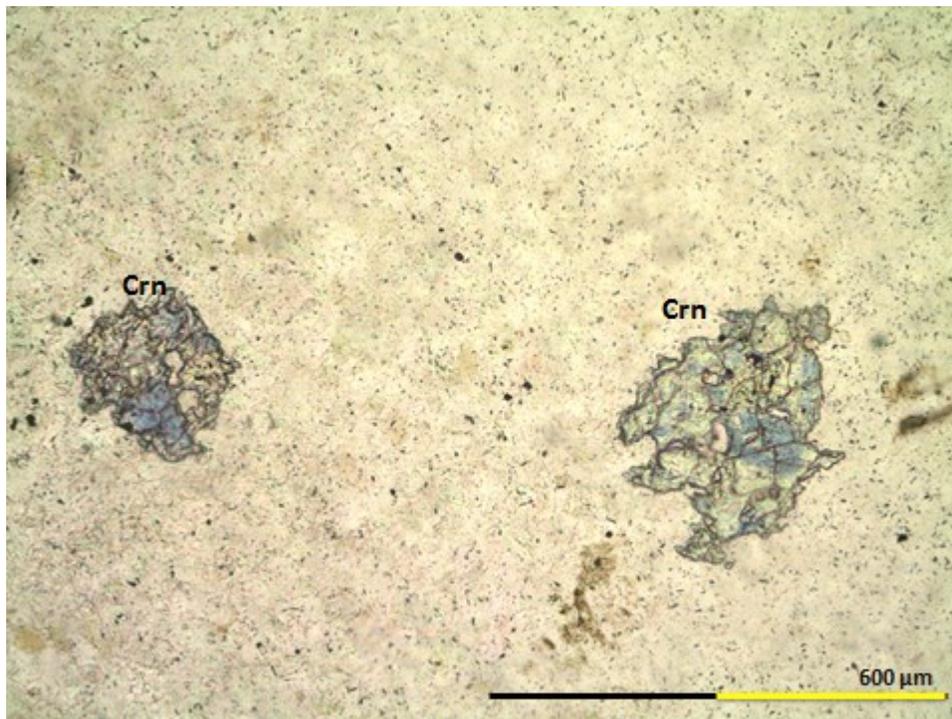


Figura 24. Fotomicrografía a luz transmitida de la muestra WD-5 correspondiente a Brecha de Turmalina a nícoles paralelos, donde se observan cristales de corindón.

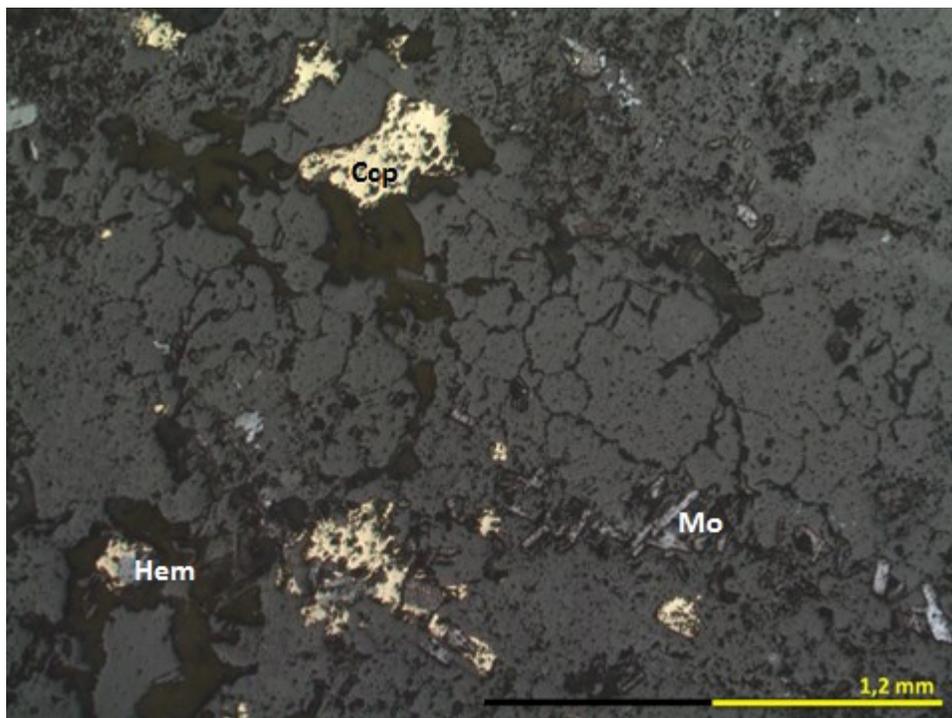


Figura 25. Fotomicrografía de la muestra WD-5 correspondiente a Brecha de Turmalina a luz reflejada.

2. DESCRIPCIONES DE MUESTRAS DE GALERÍAS (sin imágenes)

2.

2.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: CHDAC
Código: RN-2
Origen: Rampa Norte

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 75 % Mineralogía secundaria: 25		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (40%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	20	Parecido a los típicos ojos de Qtz, pero más angulosos (subhedrales).
Biotita	15	Sericitizadas por completo o con recristalización de Qtz en su interior.
Plagioclasa	40	Alteradas con Ser, destaca en sus bordes.
Masa Fundamental (60%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	55	Agregado muy fino. Qtz >>Ksp, <0,04 mm.
Plagioclasa	5	Solo algunas, no distinguibles fácilmente.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Circón	<1	Como inclusiones.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Carbonato	10	En toda la muestra, distribuido siguiendo una dirección.
Sericita	13	En la masa fundamental y selectiva en las Pl y bordes de Bt.
Yeso	2	Relleno. Sectores puntuales de la masa fundamental

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 1 % Mena: 0		
i) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Pirita	0,8	Diseminada, destruida. Tamaño promedio 0,3 mm.
Magnetita	0,15	Diseminada, tamaño fino <0,2 mm.
Hematita	0,05	Tabular, asociada con Mag.

% Sulfuros totales:	0,8
---------------------	-----

2.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXS
 Código: RN-3
 Origen: Rampa Norte

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 3 % Mineralogía secundaria: 97		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales	%	Características/Ocurrencia
-		No se observan.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	<1	Como microfenocristales
Corindón	1	Cristales aislados rodeados de Ser. No suelen presentar Pleocroísmo azul.
Andalusita	0,5	Cristales rodeados de Ksp.
Turmalina	1	Cristales redondeados, de color azul-verdoso.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Clorita	2	Selectiva en Bt, de intensidad débil.
Turmalina	5	Cristales redondeados, de color azul-verdoso.
Sericita	20	Asociada a zonas con alteración potásica. Intensidad fuerte.
Anhidrita	trazas	Rodeada de yeso.
Yeso	trazas	Asociada a Anh.
Biotitas	40	Predominante en la roca, intensidad fuerte, estilo de alteración: penetrativa
Cuarzo-Feldespatos K	30	Recristalizado, presente en toda la muestra, irregular. Tamaño variable, entre 0,01mm y 0,1mm

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 5 % Mena: 4,6
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	3	En cúmulos, diseminado y en venillas.
Bornita	1	Reemplazada por Cc. Color usual: naranja-parduzco.
Calcosina	0,5	Levemente en reemplazo envolvente, mayormente como exsolución.
Digenita/Dij	0,1	Asociada con bn, usualmente aquellas reemplazadas con cc. Color celeste-gris, anisotropía leve.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	0,25	Diseminado y asociado con Ccp.
Hematita	0,15	Diseminada.

% Sulfuros totales:	4,6
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Roca que no constituye una unidad litológica clara por encontrarse obliterada dada la alteración potásica penetrativa y sericítica de intensidad fuerte sobreimpuesta. Sin embargo, se observa brechizada, pudiendo ser BXPR, BXSK o BXB y cuya matriz consta mayormente a cuarzo-feldespató potásico. Se encuentra bastante mineralizada, abundante calcopirita en cúmulos y diseminada en la matriz.

2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN
 Código: RN-4
 Origen: Rampa Norte

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 10 % Mineralogía secundaria: 90		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (10%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	10	Se observan pocos cristales de Pl, tabulares, sin su macla correspondiente. Están alteradas con Ksp.
Masa Fundamental (90%)	%	Características/Ocurrencia
Obliterado	90	No se observa la mineralogía primaria.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Corindón	1	Forma irregular, aspecto sucio. Rodeado de Ser.
Apatito	<1	Común como microfenocristales.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Biotita	50	Penetrativa en la muestra, constituye la mayor alteración, obliterando la masa fundamental. Se presenta en agregados y aisladas en toda la muestra.
Clorita	15	Selectiva en Bt, intensidad moderada.
Sericita	20	Cristales tabulares, de variados colores de birrefringencia (incluso blanquecinos). Intensidad fuerte, de hasta 0,25 mm.
Turmalina	5	Heredada, constituyen aglomerados de bordes redondeados. Presentan color azul-verdoso.
Cuarzo	17	Recristalizado, asociado con Bt. De diferentes tamaños, <0,1 mm en promedio.
Feldespato K	3	En pequeña cantidad, de aspecto sucio. En agregado con Qtz.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 2,5 % Mena: 1,8
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	1,5	Tamaño variable hasta 0,3 mm aprox. y ocurrencia diseminada, asociada con Mag. Parece estar relleno de espacios.
Bornita	trazas	Rellenando espacios, de bordes irregulares reemplazado parcialmente con Cc. Presente en zonas alteradas con Ksp.
Calcosina	trazas	Reemplazando Bn.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	1	En asociación con Ccp, ocurrencia diseminada de hasta 0,3 mm. Se observan cristales euhedrales fracturados.

% Sulfuros totales:	1,5
---------------------	-----

2.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: PQM
 Código: RN-5
 Origen: Rampa Norte

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 10 % Mineralogía secundaria: 90		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (60%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	45	Alteradas, de hasta 2 mm. Aisladas o junto a más Pl. Participan de la textura rapakivi.
Biotita	12	Tabulares, rellenas con carbonatos entre sus planos de clivaje, de hasta 1,5 mm. Bordes irregulares, ancho entre 1/3 a 2/3 del largo.
Cuarzo	3	Presente como "ojos" entre 0,4 y 1,2 mm.
Masa Fundamental (40%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo-Feldespatos K	24	Agregado grueso de Qtz (90%) y algunos cristales de Ksp del mismo tamaño, <0,1 mm.
Plagioclasa	15	Euhedrales, más frescas, <0,2 mm. 0,08 mm promedio.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	1	Común como microfenocristal en la masa fundamental
Circón	trazas	Inclusiones en minerales silicatados (Qtz, Pl).
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Carbonatos	10	Selectiva en Bt, Pl y masa fundamental en ese orden.
Clorita	3	Selectiva en algunas Bt, intensidad débil a moderada.
Sericita	5	Selectiva en las Pl, intensidad débil; y presente en la masa fundamental, como cristales aislados y finos.
Yeso	2	Rellenando espacios.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 0,7 % Mena: 0,3		
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,4	Diseminada, mineralización pobre. Tamaño <0,1 mm.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	0,3	Cristales destruidos, subhedrales. Tamaño máximo 0,3 mm.

% Sulfuros totales:	0,4
---------------------	-----

2.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN
 Código: SO-2
 Origen: Socavón Oeste

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 10 % Mineralogía secundaria: 90		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (15%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	12	Solo se observa su forma tabular a Nx, la cual está alterada con Bt,Qtz y Ser. Tamaño promedio 1,5 mm.
Anfibolas	3	Bt en toda la roca, pero se observa más como mx de alteración. Difícil de distinguir si se trata de mineralogía primaria, ya que la muestra se halla muy alterada.
Rutilo	<1	Mineral accesorio, en pequeñas cantidades. Aglomerados anhedrales.
Masa Fundamental (85%)	%	Características/Ocurrencia
Obliterada	85	No se observa masa fundamental. La roca se considera obliterada.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales Alteración	%	Características/Ocurrencia
Biotita	30	Dispersas en toda la muestra. Como cristales euhedrales en aglomerados, rodeando o asociados a minerales opacos. (<0,2mm)
Sericita	20	Presentes en toda la muestra, selectivas en Pl. En asociación con Qtz.
Clorita	5	Presente en algunos minerales máficos.
Cuarzo	20	Recristalizado, asociado con Ser y rodeando Pl. Su variedad de tamaños y ocurrencia implica recristalización.
Turmalina	15	Presente como mineral de alteración en cristales aglomerados, a veces tabulares, asociados a vetillas con relleno de sulfuro (VER). Se observan desde el eje C su hábito hexagonal.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,0 % Mena: 0,6
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,6	Mayormente en cúmulos. También en vetillas y diseminadas. Tamaño promedio, 0,1 mm. En asociación con óxidos de hierro.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,15	Asociada con Mag y aislada, diseminada en la roca y en vetillas.
Magnetita	0,25	Asociada con Hem, en general al centro del óxido. Suele hallarse reemplazando la Ccp. Diseminada en la roca y en vetillas.

% Sulfuros totales:	0,6
---------------------	-----

Vetillas
Existen dos tipos de vetillas en esta muestra. Una con relleno de Hem-Mag>>Ccp y otra de Ccp>>Hem-Mag. La primera presenta o no relleno (0,5 mm) discontinuo de tur, y si presenta halo, presenta Qtz y mica blanca, con Bt y corindón asociado (halo de 6 mm). La segunda vetilla posee halo de Qtz y mica blanca. Otra vetilla con relleno de Qtz, Ccp y óxidos de hierro, de 0,4mm y al parecer, sin halo, las cuales cortan a las primeras.

OBSERVACIONES: Roca de composición andesítica con zona local brechizada con turmalina, lo que radica en una zonación desde albitización a biotitización en áreas más alejadas. El 90% de la roca está alterada, afectada por alteración potásica penetrativa y sericítica sobreimpuesta, obliterando la masa fundamental de la roca. Presenta un 0,6% de Ccp en todas sus ocurrencias, mayormente en cúmulos. Ley de Cu: 0,21%.

3. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DEL SONDAJE 4853

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXMO (BXPR)
 Sondaje: 4853
 Tramo: 10,6

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
		% Mineralogía primaria: 55 % Mineralogía secundaria: 45
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (70%)	%	Características/Ocurrencia
PDL	70	Clastos redondeados. Mineralogía y fenocristales fragmentados característicos del pórfido. Textura más cerrada que PFELD. Mayor cantidad de ojos de Qtz (10%) y presencia de Anh (5%).
Matriz (30%)	%	Características/Ocurrencia
Pórfido	20	Se observa matriz muy fina de Qtz-Ksp y algunos fenocristales de Qtz, Ksp, Pl. Difícil de distinguir, ya que está obliterado con Ser y carbonatos fuertemente.
Molibdenita	10	Matriz de Mo (BXMo) disgregada, asociada con matriz de polvo roca (triturado de PIN).
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Rutilo	<1	Cristales dispersos, en grupo.
Apatito	1	Como inclusiones en minerales félsicos y algunos asociados con Bt.
Circón	<1	Inclusiones.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	5	Se observan pequeños cristales tabulares radiales. Producto de exsolución de gases del pórfido (al parecer corresponde a la parte más extrusiva)
Sericita	20	Selectiva en la matriz, pervasiva. Alteración fuerte. / Selectiva en las Pl y Ksp de los clastos. Moderada.
Carbonatos	10	Presentes en la matriz. Moderada a débil.
Anhidrita	5	Cristales aislados dispersos en la matriz y los clastos.
Biotita	5	Presentes en la matriz, en zonas muy locales, asociadas con Anh.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,6 % Mena: 0,9
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,8	Diseminada en la roca.
Bornita	0,05	Pocos cristales, asociados a la Ccp.
Molibdenita	0,05	Diseminada en la matriz, de granos muy finos <<0,01
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Arsenopirita	0,3	Comúnmente asociada con la Ccp, diseminada en la matriz. Se observan cristales bien formados en muestra de mano.
Rutilo	0,2	Diseminado en los clastos.
Hematita	0,2	Diseminada en los clastos mayormente.
Magnetita	0,05	Pequeños, diseminados, en baja cantidad.

Sulfuros Totales:	1,2
-------------------	-----

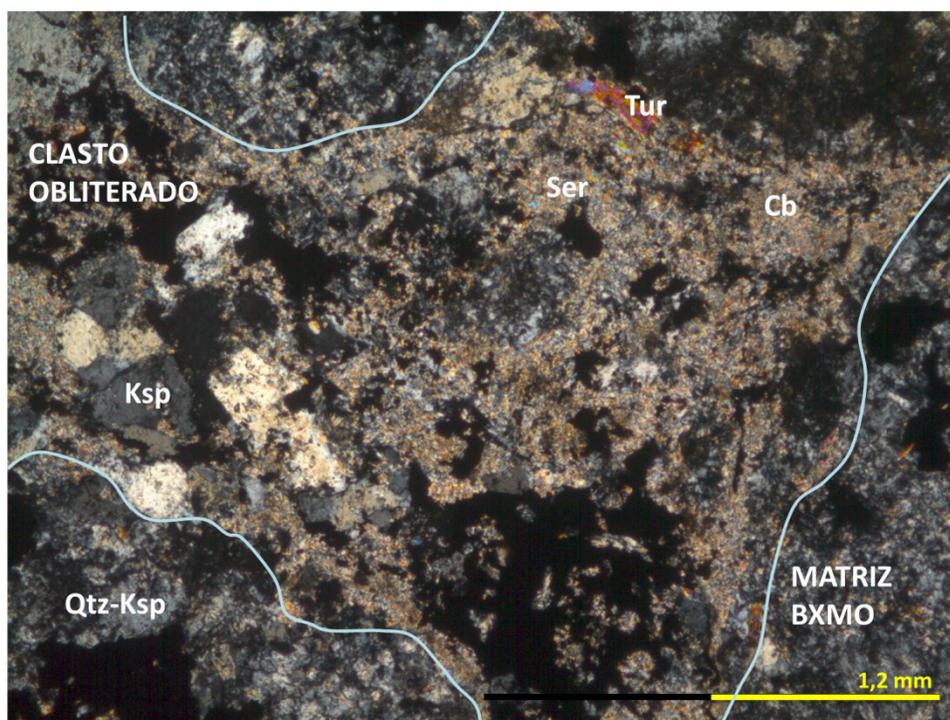


Figura 26. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 10,6 correspondiente al contacto de la matriz de la Brecha de Molibdenita y un clasto obliterado a nicoles cruzados.

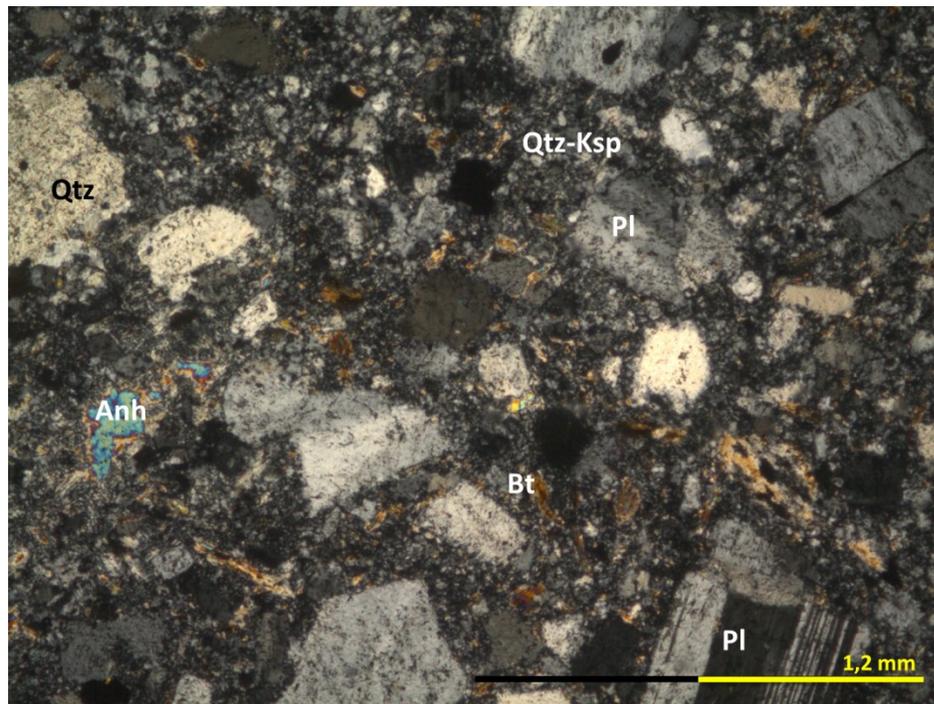


Figura 27. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 10,6 correspondiente a un clasto de Pórfido (¿Don Luis?) de la Brecha de Molibdenita a nicoles cruzados.

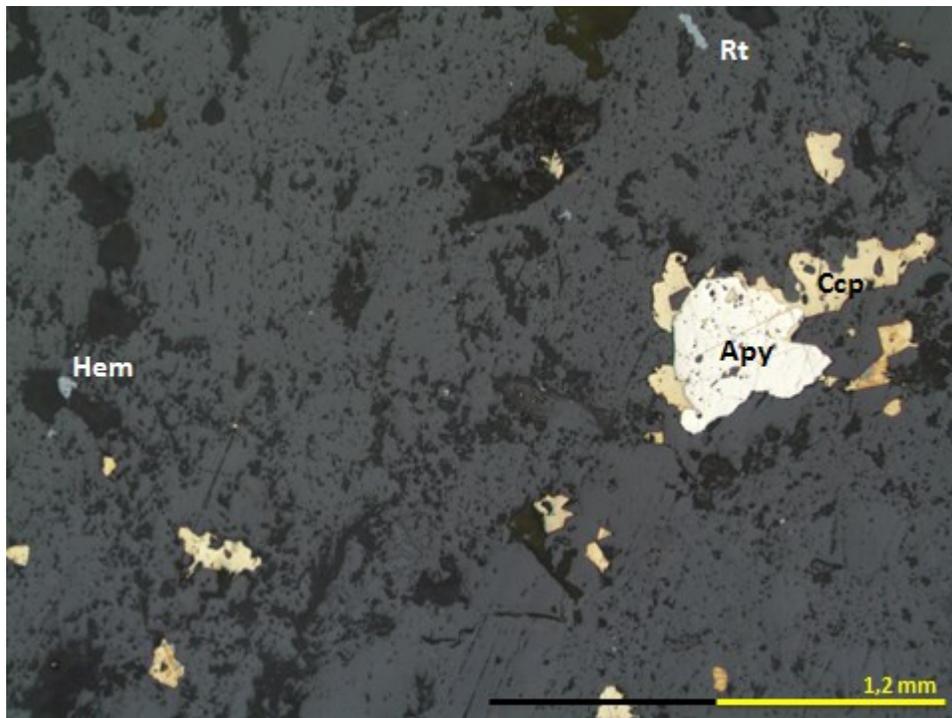


Figura 28. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 10,6 correspondiente a Brecha de Molibdenita a luz reflejada.

3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN
 Sondaje: 4853
 Tramo: 33,3

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 10 % Mineralogía secundaria: 90		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (40%)	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasas	15	No se observan frescos. Textura obliterada. Sin embargo se observan micas blancas alterando cristales tabulares, que probablemente se traten de Pl.
Hornblenda	25	Obliterada debido a alteración presente.
Masa Fundamental (60%)	%	Características/Ocurrencia
Obliterada	60	No se observa. Roca obliterada.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Corindón	<1	Se observa un cristal fracturado formando parte de una vetilla cuyo relleno se halla alterado con Ser y halo de Qtz-Ksp. Tamaño 0,4mm
Apatito	2	Cristales como inclusiones.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	20	Selectiva en las Pl, fuerte. Asociadas a los minerales opacos. Dos tipos de sericitas: ricas en Al y ricas en Fe.
Cuarzo	15	Recristalizado, de tamaño variable, en asociación con Ksp. Moderada a fuerte.
Feldespato K	15	En asociación con Qtz, presente en toda la muestra. Alteración moderada a fuerte.
Biotita	35	Selectiva en hornblendas, de intensidad fuerte.
Clorita	5	Selectiva en Bt que alteran a Pl.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,0 % Mena: 2,0
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	1	Diseminado en la roca y presente en vetillas. De 0,1mm promedio.
Bornita	0,8	Diseminado y en vetillas. Textura de reemplazo en la Ccp. En general, de menor tamaño que la Ccp.
Djurleita	0,2	Asociado exclusivamente con Bn. Formado en su interior (textura de reemplazo)
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,3	Diseminado.
Rutilo	0,6	Diseminado.
Magnetita	0,1	Diseminado.

Sulfuros Totales: 2,0

Vetillas (tipo/asociación mineral/espesor/ocurrencia)
Vetillas cuyo relleno de sulfuros es Ccp-Bn de 0,25 mm de ancho.

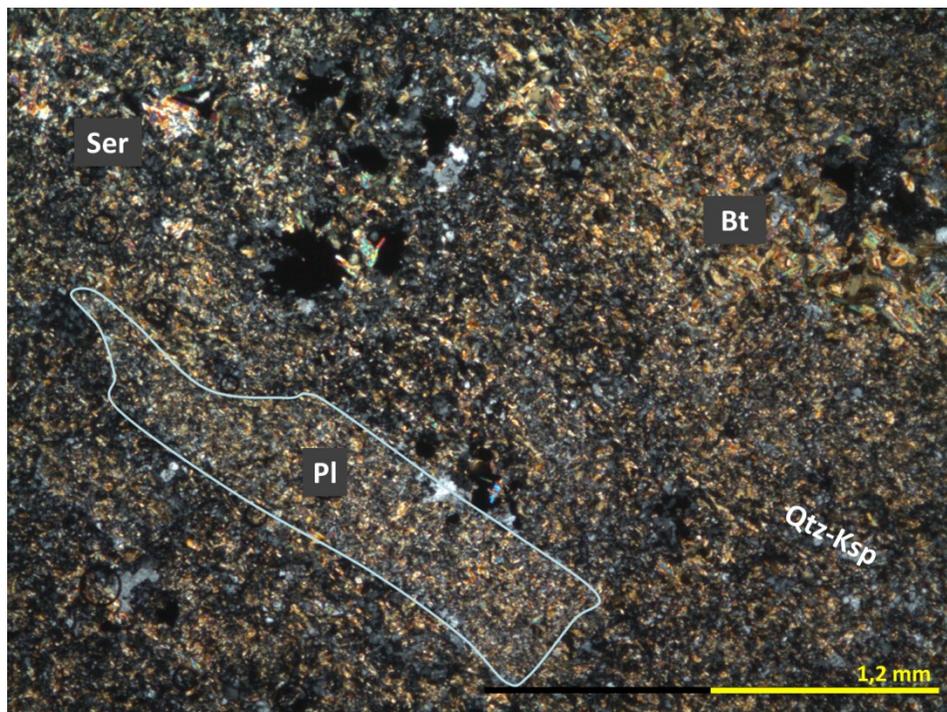


Figura 29. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 33,3 correspondiente a Andesita a nícoles cruzados.

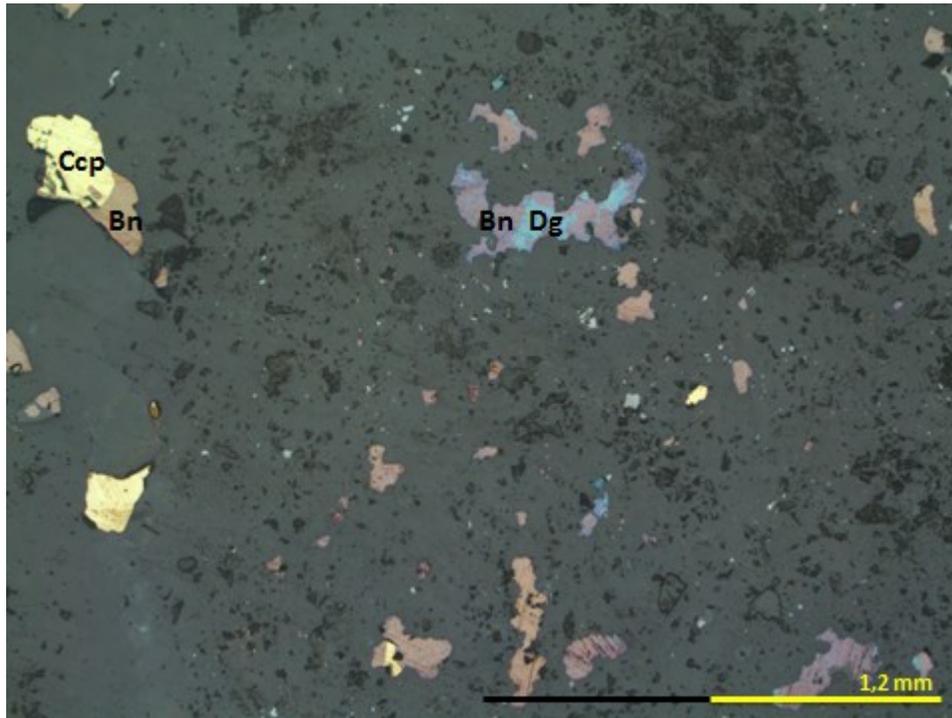


Figura 30. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 33,3 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXS
 Sondaje: 4853
 Tramo: 46,3

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 25 % Mineralogía secundaria: 75		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (35%)	%	Características/Ocurrencia
Andesita	35	Clastos angulosos con alteración potásica y sericitica intensa. Obliterados.
Matriz (65%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	20	En asociación con Ksp. Probablemente no sea primario.
Feldespato K	40	En asociación con Qtz. Probablemente no sea primario.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	5	Común verlo rodeado de Bt, subhedral. Suele encontrarse con su forma hexagonal en la matriz.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Clorita	2	Selección en las biotitas, débil.
Biotita	20	Alteración fuerte, selectiva en los clastos de andesita. También aparecen Bt magmáticas asociadas con apatito.
Sericita	10	De intensidad moderada a fuerte cuando es selectiva en los clastos.
Turmalina	5	Principalmente como inclusiones mal formadas de bordes difusos. En los clastos, asociados a Ser o Bt.
Anhidrita	8	Cristales de variados tamaños presentes en la matriz principalmente (0,5-2 mm). Aquellos de mayor tamaño, rodeados de Ksp.
Feldespato K	30	Alterando la matriz, asociado con Qtz. Alteración fuerte. La matriz se halla casi completamente recristalizada.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 4,0 % Mena: 3,5		
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	1,8	Diseminada en toda la muestra y en cúmulos, mayormente asociada a clastos (70%).
Bornita	1,2	Asociada a la Ccp, formando textura de reemplazo. O diseminada por sí sola.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,3	Diseminada
Rutilo	0,2	Diseminada.

Sulfuros Totales:	3,0
-------------------	-----

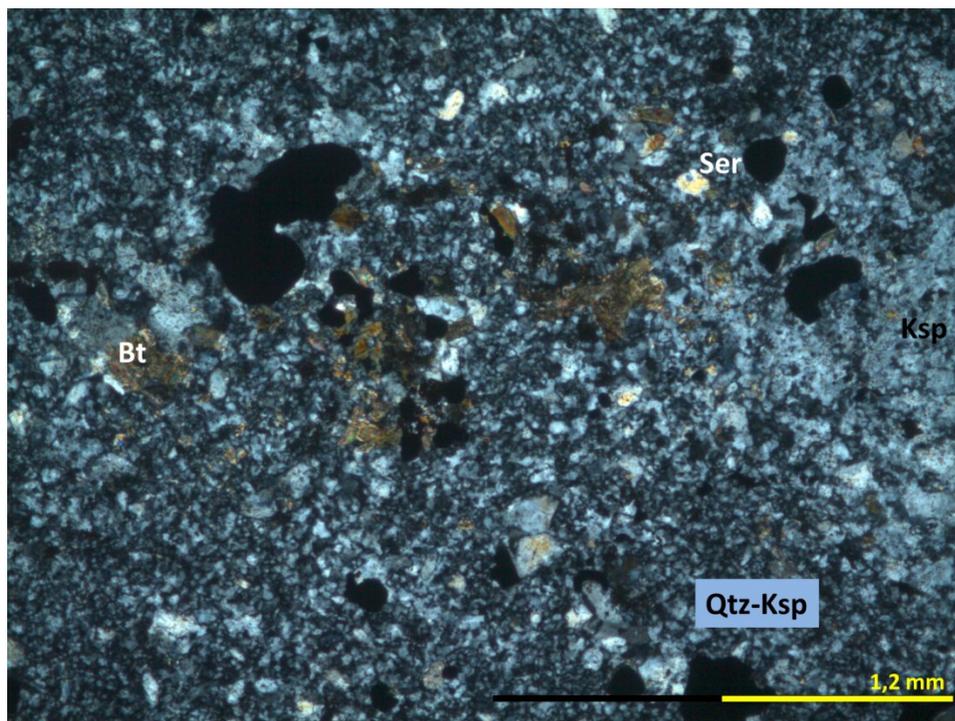


Figura 31. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 46,3 correspondiente a matriz de Brecha de Sílice-Feldespato Potásico a nícoles cruzados.

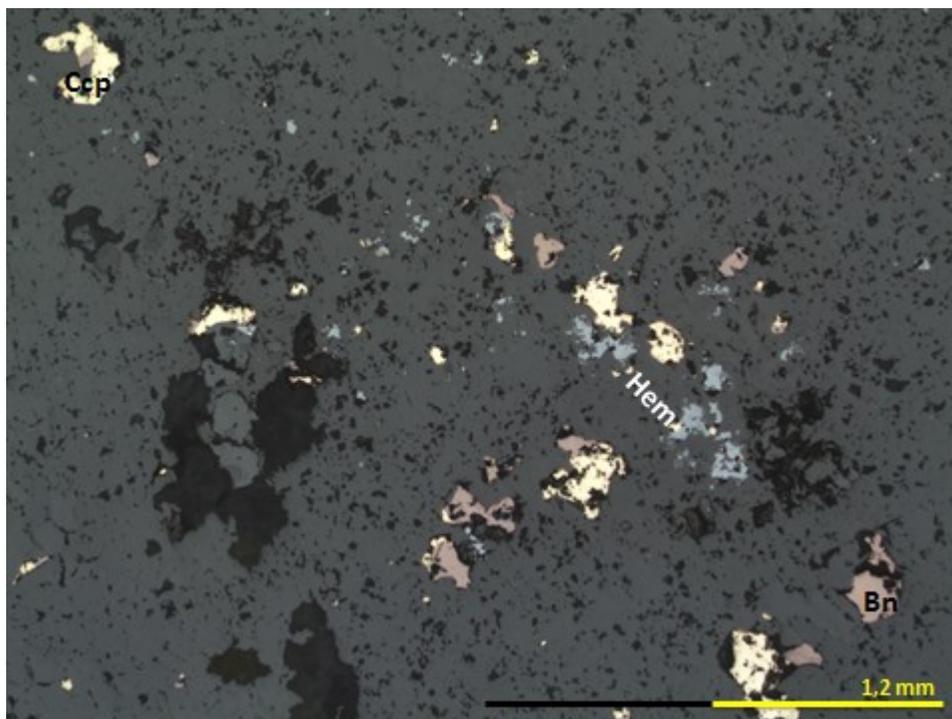


Figura 32. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 33,3 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

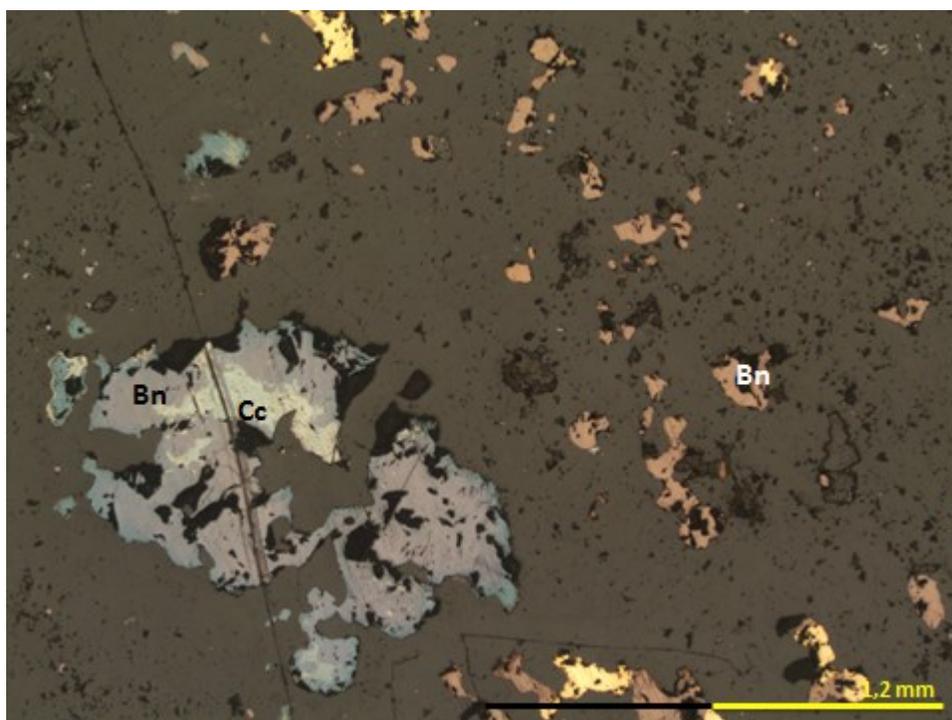


Figura 33. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 33,3 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

3.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: PDL-PFELD
 Sondaje: 4853
 Tramo: 57

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 75 % Mineralogía secundaria: 25		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (35%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	10	Presente como ojos de Qtz. De 2,5 mm promedio.
Plagioclasa	25	De 1 mm promedio, se encuentran aisladas o en aglomerados. Algunas zonadas. Alteradas con Ser.
Biotita	5	Euhedrales, aisladas, de 0,6mm promedio. Algunas poseen extinción ondulosa. Con presencia de carbonatos y/o cloritizadas.
Hornblenda	2	Hexagonales, alterados; ya no preservan el clivaje.
Masa Fundamental (65%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	5	Anhedral.
Plagioclasa	25	Cristales pequeños, euhedrales.
Biotita	5	Muy finas, aciculares.
Feldespato K	30	De bordes irregulares.
OBS.		Todos estos forman un agregado de 0,05 mm promedio cada mineral.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	1	Como inclusiones en minerales félsicos o como fenocristales en la masa fundamental.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Carbonatos	3	Selectiva en las biotitas, precipita en su interior.
Clorita	2	Selectiva en Bt y Pl. Las altera parcialmente.
Sericita	20	Selectiva en Pl y Ksp. Moderada.
Anhidrita-yeso	1	Cristales de Anh en la masa fundamental Aislados, menores a 0,8mm. Rodeados de Gp.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 0,9 % Mena: 0,7
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Diseminada en la roca y en halos de vetillas.
Bornita	0,2	Diseminada y asociada con Ccp. En relleno de vetillas, con reemplazo menor de Cc.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,15	Diseminada y asociada a sulfuros.
Rutilo	0,05	Asociado con Bt y diseminada en la roca.

Sulfuros Totales:	0,7
-------------------	-----

OBSERVACIONES: Vetilla con relleno mena y halo de Ser.

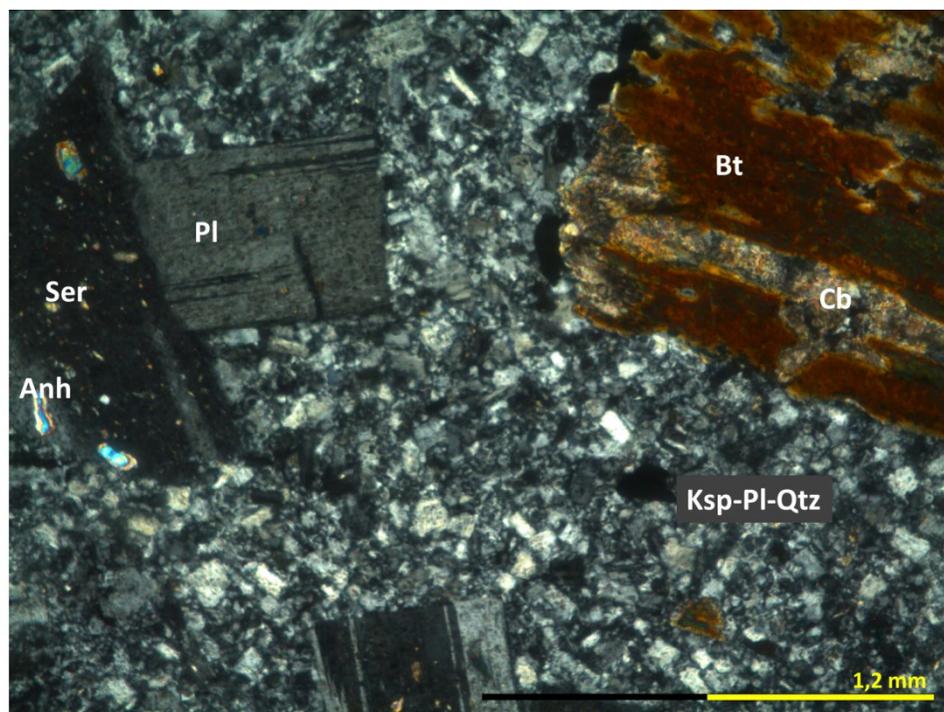


Figura 34. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 57 correspondiente a matriz de Pórfido PDL-PFELD a luz transmitida.

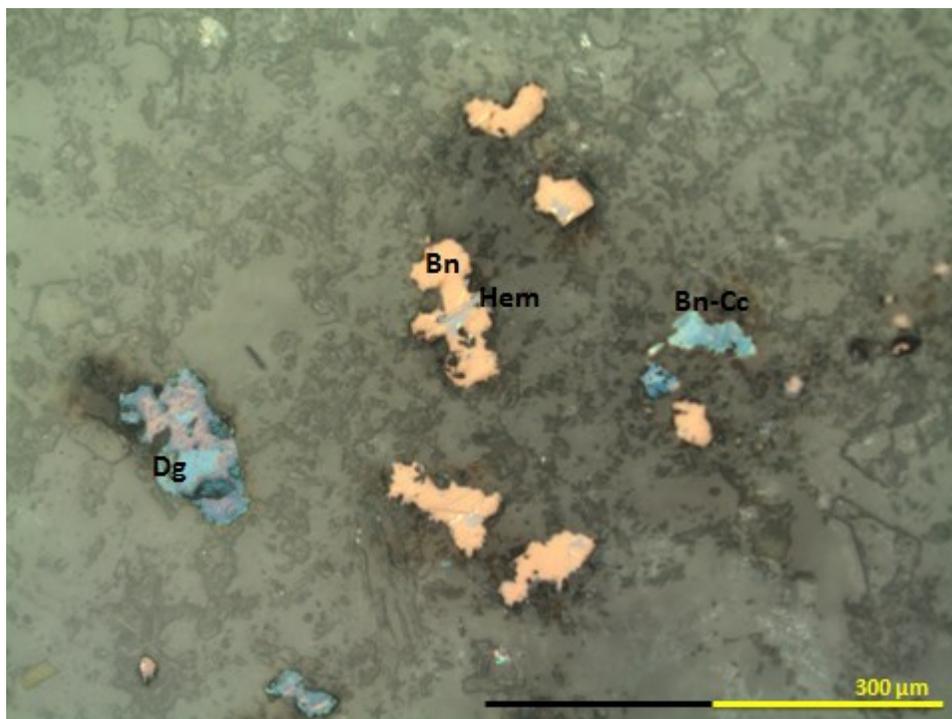


Figura 35. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 46,3 correspondiente a matriz de Pórfido PDL-PFELD a luz reflejada.

3.5. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: GDRB
 Sondaje: 4853
 Tramo: 106,7

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 60 % Mineralogía secundaria: 40		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales (60%)	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	15	Subhedrales, de 0,5 mm promedio.
Feldespato K	23	Muy alterado, común con inclusiones. Presenta textura peritítica. Tamaño promedio: 2mm
Plagioclasa	10	De tamaño promedio 1,5mm. Alterado
Biotitas	15	Aunque parecen estar relleno de espacios, parecen ser magmáticas (euhedrales) y no de alteración. Se disponen en cúmulos.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Circón	1	Aislados, como inclusiones. Existen algunos de gran tamaño (i.e. 0,1mm)
Apatito	5	Como inclusiones y microfenocristales asociados con la biotita primaria. Subhedrales, de aspecto turbio.
Rutilo/esfeno	<1	Como aglomerados o cristales aislados asociados con Bt.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	5	Como inclusiones en fenocristales, anhedrales. Aglomerados irregulares.
Carbonatos	1	Anhedrales, suelen asociarse con Bt.
Feldespato K	24	Penetrativa en la roca, alteración moderada.
Sericita	10	Selectiva en Ksp y las Pl. Alteración moderada a fuerte.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 1,5 % Mena: 0,5		
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Diseminada y como relleno de vetillas, de tamaño variable, entre 0,02 y 0,12 mm en promedio. Asociada con óxidos de Fe.
Bornita	0	No se observa en la muestra.
Molibdenita	<<1	Diseminada, pocos cristales.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,6	Diseminada y en cúmulos, asociada a Bt y Ccp principalmente.
Magnetita	0,2	Asociada con la Hem.
Rutilo	0,2	Los pocos cristales están mayormente asociados a Bt.

Sulfuros Totales:	0,5
-------------------	-----

OBSERVACIONES: Existen algunas vetillas muy finas de 0,02 mm de ancho con relleno de Ccp y carbonatos. Sin halo evidente. Podría estar aprovechando fracturas pre-existentes.

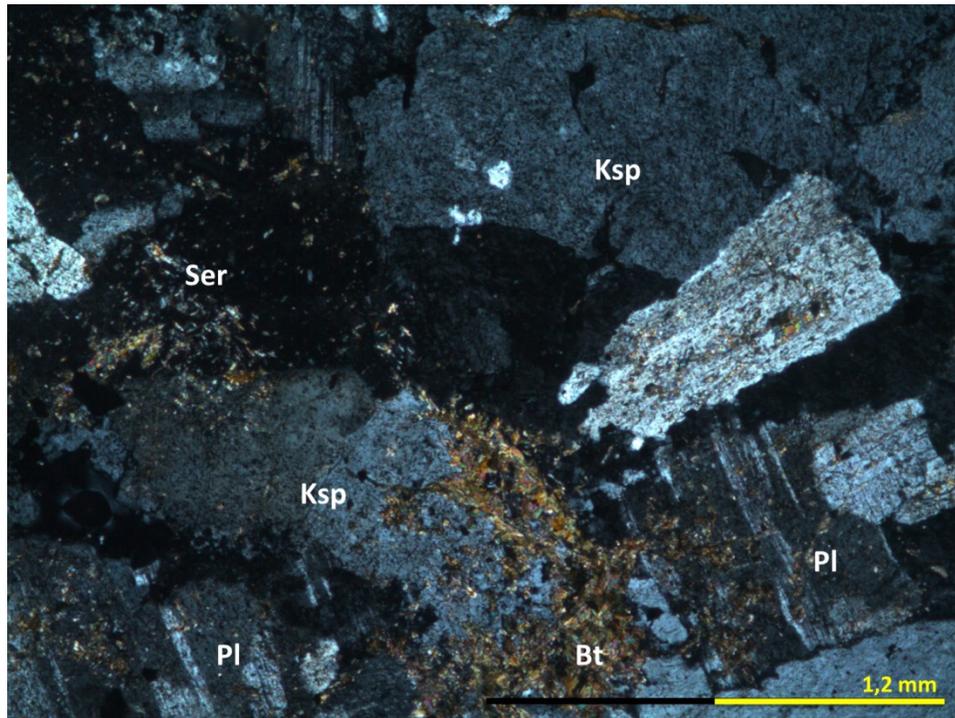


Figura 36. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4853, tramo 106,7 correspondiente a Granodiorita Río Blanco a nícoles cruzados.

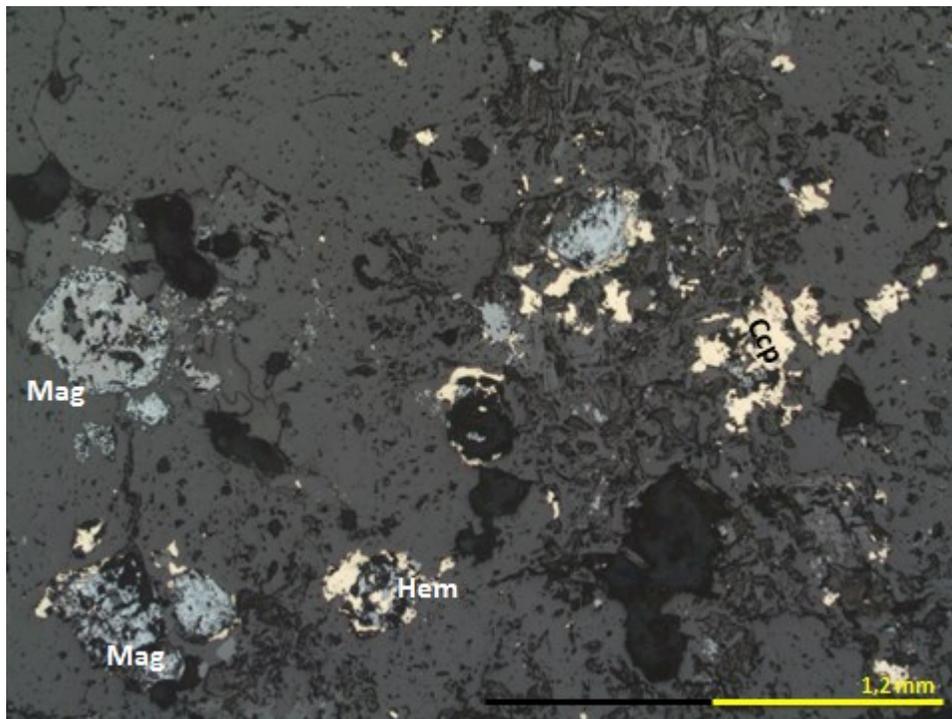


Figura 37. Fotomicrografía del sondaje 4853, tramo 106,7 correspondiente a Granodiorita Río Blanco a luz reflejada.

4. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DEL SONDAJE 4898

4.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXT
 Sondaje: 4898
 Tramo: 69,9

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
		% Mineralogía primaria: 15 % Mineralogía secundaria: 85
i) Mineralogía Primaria		
Clastos (65%)	%	Características/Ocurrencia
Obliterado	?	Está todo recristalizado con Qtz-Ksp, pero probablemente se trate de GDRB.
Matriz (35%)	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	25	Mineralogía secundaria. Matriz disgregada. En aglomerados difusos mayormente.
BXPR	15	Asociada con la turmalina, matriz mayoritaria. Se halla recristalizado con Qtz-Ksp. En este, existe un 5% de Pl.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Circón	<1	Inclusiones.
Rutlo	1	Cristales asociados con Bt.
Apatito	1	Como microfenocristales o inclusiones.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Turmalina	25	Considerada la matriz. Se encuentra en todos sus hábitos. Mayormente anhedral, menormente como cristales aciculares radiales.
Sericita	10	Distribuida en la matriz, de grano muy fino.
Clorita	5	Selectiva en las biotitas de manera fuerte.
Biotita	5	Generalmente en cúmulos, completamente cloritizada, asociada con la mena.
Qtz-Feldespatos K	35	Agregado que recristalizó la muestra.
Carbonato	5	Anhedrales en la roca, rellenando espacios.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,5 % Mena: 2,8
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	2,5	Diseminada (70%) principalmente en la matriz, en cúmulos (25%) y vetillas (5%).
Molibdenita	0,3	Cristales tabulares diseminada o asociada con la Ccp.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,3	Diseminada y asociada con la Ccp. En cúmulos, forma poligonal.
Rutilo	0,2	Diseminado o asociado con Ccp.
Magnetita	0,2	Comúnmente asociado con Ccp o Hem.

Sulfuros Totales:	2,8
-------------------	-----

OBSERVACIONES: Esta brecha se halla cortada por vetillas tipo A. La mineralización está diseminada en toda la muestra, pero se concentra en la zona asociada con Tur. La vetilla es de Qtz con halo de Qtz-Ser y craquelado de Tur (<4%).

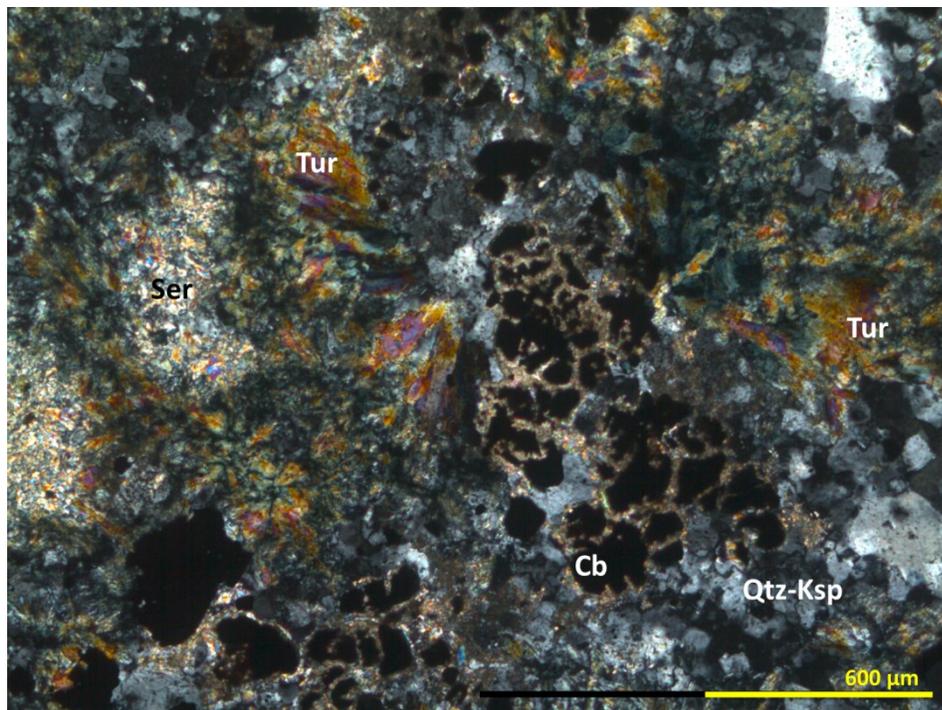


Figura 38. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4898, tramo 69,6 correspondiente a Brecha de Turmalina a nícoles cruzados.

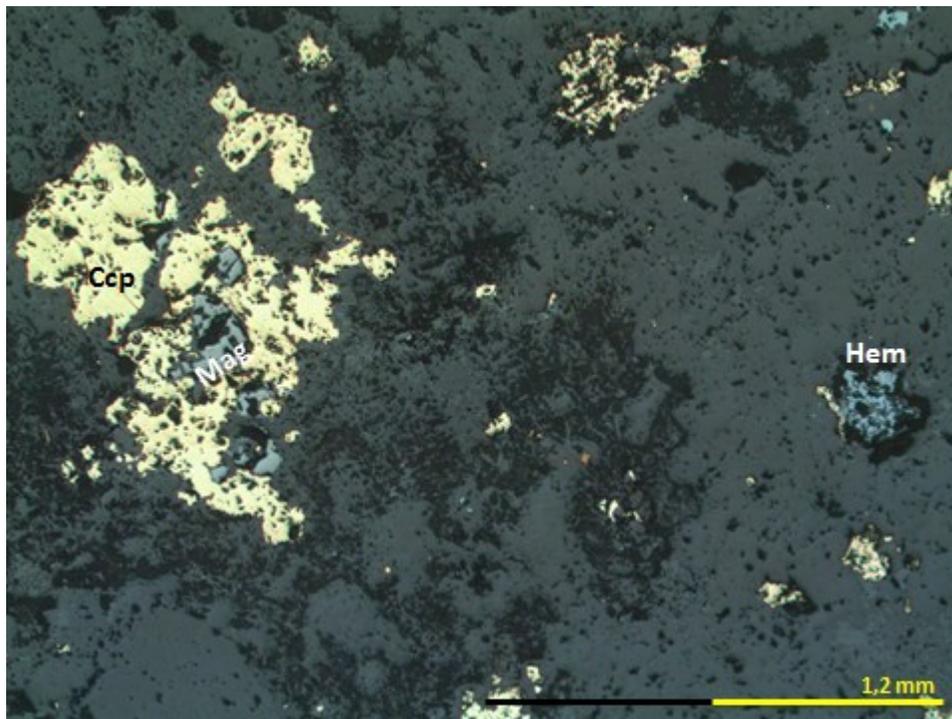


Figura 39. Fotomicrografía del sondaje 4898, tramo 69,6 correspondiente a Brecha de Turmalina a luz reflejada.

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN (vetilla D)
 Sondaje: 4898
 Tramo: 81

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA	
% Mineralogía primaria: 05 % Mineralogía secundaria: 95	
i) Roca Huésped (10%)	
Unidad Litológica	Características/Ocurrencia
Andesita	Xenolito en la granodiorita, con alteración potásica penetrativa y Ser selectiva en las plagioclasas. Ambas de intensidad fuerte.
ii) Vetilla (90%)	
Relleno vetilla D	Características/Ocurrencia
Minerales opacos	Diseminado en la muestra, pero principalmente en vetillas (80%).
Anhidrita-Yeso	Se observan cristales de 1mm promedio en el relleno de la vetilla, rodeada de yeso.
Clorita-Esmectita	Asociación con leve pleocroísmo. Se observa más bien fluidal. Clorita magnésica (sin azul berlín).
Feldespato K	Cristales de tamaño promedio 2mm alterados débilmente con ser.
Feldespato-Albita	Agregado de minerales, parte del halo en conjunto con la ser.
Halo Vetilla D	Características/Ocurrencia
Sericita	Halo de la vetilla principal. De grano fino, se asocia a Bt alejándose del relleno.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 3,0 % Mena: 2,5		
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	2,5	El 80% en vetillas, el resto diseminado en la roca, pero con preferencia en los halos de Ser verde.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,2	Diseminada en la roca. Asociada con Ccp en menor proporción (20%).
Rutilo	0,3	Diseminada.
Magnetita	<<<1	Diseminada o asociada a Ccp.

Sulfuros Totales:	2,5
-------------------	-----

Vetillas	
Vetilla tipo D:	relleno de Ccp (+ Hem, Mag, Anh y Chl-Esm) continuo, sinuosidad baja, borde irregular. Ancho de 2,8 mm / Halo de ser (+Ksp-Ab) de 0,6 mm máx. irregular.
Vetilla C:	relleno de Ccp de 0,2 mm de ancho, discontinua, irregular, sinuosidad baja. Halo de 0,6 mm aprox de Ser verde asociada con Bt.

OBSERVACIONES: En el corte también existe una vetilla tipo B, cortada por la D; y otra tipo C.

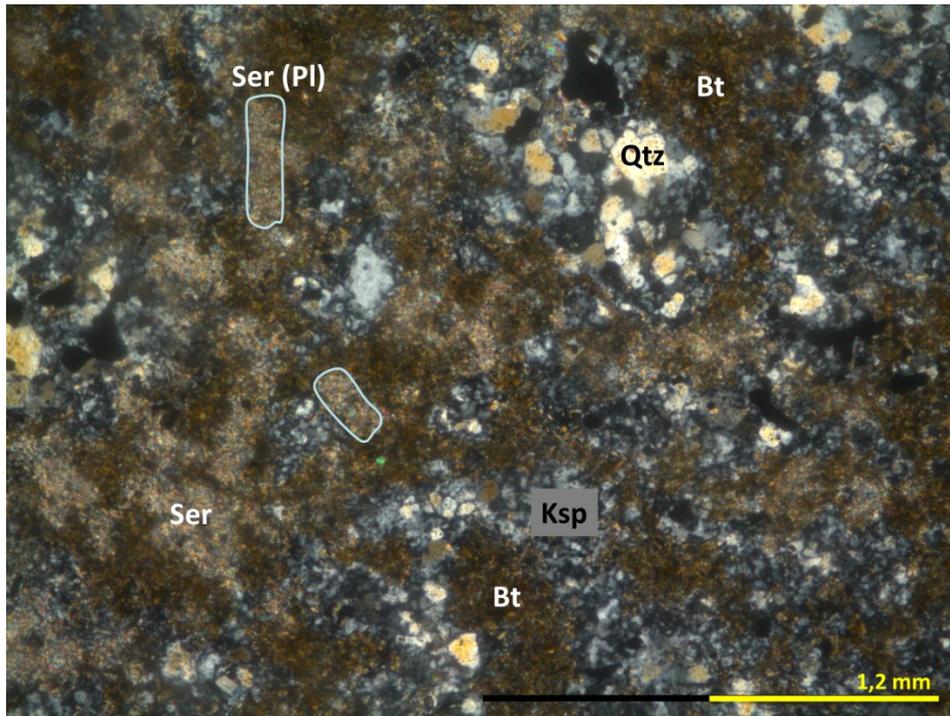


Figura 40. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 4898, tramo 81 correspondiente a Andesita a nicoles cruzados.

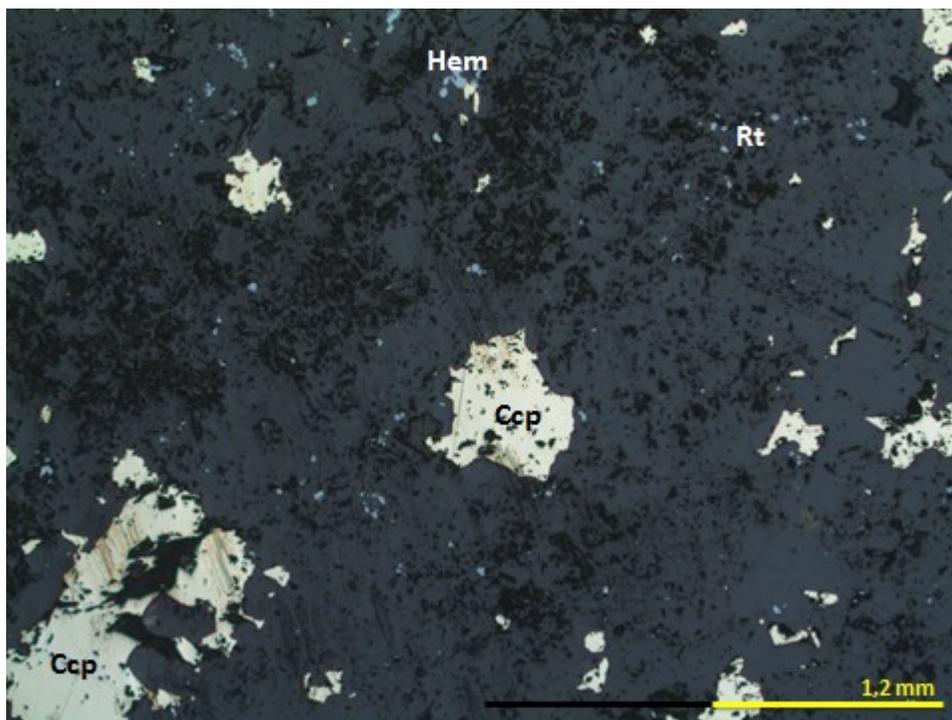


Figura 41. Fotomicrografía del sondaje 4898, tramo 81 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

5. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS DEL SONDAJE 5375

5.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: GDRB
 Sondaje: 5375
 Tramo: 27,3

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
		% Mineralogía primaria: 65 % Mineralogía secundaria: 35
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	35	Cristales subhedrales a euhedrales de 0,5mm aprox.
Feldespato K	40	Se observa adularia sericitizada, romboidal, acicular radial y asociada con Ksp (ortoclasa). Ortoclasa alterada de 0,5 mm promedio.
Plagioclasa	10	Mayormente se observa con la macla de carlsbad.
Biotita	9	Primaria están cloritizadas, aisladas. De 0,15mm aprox.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	1	Como microfenocristales.
Circón	<1	Como inclusiones.
Corindón	<1	Cristales anhedrales rodeados de Ser.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	15	Selectiva en la adularia, intensidad fuerte. Débil a moderada en la ortoclasa.
Carbonato	10	Rellenando espacios entre cristales.
Turmalina	1	Heredada, intensidad débil.
Biotita	5	Asociadas con carbonatos y Ser. De tamaño menor que las primarias, no cloritizadas, de bordes difusos.
Clorita	4	Selectiva en la Bt, intensidad fuerte.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 1,4 % Mena: 1,2
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,3	Diseminada (55%), en cúmulos (40%) y vetillas (5%) , asociada con Bn.
Bornita	0,8	Diseminada (65%), en cúmulos (25%) y en vetillas (10%), reemplazada por Cc. Cristales de 0,15 mm promedio.
Calcosina	0,1	Reemplazando Bn.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	0,1	Diseminado.
Rutilo	0,1	Diseminado o asociado con Bn principalmente.

Sulfuros Totales:	1,2
-------------------	-----

OBSERVACIONES: La muestra posee corresponde a una GDRB, la cual presenta una inyección aplítica con la típica textura sacaroidal que se mezcla con el intrusivo, mostrando una zona transicional. Presencia de vetillas con relleno discontinuo de Ccp-Bn principalmente de espesor 0,15mm.

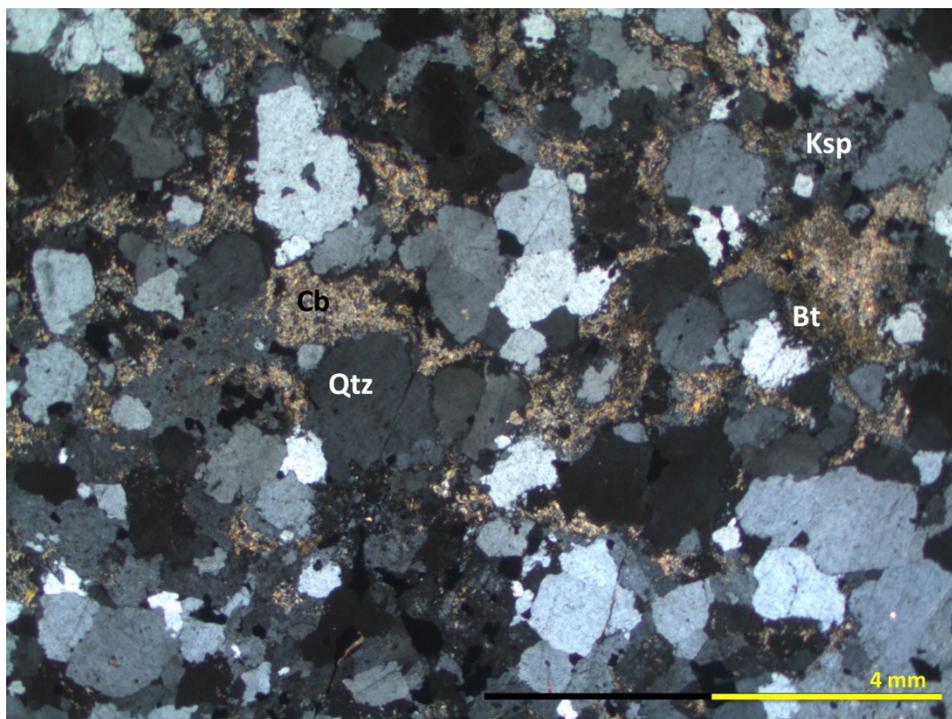


Figura 42. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 5375, tramo 27,3 correspondiente a Granodiorita Río Blanco a nicoles cruzados.

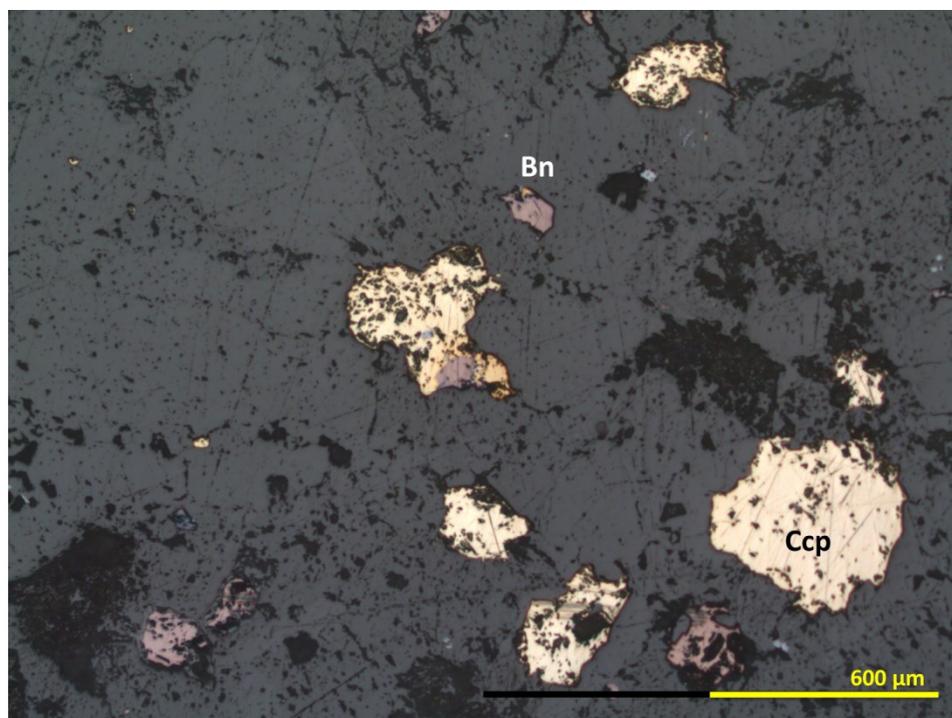


Figura 43. Fotomicrografía del sondaje 5375, tramo 27,3 correspondiente a Granodiorita Río Blanco a luz reflejada.

5.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: AN
 Sondaje: 5375
 Tramo: 32

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 15 % Mineralogía secundaria: 85		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales	%	Características/Ocurrencia
Plagioclasa	8	No frescas, alterada con Ser y Bt en forma pervasiva. Distinguibles por su hábito tabular. Tamaño 0,25 - 0,5 mm.
Masa Fundamental	%	Características/Ocurrencia
Feldespato K	5	Probablemente la mayoría esté recristalizado. Tamaño <0,08 mm.
Cuarzo	4	Cristales de mayor tamaño, en textura de desequilibrio con el entorno han de ser primarios.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Corindón	1	Cristales incoloros, con tonos azules, subhedrales, rodeados de Ser.
Andalusita	1	Cristales incoloros, más alterados y pequeños, rodeados de Ser.
Apatito	1	De aspecto turbulento, de hasta 0,4 mm.
i) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	15	Selectiva en las Pl y en cúmulos en la muestra. Rodea a los minerales aluminicos.
Biotita	30	Alteración dominante en la muestra, pervasiva. Asociada con Ksp.
Feldespato K	25	Pervasivo, de intensidad fuerte. Ha de pertenecer a una alteración potásica.
Turmalina	10	Craquelado, presente como vetillas o como turmalina heredada, anhedral.
Cuarzo	5	Recristalizado, rellenando cavidades o en vetillas. Presente en diferentes tamaños, peron

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,0 % Mena: 2,5
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	1,5	Diseminada (30%), en vetillas (30%) y cúmulos (40%).
Bornita	1	Diseminada (35%), en vetillas (25%) y cúmulos (40%). Tamaño variable, menor a 1,2 mm (cúmulos).
Calcosina	<0,1	Reemplazo envolvente en Bn. También existe como minerales aislados, no asociados, de 0,15 mm.
Molibdenita	trazas	Cristales tabulares aislados o asociados con Bn.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Hematita	3	Asociada comúnmente con Ccp-Bn. Diseminada.
Magnetita	<0,1	Diseminada.
Rutilo	2	Diseminado.

% Sulfuros totales:	1,6
---------------------	-----

OBSERVACIONES: Andesita de textura obliterada con alteración potásica penetrativa y sericitica sobreimpuesta. No se observa la masa fundamental original, solo algunos cristales que pudieron ser parte de la mineralogía primaria. El mayor porcentaje de Bn en la roca se halla en un sector con alteración feldespática fuerte. Se observa la asociación Crn-Ser y And. Presencia de vetillas finas con relleno discontinuo de Ccp-Bn y minerales asociados, ancho <0,3 mm.

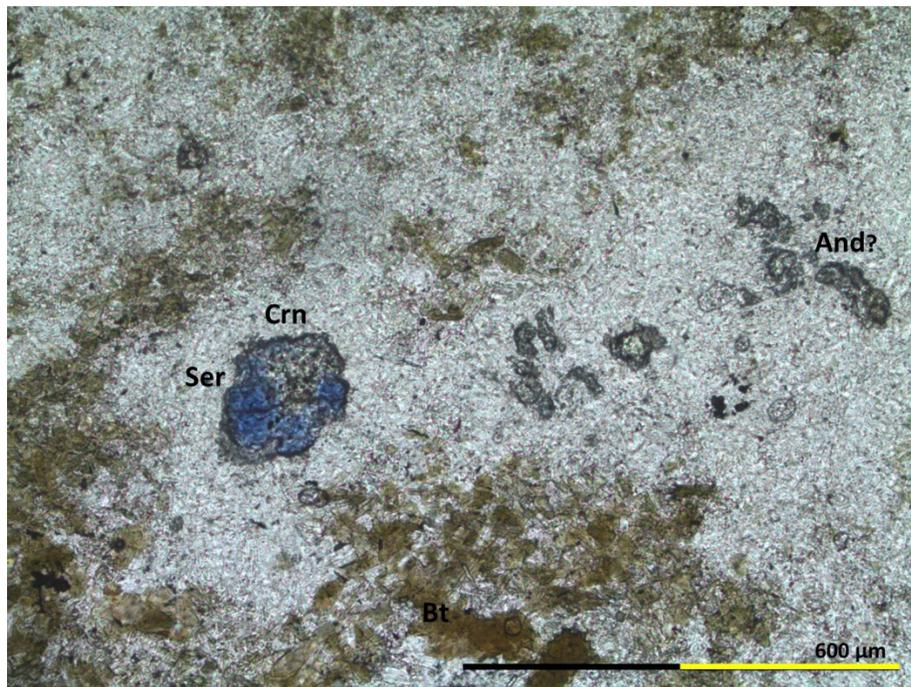


Figura 44. Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 5375, tramo 32 correspondiente a Andesita a nicoles paralelos, donde se muestra corindón (rodeado de sericita) y andalusita.

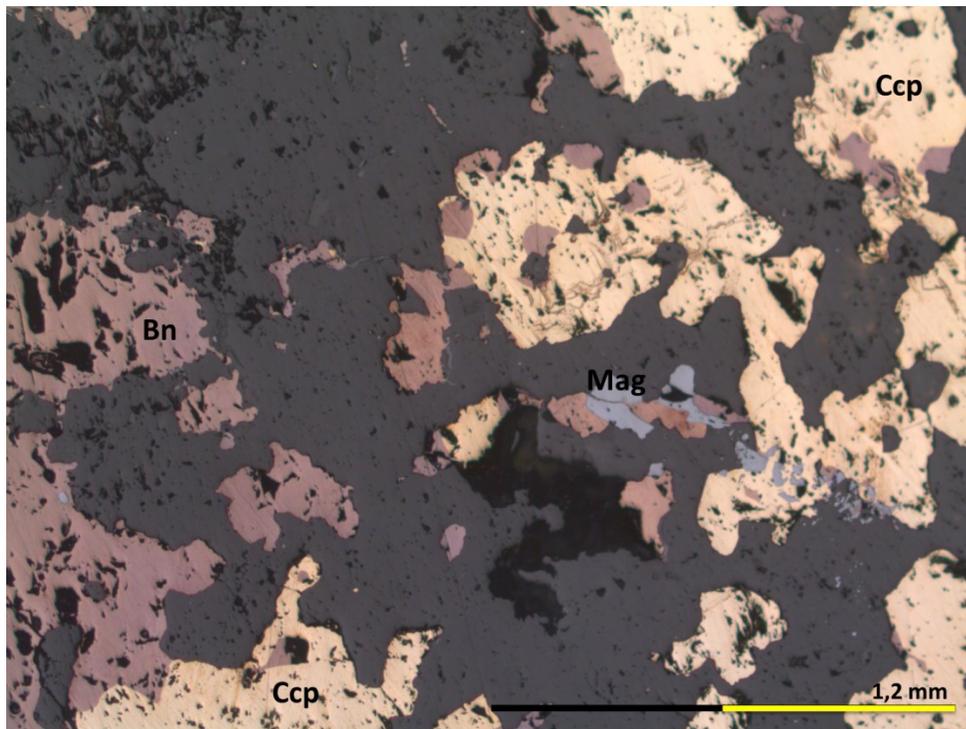


Figura 45. Fotomicrografía del sondaje 5375, tramo 32 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

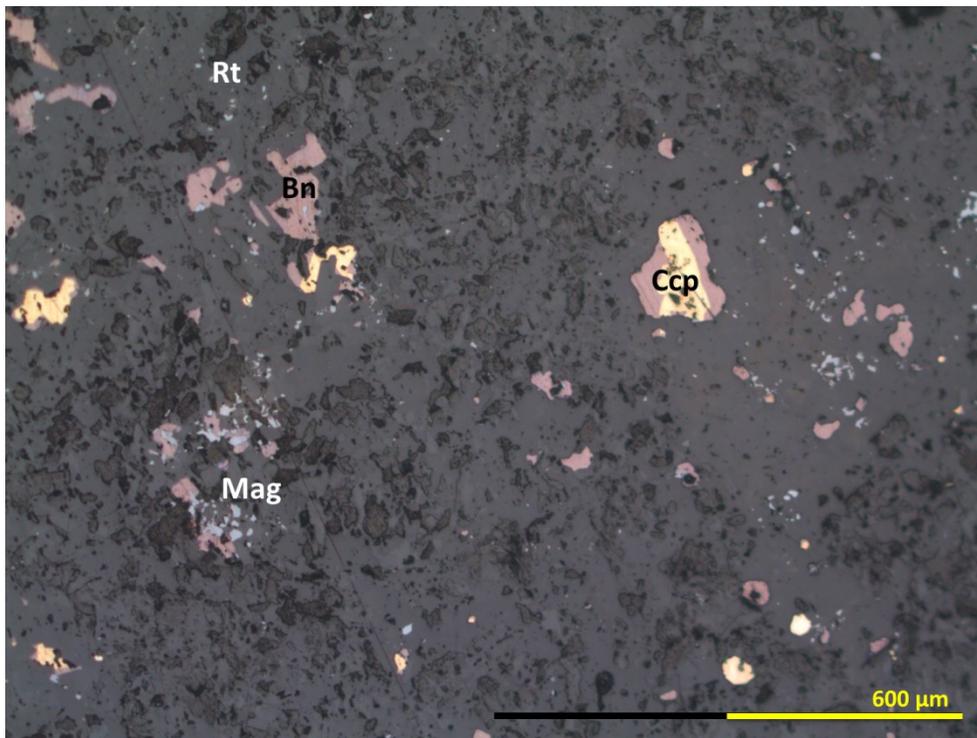


Figura 46. Fotomicrografía del sondaje 5375, tramo 32 correspondiente a Andesita a luz reflejada.

5.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS

Litología: BXT
 Sondaje: 5375
 Tramo: 43,5

DESCRIPCIÓN A LUZ TRANSMITIDA		
% Mineralogía primaria: 10 % Mineralogía secundaria: 90		
i) Mineralogía Primaria		
Clastos	%	Características/Ocurrencia
Obliterados	60	Clastos con carbonatos. Más que clastos de una unidad, parecen corresponder a una brecha cuya matriz está recristalizada con Qtz >> Ksp y clastos de monomícticos de Qtz por lo general. Podría corresponder a una GDRB, dadas las Bt primarias presentes en forma de cúmulos y el tamaño de los cristales.
Matriz	%	Características/Ocurrencia
BXT	37	Turmalina de grano muy fino cuyos cristales aumentan de tamaño hacia los clastos. También existen cristales similares a biotitas.
Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Corindón	1	Cristales incoloros, con tonos azules, subhedrales, rodeados de Ser.
Andalusita	1	Cristales incoloros, más alterados y pequeños, rodeados de Ser.
Apatito	1	Como inclusiones <0,1 mm.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Anhidrita	3	Cristales presentes en clastos, rodeados por yeso, de hasta 0,4 mm.
Sericita	25	Presente en toda la roca, de intensidad fuerte. Especialmente selectiva alrededor de Crn y And.
Feldespato K	10	Presente en la masa fundamental de los clastos. Recristalización.
Cuarzo	30	Presente en toda la roca, recristalización fuerte. Existen clastos solo de Qtz.
Carbonato	20	Solo presente en los clastos.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
		% Minerales opacos: 3,8 % Mena: 2,5
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	2	Diseminada en toda la roca (60%), cúmulos en clastos (35%) y microvetillas (5%). Se le observa rellenando espacios.
Bornita	0,5	Reemplazando Ccp, se le ve en textura envolvente. Diseminada 100%.
Calcosina	<0,1	Reemplazando, asociada con Bn o Ccp.
Molibdenita	trazas	Cristales aislados en clastos.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	1	Parece estar rellenando espacios, brechizando, indistintamente en clastos o matriz. Se le observa con hábito tabular, asociado a Ccp comúnmente. Diseminada y en cúmulos.
Hematita	0,3	Asociado con Mag en mucha menor cantidad.

% Sulfuros totales:	2,5
---------------------	-----

Vetillas
La roca casi no tiene Vetillas, solo un par de microvetillas apenas visibles, con relleno discontinuo de Ccp>>>Bn de 0,03 mm aprox.

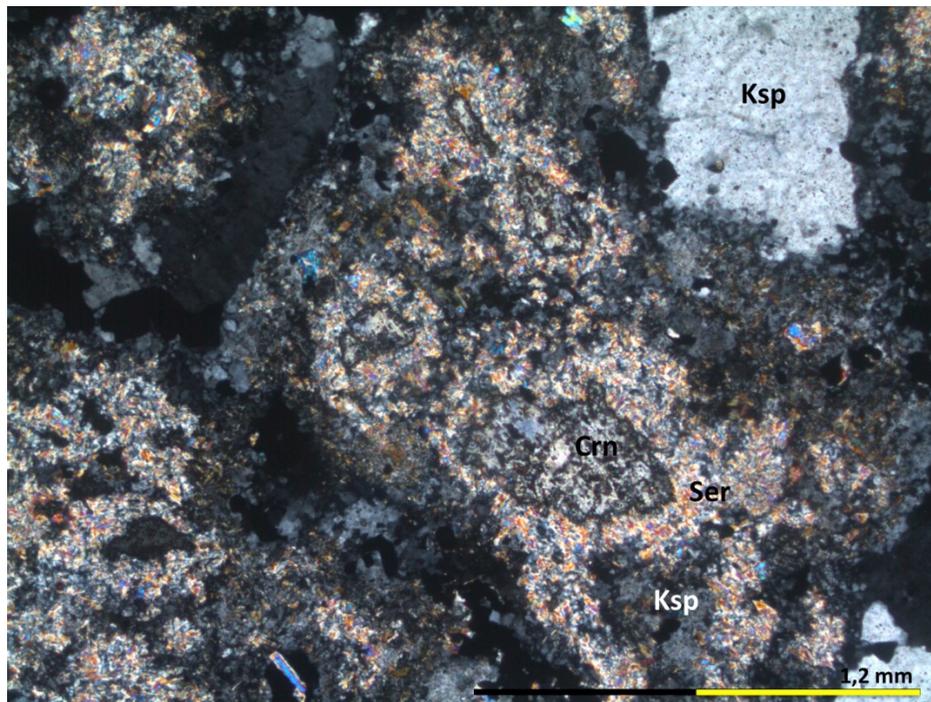


Figura 47. . Fotomicrografía a luz transmitida del sondaje 5375, tramo 43,5 correspondiente a un clasto de Brecha de Turmalina a nicoles cruzados, donde se muestra la asociación corindón-sericita.

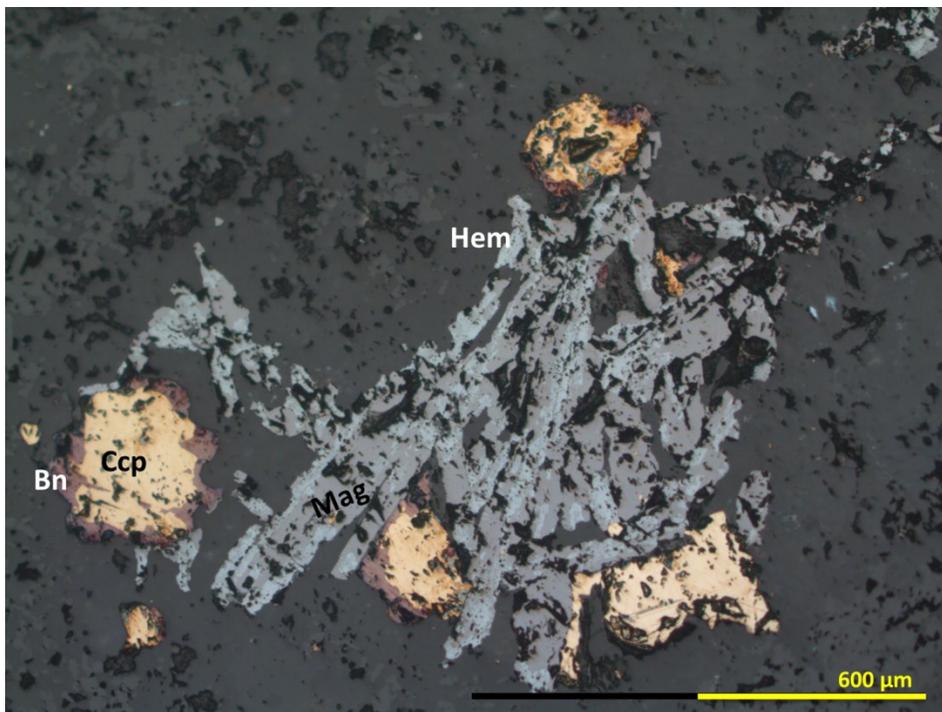


Figura 48. Fotomicrografía del sondaje 5375, tramo 43,5 correspondiente a Brecha de Turmalina a luz reflejada.

5.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE ROCAS (sin imagen)

Litología: GDRB
 Sondaje: 5375
 Tramo: 55,3

DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA		
% Mineralogía primaria: 80 % Mineralogía secundaria: 20		
i) Mineralogía Primaria		
Fenocristales	%	Características/Ocurrencia
Cuarzo	15	Cristales subhedrales, demuestran condiciones de alta presión (extinciones diferentes en un mismo cristal). De 0,4mm.
Feldespato K	20	De 0,8mm promedio, poco alterados con Ser. Común textura peritítica.
Plagioclasa	30	Alteradas débilmente con Ser y >1mm (máx 2 mm).
Biotita	15	Aisladas de 0,6 mm y en cúmulos, se desarrollan en espacios.
Minerales Accesorios	%	Características/Ocurrencia
Apatito	1	Común que esté asociado con Bt como microfenocristales
Circón	trazas	Inclusiones.
Corindón	1	No se observa con el pleocroísmo azul, pero sí su forma característica (riñón) y rodeado de ser.
Andalusita	trazas	De alto relieve, similar al Crn, pero sin pleocroísmo azul.
ii) Mineralogía Secundaria		
Minerales de Alteración	%	Características/Ocurrencia
Sericita	10	Selectiva en Ksp y Pl, de intensidad moderada.
Carbonatos	<1	En cantidades mínimas.
Biotita	3	Se observan algunas diseminadas en la roca, de menor tamaño que las primarias y anhedrales.
Clorita	2	Selectiva en pocas Bt. Intensidad moderada.
Arcillas	5	Presentes en Pl y Ksp, intensidad débil a moderada.

DESCRIPCIÓN A LUZ REFLEJADA		
% Minerales opacos: 0,85 % Mena: 0,75		
i) Mineralogía de mena		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Calcopirita	0,5	Diseminada y en venillas, de bordes irregulares hasta 1,3 mm.
Bornita	0,2	Intercrecida con Ccp y aislada, diseminada principalmente. Con reemplazo de Cc.
Calcosina	<0,05	Reemplazando a Bn, casi total y presente en el 80% de ellas.
ii) Mineralogía de ganga		
Mineral	%	Características/Ocurrencia
Magnetita	0,1	Diseminada y asociada con Ccp.

Sulfuros Totales:	0,75
-------------------	------

