



**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**SEGUIMIENTO DE BLANCOS DE EXPLORACIÓN BÁSICA EN  
PROYECTO FRANJA ORIENTAL RÍO BLANCO,  
CONSIDERANDO LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO  
GEOLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS, REGIÓN DE  
VALPARAÍSO, CHILE.**

**KISSY JASSETH JIMÉNEZ FLORES**

Copiapó, Chile 2023

**UNIVERSIDAD DE ATACAMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA**



**SEGUIMIENTO DE BLANCOS DE EXPLORACIÓN BÁSICA EN  
PROYECTO FRANJA ORIENTAL RÍO BLANCO,  
CONSIDERANDO LA ACTUALIZACIÓN DEL MODELO  
GEOLÓGICO, REGIÓN DE VALPARAÍSO, CHILE.**

**"TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO EN CONFORMIDAD A LOS  
REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE GEÓLOGO"**

**Profesor guía: Dr. Karl Riveros Jensen**

**KISSY JASSETH JIMÉNEZ FLORES**

Copiapó, Chile 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, les agradezco a mis padres y hermana que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales, deportivos y académicos, en donde siempre me han motivado por ser una persona integral y humilde, desde mi infancia hasta el día de hoy. Ellos son quienes me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas, hago una mención memorable a mi papá Samuel quien fue el que tomó mi mano, me adoptó como su hija, y a quien hasta el día de hoy admiro como el mejor hombre del mundo.

Son muchos los docentes y geólogos profesionales que han sido parte de mi camino de aprendizaje en la carrera, a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para poder estar aquí hoy, para demostrar la profesional en la que me he convertido; sin ustedes los conceptos serían solo palabras, y las palabras ya que sabemos que se las lleva el viento.

Por último, agradecer a todos mis amigos y mi compañero de vida, Pablo quien me ha acompañado estos lindos 4 años, en donde ha sacado y potenciado lo más lindo de mi como persona, por creer que siempre puedo llegar más allá, por hacerme inmensamente feliz y por querer a mis bebes gatunas Puky y Cristal como sus hijas.

***“Ningún mar en calma hizo  
un experto a un marinero”***

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. CONTEXTO Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3. ÁREA DE ESTUDIO, UBICACIÓN Y ACCESOS .....	3
1.4. HISTORIA DEL PROYECTO Y TRABAJOS ANTERIORES.....	5
1.4.1. PROPIEDAD MINERA .....	5
1.4.2. TRABAJOS ANTERIORES.....	5
2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS.....	14
2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL.....	14
2.1.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS.....	16
2.1.2 UNIDADES INTRUSIVAS .....	18
2.2. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO RÍO BLANCO .....	21
2.2.1. LITOLOGÍA .....	21
2.2.1.1 UNIDADES VOLCÁNICAS.....	21
2.2.1.2 UNIDADES INTRUSIVAS .....	21
2.2.1.3 PÓRFIDOS .....	24
2.2.1.4 COMPLEJO SUBVOLCÁNICO .....	27
2.2.1.5 COMPLEJO DE BRECHAS.....	28
2.2.2. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN.....	35
2.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	40
3. METODOLOGÍA.....	42
3.1. PERFORACIÓN DDH.....	42
3.2. FOTOGRAFÍA .....	43
3.3. CORTE DE TESTIGOS.....	43
3.4. MAPEO DE SONDAJES .....	44
3.5. MUESTREO .....	45
3.6. ENVÍOS A LABORATORIO GEOQUÍMICO .....	46
3.7. MAPEO DE VETILLAS .....	46

3.8. ANÁLISIS DE SECCIONES TRANSPARENTES .....	46
4. RESULTADOS CAMPAÑA SONDAJES “FRANJA ORIENTAL RÍO BLANCO” .....	47
4.1. GEOLOGÍA .....	47
4.2. MODELAMIENTO GEOLOGICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS .....	66
4.2.1. ESTUDIO EXPLORATORIO DE DATOS.....	66
4.2.2 ANÁLISIS DE LA LITOLOGÍA.....	67
4.2.3. ANÁLISIS DE ALTERACIÓN .....	68
4.2.4. ANÁLISIS DE LA MINERALIZACIÓN .....	70
4.2.5. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA V/S LITOLOGÍA.....	71
.....	92
.....	93
.....	93
4.2.7. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSOS GEOLÓGICOS – EXPLORATORIOS .....	95
5. DISCUSIONES .....	97
5.1. UNIDADES LITOLÓGICAS .....	97
5.1.1. GRANODIORITAS .....	97
5.1.2. PÓRFIDO DON LUIS .....	98
5.1.3. COMPLEJO DE BRECHAS RÍO BLANCO.....	98
5.2. ALTERACIÓN HIDROTERMAL.....	99
5.2.1. ALTERACIÓN POTÁSICA.....	100
5.2.2. ALTERACIÓN SERICÍTICA GRIS-VERDE (SGV) .....	101
5.3. MINERALIZACIÓN.....	102
5.3.1. OCURRENCIA .....	102
5.3.2. RELACIÓN CON ALTERACIONES.....	102
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	104
7.BIBLIOGRAFÍA .....	106
8. ANEXOS .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Ubicación del área de trabajo (encerrado en un cuadro rojo) y propiedad minera. Franja Oriental Río Blanco, Entorno La Americana (ELA) y Copa Norte-Sur (Copa NS). .....	4
<b>Figura 1.2:</b> Ubicación del área de trabajo y propiedad minera. Franja Oriental Río Blanco (FORB), Entorno La Americana (ELA) y Copa Norte-Sur (Copa NS). .....	4
Americana (ELA) y Copa Norte-Sur (Copa NS).....	4
<b>Figura 1.3:</b> Sectores evaluados y potenciales geológicos por niveles. Andina Sur Profundo.....	9
<b>Figura 1.4:</b> Sectores evaluados y potenciales geológicos por niveles. Andina Sur Profundo....	11
<b>Figura 2.1: a)</b> Mapa que muestra la posición del segmento flat-slab, la distribución de los volcanes cuaternarios (NVZ = zona volcánica norte, SVZ = zona volcánica sur) y la ubicación de los pórfidos Mio-Pliocenos Los Pelambres (LP), Río Blanco – Los Bronces (RB-LB), El Teniente (ET) y Rosario de Rengo (RR). Tomado de Mpodozis and Cornejo (2012). <b>b)</b> Marco geológico regional de la franja metalogénica Mioceno - Plioceno temprano en Chile Central y centro-oeste en Argentina. Se muestran las fallas principales de las fajas plegadas y corridas. ....	15
de la Cordillera Frontal. Modificado de Serrano et al. (1996). .....	15
<b>Figura 2.2:</b> 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 .....	20
<b>Figura 2.3: A-B)</b> Rocas de caja del sector Río Blanco consistentes en Andesitas porfídica con fenocristales de plagioclasa inmersas en una masa fundamental compuesta por microlitos de plagioclasa; <b>C-D):</b> Granodiorita Río Blanco de textura equigranular compuesta de cuarzo, feldespatos potásico y plagioclasa con máficos alterados a biotita; <b>E-F):</b> Aplita de grano medio a fino con desarrollo de texturas gráficas. ....	23
<b>Figura 2.4: A-B-C):</b> Pórfidos tempranos del sector Río Blanco consistente en Pórfido Cuarzomonzonítico (PQM); <b>D):</b> Brecha de matriz polvo de roca con fragmentos de brechas de biotita y pórfido PQM; <b>E-F):</b> Relaciones de temporalidad de pórfidos PQM conteniendo fragmentos de brecha. <b>G-H-I):</b> Pórfidos tardíos del sector Río Blanco consistentes en Pórfido Feldespático (PFELD). .....	26
<b>Figura 2.5: A-B):</b> Brecha de matriz polvo de roca y turmalina con fragmentos angulosos de granodiorita/cuarzo monzonita. <b>C-D):</b> Fotomicrografía de la matriz compuesta por fragmentos de cuarzo y feldespatos de la granodiorita y cementados por biotita fina y turmalina. ....	30
<b>Figura 2.6: A):</b> Brecha de matriz polvo de roca con fragmentos angulosos de granodiorita y andesitas biotitizados. <b>B-C):</b> Fotomicrografía de detalle la compone matriz de la brecha donde se observan fragmentos de feldespatos y cuarzo, constituyentes principales del “Polvo de Roca”. <b>D):</b> Brecha polimíctica compuesta por matriz de polvo de roca y fragmentos de posibles andesitas,	

granitoides, brechas de turmalina y pórfidos. **E:** Fotomicrografía del aspecto de la matriz compuesta principalmente por sericita y polvo de roca constituido por abundantes opacos. .... 31

**Figura 2.7: A:** Brecha de matriz biotita monomítica con fragmentos angulosos de granodiorita con matriz biotita y polvo de roca, siendo esta cortada por veta tipo “C” con mineralización de pirita y calcopirita. .... 32

**Figura 2.8:** Sectores y unidades litológicas del yacimiento Río Blanco. El área de estudio se encuentra en la parte central bajo La Unión, llamada Don Luis Subterráneo. Cota 3188. (Mapa sin escala) ..... 33

**Figura 2.9:** Modelo de dominios de Alteración y de Mineralización sección XC-315, Don Luis (Vista con orientación W-E). A) Ambiente Pórfido Don Luis; B) Ambiente de roca de caja; SGV: Sericita Gris Verde; TS: Total de sulfuros; SSCu: Sulfosales de Cu-As-Sb; Fk: Feldespato Potásico; Bt: Biotita; QS: Cuarzo-Sericita; SG: Sericita Gris; Ab: Albita; Tu: Turmalina; Ep: Epidota; Chl: Clorita; Esp: Especularita. .... 38

**Figura 2.10:** Mapa geológico simplificado del yacimiento Río Blanco – Los Bronces, mostrando las localidades de los principales depósitos y prospectos. Modificado de Irarrázaval et al. (2010). Abreviación de minerales: al = alunita, kao = kaolinita, py = pirita, qz = cuarzo. .... 41

**Figura 4:** Ubicación y distribución de los sondajes subterráneos desarrollado en el proyecto Franja Oriental Río Blanco, llevado a cabo desde el Nivel 17, en los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur. .... 47

**Figura 4.1:** Sección Geológica por la traza del sondaje 6100, (a) Presenta las principales unidades litológicas del sondaje, donde la unidad intrusiva es cortada por cuerpos de brechas de biotita BXB, a partir de la cota 2800 m s n m en profundidad hasta alcanzar la cota 2500 m s n m. (b) Distribución de las zonas de alteración donde se observa que los primeros 800 m la alteración es sericita gris verde con intensidades de débil a moderada y en profundidad la alteración es sericita gris, cortada por eventos tardíos de cuarzo-sericita (QS) con orientación NE. (c) Distribución de los cuerpos mineralizados, donde se observa una clara disminución del cobre hacia el este, sin embargo el sondaje identifica en profundidad una mineralización de cobre 0.5 a 0.75% CuT, asociado a cuerpos de brechas hidrotermales de biotita. .... 50

**Figura 4.2:** Fotografía. Sondaje 6100 (1082 m). Se presenta la unidad intrusiva Granodiorita Cascada cortada por digitaciones de brechas de biotita, con intensa mineralización de sulfuros de cobre Cpy>>Py. .... 50

**Figura 4.3:** Sección por la traza del sondaje 6101, realizado sobre la cota 3000 m s n m. (a) Distribución de las principales unidades litológicas observándose en la parte izquierda el cuerpo subvolcánico denominado Pórfido Don Luis, una franja de brechas hidrotermales denominadas Complejo de Brechas Río Blanco y la roca de caja intrusiva de mayor distribución Granodiorita Cascada, cortada por digitaciones de brechas de biotita. (b) La unidad de pórfido presenta una alteración SGVd, mientras que los cuerpos de brechas la alteración SGV tiene intensidades entre moderada y fuerte, mientras que en la roca de caja tiene una zonación lateral de una SGV a una

SG. (c) Distribución de las envolventes de mineralización, presentando la zona de mayor ley de cobre, asociados al Complejo de brechas Río Blanco, en la parte central de la sección. Hacia el oriente las digitaciones de brechas de biotita, sobre la cota 3000 m s n m, presentan una mineralización de cobre <03% CuT. .... 53

**Figura 4.4:** Fotografía. 6101 (836 m) Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada, agrietada y cortada en un primer evento por vetillas perpendiculares al eje del sondaje tipo B y C. Un segundo evento es definido por vetillas subparalelas al eje del sondaje, definido por vetillas tardías tipo E. .... 53

**Figura 4.5:** Secciones realizadas por la traza del sondaje 6102, azimut 62.5° e inclinación -17°, alcanzando un largo de 1380.35 m perforados entre las cotas 3200 a 2800 m s n m. (a) Sección Litológica, en la parte izquierda se aprecia el Complejo de brechas Río Blanco, definida bajo la cota 3200 m s n m por brechas de biotita – polvo de roca. Hacia el este un dominio de la unidad intrusiva Granodiorita Cascada, cortada por digitaciones de cuerpos de BXB. (b) Se presenta un dominio de alteración de sericita gris verde con intensidades de moderada a fuerte y en profundidad la alteración es principalmente sericita gris. A lo largo de todo el sondaje se definen eventos de alteración hidrotermal tardía. (c) Distribución de envolventes de mineralización, definiendo una mineralización relevante en la roca de caja intrusiva (1.0 a 1.5% CuT), sobre la cota 3200 m s n m. .... 55

**Figura 4.6:** Fotografía. 6102 (990 - 992 m) Granodiorita Cascada agrietada, cortada por vetillas subparalelas al eje del sondaje, donde los valores de cobre alcanzan hasta 1.86% CuT..... 56

**Figura 4.7:** Sección diseñada por la traza del sondaje 6104, entre las cotas 3200 a 2500 m s n m. (a) Sección Litológica donde se muestra la extensión del Complejo de Brechas Río Blanco, adosada inmediatamente al cuerpo subvolcánico Pórfido Don Luis. En profundidad digitaciones de brechas de biotita cortando la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada. (b) La alteración sericita gris verde es la alteración con mayor distribución a lo largo del sondaje y va disminuyendo en profundidad. (c) Envolventes de Mineralización, se presenta una mineralización de cobre en la unidad de pórfido con valores 0.5 a 0.75% CuT, y 1.0 a 1.5% CuT en el cuerpo de brechas. En profundidad se desarrolla una mineralización relevante de cobre entorno a las digitaciones de brechas de biotita, con valores entre 1.0 a 1.5% CuT. .... 58

**Figura 4.8:** Fotografía. Brecha Hidrotermal de Biotita (BXB) a 944 m, matriz soportante de biotita y material polvo de roca, fragmentos de roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada. Mineralización de cobre definida por calcopirita > bornita, ocurre en vetillas, cúmulos y diseminada en matriz de brecha, alcanza valores hasta 8.23% CuT. .... 58

**Figura 4.9:** Sección diseñada por la traza del sondaje 6105, recorriendo entre las cotas 3200 a 2600 m s n m. (a) Sección Litológica costado izquierdo Complejo de Brechas Río Blanco, adosada al Pórfido Don Luis. La unidad de mayor distribución es Granodiorita Cascada, cortada por una serie de cuerpos de Brechas de Biotita a lo largo del sondaje. (b) En la parte alta del sondaje representa la alteración sericita gris verde con intensidad moderada a fuerte penetrativa en cuerpos de brechas hidrotermales de biotita. En la roca de caja intrusiva su intensidad es moderada a débil.

(c) Envoltentes de mineralización, concentrando los mayores valores entorno a los cuerpos de brechas hidrotermales de biotita, escenario que se observa hasta fondo de pozo. .... 60

**Figura 4.10:** Fotografía. Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada con fuerte agrietamiento y cortada por vetillas tipo C, además vetillas tardías y tipo B, subparalelas al eje del sondaje. .... 61

**Figura 4.11:** Secciones realizadas por la traza del sondaje 6106. (a) Litología ubicado en la parte norte del proyecto, a la izquierda, Complejo de Brechas Río Blanco, adosado al cuerpo del Pórfido Don Luis. Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada cortada por cuerpos de brechas de biotita, en la parte central del sondaje. (b) La mayor distribución en el sondaje es sericita gris verde penetrativa en zonas de brechas de biotita y roca intrusiva con fuerte agrietamiento, con intensidades moderada a débil en la parte alta del sondaje y en profundidad y hasta fin de pozo, la roca de caja con un fondo de alteración Biotita – Clorita, presenta una débil alteración definida por sericita gris. (c) Envoltentes de Mineralización, desarrollo de mineralización de cobre 0.75 a 1.0% CuT, en la parte central de la sección, controlada al este por estructuras de orientación ENE. Al costado derecho, desarrollo de mineralización de cobre con valores hasta 0.75% CuT. .... 63

**Figura 4.12:** Roca de caja granodiorita Cascada con fuerte agrietamiento, cortada por vetillas de sulfuros sub-paralelas al sondaje entre 30 a 60°, obedeciendo a los principales sistemas estructurales del yacimiento. .... 63

**Figura 4.13.:** Secciones realizadas por la traza de sondaje 6107, ubicado al este del Complejo de Brechas Río Blanco, entre las cotas 3200 a 2500 m s n m. (a) La unidad litológica de mayor distribución es GDCC cortada por digitaciones discretas de brechas de biotita. (b) Desde el inicio del sondaje presenta una alteración de fondo potásica caracterizada por biotita clorita selectiva y en gran parte del sondaje la intensidad de esta alteración hidrotermal es débil con puntuales a moderados y en profundidad y hasta fondo de pozo la alteración hidrotermal es sericita gris. (c) Distribución de las envoltentes de mineralización, con claro desarrollo de una mineralización débil 0.3 a 0.5% CuT. Valores >0.5% CuT se presentan en discretos cuerpos asociados a las brechas de biotita, que continúan hasta la cota 2500 m s n m. .... 65

**Figura 4.14:** Planta del Proyecto Franja Oriental Río Blanco. La simbología muestra la infraestructura de túneles, los sondajes de la campaña y la envoltente de mineralización de interés del Proyecto Don Luis Subterráneo de la División Andina..... 66

**Figura 4.16:** Planta litológica realizada a la cota 3000 msnm, a partir de la información de las secciones. (a) Las grandes unidades litológicas obedecen a lo esperado, en el marco de interés de la división, sin embargo, el rasgo litológico más relevante se observa en la parte más oriental del área alcanzada por los sondajes, y es la definición de un tren de brechas hidrotermales de biotita orientada en el sentido principal de mineralización de orientación N10 a 30°W. (b) El mayor desarrollo de la mineralización de este tren de brechas orientales se presenta entre las cotas 2800 a 2500 msnm. .... 89

**Figura 4.15:** Se reconoce un vector exploratorio con respecto a la zonación vertical a partir del sistema estructural, el cual claramente tiene implicancias pre, syn y post mineralización. Donde se

ha confirmado el desarrollo de cuerpos de brechas de biotita-polvo de roca hacia el oriente con variaciones de potencia y mineralización según las cotas lo cual da continuidad al tren distrital del norte a sur desde el sector de Cerro Negro, pasando por Valle de la Luna, hasta Valle de la Luna Sur..... 89

**Figura 4.17:** Sólido del yacimiento (figura de color rojo), en donde se realizará la nueva actualización del nuevo modelo geológico del yacimiento a partir de los 800 m de los sondajes de FORB (cuadro azul)..... 90

**Figura 4.18:** Área de modelamiento EMSA..... 91

**Figura 4.18:** a) Vista en planta de la nueva zona actualizada a partir de los sondajes mapeados por FORB. b-c) Vista isométrica de los cuerpos nuevos de brechas de biotita que se encontraron en profundidades bajo la cota 3000 msnm. .... 91

**Figura 5.1:** Granodiorita Río Blanco (GDRB) con alteracion potásica de fondo, donde se observa un cumulo de biotitas secundarias (shreddy biotitie). .... 101

**Figura 5.2:** Diagrama Log fS2 – 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 .... 103

## ÍNDICE DE TABLAS Y GRÁFICOS

<b>Tabla 1:</b> Temporalidad de unidades litológicas de los sectores Rio Blanco y Don Luis. Nota Interna, División Andina. ....	34
<b>Tabla 2:</b> Minerales de alteración hidrotermal y con contenido de metales. Yacimiento Rio Blanco. ....	39
<b>Tabla 3:</b> Asociaciones de Alteración definidas para el yacimiento Rio Blanco.....	39
<b>Tabla 4:</b> Cuadro resumen de los pozos perforados realizados en el Proyector Franja Oriental Rio Blanco.....	42
<b>Tabla 5:</b> Cuadro resumen de los metros cortados de los testigos de sondajes Franja Oriental Rio Blanco.....	43
<b>Tabla 6:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6100.....	49
<b>Tabla 7:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As del sondaje 6100.....	49
<b>Tabla 8:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6101.....	52
<b>Tabla 9:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, obedece a cuerpos subparalelas al eje del sondaje con largos 8 a 18 m. ....	52
Los tramos mineralizados significativos son:.....	54
<b>Tabla 10:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6102.....	55
<b>Tabla 11:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico, distribuido principalmente en la parte alta del sondaje 6102.....	55
<b>Tabla 12:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6104.....	57
<b>Tabla 13:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en el sondaje 6104.....	57
<b>Tabla 15:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en profundidad del sondaje 6105.....	60
<b>Tabla 14:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6105.....	60
<b>Tabla 16:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6106.....	62

<b>Tabla 17:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico que superan los 1000 ppm en el sondaje 6106.	62
<b>Tabla 18:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6107.	65
<b>Tabla 19:</b> Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en profundidad en el sondaje 6107.	65
<b>Gráfico 1:</b> Distribución de grupos litológicos del proyecto Franja Oriental Río Blanco.	67
<b>Gráfico 2:</b> Distribución de las unidades litológicas del Proyecto FORB. La unidad predominante es GDCC, con un 67,26% del total de metros perforados.	68
<b>Gráfico 3:</b> Distribución general de las zonas de resumen de alteración.	69
<b>Gráfico 4:</b> Distribución general de las zonas de alteración de los sondajes del proyecto FORB 2022.	70
<b>Gráfico 5:</b> Zonas de mineralización vs ley promedio de CuT para cada sondaje del proyecto FORB.	71
<b>Tabla 20:</b> Litología, con su extensión en metros y leyes promedio de elementos relevantes.	72
<b>Tabla 21:</b> Extensión y media de leyes de interés de cada sondaje.	73
<b>Gráfico 7:</b> Sondaje 6101, variación geoquímica en profundidad.	76
<b>Gráfico 8:</b> Sondaje 6102, variación geoquímica en profundidad.	77
<b>Gráfico 9:</b> Sondaje 6104, variación geoquímica en profundidad.	78
<b>Gráfico 10:</b> Sondaje 6105, variación geoquímica en profundidad.	79
<b>Gráfico 11:</b> Sondaje 6106, variación geoquímica en profundidad.	81
<b>Gráfico 12:</b> Sondaje 6107, variación geoquímica en profundidad.	82
<b>Gráfico 13:</b> Diagrama Box plot agrupadas por zona de resumen en la totalidad de los sondajes (6100 al 6107). A) CuT B) Mo (ppm) C) As (ppm).	84
<b>Gráfico 14:</b> Diagrama Box plot agrupadas por zona de alteración en la totalidad de los sondajes (6100 al 6107). A) CuT (%) B) Mo (ppm) C) As (ppm).	85
<b>Gráfico 15:</b> Diagrama Box plot de Cu (%) y Mo (ppm) agrupada por grupo litológico.	86
<b>Gráfico 16:</b> Diagrama Box plot de Cu (%), Mo (ppm) y As (ppm) agrupada por tipo litológico	

## RESUMEN

El distrito Río Blanco se encuentra localizado en los Andes Centrales, específicamente en la franja de pórfidos, situado en el arco magmático del Mioceno tardío y Plioceno temprano. Este yacimiento es explotado actualmente por la empresa minera estatal Codelco-División Andina (Río Blanco) y Anglo American Sur (Los Bronces), siendo uno de los más grandes clúster de cobre del mundo, superando los 30.000 millones de toneladas de mineral con ley de corte 0,3% CuT, este depósito es un pórfido cobre y molibdeno (Cu-Mo), asociado a emplazamientos verticalmente continuos de brechas hidrotermales tardías, mineralizadas con cobre, plata e impurezas de arsénico, vinculadas a un sistema de alta sulfidización. En el distrito se definen 3 dominios geológicos que se definieron en base al tipo de roca, quiebres estructurales y edades de correlación: (1) Bloque Los Piches-Ortiga ubicado al oeste, ligado a una actividad intrusiva que duró entre los 14.8-12.3 Ma, cuyos eventos de mineralización no produjeron cobre de alta ley (<0.3% Cu), con presencia de vetas de plata (Ag) unidas a un sistema hidrotermal de intermedia a alta sulfuración (enargita-tenantita-bornita y calcopirita). (2) El bloque San Manuel-El Plomo ubicado en la zona central, se caracteriza por una serie de sistemas magmático-hidrotermales que se desarrollaron entre los  $10.8 \pm 0.1$  a  $12.3 \pm 0.1$  Ma. Estos eventos aparentemente tampoco generaron mineralización de alta ley de Cu. Por último, el bloque Río Blanco-Los Bronces-Los Sulfatos ubicado al este, albergan la mayor cantidad de Cu, en donde se desarrollaron brechas ígneas y/o hidrotermales cementadas asociadas a fases de pórfidos, a poca profundidad, el cemento/matriz de las brechas hidrotermales comprende generalmente cuarzo-sericita-turmalina con contenido de pirita  $\pm$  calcopirita/molibdenita, mientras que, a niveles más profundos la matriz de la brecha es de biotita-feldespatos potásico con contenido de bornita-calcopirita y molibdenita relacionada a la evolución del batolito San Francisco, entre los periodos de  $8.2 \pm 0.5$  a  $4.31 \pm 0.05$  Ma.

El presente estudio se realizó en Mina Don Luis, Valparaíso, la cual actualmente se encuentra en su etapa final de explotación a rajo abierto, por lo que ahora se encuentra en proceso de explotación de recursos en minería subterránea. Para el primer trimestre del 2022, dentro del ámbito de la Exploración Distrital – Estudio de Prospectos del Distrito Andina (DAND), se propuso como hito el seguimiento del “nearmine” hacia el flanco oriental del yacimiento que corresponde al “Proyecto Franja Oriental Río Blanco” ( en adelante FORB), con el objetivo de interpretar geológicamente y finalizar la recolección de información en la divisional Don Luis Subterráneo,

considerando la actualización del modelo geológico y la estimación de los recursos por parte de Andina.

La exploración se realizó desde la mina subterránea, específicamente desde el Nivel 17 desde los sectores Cal Piso y Túnel Sur, en donde finaliza la perforación con un total de 9997.55 m. La metodología que se usó en el desarrollo de este trabajo fue: el mapeo de sondajes con soportes de muestreo de 2 m, que permitió registrar los distintos eventos de intrusión/brechización y alteración/mineralización del depósito, con el fin de determinar los controles de mineralización de cobre, molibdeno y arsénico. Paralelamente se implementó un sistema de control de calidad del mapeo geológico que permitió la reproducibilidad de la información geológica obtenida. Durante esta tarea, producto del desarrollo del conocimiento geológico asociado a más de 9000 m de mapeos de detalle de sondaje diamantinos y el análisis petro-calcográficos de cerca de 1500 muestras, se pudo conformar una sólida base de conocimiento empírico que permitió focalizar los parámetros de mapeo, obtener relaciones de corte en las unidades litológicas, una caracterización de las vetillas y la determinación de las asociaciones de alteración/mineralización.

Según los primeros 800m de cada sondaje que son los antecedentes geológicos más relevantes del bloque de interés de la división; los resultados obedecen al reconocimiento de los principales ambientes geológicos de litología, alteración y mineralización, con contenido de cobre similares y, en alguno de los casos levemente mayor a los ya obtenidos en campaña de sondajes anteriores. Por otro lado, cabe indicar que en la mayoría de los sondajes, los 300 m finales de cada pozo, interceptan la ocurrencia de un cuerpo mineralizado de cobre de interés geológico de exploración por Cu y Mo con una continuidad de 2.5 km, emplazado en un sistema de brechas hidrotermales de biotitas que cortan a una roca de caja intrusiva agrietada con una tendencia que obedece al sistema principal de mineralización NNW, que se presenta entre las cotas 2800 a 2500 m.s.n.m. Conforme a un evento tardío, se reconoce en el sistema estructural de orientación N60 a 90°E una zonación vertical que en profundidad es caracterizada por una mineralización de cobre de interés, con valores que superan en algunos casos el 2% CuT, con un dominio de calcopirita y sulfosales de Cu (SSCu) lo que a niveles someros corresponde a un dominio de pirita, los resultados a ley de corte de 0.4% arrojan un potencial de 2000 Mt @ 0.7% Cu, equivalente a 15.6 Mt Cu fino.

Se efectuó un ejercicio de estimación de recursos basado en unidades litológicas e isopleyas de Cu, los resultados a una ley de corte de 0.5% arrojan un potencial de 1.995 Mt @ 0.73% Cu, equivalente a 14.6 Mt Cu fino. Así, se recomienda evaluar la posibilidad de realizar una exploración avanzada que haga sinergia con las etapas finales de perforación del proyecto Don Luis Subterráneo de la División Andina.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. CONTEXTO Y PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El yacimiento Andina-Los Bronces ubicado en la cordillera Principal de Chile Central, corresponde a un depósito tipo Pórfido cuprífero Cu-Mo supergigante, dentro de la franja metalogénica de edad Mioceno superior – Plioceno inferior, a una distancia de 55 km al noreste de la ciudad de Santiago, aproximadamente entre una altitud de 3100 y 4600 m.s.n.m. El distrito cubre una extensión cercana a los 8 km<sup>2</sup> que incluye las operaciones de Anglo American, en los depósitos Donoso e Infiernillo, operados a cielo abierto en los prospectos San Enrique -Monolito y Paloma-Los Sulfatos (Irrazabal, 2010). Por otro lado, las operaciones de División Andina de Codelco Chile (DAND) incluye las explotaciones a cielo abierto Sur-Sur, Don Luis y la mina subterránea llamada por el mismo nombre, además esta campaña posee en el distrito los prospectos Cerro Negro y La Americana.

La Gerencia de Exploración (GEX) y Exploraciones Mineras Andina (EMSA) han llevado a cabo programas de mapeo sistemático, junto a campañas de sondajes de superficie y subterráneas a contar del año 2004 en el Distrito Andina, lo que ha permitido caracterizar unidades de roca, estructuras y zonas de alteración/mineralización.

Esta tesis se desarrolló a partir, del reconocimiento geológico realizado en el periodo 2022-2023, por profesionales del equipo de Exploraciones Mineras Andinas liderados por el director de exploración básica Juan Carlos Toro, y el geólogo de proyecto Rafael Diéguez; cuyo foco principal fue el mejoramiento del modelo geológico de los yacimientos Río Blanco y Don Luis, lo que ha permitido caracterizar las unidades de roca, estructuras y zonas de alteración y mineralización.

A su vez, se finalizó la captura de información geológica, geotécnica y geoquímica para dar paso a la interpretación y modelamiento 2D - 3D.

Los objetivos de los programas distritales se encuentran alineados con los requerimientos que tiene la corporación para incrementar la base de recursos a través de la exploración en el entorno (nearmine) y en las áreas de atracción.

En resumen, los programas exploratorios divisionales buscan contribuir a los planes de producción en el corto o mediano plazo y agregar valor a la Corporación.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el potencial de Cu-Mo en el margen “Este” del yacimiento, según la propiedad Codelco-Andina, precisamente en el entorno inmediato de la mina Rajo Don Luis, bajo el concepto de reposición o mejoramiento de los recursos minerales. Pensando en una transición de rajo abierto a minería subterránea.

### **1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

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

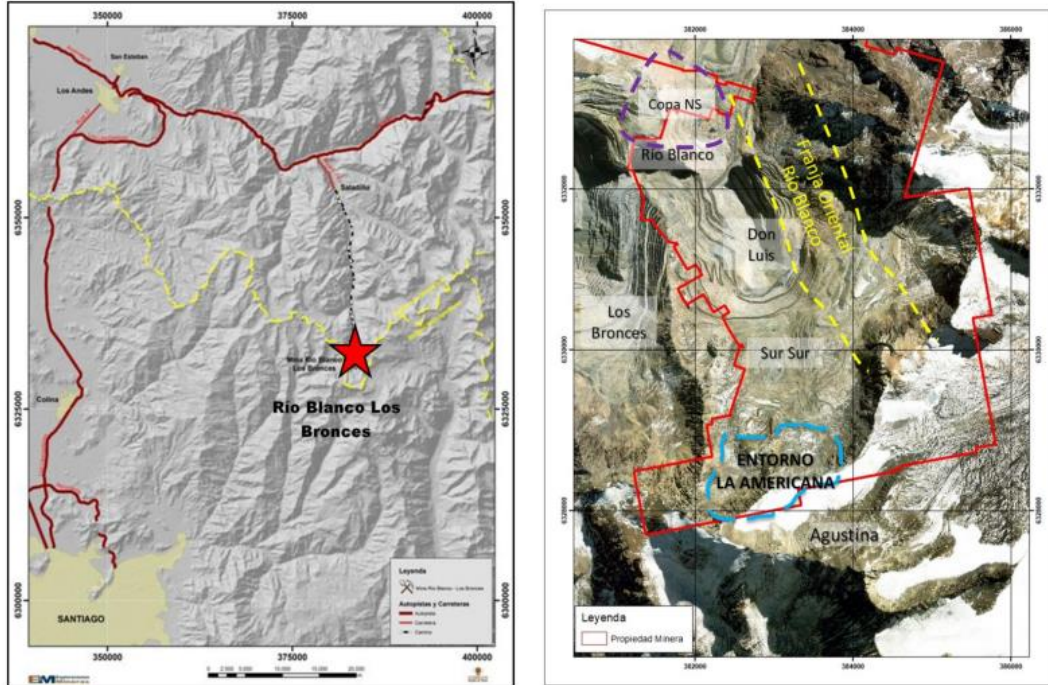
- I. Reconocer el potencial remanente al este del rajo Don Luis, definiendo las unidades litológicas que lo conforman, que permitan discriminar el control litológico de la mineralización.
- II. Caracterizar los tipos de alteración hidrotermal, con énfasis en la distribución y la sobreimposición de eventos.
- III. Analizar el comportamiento de determinados elementos químicos, en la zona de alteración-mineralización comprendida en las cotas 2.500 y 2.800 m.s.n.m., aproximadamente.
- IV. Identificar y describir las relaciones entre los elementos químicos y de estos con las alteraciones dominantes, minerales de mena y litologías principales del yacimiento.

### **1.3. ÁREA DE ESTUDIO, UBICACIÓN Y ACCESOS**

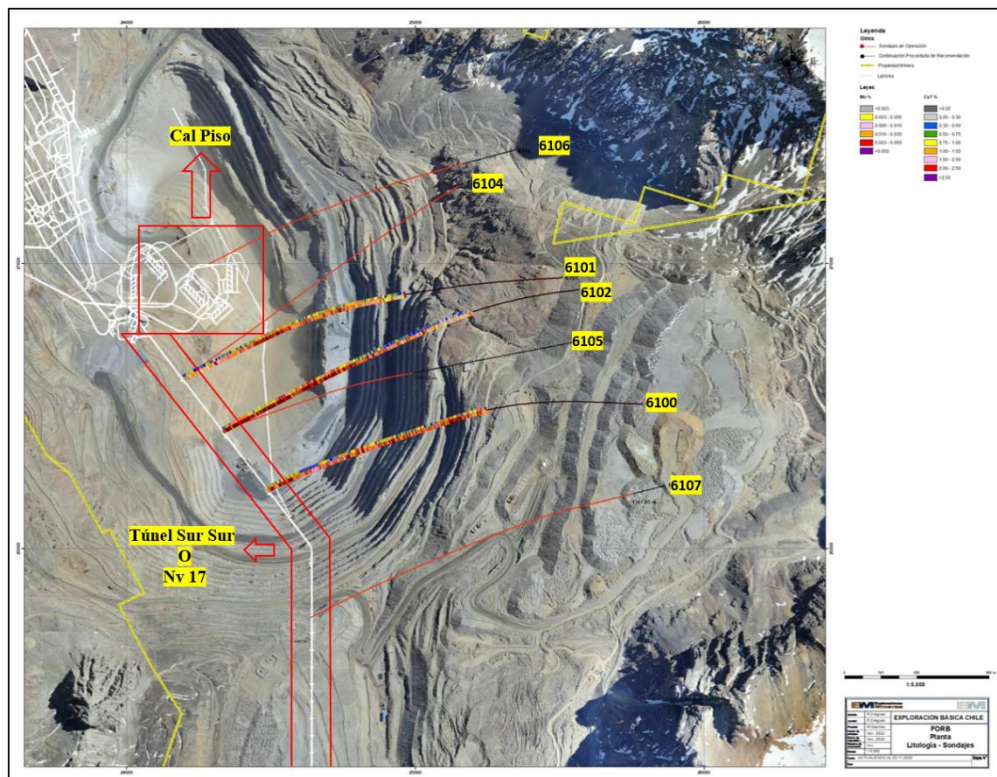
La División Andina se ubica en la V Región de Valparaíso, 50 km al este de Santiago. El área de este estudio se encuentra dentro de la División y corresponde a la parte sur. En el sector llamado en los últimos trabajos como Andina Sur Profundo. Se ubica al oeste, en el límite de la propiedad minera, al norte del Cerro Monolito entre los rajes Don Luis y Sur-Sur (Figura 1.1).

El acceso principal a la División Andina es a través de la ruta internacional CH-60 Los Andes-Mendoza. En el kilómetro 35 (localidad de Río Blanco) se continúa hacia el sur por la ruta E-767 que conduce hasta las instalaciones de Saladillo. Posteriormente se continúa por el camino industrial que lleva al edificio de la estación meteorológica de Lagunitas (Km 28), y si se continúa hacia el sur se accede al sector Mina Rajo y subterránea (sector Hilton). El área de estudio se encuentra en el entorno de la producción en el Nivel 17 de la mina subterránea (Figura 1.2).

La fisiografía del área se caracteriza por relieve de alta cordillera de pendientes fuertes, con altitudes que superan los 4,200 m.s.n.m. Las zonas altas presentan particular dificultad de acceso ya que consisten en circos glaciares, morrenas glaciares y coluvios activos que dificultan el desplazamiento.



**Figura 1.1:** Ubicación del área de trabajo (encerrado en un cuadro rojo) y propiedad minera. Franja Oriental Río Blanco, Entorno La Americana (ELA) y Copa Norte-Sur (Copa NS).



**Figura 1.2:** Ubicación del área de trabajo y propiedad minera. Franja Oriental Río Blanco (FORB), Entorno La Americana (ELA) y Copa Norte-Sur (Copa NS).

## **1.4. HISTORIA DEL PROYECTO Y TRABAJOS ANTERIORES**

### **1.4.1. PROPIEDAD MINERA**

En la Figura 1.1 se encuentra el status de la propiedad minera del bloque de estudio. En particular se destaca que parte del potencial se encuentra en propiedad minera de terceros (Anglo American).

### **1.4.2. TRABAJOS ANTERIORES**

Para el contexto de esta actividad solo se describirán los trabajos presentados para la aprobación de los proyectos y el relacionado a las valorizaciones del distrito logrando así la contextualización necesaria:

- **Estimación de recursos de La Americana (Segovia 2010):** El trabajo corresponde a una actualización de la estimación realizada durante el 2009 con el objetivo de incorporar nuevos 917 m de información de sondajes. Esta actualización involucra 32 sondajes con 24198.3 metros con un modelo geológico en base a plantas y secciones de isoley. Finalizando con un modelo de bloques de 20x20x20 se estima a ley de corte 0.3% Cu un total de ~1.000 Mton @0.53% CuT.
- **Campaña de sondajes Blanco Monolito y Campaña de sondajes DDH CAL Monolito (Villegas, Guíñez y Wettke 2015 y 2016):** En dos campañas reconocen parte del área en profundidad y en el torno del Túnel Sur-Sur perforando cinco y siete sondajes con 4139.4 m y 1.620 m respectivamente. Según los antecedentes recogidos, se puede concluir que, al oeste del Pórfido Don Luis, se identifican rocas intrusivas del Batolito San Francisco, en particular la fase denominada Granodiorita Cascada, y un complejo de brechas hidrotermales caracterizadas por una matriz de material de polvo de roca y cementada por biotita. Estas unidades litológicas, se encuentran afectadas por una fuerte alteración hidrotermal, que corresponde a sericita gris y gris verde, que actúa sobre un fondo potásico, caracterizado por biotita. La sericita, se presenta en forma penetrativa y halos de vetillas, destruyendo en algunos sectores hasta un 100%, la textura de la roca. La mineralización de cobre está caracterizada por un dominio de calcopirita, que ocurre en cúmulos, diseminado en la matriz de brechas y vetillas.

• **Proposición Programa de Exploración Generativo Andina (Villegas y Bello 2020):** Trabajo que integra el reconocimiento geológico, geoquímica y la revisión de ~5400 m de sondajes diamantinos perforados por EMSA. En el trabajo se recomiendan actividades para cuatro de estos sectores:

- a) **Valle de La Luna Sur - VLLS:** Presenta características favorables desde el punto de vista geológico que se resumen en una extensa anomalía de color definida por un ambiente argílico avanzado de 1,400 x 400 m elongada en dirección NE desarrollado a una cota ~4,200 m.s.n.m. Bordeando esta zona (~4,000 m.s.n.m.) Se reconocen andesitas con alteración clorita-epidota-(pirita) cortadas por una serie de vetas N55°E a N80°E de sulfuros (Py-Cpy) y especularita-sulfuros (Py-Cpy). La distribución geoquímica es consistente con el mapeo geológico, siendo la parte alta anómala en Mo-Sb-Ag-Se y a niveles inferiores en Cu-Sb-Au-Mo-Ag-Sb. Se recomienda ingresar Valle de La Luna Sur a la cartera de proyectos en la categoría de prospecto y evaluar su potencial con dos sondajes de 1,500 m c/u desde superficie. Para esto se proponen tres alternativas en función de las posibles restricciones ambientales definidas por la División.
- b) **Este Profundo Sur - EPS:** La revisión de sondajes en el sector oriental permitió definir un trend NS al Este del corredor mineralizado principal (Don Luis – Sur Sur), donde los eventos de alteración y mineralización se encuentran zonados de norte a sur. Estos antecedentes sugieren que potencialmente podría existir un centro de alta ley inmediatamente al este de Sur Sur en un bloque de 750 x 500 m sin sondajes. Se recomienda ingresar Este Profundo Sur a la cartera de proyectos en la categoría de blanco y evaluar su potencial con dos sondajes subterráneos de 1,000 m c/u.
- c) **Conexión La Americana – San Enrique Monolito - LASEM:** La envolvente de mineralización de San Enrique Monolito sugiere una distribución de leyes de Cu >0.5% siguiendo un patrón NW en la PM de Anglo American, cuya proyección al SE podría estar conectada con La Americana. Se recomienda ingresar el área a la cartera de proyectos en la categoría de blanco, evaluar su posible sinergia con DAN – LB y realizar un modelo 3D de SZMIN con la información de sondajes en el área y de La Americana con la finalidad de definir una futura campaña de sondajes en el

área.

- d) **Observatorio - OBS:** Corresponde a la intersección de un trend ENE de importancia regional que cruza el cordón de San Enrique Monolito. En superficie se observan andesitas y parte del Complejo de Brechas Hidrotermales (spe-tour) y polvo de roca con anomalías de Cu > 500 ppm. Se recomienda ingresar Observatorio a la cartera de proyectos de EMSA en la categoría de blanco y evaluar su potencial con dos sondajes superficiales de 1,200 – 1,300 m c/u.
- e) **La Americana Este - LAE:** Este sector fue ingresado posterior a la evaluación debido a la revisión de los sondajes DDH-4386 y DDH-4337 donde se evidencia un evento de brechización de Anh-Cpy con Cu > 0.75% y peaks de 3%. Pese a que su expresión es discreta podría estar indicando cercanía a un CAL en la parte norte o en profundidad.

- **Valorización Temprana de los Proyectos Conexión LA-SEM, Observatorio, entre otros. Análisis de la alternativa de minería subterránea en DAND (Diéguez, Villegas y Bello, 2021):** Estudio efectuado con el apoyo de los consultores RRM. El sector se denominó Andina Sur Profundo e involucró seis sectores: Conexión La Americana – San Enrique Monolito (Conexión-LASEM), Observatorio (OBS), Entorno La Americana (ELA), La Americana Este (LAE), Valle de La Luna Sur (VLLS), Este Profundo Sur (EPS) y, finalmente, una envolvente >1% Cu de Sur Sur Pionero (bajo rajo Sur Sur) - La Americana (SSP-LA) a partir del modelo de bloques del PND DAN como uno de los proyectos pivotes para interconexión. El trabajo se fundamenta en una serie de etapas involucrando los supuestos geológicos y entrega de base de datos, la construcción de un modelo geológico y de bloques, la categorización del negocio con sus sinergias y finalizando con un ranking y condiciones mínimas necesarias bajo el concepto de minería subterránea. Los resultados muestran que: (1) la cantidad de años de actividad minera están dentro del rango de los 14-20 y, con el potencial mínimo de cada caso, este tiempo se reduce al rango 5-8 años. (2) El VAN de los pivotes están entre los 172-317 MUSD y, el caso aislado de ELA a mayor profundidad, entre 1434-2026 MUSD. Al interconectar los otros proyectos a los pivotes los VAN aumentan al rango 1426-1908 MUSD y 2026-2130 MUSD al considerar los más lejanos. (3) Las inversiones para los proyectos pivote son del orden de ~700 MUSD, el primer radio de sinergia ~1950 MUSD (nivel 3000) y ~2500 MUSD para el nivel 2800. Con el segundo radio de sinergia las inversiones aumentan al rango de 2786-3200 MUSD y, en el caso de ELA,

son similares al primer radio de sinergia del nivel 3000. (4) Los potenciales mínimos requeridos muestran una reducción generalizada en torno al 50% permitiendo escenarios flexibles en los resultados exploratorios los que son probables según la realidad distrital. Estos potenciales mínimos varían entre 27-116 Mton @1.06-1.49 % Cu, lo que es esperable para un modelo de negocio de minería subterránea y comparable con lo observado en el Distrito Río Blanco - Los Bronces - Los Sulfatos.

Los consultores concluyen que se ha evidenciado la oportunidad de generar valor con un menor o nulo impacto ambiental considerando la realidad operacional de la división. En el nivel 3000 los blancos pivot necesitan aportar entre 28-34 Mton @ 1.1-1.2% Cu para comenzar la extracción y en el nivel 2800 43 Mt @ 1.1% Cu. Los radios de sinergia requieren un potencial de 29 Mton @ 1.2% Cu para el nivel 3000, aumenta a 116 Mton para el 2800 y de esta manera se da continuidad al distrito. ELA es una opción de aporte de minerales bajo la cota 2800 y genera un escenario generoso para los niveles 2600 y 2400, ambos con VAN sobre los 1000 MUSD. Sur Sur Pionero y La Americana son áreas contiguas y conectadas, por lo que en etapas siguientes de reconocimiento se deberían definir sus límites para tomar decisiones de juntarlas o analizarlas por separado. De esto se desprende que si en los radios de sinergia se alcanzan los potenciales mínimos en una cantidad menor de blancos los retornos aumentarán dado que se reduciría en parte la inversión. Por otro lado, ELA, al ser más profunda, es más exigente en los resultados y si se confirma la hipótesis de este blanco todo el sector levanta aún más valor. También la eventual separación de Sur Sur Pionero y La Americana ayudaría a ubicar el blanco pivot más al sur desplazando los radios de sinergia y, posiblemente, aumentando la sinergia de Entorno La Americana. Adicionalmente, los consultores recomiendan analizar tempranamente estas opciones dado que el tiempo de desarrollo de un proyecto subterráneo es mayor al de un rajo.

Finalmente, se enfatiza en que Andina Sur Profundo es una alternativa real de negocio para la división la que, además de contar con ventajas ambientales, debe ser evaluada tempranamente debido al método extractivo. Se debe considerar que el estudio contempla sinergias operacionales en los primeros niveles de extracción y no así en los más profundos. Por consiguiente, se hace necesaria la determinación de una secuencia de exploración de los sectores según los potenciales mínimos y también generar un caso de estudio para el sector al norte de la Chimenea Riolítica donde los trabajos realizados durante este trimestre sugieren sectores de interés como Riolita Este,

Laguna Barroso NW además de los contenidos en el área de atracción con evidencias por confirmar como Los Milos/Ventana, Canela, entre otros.

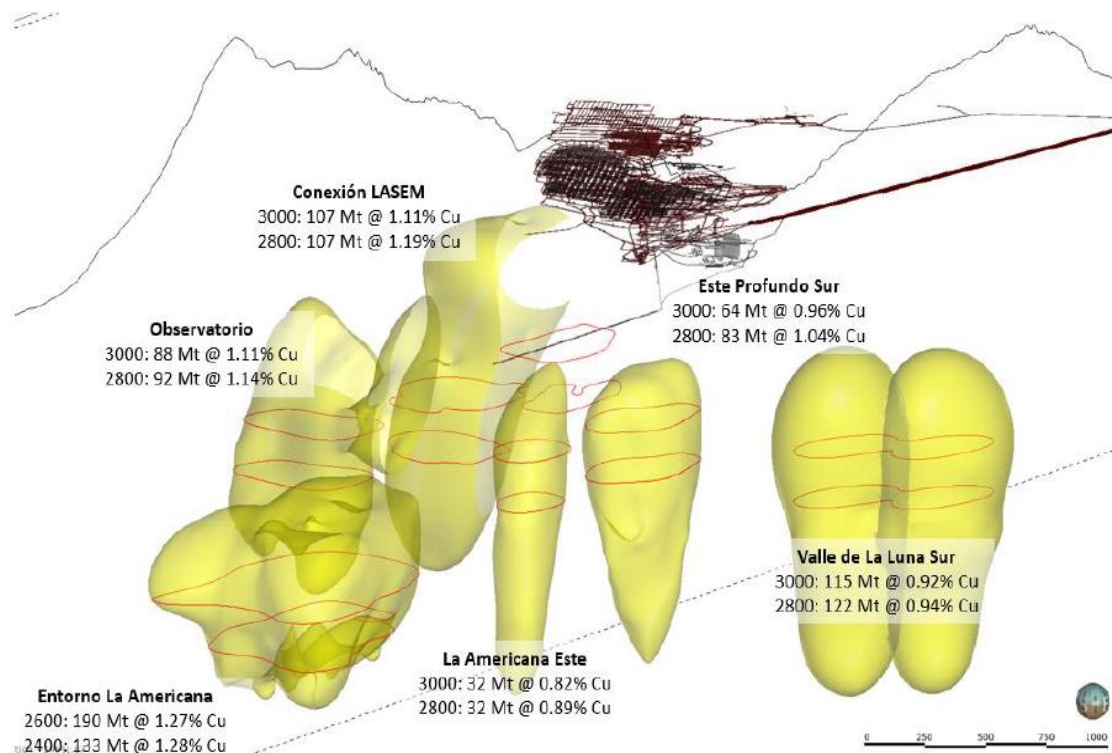


Figura 1.3: Sectores evaluados y potenciales geológicos por niveles. Andina Sur Profundo.

- Valorización Temprana de los Proyectos Norte – DAN. La Copa N&S, Entorno CHRIOL y Río Blanco. Análisis de la alternativa de minería subterránea en DAN y su comparación con el Proyecto Sur (Diéguez y Villegas, 2021):** Estudio efectuado con el apoyo de los consultores RRM. El sector se denominó Andina Norte Profundo e involucró cinco sectores: Copa Norte (CN), Copa Sur (CS), Cerro Negro Sur (CNS), Cerro Negro Norte (CNN) y Riolita Este (RE). Los resultados del modelo generado, los planes, inversiones y retornos (VAN) muestran que: (1) la cantidad de años de actividad minera están dentro del rango de los 15-23 y con el potencial mínimo de cada caso este tiempo se reduce al rango 4-10 años y se paga la inversión. (2) El VAN de los primeros dos niveles muestran valores en torno a los 300 MUSD donde algunos sectores serían negativos en el caso del nivel 2.600. Sin embargo, al integrar los blancos mediante el pivot y sus sinergías, los valores están entre los 541-730 MUSD. En el segundo radio de sinergia el aporte sería de 174 MUSD. (3) Las inversiones están dentro de los rangos 117-442 MUSD y 538-737 MUSD respectivamente. Al integrar los casos con el primer radio de sinergia (PRS) ambas

variables alcanzan valores en torno a 320 y 1365 en el nivel 2.800, se duplican en el 2.600 y se vuelven a duplicar en el 2.400 alcanzando 1607 MUSD y 2237 MUSD. El segundo radio de sinergia (Riolita Este) requiere 300 MUSD en construcción y 492 MUSD en sostenimiento. (4) Los potenciales mínimos requeridos muestran una reducción entre 30-50% del tonelaje calculado en los modelos de bloques, lo que es bastante relevante dado que, en base a los supuestos, permite escenarios flexibles en los resultados exploratorios y que, con las evidencias disponibles, son probables. Estos potenciales mínimos varían entre 15-46 Mton @ 0.79-1.34 % Cu por blanco, lo que es esperable para un modelo de negocio de minería subterránea.

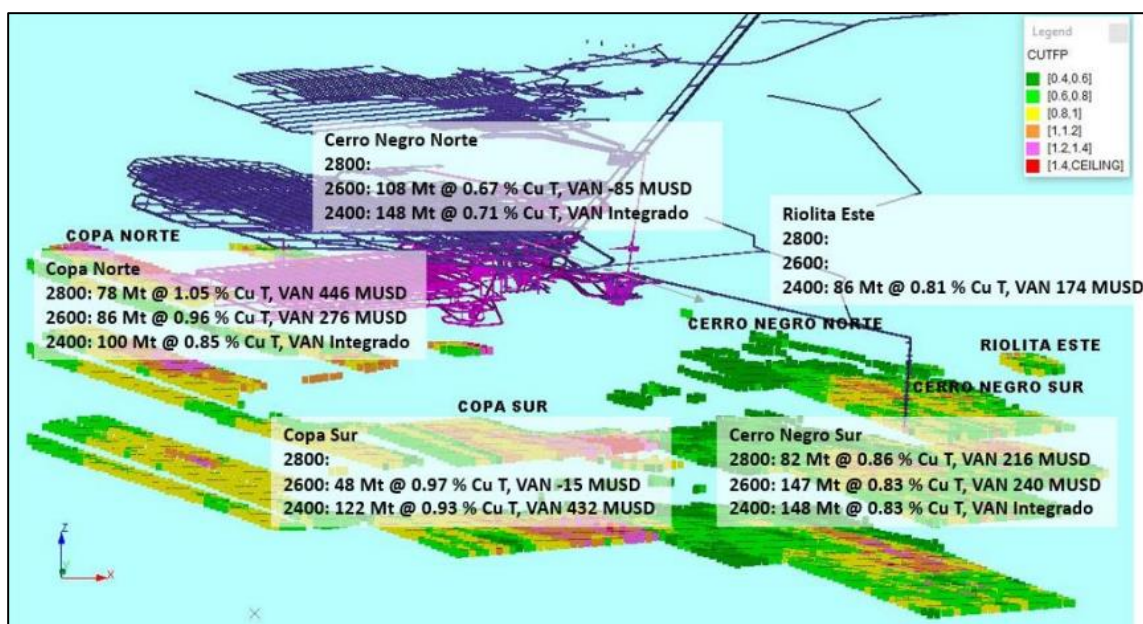
Los consultores concluyen que se ha evidenciado la oportunidad de generar valor con un menor o nulo impacto ambiental y considerando la realidad operacional de la división. En el nivel 2.800 el blanco Copa Norte requiere aportar un mínimo de minerales concentrados de 15 Mt @ 1.34 % CuT. En la misma línea el blanco Cerro Negro Sur aportando solo 31 Mt @ 1.17 % CuT es capaz de dar inicio al valor de su sector En el nivel 2.600 el blanco Copa Sur requiere aportar un mínimo de minerales concentrables de 29 Mt @ 1.26 % Cu. El nivel 2.400 tiene todos los blancos a capacidad de extracción de hasta 20 ktpd, las columnas son continuas y alcanzan alturas en torno a 200 m, si bien el perfil de leyes del nivel baja, respecto de los anteriores, la explotación simultánea de los cuerpos masivos, generaría importantes incrementos de valor. Por otro lado, si bien existiría mineral en Copa Norte sobre la cota 3000, este se supone extemporáneo, dado que la operación subterránea Rio Blanco avanzaría de forma tal que dejaría oportunidades de incremento de reconocimiento de CN a dichas cotas lo que debe confirmarse con GRMD divisional.

Adicionalmente, los consultores recomiendan analizar los techos de la mineralización debido a su alto impacto en el perfil de leyes del nivel 2.600. También analizar tempranamente estas opciones dado que el tiempo de desarrollo de un proyecto subterráneo es mayor al de un rajo. A su vez, mantener la estrategia de exploración profunda ya que la estrategia de sectores integrados levanta valor.

Al comparar estos resultados con lo realizado anteriormente en Andina Sur Profundo se destaca que los años de operación son similares, al igual que la cantidad de años necesarios para pagar la inversión, el VAN calculado para cada blanco es en general un 50% menor y también para el caso integrado, a excepción del nivel 2.400 donde el retorno es comparable a los del sector sur con 1742 MUSD. Las inversiones, como se esperaba son menores a las observadas en el sector

sur, lo que es esperable por la proximidad a las operaciones actuales subterráneas porcentualmente están entre un 40-50% menos. Los potenciales mínimos requeridos muestran una disminución similar al proyecto sur estando en torno al 50%, con la diferencia de que son menos exigentes en volumen, pero similares en calidad de la mineralización.

Finalmente, se enfatiza en que Andina Norte Profundo es una alternativa real de negocio para la división la que, además de contar con ventajas ambientales, debe ser evaluada tempranamente debido al método extractivo. Se debe considerar que el estudio contempla sinergias operacionales en los niveles de extracción simulando una conexión profunda en el sector Río Blanco. Por consiguiente, se hace necesaria la determinación de una secuencia de exploración de los sectores según los potenciales mínimos.



**Figura 1.4:** Sectores evaluados y potenciales geológicos por niveles. Andina Sur Profundo.

- **Inicio Programa de Sondajes DDH Proyecto Entorno La Americana (ELA). Considera perforar 1.500 m de los 5.100 m planificados. Planificación Programa DDH Blanco Franja Oriental Río Blanco – DAND (Diéguez & Guíñez, 2022):** Actividad que considera el término de la habilitación del Túnel de Exploración Sur Sur, la entrega del área por parte de Andina, la movilización del equipo y el inicio de la perforación. El programa sufre modificaciones relevantes apoyando con un equipo de perforación al Proyecto Cuña Profunda (PCP). Otra modificación corresponde a la postergación del programa y la ejecución anticipada en el sector al este del Rajo Don Luis llamado Franja Oriental Río Blanco. En este sector se planificó una campaña de Seguimiento 1 con 8.750 m de sondajes exploratorios diamantinos donde los primeros metros son de alto interés divisional al reconocer el Proyecto Don Luis Subterráneo. Se adiciona al programa el reconocimiento del Proyecto Copa Norte Sur los que comienzan en la medida que se liberan equipos de perforación del Proyecto Cuña Profunda. Como conclusión se destaca que la sinergia operacional aplicada en la perforación de los proyectos permite dar continuidad a los trabajos y alcanzar los objetivos propuestos a nivel exploratorio tanto para la GEX como para las necesidades de la División Andina.

- **Inicio Programa de Sondajes DDH Proyectos Copa NS y Franja Oriental / Don Luis Subterráneo Considera perforar 1.500m de los 8.000m planificados (Diéguez & Guíñez, 2022).** En el periodo para el Proyecto Franja Oriental Río Blanco se considera la habilitación de estaciones y el inicio de la perforación. Por otro lado, la perforación del Proyecto Copa NS, que tiene por objetivo detectar la continuidad de mineralización de alta ley bajo la Chimenea Riolítica, es finalizada con la extensión del sondaje 5999. La exploración del margen este se realizará desde la Mina Subterránea, específicamente desde el Nivel 17 desde los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur. Sobre la perforación alcanzada en FORB (16,4% de avance), se realizará una actualización de la planificación según el rendimiento actual de la empresa de perforación estimando la cantidad de metros a perforar durante julio-septiembre, determinando la cantidad de metros que deberán ser considerados para el 4to trimestre.

- **Término Programa de Sondajes DDH / Seguimiento # 1: Proyecto Franja Oriental. Considera perforar 5.142m remanentes de los 6.756m re-planificados. Considera actualización modelo geológico. (Diéguez, Guíñez y Bucarey, 2022):** Continuación de la campaña de perforación donde se finaliza la habilitación de las últimas estaciones y se continúa

con la perforación registrando un acumulado de 4.542,60 m (45%). Durante el periodo se perforaron 2.928,55 m, se finalizó la ejecución de los sondajes 6100 – 1518,00 m, 6101 – 1388,30 m y 6102 – 1380,35 m, comenzando con la instalación y perforación de cuatro nuevos sondajes. Se destaca que el sondaje 6100 reconoce una digitación rechas a continuación de los límites de Don Luis Subterráneo lo que se extiende hasta los 1440 m hasta la cota 2550 msnm.

- **Término Programa de Sondajes DDH / Seguimiento # 1: Proyecto Franja Oriental Río Blanco. Considera perforar 5.200 m. Considera actualización modelo geológico. (Diéguez et al., 2022):** Se finaliza la perforación y se avanza en la desmovilización. Continúa la captura de información geocientífica. Se actualiza el modelo geológico conceptual y hacia el oriente se distingue a la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada, con un intenso agrietamiento y obliterada por biotita. Además, se presentan cuerpos de brechas hidrotermales de biotita, con una mineralización relevante de cobre. Por otro lado, se observa un rasgo estructural con mineralización relevante y zonada en donde el sistema estructural de orientación N60 a 90°E pasa de Py>Cpy + SSCu en los inicios de los pozos y, en profundidad, se observa con calcopirita en vetillas 1 a 3 cm. Por lo tanto, se reconoce un vector exploratorio con respecto a la zonación vertical de este sistema estructural el cual es pre, syn y post mineralización. Se ha confirmado el desarrollo de cuerpos de brechas de biotita-polvo de roca hacia el oriente con variaciones de potencia y mineralización según las cotas lo cual da continuidad al trend distrital de norte a sur desde el sector de Cerro Negro, pasando por Valle de la Luna, hasta Valle de la Luna Sur.

## 2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

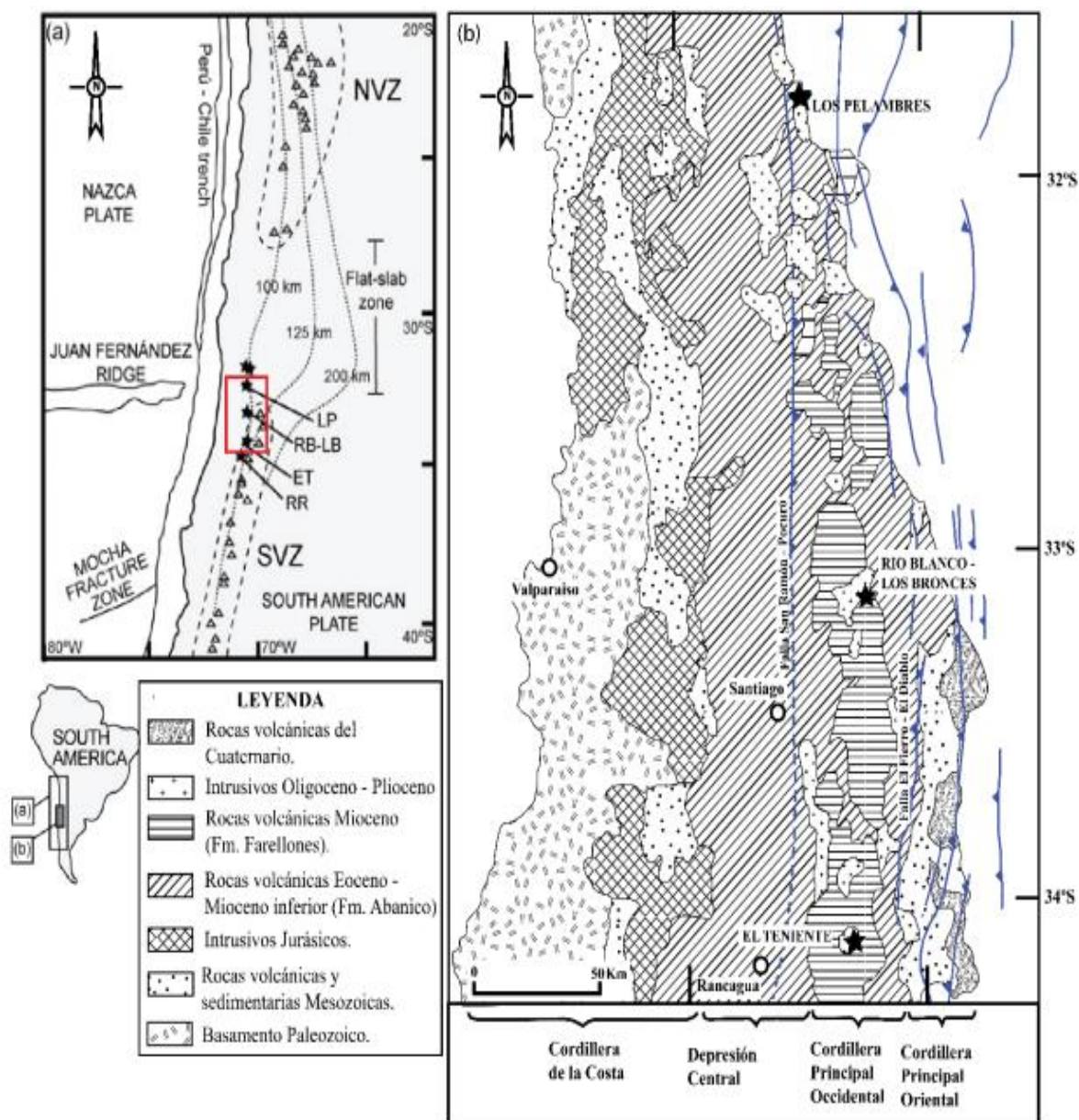
### 2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de estudio corresponde a uno de los tres mega yacimientos de tipo pórfido Cu-Mo, pertenecientes a la franja metalogénica Mioceno tardío-Plioceno ubicado en el domino occidental de la cordillera principal de Los Andes Centrales, en la transición entre dos segmentos geológicos mayores del sistema de subducción Andino. Hacia el sur del distrito se ubica la zona Volcánica Sur, asociada a una subducción con inclinación y volcanismo activo, mientras que hacia el norte la subducción corresponde a un flat-slab, donde en el Orógeno se ensancha considerablemente y el volcanismo cesa (Figura 2.1. Kay et al., 1991; Camus, 2003). Esta zona de transición coincide hoy en día con la zona donde la dorsal de Juan Fernández es subductada bajo el margen sudamericano (Skewes and Holmgren, 1993, Skewes and Stern, 1996; Yañez et al., 2002; Hollings et al., 2005). La migración de esta dorsal se habría producido entre los 6 y 3 Ma, período durante el cual se produjo la actividad magmático-hidrotermal y la rápida exhumación de los pórfidos de cobre-molibdeno Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, además, del desarrollo tardío de complejos de diatremas en ambos sistemas (Maksaev et., 2009)

El segmento andino comprendido entre los 32°S y los 34°S muestra tres unidades morfoestructurales principales, dispuestas en franjas orientadas norte-sur. Estos son: de oeste a este, la Cordillera de la Costa, la Depresión Central y la Cordillera Principal (Figura 2.1):

- La Cordillera de la Costa está conformada por rocas intrusivas y metamórficas del Paleozoico tardío al Triásico en su flanco occidental, también por rocas volcánicas, intrusivas y sedimentarias del Cretácico temprano al Jurásico, en su flanco oriental (Thomas, 1958).
- La Depresión Central es un valle longitudinal encerrado por dos cordilleras, relleno por depósitos sedimentarios y piroclásticos no consolidados. Su contacto con la Cordillera Principal es definido por fallas inversas de alto ángulo convergencia al oeste (Thiele, 1980; Charrier et al., 2002).
- La Cordillera Principal se divide en dos dominios, oriental y occidental (Figura 2.1). El dominio oriental consiste en rocas sedimentarias de edad jurásica a Cretácico temprano, depositadas en una cuenca de tras-arco. Las rocas sedimentarias son

fuertemente deformadas y forman parte de la faja plegada y corrida miocena Aconcagua (Charrier et al., 2002). El dominio occidental, consiste en rocas volcánicas del Eoceno a Plioceno y rocas intrusivas del Mioceno a Plioceno (Thiele, 1980; Charrier et al., 2002).



### **2.1.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS**

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

#### **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 unidad aflora en las partes altas de los cerros, sobre los 4.200 m.s.n.m, son rocas volcánicas, constituidas principalmente por: tobas dacíticas, tobas cineríticas de cristales y pómez, tobas fluidales y tobas líticas brechosas, además ocurren intercalaciones andesíticas. Se reconoce una litología similar a la descrita unos 80 km al Norte, en el sector de los Patos (Castelli, 2004).

Se distribuye de forma regional, en una franja con orientación N-S ubicada en la parte occidental de la Cordillera Principal, entre los afloramientos orientales y occidentales de la Formación Abanico (Figura 2.1). Su contacto con la subyacente Formación Abanico se presenta concordante y discordante según la zona de estudio considerada, en general, dependiendo de la cercanía con estructuras que hayan producido plegamiento en la Formación Abanico, previo a la deposición de la Formación Farellones; y subyace en leve discordancia angular a la Formación Colorado-La Parva (Charrier et al., 2002). Dataciones U-Pb en circones realizadas en el sector Río Blanco entregaron un rango de edad entre  $16,77 \pm 0,25$  Ma y  $17,20 \pm 0,05$  Ma (Deckart et al., 2005).

### **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 del área y se presentan rellenando valles, lo que genera una superficie apta para el desarrollo de la agricultura; 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, las que 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 hipabísales de variada composición. Las rocas plutónicas corresponden a stocks de granitoides de modesta extensión, con una edad mínima miocénica. Las rocas hipabísales, 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**

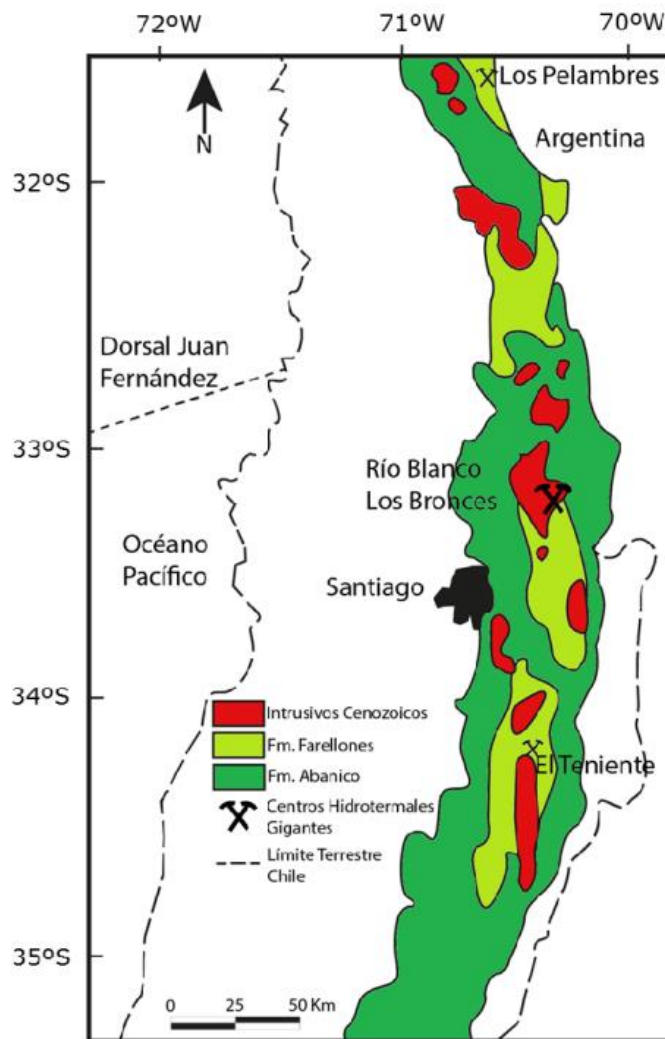
*(Mioceno)*

La unidad está representada en el sector de estudio por cuerpos intrusivos que alcanzan una extensión de área cercana a los 200 km<sup>2</sup>. 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 2.2:** 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 VOLCÁNICAS**

Las rocas más antiguas del sector corresponden a rocas de composición andesítica.

##### **ANDESITAS (AND)**

Rocas de textura afanítica a porfídica, de color gris oscuro a negro, con escasos fenocristales de plagioclasa (Figura 2.6 A-B), al microscopio se han descrito pseudomorfos de minerales máficos. Minerales accesorios rutilo, apatito y circón; estas rocas son poco frecuentes en los sondajes considerados del bloque piloto, pero han sido reconocidas en los niveles superiores y contenidas como fragmentos en las brechas del Complejo de Brechas de Río Blanco. Estas rocas forman parte de una unidad de carácter regional denominada Formación Farellones, de edad U/Pb de  $17,2 \pm 0,05$  (N-16, XC-125; Deckart, 2005).

#### **2.2.1.2 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, las cuales hospedan el depósito.

##### **GRANODIORITA RÍO BLANCO (GDRB)**

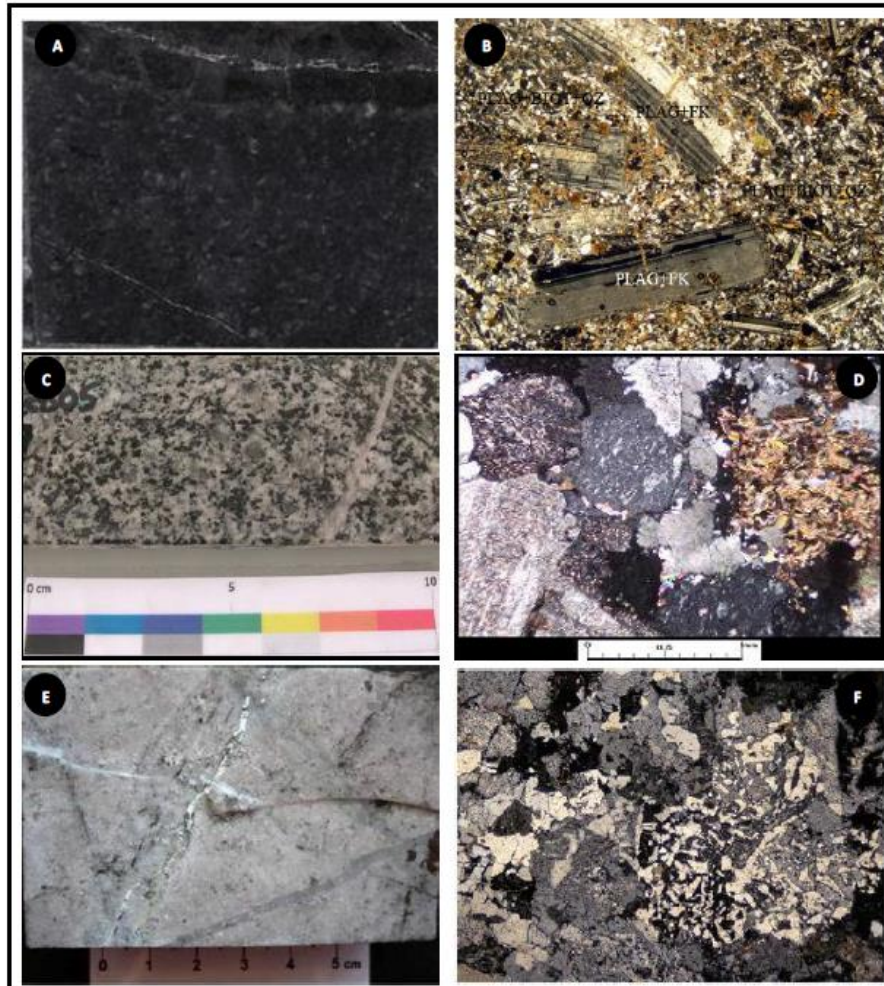
Esta es la unidad predominante del batolito San Francisco en el área del depósito, siendo reconocida principalmente en el sector Río Blanco. La roca es color rosado, con textura alotriomorfa a hipidiomorfa granular, constituida por plagioclasa del tipo albita-andesina, ortoclasa (en partes micropertítico), 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).

### **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, 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, esfeno y apatito. La edad de cristalización obtenida mediante UPb en circones es de  $8,4 \pm 0,23$  Ma. 2.2.1.2.



**Figura 2.3:** **A-B)** Rocas de caja del sector Río Blanco consistentes en Andesitas porfídica con fenocristales de plagioclasa inmersas en una masa fundamental compuesta por microlitos de plagioclasa; **C-D):** Granodiorita Rio Blanco de textura equigranular compuesta de cuarzo, feldespato potásico y plagioclasa con máficos alterados a biotita; **E-F):** Aplita de grano medio a fino con desarrollo de texturas gráficas.

### **2.2.1.3 PÓRFIDOS**

#### **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 feldespato potásico que ocasionalmente se encuentra en cristales de tamaño entre 5 y 15 mm. La masa fundamental aplítica está integrada por un agregado cristalino de cuarzo, feldespato potásico 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.

#### **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 feldespato, y en general presentan colores claros, siendo común un tono blanco rosáceo. Es usual encontrar megacristales de feldespato potásico con textura rapakivi y ojos de cuarzo bipiramidales.

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

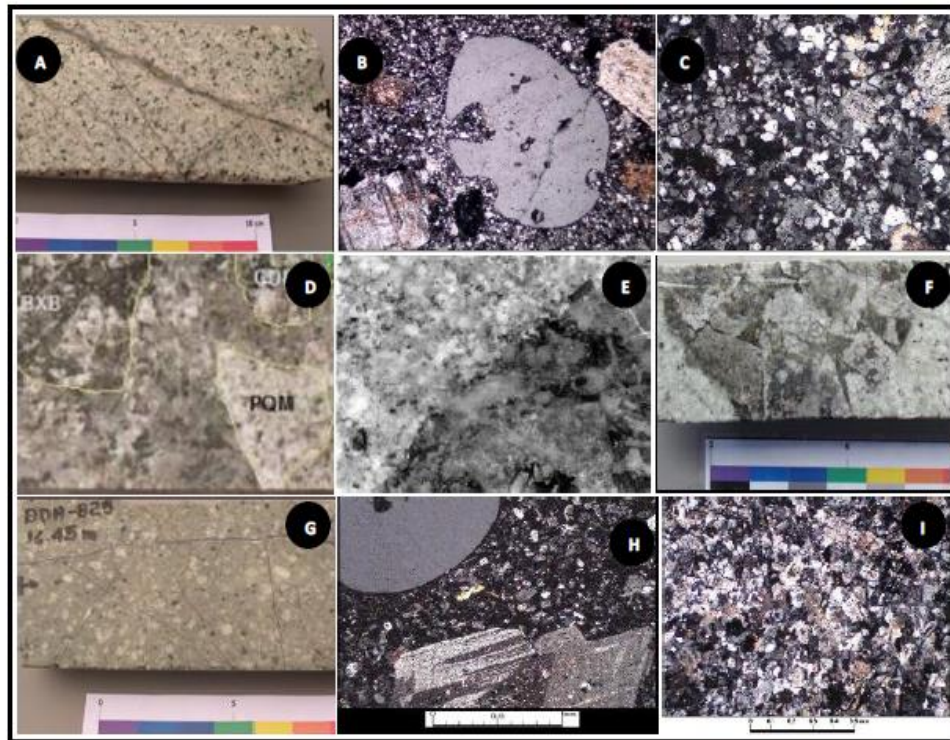
presentar vetillas con finos halos de alteración cuarzo sericítica con sutura central de pirita, con una ley de 0,5% cobre.

### **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 baja ley 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 feldespatos potásicos. 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 felsofídica (intercrecimiento de feldespatos 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.



**Figura 2.4:** A-B-C: Pórfidos tempranos del sector Rio Blanco consistente en Pórfido Cuarzomonzonítico (PQM); D: Brecha de matriz polvo de roca con fragmentos de brechas de biotita y pórfido PQM; E-F: Relaciones de temporalidad de pórfidos PQM conteniendo fragmentos de brecha. G-H-I: Pórfidos tardíos del sector Rio Blanco consistentes en Pórfido Feldespático (PFELD).

#### **2.2.1.4 COMPLEJO SUBVOLCÁNICO**

##### **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.

##### **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.

#### **2.2.1.5 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

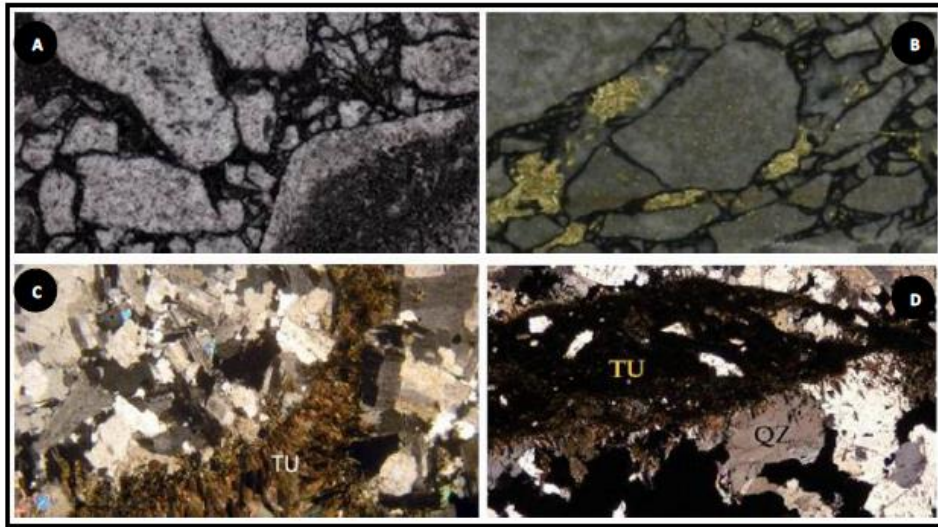
Aquí se detallan solo aquellas involucradas en la zona de estudio, las cuales se describen continuación.

### **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.



**Figura 2.5:** A-B: Brecha de matriz polvo de roca y turmalina con fragmentos angulosos de granodiorita/cuarzo monzonita. C-D: Fotomicrografía de la matriz compuesta por fragmentos de cuarzo y feldespatos de la granodiorita y cementados por biotita fina y turmalina.

### **BRECHA DE SÍLICE – FELDESPATO POTÁSICO (BXSK)**

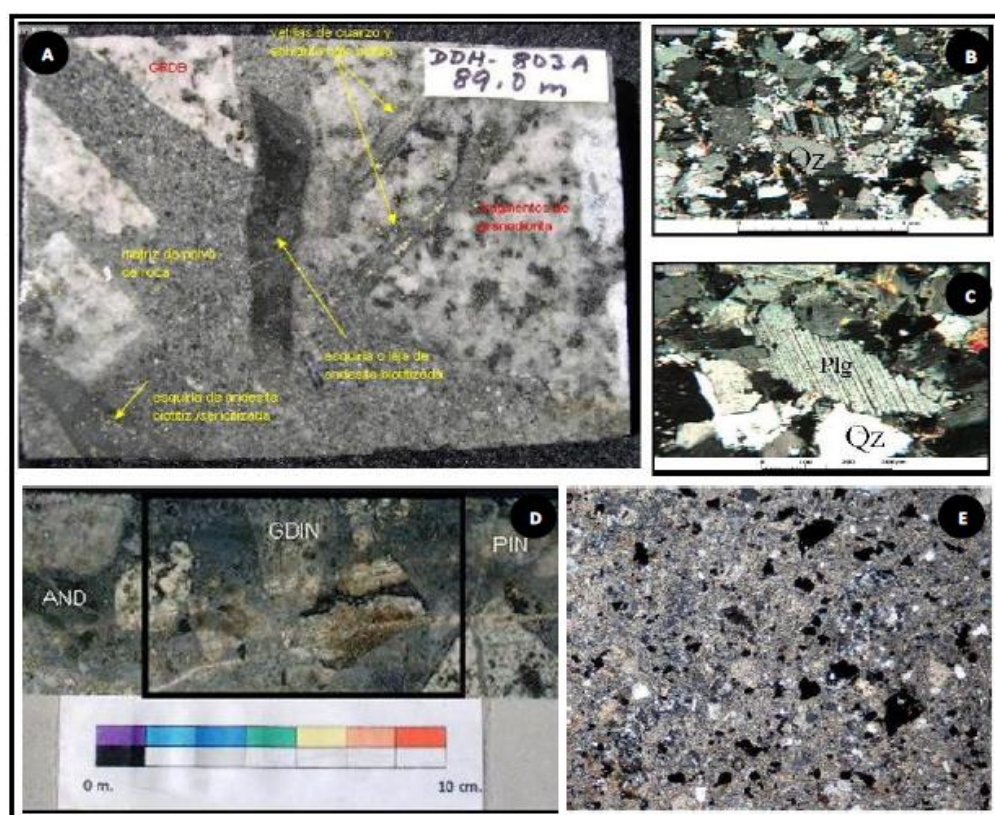
Esta brecha es la que presenta mayor mineralización en el sector de los Cuerpos de Alta Ley. Su principal componente en la matriz es feldespato potásico y cuarzo. Son de aspecto difuso debido a una recrystalización de la matriz. La composición de los fragmentos es felsítica, siendo estos de rocas con 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  $300^\circ\text{C}$  (Deckart et al., 2005).

### **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.

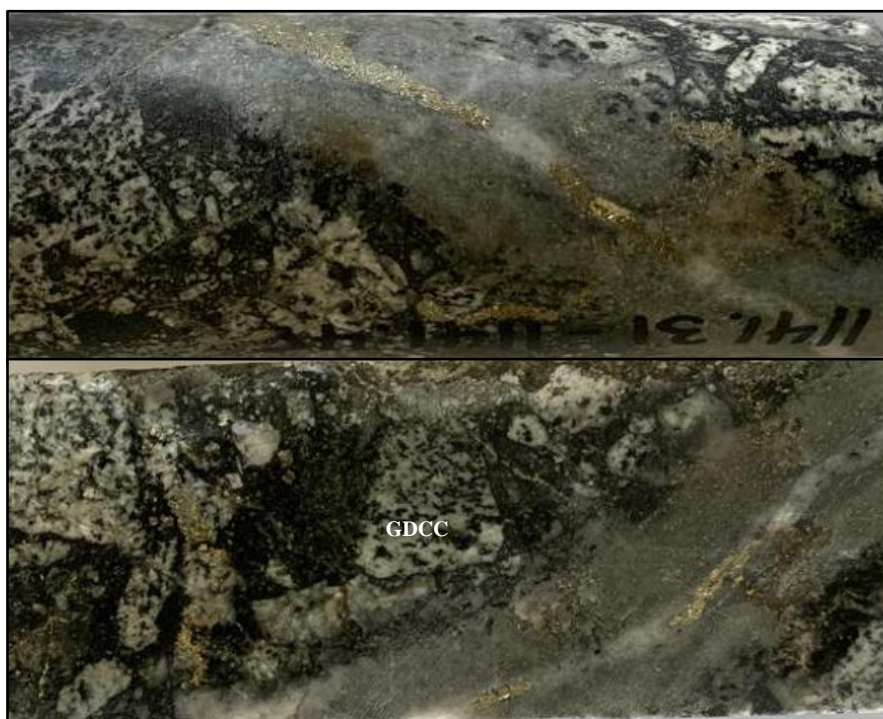
El color característico de esta unidad es gris claro, otorgado por la incipiente alteración cuarzo-sericítica que la afecta. Debido a esto, es difícil distinguir la fracción clástica de la matriz; en la mayoría de los sectores donde esto es posible, se observa que la matriz en general es superior al 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).



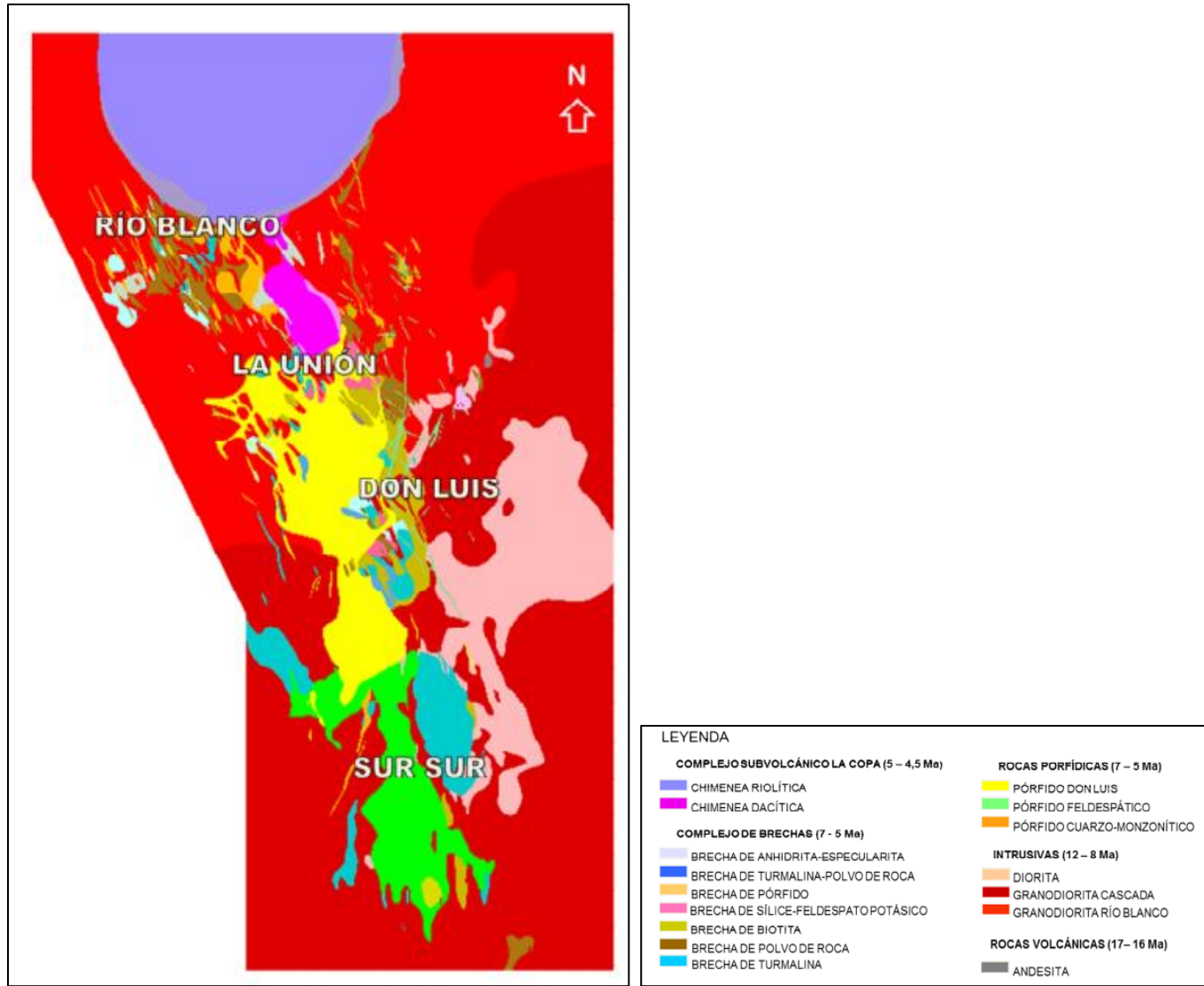
**Figura 2.6:** **A:** Brecha de matriz polvo de roca con fragmentos angulosos de granodiorita y andesitas biotizadas. **B-C:** Fotomicrografía de detalle la compone matriz de la brecha donde se observan fragmentos de feldespatos y cuarzo, constituyentes principales del “Polvo de Roca”. **D:** Brecha polimíctica compuesta por matriz de polvo de roca y fragmentos de posibles andesitas, granitoides, brechas de turmalina y pórfidos. **E:** Fotomicrografía del aspecto de la matriz compuesta principalmente por sericita y polvo de roca constituido por abundantes opacos.

## **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)



**Figura 2.7: A:** Brecha de matriz biotita monomítica con fragmentos angulosos de granodiorita con matriz biotita y polvo de roca, siendo esta cortada por veta tipo “C” con mineralización de pirita y calcopirita.



**Figura 2.8:** Sectores y unidades litológicas del yacimiento Río Blanco. El área de estudio se encuentra en la parte central bajo La Unión, llamada Don Luis Subterráneo. Cota 3188. (Mapa sin escala)

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

<b>Unidad Litológica (sigla)</b>	<b>Nombre</b>	<b>Edades U-Pb [Ma]</b>
AN	Andesita	17
GDRB	Granodiorita Río Blanco	12
GDCC	Granodiorita Cascada	8,45 ± 0,12
DIOR	Diorita	8,8 - 8,2
PQM	Pórfido Cuarzomonzonítico	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. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

El sector Río Blanco se caracteriza por contener una alta concentración de Cu-Mo asociado a la sobreimposición de al menos tres eventos principales de alteración/mineralización.

1. El primero está vinculado a la generación de alteración potásica de fondo principalmente en las rocas de cajas intrusivas, manifestados en una biotitización de los minerales máficos primarios (biotita-anfíbol) y presencia de vetillas temprana de halos biotita y/o sericita de tipo “EB-EBT”, esto junto a la mineralización de calcopirita>bornita-(pirita), y relacionada a las zonas externas de alteración propilítica, con la asociación mineral clorita-epidota.
2. Un segundo evento de mineralización está relacionado a un periodo de brechización de turmalina inter pórfidos cuarzomonzoníticos. Estas brechas contienen mineralización de calcopirita>>bornita diseminada y en cúmulos en la matriz. Asociada a este evento, en los fragmentos se reconoce alteración compuesta de feldespato potásico y/o albita y menor biotitización, a la cual se sobreimpone en la parte alta sericita gris verde y cuarzo sericita.
3. El tercer pulso de mineralización está relacionada a la evolución de la alteración potásica en el pórfido PQMm (intermineral), cuya manifestación principal ocurre en forma de set de vetillas de cuarzo tipo “A” y “B” y desarrollo de recristalización del cemento-matriz de gran parte de las brechas de polvo de roca en profundidad y localmente afectando al pórfido. Este evento de alteración potásica posee una transición lateral y en la porción más alta a sericita gris verde, conformando un proceso de alteración transicional en el sistema mineralizado de Río Blanco.
4. Finalmente, al aumentar las tasas de exhumación durante la formación del yacimiento en este sector, se reconocen manifestaciones de alteraciones sobre la paragénesis de alteración-mineralización tempranas a transicionales descritas. De esta forma es que se observan Brechas de Hematita-Anhidrita con alteración argílica intermedia (sericita-clorita-arcillas y feldespato potásico inalterado) que incluye mineralización en cúmulos de calcopirita y pirita y localmente zonas de mineralización de calcopirita-bornita-calcosina hipógena-enargita. La característica alteración a sericita-arcillas de alto contenido en sulfuros calcopirita-pirita y que solo es cortada por vetillas de carbonatos conteniendo sulfosales de Cu y localmente esfalerita y galena, da cuenta de la naturaleza

tardía de estas brechas y de los períodos finales de mineralización del sector.

En el sector Don Luis se pueden diferenciar dos grandes ambientes de distribución de asociaciones de alteración y de mineralización (Figura 2.10), el primero y más antiguo corresponde al que afecta a parte de las rocas de cajas, brechas tempranas-transicionales y pórfidos > 5,0 Ma. Sobreimpuestos a estos eventos se desarrolla un sistema centrado en el Pórfido Don Luis, de edad < 5 Ma, el cual exhibe zonación vertical y lateral, y en general con un menor volumen de sulfuros que el anterior.

Dentro del primer ambiente se reconoce una alteración selectiva representada por alteración potásica de fondo consistente en la alteración a biotita de minerales máficos, escaso feldespato potásico alterando a los feldespatos de granitoides y presencia de vetillas tempranas de halos biotita tipo "EB" y vetillas de cuarzo tipo "A". Dentro de este ambiente se desarrolla, de forma penetrativa destruyendo la textura original de la roca, la asociación de biotita ± feldespato potásico ± sericita ajustado a la zona central de brechas de polvo de rocas recristalizadas a feldespato y/o biotita, el que se caracteriza por contener calcopirita-bornita (Figuras 2.10). Localmente se observan zonas de destrucción de textura por alteración potásica intensa relacionada a stockworks de vetillas tempranas tipo EBT, distribuidas en las rocas de caja.

La evolución de estos centros de alteración potásica generó envolventes concéntricas de alteración transicional del tipo sericita gris verde (SGV) y de dominio general calcopirita>pirita (Figura 2.10). El evento de mineralización anterior al Pórfido Don Luis ha sido identificado en sondajes por la presencia de clastos/xenolitos de Pórfidos Cuarzo Monzoníticos, tanto en brechas como en pórfidos más jóvenes PDL que contienen xenolitos de rocas de caja con alteración potásica biotítica y con vetillas de cuarzo truncadas por el pórfido PDL.

Como halos de las zonas de alteración potásica y sericita gris, se desarrolla concéntricamente una zona de asociación sericita gris de dominio pirita>calcopirita y transgresivamente se desarrolla la asociación cuarzo-sericita, con dominio de mineralización pirita>>calcopirita y aumento significativo del total de sulfuros incluyendo las zonas anómalas de arsénico relacionado principalmente a estructuras.

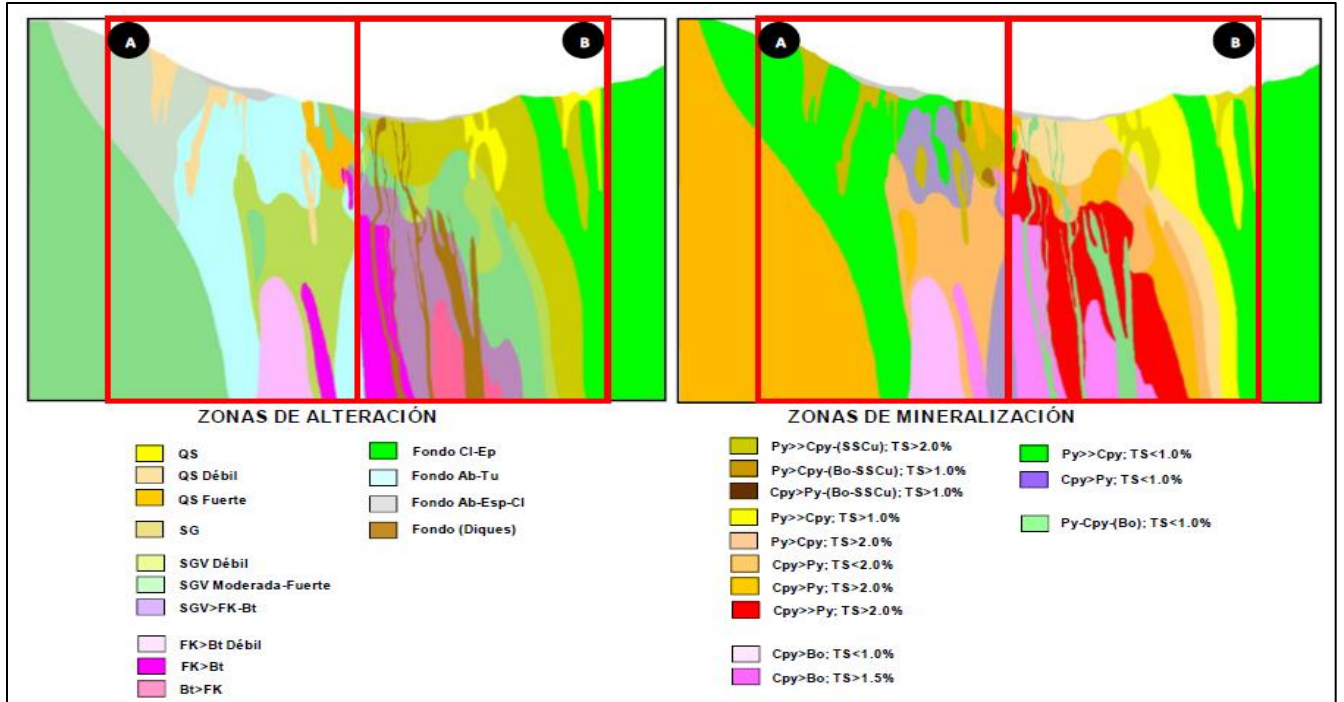
Hacia el borde oriental, los eventos de alteración destructiva disminuyen en intensidad, por lo que la roca de caja tiene una alteración de tipo selectiva representada por la asociación clorita-epidota asociada a un bajo contenido de sulfuros con un dominio claramente pirítico.

El segundo ambiente está dado por las asociaciones de alteración reconocidas en el ambiente del Pórfido Don Luis, desarrollando en la porción central la asociación de alteración biotita-feldespató potásico, consistente en una zona de distribución de escasas vetillas de cuarzo tipo A y de biotita-sericita tipo EBT con calcopirita  $\geq$  bornita con muy bajo contenido total de sulfuros.

Una zona de asociación SGV con un dominio de calcopirita > pirita se distribuye principalmente en la parte alta de la zona de alteración potásica. Sobreimpuesto a la asociación de alteración SGV y distribuido en la porción superior de ésta, se observan zonas de asociación cuarzo-sericita con dominio pirítico y presencia local de zona calcopiríticas con presencia local de sulfosales de cobre y/o bornita.

Se reconocen como asociaciones de alteración de fondo o “background” de albita-turmalina y albita-especularita-clorita más externa principalmente hacia el borde oeste del pórfido.

Los eventos póstumos de alteración/mineralización están relacionados a la alteración sericita y a la formación de las brechas de turmalina y polvo de roca tardíos, en general de carácter pirítico dominante con alto totales de sulfuros y localmente ricos en molibdenita.



**Figura 2.9:** Modelo de dominios de Alteración y de Mineralización sección XC-315, Don Luis (Vista con orientación W-E). A) Ambiente Pórfido Don Luis; B) Ambiente de roca de caja; SGV: Sericita Gris Verde; TS: Total de sulfuros; SSCu: Sulfosales de Cu-As-Sb; Fk: Feldespato Potasico; Bt: Biotita; QS: Cuarzo-Sericita; SG: Sericita Gris; Ab: Albita; Tu: Turmalina; Ep: Epidota; Chl: Clorita; Esp: Especularita.

La denominación de las asociaciones está referida a la terminología ampliamente utilizada de tipos de alteración definidos por Gustafson & Hunt, (1975) y Titley (1982), haciendo referencia al componente del mineral principal, de mayor abundancia o más representativo. En la Tabla 2 se muestran los minerales que caracterizan estas asociaciones en el yacimiento Río Blanco y las abreviaturas utilizadas.

El término carbonatos (Carb) incluye minerales como ankerita, siderita y calcita, en forma indiferenciada. Por su parte, entre los minerales arcillosos (Arc) se describe caolinita y esmectitas.

**Tabla 2:** Minerales de alteración hidrotermal y con contenido de metales. Yacimiento Rio Blanco.

Minerales de alteración hidrotermal		Minerales con contenido de metales	
Especie	Abreviatura	Especie	Abreviatura
Andalucita	And	Bornita	Bo
Anhidrita	Anh	Calcopirita	Cpy
Albita	Alb	Enargita	En
Arcillas	Arc	Esfalerita	Esf
Biotita	Bt	Especularita	Esp
Carbonatos	Carb	Galena	Ga
Clorita	Cl	Hematita	Hem
Corindón	Cor	Limonita	Lim
Cuarzo	Qz	Magnetita	Mgt
Epidota	Ep	Pirita	Py
Feldespato potásico	Fk	Rutilo	Rt
Sericita	Ser	Tennantita	Ten
Sericita gris verde	SGV	Tetraedrita	Tet
Turmalina	Tu		
Yeso	Y		

El modelo que se propone realizar en Andina considera dichos aspectos, de forma que se establezca inicialmente un modelo genético de la distribución general de las principales zonas de alteración, enfocado a discriminar las zonas de altos contenidos de sulfuros y las concentraciones intermedias y bajas de éstos en el yacimiento. Para ello, se han definido las asociaciones de alteración que se esquematizan en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Asociaciones de Alteración definidas para el yacimiento Rio Blanco.

TIPO DE ASOCIACIÓN ALTERACIÓN	TEXTURA PRESERVADA	ALTERACIÓN DE LOS MINERALES MÁFICOS	MINERALOGÍA PRINCIPAL	ASOCIACIÓN DE VETILLAS	ESPECIES Y OCURRENCIA DE SULFUROS	TOTAL DE SULFUROS	OTRAS CARACTERÍSTICAS
BIOTÍTICA DE FONDO (FBt)	≥ 85-90 %	>50% → Bt Sec.	Bt Sec. ± Mgt Sec ± Rt	< 5 % tipos EB ± EBT ± A ± B ± < 5-10% tipo D ± < 15 % tipo C	Cpy >> Py ± Bn Diss > Vet	≤ 1.0 -1.5 %	Mineralización diseminada en los sitios de máficos biotitizados, pérdida de forma y clivajes de máficos, común observación de rutilo en los sitios de minerales máficos con Cpy asociada.
BIOTITA-CLORITA DE FONDO (FBt-Cl)	≥ 85-90 %	<50% → Bt Sec.	Bt Sec. ± Mgt Sec ± Cl	< 5 % tipo EB ± < 5-10% tipo C-D	Cpy-Py Diss ≥ Vet	≤ 1.0 -1.5 %	Proceso de biotitización parcial, aun estables máficos biotita, se observan pseudomorfos de anfibol biotitizados, mineralización en guías de biotita o guías de sulfuros escasa mineralización diseminada
CLORITA-EPIDOTA DE FONDO (FCl-Ep)	≥ 80-90 %	± Cl	Cl ± Ep ± Carb ± Ab ± Mgt Prim	< 20% tipos C-D ± < 5% EB → Py	Py>Cpy Vet >> Diss	≤ 1.0 %	Minerales máficos presentando formas y clivajes, clorización amplia y epidota accesorio. Escasa mineralización diseminada
BIOTÍTICA O FELDESPATO POTÁSICO PENETRATIVA (Fk-Bt o Bt-Fk)	≥ 60 %	Bt Sec. sobrecrecidos	Fk ± Bt Sec. ± Ser ± Tur ± And ± Cor	> 15-20 % tipos EB ± EBT ± A ± B ± < 5-10% tipo D ± < 15 % tipo C	Cpy > Bn ± Py Diss>Vet (FK>Bt) Vet>Diss (Bt>Fk)	>1-2%	Textura fuertemente obliterada por alteración potásica con dominios biotíticos o dominios feldespatíticos, comúnmente feldespatos alterados a sericita-biotita, mineralización en general diseminada asociada a matriz de brechas recristalizadas o a vetillas EBT
SERICITA GRIS VERDE PENETRATIVA (SGV)	≥ 60%	Bt Sec. y/o Ser	Ser ± Qz ± Bt Sec	>10% tipos C < 5-15% tipo D	Cpy>Py ± Bn en FBt Py>>Cpy en FBt-Cl Vet >> Diss	≥1-2 %	Roca fuertemente obliterada por alteración SGV asociada a vetillas, halos de brechas o halos difusos, intensa mineralización diseminada y/o en halos de vetillas
CUARZO SERICÍTICA PENETRATIVA (QS)	≥ 60 %	Ser ± Cl	Ser ± Qz ± Carb ± Arc ± Cl	> 20 % tipo D y/o E ±	Py>Cpy >> En-Ten-Tet >> Est-Ga Vet >> Dis (QS)	≥3-4% %	Textura obliterada por QS con presencia de arcillas blancas, localmente desarrollo de clorita y presencia común de carbonatos diseminados
ARGÍLICA PENETRATIVA (Arg)	≥ 60 %	Argilizados o ausentes	Arc ± Ser ± Qz ± Carb	> 5% tipo E	Py>Cpy En-Ten-Tet	Variable	Alta presencia de arcillas asociadas a cuarzo sericita, común carbonatos y posiblemente sulfosales

### 2.2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

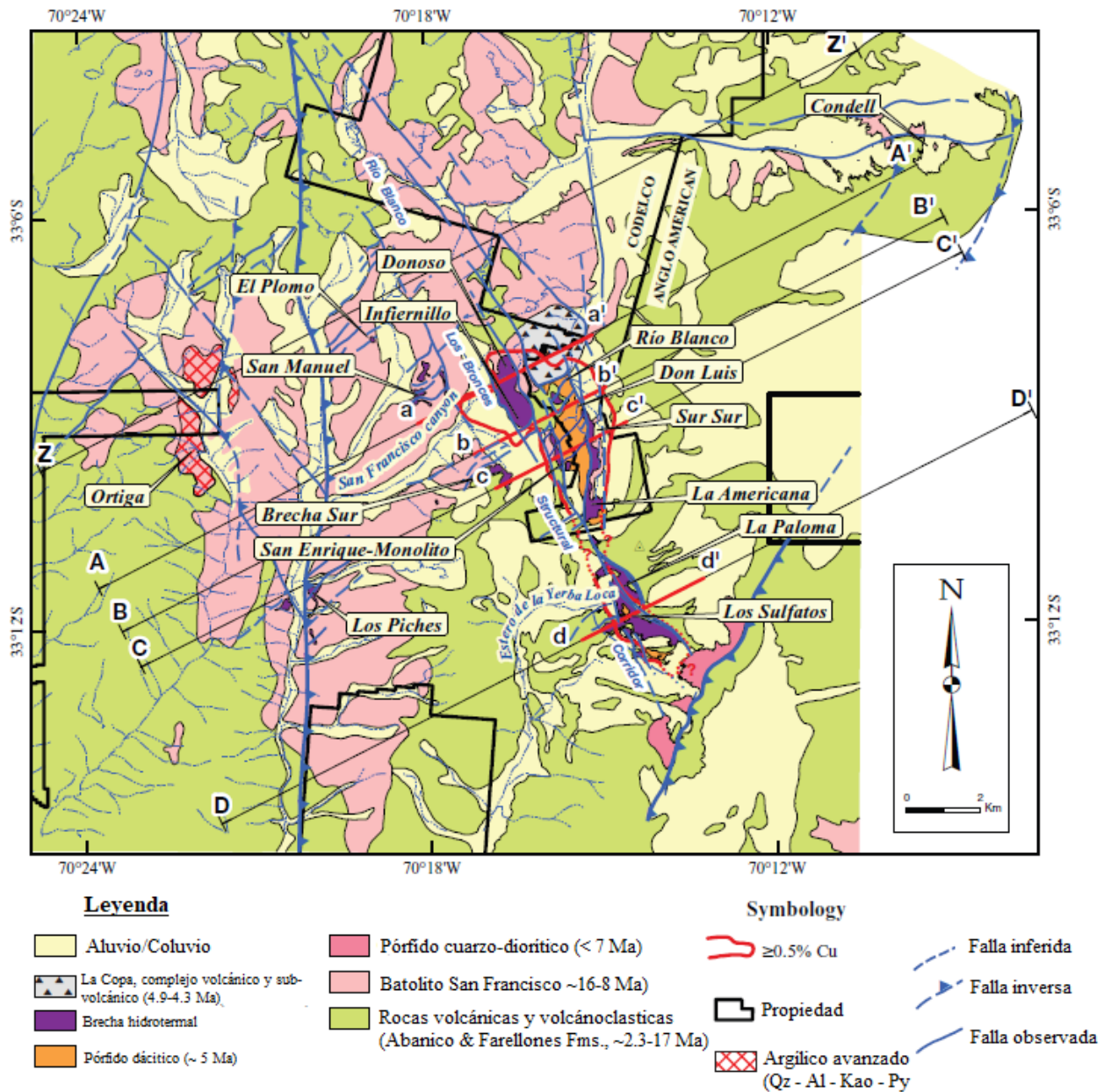
Además de las grandes fallas de borde de cuenca (Pocuro y El Fierro), se reconocen en el distrito dos grandes sistemas de falla que controlan la ubicación del batolito Río Blanco-San Francisco y del yacimiento Río Blanco-Los Bronces: la zona de falla Río Blanco-San Francisco y la falla El Salto: (1) Zona de Falla Río Blanco-San Francisco (orientación N25-30°W/60-65°W) y (2) Falla El Salto: Subvertical (orientación N45°E).

Ambas se interpretan como fallas normales en su origen, que habrían controlado la ubicación de subcuencas donde se acumularon los productos de la Fm. Abanico. Además de las dos fallas que controlan el yacimiento, se han registrado una serie de estructuras paralelas (NNW y NE) en el distrito, que limitan varios depocentros donde se acumularon rocas volcanosedimentarias, y que controlan la ubicación y el emplazamiento de cuerpos intrusivos, pórfidos, brechas y sistemas de vetas y vetillas (Piquer, 2006, 2007; Piquer y Alcota, 2008, 2009).

A partir del Mioceno Inferior, cuando se inicia la inversión de las cuencas asociada a compresión aproximadamente E-W, las estructuras NNW con manteo al W se habrían reactivado como fallas inversas con vergencia al E, y las NE como fallas de rumbo de tipo dextral (Piquer, 2006, 2007).

Los sistemas NNW controlan fuertemente la deformación de la Formación Abanico y producen una serie de pliegues de arrastre convergencia al este en distintos lugares del distrito.

Entre los 8 y los 3 Ma, se acelera bruscamente la inversión tectónica, lo cual conlleva mayor actividad de las antiguas fallas normales reactivadas en modo inverso, mayor sedimentación sinorogénica en el antepaís, rápido engrosamiento cortical, y muy elevadas tasas de exhumación (Skewes y Stern, 1995; Kurtz et al., 1995, 1997; Ramos, 1996; Ramos et al., 1996a, b; Godoy et al., 1999; Deckart et al., 2003, y otros). Durante esta etapa se emplazan los cuerpos de pórfido dacítico, brechas hidrotermales, sistemas de vetas y vetillas y complejos subvolcánicos del yacimiento y de los otros blancos y prospectos del distrito, entre 6 y 4 Ma. Su ascenso y emplazamiento recurrente es controlado y focalizado por fallas-válvula de alto ángulo, principalmente las fallas NNW, y subordinadamente las NE.



**Figura 2.10:** Mapa geológico simplificado del yacimiento Río Blanco – Los Bronces, mostrando las localidades de los principales depósitos y prospectos. Modificado de Irrázaval et al. (2010). Abreviación de minerales: al = alunita, kao = kaolinita, py = pirita, qz = cuarzo.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. PERFORACIÓN DDH

La campaña de sondajes realizada en el prospecto Don Luis, fue parte del programa de perforación diamantina realizada entre 15 de junio y el 31 de diciembre 2022, “Exploración Básica de Seguimiento Franja Oriental Río Blanco” y para exploraciones mineras andina (EMSA) consistió en la ejecución de 9.800 m en 7 pozos diamantinos, en la parte oeste de Don Luis subterráneo, llevado a cabo desde el Nivel 17, en los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur.

Los parámetros de las recomendaciones contemplan largos entre 1.300 a 1.500 metros e inclinaciones entre  $-14^{\circ}$  y  $-35^{\circ}$ . En la tabla 4 se pueden apreciar las características de los pozos perforados. La perforación se realizó con tricono hasta el techo de roca estimado, para continuar con diamantina en diámetro HQ al menos hasta la mitad de la profundidad objetivo y finalmente continuar con diámetro NQ. En todos los casos, una vez terminado cada sondaje se procedió a realizar el sellado de pozo, según lo exigido por la CONAMA y comprometido en la Declaración de Impacto Ambiental.

**Tabla 4:** Cuadro resumen de los pozos perforados realizados en el Proyector Franja Oriental Rio Blanco.

Proyecto Franja Oriental Rio Blanco (FORB)									
Sondaje	Recomend.	Este Local	Norte Local	Cota	Azimet (°)	Inclinac. (°)	Largo Rec. (m)	Fondo (m)	Estado
6106	FORB-S1-001	24283	26999	3159	62.5	-30	1300	1505.80	Finalizado
6101	FORB-S1-002	24178	26606	3189	62.5	-14	1400	1388.30	Finalizado
6102	FORB-S1-003	24328	26412	3191	62.5	-17	1400	1380.35	Finalizado
6100	FORB-S1-004	24483	26205	3197	62.5	-25	1500	1518.00	Finalizado
6107	FORB-S1-008	24637	25763	3200	62.5	-30	1400	1416.95	Finalizado
6104	FORB-S1-011	24178	26606	3189	56	-31	1400	1377.85	Finalizado
6105	FORB-S1-012	24328	26412	3191	70	-25	1400	1410.3	Finalizado
							9800	9997.55	102%

### 3.2. FOTOGRAFÍA

Con la finalidad de mantener un respaldo real de las condiciones del testigo una vez extraído de la perforación y de acuerdo a protocolos de la filial de Codelco Exploraciones Mineras S.A. (EMSA), se fotografiaron las bandejas con muestra tomando en consideración las siguientes medidas:

1. Posicionar bandejas en atril confeccionado para 3 de éstas.
2. Chequeo ubicación de tacos y marcado de estos en bandeja.
3. Tacos no pueden tapar muestra.
4. Mojado de la muestra antes de la toma de fotografía, esto para destacar las estructuras y alteraciones contenidas en la roca.
5. Usar cámara fotográfica sin aplicar zoom, solo considerar la distancia real de la bandeja a la ubicación de la cámara.
6. No cortar bandejas en sus bordes, para evitar durante la toma de fotografías la pérdida de información referente a N° de bandeja, metraje y proyecto.

Una vez finalizado este proceso, las fotografías fueron validadas tomando en consideración lo antes descrito. Validada la fotografía se autorizó el inicio de corte de testigo.

### 3.3. CORTE DE TESTIGOS

Los testigos fueron cortados longitudinalmente con sistema guillotina, para almacenar una mitad en testigoteca y la otra para análisis geoquímico.

Sondaje	Campaña	Desde	Hasta	Sistema
6100	RB-2022	0	1518	Guillotina
6101	RB-2022	0	1388.3	Guillotina
6102	RB-2022	0	380.35	Guillotina
6104	RB-2022	0	377.85	Guillotina
6105	RB-2022	0	1410.3	Guillotina
6106	RB-2022	0	1505.8	Guillotina
6107	RB-2022	0	416.95	Guillotina

**Tabla 5:** Cuadro resumen de los metros cortados de los testigos de sondajes Franja Oriental Rio Blanco.

### **3.4. MAPEO DE SONDAJES**

El mapeo geológico de sondajes diamantina consiste en realizar un registro a escala 1:200 de los diferentes parámetros geológicos que se observan en el testigo, en una cartilla de mapeo o un sistema digital de mapeo (XILAB). En el primer caso, la información se digita en planillas Excel para su posterior ingreso a la Base de Datos de Geología (BDGEO), en tanto que el segundo los datos son ingresados directamente en forma digital desde el capturador y son migrados posteriormente a la base de datos.

Esta actividad de captura de información requiere un alto grado de especialización técnica, por lo que debe ser realizada por Geólogos con los conocimientos y experiencia adecuados.

El soporte de registro de los parámetros se determina en base a quiebres naturales (contactos litológicos, cambios volumétricos en las proporciones de asociaciones de alteración, abundancias de matrices de brechas, variaciones en volumen de vetillas, mineralización y/o tramos estructurales) que determinan tramos cuyas características geológicas presentan cierta homogeneidad. A la escala definida (1:200), la unidad mínima mapeable es de 2,0 m, quedando a criterio del geólogo si unidades menores a este soporte, que produzcan un impacto relevante, justifiquen su registro. No existe una unidad máxima mapeable, ya que la extensión del tramo a mapear queda a criterio del geólogo, dependiendo de la homogeneidad geológica observada en la roca.

Antes de iniciar el mapeo, el geólogo se debe informar de la ubicación del sondaje, sus objetivos y tipo de unidades geológicas que atraviesa según el modelo geológico vigente. La información capturada semanalmente, debe ser traspasada a la sección geológica correspondiente, para establecer posibles correlaciones con información de pozos cercanos y, de esta manera, verificar la consistencia de la información rescatada en los distintos sondajes.

El mapeo de sondajes se realiza sistemáticamente mediante observación macroscópica de los testigos (a simple vista y, puntualmente, con lupas manuales de 10 hasta 20 aumentos). Si es necesario, se puede considerar la ejecución de estudios mineralógicos mediante microscopía, análisis geocronológico, difracción de rayos X u otro medio de análisis geoquímico, por lo que el geólogo mapeador tiene la posibilidad de efectuar toma de muestras de sondaje para análisis, de manera de precisar una mejor identificación de minerales, determinar sus texturas, relaciones de

contacto entre unidades litológicas y/o vetillas y caracterizar las asociaciones de alteración. La toma de muestras no es sistemática, por lo que queda al criterio del geólogo la frecuencia y cantidad de muestras a obtener de un sondaje. Sin embargo, es recomendable considerar a lo menos una muestra por unidad geológica, ya sea esta de alteración, mineralización y/o litología.

En casos calificados, se pueden realizar muestreos sistemáticos orientados a estudios específicos, tales como caracterización de vetillas, variaciones en la mineralización y variabilidad en la alteración de fondo, entre otros, que contribuyan a robustecer los modelos geológicos en desarrollo. El análisis y utilización de los resultados petrocalcográficos deben ser efectuados por el geólogo mapeador, de manera de complementar lo observado a escala macroscópica y entregar un producto final de mayor robustez geológica.

- Las muestras de testigos fueron regularizadas, según los tramos perforados (“taco a taco”) en la plataforma de sondajes por el controlador de sondajes y el geólogo mapeador es quien realiza el mapeo geotécnico midiendo RQD% y recuperación.
- Marcado de muestras para probetas de peso específico y/o geomecánicas. Se seleccionan un tramo cada 20 m de testigo, que tiene la restricción de ser roca no fracturada con una longitud de 25 cm.

### **3.5. MUESTREO**

En la caja se dejó un ticket como testigo del muestreo realizado. Para la selección de los insertos, se usó protocolo muestreo de sondajes, tabla secuencia de blancos y duplicados, donde aparecen predefinidos y en forma rígida, posiciones en las que se debe insertar muestra blanco grueso de preparación y duplicados. Estas posiciones se podían modificar en cuando el peso de la muestra contenida en el soporte era inferior a 1Kg, peso establecido como el mínimo requerido para una muestra. En caso de no alcanzar el peso mínimo, la muestra era compositada con la muestra siguiente, y así sucesivamente, pudiendo existir compositos de hasta 8 muestras regulares. También era requisito que la muestra tuviese una longitud mayor o igual a 1m, de lo contrario esta era incluida dentro del soporte anterior o siguiente. Los duplicados corresponden a la totalidad del rechazo, agotándose la muestra en el proceso.

Las muestras obtenidas de los sondajes se codificaron y almacenaron para posterior análisis. El almacenamiento de las muestras se realizó dentro de las bolsas de género, las cuales se separaron y codificaron por cada tramo de sondaje. Por otro lado, a cada muestra se le asignó un código (P. EJ: Sondaje: FORB / DDH-6100).

### **3.6. ENVÍOS A LABORATORIO GEOQUÍMICO**

Los primeros análisis geoquímicos fueron procesados mediante el análisis por ICP por cobre total y molibdeno para todos los sondajes 6100-6101-6102-6104-6105-6106-6107 y luego se realizó una batería completa de elementos mediante el análisis por absorción atómica (AAS) que incluyen: CuT (%), Ag (ppm), As (ppm), Bi (ppm), Ca (%), Co (ppm), Fe(%), Mg (%), Mn (ppm), Mo (ppm), Na (%), Ni (ppm), Pb (ppm), Sb (ppm), Sn (ppm), Sr (ppm), Ti (%), W (ppm) y Zn (ppm) analizados con un soporte de 2 m en todos los casos.

### **3.7. MAPEO DE VETILLAS**

Se efectuó un mapeo de vetillas de la totalidad de los pozos del proyecto basado en criterios descriptivos, que incluyen la morfología, textura, mineralogía de relleno y el halo de alteración, sumando a la orientación espacial de estas. En sistemas de pórfidos cupríferos en los cuales se está haciendo un reconocimiento geológico se recomienda apuntar datos texturales y mineralógicos y de relaciones de temporalidad entre las vetillas, con el objeto de poder reinterpretar datos y ya una vez obtenida la agrupación de vetillas, se simplifica la caracterización clasificándolas de acuerdo a lo propuesto por Gustafson & Hunt (1975), dado que estas reflejan secuencialmente los principales eventos de alteración/mineralización relacionados a la secuencia de intrusión de pórfidos.

La tabulación de los resultados obtenidos se encuentra en el **Anexo B** de vetas y vetillas.

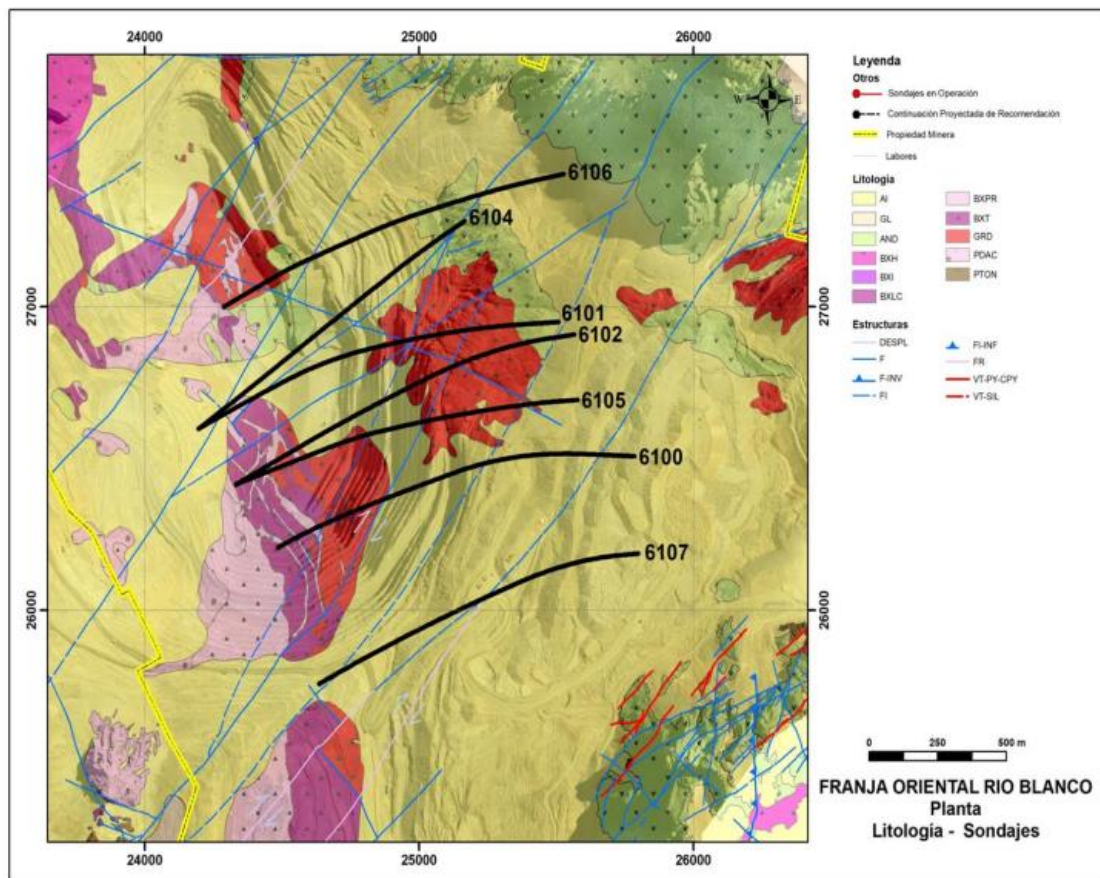
### **3.8. ANÁLISIS DE SECCIONES TRANSPARENTES**

De las muestras obtenidas de los sondajes, se realizaron 5 cortes transparentes para análisis microscópico. Cada corte representa una litología en específico y minerales de interés económico. El análisis se realizó con un **micropolariscopio CX31-P, OLYMPUS**, cuyo principio básico del estudio de los minerales a través de luz polarizada plana y/o luz transmitida o reflejada.

## 4. RESULTADOS CAMPAÑA SONDAJES “FRANJA ORIENTAL RÍO BLANCO”

### 4.1.GEOLOGÍA

En este capítulo se presentan los aspectos geológicos más relevantes obtenidos a partir del programa de sondajes subterráneos desarrollado en el proyecto Franja Oriental Río Blanco, llevado a cabo desde el Nivel 17, en los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur, a objeto de evaluar el potencial de Cu – Mo, hacia el margen este del yacimiento, en el marco del entorno inmediato a las actividades mineras extractivas de la División Andina. Los 800 m iniciales de cada sondaje se disponen en el área de interés de la División, continuando en profundidad hacia los sectores de mayor atractivo exploratorio para EMSA.



**Figura 4:** Ubicación y distribución de los sondajes subterráneos desarrollado en el proyecto Franja Oriental Río Blanco, llevado a cabo desde el Nivel 17, en los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur.

Los resultados geológicos obtenidos en cada sondaje de esta campaña son los siguientes:

**Sondaje 6100:** Ubicado en la parte central del proyecto, se ejecuta con un azimut de 62.5° e inclinación -25°, alcanzando una profundidad de 1518 m, reconociendo entre las cotas 3200 a 2500 m s n m. (Figura 4.3)

**Litología:** La unidad litológica de mayor distribución en el sondaje es la roca de caja intrusiva denominada Granodiorita Cascada, caracterizada en su inicio (60 m), por cuerpos de Brechas de Turmalina y digitaciones discretas de pórfidos de composición dacítica, tipo Don Luis. Hasta los 845 m.

La unidad intrusiva se presenta fracturada, con su textura obliterada en un 5 a 20%, por biotita y cortada por reservadas digitaciones de Brechas de Biotita. En profundidad hasta fondo de pozo, la roca de caja presenta un mayor agrietamiento, con una mayor ocurrencia de biotita secundaria, cortada por cuerpos de brechas hidrotermales de matriz biotita y material de polvo de roca de 5 a 20 m de potencia. (Figura 4.2a)

**Alteración:** A lo largo del sondaje se presenta una alteración de fondo de carácter potásico definido principalmente por biotita selectiva. La alteración hidrotermal desde su inicio es sericita gris verde con intensidades débil a moderada, presente en halos de vetillas tipo C y penetrativa en la roca de caja, destruyendo <30% la textura de la roca. Eventos tardíos de alteración hidrotermal ocurren definidos por la ocurrencia de vetillas tardías tipo E, definiendo una alteración cuarzo – sericita, eventos que se desarrollan en diversos tramos del sondaje. En profundidad, los últimos 100 m la alteración es sericita gris, desarrollada en halos de vetillas de pirita, destruyendo <5% la textura de la roca, dando lugar en esta forma a una zonación de la alteración en la horizontal. (Figura 4.2b)

**Mineralización:** La mineralización corresponde a Cpy-Bo en los primeros 400 m, con un volumen total de sulfuros de 1 a 3%, presentes en vetillas y cúmulos en la roca fracturada de la unidad intrusiva. La parte central del sondaje hasta 1340 m, la mineralización se distingue por el desarrollo de zonas de Cpy > Py y Cpy >> Py, desarrollada en la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada, asociada a la alteración sericita gris verde, con valores de cobre que varían entre 0,5 a 1,5% CuT. Eventos tardíos de mineralización se presentan a lo largo del sondaje con alteración cuarzo – sericita y una mineralización de Cpy > Py + SSCu, caracterizada por un

incremento en los valores de arsénico que varían entre 300 a 600 ppm As, asociada a vetillas tipo E. (Figura 4.2c)

Los interceptos más relevantes se extienden un poco más de 1400 y son los siguientes:

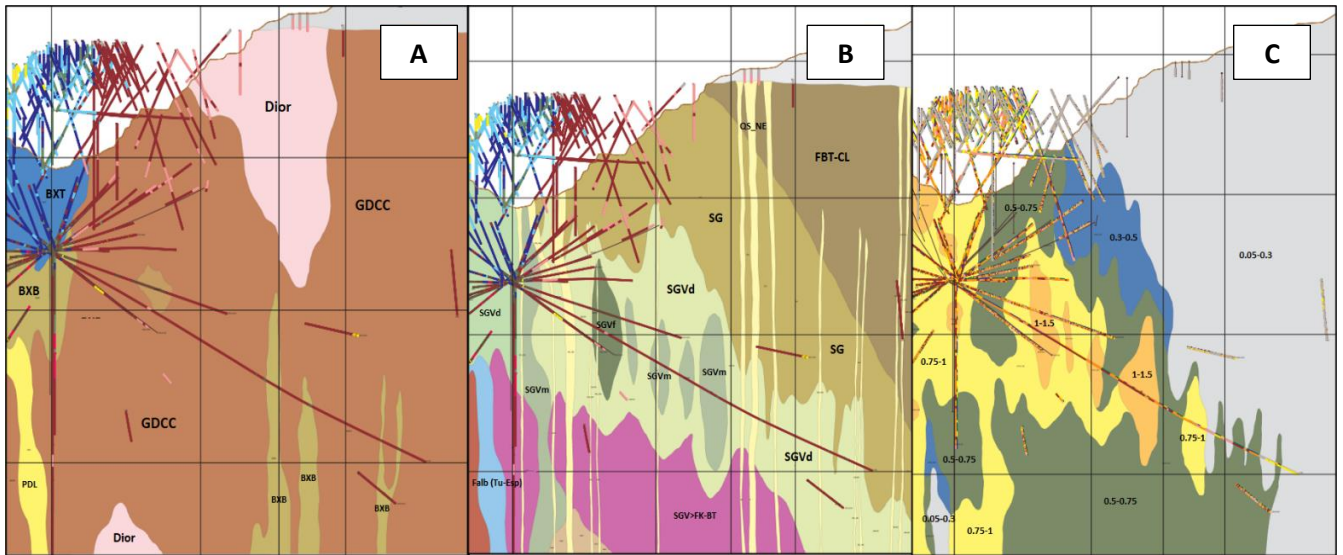
**Tabla 6:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6100.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6100	0	62	0.8	404	BXT
6100	226	260	1.2	270	GDCC
6100	304	360	1	320	GDCC
6100	704	822	1.08	450	GDCC
6100	872	922	1.21	220	BXB-BXPR
6100	1102	1130	1	210	GDCC
6100	1422	1432	0.93	250	Dior

**Tabla 7:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As del sondaie 6100.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6100	818	822	2.1	650	340
6100	992	1000	1.5	150	500
6100	1050	1056	1.72	230	333

Los rasgos estructurales se manifiestan a través de vetillas y vetas de sulfuros que obedecen a los sistemas de orientación principal de mineralización N10 a 30°W y N60 a 90°E, caracterizado este último por valores anómalos de arsénico.



**Figura 4.1:** Sección Geológica por la traza del sondaje 6100, (a) Presenta las principales unidades litológicas del sondaje, donde la unidad intrusiva es cortada por cuerpos de brechas de biotita BXB, a partir de la cota 2800 m s n m en profundidad hasta alcanzar la cota 2500 m s n m. (b) Distribución de las zonas de alteración donde se observa que los primeros 800 m la alteración es sericita gris verde con intensidades de débil a moderada y en profundidad la alteración es sericita gris, cortada por eventos tardíos de cuarzo-sericita (QS) con orientación NE. (c) Distribución de los cuerpos mineralizados, donde se observa una clara disminución del cobre hacia el este, sin embargo el sondaje identifica en profundidad una mineralización de cobre 0.5 a 0.75% CuT, asociado a cuerpos de brechas hidrotermales de biotita.



**Figura 4.2:** Fotografía. Sondaje 6100 (1082 m). Se presenta la unidad intrusiva Granodiorita Cascada cortada por digitaciones de brechas de biotita, con intensa mineralización de sulfuros de cobre Cpy>>Py.

**Sondaje 6101:** Ubicado en la parte centro norte del proyecto, se realiza con un azimut 62.5° e inclinación -14°, alcanza una profundidad de 1.388,30 m perforados.

**Litología:** Desde su inicio hasta los 275 m se presenta la unidad subvolcánica denominada Pórfido Don Luis, composición dacítica y es cortada por una serie de cuerpos de brechas hidrotermales de matriz polvo de roca con clastos de pórfido, Granodiorita Cascada. Entre 275 y 805 m, la roca de caja intrusiva denominada Granodiorita Cascada es cortada por una serie de cuerpos de brechas hidrotermales de biotita con continuidad hasta 90 m. Los bloques de granodiorita presentan un moderada a fuerte agrietamiento obliterando la textura de la roca por biotita secundaria. En profundidad hasta 1155 m las características litológicas son similares al tramo anterior, disminuyendo la potencia de los cuerpos de brechas y su frecuencia, al igual que el grado de agrietamiento de la roca. Finalmente, y hasta fondo de pozo, continúa la roca de caja con débil a moderado agrietamiento de su textura original. (Figura 4.3a)

**Alteración:** La unidad subvolcánica Pórfido Don Luis, presenta una alteración sericita gris verde, desarrollada en halos de vetillas tipo C, definiendo una intensidad moderada a débil, destruyendo <20% la textura de la roca. En general la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada presenta una alteración de fondo biotita – clorita selectiva. Entre los 275 y 930 m la alteración hidrotermal de mayor distribución es sericita gris verde, con intensidades débil a moderada, esta ocurre en halos de vetillas tipo C y penetrativa en cuerpos de brechas y zonas de fuerte agrietamiento de la roca de caja, destruyendo en algunos casos el 100% la textura de roca. En profundidad hasta fin de pozo la alteración presenta un dominio de sericita gris, desarrollada en halos de vetillas de sulfuros, sobre un fondo biotita – cloritas selectivas. El desarrollo de alteración cuarzo – sericita, obedece a la ocurrencia de vetillas tipo E, las cuales se presentan subparalelas al eje del sondaje, observándose en tramos discretos a lo largo del sondaje. (Figura 4.3b)

**Mineralización:** Desde su inicio hasta los 275 m en la unidad subvolcánica Pórfido Don Luis, la mineralización es un dominio  $Cpy \gg Py$ , con desarrollos menores de  $Cpy - Bo$  y  $Cpy - Py + SSCu$ , caracterizando a esta zona con una ley media 0/275 m @ 0.6% CuT + 130 ppm Mo, la que ocurre principalmente en vetillas tipo C, cúmulos en zonas de brechas y diseminada en fuerte presencia de sericita gris verde. Entre 275 a 452 m, la mineralización es  $Cpy > Bo$ , que ocurre en vetillas, cúmulos y diseminada en halos de vetillas tipo C, concentra los principales valores de cobre y molibdeno. A partir de 452 y hasta 930 existe un dominio en la mineralización de

Cpy >> Py, presente principalmente en vetillas tipo C y diseminada fina en halos. En profundidad hasta fin de pozo la zona mineral es Py > Cpy, con bajo volumen de sulfuros <2%, desarrollada en una zona de alteración sericita gris (Figura 4.3c). A lo largo de todo el sondaje y cortando a diferentes unidades litológicas, mineralización tardía se presenta en vetillas tipo E, subparalelas al eje del sondaje con valores anómalos de arsénico.

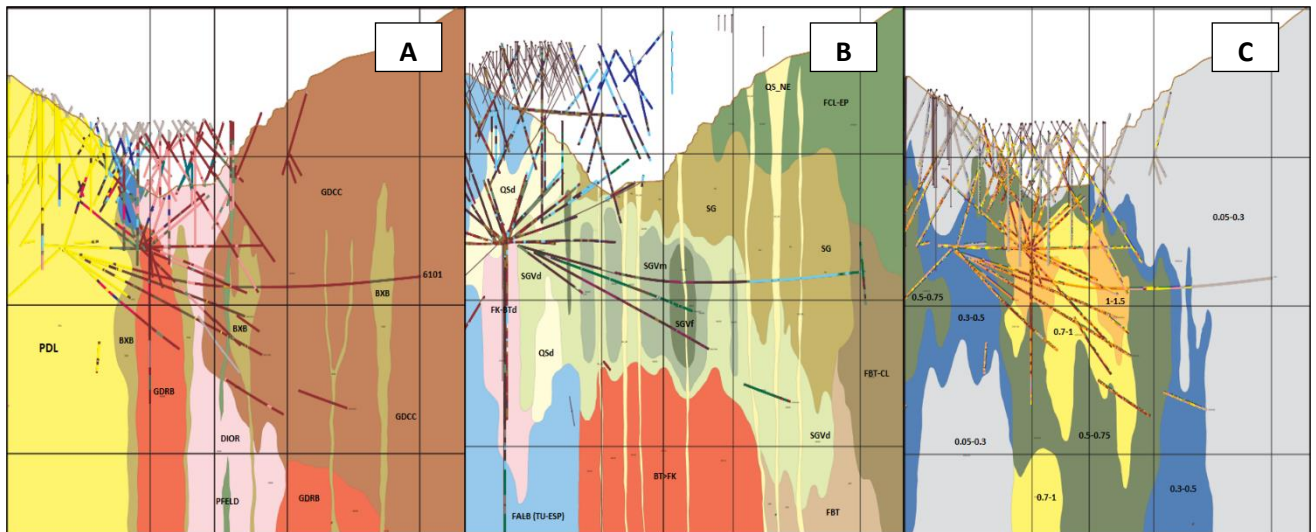
Los tramos mineralizados más significativos son:

**Tabla 8:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6101.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6101	0	275	0.5	135	PDL
6101	275	439	1.2	400	GDRB
6101	624	770	1.1	130	BXB

**Tabla 9:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, obedece a cuerpos subparalelas al eje del sondaje con largos 8 a 18 m.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6101	482	490	1.1	410	1010
6101	830	842	2	470	70
6101	932	950	0.5	25	250



**Figura 4.3:** Sección por la traza del sondaje 6101, realizado sobre la cota 3000 m s n m. (a) Distribución de las principales unidades litológicas observándose en la parte izquierda el cuerpo subvolcánico denominado Pórfido Don Luis, una franja de brechas hidrotermales denominadas Complejo de Brechas Rio Blanco y la roca de caja intrusiva de mayor distribución Granodiorita Cascada, cortada por digitaciones de brechas de biotita. (b) La unidad de pórfido presenta una alteración SGVd, mientras que los cuerpos de brechas la alteración SGV tiene intensidades entre moderada y fuerte, mientras que en la roca de caja tiene una zonación lateral de una SGV a una SG. (c) Distribución de las envolventes de mineralización, presentando la zona de mayor ley de cobre, asociados al Complejo de brechas Rio Blanco, en la parte central de la sección. Hacia el oriente las digitaciones de brechas de biotita, sobre la cota 3000 m s n m, presentan una mineralización de cobre <03% CuT.



**Figura 4.4:** Fotografía. 6101 (836 m) Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada, agrietada y cortada en un primer evento por vetillas perpendiculares al eje del sondaje tipo B y C. Un segundo evento es definido por vetillas subparalelas al eje del sondaje, definido por vetillas tardías tipo E.

**Sondaje 6102:** Ubicado en la parte central del proyecto, es ejecutado con un azimut  $62.5^\circ$  e inclinación  $-17^\circ$ , alcanzando un largo de 1380.35 m perforados.

**Litología:** Desde su inicio hasta los 425 m se presenta el Complejo de Brechas Río Blanco, caracterizada por un dominio de brechas hidrotermales de matriz biotita y material polvo de roca, en una matriz soportante con fragmentos de Granodiorita Cascada y Río Blanco. Esta unidad de brechas es cortada por digitaciones de cuerpos de pórfidos dacíticos tipo Pórfido Don Luis con tramos de 3 a 20 m. En profundidad y hasta fin de pozo se presenta la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada obliterada por agrietamientos (5 a 20%) rellenas de biotita, cortada por discretas y espaciadas digitaciones de brechas de biotita, siendo la más relevante entre 1337 a 1362 m. (Figura 4.5a)

**Alteracion:** Presenta un dominio de alteración sericita gris verde con intensidades moderada a fuerte que se extiende hasta 425 m, y ocurre en halos de vetillas tipo C y penetrativa en matriz de cuerpos de brechas de biotita. En la roca de caja intrusiva que presenta un fondo de alteración selectiva biotita - clorita, la intensidad de la alteración es moderada a débil, dada principalmente en los halos de vetillas, destruyendo  $<25\%$  la textura de la roca. En profundidad, a partir de los 1006 m, la alteración es principalmente sericita gris, desarrollada en discretos halos en vetillas de sulfuros, destruyendo  $<5\%$  la textura de la roca. A lo largo de todo el sondaje, es posible definir eventos de alteración hidrotermal tardía, caracterizada por Cuarzo – sericita + arcillas, asociadas a vetillas tipo E, subparalelas al eje del sondaje. (Figura 4.5b)

**Mineralización:** La zona mineral  $Cpy > Bo$ , se extiende hasta los 470 m, principalmente asociada a la zona de cuerpos de brechas, con un volumen total de sulfuros que alcanzan hasta el 3%, ocurre principalmente en vetillas tipo C y cúmulos de bornita en matriz de brechas. En profundidad la mineralización es  $Cpy > Py$ , escenario que se extiende hasta los 1013 m, la cual ocurre principalmente en vetillas y diseminada en halos de vetillas de sulfuros. La parte final del sondaje, su mineralización se restringe a un dominio de  $Py > Cpy$ , con bajo volumen de sulfuros que no superan concentraciones mayores a 2%. Los tramos con alteración cuarzo – sericita, presenta una asociación de  $Cpy - Py + (SSCu + Bo)$  hasta los 300 m, siendo en profundidad  $Cpy - Py + SSCu$ , asociada a vetillas tardías tipo E. (Figura 4.5c)

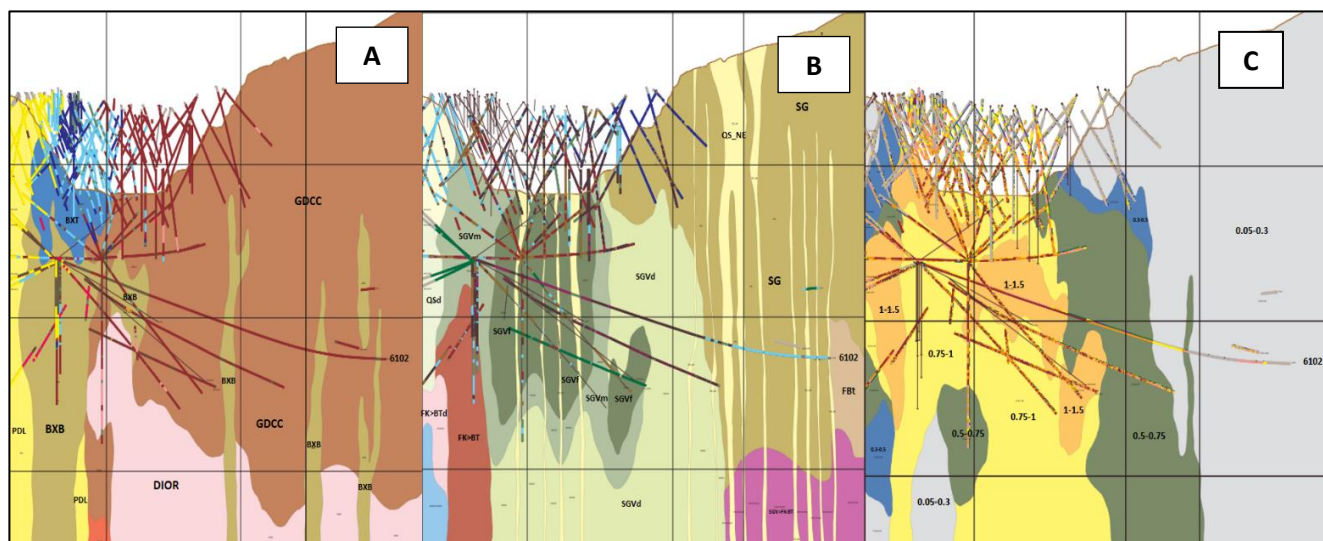
Los tramos mineralizados significativos son:

**Tabla 10:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6102.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6102	16	104	1.3	982	BXB
6102	220	528	1.45	619	GDRB
6102	528	820	0.5	264	GDCC

**Tabla 11:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico, distribuido principalmente en la parte alta del sondaje 6102.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6102	248	267	1.9	490	298
6102	292	354	1.5	750	282
6102	988	998	0.95	230	319
6102	1330	1332	3	125	1395



**Figura 4.5:** Secciones realizadas por la traza del sondaje 6102, azimut  $62.5^\circ$  e inclinación  $-17^\circ$ , alcanzando un largo de 1380.35 m perforados entre las cotas 3200 a 2800 m s n m. (a) Sección Litológica, en la parte izquierda se aprecia el Complejo de brechas Río Blanco, definida bajo la cota 3200 m s n m por brechas de biotita – polvo de roca. Hacia el este un dominio de la unidad intrusiva Granodiorita Cascada, cortada por digitaciones de cuerpos de BXB. (b) Se presenta un dominio de alteración de sericita gris verde con intensidades de moderada a fuerte y en profundidad la alteración es principalmente sericita gris. A lo largo de todo el sondaje se definen eventos de alteración hidrotermal tardía. (c) Distribución de envolventes de mineralización, definiendo una mineralización relevante en la roca de caja intrusiva (1.0 a 1.5% CuT), sobre la cota 3200 m s n m.



intensidades moderada a débil, desarrollando hacia el fondo del pozo <5% de destrucción de textura de la roca de caja. (Figura 4.7b)

**Mineralización:** La mineralización hasta los 788 m presenta una zona mineral compuesta por Cpy – Bo, distribuida en las litologías Pórfido Don Luis y brechas hidrotermales, alcanzando sus mayores concentraciones en esta última unidad. Su ocurrencia es vetillas y cúmulos con volumen de sulfuros hasta 3%. En profundidad en la roca de caja intrusiva la zona mineral es Cpy>>Py, desarrollada en vetillas, halos y diseminada en tramos con fuerte destrucción de textura de la roca por sericita gris verde. Sobre los 1000 m, la zona mineral es Cpy > Py, presente en vetillas tipo C y diseminada en sus halos, escenario que se observa hasta fin de pozo, con significativo descenso en el volumen de sulfuros <2%. A lo largo de todo el sondaje se interceptan tramos con contenidos relevantes de cobre + SSCu, asociados a eventos tardíos de alteración tipo cuarzo – sericita y vetillas tipo E, subparalelas al eje del sondaje. (Tabla 13 y Figura 4.7c)

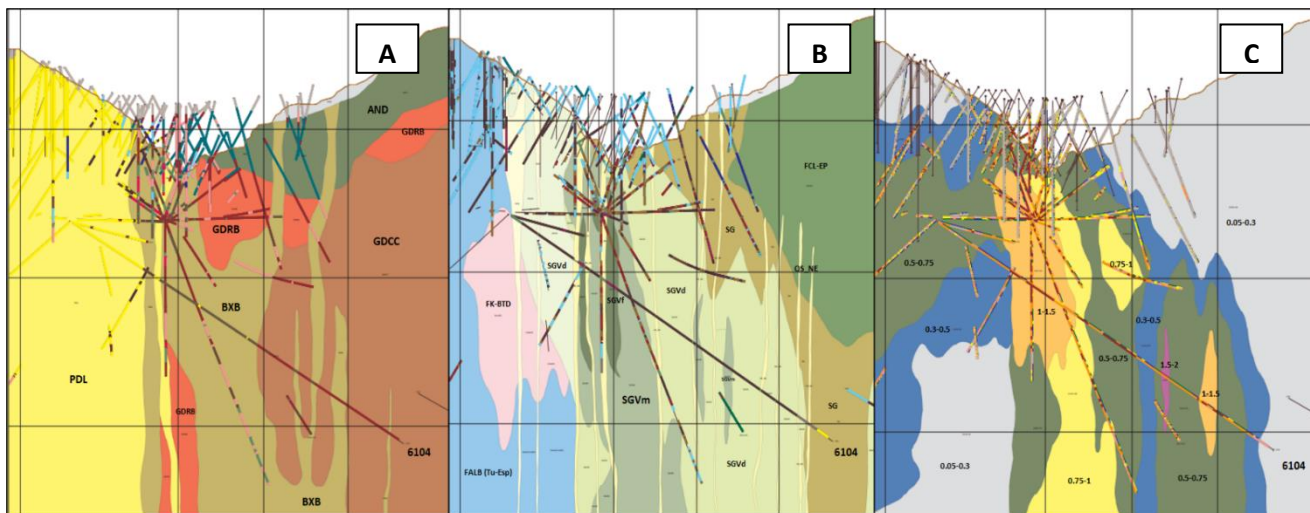
Los interceptos más significativos son:

**Tabla 12:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6104.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6104	16	316	0.45	150	PDL
6104	368	484	1.15	259	BXB
6104	522	566	1.15	259	BXB
6104	924	960	2.3	291	BXB-GDCC
6104	1102	1124	1.21	411	GDCC

**Tabla 13:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en el sondaje 6104.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6104	584	552	1.75	693	764
6104	798	818	1.97	585	1660
6104	1084	1090	4.65	1425	489



**Figura 4.7:** Sección diseñada por la traza del sondaje 6104, entre las cotas 3200 a 2500 m s n m. (a) Sección Litológica donde se muestra la extensión del Complejo de Brechas Río Blanco, adosada inmediatamente al cuerpo subvolcánico Pórfido Don Luis. En profundidad digitaciones de brechas de biotita cortando la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada. (b) La alteración sericita gris verde es la alteración con mayor distribución a lo largo del sondaje y va disminuyendo en profundidad. (c) Envoltentes de Mineralización, se presenta una mineralización de cobre en la unidad de pórfido con valores 0.5 a 0.75% CuT, y 1.0 a 1.5% CuT en el cuerpo de brechas. En profundidad se desarrolla una mineralización relevante de cobre entorno a las digitaciones de brechas de biotita, con valores entre 1.0 a 1.5% CuT.



**Figura 4.8:** Fotografía. Brecha Hidrotermal de Biotita (BXB) a 944 m, matriz soportante de biotita y material polvo de roca, fragmentos de roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada. Mineralización de cobre definida por calcopirita > bornita, ocurre en vetillas, cúmulo y diseminada en matriz de brecha, alcanza valores hasta 8.23% CuT.

**Sondaje 6105:** Sondaje llevado a cabo desde el Túnel Sur – Sur, con azimut 70°, inclinación - 25° alcanzando un largo de 1410.30 m perforados.

**Litología:** Se define desde su inicio hasta los 16 m la unidad subvolcánica de composición dacítica denominada Pórfido Don Luis. Continúa en profundidad el cuerpo de brechas hidrotermales de matriz de biotita con digitaciones puntuales de pórfidos tipo Don Luis y bloques de la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada, escenario que se extiende hasta los 263 m. Entre los 263 y 676 m la unidad intrusiva Granodiorita Cascada es cortada por una serie de brechas de biotita que alcanzan interceptos de hasta 87 m por la traza del sondaje. El tramo final del sondaje es una litología homogénea definida por el cuerpo intrusivo Granodiorita Cascada cortada por eventuales digitaciones de brechas de biotita que no superan los 5 m de largo. (figura 4.9a)

**Alteración:** El tipo de alteración hidrotermal de mayor distribución en el sondaje es sericita gris verde, con intensidades débil a fuerte observada en los diferentes tipos litológicos. En la parte alta del sondaje, hasta los 512 m, su intensidad es moderada a fuerte, la cual ocurre en halos de vetillas tipo C, penetrativa en cuerpos de brechas hidrotermales de biotita. En la roca de caja intrusiva su intensidad es moderada a débil controlada principalmente por la intensidad de ocurrencia de vetillas tipo C, sobre un fondo de alteración Biotita -Clorita, situación que se extiende hasta los 1162 m. En profundidad este tipo de alteración disminuye considerablemente con un dominio débil a moderado. Desde su inicio y lo largo de todo el sondaje se presentan tramos discretos <15m con alteración sericítico – argílico (QS), caracterizado por vetillas tardías tipo E y sulfuros Cpy – Py + SSCu, subparalelas al eje del sondaje. (Figura 4.9b)

**Mineralización:** Desde su inicio hasta los 1126 m las zonas de mineralización presentes en el sondaje son Cpy > Bo y Cpy>>Py. La mineralización ocurre principalmente en vetillas tipo C, diseminada en su halos y cúmulos en los cuerpos de brechas hidrotermales, rellenando espacios. En profundidad y hasta fin pozo el dominio mineralógico es Cpy > Py, principalmente en vetillas. El volumen de sulfuros varía entre 1 a 3%, con tramos de mineralización de cobre relevantes >1% CuT. (Figura 4.10c)

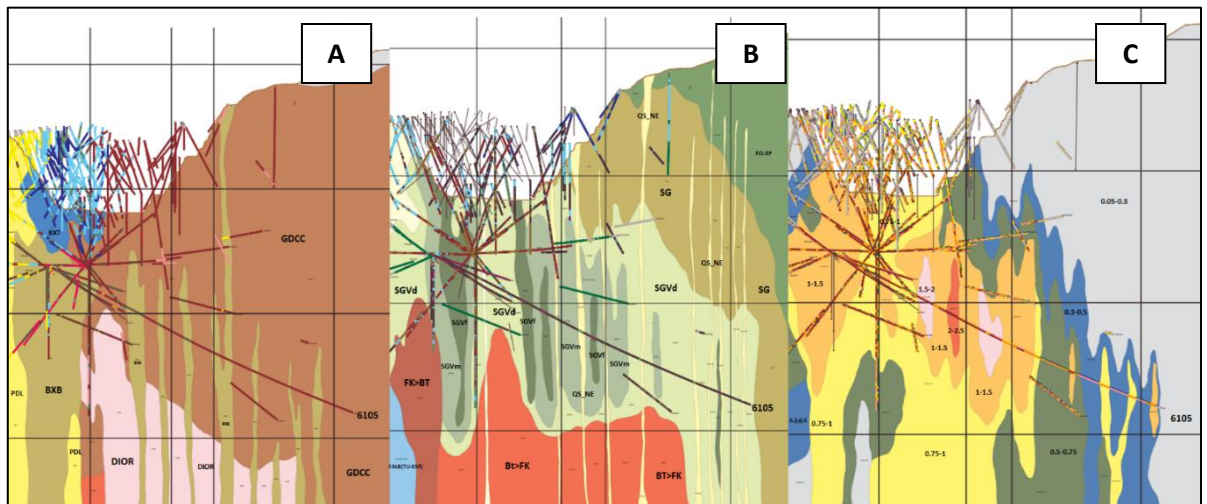
Los interceptos más destacados son:

**Tabla 14:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6105.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6105	364	512	1.13	548	BXB
6105	786	882	1.49	295	GDCC
6105	1274	1304	0.75	193	GDCC
6105	1374	1392	1.11	324	GDCC

**Tabla 15:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en profundidad del sondaje 6105.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6105	1022	1044	1.07	425	121



**Figura 4.9:** Sección diseñada por la traza del sondaje 6105, recorriendo entre las cotas 3200 a 2600 m s n m. (a) Sección Litológica costado izquierdo Complejo de Brechas Río Blanco, adosada al Pórfido Don Luis. La unidad de mayor distribución es Granodiorita Cascada, cortada por una serie de cuerpos de Brechas de Biotita a lo largo del sondaje. (b) En la parte alta del sondaje representa la alteración sericitica gris verde con intensidad moderada a fuerte penetrativa en cuerpos de brechas hidrotermales de biotita. En la roca de caja intrusiva su intensidad es moderada a débil. (c) Envoltentes de mineralización, concentrando los mayores valores entorno a los cuerpos de brechas hidrotermales de biotita, escenario que se observa hasta fondo de



**Figura 4.10:** Fotografía. Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada con fuerte agrietamiento y cortada por vetillas tipo C, además vetillas tardías y tipo B, subparalelas al eje del sondaje.

**Sondaje 6106:** Ubicado en la parte norte del proyecto, se realiza desde el sector CAL Piso con un azimut de  $62.5^\circ$ , inclinación  $-30^\circ$ , largo alcanzado 1505.80 m, entre las cotas 3200 a 2500 m s n m.

**Litología:** El inicio del sondaje intercepta el complejo de brechas de Río Blanco, reconociendo una brecha de biotita que se extiende hasta 46 m. Continúa hasta 228 m la roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada cortada por una serie de cuerpos de brechas hidrotermales de biotita y digitaciones de pórfidos tipo Don Luis, con discreta ocurrencia y potencia. A partir de los 228 m, la unidad litológica de mayor distribución hasta el fondo de pozo es Granodiorita Cascada con puntuales digitaciones de brechas hidrotermales que no superan los 30 m a lo largo de la traza del sondaje.

**Alteración:** El evento de alteración hidrotermal de mayor distribución en el sondaje es sericita gris verde, presente en halos de vetillas C, penetrativa en zonas de brechas de biotita y roca intrusiva con fuerte agrietamiento, con intensidades moderada a débil en la parte alta del sondaje y ocurrencia puntual de intensidad fuerte. Entre 560 a 960 m su intensidad es débil a moderada destruyendo  $<25\%$  la textura de la roca, observada principalmente en halos de vetillas tipo C. En profundidad y hasta fin de pozo, la roca de caja con un fondo de alteración Biotita – Clorita,

presenta una débil alteración definida por sericita gris, desarrollada en halos de vetillas de sulfuros, destruyendo <5% la textura de la roca.

**Mineralización:** La distribución de la mineralización desde su inicio hasta los 290 m consiste en el desarrollo de una zona de dominio Cpy > Bo, con puntuales ocurrencias de Cpy>>Py. El dominio principal se presenta asociado a la ocurrencia de vetillas tipo C, donde la Cpy se encuentra diseminada y cúmulos en la matriz de brechas de biotita. En la roca de caja intrusiva la mineralización se caracteriza por un dominio de Cpy>Py, con eventuales tramos de Cpy>>Py, en directa relación con la intensidad de la alteración sericita gris verde, escenario que se extiende hasta 970 m. En profundidad y hasta fondo de pozo, existe un dominio de mineralización Py > Cpy, asociada a la alteración sericita gris, cuya mineralización ocurre en vetillas con volumen de sulfuros <2%.

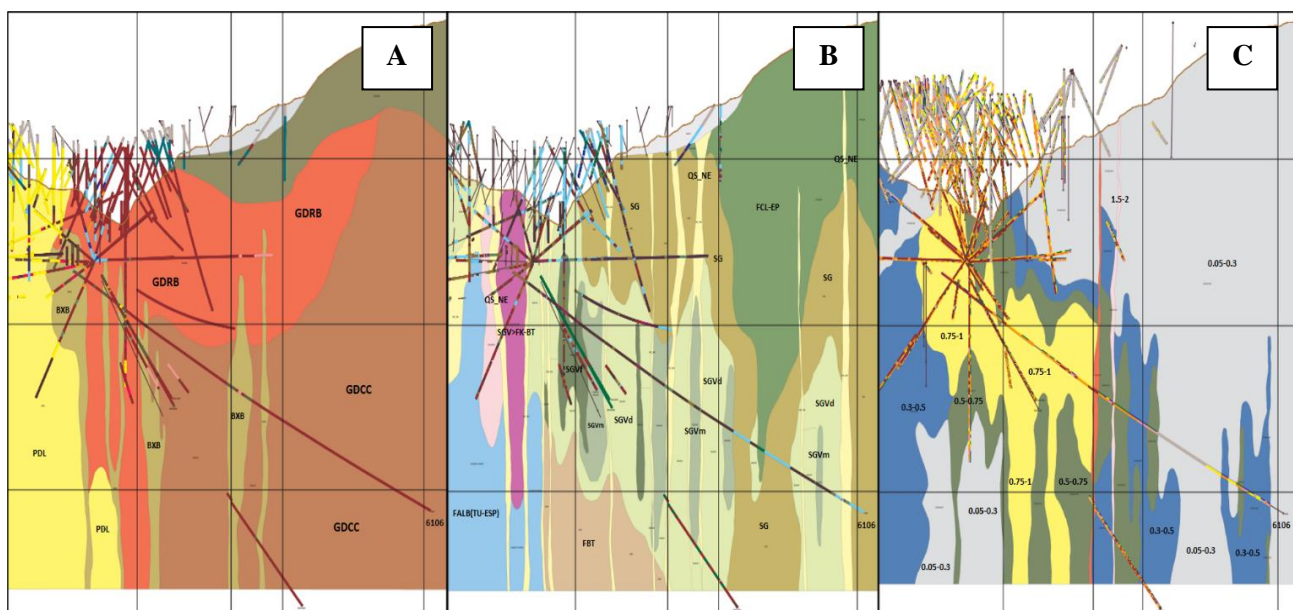
Los interceptos más relevantes del sondaje son:

**Tabla 16:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6106.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6106	600	640	1.2	500	GDCC
6106	682	738	1.1	892	BXPR

**Tabla 17:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico que superan los 1000 ppm en el sondaje 6106.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6106	682	704	2.39	1495	1106
6106	766	764	2.19	740	1434



**Figura 4.11:** Secciones realizadas por la traza del sondaje 6106. (a) Litología ubicado en la parte norte del proyecto, a la izquierda, Complejo de Brechas Río Blanco, adosado al cuerpo del Pórfido Don Luis. Roca de caja intrusiva Granodiorita Cascada cortada por cuerpos de brechas de biotita, en la parte central del sondaje. (b) La mayor distribución en el sondaje es sericita gris verde penetrativa en zonas de brechas de biotita y roca intrusiva con fuerte agrietamiento, con intensidades moderada a débil en la parte alta del sondaje y en profundidad y hasta fin de pozo, la roca de caja con un fondo de alteración Biotita – Clorita, presenta una débil alteración definida por sericita gris. (c) Envoltorios de Mineralización, desarrollo de mineralización de cobre 0.75 a 1.0% CuT, en la parte central de la sección, controlada al este por estructuras de orientación ENE. Al costado derecho, desarrollo de mineralización de cobre con valores hasta 0.75% CuT.



**Figura 4.12:** Roca de caja granodiorita Cascada con fuerte agrietamiento, cortada por vetillas de sulfuros sub-paralelas al sondaje entre 30 a 60°, obedeciendo a los principales sistemas estructurales del yacimiento.

**Sondaje 6107:** Se ubica en el extremo sur del proyecto, realizado desde el Túnel Sur – Sur con un azimut 62.5° e inclinación -30°, alcanzando un largo de 1416.95 m, recorriendo entre las cotas 3200 a 2500 m s n m.

**Litología:** Desde su inicio a fin de pozo 1416.95 m, la unidad litológica que se intercepta es la roca de caja intrusiva denominada Granodiorita Cascada, agrietada y cortada por discretas y escasas digitaciones de brechas de biotita, que en su mayoría no superan los 3 m por la traza del sondaje. (Figura 13a)

**Alteración:** La unidad intrusiva presenta desde el inicio del sondaje una alteración de fondo potásica caracterizada por biotita clorita selectiva, su textura es obliterada por la ocurrencia de sericita gris verde desarrollada en halos de vetillas tipo C. Su intensidad disminuye en profundidad siendo hasta los 87 m moderada a fuerte, destruyendo hasta el 40% la textura de la roca. En gran parte del sondaje la intensidad de esta alteración hidrotermal es débil con puntuales a moderados desarrollos, destruyendo <15% la textura de la roca, escenario que se observa hasta los 1361 m. En profundidad y hasta fondo de pozo la alteración hidrotermal es sericita gris, desarrollada en halos de vetillas de sulfuros destruyendo <10 la textura de la roca. (Figura 13b)

**Mineralización:** La mineralización a través del sondaje es caracterizada por un dominio de calcopirita sobre pirita, definiendo en la parte alta del pozo la zona de Cpy >> Py, que se extiende hasta 606 m, ocurre principalmente en vetillas tipo C y diseminada en sus halos. En profundidad y hasta el fin de pozo se establece una zona de Cpy > Py, con características de ocurrencia similares a la zona anterior, pero con un menor volumen total de sulfuros que no superan el 2% (Figura 4.13c). En general la concentración de sulfuros definida en el sondaje es baja, registrando en la parte alta los valores más relevantes de mineralización definiendo una mineralización continua 0/250 m @ 0.68% CuT + 321 ppm Mo (Tabla 17).

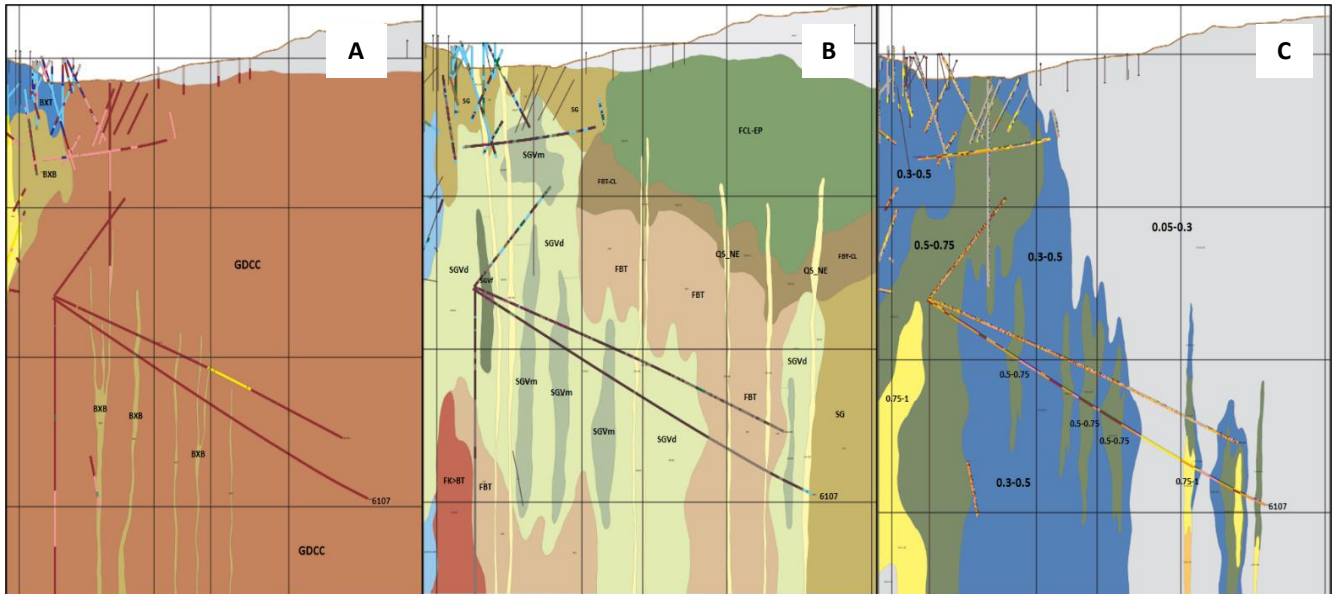
Los interceptos más relevantes son:

**Tabla 18:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo con respecto a la unidad geológica del sondaje 6107.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	Unidad
6107	0	122	0.8	231	GDCC
6107	220	240	0.85	866	GDCC
6107	490	502	1.31	321	GDCC
6107	1216	1280	0.71	300	GDCC

**Tabla 19:** Cuadro resumen de los interceptos más relevantes con contenidos de Cu-Mo-As, en donde se destaca un alto contenido de arsénico en profundidad en el sondaje 6107.

Sondaje	Desde	Hasta	CuT (%)	Mo (ppm)	As (ppm)
6107	234	238	0.8	1648	601
6107	804	812	2.36	2116	17
6107	1078	1084	0.995	167	313
6107	1382	1398	0.66	191	547



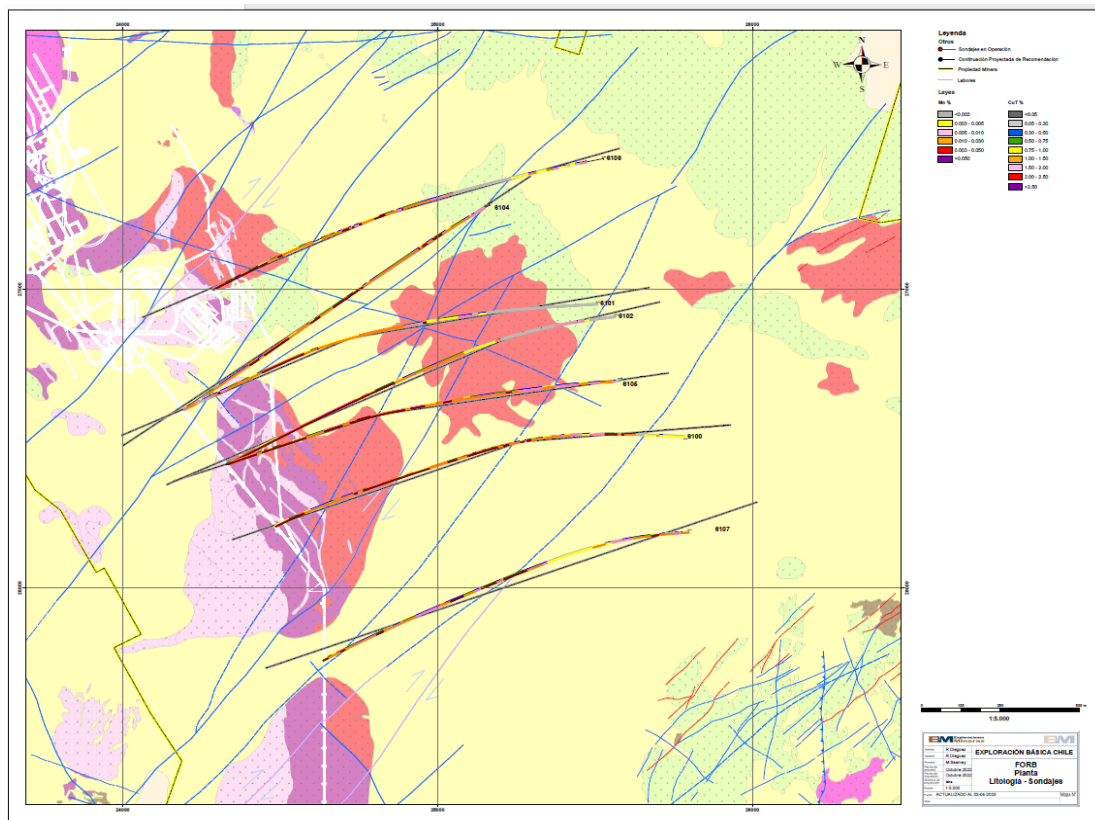
**Figura 4.13.:** Secciones realizadas por la traza de sondaje 6107, ubicado al este del Complejo de Brechas Río Blanco, entre las cotas 3200 a 2500 m s n m. (a) La unidad litológica de mayor distribución es GDCC cortada por digitaciones discretas de brechas de biotita. (b) Desde el inicio del sondaje presenta una alteración de fondo potásica caracterizada por biotita clorita selectiva y en gran parte del sondaje la intensidad de esta alteración hidrotermal es débil con puntuales a moderados y en profundidad y hasta fondo de pozo la alteración hidrotermal es sericitica gris. (c) Distribución de las envolventes de mineralización, con claro desarrollo de una mineralización débil 0.3 a 0.5% CuT. Valores >0.5% CuT se presentan en discretos cuerpos asociados a las brechas de biotita, que continúan hasta la cota 2500 m s n m.

## 4.2. MODELAMIENTO GEOLOGICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS

La etapa de modelamiento se dividió en 3 sub-etapas: estudio exploratorio de datos, modelamiento 2D en secciones de control por los sondajes y modelamiento 3D de litología e isopletes de Cu.

### 4.2.1. ESTUDIO EXPLORATORIO DE DATOS

Se realizó un análisis exploratorio de datos a partir del mapeo geológico y los análisis ICP-AES de la campaña con el objetivo de realizar el análisis cruzado. Se composó cada dos metros los campos de litología, alteración y mineralización; construyendo una base de datos mediante Leapfrog. A continuación, se resume la información obtenida y las posibles relaciones que existen entre los datos geológicos y las leyes entregadas por el laboratorio, generando categorías que contienen mayor detalle contra los resultados por cada sondaje y unidad geológica (Figura 4.14).

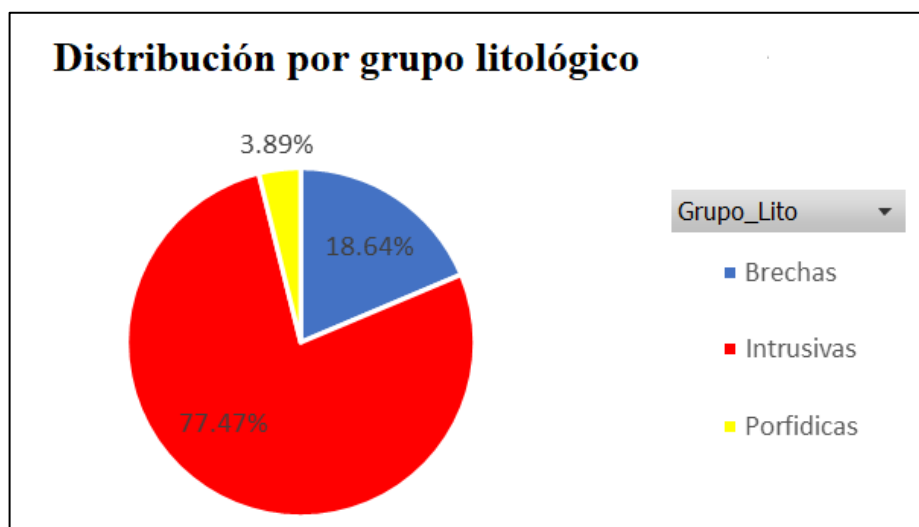


**Figura 4.14:** Planta del Proyecto Franja Oriental Río Blanco. La simbología muestra la infraestructura de túneles, los sondajes de la campaña y la envolvente de mineralización de interés del Proyecto Don Luis Subterráneo de la División Andina.

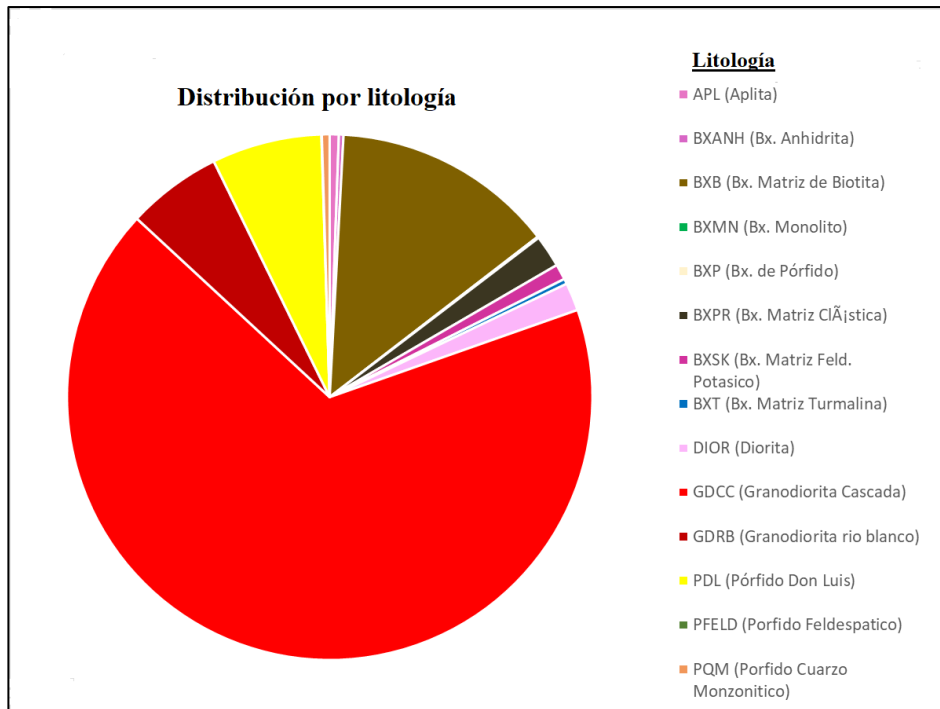
#### 4.2.2 ANÁLISIS DE LA LITOLOGÍA

Durante la campaña, se perforaron 9997.55 m en total, con una extensión promedio de 1428 m. Los grupos litológicos identificados corresponden a unidades intrusivas con 7542.72 m que equivalen al 77.47% del total de metros de los sondajes, unidades de brechas con 1727.77 m que corresponden a un 18.64% y por último la unidad de pórfidos con 727.06 m que equivalen a un 3.89% del total (gráfico 1).

Luego, se integraron los datos de las unidades litológicas en detalle del total de los sondajes, lo que correspondería a un conjunto de rocas intrusivas Granodiorita Cascada (GDCC), Granodiorita Rio Blanco (GDRB), dioritas y diques aplíticos, los cuales presentan brechizaciones puntuales de biotita, siendo estas cortadas por eventos de pulsos porfídicos y unidades de brechas en similitud proporción porcentual (gráfico 2).



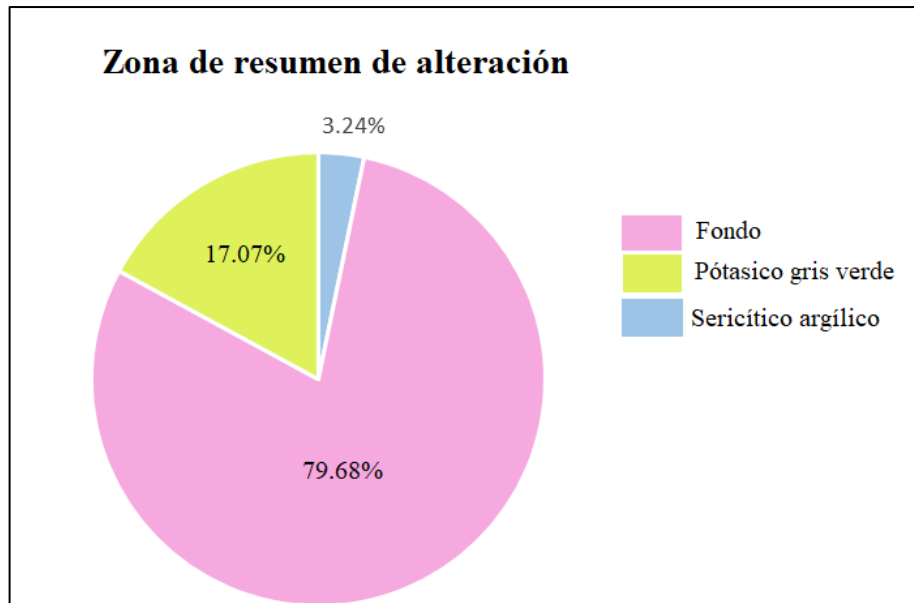
**Gráfico 1:** Distribución de grupos litológicos del proyecto Franja Oriental Río Blanco.



**Gráfico 2:** Distribución de las unidades litológicas del Proyecto FORB. La unidad predominante es GDCC, con un 67,26% del total de metros perforados.

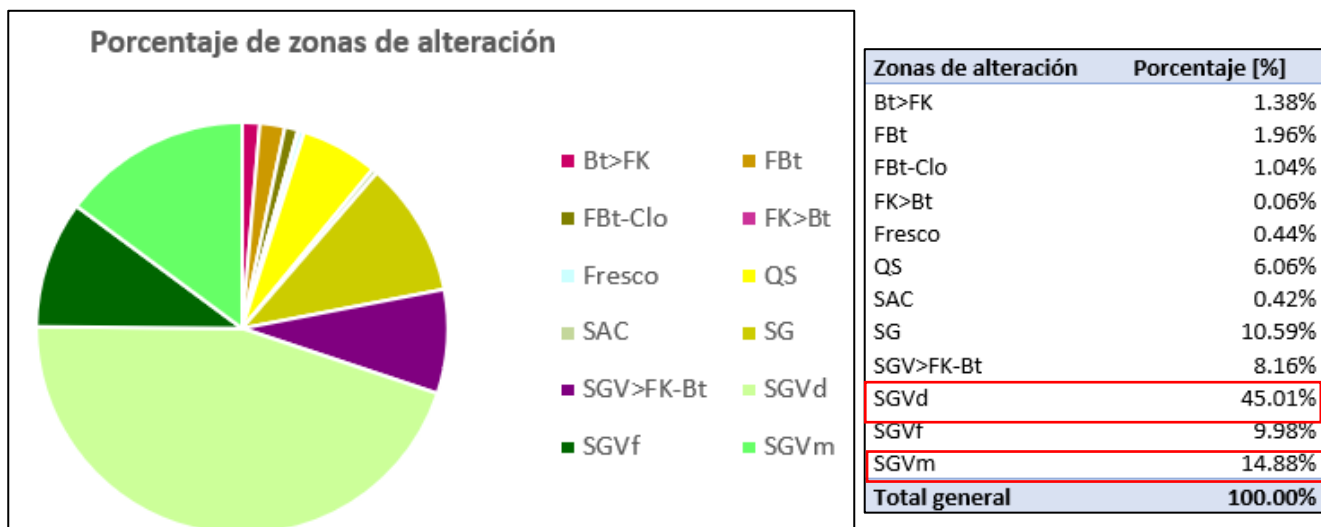
### 4.2.3. ANÁLISIS DE ALTERACIÓN

Al revisar la distribución de las zonas de resumen de alteración en el total de metros perforados, predomina la alteración potásica gris verde (SGV), que corresponde al 79,68%, siguiendo una alteración serícita-argílica (SArg) con un 17.07%, mientras que solo un 3.24% de la roca se encuentra con alteración de fondo, lo que se presenta en el Gráfico 3.



**Gráfico 3:** Distribución general de las zonas de resumen de alteración.

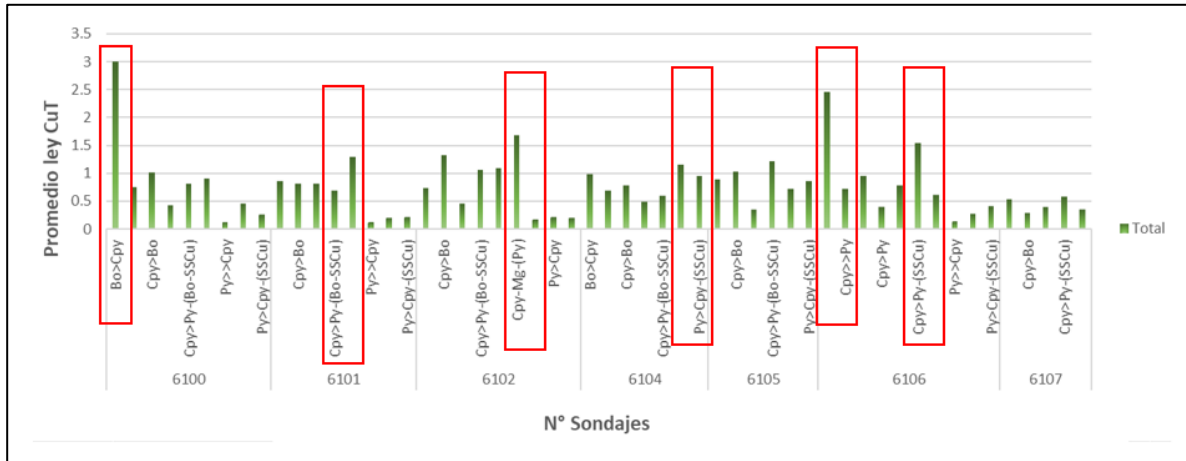
La alteración preponderante en el total de metros de la campaña es la alteración sericítica gris verde débil (SGVd), conformando un 45.01% del total, seguida de la alteración sericita gris verde moderada (SGVm) con un 14.88% asociadas a la roca de caja intrusivas. La alteración tipo SGVf indica pulsos con una ley promedio mayor de CuT% y corresponde casi al 9,98% de los metros mapeados. Esto se asocia a eventos de brechización con matriz de Bt (BxB); brechas clásticas con matriz polvo de roca (BXP) y vetas-vetillas que se encuentran en las unidades intrusivas. Eventos tardíos de menor temperatura y pH más ácidos generan eventos de alteración de sericita gris (SG), acompañadas por eventos más tardíos (vetas-fallas) de cuarzo-sericítica (QS) en un ambiente (SArg). El detalle se puede ver en el Gráfico 4.



**Gráfico 4:** Distribución general de las zonas de alteración de los sondajes del proyecto FORB 2022.

#### 4.2.4. ANÁLISIS DE LA MINERALIZACIÓN

La zona de mineralización refleja los quiebres naturales por dominio de mena presente en la alteración; teniéndose un dominio de Cpy>Py (Bn) presente en los eventos temprano de SGV, gradando transicionalmente a una mena Py>Cpy del evento SG con eventos QS locales asociados a la presencia de SSCu (gráfico 5). Al observar el total de metros mapeados, el dominio predominante de mineralización es Cpy>>Py, seguido de Cpy>Bo que presenta valores de CuT de 0.98%, y 448 ppm de Mo. La presencia de SSCu dispara las concentraciones de As y Sb multiplicándolas entre 4 a 10 veces por sobre su concentración media en los sondajes estudiados, a su vez se triplica la concentración de Ag y aumenta considerablemente la ley de Mo en esos mismos tramos. Los valores medios de CuT más altos se encuentran al presentarse la configuración Cpy-Mg-(Py) con una ley media de 1,38%, pero este dominio no tiene una extensión significativa ya que la extensión es solo de 40 m.



**Gráfico 5:** Zonas de mineralización vs ley promedio de CuT para cada sondaje del proyecto FORB.

#### 4.2.5. ANÁLISIS DE DISTRIBUCIÓN GEOQUÍMICA V/S LITOLOGÍA

Se contrastaron los promedios de las leyes obtenidas en el laboratorio vs las litologías presentes en los sondajes. Para este primer análisis se consideraron CuT, Mo y Ag como elementos de interés económico; As-Sb como elementos característicos de un evento tardío de mineralización y como contaminantes asociados a sulfosales de Cu. Pb-Zn-Sn-W-Co-Ni-Mn-Bi-Ca y Na se seleccionaron como elementos trazadores de la alteración hidrotermal en pórfido cupríferos (Halley et al., 2015, Halley et al., 2016).

A partir del análisis de los resultados, se observa una distribución anómalamente alta en CuT [%] para los cuerpos de brecha, en particular para las brechas de anhidrita (BXANH) y las brechas de matriz feldespato potásico (BXSK), sin embargo, en términos cuantitativos, la unidad que representa el blanco exploratorio con mayor volumen y extensión en los sondajes corresponde a la brecha de matriz de biotita (BxB) con 1368 m mapeados y una ley promedio de 1,06 % CuT, 389.13 ppm de Mo y 2,24 ppm de Ag (ver Tabla 19).

Litologías	Extensión [m]	CuT [%]	Mo [ppm]	Ag [ppm]	As [ppm]	Sb [ppm]	Pb [ppm]	Zn [ppm]	Sn [ppm]	Co [ppm]	Ni [ppm]	Mn [ppm]	Bi [ppm]	Ca [%]	Na [%]	W [ppm]
APL (Aplita)	56	0.75	264.14	1.91	45.75	13.34	19.43	43.30	3.11	6.41	36.93	148.64	3.36	0.90	1.80	4.17
BXANH (Bx. Anhidrita)	28	1.52	465.79	3.71	69.71	16.32	24.82	58.14	3.58	5.26	40.64	322.50	7.07	3.70	1.78	4.70
BXB (Bx. Matriz de Biotita)	1288	1.06	389.13	2.24	76.77	12.63	34.61	89.72	3.05	12.76	42.92	319.18	4.62	2.08	2.73	3.86
BXP (Bx. de Porfido)	6	0.55	517.33	1.50	66.00	2.50	6.50	86.67	4.33	1.42	31.33	249.33	5.33	1.20	3.47	11.33
BXPR (Bx. Matriz Clástica)	198	1.25	610.29	3.28	160.14	19.13	43.08	135.59	2.97	7.63	37.68	407.73	5.17	1.47	2.58	3.98
BXSK (Bx. Matriz Feld. Potasico)	96	1.41	807.83	2.90	55.60	13.81	86.04	67.60	2.79	4.22	47.13	164.44	3.08	1.77	2.57	1.66
BXT (Bx. Matriz Turmalina)	32	0.88	478.75	1.69	22.75	3.50	7.97	34.75	3.67	3.73	52.19	338.81	15.63	2.20	2.43	3.38
DIOR (Diorita)	238	0.72	222.18	1.61	57.01	7.63	20.92	90.02	2.99	17.72	44.98	430.16	2.50	2.04	3.19	3.67
GDCC (Granodiorita Cascada)	6743.55	0.61	221.48	1.18	32.28	7.90	19.21	53.51	2.87	12.95	40.03	230.93	3.11	2.05	3.17	4.25
GDRB (Granodiorita Rio-Blanco)	584	0.95	339.61	1.75	48.21	8.01	14.95	64.80	3.35	8.36	38.35	226.24	4.46	1.68	2.80	5.18
PDL (Porfido Don Luis)	678	0.54	150.18	1.75	67.28	6.56	25.65	122.16	3.47	1.77	36.19	180.53	4.44	1.06	3.49	4.23
PFELD (Porfido feldespatico)	2	1.23	69.00	2.00	7.00	11.00	12.00	55.00	6.50	12.90	31.00	101.00	1.00	1.00	1.92	6.73
PQM (Porfido Cuarzo Monzonitico)	48	0.92	289.13	1.48	103.67	15.52	23.96	98.63	3.73	3.95	24.17	176.42	1.29	1.16	3.30	9.49
<b>Total general</b>	<b>9997.55</b>	<b>0.71</b>	<b>260.69</b>	<b>1.47</b>	<b>45.16</b>	<b>8.77</b>	<b>22.54</b>	<b>66.24</b>	<b>2.97</b>	<b>11.69</b>	<b>40.12</b>	<b>246.07</b>	<b>3.55</b>	<b>1.95</b>	<b>3.08</b>	<b>4.24</b>

**Tabla 20:** Litología, con su extensión en metros y leyes promedio de elementos relevantes.

Al analizar las litologías con su alteración característica, se observa que dentro de las unidades litológicas: APL, BXANH, BXB, GDCC, y PDL las leyes de CuT son mayores, comparativamente, cuando se ven afectadas por una alteración del tipo potásica gris verde vs cuando son afectadas por una alteración de tipo sericítico argílica. Sin embargo, contrario a lo esperado, se observa que en las unidades: BXPR, BXT, GDRB las leyes de CuT son más altas al verse afectadas por una asociación de alteración del tipo sericítico-argílica. Respecto a elementos contaminantes se observa que, a excepción de las aplitas, en todos los casos se presenta un aumento importante de As-Sb y de Pb-Zn al presentarse una alteración sericítico-argílica. (ver Tabla 20)

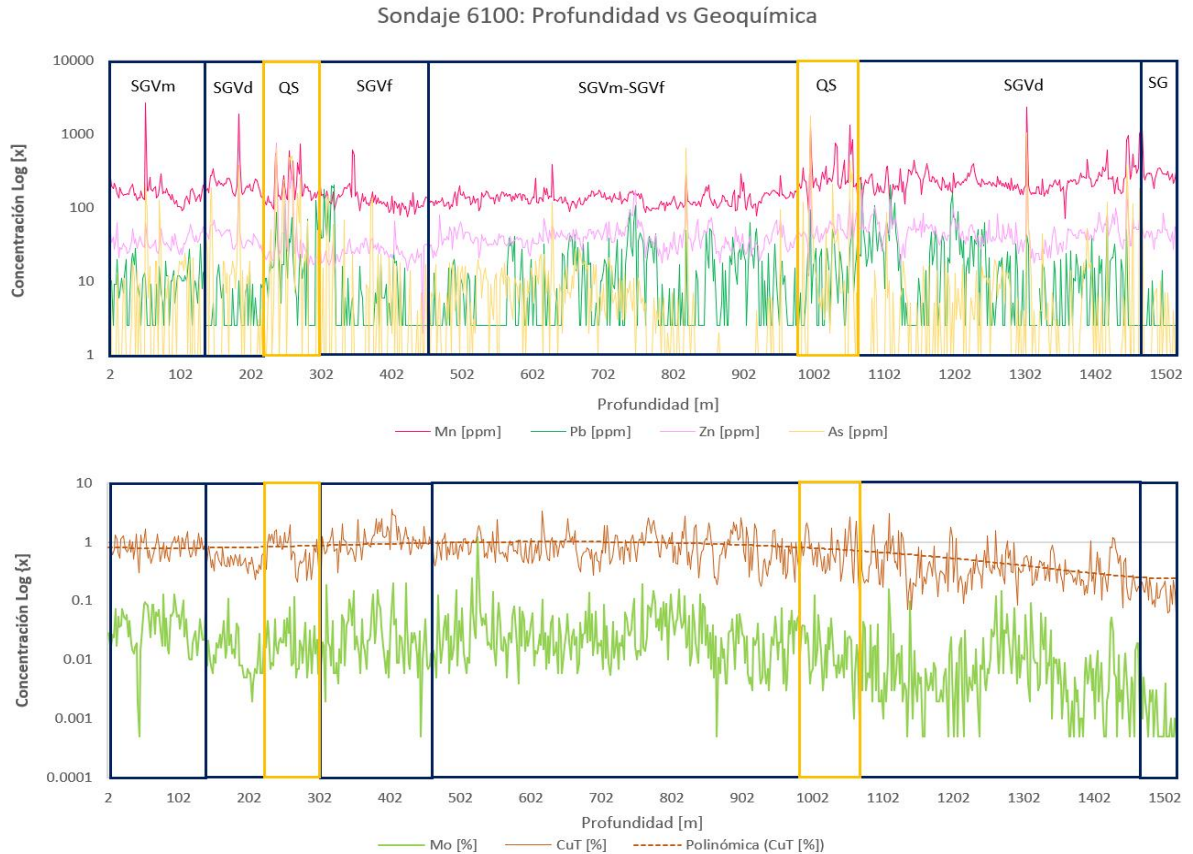
Según el análisis de la Tabla 8, se logra identificar que en el sondaje 6105 los mayores valores promedio por contenido metálico con ley aproximadamente de 1% CuT y 462.1 ppm de Mo, seguido por el sondaje 6106 con ley media de 0.83% CuT. El sondaje 6101 y 6102 son los que presentan las concentraciones medias más altas para As y Sb.

Litología y zona de alteración	Σ	Extensión (m)	CuT [%]	Mo (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Sn (ppm)	Co (ppm)	Ni (ppm)	Mn (ppm)	Bi (ppm)	Ca [%]	Na [%]	W (ppm)
<b>APL (Aplita)</b>		<b>56</b>	<b>0.75</b>	<b>264.14</b>	<b>1.91</b>	<b>45.75</b>	<b>13.34</b>	<b>19.43</b>	<b>43.30</b>	<b>3.11</b>	<b>6.41</b>	<b>36.93</b>	<b>148.64</b>	<b>3.36</b>	<b>0.90</b>	<b>1.80</b>	<b>4.17</b>
Potásico-GrisVerde		44	0.91	330.55	2.25	57.36	14.61	23.70	46.36	3.16	5.66	41.16	148.05	3.00	0.76	1.47	5.08
Sericítico-Angilico		12	0.17	20.67	0.67	3.17	8.67	3.75	29.80	2.92	9.18	21.42	150.83	4.67	1.41	3.02	0.82
<b>BXAH (Bx. Anhidrita)</b>		<b>28</b>	<b>1.52</b>	<b>465.79</b>	<b>3.71</b>	<b>69.71</b>	<b>16.32</b>	<b>24.82</b>	<b>58.14</b>	<b>3.58</b>	<b>5.26</b>	<b>40.64</b>	<b>322.50</b>	<b>7.07</b>	<b>3.70</b>	<b>1.78</b>	<b>4.70</b>
Potásico-GrisVerde		26	1.60	496.38	3.96	25.15	5.42	23.35	40.92	3.66	5.12	43.31	208.77	7.54	3.89	1.89	4.76
Sericítico-Angilico		2	0.45	68.00	0.50	649.00	158.00	44.00	282.00	2.50	7.20	6.00	1801.00	1.00	1.27	0.44	3.90
<b>BXB (Bx. Matriz de Biotita)</b>		<b>1288</b>	<b>1.06</b>	<b>389.13</b>	<b>2.24</b>	<b>76.77</b>	<b>12.63</b>	<b>34.61</b>	<b>89.72</b>	<b>3.05</b>	<b>12.76</b>	<b>42.92</b>	<b>319.18</b>	<b>4.62</b>	<b>2.08</b>	<b>2.73</b>	<b>3.86</b>
Fondo		4	0.20	90.00	0.50	1.00	7.25	10.00	42.00	2.50	19.40	24.00	214.50	1.00	3.78	3.19	1.25
Potásico-GrisVerde		1076	1.11	406.15	2.12	39.30	8.29	26.00	73.52	3.02	11.83	44.90	298.37	4.14	2.08	2.77	3.94
Sericítico-Angilico		208	0.85	306.83	2.88	272.09	36.16	79.62	174.28	3.18	17.46	33.04	739.27	7.17	2.07	2.51	6.59
<b>BXP (Bx. de Porfido)</b>		<b>6</b>	<b>0.55</b>	<b>517.33</b>	<b>1.50</b>	<b>66.00</b>	<b>2.50</b>	<b>6.50</b>	<b>86.67</b>	<b>4.33</b>	<b>1.42</b>	<b>31.33</b>	<b>249.33</b>	<b>5.33</b>	<b>1.20</b>	<b>3.47</b>	<b>11.33</b>
Potásico-GrisVerde		6	0.55	517.33	1.50	66.00	2.50	6.50	86.67	4.33	1.42	31.33	249.33	5.33	1.20	3.47	11.33
<b>BXPR (Bx. Matriz Clástica)</b>		<b>198</b>	<b>1.25</b>	<b>610.29</b>	<b>3.28</b>	<b>160.14</b>	<b>19.13</b>	<b>43.08</b>	<b>135.59</b>	<b>2.97</b>	<b>7.63</b>	<b>37.68</b>	<b>407.73</b>	<b>5.17</b>	<b>1.47</b>	<b>2.58</b>	<b>3.98</b>
Fondo		2	0.33	73.00	3.00	19.00	2.50	14.00	65.00	2.50	13.60	25.00	314.00	2.00	2.49	3.11	3.00
Potásico-GrisVerde		156	1.22	583.86	2.22	74.99	6.74	22.35	70.64	3.01	7.28	38.50	224.21	5.10	1.50	2.75	3.58
Sericítico-Angilico		40	1.43	740.25	7.43	499.30	68.30	125.40	392.40	2.83	8.73	35.13	1128.15	5.60	1.32	1.91	5.61
<b>BXSK (Bx. Matriz Feld. Potásico)</b>		<b>96</b>	<b>1.41</b>	<b>807.83</b>	<b>2.90</b>	<b>55.60</b>	<b>13.81</b>	<b>86.04</b>	<b>67.60</b>	<b>2.79</b>	<b>4.22</b>	<b>47.13</b>	<b>164.44</b>	<b>3.08</b>	<b>1.77</b>	<b>2.57</b>	<b>1.66</b>
Potásico-GrisVerde		96	1.41	807.83	2.90	55.60	13.81	86.04	67.60	2.79	4.22	47.13	164.44	3.08	1.77	2.57	1.66
<b>BXT (Bx. Matriz Turmalina)</b>		<b>32</b>	<b>0.88</b>	<b>478.75</b>	<b>1.69</b>	<b>22.75</b>	<b>3.50</b>	<b>7.97</b>	<b>34.75</b>	<b>3.67</b>	<b>3.73</b>	<b>52.19</b>	<b>338.81</b>	<b>15.63</b>	<b>2.20</b>	<b>2.43</b>	<b>3.38</b>
Potásico-GrisVerde		24	0.83	345.75	1.67	4.08	3.83	9.08	33.00	3.27	3.61	53.67	180.25	4.08	2.36	2.47	3.76
Sericítico-Angilico		8	1.01	877.75	1.75	78.75	2.50	4.63	40.00	4.88	4.08	47.75	814.50	50.25	1.73	2.32	2.25
<b>DIOR (Diorita)</b>		<b>238</b>	<b>0.72</b>	<b>222.18</b>	<b>1.61</b>	<b>57.01</b>	<b>7.63</b>	<b>20.92</b>	<b>90.02</b>	<b>2.99</b>	<b>17.72</b>	<b>44.98</b>	<b>430.16</b>	<b>2.50</b>	<b>2.04</b>	<b>3.19</b>	<b>3.67</b>
Potásico-GrisVerde		206	0.69	232.64	1.48	24.87	6.83	17.72	74.92	3.04	17.93	45.37	331.22	2.49	2.17	3.17	3.14
Sericítico-Angilico		32	0.94	154.88	2.47	263.88	12.75	41.56	187.19	2.66	16.38	42.44	1067.06	2.56	1.23	3.30	7.08
<b>GDCC (Granodiorita Casada)</b>		<b>6743.55</b>	<b>0.61</b>	<b>221.48</b>	<b>1.18</b>	<b>32.28</b>	<b>7.90</b>	<b>19.21</b>	<b>53.51</b>	<b>2.87</b>	<b>12.95</b>	<b>40.03</b>	<b>230.93</b>	<b>3.11</b>	<b>2.05</b>	<b>3.17</b>	<b>4.25</b>
Fondo		302.2	0.22	52.05	0.73	5.78	5.17	6.84	41.88	2.73	15.73	29.88	239.43	3.47	2.80	3.51	3.94
Potásico-GrisVerde		5158.3	0.70	255.84	1.19	20.28	7.14	20.25	50.18	2.91	11.25	41.82	201.76	3.22	1.93	3.17	3.72
Sericítico-Angilico		1283.05	0.35	123.68	1.24	86.69	11.61	17.91	69.61	2.71	19.11	35.24	345.96	2.60	2.36	3.08	6.44
<b>GORB (Granodiorita Rio-Blanco)</b>		<b>584</b>	<b>0.95</b>	<b>339.61</b>	<b>1.75</b>	<b>48.21</b>	<b>8.01</b>	<b>14.95</b>	<b>64.80</b>	<b>3.35</b>	<b>8.36</b>	<b>38.35</b>	<b>226.24</b>	<b>4.46</b>	<b>1.68</b>	<b>2.80</b>	<b>5.18</b>
Potásico-GrisVerde		550	0.94	335.68	1.48	21.24	5.41	13.78	57.34	3.39	8.28	38.19	185.03	4.16	1.70	2.84	5.02
Sericítico-Angilico		34	1.13	403.29	6.21	484.47	50.03	33.82	185.53	2.71	9.64	40.88	892.76	9.18	1.44	2.11	7.86
<b>PDL (Porfido Don Luis)</b>		<b>678</b>	<b>0.54</b>	<b>150.18</b>	<b>1.75</b>	<b>67.28</b>	<b>6.56</b>	<b>25.65</b>	<b>122.16</b>	<b>3.47</b>	<b>1.77</b>	<b>36.19</b>	<b>180.53</b>	<b>4.44</b>	<b>1.06</b>	<b>3.49</b>	<b>4.23</b>
Fondo		16	0.28	100.63	0.88	3.88	2.81	6.31	54.88	2.50	2.27	28.50	108.13	1.25	1.03	4.03	1.34
Potásico-GrisVerde		574	0.55	155.92	1.51	40.71	5.61	24.01	117.71	3.60	1.81	35.35	147.65	4.24	1.06	3.51	4.20
Sericítico-Angilico		88	0.52	121.77	3.45	252.07	13.44	39.88	163.39	2.78	1.43	43.06	408.14	6.36	1.04	3.24	4.98
<b>PFLD (Porfido feldespático)</b>		<b>2</b>	<b>1.23</b>	<b>69.00</b>	<b>2.00</b>	<b>7.00</b>	<b>11.00</b>	<b>12.00</b>	<b>55.00</b>	<b>6.50</b>	<b>12.90</b>	<b>31.00</b>	<b>101.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.92</b>	<b>6.73</b>
Potásico-GrisVerde		2	1.23	69.00	2.00	7.00	11.00	12.00	55.00	6.50	12.90	31.00	101.00	1.00	1.00	1.92	6.73
<b>PQAM (Porfido Cuarzo Monzonítico)</b>		<b>48</b>	<b>0.92</b>	<b>289.13</b>	<b>1.48</b>	<b>103.67</b>	<b>15.52</b>	<b>23.96</b>	<b>98.63</b>	<b>3.73</b>	<b>3.95</b>	<b>24.17</b>	<b>176.42</b>	<b>1.29</b>	<b>1.16</b>	<b>3.30</b>	<b>9.49</b>
Potásico-GrisVerde		48	0.92	289.13	1.48	103.67	15.52	23.96	98.63	3.73	3.95	24.17	176.42	1.29	1.16	3.30	9.49
<b>Total general</b>		<b>9997.55</b>	<b>0.71</b>	<b>260.69</b>	<b>1.47</b>	<b>45.16</b>	<b>8.77</b>	<b>22.54</b>	<b>66.24</b>	<b>2.97</b>	<b>11.69</b>	<b>40.12</b>	<b>246.07</b>	<b>3.55</b>	<b>1.95</b>	<b>3.08</b>	<b>4.24</b>

Tabla 21: Extensión y media de leyes de interés de cada sondaje.

Los aspectos geológicos más relevantes se presentan a continuación por sondaje (en anexos se encuentran los striplogs (Anexo D) y los gráficos de litología-alteración y mineralización). El sondaje 6100 abarca casi en su totalidad litologías intrusivas contando con GDCC 82,61(%), seguido por DIOR en un 7,99%, la alteración principal corresponde la zona de alteración potásico gris verde (88.93) que varía generalmente desde una zona SGVd (45,45%) hasta SGVm (17,26%) a SGVm (17,52%), con pequeñas intercalaciones de alteración potásica. Al revisar la geoquímica se observan valores bajos de Ag, Mn, Sb y Sn indicando un ambiente profundo y cercano al núcleo del sistema porfídico asociado a una alteración sericítica profunda o potásica. (ver gráfico 6)

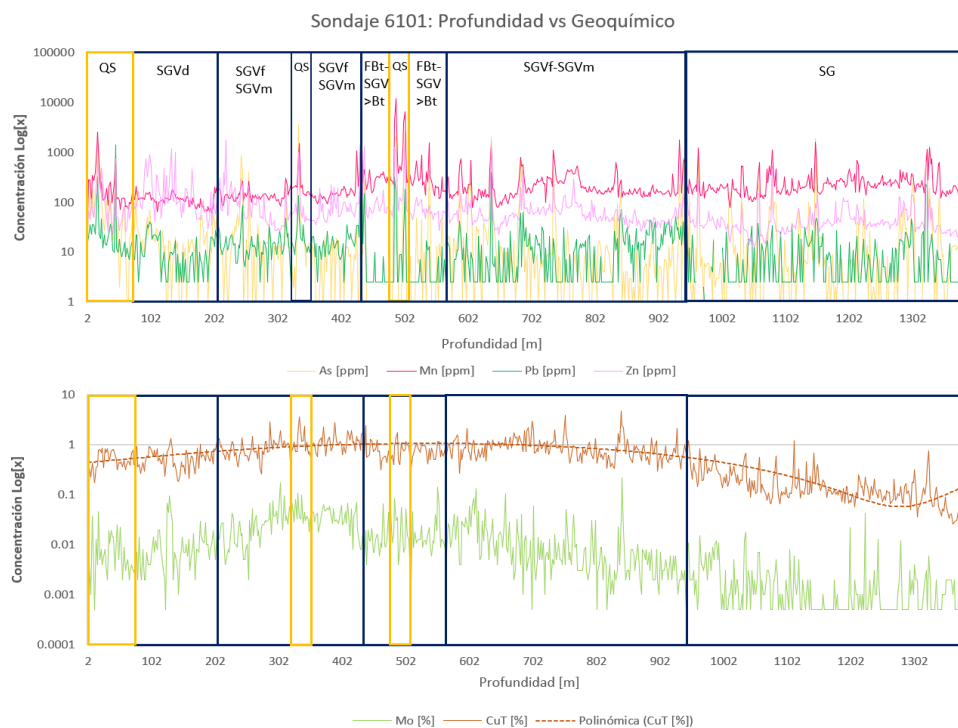
Los valores de CuT y Mo tienen un comportamiento conjunto similar y tienden a disminuir a medida que aumenta la profundidad del sondaje y disminuye la intensidad de la alteración sericítica. El mayor valor de CuT se alcanza en una zona de alteración QS con impronta geoquímica de alteración sericita somera para As, Mn, Pb y Zn (ver gráfico 6) que se encuentran con anomalías positivas significativas en varios tramos del sondaje (Mn: 40 a 1000, Zn: 10 a 100, Pb: 10 a 100 y As: 50 a 1000) asociados a vetas polimetálicas o a alteración argílica en zonas someras y distales de los sistemas porfídicos (Halley et al. 2015)



**Gráfico 6:** Sondaje 6100, variación geoquímica en profundidad.

El sondaje 6101 muestra litologías más variables con un 38,6% de GDCC, 17,7% de PDL, 18,9% de GDRB, y 16,4% de BXB, mientras que la alteración principal corresponde la zona de alteración potásica gris verde con un 28,81% de SGVd y un 19,3% de SGVm. SGVf a moderada interrumpida por eventos QS, hasta aproximadamente los 450 metros, donde la alteración disminuye su intensidad hasta una alteración SGV débil, desde los 950 m en adelante, dominando la alteración tipo sericítico argílico con casi un 23,9% de su extensión alterado por SG. El Cu y el Mo presentan una tendencia casi continua a disminuir con la profundidad, desde la zona de alteración sericítica fuerte a moderada hacia la zona de alteración SG, otros elementos ven solo pequeñas variaciones entre las cuales el Pb y el Zn disminuyen levemente en presencia de alteración SG vs las otras, mientras que el Mn aumenta. (ver gráfico 7)

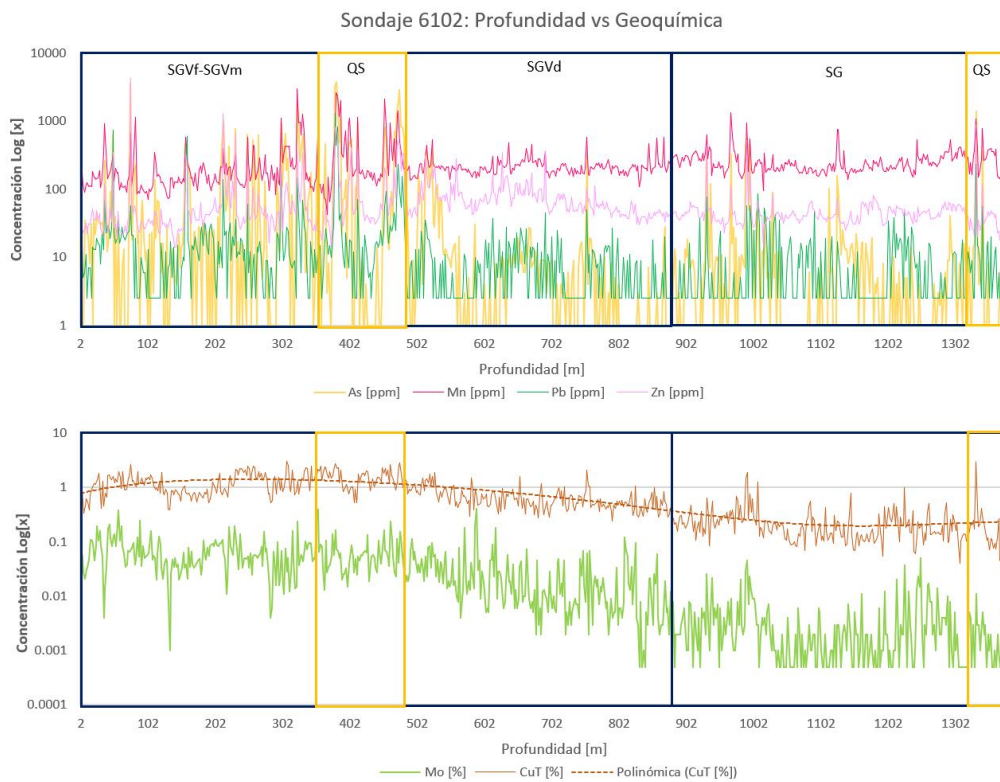
En las zonas en que se presenta alteración QS se observan anomalías positivas importantes de As, Mn, Pb y Zn. El sondaje en general presenta valores bajos de Sn, Sb y Ag indicando un ambiente porfídico profundo y cercano al núcleo del sistema porfídico asociado a alteración sericítica profunda o potásica. Los valores de plata en ocasiones pueden aumentar acompañando el aumento en la concentración de As. (ver gráfico 7)



**Gráfico 7:** Sondaje 6101, variación geoquímica en profundidad.

El sondaje 6102 contiene litología intrusiva GDCC (75,8%) cortada por brechas BXB (12,91%), la alteración principal corresponde la zona de alteración SGV fuerte a moderada interrumpida por eventos QS, hasta aproximadamente los 450 metros, donde la alteración disminuye su intensidad hasta una alteración SGV débil, desde los 950 m en adelante la alteración dominante SG (26,23%). Esta distribución de alteraciones impacta directamente en las concentraciones de Cu y el Mo, que presentan una tendencia continua a disminuir con la profundidad, desde la zona de alteración sericítica fuerte a moderada hacia la zona de alteración SG.

En las zonas en que se presenta alteración QS se observan anomalías positivas importantes de As, Mn, Pb y Zn que denotan un ambiente de alteración argílica de zonas someras de un ambiente tipo pórfido, pero el sondaje en general presenta valores bajos de estos elementos y de otros tales como el Sn, Sb y Ag indicando un ambiente cercano al núcleo del sistema porfídico, asociado a alteración sericítica profunda o potásica. (ver gráfico 8).



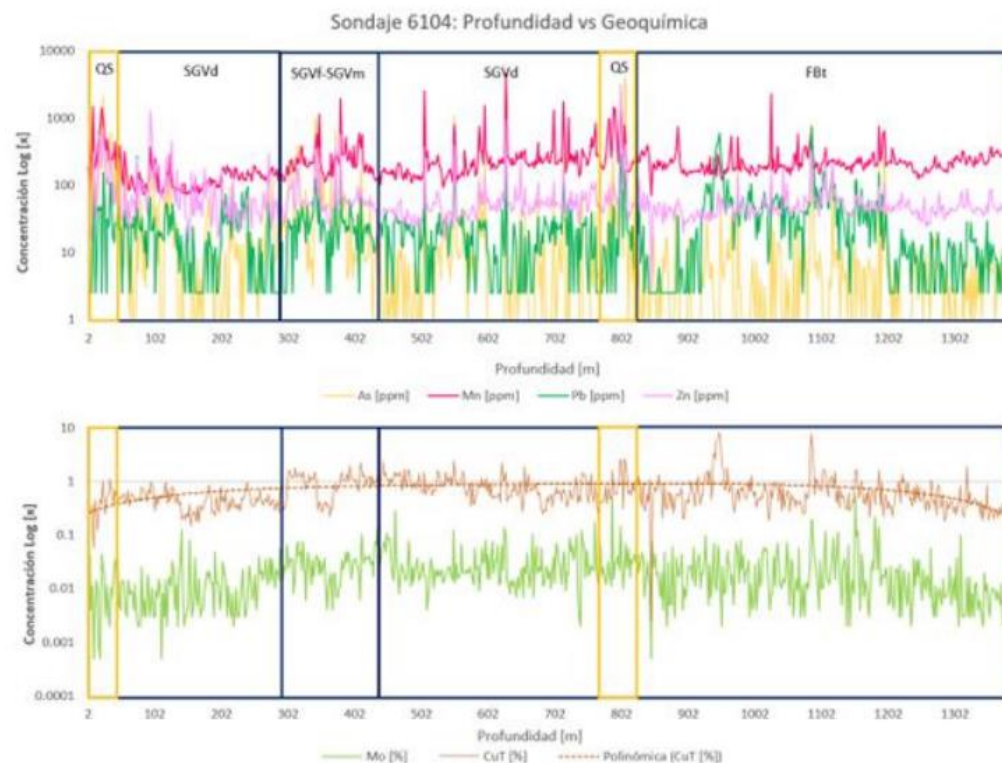
**Gráfico 8:** Sondaje 6102, variación geoquímica en profundidad.

El sondaje 6104 abarca mayoritariamente litología intrusiva GDCC (41,45%), con intercalaciones importante de BXB (30,1%) y un tramo inicial de pórfido PDL (24%). La alteración principal es de tipo SGVd (59,37%) con transiciones de intensidad a fuerte y moderada interrumpida por eventos QS, desde los 950 m en adelante la alteración dominante SGVd.

El Cu y el Mo presentan una tendencia continua a disminuir con la profundidad, desde la zona de alteración sericítica fuerte a moderada hacia la zona de alteración SGVd, al pasar al fondo FBt desde los 1200 m de profundidad se observan quiebres en la concentración de As, Mn Pb y

Zn que disminuyen levemente y presentan menos peaks de concentración, mientras que el Cu y el Mo presentan una fuerte tendencia a disminuir a medida que se profundiza el sondaje en este punto. (Ver gráfico 9)

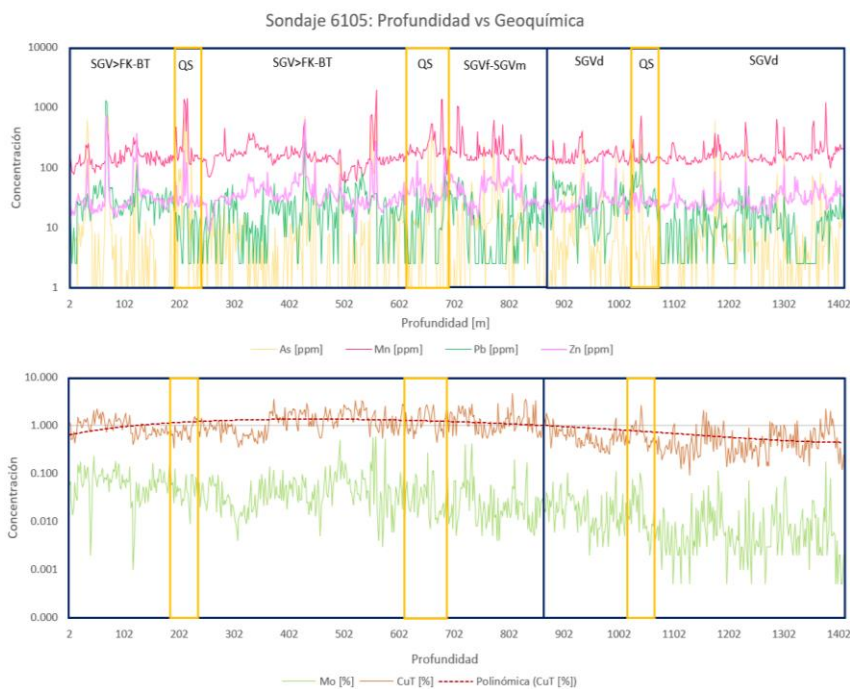
En las zonas en que se presenta alteración QS se observan anomalías positivas importantes de As, Mn, Pb y Zn cuya signatura geoquímica corresponde a un ambiente de alteración argílica avanzada (Ver gráfico 9). En un comienzo se puede observar que esta alteración se asocia a leyes bajas de Cu y Mo en la unidad PDL, pero en las zonas en que afecta otras unidades a mayor profundidad, se relaciona a un aumento de la ley de Cu y Mo. El sondaje en general presenta valores bajos de Sn, Sb y Ag indicando un ambiente cercano al núcleo del sistema porfídico, asociado a alteración sericítica profunda o potásica.



**Gráfico 9:** Sondaje 6104, variación geoquímica en profundidad

El sondaje 6105 abarca mayoritariamente litología intrusiva GDCC (67,24%), con intercalaciones de Brechas BXB (14,77%). La alteración principal corresponde la zona de alteración predominante SGV>FK-BT (35,74%) que disminuye su intensidad hasta una SGVF-SGVM a los 680 m y se mantiene hasta los 900 m aproximadamente, desde donde va progresivamente disminuyendo la intensidad hasta una alteración SGVD (30,79%). En todos los casos es posible ver interrupciones debido a eventos QS de alcance limitado. El Cu y el Mo presentan una leve tendencia a aumentar con la profundidad, hasta la zona de alteración sericítica fuerte a moderada y disminuyen marcadamente al disminuir la intensidad de la alteración en la zona de SGVD. En las zonas de alteración QS se observa un aumento significativo de las leyes de CuT y Mo, la cual es más marcada en la zona de SGVD. La alteración QS presenta anomalías positivas importantes de As, Mn, Pb y Zn acompañadas de un aumento en la ley de Cu y Mo. (Ver gráfico 10)

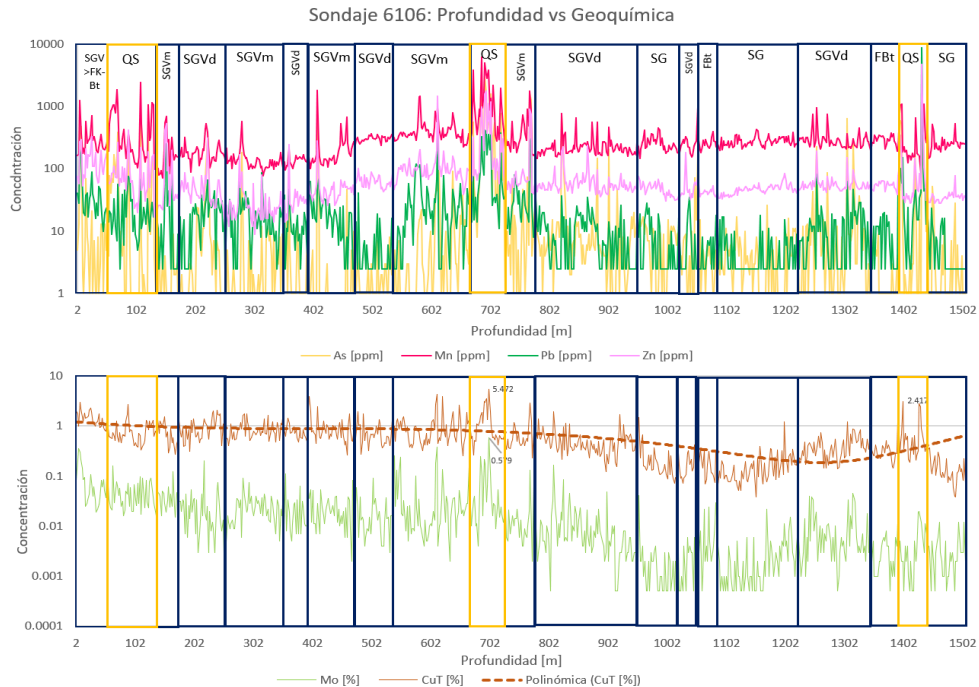
El sondaje presenta mayoritariamente una signatura geoquímica con valores bajos de Sn, Sb y Ag indicando un ambiente profundo del sistema porfídico asociado a alteración sericítica profunda o potásica, salvo por aquellas zonas con alteración de tipo QS que se relacionan a un ambiente porfídico superficial. (Ver gráfico 10)



**Gráfico 10:** Sondaje 6105, variación geoquímica en profundidad.

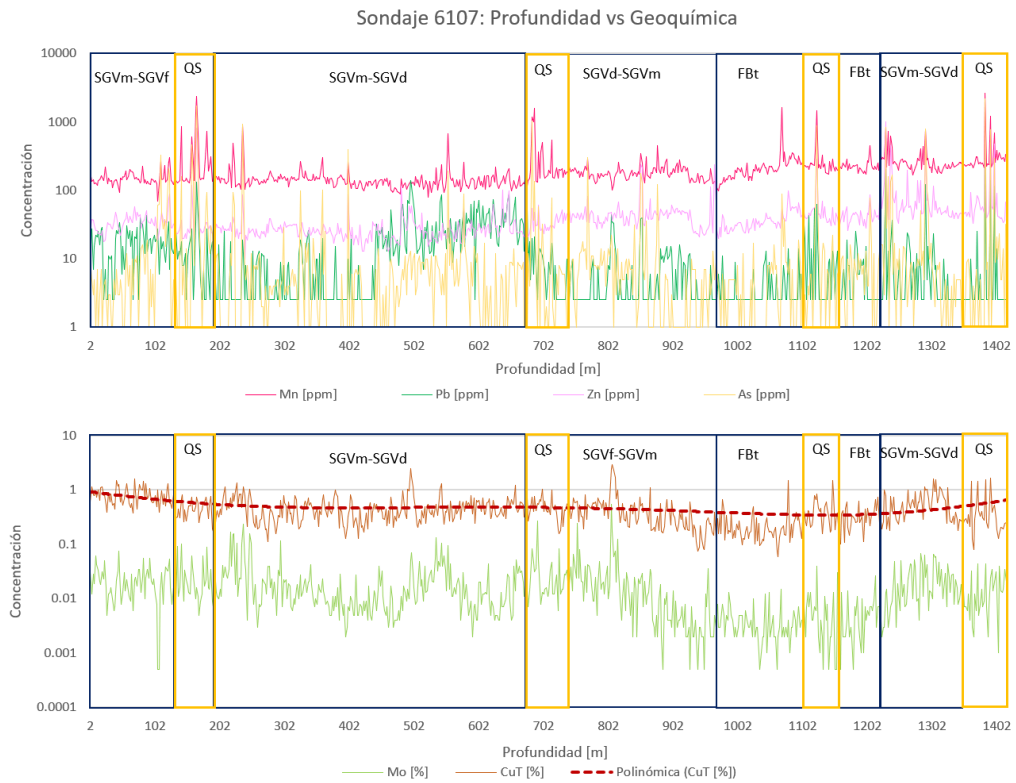
El sondaje 6106 incluye mayoritariamente litología intrusiva GDCC (61,32%), con intercalaciones de Brechas BXB (16,89%) y una zona de transición con la GDRB (10,32%). La alteración principal corresponde la zona de alteración potásico gris verde débil (44,23%), que indicaría un ambiente profundo y distal dentro del sistema porfídico que evoluciona hasta una alteración SG más distal (16,46%). Los peaks de valores de CuT [%] suelen ir acompañados de un aumento en el Mo, y ambos tienden a disminuir a medida que aumenta la profundidad del sondaje, asociados directamente a cambios en los tipos de alteración, desde una alteración tipo SGV>FK-Bt, hasta distintos pulsos con mayores leyes de CuT asociados a SGVm o SGVf. La mayor ley de CuT se alcanza en una zona de alteración QS.

Los valores de Mo son muy superiores a los esperados para cualquier yacimiento de este tipo. Las concentraciones de pathfinders como Ag, Sn, y Bi son bajas, identificando mayormente una zona de alteración potásica o sericítico profunda, sin embargo, el As, Mn, Pb y Zn, se encuentran con anomalías significativas, respecto de los valores encontrados en concentraciones típicas para alteración sericítica profunda, en varios tramos del sondaje, más cercanos a un ambiente de alteración sericítica somera, estos rangos de valores (Mn: 40 a 1000, Zn: 10 a 100, Pb: 10 a 100 y As: 50 a 1000) son esperables en el entorno vetas polimetálicas o en zonas someras y distales de los sistemas porfídicos (Ver gráfico 11) (Halley S. et al., 2015), lo cual no se condice con el aumento de la profundidad. Además, estas anomalías van asociadas a un aumento en la ley de CuT y Mo presente en vetas tardías.



**Gráfico 11:** Sondaje 6106, variación geoquímica en profundidad.

El sondaje 6107 abarca casi en su totalidad litología intrusiva GDCC (96,27%), la alteración principal corresponde la zona de alteración potásico gris verde débil (59.84%), que indicaría un ambiente profundo y distal respecto del pórfido. Los valores de Mo son muy superiores a los esperados para cualquier yacimiento de este tipo. Las concentraciones de pathfinders como Ag, Sn, y Bi son bajas, identificando mayormente una zona de alteración potásica o sericítico profunda, sin embargo, el Mn, Zn, As y Pb, comúnmente empobrecidos en un ambiente tipo pórfido cuprífero profundo, se encuentran con anomalías significativas en varios tramos del sondaje, en concentraciones típicas asociadas a un alteración sericítica superficial, estos rangos de valores (Mn: 40 a 1000, Zn: 10 a 100, Pb: 10 a 100 y As: 50 a 1000) (Ver gráfico 12) son esperables en el vecindario de vetas polimetálicas o en zonas someras y distales de los sistemas porfídicos (Halley S. et al., 2015), lo cual no se condice con el aumento de la profundidad del sondaje. Además, estas anomalías van asociadas a un aumento en la ley de CuT y Mo presente en vetas tardías.



**Gráfico 12:** Sondaje 6107, variación geoquímica en profundidad.

Para visualizar en una sola figura las principales características de la distribución de los conjuntos de datos, como son: centralización, dispersión y distribución; además de individualizar los valores que alejan de modo poco usual del resto de los datos (outliers y extremos) se construyeron diagramas de caja y bigote agrupados según litología y alteración. (Ver gráfico 13 y 14)

Para la construcción se utilizan medidas descriptivas de la misma distribución que se quiere representar. La longitud de la caja corresponde a la diferencia entre el tercer y el primer cuartil (rango intercuartil) y desde cada extremo de la caja se prolonga una línea (los bigotes), cuya longitud puede determinarse de varios modos: 1.5 veces el rango intercuartil, 3 veces el rango intercuartil, que coincidan los extremos de cada bigote con los valores extremos de la distribución, respectivamente o bien, que el bigote inferior se inicie al 5% del total de datos y el bigote superior termine al 95% de los mismos.

Las figuras muestran la distribución de los elementos químicos con las alteraciones dominantes, litologías principales y la zona de mineralización realizados mediante el software

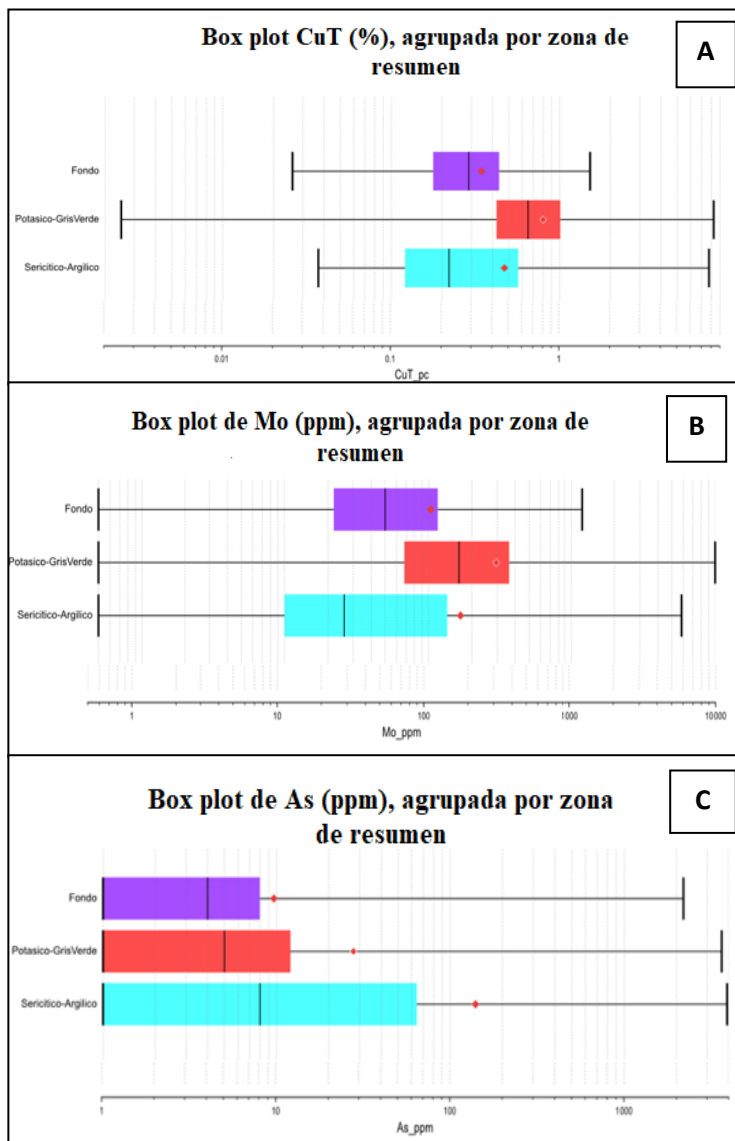
Leapfrog v. 2022.1, considerando bigotes de longitud 1,5 veces el rango intercuartil, considerando que representa la concentración de los elementos económicos (CuT-Mo-Ag) en las alteraciones dominantes y otros que sirven como pathfinders de alteración e incluso pueden ser considerados contaminantes (As, Mn, Sb, Sn y Zn). Cabe destacar que la cantidad de datos que representa los diagramas caja y bigote para las distintas alteraciones son: 375 para alteración de Fondo, 3954 para potásico-gris verde y 894 para sericítico-argílico.

Se puede observar que el cobre (Gráfico 13 y 14 A) se concentran con una mayor ley promedio de 1,47% CuT en la alteración SGVf, sin embargo, también se observan peaks de alta ley de 0,97% CuT en la alteración de tipo QS, aunque esta última tiene la mayor desviación 0.86 estándar para CuT. Como se observan en todas las figuras la alteración de mayor extensión corresponde a la alteración SGVd que implica un ambiente más distal desde la fuente de calor principal, presentando una ley promedio de 0,51% CuT.

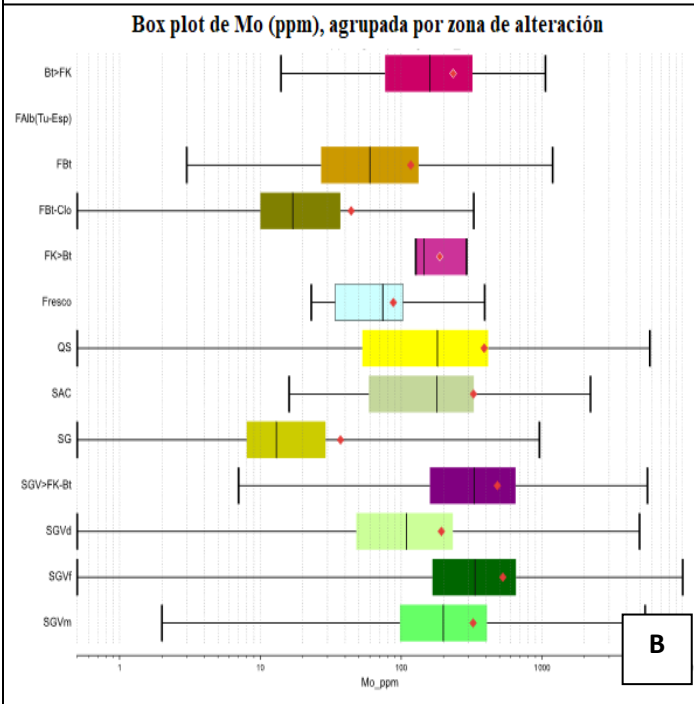
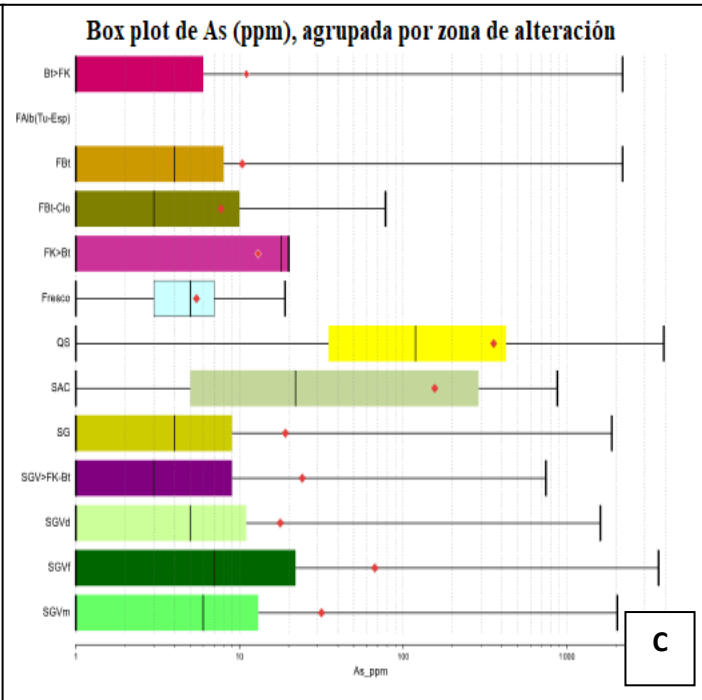
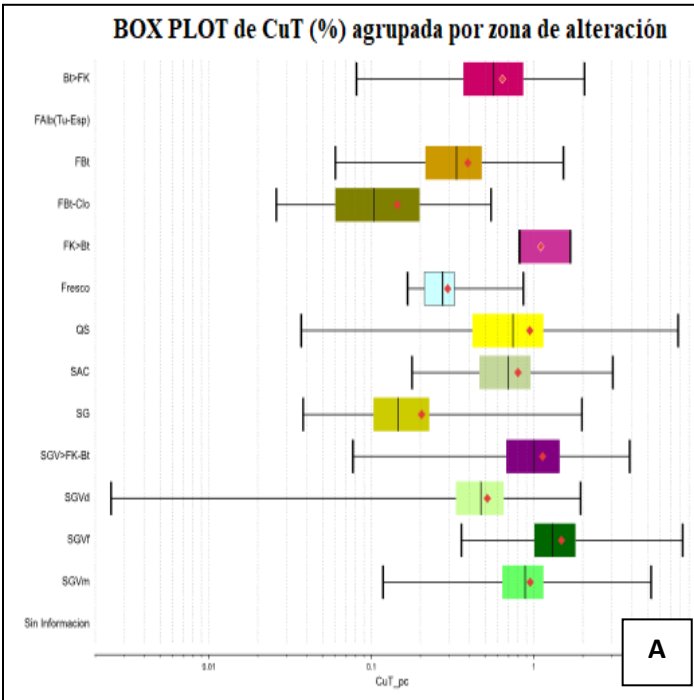
Para la concentración de molibdeno (Gráfico 13 y 14 B), tiene una situación muy similar al del CuT, las mayores leyes promedio de 527,9 ppm se presentan en la alteración SGVf, obteniendo incluso peaks de leyes de Mo por sobre el límite de detección, otros valores de importancia se presentan en la alteración SGVm (324 ppm) y QS (388,83 ppm) y para la de mayor extensión corresponde a la SGVd con ley promedio 193,80 ppm. Este elemento se encuentra en fracturas discontinuas de aparición posterior, vetillas tempranas tipo A-B y cúmulos.

En el Gráfico 13 y 14 C, representa la concentración de As dada su importancia como contaminante y geomarcador. En este se observa que las alteraciones Sericítico-Argílico (QS), la ley promedio es, de 348,62 ppm, 10 veces mayor que el resto de las alteraciones, con peaks de hasta 3.917 ppm muy sobre lo esperado para un ambiente porfídico profundo. La alteración SGVf también presenta valores altos (con una media de 65,97 ppm) con peaks locales de hasta 3.645 ppm. A continuación, la alteración SAC con un promedio de 149,7 ppm, corroborando que este elemento se encuentra asociados a eventos tardíos (vetas tipo “E”) o fallas. Esta impureza coexiste con sulfosales (enargita, tenantita) en las zonas que exhiben las mayores de Cu y Ag del yacimiento.

Los valores de Ag están entornos a 1 ppm dentro de los rangos esperables para un depósito pórfido cuprífero con un leve aumento en la alteración tipo QS y SGVf, donde presenta valores promedio de 3 ppm con anomalías de 73 ppm.



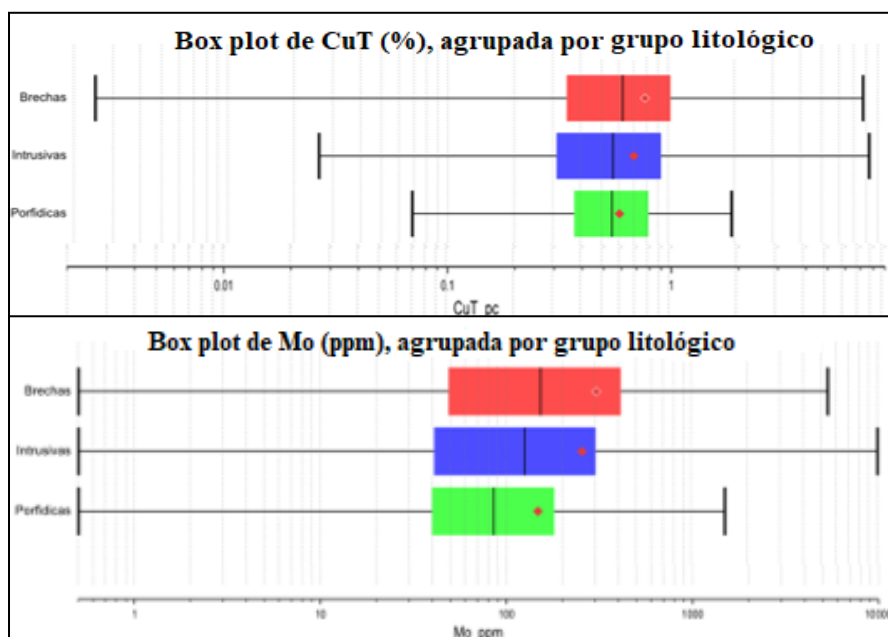
**Gráfico 13:** Diagrama Box plot agrupadas por zona de resumen en la totalidad de los sondajes (6100 al 6107). A) CuT B) Mo (ppm) C) As (ppm).



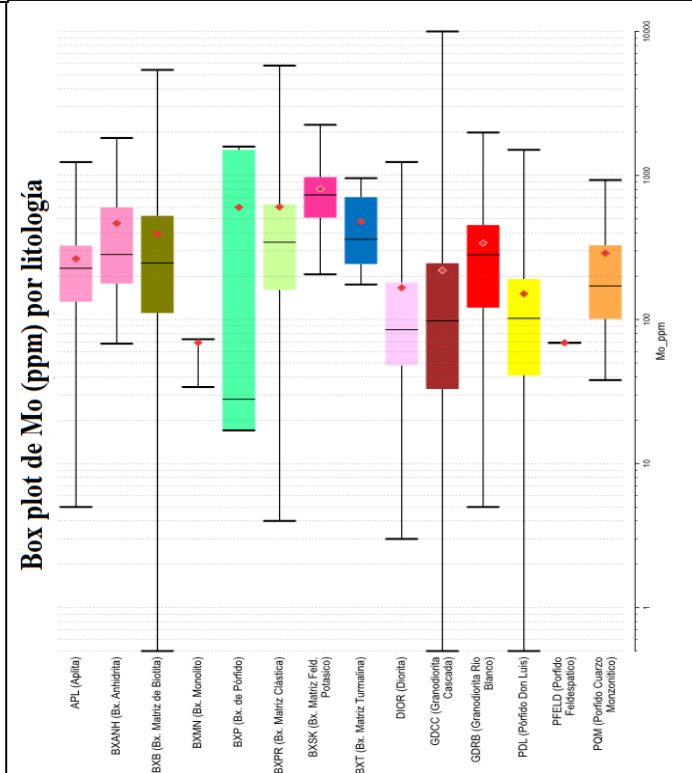
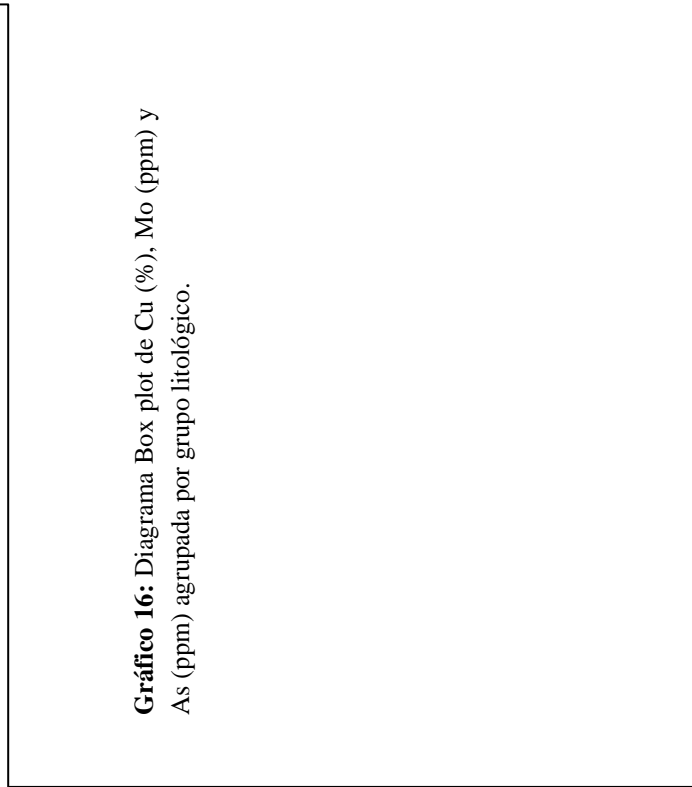
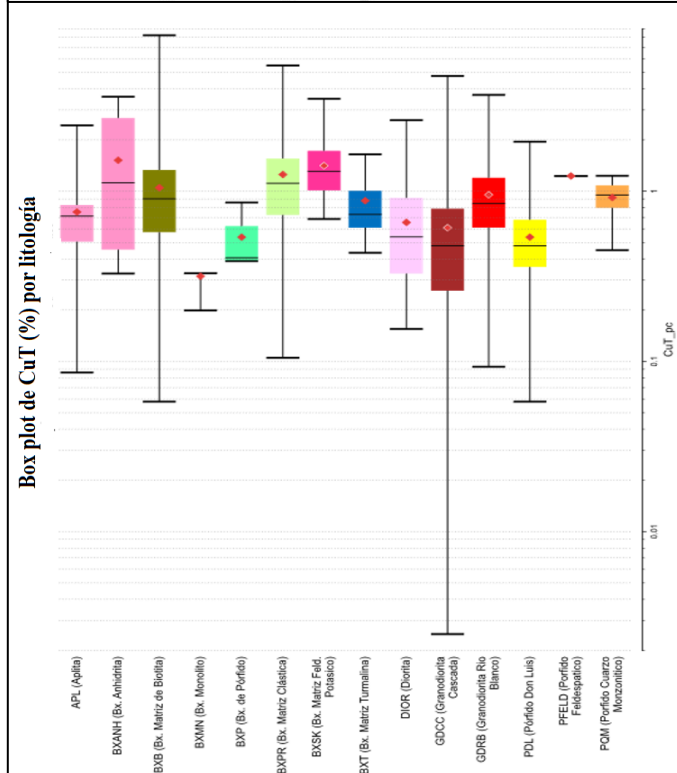
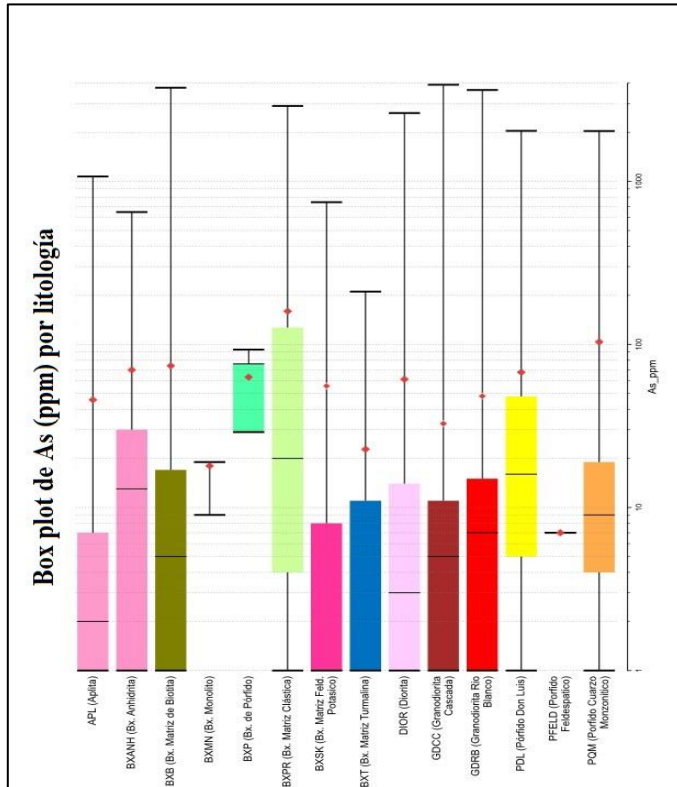
**Gráfico 14:** Diagrama Box plot agrupadas por zona de alteración en la totalidad de los sondeos (6100 al 6107). A) CuT (%) B) Mo (ppm) C) As (ppm).

Al observar los gráficos 15 y 16, representa la concentración de los elementos económicos e impurezas en las litologías del yacimiento, en donde se infiere lo siguiente.

Los elementos Cu, As y Mo se concentran mayoritariamente en las unidades de brechas con leyes de 0,78% CuT, 306,505 ppm As y 1.88 ppm Mo, que son las que contienen los más altos volúmenes de estos elementos y que le dan valor económico al depósito.



**Gráfico 15:** Diagrama Box plot de Cu (%) y Mo (ppm) agrupada por grupo litológico

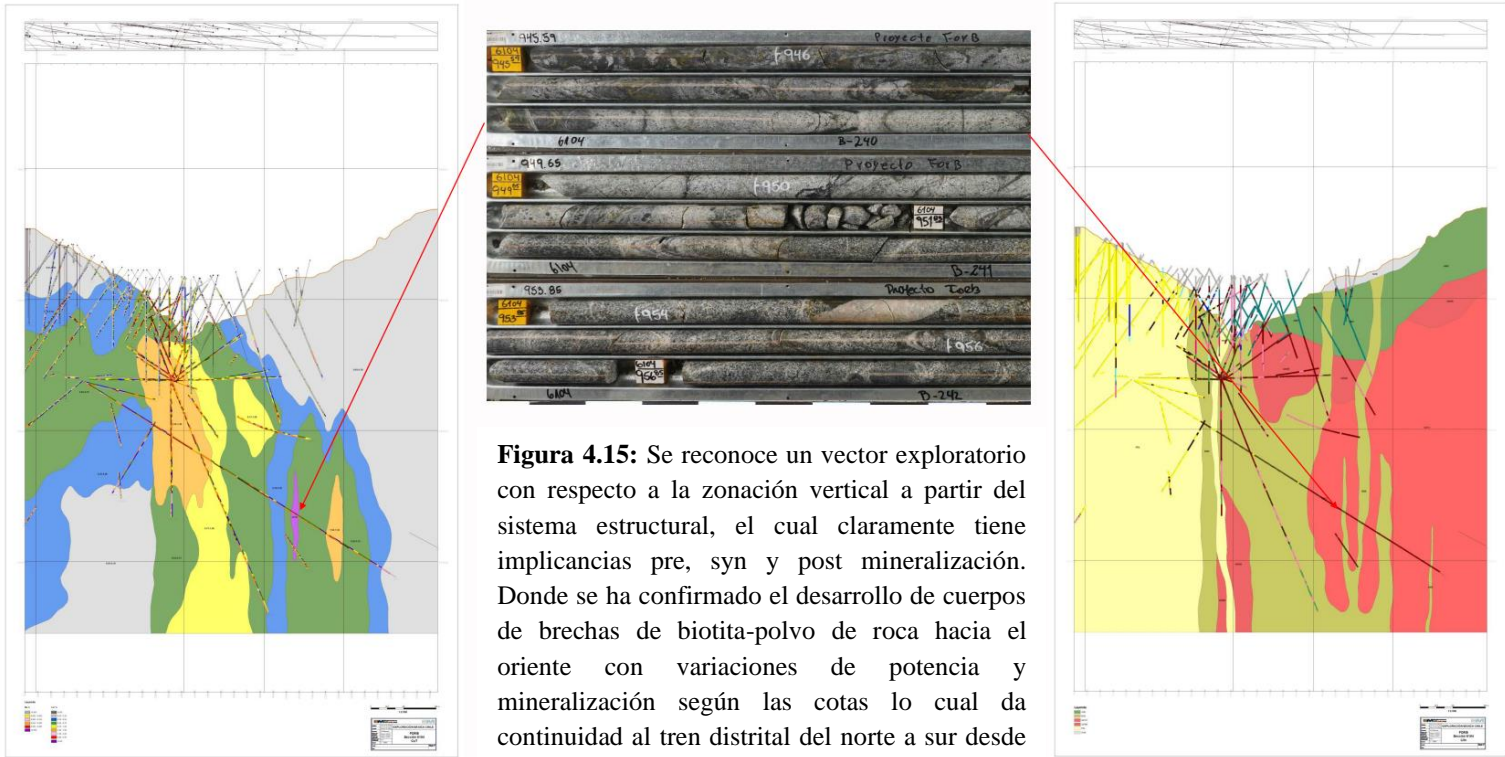


**Gráfico 16:** Diagrama Box plot de Cu (%), Mo (ppm) y As (ppm) agrupada por grupo litológico.

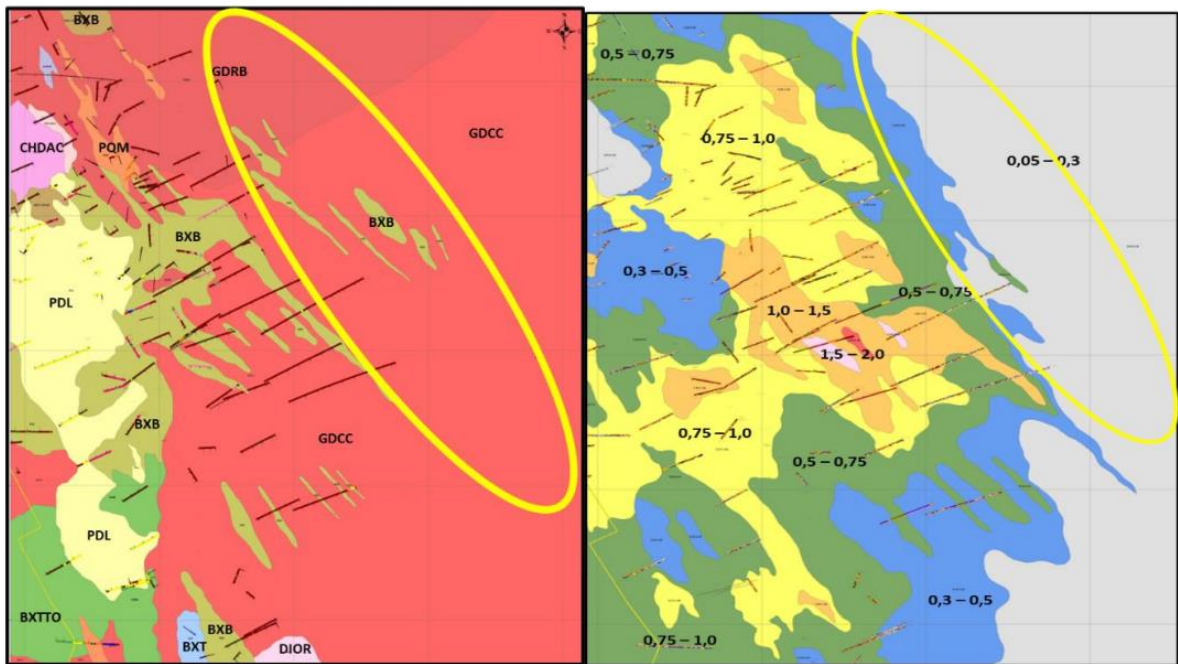
#### 4.2.6. MODELO GEOLÓGICO

La información geológica levantada a partir de sondajes diamantinos es vertida en secciones creadas por la traza de estos (Figura 4.15). Los antecedentes geológicos más relevantes indican que el bloque de interés de la División (los primeros 800 m de cada sondaje), los resultados obedecen a lo esperado, reconociendo los principales ambientes geológicos de litología, alteración y mineralización, con contenidos de cobre similares y, en alguno de los casos levemente mayor a los ya obtenidos en campañas de sondajes anteriores (Figura 4.16 A). Cabe indicar que en la mayoría de los sondajes, a excepción de dos que por sus características de inclinación y azimut, los 300 m finales de cada pozo interceptan la ocurrencia de un cuerpo mineralizado de cobre de interés geológico de exploración con una continuidad de 2.5 km, emplazado en un sistema de brechas hidrotermales de biotitas que cortan a una roca de caja intrusiva agrietada denominada Granodiorita Cascada, en una dirección que obedece al sistema principal de mineralización de orientación NNW, y que se presenta entre las cotas 2800 a 2500 m s n m (Figura 4.16 B).

El sistema estructural de orientación N60 a 90°E, en profundidad es caracterizada por una mineralización de cobre de interés, con valores que superan en algunos casos el 2% CuT, con un dominio de calcopirita y sulfosales de Cu (SSCu), definiendo en la vertical una zonación de la mineralización de sulfuros, distinguida por un dominio pirita en las partes altas y calcopirita en profundidad.

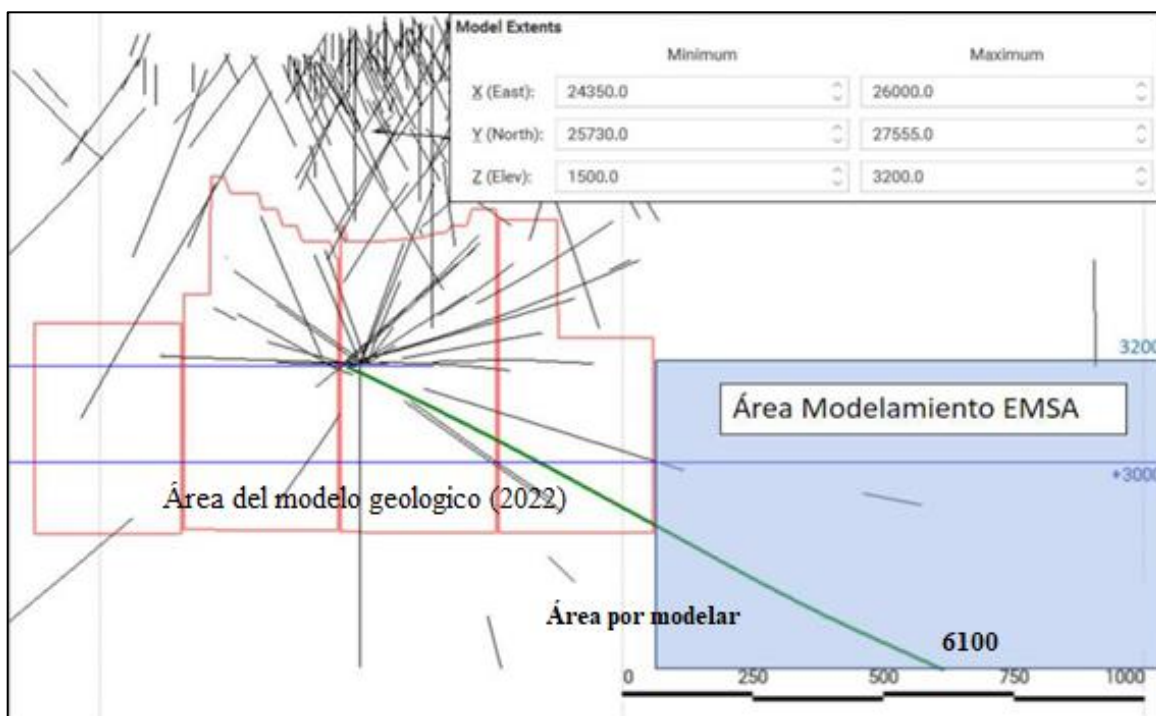


**Figura 4.15:** Se reconoce un vector exploratorio con respecto a la zonación vertical a partir del sistema estructural, el cual claramente tiene implicancias pre, syn y post mineralización. Donde se ha confirmado el desarrollo de cuerpos de brechas de biotita-polvo de roca hacia el oriente con variaciones de potencia y mineralización según las cotas lo cual da continuidad al tren distrital del norte a sur desde el sector de Cerro Negro, pasando por Valle de la Luna, hasta Valle de la Luna Sur.

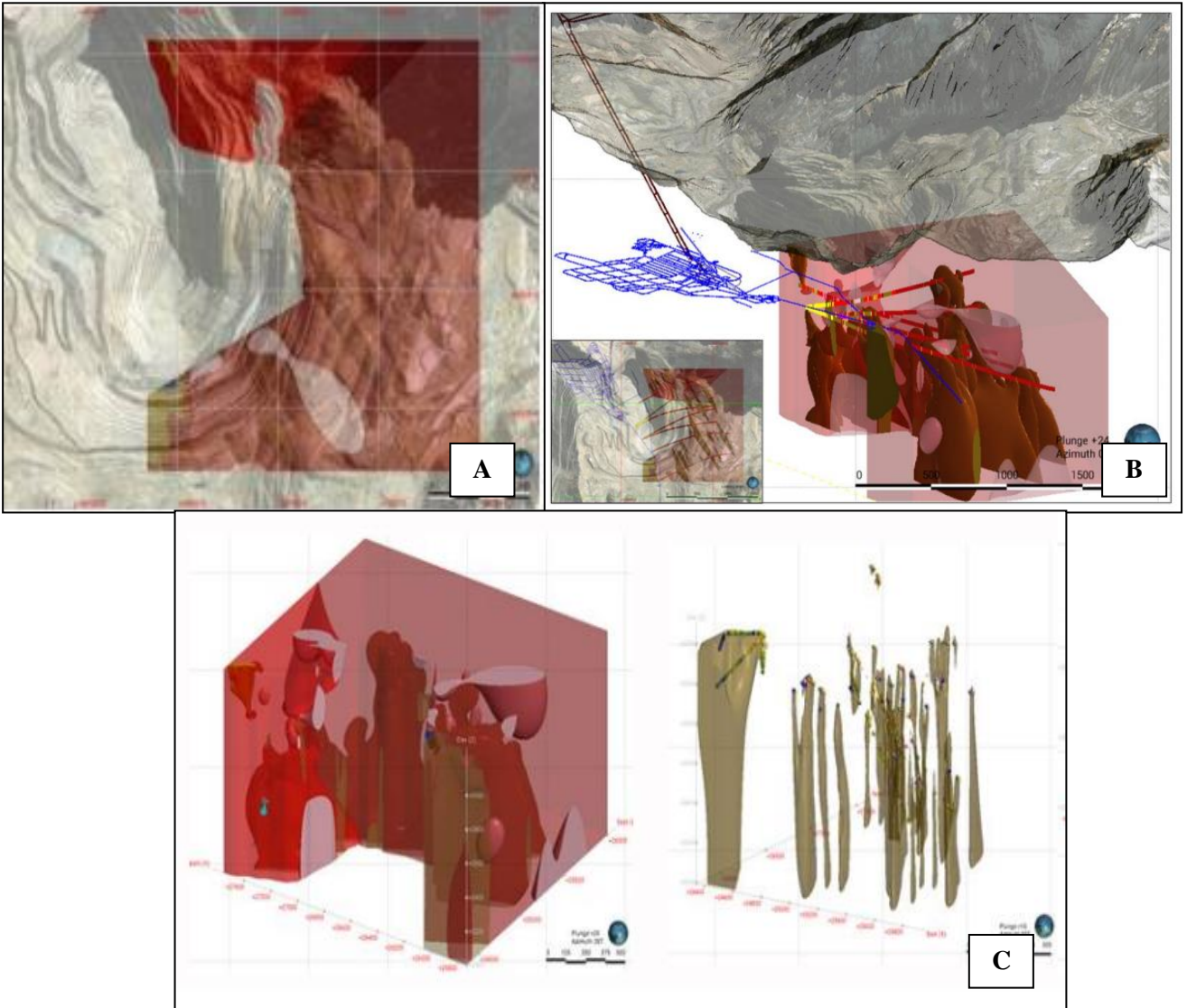


**Figura 4.16:** Planta litológica realizada a la cota 3000 msnm, a partir de la información de las secciones. (a) Las grandes unidades litológicas obedecen a lo esperado, en el marco de interés de la división, sin embargo, el rasgo litológico más relevante se observa en la parte más oriental del área alcanzada por los sondajes, y es la definición de un tren de brechas hidrotermales de biotita orientada en el sentido principal de mineralización de orientación N10 a 30°W. (b) El mayor desarrollo de la mineralización de este tren de brechas orientales se presenta entre las cotas 2800 a 2500 msnm.

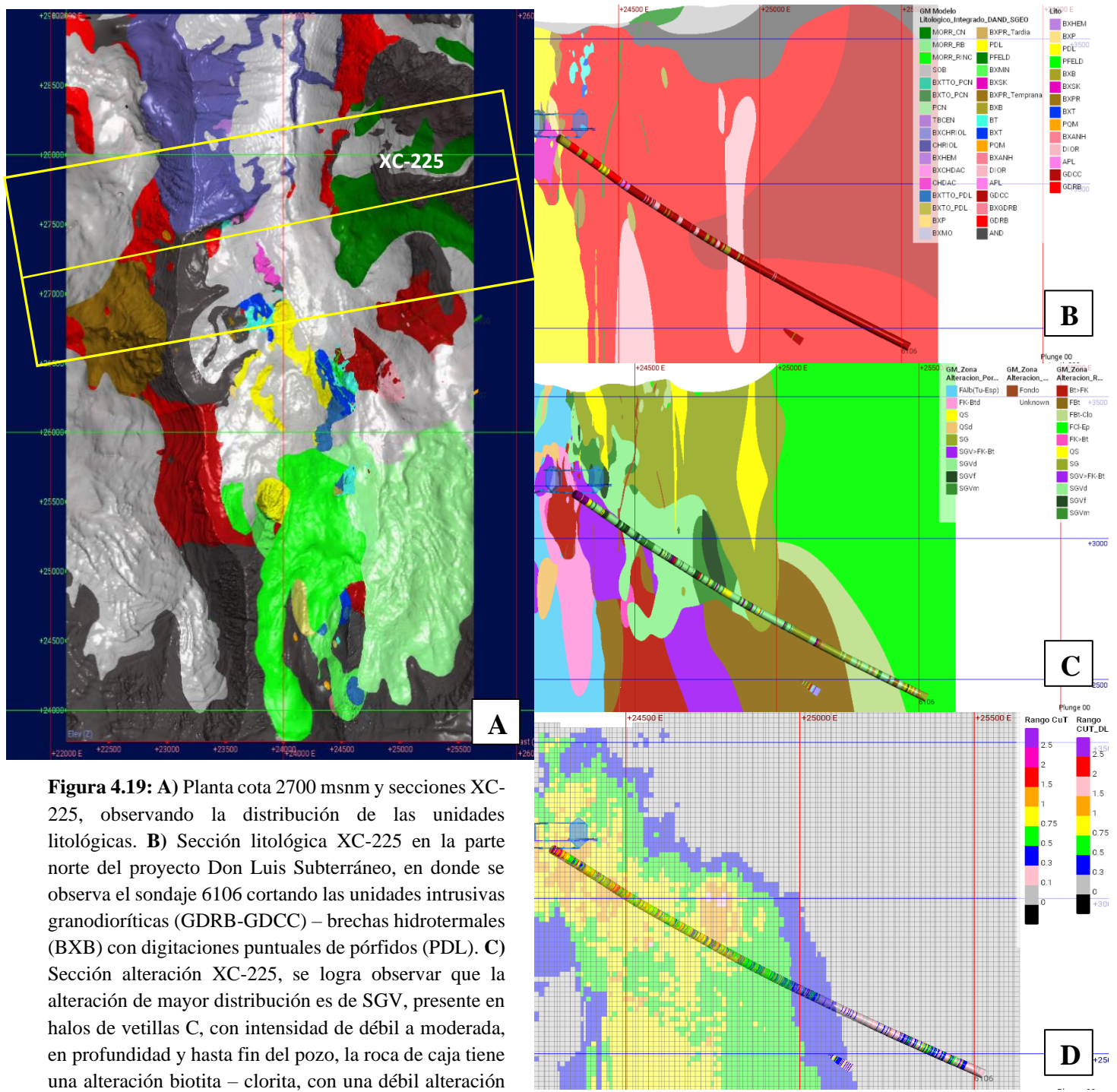
Para la integración 3D la Figura 4.17 representa el área de modelamiento que será abordada por EMSA que en concreto es desde la cota 3200 hacia abajo y fuera del sólido del Panel Caving de Don Luis Subterráneo. A su vez, en la Figura 4.18 se aprecia una vista isométrica con los sólidos resultantes destacando el corredor de brechas hidrotermales de biotita y polvo de roca.



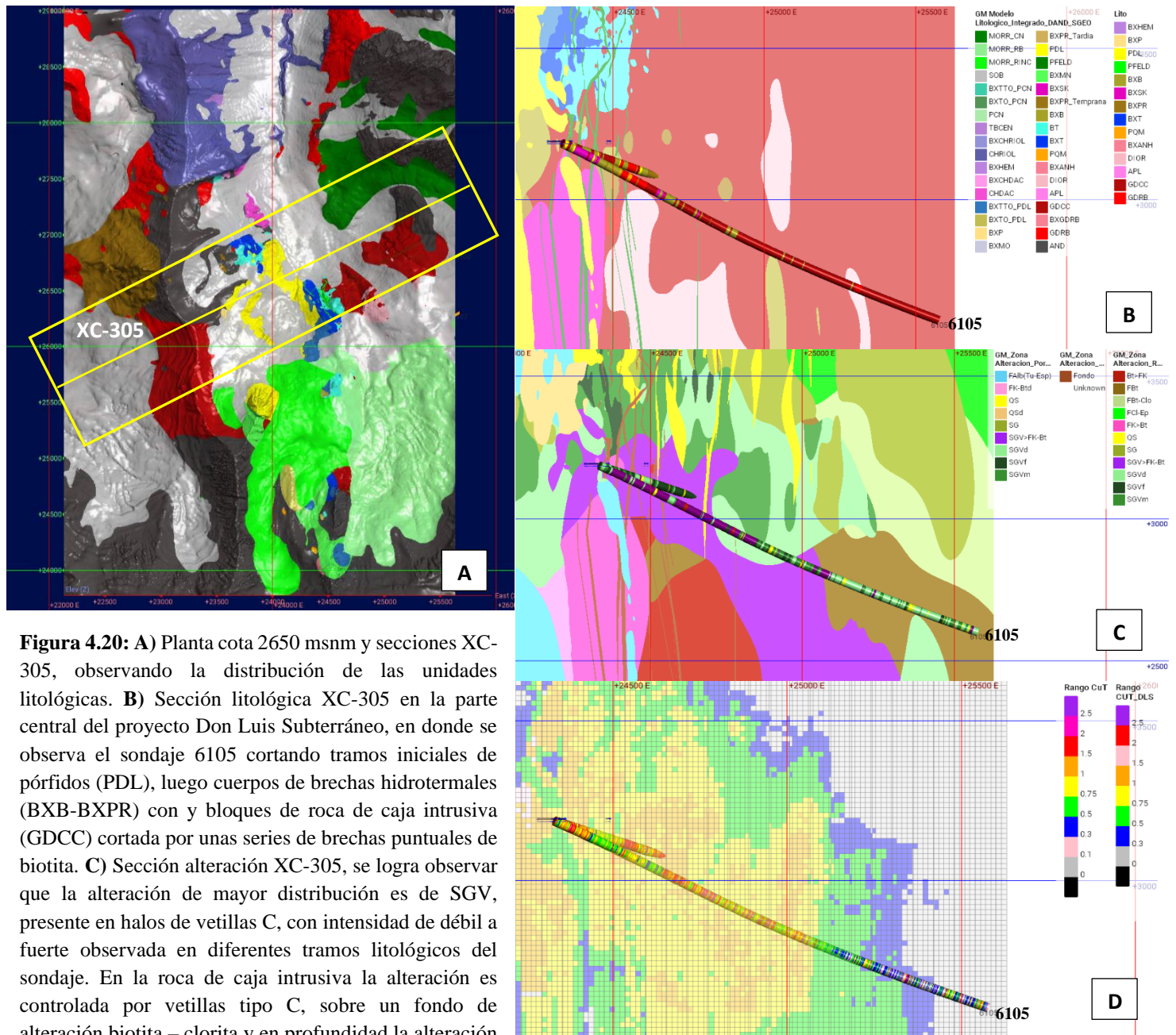
**Figura 4.17:** Sólido del yacimiento (figura de color rojo), en donde se realizará la nueva actualización del nuevo modelo geológico del yacimiento a partir de los 800 m de los sondajes de FORB (cuadro azul).



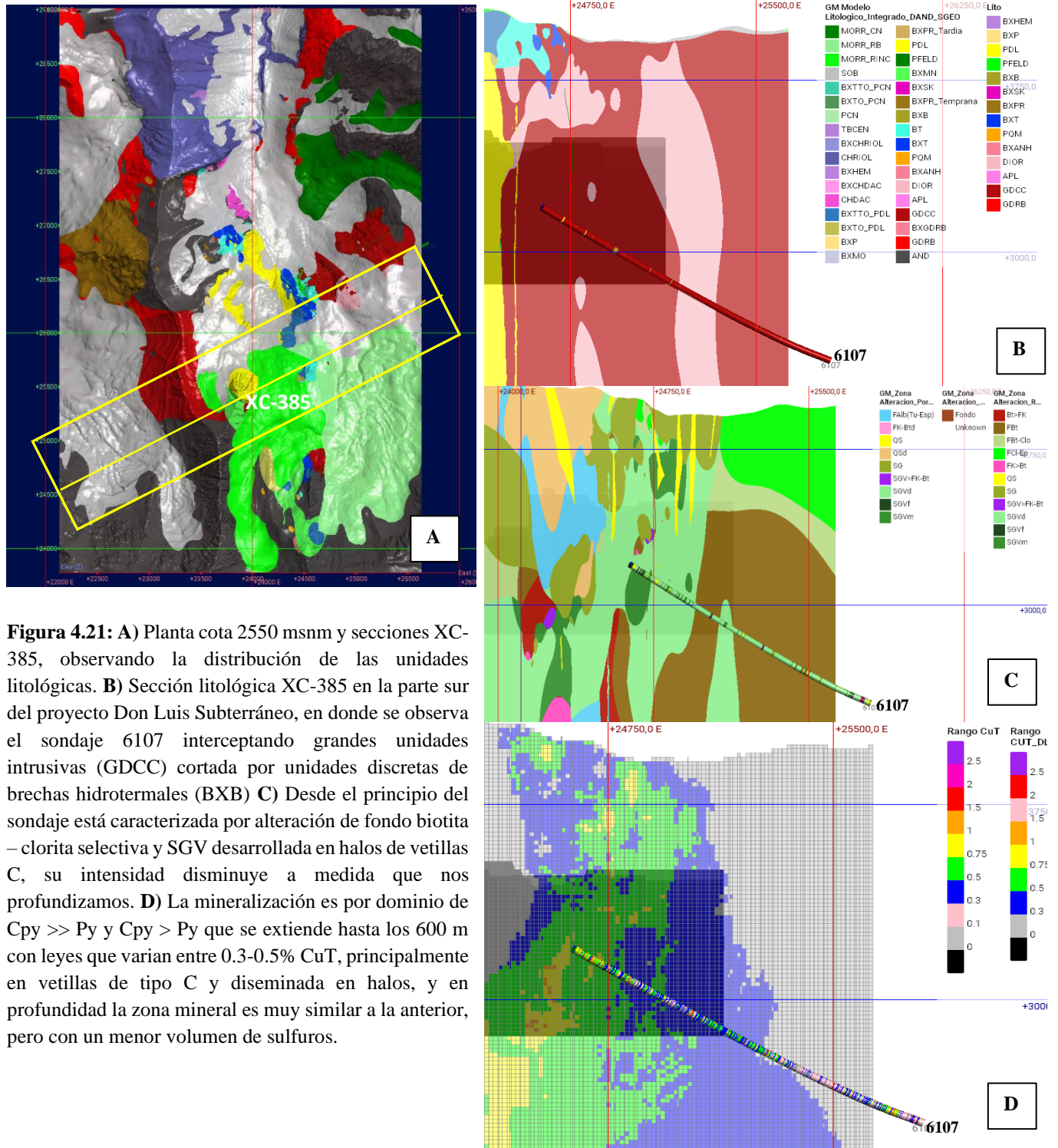
**Figura 4.18:** a) Vista en planta de la nueva zona actualizada a partir de los sondajes mapeados por FORB. b-c) Vista isométrica de los cuerpos nuevos de brechas de biotita que se encontraron en profundidades bajo la cota 3000 msnm.



**Figura 4.19:** A) Planta cota 2700 msnm y secciones XC-225, observando la distribución de las unidades litológicas. B) Sección litológica XC-225 en la parte norte del proyecto Don Luis Subterráneo, en donde se observa el sondaje 6106 cortando las unidades intrusivas granodioríticas (GDRB-GDCC) – brechas hidrotermales (BXB) con digitaciones puntuales de pórfidos (PDL). C) Sección alteración XC-225, se logra observar que la alteración de mayor distribución es de SGV, presente en halos de vetillas C, con intensidad de débil a moderada, en profundidad y hasta fin del pozo, la roca de caja tiene una alteración biotita – clorita, con una débil alteración definida por sericita gris en halos de vetillas de sulfuros. D) Sección leyes XC-225 definido los primeros 290 m con dominio de Cpy > Bo, con ocurrencias de Cpy>>Py con leyes entre 1-1.5% CuT. El dominio principal está asociada a vetillas tipo C, diseminada y cúmulos en matriz de cuerpos de brechas de biotita. La mineralización en profundidad varía lateralmente desde un dominio de Cpy>Py con leyes 0.5-0.75% CuT, en directa relación con la alteración sericita gris verde y a fin pozo el dominio cambia a Py > Cpy (ley 0.3-0.5% CuT) asociada a alteración sericita gris.



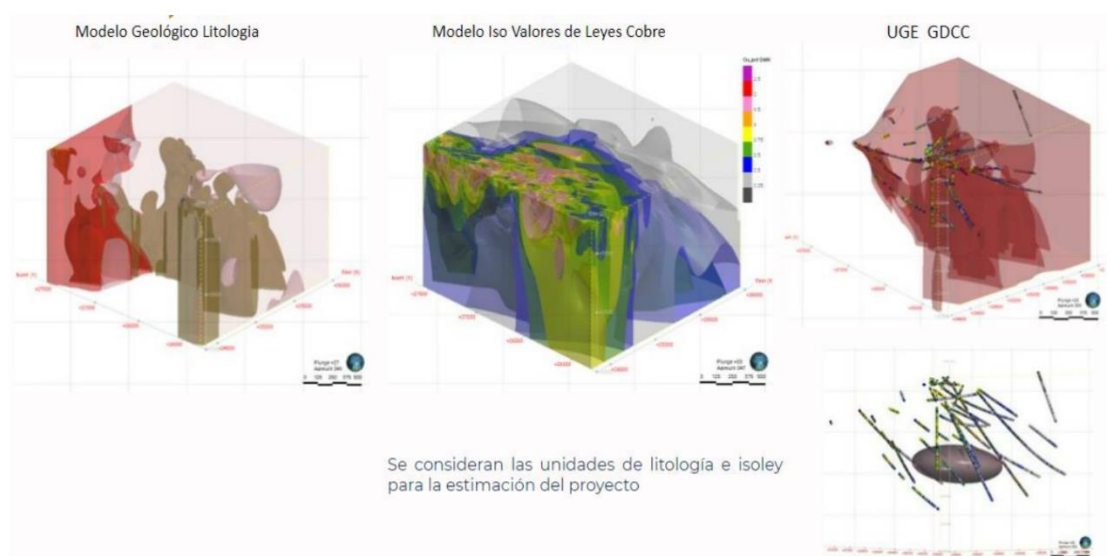
**Figura 4.20: A)** Planta cota 2650 msnm y secciones XC-305, observando la distribución de las unidades litológicas. **B)** Sección litológica XC-305 en la parte central del proyecto Don Luis Subterráneo, en donde se observa el sondaje 6105 cortando tramos iniciales de pórfidos (PDL), luego cuerpos de brechas hidrotermales (BXB-BXPR) con y bloques de roca de caja intrusiva (GDCC) cortada por unas series de brechas puntuales de biotita. **C)** Sección alteración XC-305, se logra observar que la alteración de mayor distribución es de SGV, presente en halos de vetillas C, con intensidad de débil a fuerte observada en diferentes tramos litológicos del sondaje. En la roca de caja intrusiva la alteración es controlada por vetillas tipo C, sobre un fondo de alteración biotita – clorita y en profundidad la alteración SGV disminuye con un dominio débil a moderado. **D)** Desde el inicio hasta los 1100 m su dominio de mineralización es de Cpy > Bo y Cpy>>Py con leyes entre 0.75-2% CuT y en profundidad su dominio mineralógico es de Cpy > Py (ley de 0.3-0.5% CuT), principalmente en vetillas.



**Figura 4.21:** A) Planta cota 2550 msn y secciones XC-385, observando la distribución de las unidades litológicas. B) Sección litológica XC-385 en la parte sur del proyecto Don Luis Subterráneo, en donde se observa el sondaje 6107 interceptando grandes unidades intrusivas (GDCC) cortada por unidades discretas de brechas hidrotermales (BXB) C) Desde el principio del sondaje está caracterizada por alteración de fondo biotita – clorita selectiva y SGV desarrollada en halos de vetillas C, su intensidad disminuye a medida que nos profundizamos. D) La mineralización es por dominio de  $Cpy \gg Py$  y  $Cpy > Py$  que se extiende hasta los 600 m con leyes que varían entre 0.3-0.5% CuT, principalmente en vetillas de tipo C y diseminada en halos, y en profundidad la zona mineral es muy similar a la anterior, pero con un menor volumen de sulfuros.

#### 4.2.7. ESTIMACIÓN DEL POTENCIAL DE RECURSOS GEOLÓGICOS – EXPLORATORIOS

El detalle de lo realizado se encuentra en anexos en un informe emitido por el consultor Nelson Cortés. De los principales resultados se destaca que se realizaron 3 ejercicios con distintas metodologías. La primera mediante Kriging Ordinario en Unidades Geológicas de Estimación (UGE, Figura 4.18) definidas por el cruce entre unidad litológica e isoley. Un segundo ejercicio con UGE equivalentes a las unidades de roca y, por último, la estimación del primer caso cambiando a Inverso a la Distancia.



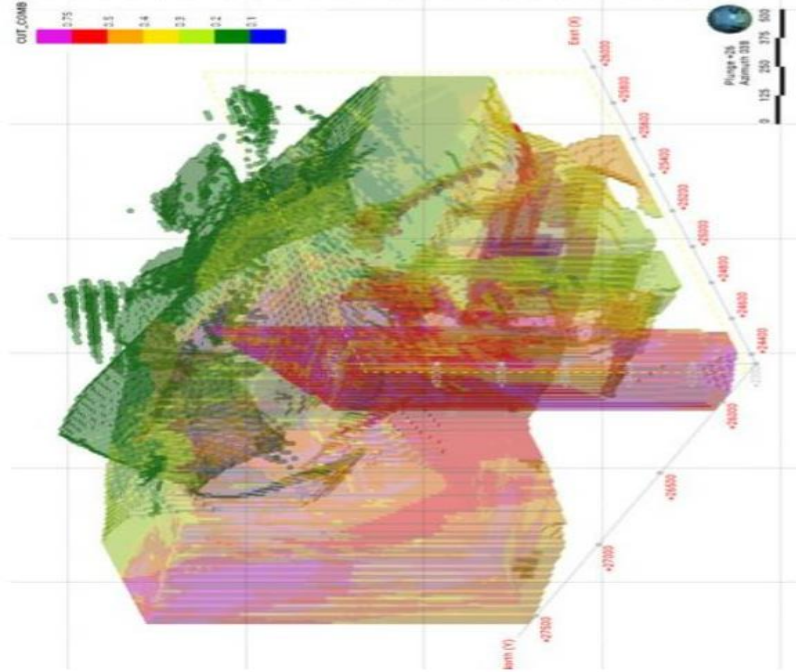
**Figura 4.22:** Esquema con las unidades 3D que componen las distintas UGE para el cálculo de potencial de recursos geológicos.

Los resultados generales muestran para el total de volumen un global de 6600 Mt @ 0.45% Cu. A ley de corte 0.2, valor mínimo para reportes exploratorios, se cuenta con 4668 Mt @ 0.53% Cu y a ley de corte 0.5, usado para evaluar un proyecto subterráneo, se cuenta con 1991 Mt @ 0.75% Cu l que equivale a 15 Mt Cu fino. En las Figuras 4.23 se presentan los resultados por unidad de estimación y también la curva tonelaje ley.

### Modelo de Bloques Cobre

### Reporte a ley de corte 0,2% CuT

CUT_Comb: Dom	Mass		Average Value		Material Content	
	Mt	%	CUT_Comb	%	CUT_Comb	t
CUTpc BXB-BXPR 0.1-0.3	2.3	0.226				5.200
CUTpc BXB-BXPR 0.3-0.5	97.39	0.417				406.315
CUTpc BXB-BXPR 0.5-0.75	233.18	0.606				1.413.978
CUTpc BXB-BXPR 0.75-1.0	184.09	0.882				1.623.101
CUTpc BXB-BXPR 1.0-1.5	11.17	1.257				140.413
CUTpc BXB-BXPR 1.5	0.5	2.314				11.653
<b>BXB-BXPR</b>	<b>528.64</b>	<b>0.681</b>				<b>3.600.659</b>
CUTpc DIOR 0.1	0.02	0.278				50
CUTpc DIOR 0.1-0.3	32.04	0.244				78.228
CUTpc DIOR 0.3-0.5	36.45	0.418				152.383
CUTpc DIOR 0.5-0.75	17.29	0.573				99.134
CUTpc DIOR 0.75-1.0	4.24	0.889				37.673
CUTpc DIOR 1.0-1.5	0.37	1.237				4.581
<b>DIOR</b>	<b>90.41</b>	<b>0.412</b>				<b>372.049</b>
CUTpc GDCC 01.08	691.69	0.229				1.586.218
CUTpc GDCC 0.3-0.5	1.113.53	0.378				4.208.221
CUTpc GDCC 0.5-0.75	1.045.86	0.557				5.827.295
CUTpc GDCC 1.0-1.5	54.67	1.142				624.128
CUTpc GDCC 0.75-1.0	344.49	0.717				2.471.344
CUTpc GDCC 1.5	2.0	1.885				37.633
<b>GDCC</b>	<b>3.252.23</b>	<b>0.454</b>				<b>14.754.840</b>
CUTpc GDRB 0.1-0.3	46.68	0.234				109.108
CUTpc GDRB 0.3-0.5	181.42	0.391				709.127
CUTpc GDRB 0.5-0.75	350.99	0.579				2.032.368
CUTpc GDRB 0.75-1.0	143.31	0.837				1.199.285
CUTpc GDRB 1.0-1.5	66.84	1.183				790.699
CUTpc GDRB 1.5	3.92	2.139				83.830
<b>GDRB</b>	<b>793.1</b>	<b>0.621</b>				<b>4.924.417</b>
CUTpc POM 0.3-0.5	0.01	0.343				30
CUTpc POM 0.5-0.75	1.35	0.659				8.904
CUTpc POM 0.75-1.0	2.9	0.818				23.765
CUTpc POM 1.0-1.5	0.76	0.995				7.594
<b>POM</b>	<b>5.03</b>	<b>0.801</b>				<b>40.293</b>
<b>Total</b>	<b>4.669.40</b>	<b>0.507</b>				<b>23.692.258</b>



## **5. DISCUSIONES**

### **5.1. UNIDADES LITOLÓGICAS**

Las unidades litológicas de mayor volumen en el sector Río Blanco son en orden de abundancia, unidad intrusiva Granodiorita Río Blanco, en el Sector Don Luis encontramos el Pórfido Don Luis y complejos de brechas (BXB, BXPR, BXSK) y en sector Sur Sur, en menor proporción cuerpos de brechas (BXB), unidad intrusiva Cascada y cuerpos menores de composición diorítica. En cuanto a volumen de mineralización, se hospedan mayormente en las unidades brechas (BXB y BXPR) y, por otro lado, las unidades litológicas que poseen mineralización (0.7-1% de Cu) son las unidades intrusivas (GDRB y GDCC). Si bien el Pórfido Don Luis es considerado estéril en el yacimiento Río Blanco, en algunos sectores de CAL y en túnel sur sur (ley de 0.3 a 0.75% de Cu).

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

#### **5.1.1. 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) y túnel Sur-Sur, 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  $\pm$ digenita en trazas, además de calcopirita y bornita diseminada con una ley de 1,3% de cobre, mientras que en el resto del yacimiento solo alcanza un 1% y a medida que avanzamos al este del yacimiento la mineralización disminuye restringiéndose a vetillas C, alcanzando una ley de 0.5% Cu.

### **5.1.2. PÓRFIDO DON LUIS**

La intrusión de un pórfido de grandes dimensiones en la porción central del depósito El Pórfido Don Luis (PDL) presenta distintas fases evidenciadas por variaciones texturales y composicionales, cortando todos los eventos anteriores. 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 y Túnel Sur-Sur. 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 del túnel Sur Sur (parte central del pórfido) con bastante mineralización de calcopirita + bornita en vetillas tempranas (0.3-0.8% Cu), 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.

### **5.1.3. COMPLEJO DE BRECHAS RÍO BLANCO**

Las brechas del sector son variadas. Se generan brechas de matriz polvo de roca (BXPR), la que contiene clastos de brechas de turmalina, pórfidos tempranos PQM / PDL y vetillas “EBT”, localmente carácter cataclástico evidenciando un posible control estructural en su formación. Seguido a estos eventos y, posiblemente gatillado por intrusiones de pórfidos PDL intermineral, el cual corta a las brechas biotita y a vetillas tipo “B”. Se genera una reactivación mayor de la actividad hidrotermal con amplio desarrollo de mineralización de calcopirita y bornita diseminada y en vetillas relacionado a procesos de alteración potásica penetrativa, principalmente en forma de recristalización de brechas de polvo de roca preexistentes y en vetillas tempranas tipos “A” y “B” tanto dentro del pórfido PDL intermineral como en brechas y rocas de caja. (Hermosilla et.,al 2015)

Muy ligado al proceso anterior y sobre imponiéndose en las cotas altas y media del depósito, se genera mineralización de calcopirita tanto diseminada asociada a alteración sericita gris verde y en vetillas tipo “C”, que produce un aumento en los volúmenes de sulfuros en aquellas rocas afectadas significativamente por esta alteración ( $\geq 10\%$  vol.), cuya textura original, producto de este proceso, se encuentra parcial a totalmente obliterada. Todos los eventos anteriores comprenden paragénesis de sulfidización intermedia con dominios de Cpy-Bn en las etapas tempranas y Cpy>Py en las transicionales. En ambas etapas la mineralización principal se encuentra directamente relacionada a la intrusión de los pórfidos tempranos y transicionales PQM como lo demuestran las dataciones Re/Os realizadas tanto en vetillas “EBT” como en vetillas “B” que cortan la brecha de polvo de roca recristalizada por alteración potásica

Posteriormente se desarrollaron brechas polimícticas de mayor energía como son las BXB y re trabajo de los fragmentos, exhibiendo clastos de rocas de caja truncando la mineralización relacionada a la alteración sericita gris verde. Estas brechas exhiben alto transporte, alteración sericítica y/o argílica en la porción alta. La mineralización comprende de calcopirita > bornita y calcopirita >> pirita, lo que representa como un banco exploratorio con mayor volumen y extensión en los sondajes con leyes que superan 1.05% CuT, 500 ppm Mo y 2.23 ppm Ag.

## **5.2. 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.

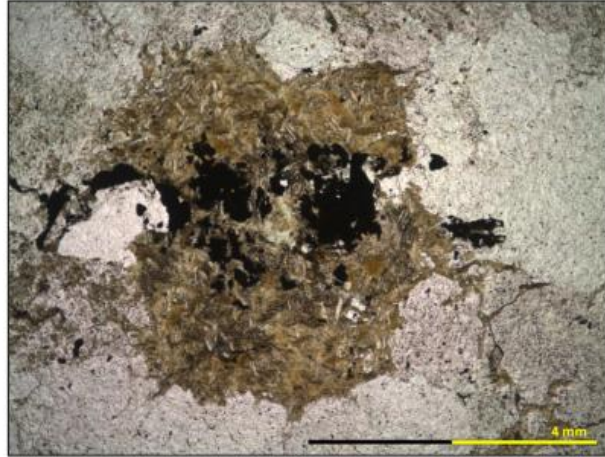
Se ha observado otro evento hidrotermal, una hidrólisis temprana de mayor temperatura que la alteración sericitica, conformada por la asociación corindón-sericita ( $\pm$  andalucita), la cual se detallará más adelante.

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

### **5.2.1. 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 la Granodiorita Río Blanco y Granodiorita Cascada 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 5.1. En general afecta a <20% de la roca, dando un aspecto brechoso.



**Figura 5.1:** Granodiorita Río Blanco (GDRB) con alteracion potásica de fondo, donde se observa un cumulo de biotitas secundarias (shreddy biotite).

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

### **5.2.2. 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.

### **5.2.3. 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 pirita dominante. Esta alteración se encuentra asociada a estructuras NE del yacimiento. Las consecuencias que trae si se presenta como alteración dominante es en relación a la recuperación de cobre.

### **5.3. MINERALIZACIÓN**

La mineralización de cobre en el yacimiento es hipógena sulfurada, en ausencia de óxidos de cobre. En el resto del yacimiento es principalmente Cpy>>Py>bn, pero en el sector de este del yacimiento el dominio es Cpy>Py hasta Py>Cpy. 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 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.

#### **5.3.1. 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).

#### **5.3.2. 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 potásica (lo cual es consecuente), mientras que la calcopirita se da en todos los casos. Por último,



## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para el I Trimestre de 2023, dentro del ámbito de la Exploración Distrital – Estudio de Prospectos del Distrito Andina (DAND), se propuso como hito: “Informe Final Programa de Sondajes DDH / Seguimiento # 1: Proyecto Franja Oriental Río Blanco. Considera actualización Modelo Geológico y Estimación Potenciales Recursos.”, con el objetivo de finalizar la captura de información y realizar la interpretación geológica y de potenciales recursos de un proyecto de alto potencial abordando el interés divisional como exploratorio del near mine según los lineamientos del API de Exploración Nacional M22G001.

La exploración se realiza desde la Mina Subterránea, específicamente desde el Nivel 17 desde los sectores CAL Piso y Túnel Sur Sur donde durante el trimestre se finaliza la perforación con un total de 9997.55 m lo que equivale al 102% de avance. En total 7 sondajes: 6100 – 1518.00 m, 6101 – 1388.30 m, 6102 – 1380.35 m, 6104 – 1377.85 m, 6105 – 1410.30 m, 6016 – 1505.80 m y 6107 – 1416.95 m. Durante el trimestre se finaliza la desmovilización desde División Andina. A su vez, se finaliza la captura de información geológica, geotécnica y geoquímica para dar paso a la interpretación y modelamiento 2D y 3D. Así, culmina con un ejercicio de estimación de potenciales recursos geológicos.

Los antecedentes geológicos de los primeros 800 m de cada sondaje, indican que los resultados obedecen a lo esperado, reconociendo los principales ambientes geológicos de litología, alteración y mineralización con contenidos de cobres

similares y en alguno de los casos levemente mayor a los ya obtenidos en campañas sondajes anteriores. Por otro lado, cabe indicar que, en la mayoría de los sondajes, precisamente en los 300 m finales de cada pozo, se interceptan la ocurrencia de un cuerpo mineralizado con contenido de cobre de interés geológico por Cu-Mo, con una continuidad de 2.5 km, emplazado en un sistema de brechas hidrotermales de biotitas que cortan roca de caja intrusiva agrietada, con una tendencia principal de mineralización NNW, entre las cotas 2800 a 2500 m.s.n.m.

Asociado a un evento tardío, se reconoce en el sistema estructural de orientación N60 a 90°E una zonación vertical que en profundidad es caracterizada por una mineralización de cobre de interés, con valores que superan en algunos casos el 2% CuT, con un dominio de calcopirita y sulfosales de Cu (SSCu) lo que a niveles someros corresponde a un dominio de pirita. Se

recomienda realizar estudios de la distribución y caracterización de los sulfosales de cobre en el marco del proyecto Franja Oriental Río Blanco. El contenido importante de molibdenita en profundidad y asociada a vetillas subparalelas al eje de los sondajes, se recomienda seleccionar muestras para la realización de estudios geocronológicos, a objeto de establecer si esta mineralización obedece a alguno de los sucesos importantes de mineralización del distrito.

Se efectuó un ejercicio de estimación de recursos basado en unidades litológicas e isoleyes de Cu. Los resultados arrojan a una ley de corte de 0.5% un potencial de 1.995 Mt @ 0.73% Cu, equivalente a 14.6 Mt Cu fino. Así, se recomienda evaluar la posibilidad de realizar una exploración avanzada que haga sinergia con las etapas finales de perforación del proyecto Don Luis Subterráneo de División Andina.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

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.

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

ALCOTA, H., (2014). Evolución Geocronológica, Magmática e Hidrotermal del Complejo Río Blanco-San Francisco, precursora para la formación de sistemas mineralizados del Distrito Minero Río Blanco – Los Bronces; Andes Centrales, Chile. Tesis Magister en preparación, Universidad Católica del Norte. Deckart, K., Clark, A., Aguilar, C., Vargas, R., Bertens, A., Mortensen, J. y Faning, M., 2005: Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Río Blanco porphyry copper deposit, central Chile: implications of an integrated U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  database. *Economic Geology*, vol 100, pp 905-934.

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.

BERTENS, A., (2010). Servicio de Consultoría Programa de Estudio Geocronológico Yacimiento Río Blanco-2010. Informe Interno, División Andina, Codelco-Chile, pp 23.

BERTENS, A., HERMOSILLA, J., (2010). Informa de Cierre Programa de Estudio Geocronológico U/Pb, Ar/Ar, Re/Os yacimiento Río Blanco 2010. Informe Interno División Andina, Codelco Chile. 17 p.

CALDERÓN, J., (2000). Características y distribución de la brecha magmática de granodiorita, tercer panel, yacimiento Río Blanco, V Región, Chile. Memoria para optar al Título de geólogo. Depto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, U. de Concepción, Chile, pp. 85.

CASTELLI, J.C., LARA, L., (1999). Geología de exploración básica generativa entre el río Yeso y el Paso de Libertadores, 1:50.000. Informe inédito, Archivo técnico CODELCO-EMSA.

CHARRIER, R., BAEZA, O., ELGUETA, S., FLYNN, J.J., GANS, P., KAY, S. M., MUÑOZ, N.A., WYSS, A.R., ZURITA, E., (2002), Evidence for Cenozoic extensional basin development and tectonic inversion south of the flat-slab segment, southern central Andes, Chile (33–36S. L.), *J. South Am. Earth Sci.*, 15, 117 – 139.

CHARRIER, R., BUSTAMANTE, M., COMTE, D., ELGUETA, S., FLYNN, J.J., ITURRA, N., MUNOZ, N., PARDO, M., THIELE, R., WYSS, A.R., 2005. The Abanico extensional basin: Regional extension, chronology of tectonic inversion and relation to shallow seismic activity and Andean uplift. *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Abhandlungen* 236, 43-77.

CHARRIER, R., PINTO, L., RODRIGUEZ, M.P., (2007). Tectono-stratigraphic evolution of the Andean orogen in Chile, in *Geology of Chile*, edited by T. Moreno and W. Gibbons, Geol. Soc., London, pp. 21 –116.

CLARK, A.H., (1993). Are outsize porphyry copper deposits either anatomically or environmentally distinctive: *Society of Economic Geologists Special Publication 2*, p. 213–283.

CUADRA, P.; PIZARRO, N. y CASTAGNO, R., (2005). Modelamiento Geológico, API A03M201 Reconocimiento Geológico en Profundidad, Yacimiento Río Blanco. Informe Interno División Andina, Codelco Chile, 39 p.

CUADRA, P. (2011). El impacto del Conocimiento Geológico en el Negocio Minero. El caso de División Andina. 2nd International Seminar on Geology for the Mining Industry (GEOMIN), Plenary Session. Antofagasta, Chile, 8-11 June.

DECKART, K., CLARK, H. A., AGUILAR, C., VARGAS, R., BERTENS, A., MORTENSEN, J. K. and FANNING, M., (2005). Magmatic and hydrothermal chronology of the giant Río Blanco porphyry copper deposit, Central Chile: Implications of an integrated U-Pb and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  database. *Economic Geology*, v. 100, pp. 905–934.

DIÉGUEZ, R., VILLEGAS, P. 2021. Valorización Temprana de los Proyectos Conexión LA-SEM y Observatorio, entre otros. Informe interno EMSA, ED-EP-Hito 1, 1er trimestre.

DIÉGUEZ, R., GUÍÑEZ, D., 2022. Inicio Programa de Sondajes DDH Proyecto Entorno La Americana (ELA). Considera perforar 1.500 m de los 5.100 m planificados. Planificación Programa DDH Franja Oriental Río Blanco – DAND. Informe interno 1er Trimestre 2022.

DIÉGUEZ, R., GUÍÑEZ, D., 2022. Inicio Programa de Sondajes DDH Proyectos Copa NS y Franja Oriental / Don Luis Subterráneo Considera perforar 1.500m de los 8.000m planificados – DAND. Informe interno 2do Trimestre 2022.

DIÉGUEZ, R., GUÍÑEZ, D., BUCAREY, K. 2022. Termino Programa de Sondajes DDH / Seguimiento # 1: Proyecto Franja Oriental. Considera perforar 5.142m remanentes de los 6.756m re-planificados. Considera actualización modelo geológico. Informe interno 3er Trimestre.

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.

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.

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

FRIKKEN, P.H., (2004). Breccia-hosted copper-molybdenum mineralization at Río Blanco, Chile: Unpublished PhD thesis, Australia, University of Tasmania, pp. 290.

FRIKKEN, P.; COOK, D.; WALSH, J.; SKARMETA, J.; SERRANO, L.; VARGAS, R. (2002). Sulfur isotope and mineral zonation in the Sur-Sur breccia complex, Río Blanco Cu-Mo deposit, Chile –Implications for ore genesis. AMIRA P511: Hydrothermal System, giant ore deposit and new paradigm for predictive mineral exploration. Chilean Atlas, volume 2. Final Report, June 2002.

FRIKKEN, P.; COOK, D.; WALSH, J.; ARCHIVALD, D.; SKARMETA, J.; SERRANO, L.; VARGAS, R. (2005). Sulfur isotope and mineral zonation in the Sur-Sur breccia complex, Río Blanco Cu-Mo deposit, Chile– Implications for ore genesis. *Society of Economic Geology*, v.100, p.935-961.

GANA, 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

GUÍÑEZ, D., VILLEGAS, P., 2015. Campaña de Sondajes Blanco Monolito, Distrito Andina. Informe interno Hito 1, API Antigua, II Trimestre 2015.

FRIKKEN, P.H., (2004). Breccia-hosted copper-molybdenum mineralization at Río Blanco, Chile: Unpublished PhD thesis, Australia, University of Tasmania, pp. 290.

FRIKKEN, P.; COOK, D.; WALSH, J.; SKARMETA, J.; SERRANO, L.; VARGAS, R. (2002). Sulfur isotope and mineral zonation in the Sur-Sur breccia complex, Río Blanco Cu-Mo deposit, Chile –Implications for ore genesis. AMIRA P511: Hydrothermal System, giant ore deposit and new paradigm for predictive mineral exploration. Chilean Atlas, volume 2. Final Report, June 2002.

FRIKKEN, P.; COOK, D.; WALSH, J.; ARCHIVALD, D.; SKARMETA, J.; SERRANO, L.; VARGAS, R. (2005). Sulfur isotope and mineral zonation in the Sur-Sur breccia complex, Río Blanco Cu-Mo deposit, Chile – Implications for ore genesis. *Society of Economic Geology*, v.100, p.935-961.

GUSTAFSON, L.B., QUIROGA, G., J., (1995). Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 90, p. 2–16.

GUSTAFSON, L.B., TITLEY, S.R., eds., (1978). Porphyry copper deposits of the southwestern Pacific Islands and Australia, *Economic Geology*, v. 73, pp. 597-599.

HERMOSILLA, J.M., (2015). Caracterización geológica y cronología de los eventos de intrusión/brechización y alteración/mineralización del yacimiento Río Blanco, Región de Valparaíso, Chile. Codelco-EMSA.

HUNT, J.P., (2008). Informe Interno, Schematic Alteration Overlay. División Andina Codelco-Chile, pp1-6.

- IRARRAZABAL, V., SILLITOE, R.H., WILSON, A., TORO, J.C., ROBLES W., and LYALL, G., (2010), Discovery history of a giant, high-grade, hypogene porphyry copper molybdenum deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-Río Blanco district, central Chile: Society of Economic Geologists, Special Publication 15, pp. 253–270.
- KAY, S.M., MPODOZIS, C., RAMOS, V.A., MUNIZAGA, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28 to 33 S). Geological Society of America Special Paper 265, 113-137.
- 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.
- 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.
- LÓPEZ, L.; VERGARA, M. 1982. "Geoquímica y petrogénesis de rocas granodioríticas asociadas con el yacimiento cuprífero Río Blanco – Los Bronces". Andean Geology, n° 15
- MATHUR, R., TITLEY, S., BARRA, F., BRANTLEY, S., WILSON, M., PHILLIPS, A., MUNIZAGA, F., MAKSAEV, V., VERVOORT, J., HART, G., 2009. Exploration potential of Cu isotope fractionation in porphyry copper deposits. Journal of Geochemical exploration 102, 1-6
- MPODOZIS, C., CORNEJO, P., 2012. Cenozoic tectonics and porphyry copper systems of the Chilean Andes. Society of Economic Geologists Special Publication 16, 329-360.
- NYSTRÖM, J.O., PARADA, M.A., VERGARA, M., 1993. Sr-Nd isotope compositions of Cretaceous to Miocene volcanic rocks in central Chile: a trend towards a MORB signature and a reversal with time
- PIQUER, J., Y ALCOTA, H., 2008: Geología del Distrito Andina, Fase I, escala 1:10.000. Informe inédito, archivo técnico EMSA- CODELCO.
- PIQUER, J., 2006: Geología del Distrito Andina, fase II, escala 1:25.000. Informe inédito, Archivo técnico CODELCO-EMSA.
- PIQUER, J., 2007: Geología del Distrito Andina, Fase III, escala 1:25.000. Informe inédito, archivo técnico CODELCO-EMSA.
- PIQUER, J., 2010: Geología del Distrito Andina, escala 1:10.000: integración fases I, II y III. Informe inédito, archivo técnico CODELCO-EMSA.
- PIQUER, J. Y ALCOTA, H., 2009A: Geología de detalle del Distrito Andina, Fase II, escalas 1:5.000 y 1:2.000. Informe inédito, archivo técnico CODELCO-EMSA.

PIQUER, J., 2010: Geología del Distrito Andina, escala 1:25.000: integración fases I, II y III. Informe inédito, archivo técnico CODELCO-EMSA.

RIVANO, S., ESPÍÑEIRA, D., BORIC, R., y SEPÚLVEDA, P., (1995): Hojas Quillota-Portillo. Regiones de Valparaíso y Coquimbo. Carta geológica de Chile No. 73. 1 mapa escala 1:250.000.

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

RIVERA, S.L., PARDO, R., (2004). Discovery and geology of the Toki porphyry copper deposit, Chuquicamata district, northern Chile: Society of Economic Geologists Special Publication 11, pp. 199–211.

RIVERA, O. y NAVARRO, M., (1996). Estudio geológico distrital de la División Andina, 2ª etapa, escala 1:25.000. Informe inédito, Archivo técnico CODELCO.

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.

SILVA, W., TORO, J.C., (2009). Mineralización primaria sintectónica en el distrito minero Río Blanco-Los Bronces. XII Congreso Geológico Chileno, actas, simposio n°11, trabajo n°59

SKÁRMETA, J., MARTÍNEZ, M. Y ORTIZ, F., 2004: Modelo Estructural 3D del yacimiento Río Blanco. Informe inédito, archivo técnico División Andina-CODELCOEMSA.

SKEWES, M.A., AND 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, v. 37, p. 893–909.

SKEWES, M.A., HOLMGREN, C., 1993. Solevantamiento andino, erosión y emplazamiento de brechas mineralizadas en el depósito de cobre porfídico Los Bronces, Chile central (33 S): aplicación de geotermometría de inclusiones fluidas. Andean Geology 20, 71-83.

SKEWES, 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.

SEGOVIA, M. 2010. Estimación de recursos de La Americana. Informe interno EMSA.

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

THIELE, R., 1980. Hoja Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile 29, 21.

TORO, J., ORTÚZAR, J., ZAMORANO, J., CUADRA, P., HERMOSILLA, J., SPRÖHNLE, C., (2012). Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Concentration of Copper. Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 16, pp. 105-126.

TORO, J.C., (1986). Cuerpos subvolcánicos asociados a zonas de alteración hidrotermal en la alta cordillera de Chile Central: Antofagasta, Chile, Departamento de Geociencias, Universidad del Norte, Unpublished Memoria de Título, 174 p.

VERGARA, M., LOPEZ-ESCOBAR, L., PALMA, J.L., HICKEY-VARGAS, R., ROESCHMANN, C., (2004). Late tertiary volcanic episodes in the area of the city of Santiago de Chile: new geochronological and geochemical data. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 17, pp 227–238.

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.

WARNAARS, F.W., HOLMGREN, C., BARASSI, S., (1985). Porphyry copper and tourmaline breccias at Los Bronces-Rio Blanco, Chile. *Economic Geology*, v. 80, pp. 1544-1565

## 8. ANEXOS

### ANEXO A: ABREVIACIONES

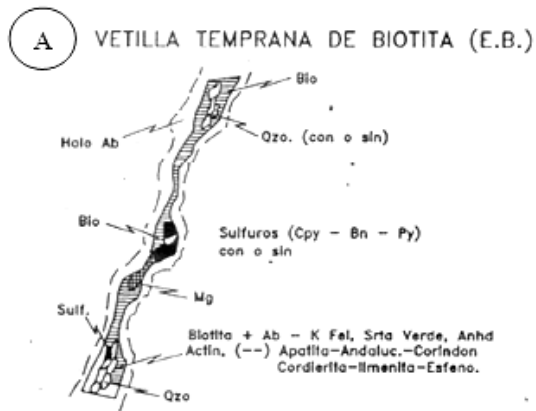
Ab: Albita	Esm: esmectita
Arc: arcillas	Mgt: magnetita
Anh: anhidrita	Ms: muscovita
Bo: bornita	Plg: plagioclasa
Bt: biotita	PR: polvo de roca
C: carbonato	Py: pirita
Chl: clorita	Ser: sericita
Cpy: calcopirita	SGV: sericita gris verde
Cs: calcosina	SGVd: Sericita gris verde débil
Cv: covelina	SGVm: Sericita gris verde moderada
Ep: epidota	SGVf: Sericita gris verde fuerte
Feld-k: feldespato potásico	SG: Sericita gris
Hem: hematita	
Ill: illita	

## ANEXO B: CLASIFICACION DE VETILLAS RIO BLANCO

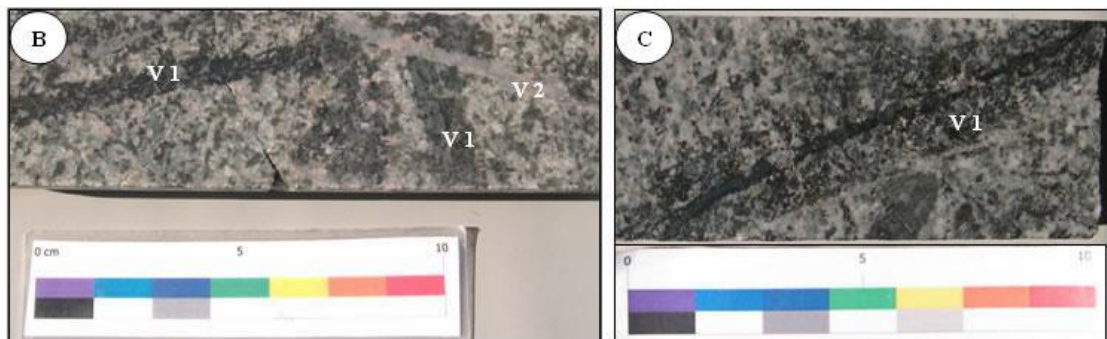
### 1. ETAPA TARDIMAGMÁTICA

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 (no constituye planos rectos), mediante un proceso de metasomatismo potásico, probablemente con temperaturas entre 800°C y 600°C. Se ha identificado tres tipos: vetillas denominadas EB (“Early Biotite”), vetillas transicionales denominadas EBT (“Early Biotite Transitional”) y vetillas de cuarzo tipo A, con característicos halos de feldespato potásico.

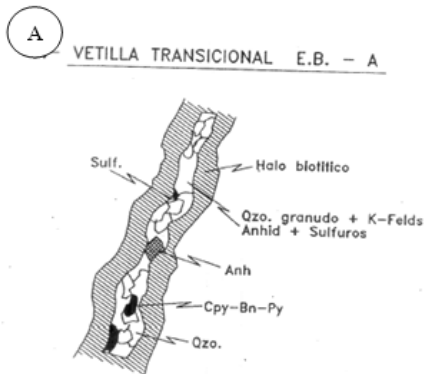
**VETILLAS TIPO “EB”:** Las vetillas EB corresponden a vetillas finas (comúnmente no sobrepasan los 10 mm), trazado irregular, generalmente sin halo de alteración. Están compuestas de biotita y/o cuarzo con o sin halo de biotita y mineralización predominante de bornita y calcopirita, con pirita como componente principal en sectores marginales del yacimiento.



**A)** Esquema composicional de las vetillas tipo “EB” de El Salvador **B)** Vetillas tipo EB (V1) y vetilla A con halo de feldespato potásico (V2) cortando set de vetillas de biotita. **C)** Vetilla tipo EB (V1) compuesta de micas verdes con halo biotítico. Yacimiento Río Blanco.

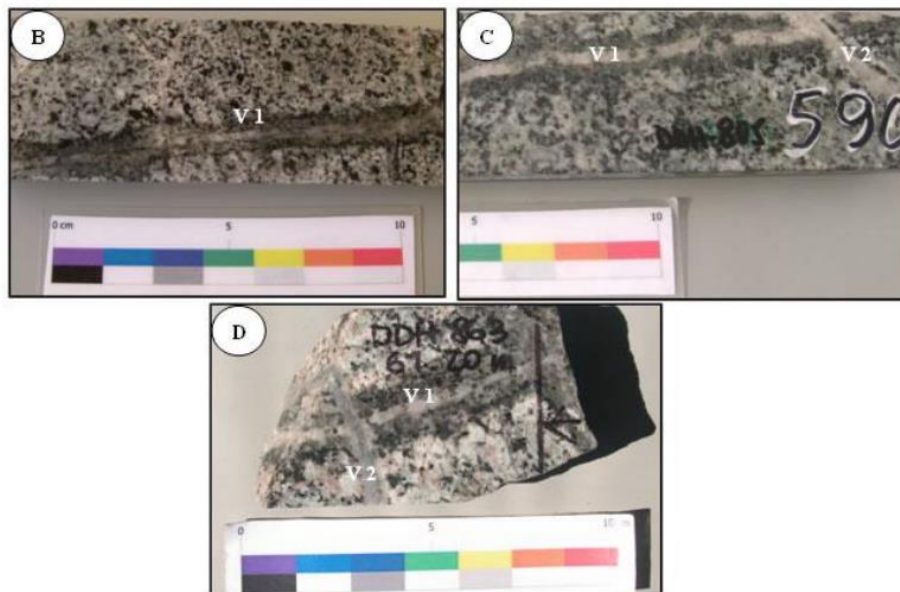


**VETILLAS TIPO EBT:** Algunas vetillas de textura granular con relleno de cuarzo, feldespato potásico, anhidrita y sulfuros con halos biotíticos se observan transicionales entre el evento EB y las vetillas de cuarzo tipo A, denominándose vetillas EBT (“Early Biotite Transitional”). Las vetillas EBT son más gruesas 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 definido halo biotítico fino de color pardo (Lámina 2), con proporciones menores de feldespato potásico, cuarzo y sericita. Calcopirita y bornita pueden estar presentes en el relleno como en halos de estas vetillas.



Textura granular de cuarzo - K-FELDS - Anhidrita y sulfuros, de forma irregular bordeada por un claro halo biotítico. Vetilla E.B. y A. Pueden ser perfectamente contemporánea en profundidad y en niveles someros.

A) Esquema composicional de las vetillas transicionales tipo “EB-A” de El Salvador B) Vetillas tipo EBT (V1). C) vetilla A con halo de feldespato potásico (V2) cortando vetillas de biotita tipo EBT (V1). D) vetilla de cuarzo tipo B (V2) cortando vetillas de biotita tipo EBT (V1). Yacimiento Río Blanco.

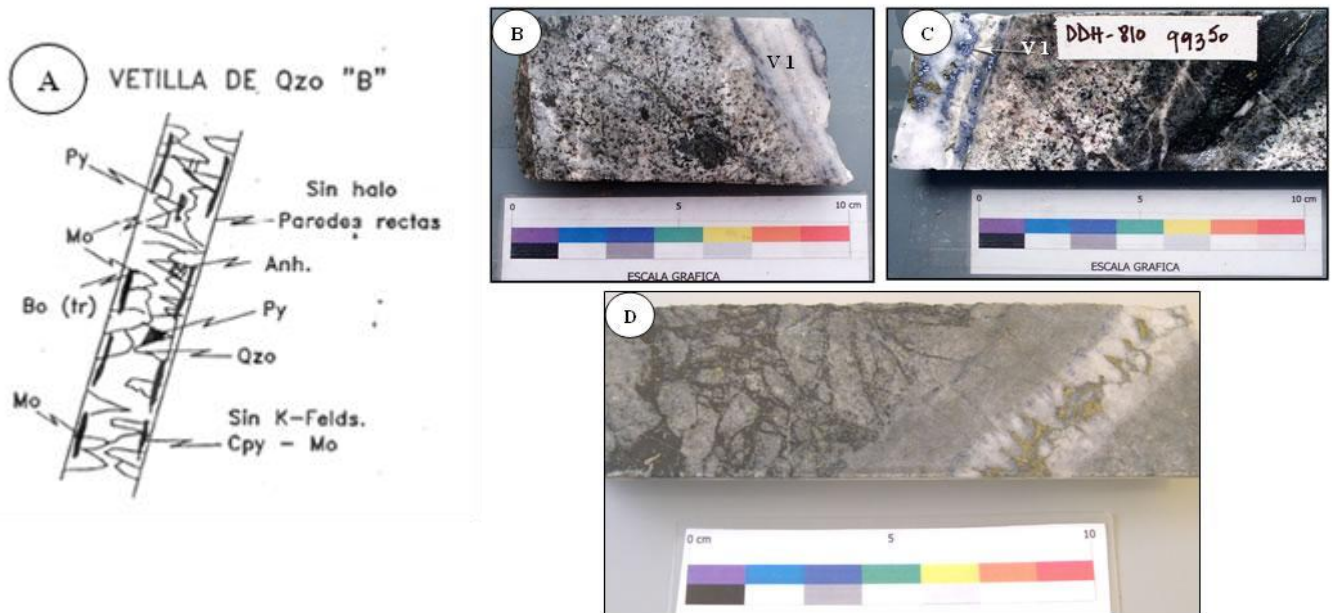




## ETAPA TRANSICIONAL

Corresponde a un ambiente frágil (evidenciado por la generación de planos rectos continuos donde se emplazan las vetillas), a temperaturas del orden de  $\pm 400$  °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.

**VETILLA TIPO B:** Vetillas milimétricas a centimétricas, planares, continuas, bandeadas, normalmente sin halo de alteración o con halos milimétricos de albita-feldespatos potásico, constituidas principalmente por cuarzo crustiforme, típicamente con anhidrita y molibdenita, además de calcopirita y pirita 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.

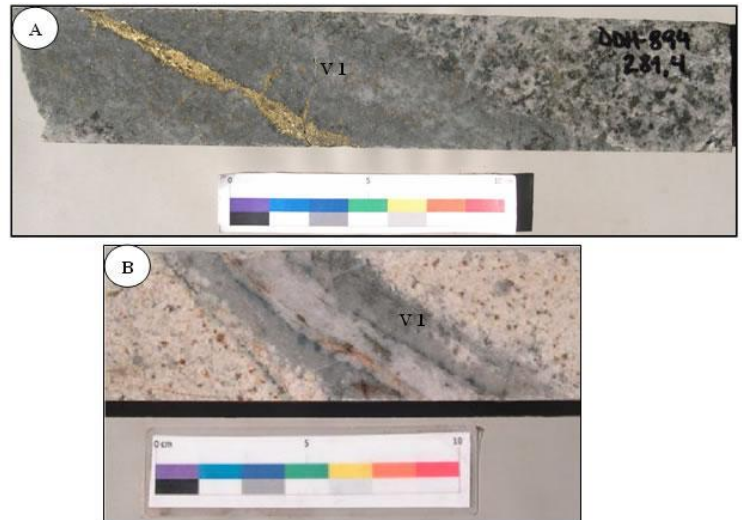
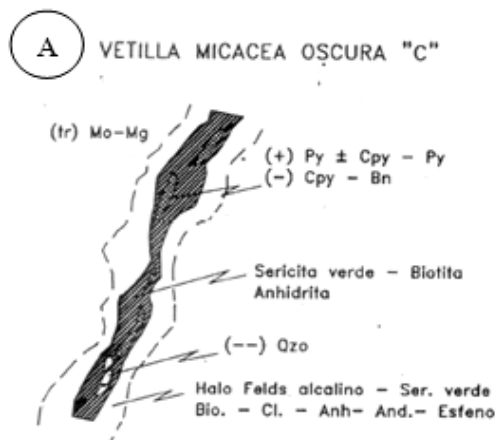


A) Esquema composicional de las vetillas tipo "B" de El Salvador. B) Vetillas tipo B (V1). C) Vetilla B (V1) con Pirita. D) Reutilización de vetilla de cuarzo prismático-molibdenita por sutura de calcopirita gruesa y halo cuarzo sericitico gris tipo C. Yacimiento Río Blanco.

## ETAPA HIDROTHERMAL 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.

**VETILLA TIPO C:** Vetillas milimétricas a centimétricas constituidas por relleno de cuarzo y, en forma subordinada, anhidrita, sericita gris verde, biotita, clorita y sulfuros. También el relleno puede ser sólo de sulfuros. Es característica un extenso y penetrativo halo gris verde (> 10 mm) de tono claro a oscuro (Lámina 5), de diseño preferentemente irregular, cuyo color estaría dado por la presencia de biotita cloritizada o clorita-sericita. Los sulfuros que acompañan a estas vetillas dependen de la zona donde se emplazan pudiendo desarrollar asociaciones de pirita, calcopirita-pirita o calcopirita-bornita, relativamente raras molibdenita y magnetita. Este tipo de vetillas se asemejan a las EBT pero las vetillas C cortan sistemáticamente a las EBT, A y B, y son cortadas por las vetillas D de halos sericíticos blanquecinos.

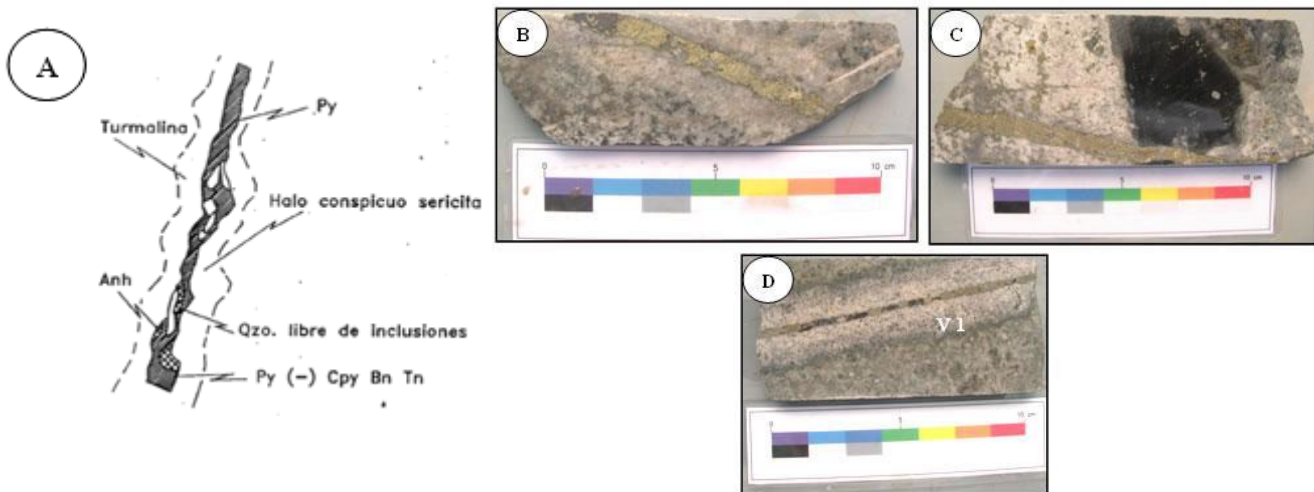


A) Esquema composicional de las vetillas tipo "B" de El Salvador. A y B) Vetillas tipo C (V1). Yacimiento Río Blanco.

## ETAPA HIDROTERMAL PRINCIPAL

Se forman en condiciones de roca frágil a temperaturas  $<300\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 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.

**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 (rosetas) como accesorios en los halos y ocasionalmente en el relleno.



A) Esquema composicional de las vetillas tipo “D” de El Salvador; B-C) Vetillas tipo D (V1; D) Vetilla tipo D (V1) con halo cuarzo sericítico y más externo clorítico. Yacimiento Río Blanco.

## ETAPA HIDROTERMAL TARDÍA

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

**VETILLA TIPO “D”:** Vetillas 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 (enargita, tennantita-tetraedrita).



A) Vetilla tipo “E” con pirita maciza, carbonatos y yeso en el relleno. Yacimiento Río blanco

## ANEXO D: Striplog Franja Oriental Rio Blanco

Striplog 6100



6100 ampliado.pdf

Striplog 6101



6101 ampliado.pdf

Striplog 6102



6102 ampliado.pdf

Striplog 6104



6104 ampliado.pdf

Striplog 6105



6105 ampliado.pdf

Striplog 6106



6106\_MAPEO.pdf

Striplog 6107



6107\_MAPEO.pdf