



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

**RELACIÓN ENTRE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y SU  
IMPLICANCIA EN LA MINERALIZACIÓN ECONÓMICA DE LA  
MINA LOS BRONCES, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

JAVIERA ANTONIA TILLERÍA ARTEAGA

PROFESOR GUÍA:  
MARTIN REICH MORALES

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
FERNANDO BARRA PANTOJA  
DIEGO SALAS PALMA

Este trabajo ha sido financiado por:Anglo American

SANTIAGO DE CHILE  
2023

**RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE:** Geóloga  
**POR:** Javiera Antonia Tillería Arteaga  
**FECHA:** 2023  
**PROFESOR GUÍA:** Martin Reich Morales

## **RELACIÓN ENTRE ALTERACIÓN HIDROTHERMAL Y SU IMPLICANCIA EN LA MINERALIZACIÓN ECONÓMICA DE LA MINA LOS BRONCES, REGIÓN METROPOLITANA, CHILE.**

El presente trabajo se centra en el estudio de la relación entre la alteración hidrotermal y mineralización económica de la mina Los Bronces, ubicada en la Cordillera de los Andes de la región Metropolitana, Chile. El megayacimiento Los Bronces forma parte del sistema de pórfido de Cu-Mo Río Blanco-Los Bronces, de edad Mio-Plioceno, y presenta una alta complejidad en la distribución de eventos magmáticos e hidrotermales debido a la sobreimposición de pulsos porfídicos mineralizadores. En dicho contexto, esta memoria de título tiene como objetivo principal aportar al conocimiento respecto de los controles litológicos y de alteración hidrotermal en el tipo de mineralización económica a escala de yacimiento.

El estudio se realizó a partir de la toma de muestra de tramos de un total de cinco sondajes caracterizados por sus altas leyes de Cu, de los cuales se obtuvieron veinte muestras representativas de las paragénesis de alteración-mineralización en Los Bronces. Dichas muestras fueron caracterizadas petrográficamente, y, además, se generó un análisis de datos desde una cartilla de mapeo. Finalmente, se realizó un análisis estadístico de una base de datos geoquímicos disponible para los segmentos de sondajes estudiados, el cual incluyó análisis univariable y multivariable de elementos, este último mediante un Análisis de Componentes Principales.

Los resultados obtenidos indican que la mineralización de sulfuros de Cu(-Fe) en Los Bronces se concentra, en términos de las litologías presentes, principalmente en el Pórfido Diorítico. Se reconoce además que la alteración de tipo sericita gris verde (SGV) juega un rol preponderante en la mineralización económica de Los Bronces. De un punto de vista geoquímico, se reconocieron a escala de yacimiento asociaciones entre elementos de interés económico: Cu-Au-Ag-(Se-In) y Re-Mo-(Cd), las cuales se relacionan con alteraciones determinadas. Más específicamente, se reconoció una relación directa entre ley de Cu y las zonas de alteración con presencia de SGV, identificándose contenidos  $\approx 10.000$  ppm de Cu cuando  $SGV > 35\%$ . Por otra parte, el Au se asocia a SGV tanto dominante como gradando desde la alteración potásica biotítica, la Ag se relaciona con zonas de transición SGV y turmalina, seguido por la alteración potásica. Finalmente, el Re y Mo se asocian con las zonas de alteración potásica y sericítica, mientras que el Co se relaciona con la alteración QS.

Se concluye que tanto la alteración hidrotermal como la mineralización de sulfuros con sus elementos contenidos están estrechamente relacionados, lo que indican que el enriquecimiento de éstos durante la formación del yacimiento estuvo controlado por variados factores tales como la temperatura,  $pH$ ,  $f_{O_2}$ ,  $f_{S_2}$  y la presencia de fases co-cristalizantes. Por ello, se concluye que el modelo de alteración pasaría a ser el principal controlador de la mineralización económica, mientras que el modelo litológico correspondería a una variable de segundo orden.

***"Todos deberíamos recibir una ovación al menos una vez en la vida, porque todos vencemos al mundo."***

*- La lección de August, R. J. Palacio.*

***"El miedo a las alturas es ilógico. El miedo a caer, por otro lado, es prudente y evolucionista."*** - Sheldon Cooper, *La teoría del Big Bang*.

***"El mundo está lleno de cosas obvias que nadie por casualidad observa jamás."*** -  
*Arthur Conan Doyle.*

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Superintendencia de Exploraciones de la empresa Anglo American por el financiamiento total de esta memoria. Especialmente al equipo de trabajo de la testigoteca Las Tortolas. En particular, a los geólogos Mario Vivanco por su enorme conocimiento y capacidad de enseñar, a Gabriel Contreras por su compañerismo y apoyo y especialmente a mi supervisor Diego Salas, por ser miembro de mi comisión y brindarme conocimiento de la geología, apoyarme y guiarme en este trabajo durante todos estos meses.

Agradezco a mi profesor guía Dr. Martin Reich por creer en mí y apoyarme a lo largo de este proceso. También al Dr. Fernando Barra por aceptar ser parte de la comisión. Ambos excelentes profesores que tuve la suerte de tener en mi formación como geóloga.

Agradezco a mi abuela por criarme, sin ti no estaría cumpliendo este sueño. A mi padre por ser mi mejor amigo. A mi prima y madrina Jennyfer por siempre estar ahí cuando lo necesito.

Agradezco a mi mamá y todas las veces que me ayudó desde el cielo.

Agradezco a las montañas y a los libros por ser incondicionales.

Agradezco al cris por ser mi arcoíris después de la tormenta.

Agradezco al Janito, mi gran amigo, por hacerme reír cada vez que nos veíamos cada ciertos meses durante este proceso. Espero que ahora nos veamos más seguido.

Agradezco a mis Geoamiguis: Palo, Mati, Guille, Cami, Kim, Kelo, Vicky y Nacho. Especialmente al Jaime, por ser mi compañero de trabajo durante todos estos semestres y soportar mi ansiedad. Lo siento si alguna vez me pasé.

Agradezco a mi club de lectura: Less, Gaby, Fabi, Lau, Ania y Juli. Sólo Dios sabe cuántas sonrisas me han sacado. Siempre quise formar parte de algo.

Agradezco a mis bendiciones que ya no están acá: Cholo, Amiga y Vaquita. Especialmente al Chiquitín, por ser mi compañero de pandemia.

Agradezco a mis bendiciones que están acá ahora mismo al lado mío mientras escribo esto, a la Chicho y al Bambam, no sabía que los necesitaba en mi vida hasta que llegaron. Finalmente, y más importante, agradezco a mi más grande bendición, a mi perrito Larguis. Eres lo máspreciado que tengo en mi vida.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1. Generalidades y motivación del estudio.....	1
1.2. Objetivos .....	4
1.2.1. Objetivos generales .....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Hipótesis.....	4
1.4. Ubicación y vías de acceso.....	5
1.5. Trabajos anteriores .....	5
<b>CAPÍTULO 2: MARGO GEOLÓGICO</b> .....	<b>12</b>
2.1. Contexto regional .....	12
2.1.1. Generalidades .....	12
2.1.2. Unidades estratigráficas.....	12
2.1.3. Unidades intrusivas.....	14
2.1.4. Tectónica regional y marco metalogénico.....	15
2.2. Contexto local .....	17
2.2.1. Rocas estratificadas.....	17
2.2.2. Batolito San Francisco.....	17
2.2.3. Geología Estructural .....	20
2.2.4. Complejo de brechas.....	22
2.2.5. Chimenea de brecha riolítica .....	26
2.2.6. Tipos de vetillas.....	26
2.2.7. Asociaciones de alteración hidrotermal y mineralización .....	28
<b>CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
3.1. Recopilación bibliográfica y selección de las secciones de estudio.....	32
3.2. Cartilla de mapeo y selección de muestras.....	34
3.3. Descripción macroscópica y estudio petrográfico .....	36
3.4. Análisis de datos geoquímicos .....	38
3.4.1. Análisis estadístico univariable y multivariable .....	39
<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS</b> .....	<b>44</b>
4.1. Descripción petrográfica .....	44
4.1.1. Calcopirita y su relación respecto a la alteración de tipo sericita gris verde.....	44
4.1.2. Relación de turmalina-molibdenita con sericita gris verde .....	46
4.1.3. Pirita y su relación respecto a la alteración de tipo cuarzo sericita .....	47
4.1.4. Presencia de bornita en PGR/PQM .....	47
4.2. Distribución de sulfuros en función de las zonas estudiadas .....	48
4.3. Análisis geoquímico multielemento.....	52
4.3.1. Análisis univariable: Elementos de interés .....	52
4.3.2. Estadística multivariable: Análisis de componentes principales.....	55
<b>CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN</b> .....	<b>64</b>
5.1. Resumen de datos.....	64

5.2.	Relación entre elementos y mineral huésped .....	64
5.2.1.	..... Factor	
3	.....	64
4.2.2.	Factor 6 .....	68
4.2.3.	Factor 7 .....	68
5.3.	Relación entre elementos de interés y alteraciones hidrotermales .....	70
5.4.	Comparación con el depósito de Río Blanco.....	72
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIÓN.....</b>		<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>75</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>83</b>
ANEXO A: Descripciones macroscópicas .....		83
1.	Sondaje LB200072.....	83
2.	Sondaje LB170039.....	91
3.	Sondaje LB150004.....	94
4.	Sondaje LB39606.....	97
5.	Sondaje LB180120.....	100
ANEXO B: Base de datos.....		103
ANEXO C: Base geoquímica .....		106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: Total de sondeos mapeados (Vivanco, 2022).....	34
Tabla 3.2: Tabla resumen con el detalle de las muestras seleccionadas en los sondeos inspeccionados.....	36
Tabla 3.3: Estadística básica para el control de los elementos analizados mediante ICP-OES. Se incluyen promedios, medianas, máximos, mínimos y desviaciones estándar.....	40
Tabla 3.4: Estadística básica para el control de los elementos analizados mediante ICP-MS. Se incluyen promedios, medianas, máximos, mínimos y desviaciones estándar. En amarillo se encuentran los elementos que son estudiados mediante el análisis univariable.....	41
Tabla 3.5: Valores propios de acuerdo con cada factor (PC) con su respectiva varianza acumulada. Datos obtenidos mediante el software ioGAS.....	42
Tabla 3.6: Matriz de correlación de cargas: Los elementos representados en celdas amarillas representan el factor asociado a cada variable, mientras que en negrita se observa una correlación positiva y en rojo una correlación negativa.....	43
Tabla B.1: Base de datos: Sondeo LB200072.....	103
Tabla B.2: Base de datos: Sondeo LB39606.....	103
Tabla B.3: Base de datos: Sondeo LB150004.....	103
Tabla B.4: Base de datos: Sondeo LB170039.....	104
Tabla B.5: Base de datos: Sondeo LB180120.....	105
Tabla C.6: Base de datos geoquímica: Parte 1.....	106
Tabla C.7: Base de datos geoquímica: Parte 2.....	107
Tabla C.8: Base de datos geoquímica: Parte 3.....	108
Tabla C.9: Base de datos geoquímica: Parte 4.....	109
Tabla C.10: Base de datos geoquímica: Parte 5.....	110
Tabla C.11: Base de datos geoquímica: Parte 6.....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.1: Distrito del megapórfido de Cu-Mo Río Blanco- Los Bronces. Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth©. ....5
- Figura 2.1: a) Localización de la región de estudio en relación con el “flat slab” de Chile central. b) Mapa geológico de los Andes de Chile central y Argentina. Solamente se muestran las principales fallas activas durante el Neógeno. c) Perfil geológico simplificado a la latitud de Santiago. (Farías et al., 2008). .... 13
- Figura 2.2: Franjas metalogénicas en el centro-norte de Chile. El distrito Río Blanco-Los Bronces se encuentra en la sub-franja sur entre Los Pelambres-El Pachón y El Teniente (destacado en rojo) (Modificado de Deckart et al., 2014, y de Sillitoe, 1992). .... 16
- Figura 2.3: Mapa geológico de la mina Los Bronces. En la figura se observan las principales litologías y estructuras presentes en la mina: el amplio afloramiento de la Unidad de Cuarzomonzonita (QM), las distintas brechas aflorantes en la actualidad, la presencia de lavas andesíticas (Formación Farellones) en la parte este y superior de la mina; y las estructuras principales y mayores (Andrade, 2015). Actualizada al 04/07/2013 preparado por Juan Jara, Superintendencia de Geología, Los Bronces, AngloAmerican Chile. .... 20
- Figura 2.4: Modelo de fallas principales y mayores. En el mapa se observa una vista en planta de la ubicación espacial de las Fallas Principales (azules) y Mayores (negras) definidas en el Modelo Estructural 2013 de la mina Los Bronces (Carrizo et al., 2013). A su vez, se observan vistas generales de las estructuras, una oblicua hacia el NE y una lateral hacia el Este, en la cual se nota la modelación en profundidad de estas. .... 22
- Figura 2.5: Ejemplos de unidades de brechas en Los Bronces: A) Brecha Fantasma. B) Brecha Central. C) Brecha Infiernillo. D) Brecha Anhidrita. E) Brecha Gris Fina. F) Brecha Donoso. (Vargas, 2015) ..... 23
- Figura 2.6: Algunas vetillas descritas: A) Veta tipo EB. B) Veta tipo A. C) Veta tipo B. D) Veta tipo C. E) Veta tipo C1. F) Veta tipo C2. G) Veta tipo C3. H) Veta tipo D. I) Veta tipo D tardía (reglilla está en centímetros) (Vargas, 2015). .... 31
- Figura 3.1: SECCIÓN 99600 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. La secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante al desarrollo de las alteraciones y la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. La Brecha Fantasma se desarrolla en bordes del Complejo Pórfido PGR/PQM. Continuidades de leyes de cobre y molibdeno entre los sondajes LB200072, LB200002 y LB 40006. .... 33
- Figura 3.2: SECCIÓN 99700 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. Secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante a las alteraciones de la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. Brecha de Contacto Intrusivo en profundidad se proyecta hacia brechas similares en superficie. .... 33

- Figura 3.3: SECCIÓN 99800 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. La secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante al desarrollo de las alteraciones y la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. Altos valores de Molibdeno se asocian a Turmalina Transicional sobre SGV .....34
- Figura 3.4: La selección de cada intervalo es función de las características geológicas homogéneas principales (1), Litología (2), Asociaciones de Alteración, Intensidades y Fábrica (3) y (4), Incrementos del Total Sulfuro y Porcentajes Relativos de las especies sulfuradas (5). El Techo de Sulfatos conduce a las intensidades de procesos supérgeno. La unidad de medida en la tabla es % asociado al porcentaje volumétrico de la alteración o mineralización en la roca. ....35
- Figura 3.5: Muestras seleccionadas: Ordenadas hacia la derecha. En el recuadro se observa la zona donde se le hará el corte (En anexo se puede ver mayor detalle). .....38
- Figura 4.1: Fotomicrografías en luz polarizada plana del Pórfido Diorítico con alteración sericita gris verde (SGV). (a) Anhidrita en un fenocristal de plagioclasa alterado junto a biotita secundaria inmersos en una masa fundamental. XLP, 50X. (b) Fenocristales de plagioclasa en una masa fundamental de anhidrita, albita, biotita secundaria y opacos. XLP, 50X. Ambas en luz transmitida.....45
- Figura 4.2: Fotomicrografías en luz polarizada plana del comportamiento de la calcopirita. (a) Calcopirita diseminada en la masa fundamental. LLP, 100X. (b) Calcopirita en tramo de microvetilla. LLP, 100X. Ambas en luz reflejada. ....45
- Figura 4.3: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la asociación calcopirita-molibdenita en SGV. (a) Molibdenita con calcopirita asociada. LPP, 200X. (b) Calcopirita-molibdenita local en matriz. LPP, 200X. Ambas en luz reflejada.....46
- Figura 4.4: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la matriz tipo de una brecha hidrotermal de turmalina con mineralización de molibdenita, especularita y calcopirita. (a) Matriz compuesta por turmalina y cuarzo. XLP,50X (luz transmitida) (b) Molibdenita, especularita y calcopirita entrecrecidas. LPP, 200X (luz reflejada).. .....46
- Figura 4.5: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la vetilla de cuarzo-pirita. (a) Vetilla de cuarzo con mineralización de opacos (pirita) en sutura con escaso yeso-anhidrita. XLP, 50X (luz transmitida) (b) Pirita masiva en vetilla. LPP, 100X (luz reflejada) .....47
- Figura 4.6: Fotomicrografía en luz polarizada plana del cuerpo porfídico asociado a la mineralización de bornita. (a) Pórfido con fenocristales de plagioclasa, ortoclasa, biotita, anhidrita y sericita. XLP, 50X (luz transmitida). (b) Calcopirita entrecrecida con bornita. LPP,500X (luz reflejada). ....48
- Figura 4.7: Izquierda: Distribución de pirita (%py) respecto al total de sulfuros vs zona de alteración. Derecha: Distribución de calcopirita (%cp) respecto al total de sulfuros vs zona de alteración.....49

Figura 4.8: Histograma de zona de alteración (ZA).	49
Figura 4.9: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de litología. Derecha: Histograma de muestras de zonas de litologías. Tipo de letra es distinto.	50
Figura 4.10: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de alteración en el Pórfido Diorítico. Derecha: Histograma de muestras de zonas de alteración en el Pórfido Diorítico.	50
Figura 4.11: Leyes de cobre vs zona de alteración en el Pórfido Diorítico.	51
Figura 4.12: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de alteración en la Cuarzomonzonita. Derecha: Histograma de muestras de zonas de alteración en la Cuarzomonzonita.	51
Figura 4.13: Izquierda: Distribución de la concentración de cobre (ppm) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de cobre (ppm) respecto a la zona de litología (ZL).	52
Figura 4.14: Izquierda: Histograma de zona de alteración (ZA). Derecha: Histograma de zona de litología (ZL) de los datos geoquímicos utilizados.	53
Figura 4.15: Izquierda: Distribución de la concentración de molibdeno (ppm) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de molibdeno (ppm) respecto a la zona de litología (ZL).	53
Figura 4.16: Izquierda: Distribución de la concentración de plata (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de plata (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).	54
Figura 4.17: Izquierda: Distribución de la concentración de oro (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de oro (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).	54
Figura 4.18: Izquierda: Distribución de la concentración de cobalto (ppm) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de cobalto (ppm) respecto a la zona de litología (ZL).	55
Figura 4.19: Izquierda: Distribución de la concentración de renio (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de renio (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).	55
Figura 4.20: Izquierda: Distribución del Factor 1 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 1 respecto a la zona de litología (ZL).	56
Figura 4.21: Izquierda: Distribución del Factor 2 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 2 respecto a la zona de litología (ZL).	57
Figura 4.22: Izquierda: Distribución del Factor 3 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha:	

Distribución del Factor 3 respecto a la zona de litología (ZL).	58
Figura 4.23: Izquierda: Distribución del Factor 4 respecto a la Zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 4 respecto a la Zona de litología (ZL).	58
Figura 4.24: Izquierda: Distribución del Factor 5 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 5 respecto a la zona de litología (ZL).	59
Figura 4.25: Izquierda: Distribución del Factor 6 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 6 respecto a la zona de litología (ZL).	59
Figura 4.26: Izquierda: Distribución del Factor 7 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 7 respecto a la zona de litología (ZL).	60
Figura 4.27: Izquierda: Distribución del Factor 8 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 8 respecto a la zona de litología (ZL).	61
Figura 4.28: Izquierda: Distribución del Factor 9 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 9 respecto a la zona de litología (ZL).	61
Figura 4.29: Izquierda: Distribución del Factor 10 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 10 respecto a la zona de litología (ZL).	62
Figura 4.30: Izquierda: Distribución del Factor 11 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 11 respecto a la zona de litología (ZL).	62
Figura 4.31: Izquierda: Distribución del Factor 12 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 12 respecto a la zona de litología (ZL).	63
Figura 4.32: Izquierda: Distribución del Factor 13 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 13 respecto a la zona de litología (ZL).	63
Figura 5.1: Tendencia de concentraciones de Cu, Ag, Au, Se, In respecto a la alteración SGV junto al histograma de la alteración. Los intervalos están asociados a un porcentaje volumétrico % (intensidad de la alteración). En particular para la sericita gris verde (SGV). Intervalo 1: $SGV \leq 8$ , Intervalo 2: $8 < SGV \leq 23$ , Intervalo 3: $23 < SGV \leq 30$ e Intervalo 4: $SGV > 30$ , mientras que la cuarzo-sericita (QS). Intervalo 1: $QS \leq 5$ , Intervalo 2: $5 < QS \leq 19$ , Intervalo 3: $19 < QS \leq 43$ e Intervalo 4: $QS > 43$ .	66
Figura 5.2: Tendencia de concentraciones de Cu, Ag, Au, Se, In respecto a la alteración QS junto al histograma de la alteración. Los intervalos están asociados a un porcentaje volumétrico % (intensidad de la alteración). En particular para la sericita gris verde (SGV). Intervalo 1: $SGV \leq 8$ , Intervalo 2: $8 < SGV \leq 23$ , Intervalo 3: $23 < SGV \leq 30$ e Intervalo 4: $SGV > 30$ , mientras que la cuarzo-sericita (QS). Intervalo 1: $QS \leq 5$ , Intervalo 2: $5 < QS \leq 19$ , Intervalo 3: $19 < QS \leq 43$ e Intervalo 4: $QS > 43$ .	67
Figura 5.3: Tendencia de concentraciones de Mo, Re y Cd respecto a la alteración QS. Mismos intervalos del Factor 3.	69

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1. Generalidades y motivación del estudio

Los depósitos de tipo pórfido cuprífero—abreviados aquí PCD, del inglés *Porphyry Cu deposits*—son depósitos de sulfuros de cobre y molibdeno consistentes en mineralización disseminada y en vetillas tipo stockwork, la cual fue emplazada en distintos tipos de rocas encajantes alteradas por la circulación de soluciones hidrotermales, lo que genera patrones de alteración zonados regularmente y de forma concéntrica (Lowell y Guilbert, 1970; Sillitoe, 2010)

Los PCD son la principal fuente mundial de cobre y molibdeno, y además de cantidades significativas de Au, Ag, Re, Se, Te, As y Pd (Signer et al., 2008; John y Taylor, 2016; Crespo et al., 2020; Brodbeck et al., 2022). Además, son fuentes potenciales de elementos críticos que incluyen Co, In, Bi, Nb, U, elementos de tierras raras (REE) y elementos del grupo del platino (PGE). En general, la producción cuprífera mundial y en específico, la chilena proviene de la explotación de pórfidos cupríferos, siendo los pórfidos cupríferos más comunes en Chile los de Cu-Mo y luego, los de Cu-Au (COCHILCO, 2016). Los PCD desempeñan un rol fundamental como proveedor de estos elementos a la demanda del mundo moderno (John y Taylor, 2016).

Sillitoe (2010) define a los PCD como depósitos que se encuentran estrechamente relacionados con plutones compuestos subyacentes y emplazados a paleoprofundidades de ~5 a 15 km, cuyas cámaras de alimentación para los magmas y fluidos forman intrusiones porfídicas y enjambres de diques a profundidades <3 km, las cuales son responsables de la mineralización asociada.

Los sistemas de pórfido de cobre se forman como resultado de una cadena de procesos magmático-hidrotermales, partiendo por la inyección de magmas oxidados, de afinidad calco-alcalina, y saturados en agua y otros volátiles tales como Cl y S (Sillitoe, 2010). Estos componentes volátiles se exsuelven del magma como fluidos acuosos ricos en Cl, S y metales, los cuales son inyectados desde la parte superior de los plutones parentales subyacentes. La secuencia de eventos de alteración-mineralización es principalmente una consecuencia del enfriamiento progresivo de los plutones parentales subyacentes, y de la circulación de los fluidos magmático-hidrotermales. El enfriamiento y cristalización de los plutones genera la exsolución de una fase rica en líquido hipersalino y otra rica en vapor, responsables de la alteración potásica y la mineralización sulfurada contenida en profundidad, de y la alteración argílica avanzada suprayacente temprana, respectivamente. La evolución del fluido hipersalino en profundidad da paso, a <350°C, a una sola fase de líquido de baja a moderada salinidad que causa la alteración sericita-clorita y cuarzo-sericita, y la mineralización sulfurada asociada. Este mismo líquido también genera la mineralización de las partes periféricas de los sistemas de pórfido, incluidos los litocaps suprayacentes. El declive térmico progresivo de los sistemas combinado con la degradación de la

paleosuperficie synmineral da como resultado la sobreimpresión característica (telescópica) y la reconstitución parcial o total de los tipos de alteración-mineralización más antiguos por los más jóvenes. No se requiere agua meteórica para la formación de esta secuencia de alteración-mineralización, aunque su ingreso tardío es, por lo general, común.

Más de la mitad de los 25 PCD más grandes conocidos a nivel mundial, definidos en términos de metal de cobre contenido, se formaron durante tres períodos de tiempo principales: el Paleoceno al Eoceno, el Eoceno al Oligoceno y el Mioceno medio al Plioceno (Cooke, 2005). Estos depósitos gigantes se agrupan mayoritariamente en tres provincias: el centro de Chile, el norte de Chile, y el suroeste de Arizona y norte de México. Factores clave para la formación de muchos de estos depósitos incluyen ambientes tectónicos compresivos, corteza continental engrosada, y alzamiento y la erosión activa.

Dentro de este contexto amplio, los PCD ocurren en clusters cuyos tiempos de formación pueden cuales alcanzar hasta ~5 millones de años (Ma) en El Teniente en Chile Central (Maksaev et al., 2004; Cannell et al., 2005) y Chuquicamata en el norte de Chile (Ballard et al., 2001; Rivera y Pardo, 2004; Campbell et al., 2006). Estos periodos de formación de varios millones de años indican que los plutones parentales subyacentes tienen una actividad prolongada en el tiempo, aunque intermitentes en algunos casos, con formación de distintos “focos” o pórfidos de Cu en diferentes localidades de un distrito, y en distintos momentos a lo largo del tiempo.

El yacimiento Los Bronces en la Cordillera de los Andes de Chile Central, objetivo de estudio de esta Memoria, forma parte del megadepósito de pórfido de cobre-molibdeno Río Blanco-Los Bronces ubicado en la franja del Mioceno tardío al Plioceno temprano. La mineralización de cobre y molibdeno en los Bronces están asociadas al emplazamiento de cuerpos de brechas hidrotermales y pórfidos que fueron favorecidos por la existencia de diversas estructuras. El depósito presenta una alta complejidad en la distribución de eventos magmáticos e hidrotermales debido a la sobreimpresión de pulsos porfídicos mineralizadores (Vivanco, 2022).

Estudios geocronológicos en el distrito Río Blanco-Los Bronces indican que el sistema se encuentra asociado al batolito San Francisco de edad 14,8 Ma a 11 Ma (Deckart et al., 2010). En particular, en el yacimiento de Los Bronces se distinguen dos eventos de actividad hidrotermal (Deckart et al., 2014). El primer evento, aparentemente de carácter no mineralizante, ocurrió alrededor de 13-12 Ma ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en sericita), mientras que el segundo y principal evento mineralizador ocurrió entre 8,5-4,5 Ma (Re-Os en molibdenita). Por otra parte, en el yacimiento de Río Blanco, edades obtenidas en distintas vetas de molibdenita del cluster Río Blanco indican un rango de edad de  $5.94 \pm 0.03$  a  $4.50 \pm 0.02$  Ma (Deckart et al., 2013) y de  $5.31 \pm 0.03$  a  $6.26 \pm 0.04$  Ma (Mathur et al., 2001), lo que sugiere un intervalo de tiempo de al menos 1,82 Ma para la actividad hidrotermal según el estudio. La evolución espaciotemporal general de la actividad intrusiva e hidrotermal en Río Blanco-Los Bronces varía de más antigua en el oeste a más joven hacia el este.

A pesar de los múltiples avances en los últimos 50 años, todavía existen interrogantes respecto al origen y procesos de formación del sistema PCD de Río Blanco-Los Bronces, y en particular, la relación entre los distintos pulsos de alteración hidrotermal y mineralización económica, y su ocurrencia respecto de las distintas unidades litológicas presentes. Históricamente, el modelo geológico más relevante en la mina Los Bronces ha sido el modelo litológico asociado a las brechas hidrotermales, debido a sus grandes concentraciones de mineralización económica. Se definen las zonas con mejores leyes como resultado de procesos de lixiviación de la pirita asociada a la alteración de tipo cuarzo-sericita (QS) y/o alteración supérgena o secundaria, lo que generó transporte y reprecipitación de cobre y otros metales en cuerpos de mayor permeabilidad. En la actualidad, la mina Los Bronces se encuentra en explotación casi en el límite entre la zona primaria-secundaria, y al transitar al ambiente primario no se observa el mencionado control de la litología en la mineralización. Por el contrario, se ha observado evidencia que apunta a un posible control del modelo de alteración respecto la mineralización económica en la zona de ambiente primario.

Estudios anteriores en PCD muestran que la distribución y concentración de diversos metales, entre ellos el Cu, Mo, Re, Pd, Au y Ag presentan un significativo control de la alteración hidrotermal. Por ejemplo, Rivas et al. (2021) realizaron estudios en Chuquicamata y reportaron que la calcopirita, bornita y pirita, y sus metales traza contenidos, varían significativamente entre las distintas asociaciones de alteración hidrotermal, siendo potencialmente controlados por varios factores, incluidos la temperatura, el pH,  $f_{O_2}$ ,  $f_{S_2}$  y la presencia de fases co-cristalizantes (Rivas et al., 2021). Por otro lado, en el yacimiento Río Blanco, parte del sistema Río Blanco-Los Bronces, Crespo et al. (2018, 2020) concluyeron tanto de los sulfuros como elementos contenidos tales como Pd, Au y Ag se relacionan fuertemente al tipo de alteración. En particular, y en cuanto a la Ag (Crespo et al., 2020), la mayor concentración de Ag en la calcopirita está asociada con la alteración potásica de alta temperatura, disminuyendo ligeramente en la zona de sericita gris-verde, y esta última tiene la mayor concentración de Ag en la bornita. La pirita de la alteración cuarzo-sericita presenta bajo contenido de Ag, aunque las concentraciones de otros elementos como el Co y Au pueden ser significativas.

Dentro de este contexto, esta Memoria de Título tiene como motivación principal determinar la relación entre la alteración hidrotermal y la mineralización económica en la mina Los Bronces, y además aportar al conocimiento del grado de control de la litología, alteración hidrotermal y tipo de mineralización. Para ello este estudio contempló, primero, la revisión bibliográfica de un conjunto de informes internos y bases de datos de la empresa. Luego se prosiguió con la inspección y evaluación de un nuevo sistema de mapeo de cinco sondajes realizado por Vivanco (2022), con el propósito de relacionar los datos disponibles y la geología de la zona de estudio, para así luego enfocar el muestreo de estos sondajes para la posterior realización y observación de cortes transparentes-pulidos representativos de cada asociación paragenética. Finalmente, y en función de la integración de datos de

mapeo geológico con datos geoquímicos disponibles de dos de los sondajes, se realizó un análisis estadístico de elementos de interés económico (Cu, Ag, Au, Mo, Co, Re) y un análisis multivariable mediante el método de componentes principales (PCA). El alcance final es aportar al conocimiento de los distintos pulsos de alteración hidrotermal y mineralización económica, los elementos químicos de interés asociados a estos, y su ocurrencia respecto de las distintas unidades litológicas presentes.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivos generales**

El objetivo general de esta Memoria de Título se centra en proponer, en base información geológica y base de datos de geoquímica disponible, la relación entre la alteración hidrotermal y la mineralización de las secciones 99600 N, 99700 N y 99800 N de la mina Los Bronces, y determinar el grado de control de la alteración hidrotermal sobre el tipo de mineralización y la distribución de elementos de interés económico (Cu, Mo, Ag, Au, Co y Re).

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Compilar y validar la información geológica (litología, alteración y mineralización) de las secciones a estudiar mediante la revisión de antecedentes e informes disponibles y la descripción de sondajes.
- Determinar la relación entre mineralización metálica y alteración hidrotermal en sección delgada, y contrastarla con las observaciones realizadas en los sondajes estudiados.
- Analizar mediante técnicas estadísticas el comportamiento geoquímico univariable de elementos de interés (Cu, Mo, Au, Ag, Co, Re), respecto a las zonas de litología y alteración utilizando la base de datos compilada.
- Realizar un estudio de distribución de elementos de interés económico respecto a la alteración hidrotermal y litología mediante un Análisis de Componentes Principales.
- Establecer, en base a toda la información analizada, los controles litológicos y de alteración de la mineralización principal y sub-productos asociados en Los Bronces.

## **1.3.Hipótesis**

Se propone que la ocurrencia y distribución de elementos de interés económico (Cu, Mo, Ag, Au, Co y Re) presentes en los distintos sulfuros en el yacimiento de Los Bronces varían en función de la litología, el tipo y la intensidad de la zona de alteración hidrotermal,

y sobreimposición de eventos hidrotermales. La partición de dichos elementos de interés económico estaría controlada por factores tales como la temperatura, salinidad, pH y condiciones redox durante la génesis del depósito.

#### 1.4. Ubicación y vías de acceso

El sector Los Bronces se ubica a unos 65 km al noreste de la ciudad de Santiago, sobre la Cordillera de los Andes, inmediatamente al oeste del sector de Río Blanco en el Valle San Francisco a una altura que va desde los 3600 hasta los 4200 m s.n.m. entre las coordenadas geográficas 33°08' latitud sur y 70°15' longitud oeste, cercano a la frontera con Argentina (Figura 1.1).

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

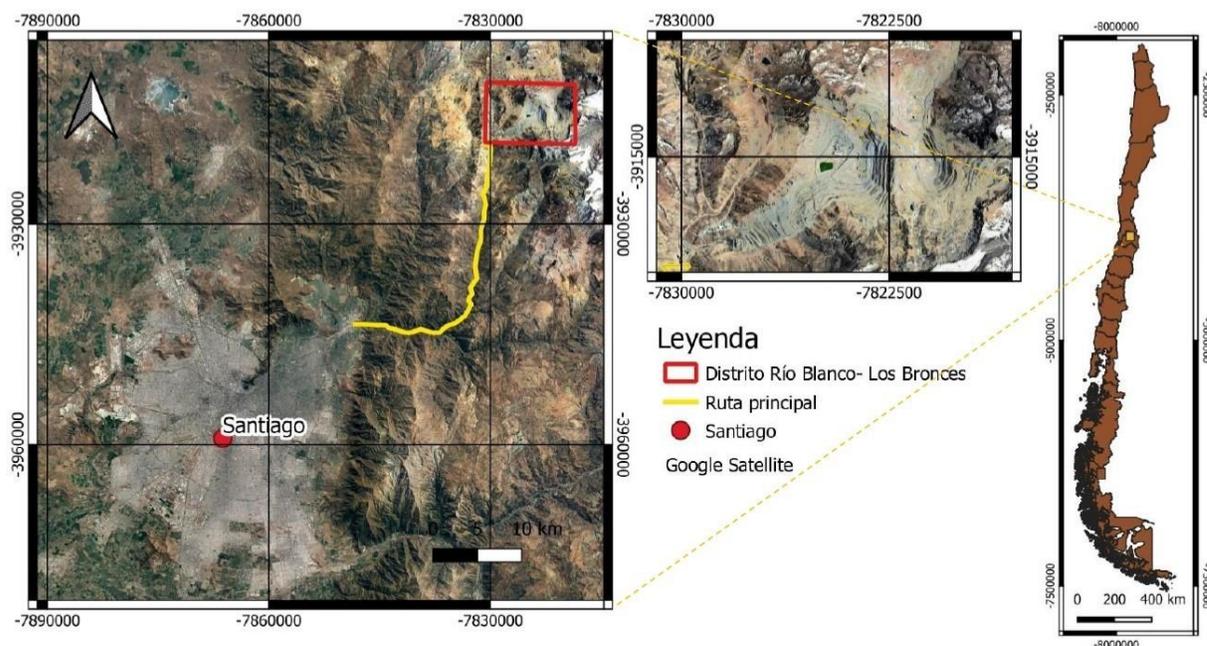


Figura 1.1: Distrito del megapórfido de Cu-Mo Río Blanco- Los Bronces.

Elaboración propia en base a imágenes de Google Earth©.

#### 1.5. Trabajos anteriores

El distrito Cu-Mo Río Blanco-Los Bronces ha sido foco de exploraciones y actividades mineras desde su descubrimiento en 1864 (Irrarrazaval et al., 2010). La producción a pequeña escala comenzó en 1906, mientras que la producción de gran escala se inició en 1980. Actualmente, el depósito de Río Blanco-Los Bronces se explota de forma subterránea y a través de rajos por las compañías mineras CODELCO (sectores Río Blanco, Don Luis y Sur-Sur) y Anglo American (sector Los Bronces, Infiernillo y Donoso). En 2021 Los Bronces

produjo 330.000 toneladas de cobre fino, entre cátodos de alta pureza y cobre contenido en concentrado, mientras que al año siguiente la producción disminuyó en un 21% a 273.400 debido a las menores leyes previstas, un menor procesamiento de planta, como resultado de menor disponibilidad de agua y menor recuperación de cobre esperados (Angloamerican, 2022).

Debido a su interés científico y económico, el distrito de Río Blanco-Los Bronces ha sido estudiado en detalle en las últimas cinco décadas. Dichos estudios, asociados al distrito y sus depósitos, se destacan y resumen a continuación:

- **Alfaro (1969)**. Realiza un estudio geológico de la Mina Los Bronces donde propone el origen hidrotermal de las brechas presentes en esa zona de estudio. Para el cuerpo de brechas determinó una extensión alargada N-S y dimensiones del orden de 2,1 x 0,6 km. Este autor identificó tres zonas de brechas hidrotermales: a) zona norte y sur del complejo de brechas, clastos angulares a subangulares, matriz menor al 15 % y mineralización masiva de sulfuros; b) zona central, clastos subangulares a subredondeados, matriz entre 30 a 60 % y mineralización diseminada de sulfuros finos en la matriz y c) fase tardía de emplazamiento de turmalina negra, constituyendo porcentajes del orden de 40 a 80 % en el volumen de la brecha.
- **López y Vergara (1982)**. Determinan la abundancia de tierras raras y razones isotópicas de Sr y Nd en granodioritas del Plutón Río Blanco-San Francisco, obteniendo razones similares a granodioritas del Terciario superior y andesitas pliocuaternarias estériles de la zona. Sugieren que el depósito es el resultado de un proceso de concentración metálica, principalmente, por fluidos hidrotermales durante las fases finales de la evolución magmática y no por una fuente rica en metal.
- **Warnaars et al. (1985)**. Describen el complejo Los Bronces como un complejo de brechas sobreimpuesto a un sistema porfídico, el cual se emplaza al este del batolito San Francisco (intrusión peraluminosa y de carácter calco-alcalina). Se presentan edades de formación para el depósito de 7,4 a 4,9 Ma. Definen siete tipos de brechas en base a relaciones de corte, de más antigua a más joven: Brecha Fantasma, Brecha Central, Brecha Occidente, Brecha Infiernillo, Brecha de Anhidrita, Brecha Gris Fina y Brecha Donoso.
- **Skewes y Holmgren (1993)**. Presentan datos micro termométricos de inclusiones fluidas que permiten inferir que, entre los 11,3 y 4,9 Ma, se produjeron entre 1500 a 2000 m de erosión sobre la roca intrusiva que hospeda a la Brecha Donoso, que y durante los últimos 4,9 Ma se han erosionado entre 500 y 1000 m de rocas sobre esta brecha. Postulan que la tasa de erosión y de la migración del arco magmático hacia el este en el Plioceno se debió en parte al alzamiento tectónico por la disminución del ángulo de subducción, lo que aceleró el enfriamiento del sistema magmático y liberó gran cantidad de fluidos, los cuales fueron responsables de la formación de la Brecha Donoso y en general de las brechas hidrotermales en Chile Central.

- **Serrano et al. (1996)**. Proponen que durante un periodo menor a 3 Ma ocurren los emplazamientos del pórfido Río Blanco-Los Bronces y las brechas mineralizadas, en conjunto con cambios en la química del magma y engrosamiento cortical durante el Mioceno. Además, señala que aproximadamente el 50 % del Cu contenido en el depósito ocurre en la matriz de brechas, en stockwork y diseminado en una zona de alteración potásica desarrollada durante el emplazamiento de brechas ricas en biotita en el Complejo Río Blanco y la intrusión del Pórfido Cuarzomonzónico. El otro 50 % estaría contenido en brechas de turmalina.
- **Vargas et al. (1999)**. Relacionan temporal y espacialmente las brechas, litología de las rocas encajadoras y la evolución de las vetillas de la roca de caja como de fragmentos de brechas del sector Río Blanco y Sur-Sur respaldado por petrografía, la geoquímica y el estudio de inclusiones fluidas. Ellos consideran que las brechas con matriz de turmalina se transforman en profundidad en brechas de matriz de biotita con sulfuros y feldespato potásico, y que en Sur-Sur se encuentran cortadas por vetillas tempranas de cuarzo con sulfuros.
- **Skewes et al. (2003)**. Estudian la Brecha Donoso (dentro de 15 brechas que señalan en el sistema Río Blanco-Los Bronces), y determinan una edad entre 5,2 y 4,9 Ma, con dimensiones de 500 por 700 m, a 3670 m sobre el nivel del mar. Describen la mineralogía de la matriz, los tipos de clastos y su alteración, además de la mineralización metálica asociada a la brecha. Asocian este tipo de brecha a una ley promedio de 1.2 % de cobre. Indican que el origen de la brecha es causado por la exsolución de fluidos magmáticos durante el enfriamiento del plutón, y que la mineralización metálica precipita de estos mismos fluidos.
- **Sillitoe (2003 a y b)**. En dos informes inéditos a la compañía Angloamerican, cuyo propósito fue orientar la exploración hacia blancos de pórfidos cupríferos en torno a la mina Los Bronces, el autor propone realizar sondajes profundos que permitan reconocer la alteración potásica la cual se debiera ubicar bajo los 3100 m de elevación. Propone realizar un mapeo geológico orientativo para reconocer áreas de vetas y vetilleos polidireccionales en las rocas encajadoras del Complejo de brechas Los Bronces, un centro de alteración y mineralización prominente en el contexto del modelo de Pórfidos cupríferos.
- **Jara (2005)**. Realiza un estudio de la distribución y composición de la bornita, en relación con la génesis de Los Bronces. Define a lo menos dos eventos generadores de bornita. Un primer evento temprano asociado a vetillas tipo A y B, tiene alteración potásica con temperaturas mayores a 460 °C, mientras que un segundo evento tardío asociado a vetas tipo D con dirección N50°E, la bornita se presenta reemplazando a calcopirita en un ambiente a temperaturas menores a 230 °C. Además, concluye a modo de recomendación, que los centros de bornita reconocidos en profundidad principalmente en el extremo sur indicarían que la mina tiene un potencial de crecimiento en dicha

profundidad.

- **Deckart et al. (2005)**. Estudian la cronología de los eventos magmáticos e hidrotermales mediante métodos de datación U-Pb y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ . Indican que la mineralización de Cu-Mo está asociada temporalmente al emplazamiento de, al menos, el pórfido cuarzomonzónico, el pórfido feldespático y el pórfido Don Luis del grupo de los pórfidos tardíos, y fue, por lo tanto, contemporánea al ascenso de fundidos dacíticos a niveles subvolcánicos. Además, concluyen que la mayoría de las edades Ar-Ar y K-Ar publicadas anteriormente corresponden a edades con efecto de reseteo termal producto de la extensa actividad subvolcánica post-mineralización.
- **Frikken et al. (2005)**. Identifican una zonación mineralógica e isotópica en Río Blanco y en las brechas de turmalina de Sur-Sur, obteniendo evidencia de mezcla de fluidos, separación de fases, oxidación e interacción agua-roca durante la formación de la brecha Sur-Sur. Se reconoce una gradación en profundidad de las brechas, pasando de brechas cementadas por turmalina y alteración de cuarzo-sericita-turmalina a brechas cementadas por biotita en profundidad, similar a lo observado por Vargas et al. (1999). Además, se obtienen valores bajos de  $\delta^{34}\text{S}$  en sulfuros que se encuentran en muestras de entre 3700 y 4000 m de elevación, asociados a las leyes más altas de cobre en la brecha de turmalina.
- **Barros (2007)**. Mediante estudios de petrografía, calcografía, técnicas de absorción atómica y microsonda electrónica, realiza estudio de distribución de As, Bi, Pb, Sb, Ag, Au en el sector Los Bronces. Concluye que estos elementos ocurren en etapas tardías del yacimiento, hospedándose en vetas (tardías) con orientación NE en el sector norte de la mina con grandes concentraciones, y con orientación NW en el sector Sur en menor concentración.
- **Irrarázaval et al. (2010)**. Describen la historia del descubrimiento del yacimiento Los Sulfatos, ubicado en la zona sur del depósito Río Blanco-Los Bronces, el cual corresponde a un depósito con mineralización de cobre-molibdeno que está relacionada a dos centros porfídicos y a un complejo de brechas magmático-hidrotermal. Indican que las claves del descubrimiento se deben a un mapeo en detalle, perforación profunda, y pensamiento geológico innovador.
- **Toro et al. (2012)**. Definen el distrito mediante tres dominios geológicos: bloque Los Piches-Ortiga, bloque San Manuel-El Plomo, bloque Río Blanco-Los Bronces-Los Sulfatos, en los cuales describen litologías y alteración hidrotermales presentes, presentando un modelo evolutivo del sistema. Además, se indica que en el bloque Río Blanco-Los Bronces-Los Sulfatos, entre el 20 y 30 % del cobre está asociado a brechas cementadas con material ígneo e hidrotermal; también señala evidencias del carácter sin-tectónico de la actividad magmática e hidrotermal.
- **Carrizo et al. (2012)**. Determinan tres fallas maestras en el distrito Río Blanco-Los Bronces: Falla San Francisco, Falla Río Blanco y Falla Yerba Loca. Estas corresponden

a fallas inversas de alto ángulo, de traza sinuosa y de orientación NS, responsables del alzamiento del margen occidental de Los Andes en la región en estudio. Dichas fallas corresponden a fallas ciegas, cuya expresión, a escala distrital, en superficie está evidenciada por pliegues de propagación de falla formados en las rocas neógenas. La estructura del yacimiento es interpretada por emplazamiento de un batolito en el corazón de una zona de transferencia entre dos fallas inversas NS, donde los cuerpos mineralizados se ubican en el corazón de una estructura general de anticlinal expresado tanto en las rocas de la Formación Abanico como Farellones. Asimismo, fallas de rumbo de orientación NE dislocan los cuerpos mineralizados en la zona de transferencia.

- **Carrizo et al. (2013)**. Realizan un modelo de estructuras presentes en sector Los Bronces. Dividen la zona en 7 dominios en función de estructuras mayores y menores. Identificando las fallas mayores: Falla Norte (E-W), Falla Central (N60°E), Falla Sur (N60-65°E), Falla Infiernillo (N-S) y Falla Infiernillo 2 (N-S). Además, generan un modelo 3D con ubicación de fallas principales y estructuras.
- **Piquer y Skármeta (2012)**. Presentan un nuevo modelo que describe la evolución tectónica de los Andes Central en Chile, en el área alrededor del sistema porfídico Río Blanco-Los Bronces. Sugieren que la evolución tectónica del área estaría fuertemente controlada por un sistema de fallas oblicuas NW-NNW y NE pre-mineral que habría originado fallas normales. Estas controlarían la separación de Abanico en dos subcuencas. Este sistema habría sido selectivamente reactivado durante la posterior compresión, donde las fallas NW-NNW muestran un movimiento inverso-sinistral, mientras que las fallas NE muestran un movimiento principalmente dextral. Esta reactivación habría ocurrido al mismo tiempo que el depósito de la Formación Farellones y emplazamiento del batolito Río Blanco-San Francisco, cuyos últimos pulsos están relacionados genéticamente con la formación del cluster Río Blanco-Los Bronces.
- **Deckart et al. (2013)**. Mediante nuevas dataciones de U-Pb, Re-Os y termocronología  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , redefine la evolución tiempo-espacio en el pórfido Río Blanco-Los Bronces con nuevas edades.
- **Deckart et al. (2014)**. Mediante nuevas dataciones mediante: U-Pb, Re-Os y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , en sector Río Blanco-Los Bronces, para honrar en conocimiento acerca del tiempo de duración de la actividad hidrotermal en el cluster. Se datan los sectores El Plomo en el extremo norte, Los Piches en el extremo sur y San Manuel y Los Bronces mina en el centro. Las edades más antiguas se obtienen en Los Piches con edades U-Pb de  $10,8 \pm 0,1$  y  $13,4 \pm 0,1$  Ma. En Los Bronces se tiene un rango de edad para los pórfidos de 8,49 a 6,02 Ma (U-Pb). Por otra parte, en Río Blanco se tiene un reseteo general de las edades Ar/Ar, el cual no fue reconocido en Los Bronces, donde las edades Ar/Ar usualmente reflejan la actividad hidrotermal relacionada a la intrusión de pórfidos. Además, propone una relación con los patrones presentados en el distrito

porfídico Los Pelambres-El Pachón y se establecen diferencias de edades de más antiguo a más joven.

- **Piquer et al. (2015)**. El estudio describe la evolución estructural de la Cordillera de Chile central del distrito Río Blanco-Los Bronces y su relación con el emplazamiento de cuerpos magmáticos y depósitos minerales. La evolución tectónica de este segmento andino estuvo fuertemente controlada por sistemas de fallas a escala regional, orientados oblicuamente al eje norte-sur del orógeno. Estas fallas de dirección NW y NE estuvieron activas como fallas normales durante el Eoceno tardío-Oligoceno, y controlaron la compartimentación de la cuenca volcanotectónica de Abanico en subcuencas individuales con características volcanosedimentarias, facies y espesores. Las fallas se reactivaron selectivamente durante la contracción este-oeste del Mioceno, con las fallas de dirección NW muestran un movimiento sinistral inverso compuesto y las fallas de dirección NE muestran principalmente movimientos de deslizamiento dextral. Además, indica que se habría desarrollado flujos de fluidos magmáticos e hidrotermal, provenientes de estructuras oblicuas preexistentes y, a su vez, la ruptura de la falla fue impulsada por altas presiones de fluidos.
- **Dieguéz (2015)**. Estudio de la distribución del molibdeno y renio en el depósito Los Sulfatos, ubicado en el distrito Río Blanco-Los Bronces. Se concluye que los sectores que presentan mayor concentración de renio son aquellos que pertenecen a litologías tipo porfídico y andesitas, y a las alteraciones sericita y potásica (biotita). Esto es consecuente con estudios anteriores y muestra que la molibdenita aumenta su contenido de Re en la medida que la temperatura de formación sea menor, es decir, pasando de alteraciones de mayor a menor temperatura, este mineral tiende a aumentar su contenido de Re.
- **Vargas et al. (2015)**. Estudio de la mineralización de plata, y un modelo de distribución de ésta, en el sector Los Bronces del distrito Río Blanco-Los Bronces. El trabajo se divide en dos etapas. Una primera parte dedicada al estudio de las fases mineralógicas portadoras de plata. Una segunda etapa dedicada al estudio del comportamiento espacial de la plata, y el posterior desarrollo de un modelo de distribución de las leyes de plata en el yacimiento. Los resultados de interés indican presencia de plata en cuatro minerales: Freibergita, Matildita, Berryita, Hessita. Todos los minerales están asociados a eventos de mineralización en vetas tardías del sistema. La zona que concentra el mayor contenido de Ag corresponde a Los Bronces Sur, aunque también existen zonas de interés en Donoso debido a su concentración y al estar ubicadas dentro del plan de desarrollo de la mina.
- **Crespo et al. (2018)**. Estudio del depósito Río Blanco que reporta la ocurrencia de metales críticos (Pd, Pt, Au, Ag y Te). Las observaciones mediante microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) de calcopirita y bornita de la zona de alteración potásica revelan la presencia de partículas micro- a nano-métricas (<1–10  $\mu\text{m}$ ) que contienen metales nobles, en particular Pd, Au y Ag. Los datos mineralógicos muestran que estas inclusiones son en su mayoría telururos. Los datos apuntan a la partición de Pd (y probablemente Pt) en sulfuros de cobre durante la

etapa de alteración potásica a alta temperatura, lo que nuevas vías de investigación destinadas a investigar no solo la movilidad de PGE durante la mineralización y partición en sulfuros, sino también a explorar la ocurrencia de metales críticos en depósitos de pórfidos de Cu-Mo.

- **Crespo et al. (2020)**. Estudio de la ocurrencia y distribución de la plata en el PCD Río Blanco. Los autores muestran que la plata se concentra principalmente en minerales de Cu en el núcleo central del depósito, y las variaciones significativas en la concentración de Ag están relacionadas con los diferentes tipos de alteración hidrotermal. Además, ésta estaría controlada por enfriamiento, cambios en el pH,  $f_{O_2}$  y  $f_{S_2}$  de los fluidos hidrotermales, y la intensidad de la alteración hidrotermal.

## **CAPÍTULO 2: MARGO GEOLÓGICO**

### **2.1. Contexto regional**

#### **2.1.1. Generalidades**

El megayacimiento Río Blanco-Los Bronces, en los Andes de Chile Central, se encuentra localizado en el arco magmático del Mioceno tardío al Plioceno temprano, en el límite entre la Zona Volcánica Sur y el segmento de flat-slab, en transición a una subducción normal (tipo chilena).

En el distrito Río Blanco-Los Bronces, que contiene al megayacimiento homónimo, afloran lavas básicas a intermedias pertenecientes a las Formaciones Abanico y Farellones de edad Oligoceno a Mioceno medio, intruidas por rocas plutónicas principalmente de tipo cuarzomonzonita y monzonitas pertenecientes al Batolito San Francisco, de edad Mioceno inferior a medio. Éstas últimas son a su vez intruidas en su parte oriental por un complejo de brechas mineralizadas de edad Mioceno superior a Plioceno inferior, y por pórfidos tardíos de edad Plioceno inferior (Serrano et al., 1996).

El sistema ígneo asociado a la mineralización expone una larga historia termal, formando diferentes cuerpos intrusivos, subvolcánicos y zonas de alteración hidrotermal (Deckart et al., 2005).

#### **2.1.2. Unidades estratigráficas**

Las rocas estratificadas presentes se caracterizan por secuencias volcánicas y volcanosedimentarias pertenecientes a las Formaciones Abanico y Farellones, y las cuales corresponden a las rocas de caja de pre-mineralización en el distrito Río Blanco-Los Bronces (Figura 2.1). La unidad más antigua corresponde a la Formación Abanico, la que es sobreyacida por la Formación Farellones (Charrier et al., 2002). Se encuentran deformadas según pliegues de rumbo ortogonal a la fosa (Carrizo et al., 2012), evidenciando un acortamiento coherente con la convergencia de placas. Cabe señalar que a pesar de que ambas formaciones presentan una deformación coaxial, el grado e intensidad de ella varía, exponiendo una mayor deformación la Formación Abanico con relación a la Formación Farellones (Frikken et al., 2005).

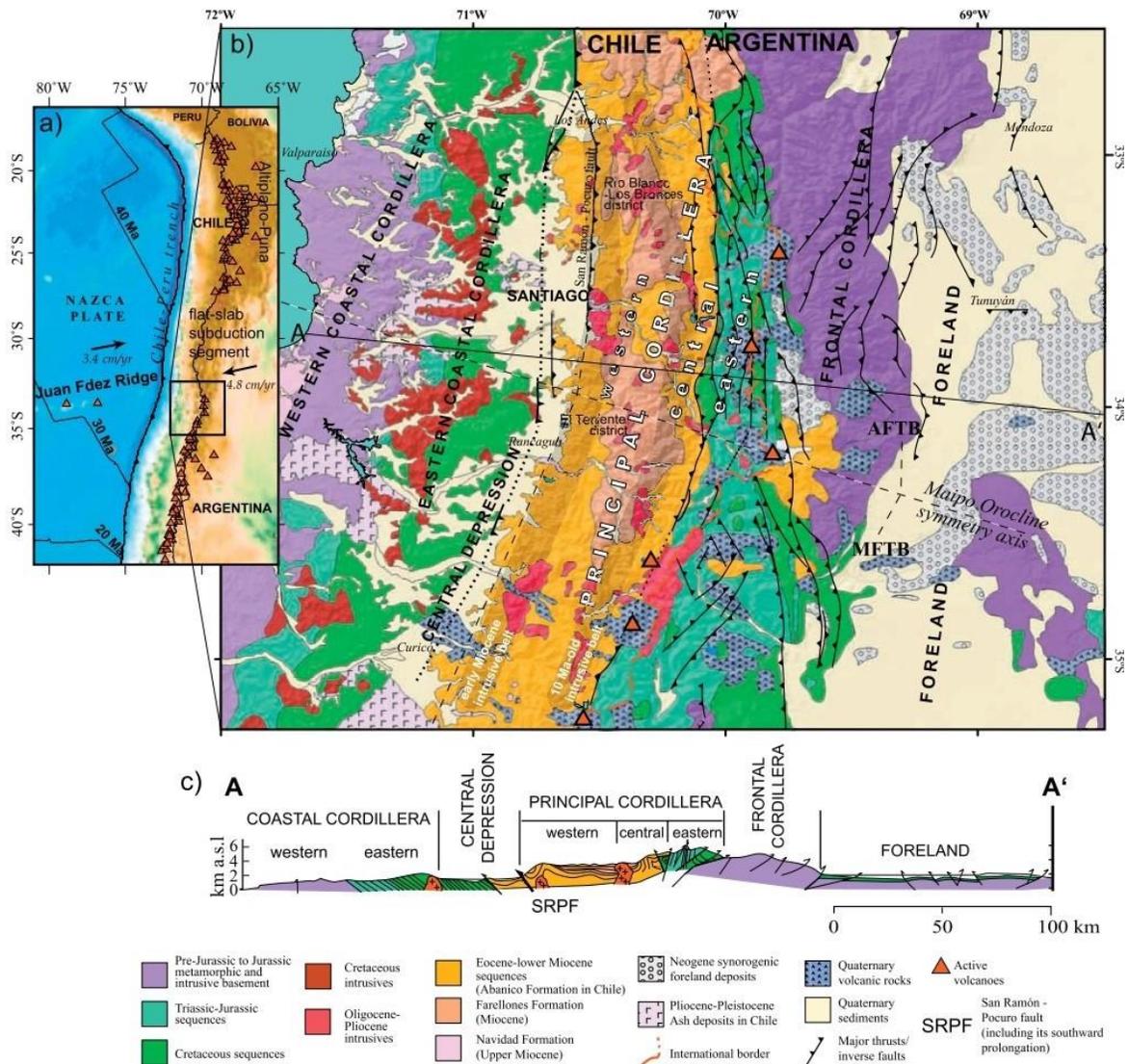


Figura 2.1: a) Localización de la región de estudio en relación con el “flat slab” de Chile central. b) Mapa geológico de los Andes de Chile central y Argentina. Solamente se muestran las principales fallas activas durante el Neógeno. c) Perfil geológico simplificado a la latitud de Santiago. (Farías et al., 2008).

- **Formación Abanico (Aguirre, 1960)**

Fue definida por Aguirre (1960) como una secuencia de volcanitas y sedimentitas clásticas terrígenas de colores predominantes gris pardo y púrpura rojo-grisáceo, en la provincia de Aconcagua, al norte de la Hoja Santiago. Luego redefinida como una serie de depósitos volcanoclásticos de hasta 2500 m de espesor y lavas ácidas a intermedias con intercalaciones sedimentarias aluviales, fluviales y lacustres, algunas de las cuales forman lentes sedimentarias de hasta 500 m de espesor (Charrier et al., 2002). La Formación Abanico contiene minerales metamórficos de bajo grado, lo que indica el desarrollo de facies de zeolita a prehnita-pumpellyita (Levi et al., 1989). Esta alteración afecta fuertemente la matriz de las rocas volcanoclásticas y epiclásticas. Por otra parte, los intrusivos plutónicos

no se ven afectados notoriamente por este tipo de metamorfismo (Charrier et al., 2002).

La Formación Abanico sobreyace a la Formación Colimapu en la zona del río Aconcagua de manera discordante (Aguirre, 1960) y concordante en la zona cordillerana al este de Santiago (Thiele, 1980). Además, le sobreyace la Formación Farellones de manera tanto discordante como pseudo-concordante (Charrier et al., 2002).

Dataciones radiométricas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en plagioclasas de flujos de lava entregaron edades entre el Oligoceno-Mioceno inferior con una edad máxima de  $34,3\pm 0,4$  Ma para la sección inferior y una edad de  $21,4\pm 1,0$  Ma en la sección media de la serie. Las lavas poseen una afinidad calcoalcalina y características típicas de rocas volcánicas de arco desarrollado en un margen continental activo (Muñoz et al., 2006).

- **Formación Farellones (Klohn, 1960)**

Definida por Klohn (1960) como una potente unidad conformada por sedimentitas clásticas terrígenas, lavas andesíticas, riolíticas y basálticas y rocas piroclásticas que alternan con sedimentos derivados de la descomposición de estas mismas rocas volcánicas. Luego redefinidas por Rivano (1990) en dos miembros: un miembro inferior tobáceo de composición riolítico-dacítica; y otro superior, compuesto por flujos andesíticos-basálticos intruídos por domos riolíticos. El espesor se estima de en 2500 m que aparece aumentando con los numerosos mantos intrusivos y lacolitos que se intercalan en la secuencia (Thiele, 1980).

Esta sobreyace a la Formación Abanico, sin embargo, su contacto es motivo de una fuerte discusión donde fue típicamente había sido reportado como discordante, pero evidencias actuales señalan la existencia de un contacto transicional y con amplias variaciones tanto norte-sur como este-oeste, siendo contactos de manera discordante y pseudo-discordante dependiendo de la reactivación de fallas asociadas a la inversión tectónica de la cuenca de la Formación Abanico (Charrier et al., 2002), mientras que su techo corresponde a la actual erosión.

Dataciones U/Pb en circones muestran un rango de edad entre  $16,77\pm 0,25$  Ma y  $17,20\pm 0,05$  Ma (Deckart et al., 2005). Se le asigna una edad Miocena. Se correlaciona con la Formación Colorado-La Parva utilizando dataciones radiométricas K/Ar (Beccar et al., 1986).

### **2.1.3. Unidades intrusivas**

- **Intrusivos del Mioceno**

Esta unidad fue definida por Thiele (1980) como Unidad Intrusiva I y por Stambuk et al. (1982) como Plutón Río Blanco-San Francisco, asociado al Batolito San Francisco. Corresponde a un cuerpo de 10 km en dirección N-S y 20 km de E-W con un  $200\text{ km}^2$  de área que intruye la Formación Abanico y Farellones con litologías de granodiorita, monzogranito

y monzonita cuarcífera con diques andesíticos (Thiele, 1980). Fuertemente peraluminosa y con una composición calcoalcalina con afinidad alcalina cálcica (Warnaars et al., 1985).

Diferentes dataciones radiométricas realizadas en K-Ar y en U/Pb indican una edad de entre 20,1 y 8,4 Ma (Serrano et al., 1996; Deckart et al., 2005). Se le asigna una edad Mioceno medio superior.

- **Intrusivos del Mioceno tardío al Plioceno**

Corresponden a intrusivos de menor extensión de tipo stocks, lacolitos, filones-manto y diques que cortan la Formación Farellones, además de algunas chimeneas de brechas. Los cuerpos intrusivos corresponden a microdioritas, pórfidos dioríticos, dacíticos, andesíticos y félsicos (Thiele, 1980). Estas rocas intruyen a la Formación Farellones y a los intrusivos del batolito San Francisco (Intrusivos del Mioceno).

Dataciones radiométricas mediante el método U/Pb realizadas en el sector Río Blanco indican edades de emplazamiento de  $6,32 \pm 0,09$  Ma para el Pórfido Cuarzomonzonítico,  $5,84 \pm 0,03$  Ma para el Pórfido Feldeespático y  $5,23 \pm 0,07$  Ma para el Pórfido Don Luis (Deckart et al., 2005). Se le asigna una edad del Mioceno tardío al Plioceno.

#### **2.1.4. Tectónica regional y marco metalogénico**

El megayacimiento de pórfido de Cu-Mo de Río Blanco-Los Bronces es parte de la franja metalogénica cuprífera del Mioceno a Plioceno inferior (Figura 2.2), la que se extiende de manera casi continua desde el suroeste de Colombia hasta la zona central de Chile (Sillitoe y Perelló, 2005).

La franja metalogénica Mioceno a Plioceno inferior incluye una sub-franja en Chile Central que se caracteriza por megayacimientos de Cu-Mo de clase mundial. Al norte de la sub-franja se encuentra Los Pelambres con 5,8 Mt de cobre producido entre 1999 y 2015 (COCHILCO, 2015), El Teniente con 18,1 Mt de cobre fino entre 1950 y 2015, mientras que el megayacimiento Río Blanco-Los Bronces ha producido en el sector de Andina 6,6 Mt de cobre entre 1970 y 2015 y en el sector Los Bronces 4,9 Mt de cobre entre 1986 y 2015 (SNL, 2015). En específico, para este último, se permite estimar un recurso de 19.766 Mt @ 0,6 % Cu y 6.384 Mt @ 0,424 % Cu, 0,009 % Mo, respectivamente (SNL, 2015).

Se reconocen dos eventos vinculados a la génesis del depósito Río Blanco-Los Bronces, asociados al ciclo andino: i) la construcción de la cuenca Oligoceno-Mioceno de la región Central de Chile, asociada a extensión (Charrier et al., 2002); ii) el depósito sintectónico de unidades pliocenas y acomodación de acortamiento ortogonal a la fosa post-Oligoceno, evidenciada por la inversión de la cuenca del Oligoceno-Mioceno y la construcción del relieve, incluyendo alzamiento y exhumación (Carrizo et al., 2012). Estos procesos condicionan la arquitectura presente en el distrito Río Blanco- Los Bronces, donde se aprecia un desarrollo de pliegues por propagación de fallas inversas de rumbo N-S principalmente, estructuras con

vergencia hacia el oeste y un anticlinal del basamento en profundidad (Armijo et al., 2010; Thiele, 1980).

La latitud del distrito coincide con el límite entre una subducción plana (flat-slab) carente de volcanismo activo y la zona volcánica sur con volcanismo activo (Stern y Skewes, 2004). El aplanamiento progresivo en el ángulo de subducción hacia el norte de los 33°S coincide con la migración hacia el sur de la subducción de la Dorsal de Juan Fernández (Yáñez et al., 2002). La migración de esta dorsal se habría generado entre los 6 y 3 Ma, periodo durante cual se produjo la actividad magmático-hidrotermal responsable de la mineralización y la rápida exhumación de los pórfidos de cobre-molibdeno Río Blanco-Los Bronces y El Teniente, además del desarrollo tardío de complejos de diatremas en ambos sistemas (Maksaev et al., 2009).

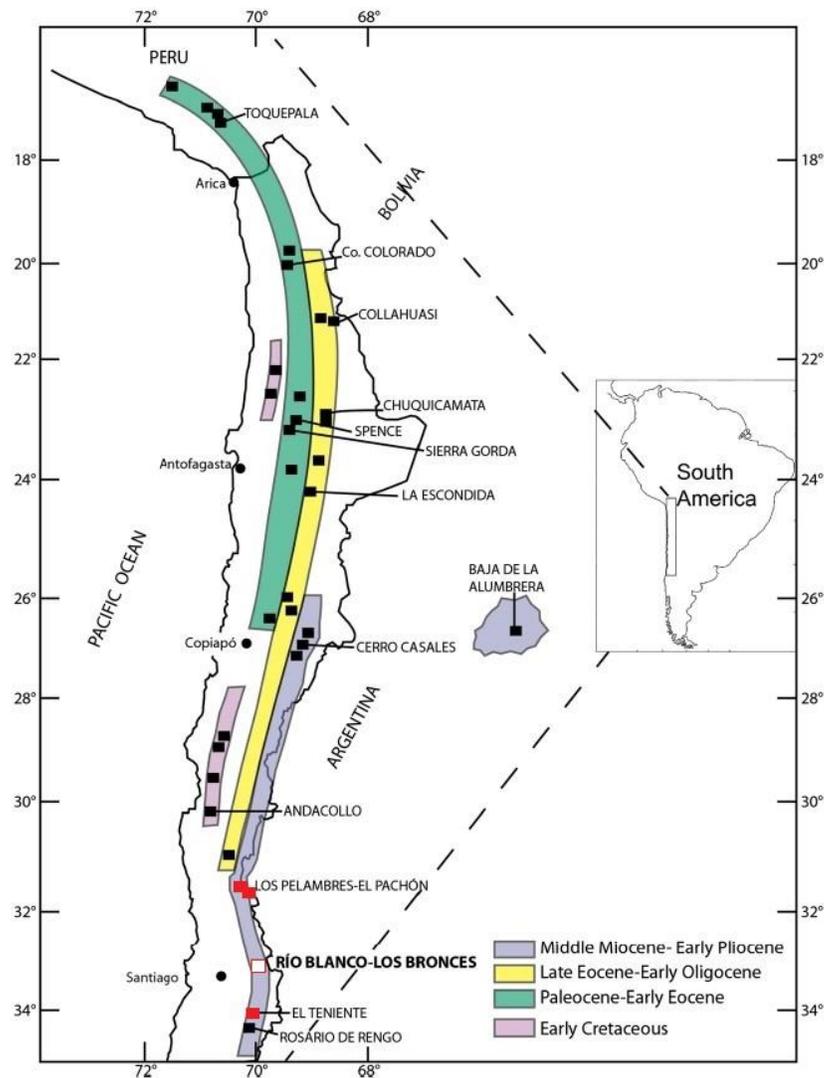


Figura 2.2: Franjas metalogénicas en el centro-norte de Chile. El distrito Río Blanco-Los Bronces se encuentra en la sub-franja sur entre Los Pelambres-El Pachón y El Teniente (destacado en rojo) (Modificado de Deckart et al., 2014, y de Sillitoe, 1992).

## **2.2. Contexto local**

### **2.2.1. Rocas estratificadas**

Las rocas andesíticas de las Formaciones Abanico y Farellones corresponden a la roca caja premineralización en el sistema Río Blanco-Los Bronces, con un rango de edad entre  $22,7\pm 0,4$  y  $16,8\pm 0,3$  Ma (U-Pb en zircón), representando las unidades más antiguas del yacimiento (Figura 2.3). Las rocas volcánicas y volcanoclásticas de la Formación Abanico se encuentran de forma subhorizontales a suavemente plegadas siendo subyacidas por la Formación Farellones (Toro et al., 2012). Las rocas de la Formación Farellones afloran en la parte superior del sistema mineralizado, mostrando principalmente alteración propilítica y sericitización de plagioclasas. Además, estas rocas se encuentran comúnmente en forma de clastos en casi todas las brechas, y en mayor proporción en la brecha de anhidrita.

Las andesitas en el sector de Los Bronces se reconocen por un color gris oscuro donde se aprecian fenocristales inmersos en una masa fundamental afanítica con textura tipo hornfels, fuertemente biotitizada, sericitizada y magnetizada. Los fenocristales observados se refieren acristales de feldespato plagioclasa dispuestos según una textura seriada, cuyo tamaño máximo es de aproximadamente 4 mm con formas subhedrales a anhedrales, en ocasiones con escasos cristales apreciables de anfíbola. Además, estas rocas presentan sericitización pervasiva de los fenocristales de plagioclasas y cloritización de las biotitas, reconociendo en ocasiones una alteración potásica biotítica intensa (Stambuck et al., 1982). Muy localmente se ha observado calcopirita en vetillas.

### **2.2.2. Batolito San Francisco**

- **Unidad Cuarzomonzonita (QM)**

Esta unidad se encuentra presente en gran parte de Los Bronces, corresponde a granitos, granodioritas y cuarzomonzodioritas (Thiele, 1980), con textura hipidiomórfica inequigranular de grano medio a grueso y color gris.

En cuanto a las alteraciones que afectan la unidad, la presencia de biotita secundaria y anhidrita, junto a cuarzo, biotita y pirita en vetillas tipo A, indicarían una alteración principal de tipo potásica. A esta alteración se le sobreimpone una alteración penetrativa de carácter propilítica, con presencia de clorita, biotita secundaria y carbonatos. Finalmente, se presentan alteraciones fílica y argílica intermedia poco desarrolladas (Modificado de Contreras, 2003).

Sus equivalentes intrusivos en el sector de Río Blanco, perteneciente a la Mina Andina, contigua a la Mina Los Bronces, son para la QM gruesa la Granodiorita Río Blanco y para la QM fina a la Granodiorita Cascada (Toro et al., 2012). Las edades en el sector Río Blanco para estas rocas son: Granodiorita Río Blanco  $11,96\pm 0,40$  Ma, Granodiorita Cascada de  $8,40\pm 0,23$  Ma y Diorita de  $8,16\pm 0,45$  Ma (Deckart et al., 2005).

- **Unidad Cuarzomonzodiorita (QDM)**

Esta unidad está compuesta por intrusivos clasificados como cuarzomonzodiorita, diorita, tonalita, según clasificación de Streckeisen (1979) (Contreras, 2003). Presentan textura hipidiomórfica inequiangular de grano fino y color gris a gris verdoso. La unidad QDM está afectada por los mismos eventos de alteración de la unidad anterior; sin embargo, se diferencia de éstas por la presencia de núcleos de alteración que se superponen entre sí (Contreras, 2003).

- **Pórfido Cuarzomonzodiorítico (PQMD)**

El PQMD corresponde a un cuerpo filoneo de textura porfídica y composición cuarzomonzodiorítica, con cristales de tamaño medio y color gris claro a blanco (Warnaars et al., 1985).

La roca está compuesta por un 75 % de masa fundamental, presentando un agregado de cuarzo, anhidrita y feldespato potásico, estando estos parcialmente alterados a sericita, clorita, calcita y yeso. Junto a un 25 % de fenocristales de plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y máficos, los que presentan una débil alteración potásica remanente con biotita, feldespato potásico y en menor grado anhidrita-biotita, evidenciada por el reemplazo de biotita secundaria sobre los máficos y la presencia de escasas vetillas A remanentes. Sobreimpuesta a esta alteración se observa una moderada a fuerte alteración fílica de sericita-cuarzo-pirita. La alteración propilítica (periférica) se desarrolla en forma moderada y está compuesta por clorita, montmorillonita, calcita y epidota (Modificado de Contreras, 2003).

En cuanto a sus relaciones de contacto este pórfido corta a las Unidades Cuarzomonzonita (QM) y Cuarzomonzodiorita (QMD), y produjo halos de alteración en ellos. En algunos sectores forma parte de la matriz de una brecha ígnea con clastos de la roca encajadora. El pórfido PQMD se encuentra en contacto gradacional con el pórfido Cuarzodiorítico (PQD) (Barros, 2007).

- **Pórfido Cuarzomonzonítica (PQM)**

Este pórfido fue el primero en intruir, 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 Cuarzodiorítico a Diorítico (PQD)**

Esta unidad se define como un intrusivo filoneano con cristales de tamaño fino a medio, color gris oscuro y textura porfídica. Su composición litológica varía de cuarzodiorítica a tonalítica (Warnaars et al., 1985). Se sugiere una posible relación entre el emplazamiento de este pórfido, el que se encuentra biotitizado en el sector de Los Bronces Sur ( $8,49 \pm 0,12$  Ma, U-Pb en zircones), y el evento de la mineralización de molibdeno ( $8,36 \pm 0,06$  Ma, Re-Os en molibdenita) de la brecha de turmalina del sector San Manuel (Deckart et al., 2014).

La roca se encuentra parcial a totalmente alterada, en ocasiones es posible reconocer que la roca está compuesta por 30 % de fenocristales de plagioclasa, biotita-anfíbol y magnetita y un 70 % de masa fundamental con plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico y clorita. Estos filones se encuentran mineralizados con calcopirita diseminada y calcopirita-bornita en vetillas tipo A, siendo estas escasas. Su razón pirita/calcopirita + bornita es 0.4 (Contreras, 2003). Presenta una alteración potásica remanente e intensa de biotita secundaria, albita, anhidrita, feldespato potásico y desarrollo de vetillas tipo A, una alteración propilítica moderada de clorita, biotita y montmorillonita, junto a una alteración fílica temprana débil con parches de sericita, andalusita y cuarzo secundario (Contreras, 2003).

Este pórfido intruye a las unidades Cuarzomonzonita (QM) y Cuarzomonzodiorita (QMD). Se encuentra en contacto gradacional con el pórfido Cuarzomonzodiorítico (PQMD), y con un contacto bien definido con las unidades más antiguas.

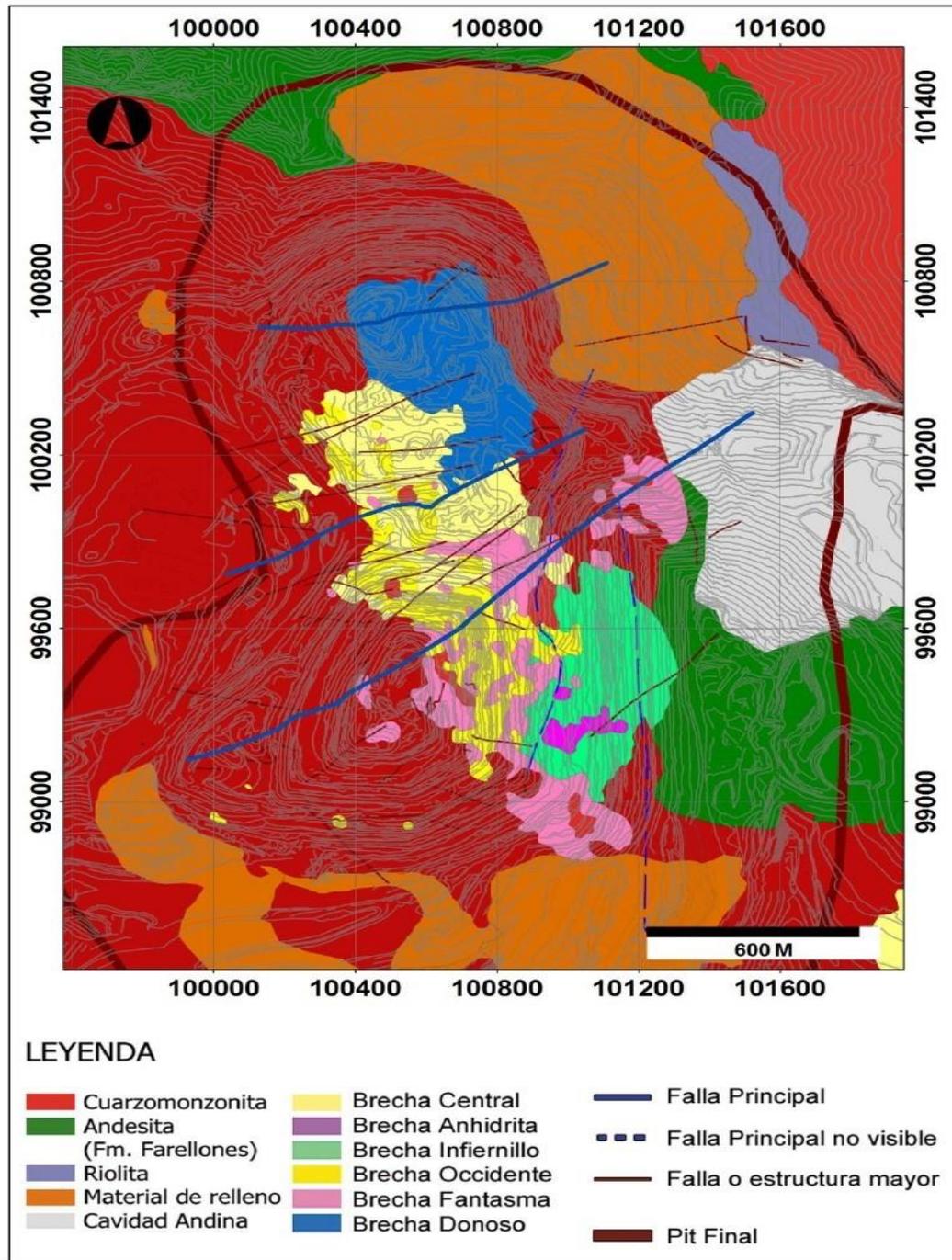


Figura 2.3: Mapa geológico de la mina Los Bronces. En la figura se observan las principales litologías y estructuras presentes en la mina: el amplio afloramiento de la Unidad de Cuarzomonzonita (QM), las distintas brechas aflorantes en la actualidad, la presencia de lavas andesíticas (Formación Farellones) en la parte este y superior de la mina; y las estructuras principales y mayores (Andrade, 2015). Actualizada al 04/07/2013 preparado por Juan Jara, Superintendencia de Geología, Los Bronces, AngloAmerican Chile.

### 2.2.3. Geología Estructural

El yacimiento Los Bronces se caracteriza por estar controlado estructuralmente por fallas inversas NS y fallas internas NE y NW en un arreglo estructural asociado al acortamiento EW andino.

Piquer y Skarmeta (2012) señalan un control estructural de la mineralización asociado a un sistema de fallas oblicuas de orientación NW-NNW y NE que fueron originadas como fallas normales en Eoceno tardío- Oligoceno. Las fallas se reactivaron selectivamente durante la contracción este-oeste del Mio-Plioceno, con las fallas de dirección NW muestran un movimiento sinistral inverso compuesto y las fallas de dirección NE muestran principalmente movimientos de deslizamiento dextral. Esta reactivación habría ocurrido al mismo tiempo que el depósito de la Formación Farellones y el emplazamiento del batolito Río Blanco-San Francisco, cuyos últimos pulsos están relacionados genéticamente con la formación del cluster Río Blanco-Los Bronces.

Por otra parte, Carrizo et al. (2012) determinan tres fallas maestras en el distrito Río Blanco-Los Bronces: la Falla San Francisco, la Falla Río Blanco y la Falla Yerba Loca. Éstas corresponden a fallas inversas de alto ángulo, de traza sinuosa y de orientación NS, responsables del alzamiento del margen occidental de Los Andes en la región en estudio. Dichas fallas corresponden a fallas ciegas, cuya expresión, a escala distrital, en superficie está evidenciada por pliegues de propagación de falla formados en las rocas neógenas. La estructura del yacimiento es interpretada por el emplazamiento de un batolito en el núcleo de una zona de transferencia entre dos fallas inversas NS, donde los cuerpos mineralizadores se ubican en la zona central de una estructura general de anticlinal expresado tanto en las rocas de la Formación Abanico como Farellones. A su vez, fallas de rumbo de orientación NE dislocan los cuerpos mineralizados en la zona de transferencia.

Además, las fallas anteriormente descritas habrían actuado como conductos de circulación y transporte de fluidos magmáticos e hidrotermales, provenientes de estructuras oblicuas preexistentes y, a su vez, la ruptura de la falla fue impulsada por altas presiones de fluidos (Piquer et al., 2015).

Carrizo et al. (2013) clasifica las estructuras en tres grupos: Falla Principal cuando la estructura muestra una persistencia mayor a 150 metros, presenta antecedentes históricos de su presencia, y una expresión visual/geológica evidente de su traza; Falla Mayor cuando la falla posee una persistencia mayor a 30 metros pero menor que el largo de una Falla Principal, y evidencias de su traza de carácter moderada, y Falla Menor a toda estructura con un largo de traza menor a 30 metros y cuya expresión visual/geológica sea discreta. Bajo esta clasificación se señala la presencia de cinco Fallas Principales, y sesenta y un Fallas Mayores. A continuación, se observa un modelo creado en 2013 con las fallas principales y mayores observadas.

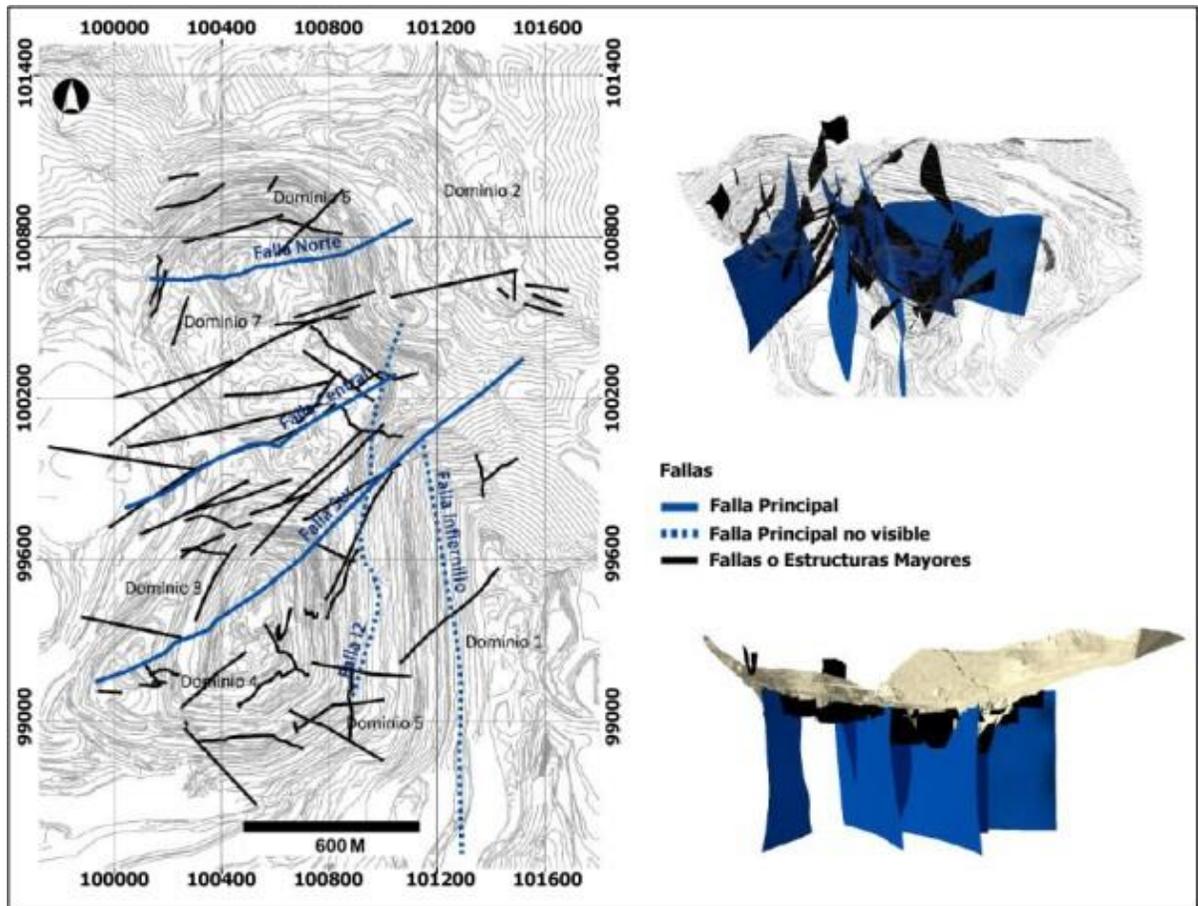


Figura 2.4: Modelo de fallas principales y mayores. En el mapa se observa una vista en planta de la ubicación espacial de las Fallas Principales (azules) y Mayores (negras) definidas en el Modelo Estructural 2013 de la mina Los Bronces (Carrizo et al., 2013). A su vez, se observan vistas generales de las estructuras, una oblicua hacia el NE y una lateral hacia el Este, en la cual se nota la modelación en profundidad de estas

#### 2.2.4. Complejo de brechas

Warnaars et al. (1985) identificó siete brechas de origen hidrotermal ordenadas cronológicamente de acuerdo con sus relaciones de contacto: Fantasma, Central, Occidente, Infiernillo, Anhidrita, Gris-Fina y Donoso (Figura 2.5).

Posteriormente, Contreras (2003) identificó dos nuevas brechas de origen hidrotermal quedendenomina: Brecha de Magnetita y Biotita y Brecha de Biotita, además de una brecha magmática: Brecha Ígnea. En total, el complejo de brechas de Los Bronces está conformado por nueve brechas de origen hidrotermal y una de origen magmático.

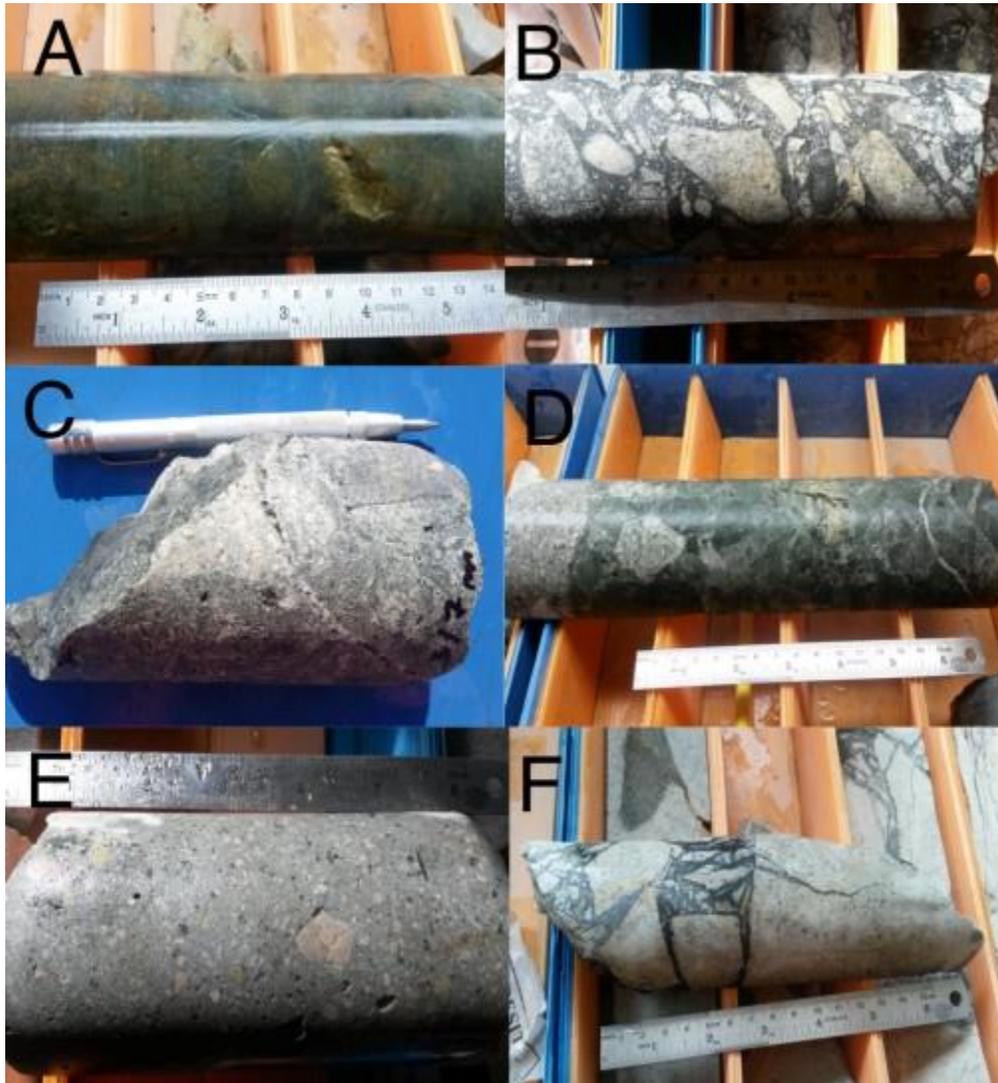


Figura 2.5: Ejemplos de unidades de brechas en Los Bronces: A) Brecha Fantasma. B) Brecha Central. C) Brecha Infiernillo. D) Brecha Anhidrita. E) Brecha Gris Fina. F) Brecha Donoso. (Vargas, 2015)

- **Brecha Ígnea (BXIG)**

Brecha de origen magmático. Los clastos monomíticos subredondeados a redondeados de composición cuarzo-monzonítica. La matriz es de carácter intrusivo también de composición cuarzo-monzonítica de grano fino o porfídico, englobando a clastos de textura hipidiomórfica inequi granular.

Se interpreta su emplazamiento por la intrusión de la unidad QMD en la unidad QM (Contreras, 2003).

- **Brecha de Magnetita-Biotita (BXXM)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos son de intrusivos de composición tonalítica, cuarzodiorítica y diorítica, mientras que la matriz está formada de biotita secundaria, magnetita, clorita, cuarzo, anhidrita, sericita y sulfuros, mayoritariamente pirita y calcopirita, menor bornita.

La alteración predominante es la potásica. Presenta vetillas formadas por biotita secundaria, feldespato potásico y anhidrita, caracterizadas en la mina bajo el nombre de vetillas tipo A (ver sección 2.2.6 para la descripción de vetillas).

- **Brecha de Biotita (BXXB)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos están formados principalmente de intrusivos profundos, de composición tonalítica, cuarzodiorítica y diorítica. La matriz está compuesta de biotita secundaria, sericita, feldespato potásico, cuarzo y sulfuros, principalmente pirita, calcopirita, menor molibdenita y bornita, menor turmalina y clorita.

Al igual que en la brecha magnetita-biotita su alteración predominante es potásica y presenta vetillas tipo A.

- **Brecha Fantasma (BXXF)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos corresponden en su mayoría a fragmentos finos agriosos de cuarzomonzonita y en menor cantidad de andesita. La matriz está compuesta por polvo de roca cuarzomonzonita que puede tener cemento compuesto de cuarzo, turmalina, especularita y sulfuros.

La alteración predominante es la alteración cuarzo-sericita pervasiva que afecta tanto los clastos como la matriz. Presenta mineralización diseminada de pirita, calcopirita, calcosina y molibdenita

- **Brecha Central (BXXC)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos corresponden en su mayoría a cuarzomonzonita y en menor cantidad de andesitas y latitas <5 cm. La matriz está compuesta por turmalina con menor cantidad de cuarzo, especularita, sericita, sulfuros y ocasionalmente anhidrita, de color gris oscura a negra.

La alteración predominante de cuarzo-sericita, cuarzo secundario y argílica. Presenta mineralización de pirita, calcopirita, calcosina, molibdenita y ocasionalmente bornita en forma diseminada, además, vetillas de pirita y en menor cantidad de calcopirita.

- **Brecha Occidente (BXXO)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos corresponden a cuarzomonzonitas de 2-15 cm

de forma subangular a angular, mientras que la matriz está compuesta por polvo de roca y clorita, y en menor cantidad de turmalina y especularita, de color verde a gris verdoso.

La alteración predominante está dada por la asociación clorita, turmalina, especularita y en menor cantidad calcita-epidota. Además, se distinguen zonas con alteración cuarzo-sericita. Presenta mineralización de pirita, calcopirita y molibdenita diseminada.

- **Brecha Infiernillo (BXI)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos corresponden a andesitas y menor cuarzomonzonitas, pórfido cuarzomonzonita y cuarzolátita, con tamaños centimétricos hasta mayores de un metro. Contiene clastos de BXC y en profundidad cambia a BXO. La matriz está compuesta por cuarzo, clorita, especularita, turmalina, epidota, magnetita y sulfuros (pirita, calcopirita), y presenta un color verde intenso.

La alteración predominante está dada por la asociación clorita, sílice, y una débil cuarzo-sericita, aunque en varias zonas la brecha se encuentra sin alterar. La mineralización corresponde a clorita, turmalina, calcopirita, bornita y pirita.

- **Brecha Anhidrita (BXA)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos corresponden a fragmentos de la brecha infiernillo y central, además de composición andesítica. La matriz está compuesta de anhidrita, especularita, pirita, calcopirita y molibdenita, de grano grueso. En la zona más alta del depósito, aparecen cantidades mayores de yeso, producto de la hidratación de anhidrita.

La alteración predominante está asociada a la clorita con menor sericita, usualmente en los clastos.

- **Brecha Gris-Fina (BXG)**

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

La BXG posee una alteración predominantemente de cuarzo-sericita, y silicificación y cloritización moderada. La mineralización se encuentra diseminada en la matriz y clastos como vetillas.

- **Brecha Donoso (BXD)**

Brecha de origen hidrotermal. Los clastos son angulares a subangulares de composición cuarzomonzonita y menor cuarzo-diorita, sienita y andesita. Contiene clastos de BXF y

BXC. Su matriz está compuesta por turmalina, calcopirita, especularita y menor anhidrita, bornita sericita, clorita y polvo de roca. Presenta oquedades.

La alteración predominante en los clastos es la cuarzo-sericita, y silicificación moderada. Esta brecha es la más joven del complejo y además una de alto interés debido a sus concentraciones de cobre (Skewes et al., 2003).

#### **2.2.5. Chimenea de brecha riolítica**

Este cuerpo constituye el Miembro La Copa del Complejo Subvolcánico Río Blanco y fue definido por Latorre (1981) como una chimenea de brecha subvolcánica de composición riolítica, que en su parte superior está compuesta por flujos de brechas tobáceas soldadas y pórfido riolíticos. Tiene un rango de edad de 4.9 a 4.7 Ma (Deckart et al., 2013).

#### **2.2.6. Tipos de vetillas**

La clasificación de vetillas realizada para el sector Los Bronces-Sur en 2011 se basa en los criterios definidos por Gustafson y Hunt (1975), con cinco tipos de vetillas principales. Adicionalmente, se utiliza la clasificación de Gustafson y Quiroga (1995), que incluye además vetillas asociadas a condiciones transicionales, y detallan las mineralogías esperadas según el estado de evolución hidrotermal (Figura 2.6).

##### **a) Vetillas tempranas**

###### **▪ Vetillas M**

Presentan bordes irregulares y difusos cuyo espesor varía a lo largo de la vetilla. Los minerales de ganga presentes en el relleno son magnetita principalmente, y de manera subordinada o ausente anhidrita y cuarzo. Los minerales de mena son calcopirita y pirita, los que están subordinados o ausentes. No presentan halo, pues dichas vetillas se producen en un ambiente frágil-dúctil. Están asociadas a zonas profundas, de altas temperaturas y cuyo ambiente es predominantemente de alteración potásica. Se han reconocido de forma muy escasa en Los Bronces.

###### **▪ Vetillas EB**

Corresponden a vetillas de etapa temprana. Son continuas, con bordes irregulares y un ancho constante a lo largo de la vetilla. Los minerales de ganga presentes en el relleno son cuarzo dominante, pudiendo observarse también anhidrita, albita y feldespato potásico; en ocasiones magnetita y biotita. Los minerales de mena son, en orden de predominancia, calcopirita, pirita y bornita, siendo esta última muy escasa. Los sulfuros se encuentran diseminados. Presentan un halo simétrico de biotita y menor sericita verde y magnetita, pueden tener asociados sulfuros diseminados. Las vetillas EB se observan mayoritariamente en roca caja dominada por alteración potásica.

###### **▪ Vetillas A**

Corresponden a vetillas de la etapa temprana. Son continuas y de bordes regulares bien

definidos. Se caracterizan por tener un relleno granular de cuarzo, feldespato, anhidrita, calcopirita y bornita. Además, de pirita, con calcopirita, pero nunca con bornita. Generalmente no presentan halo, cuando lo tienen es fino y discontinuo con presencia de feldespato potásico, albita y cuarzo.

- **Vetillas B**

Corresponden a vetillas de etapa temprana. Son continuas de bordes regulares bien definidos y más jóvenes que las vetillas A. Se caracterizan por tener un relleno de cuarzo dentado con molibdenita y anhidrita, menor sulfuros de cobre. Los minerales de ganga principales son cuarzo y anhidrita, y en menor cantidad feldespato potásico y albita. Los minerales de mena principales son molibdenita y calcopirita, pirita subordinada y bornita muy escasa o ausente. Presentan un halo fino de sericita feldespato y cuarzo. Se asocian mayoritariamente a zonas con alteración potásica, aunque también es apreciable en zonas de alteración sódicas.

- b) **Vetillas transicionales**

- **Vetillas C**

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

- **Vetillas C1**

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

- **Vetillas C2**

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

- **Vetillas C3A**

Este tipo de vetillas se caracteriza por ser continuas, sus bordes son irregulares y su espesor es relativamente constante variando entre 2 y 3 mm. No obstante, en ocasiones se encuentran más anchos. Los minerales de ganga son por definición turmalina y en menor cantidad cuarzo, subordinadamente puede haber anhidrita, pudiéndose observar también biotita y/o magnetita. Los minerales de mena son pirita y calcopirita, los que varían su concentración en función del ambiente y profundidad. Su halo se caracteriza por ser simétrico, continuo y de bordes irregulares. En general, es proporcional al relleno; los

minerales de ganga que se observan en el halo son feldespatos potásico y albita como principales, y de manera subordinada cuarzo, en menor cantidad o ausentes clorita y epidota; los minerales de mena reconocidos en el halo son pirita y calcopirita los que varían sus concentraciones función del mineral predominante en el relleno, sin embargo, estos no son muy abundantes. Este tipo de vetillas se encuentra en zonas superficiales a intermedias, siendo menos abundantes en estas últimas. Se asocian a la alteración propilítica, en extensas concentraciones en función del mineral predominante en el relleno, sin embargo, estos no son muy abundantes. Este tipo de vetillas se encuentran en zonas superficiales a intermedias, siendo menos abundantes en estas últimas. Se asocian a la alteración propilítica, la cual es muy extensa.

- **Vetillas C3B**

Este tipo de vetillas se caracteriza por ser discontinuas, de bordes irregulares y espesor variable; en general son delgadas. Los minerales de ganga principales son epidota y clorita, subordinados o ausente se reconocen, cuarzo, yeso y anhidrita. Los minerales de mena son pirita como mineral principal y subordinadamente calcopirita. Poseen un halo discontinuo, difuso, de bordes irregulares y espesor variable; los minerales de ganga reconocidos en el halo son albita y cuarzo subordinado, en menor cantidad o ausentes clorita, epidota y pirita; los minerales de mena están ausentes.

c) **Vetillas tardías**

- **Vetillas D**

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

- **Vetillas DT**

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

### **2.2.7. Asociaciones de alteración hidrotermal y mineralización**

En Los Bronces, se definen al menos dos eventos de actividad hidrotermal. El primero corresponde a un evento aparentemente no mineralizante. Éste se dató mediante el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en alrededor de 13-12 Ma, en Los Piches, a unos 6 km al SW de Los Bronces. No existen datos de Re-Os al no reconocerse molibdenita en esta etapa (Deckart et al., 2014). La edad de  $13,4 \pm 0,1$  Ma (sericita) en el área de exploración de Los Piches representa la evidencia más antigua de actividad hidrotermal en todo el distrito Río Blanco-Los

Bronces.

Por otra parte, se tiene un segundo evento de carácter económico, datado en alrededor de 8,5-4,5 Ma mediante Re-Os, y que se encuentra correlacionado con el evento de actividad hidrotermal principal en Río Blanco.

La edad de mineralización más antigua, representada por molibdenita en cemento de brecha del área de exploración San Manuel, 1,5 km al NW del límite del tajo abierto Los Bronces, es de 8,36 Ma. Se caracteriza por ser más antigua que cualquier otra molibdenita de Río Blanco el distrito El Teniente. Se asocia a un evento hidrotermal aparentemente restringido a Los Bronces o aún no reconocido/estudiado en la parte de Río Blanco del grupo de pórfido ni en el depósito de pórfido Cu(-Mo) de El Teniente donde las edades de molibdenita oscilan entre  $6,30 \pm 4,42$  Ma (Deckart et al., 2013).

A continuación, se describen las asociaciones de alteración-mineralización más relevantes para el sistema Río Blanco-Los Bronces.

- **Alteración Actinolita-Magnetita**

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

- **Alteración Potásica**

La alteración potásica está presente en rocas del batolito San Francisco y en andesitas de la Formación Farellones. Se reconocen tres tipos o fases (Contreras, 2003):

- I.* **Biotita-magnetita:** Esta caracterizada por la presencia de abundante biotita de grano fino que reemplaza a los minerales máficos originales y oscurece la textura original de las rocas. Se asocia a la presencia de magnetita, cuarzo, anhidrita intersticial, y menor cantidad a clorita, sericita, rutilo y titanita. Presenta mineralización de pirita, calcopirita y bornita, en las brechas se le ve principalmente en la matriz.
- II.* **Biotita-Feldespato potásico:** Caracterizada por biotita en reemplazo de minerales máfico, feldespato potásico reemplazando plagioclasas, más la presencia de cuarzo y menor clorita y sulfuros. Se le asocia a mineralización en vetillas de tipo A y en matriz de brechas, con contenidos de pirita, calcopirita, bornita y molibdenita.
- III.* **Feldespato K-cuarzo:** Caracterizada por el reemplazo de plagioclasas por feldespato potásico más la presencia de cuarzo. Es una alteración penetrativa con intensidad moderada a fuerte cuyo hábito principal es el entrecrecimiento intercrystalino de cuarzo y plagioclasa original. Se le asocia a bandas y vetillas de cuarzo- feldespato K irregulares con halos de igual mineralogía con intensidad decreciente hacia la

roja caja. Presenta mineralización de pirita con calcopirita.

- **Alteración Fílica**

Presente en los intrusivos QMD y PQMD, y en el complejo de brechas, se caracteriza por la presencia de cuarzo, sericita en reemplazo de feldespato y pirita, con menor turmalina, especularita y clorita. Se le asocia a mineralización diseminada y en vetillas B con pirita calcopirita. Se observa la coexistencia espacial con la alteración potásica. Esta alteración destruye casi en su totalidad las asociaciones mineralógicas de las etapas de alteración anteriores (Jara, 2005).

Existe una relación entre la alteración fílica y el complejo de brechas en Los Bronces, en especial con la brecha Donoso. Se observan dos etapas de alteración en los clastos, una relacionada con la generación de clastos y otra en la ocurrencia del intrusivo cuarzo-monzonítico huésped, previo a la formación de la brecha. La etapa temprana produjo vetillas de cuarzo-molibdenita, con un fino halo sericítico o de feldespato potásico; una alteración hidrotermal asociada con la formación de la brecha ataca pervasivamente a los clastos pequeños, mientras en los clastos grandes produce un delgado anillo de alteración alrededor de los bordes. Los clastos grandes (> 1m de diámetro) preservan la textura ígnea primaria en sus centros, aunque la biotita y hornblenda ígnea son pseudomórficamente reemplazadas por clorita, turmalina y/o especularita. Vetillas de cuarzo-molibdenita con finos halos sericíticos en la Unidad Cuarzo-monzonita, se cree asociada a una alteración temprana pre-brecha (Skewes et al., 2003).

Los pórfidos tardíos están variablemente sericitizados y silicificados. Son cortados por vetillas de cuarzo±sericita±anhidrita±sulfuros, como también por delgadas vetillas de feldespato potásico, pero no están biotitizados y se encuentran débilmente mineralizados. La alteración sericítica también ocurre en la roca huésped a lo largo de los contactos con estos pórfidos tardíos. Donde la alteración fílica, ésta se superpone a la alteración potásica previa y mineralización pre-existente, alterándola y en ocasiones enriqueciéndola en sulfuros. La mineralización de Cu-Mo dentro de los pórfidos tardíos se interpreta como una re-movilización de la previa mineralización e involucra pirita y calcopirita más menor bornita, molibdenita, galena, esfalerita, tenantita-tetraedrita, luzonita, enargita, baritina, calcita y alunita. Estos minerales ocurren generalmente en vetillas de cuarzo-sericita o con las gangas siderita, ankerita, yeso y cuarzo. Menor contenido de arsénico ocurre en pirita, arsenopirita, luzonita y sulfosales de cobre en los pórfidos tardíos (Serrano et al., 1996).

La alteración sericítica de los bordes de los clastos de las brechas y los halos sericíticos alrededor de las vetas tardías de cuarzo-pirita, son ambas atribuidas al mismo fluido magmático que generó los cuerpos de brecha, y no habría estado influenciada por fluidos de naturaleza meteórica, como a menudo es mencionado para explicar la alteración sericítica en pórfidos cupríferos (Taylor, 1974). Sin embargo, no es posible determinar cuál de los múltiples fluidos magmáticos que circularon durante la formación de los cuerpos de brecha y las vetas tardías de cuarzo-pirita causaron la alteración (Skewes et al., 2003).

- **Alteración Propilítica**

Se encuentra en los clastos de la parte más norte y oriental de la Brecha Donoso y los de la parte más norte y occidental de la Brecha Occidente están débil a moderadamente alterados con asociaciones propilíticas. Estos contienen biotita magmática, hornblenda y/o clorita deutérica transformados a epidota, turmalina, especularita y/o clorita; la magnetita es en su mayoría estable, las plagioclasas están ligeramente sericitizadas y el feldespato potásico está en gran parte inalterado. (Warnaars et al., 1985).

Una característica única del sistema es el reemplazo de los minerales máficos, así como, la clorita secundaria por especularita y/o turmalina dentro de esta zona. Muchos agregados de especularita, con o sin turmalina, forman pseudomorfos producto de la alteración de hornblenda, clorita secundaria y/o magnetita. Estos pseudomorfos se preservan dentro de los halos de alteración cuarzo-sericita (Warnaars et al., 1985).

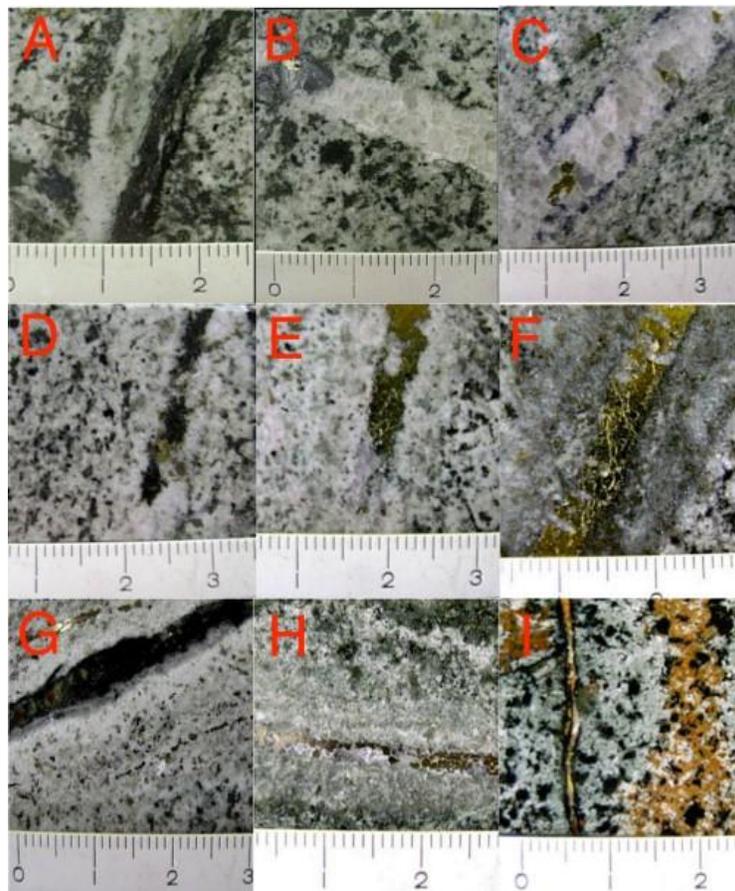


Figura 2.6: Algunas vetillas descritas: A) Veta tipo EB. B) Veta tipo A. C) Veta tipo B. D) Veta tipo C. E) Veta tipo C1. F) Veta tipo C2. G) Veta tipo C3. H) Veta tipo D. I) Veta tipo D tardía (reglilla está en centímetros) (Vargas, 2015).

## CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA

### 3.1. Recopilación bibliográfica y selección de las secciones de estudio

El trabajo de esta Memoria contempló, en una primera etapa, la recopilación de información bibliográfica acerca de las características y distribución de las distintas unidades litológicas, las alteraciones hidrotermales, y tipos de vetillas presentes en el depósito de Río Blanco–Los Bronces, además de la geología estructural, local y regional del yacimiento. Dicha recopilación se centró en artículos científicos, memorias, tesis y congresos, como también informes internos de la empresa, con el propósito de profundizar en los factores que controlan la ocurrencia de Au, Ag, Cu, Ni y Co en el depósito de Los Bronces respecto a sulfuros y zonas de alteración hidrotermales.

En base a dicha información, se seleccionaron tres secciones para estudio en la mina Los Bronces. Éstas corresponden a las secciones paralelas este-oeste 99600 N (Figura 3.1), 99700 N (Figura 3.2) y 99800 N (Figura 3.3) las cuales han sido estudiadas y mapeadas en detalle con anterioridad por Vivanco (2022). Dichas secciones se consideran representativas del depósito ya que integran zonas de litologías y alteraciones que permiten una interpretación de las continuidades del mapeo en detalle y su proyección a una escala mayor a 1:1000. Con el propósito de estudiar las tres secciones mencionadas, se analizaron un conjunto de sondajes que las atraviesan y que sirven para entregar información de detalle. Sin embargo, es importante mencionar que en solo algunos de los sondajes analizados posee datos geoquímicos multivariable disponibles.

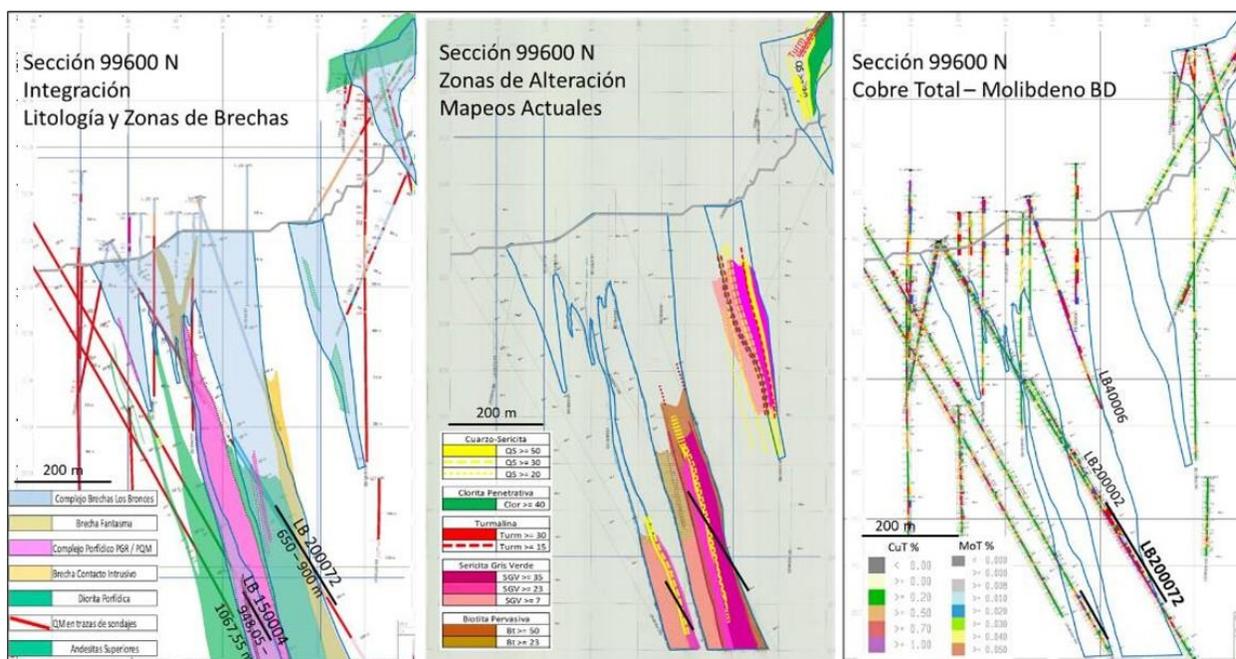


Figura 3.1: SECCIÓN 99600 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. La secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante al desarrollo de las alteraciones y la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. La Brecha Fantasma se desarrolla en bordes del Complejo Pórfido PGR/PQM. Continuidades de leyes de cobre y molibdeno entre los sondajes LB200072, LB200002 y LB 40006.

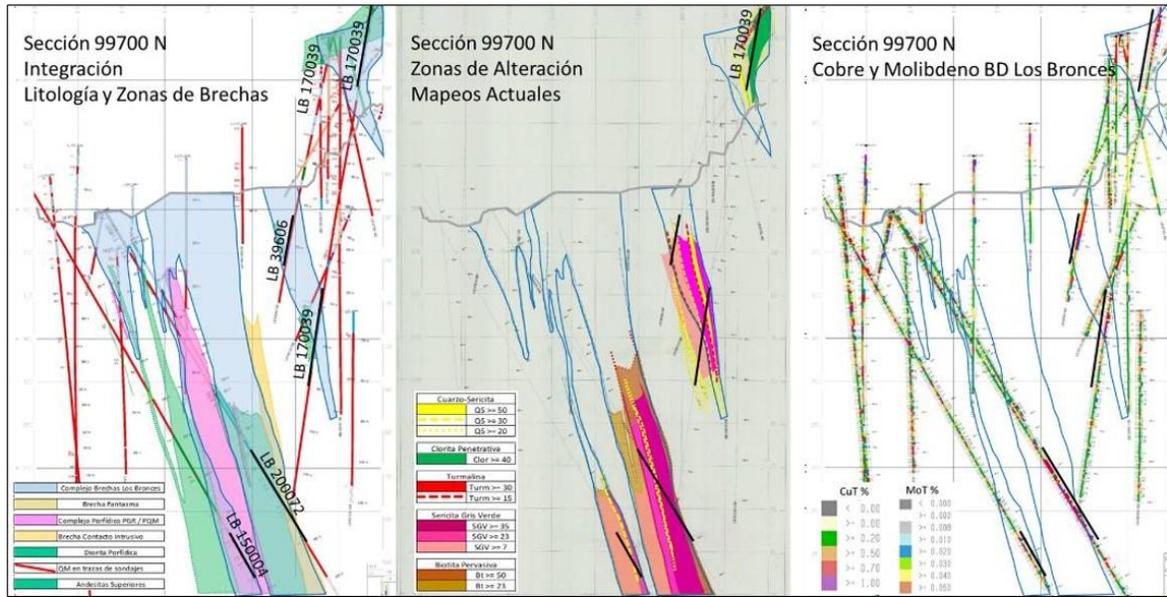


Figura 3.2: SECCIÓN 99700 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. Secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante a las alteraciones de la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. Brecha de Contacto Intrusivo en profundidad se proyecta hacia brechas similares en superficie.

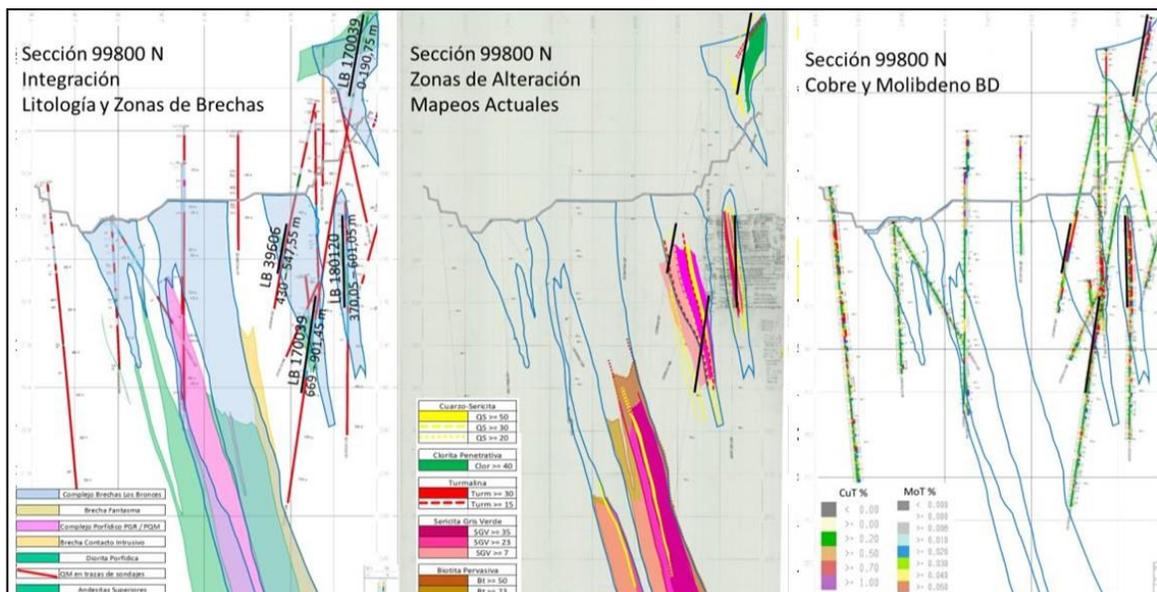


Figura 3.3: SECCIÓN 99800 N. Litología, Alteración, Leyes de Cobre – Molibdeno. Se indican los intervalos de sondajes mapeados en traza negra. La secuencia de emplazamientos porfídicos es concordante al desarrollo de las alteraciones y la envolvente del Complejo de Brechas Los Bronces. Altos valores de Molibdeno se asocian a Turmalina Transicional sobre SGV (LB180120).

### 3.2. Cartilla de mapeo y selección de muestras

El estudio contempló la inspección de una cartilla de mapeo geológico detallado realizado por Vivanco (2022), donde se describen litologías, estructuras, mineralización, alteraciones selectivas y destructivas. Dicha revisión se llevó a cabo en la testigoteca de Las Tórtolas, ubicada en la comuna de Colina, Provincia de Chacabuco, Región Metropolitana de Santiago, Chile, 40 km al norte de Santiago. El mapeo, que corresponde a base fundamental de este estudio, incluye un total de 1142.05 m en intervalos de sondajes seleccionados por sus altas leyes de cobre > 0.5% en intervalos con mayor recurrencia de este tipo de valores (sondajes LB200072, LB170039, LB150004, LB39606 y LB180120).

Tabla 3.1: Total de sondajes mapeados (Vivanco, 2022).

Intervalos (metros)			
Sondaje	Desde	Hasta	Total
LB170039	0	190.8	190.8
	669.7	901.45	231.75
LB200072	650	900	250
LB39606	430	550	120
LB180120	370.05	400	29.95
	401	601.05	200.05
LB150004	948.05	995	46.95
	995	1051	56
	1051	1067.55	16.55
<i>Total de metros mapeados</i>			1142.05

La cartilla de mapeo geológico, producto de los mapeos de sondajes observados, se define como una correspondencia integral de los controles geológicos, litológicos y de alteración. Identifica, describe y relaciona los tipos litológicos con las asociaciones de alteración-mineralización y sus correspondencias temporales relativas. Debido al registro volumétrico sistemático incorporado, la cartilla permite efectuar análisis comparativos de datos que permiten agrupaciones y segregaciones conducentes al control geológico de la mineralización. En consecuencia, se puede efectuar análisis estadísticos para definir continuidades y Unidades Geológicas de Estimación. A continuación, se muestra el esquema de la cartilla de mapeo utilizada en esta Memoria (Figura 3.4). Es importante mencionar que tanto la mineralización como alteración en la cartilla de mapeo es estudiada mediante un porcentaje volumétrico en la roca asociada a un rango. Por otro lado, se tiene

las variables de zonas de litología y alteración, y en esta última, puede estar asociada a una o dos alteraciones con sus respectivos intervalos volumétricos.

En base a la inspección de la cartilla de mapeo, se eligió un total de 20 muestras para estudio petrográfico y análisis estadístico, basado en los siguientes criterios:

- Las muestras se encuentran dentro de los sondajes detallados en la cartilla de mapeodescrita por Vivanco (2022).
- Las muestras son representativas y deben aportar información de la evolución del yacimiento en términos de las asociaciones de alteración-mineralización.
- Las muestras aportan al conocimiento respecto del comportamiento de los distintos elementos de interés económico en zonas con leyes de cobre elevadas.

(1) Intervalo geológico

SONDAJE			
Nombre	Desde (m)	Hasta (m)	Long (m)

(2) Litologías y estructuras

LITOLÓGIA Y ESTRUCTURAS			
Nombre	Descripción	ESTRUCTURAS / VETAS	
		Tipo Estructura	ángulo
OBSERVACIONES			
LITOLÓGIA LOCAL			

(3) Alteración selectiva y destructiva

ALTERACIÓN TOTAL (% Vol)	ASOCIACIONES DE FONDO (% Vol)	ASOCIACIONES DE FONDO Reemplazo selectivo					Observaciones
		Brecha - Crackle	Vetillas (V), Halos (H), Brechillas (P)	Roca Estable	Horizontes de BT	Brechas (V-H-F)	

(4) Alteraciones destructivas

BT - BT-mt, BT-cpy + Vetillas BT - (Al-Fe-Si)		BT Pulso Roca		Kfeld-Qtz		Vetillas B		sericita - ser - clor - ser (alta - calcopirita) + Vetillas C		Turmalina (qtz-ser)		anhidrita		Especularita - sericita (calcopirita)		Polvo de Roca		Clorita		Cuarzo - Sericita QS (alta p/rita)	
Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD	Total	Ensa. XRD

(5) Techo de sulfatos, mineralización y leyes

TECHO SULFATOS (cavs, yeso, anhidrita)	MINERALIZACIÓN (% VOL TOTAL)						LEYES LABORATORIO						
	TOTAL SULFUROS	SUMA 100 (% Relativo)					Cu ESTIMACIÓN VISUAL	CuT (%)	CuS (%)	MoT (%)	Au (g/t)	Ag (ppm)	As (ppm)
		mg	py	bn	en	cp							

(6) Agrupación de alteraciones destructivas y zonas

AGRUPACIÓN ALTERACIONES DESTRUCTIVAS					ZONA ALTERACIÓN	TIPO DE ROCA	ZONA LITOLÓGICA	ZONA DE BRECHIZACIONES
BT	SGV	TURM	QS	ANH				

Figura 3.4: La selección de cada intervalo es función de las características geológicas homogéneas principales (1), Litología (2), Asociaciones de Alteración, Intensidades y Fábrica (3) y (4), Incrementos del Total Sulfuro y Porcentajes Relativos de las especies sulfuradas (5). El Techo de Sulfatos conduce a las intensidades de procesos supérgeno. La unidad de medida en la tabla es % asociado al porcentaje volumétrico de la alteración o mineralización en la roca.

A continuación, se muestra el total de muestras seleccionadas, con su respectiva zona

demarcada para confección de cortes transparente-pulidos (Figura 3.5, en ANEXO C. se observa la descripción macroscópica de cada una). Además, se muestra una tabla resumen con la descripción básica de las muestras seleccionadas, incluyendo el tramo de cada sondaje, y su respectiva litología, observada en muestra de mano (Tabla 3.2).

Tabla 3.2: Tabla resumen con el detalle de las muestras seleccionadas en los sondajes inspeccionados

Sondaje	Código	Long(cm)	Desde(m)	Hasta(m)	Litología
LB200072	M01	14	764.8	764.94	Brecha de turmalina
	M02	15	773.22	773.37	Brecha de biotita
	M03	10	775.05	775.15	Brecha de turmalina
	M04	15	789.17	789.32	Brecha de biotita
	M05	7	793.98	794.05	Imposición de Pórfido Diorítico en polvo de roca
	M06	14	825.59	825.73	Brecha de contacto de biotita
	M07	8	841.4	841.48	QM alterado
	M08	15	849.66	849.81	Brecha de contacto con SGV
LB170039	M09	12	733.03	733.15	QM casi inalterado
	M10	6.5	747.79	747.85	Posible zona dúctil
	M11	11	755.09	755.2	Posible QM
LB150004	M12	6	1003.03	1003.09	PQM
	M13	9	1016.78	1006.87	Pórfido Diorítico con fragmentos posibles de PQM
	M14	13	1011.58	1011.71	Pórfido Diorítico
LB39606	M15	7	481.32	481.39	Protolito irreconocible. Posible roca intrusiva
	M16	14	529.44	529.58	QM alterado
	M17	13	545.69	545.82	QM alterado
LB180120	M18	16	378.88	379.04	Brecha incipiente de turmalina
	M19	17	381.93	382.1	Brecha incipiente de turmalina
	M20	17	388.11	388.28	Brecha de turmalina

### 3.3.Descripción macroscópica y estudio petrográfico

Las muestras seleccionadas para estudio fueron caracterizadas macroscópicamente considerando el contexto el cual se extrajeron. Se identificaron los minerales formadores de roca para clasificar la litología y las estructuras, seguido de la descripción de los diferentes

minerales de alteración, con énfasis en las asociaciones de alteración hidrotermal principales. Por otra parte, se observó el tipo y modo de ocurrencia de la mineralogía de alteración y de mena, y se consideraron minerales índices para dichas asociaciones. En forma paralela a la descripción macroscópica de las muestras, se examinó el sistema de mapeo detallado realizado de Vivanco (2022). Esta etapa de estudio permitió identificar de forma macroscópica las posibles relaciones entre la mineralogía y las alteraciones hidrotermales presentes en Los Bronces. Las muestras son las observadas en la Figura 3.5.

Se realizaron 20 cortes transparente-pulidos, de tamaño estándar, en el laboratorio GEOMAC en la comuna de Providencia. La descripción petrográfica se realizó mediante un microscopio Nikon SMZ1500 en el Departamento de Geología de la Universidad de Chile, y tuvo como objetivo identificar la mineralogía de alteración y de mena, y las asociaciones de alteración- mineralización.

Mediante la cartilla de mapeo se generó un compósito de los sondajes. Esta operación consiste en regularizar o compositar el sondaje, es decir, disponer de datos o compósitos de longitud constante, debido a la naturaleza irregular de los tamaños correspondientes a los intervalos de sondajes. En este caso particular, se definieron intervalos de 5 m, en los cuales se procedió a analizar los datos disponibles de las leyes y datos geoquímicos, obteniéndose un total 233 intervalos. Luego, con el fin de obtener los intervalos representativos, se generó un filtro de selección con sólo aquellos tramos donde se tiene un 100 % de los datos. Por ejemplo, si el tramo 620-625 m posee información de un tipo de litología hasta el metro 623, mientras que el intervalo 623-625 posee otra definición litológica, dicho intervalo no se selecciona para efectos de análisis de la base de datos final. Finalmente, y de acuerdo con estos criterios, la base de datos de sondajes se constriñó a un total de 141 datos. En el ANEXO B, se incluye la tabla de datos para cada sondaje.

La información del volumen de datos a estudiar fue analizada mediante Pandas, librería en Python que se especializa en el manejo, análisis y procesamiento de datos. Dicha herramienta permite analizar la base de datos obteniendo parámetros cuyos resultados representan variabilidad, similitud y discrepancias entre los distintos atributos geológicos y geoquímicos, que son el objetivo de este estudio. Por ejemplo, se analizaron las relaciones del total de sulfuros, y en específico la piritita y calcopiritita, respecto a las diferentes zonas descritas, en términos de la alteración, litología y brechización. Asimismo, se analizaron estos aspectos respecto a las leyes de cobre y molibdeno.



Figura 3.5: Muestras seleccionadas: Ordenadas hacia la derecha. En el re- cuadro se observa la zona donde se le hará el corte (En ANEXO A se puede ver en mayor detalle).

### 3.4. Análisis de datos geoquímicos

El análisis geoquímico multielemento de los tramos de sondajes disponibles para este estudio fue encargado por la Superintendencia de Geología de Exploraciones de Anglo American a los laboratorios Bureau Veritas en Vancouver, Canadá. Se utilizaron los protocolos de análisis LF302 y AQ252, los cuales incluye preparaciones de la muestra mediante fusión de la muestra y disolución con agua regia, respectivamente. Los análisis químicos se realizaron mediante espectrometría de plasma por emisión óptica (ICP-OES), para el primer caso, y mediante espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), para el segundo caso.

De los cinco sondajes estudiados, sólo dos sondajes presentan datos de análisis químicos multielemental (LB200072 y LB170039), con un total de 83 puntos de muestreo (Ver ANEXO C). Además, al igual que el resto de los sondajes, se cuenta con información de litología, alteración hidrotermal y mineralizaciones principales, junto a las leyes de cobre y molibdeno de la cartilla de mapeo para la generación de un mejor análisis.

En la Tabla 3.3 se muestra la estadística básica descriptiva asociada a los datos obtenidos mediante ICP-OES, mientras que en la Tabla 3.4 se muestran los datos obtenidos mediante ICP-MS.

#### **3.4.1. Análisis estadístico univariable y multivariable**

Los datos geoquímicos multielementales fueron analizados, en una primera etapa, mediante análisis univariable de las concentraciones de elementos relevantes y de interés (Cu, Ag, Au, Mo, Co, Re) según la zona de alteración y litología. Dicho análisis se plasmó gráficamente mediante diagramas de tipo boxplot. Por otro lado, se utiliza el análisis univariable para correlacionarlo con el análisis multivariable.

Una vez realizado el análisis univariable, se procedió a un análisis de la base de datos geoquímica mediante el método de los componentes principales (PCA). Dicho análisis se realizó mediante dos tipos de softwares ioGAS y Visual Studio Code, para comprobar los resultados obtenidos.

En primera instancia se determina el número de factores que representarán la solución para la base de datos analizada mediante el criterio propuesto por Kaiser (1958), que elige a los factores que poseen valores propios superiores a 1. En base a esto, se establece el porcentaje de varianza que es explicada por el sistema factorial seleccionado.

Mediante el software ioGAS se obtienen los valores propios con su respectivo factor, y según el criterio de Kaiser (1958), se define 13 como el número de componentes principales óptimo con una varianza acumulada del 87.07 % (Tabla 3.5).

Tabla 3.3: Estadística básica para el control de los elementos analizados mediante ICP-OES. Se incluyen promedios, medianas, máximos, mínimos y desviaciones estándar.

Preparación de muestra	Elementos	Límite de detección	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Fusión	SiO <sub>2</sub> %	0.01	58.92	59.04	66.67	48.95	4.61
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.01	14.89	15	17.4	12.15	1.1
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.04	6.26	5.68	20.01	2.48	2.48
	MgO %	0.01	1.94	1.99	4.15	0.6	0.69
	CaO %	0.01	3.2	3.09	7.94	0.28	1.68
	Na <sub>2</sub> O %	0.01	1.63	1.33	4.12	0.09	1.23
	K <sub>2</sub> O %	0.01	4.65	4.67	6.27	3.22	0.56
	TiO <sub>2</sub> %	0.01	0.59	0.59	0.89	0.39	0.12
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0.01	0.14	0.15	0.21	0.04	0.03
	MnO %	0.01	0.04	0.04	0.09	0.02	0.01
	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	0.002	0.04	0.04	0.09	0.02	0.02
	Ba (ppm)	1	501.75	499	809	302	118.81
	Sc (ppm)	0.1	8.83	9	17	4	3.02
	Ga (ppm)	0.5	17.74	17.7	23.7	12.2	1.8
	Hf (ppm)	0.1	3.64	3.6	6.6	2.7	0.59
	Nb (ppm)	0.1	4.13	4.1	6	3	0.57
	Rb (ppm)	0.1	142.54	142	204.1	94.1	15.15
	Sn (ppm)	1	2.41	2	5	1	0.99
	Sr (ppm)	0.5	253.58	256.4	488.3	23.8	127.51
	Ta (ppm)	0.1	0.29	0.3	0.4	0.2	0.07
	Th (ppm)	0.2	7.47	7	16.9	3.4	2.35
	U (ppm)	0.1	3.36	2.8	12.7	1.8	1.72
	V (ppm)	8	118.14	117	199	60	30.95
	W (ppm)	0.5	39.61	34.7	157.9	14.8	22.06
	Zr (ppm)	0.1	130.94	130.2	229.4	95.5	21.15
	Y (ppm)	0.1	9.1	8.7	17.3	3.9	2.73
	La (ppm)	0.1	18.99	17	43.2	6.4	6.49
	Ce (ppm)	0.1	36.14	32.3	79	13.5	11.95
	Pr (ppm)	0.02	4.15	3.78	8.61	1.49	1.27
	Nd (ppm)	0.3	16.05	14.7	31	6.1	4.6
	Sm (ppm)	0.05	2.82	2.65	5.08	1.27	0.78
	Eu (ppm)	0.02	0.62	0.59	0.92	0.35	0.14
	Gd (ppm)	0.05	2.26	2.21	3.68	0.95	0.61
Tb (ppm)	0.01	0.3	0.29	0.52	0.13	0.09	
Dy (ppm)	0.05	1.62	1.56	3.15	0.79	0.49	
Ho (ppm)	0.02	0.31	0.29	0.59	0.14	0.1	
Er (ppm)	0.03	0.9	0.8	1.94	0.46	0.29	
Tm (ppm)	0.01	0.13	0.11	0.28	0.06	0.04	
Yb (ppm)	0.05	0.87	0.79	2.07	0.43	0.31	
Lu (ppm)	0.01	0.14	0.12	0.32	0.07	0.05	

Tabla 3.4: Estadística básica para el control de los elementos analizados mediante ICP-MS. Se incluyen promedios, medianas, máximos, mínimos y desviaciones estándar. En amarillo se encuentran los elementos que son estudiados mediante el análisis univariable.

Preparación de muestra	Elementos	Límite de detección	Promedio	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación estándar
Agua regia	Mo (ppm)	0.01	393.9	172.61	2000	18.34	493.55
	Cu (ppm)	0.01	7969.4	8326.78	10000	1243.39	2147.28
	Pb (ppm)	0.01	6.56	2.54	79.34	0.92	12.3
	Zn (ppm)	0.1	84.45	63.4	819.8	20.5	102.24
	Ag (ppm)	0.002	2.93	2.75	6.56	0.91	1.16
	Ni (ppm)	0.01	20.58	19.6	49.1	10.5	6.64
	Co (ppm)	0.1	15.42	10.7	342.6	4	36.75
	Mn (ppm)	1	280.65	270	658	105	102.58
	As (ppm)	0.1	152.06	3.2	1458.9	0.4	332.17
	Au (ppm)	0.0002	0.02	0.02	0.09	0.01	0.01
	Cd (ppm)	0.01	0.54	0.13	4.76	0.01	0.92
	Sb (ppm)	0.02	5.44	0.18	69.56	0.02	12.33
	Bi (ppm)	0.02	1.85	1.36	9.86	0.24	1.85
	Cr (ppm)	0.05	169.76	116.9	532.3	60.4	117.7
	B (ppm)	1	3.05	3	7	1	1.08
	Tl (ppm)	0.02	0.31	0.33	1.02	0.06	0.17
	Hg (ppm)	5	34.04	8	1753	0.01	191.78
	Se (ppm)	0.1	3.33	2.6	11.6	0.7	2.1
	Te (ppm)	0.02	0.55	0.41	2.47	0.08	0.51
	Ge (ppm)	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.02
In (ppm)	0.02	0.25	0.23	0.65	0.05	0.11	
Re (ppm)	0.001	0.17	0.08	2.21	0	0.3	
Be (ppm)	0.1	0.28	0.3	0.5	0.1	0.08	
Li (ppm)	0.1	2.9	3.1	6.3	0.2	1.46	

Para la determinación de las variables representativas de cada uno de los factores elegidos se utiliza el software Visual Studio Code que entrega la correlación lineal entre las variables aptas de cada elemento y los factores seleccionados (Tabla 3.6). A esta correlación se le llamará carga factorial o carga (carga factorial de la variable en el factor). La asociación de una variable con un respectivo factor queda determinada por la correlación más alta (positiva o negativa) que tenga la variable con uno de los factores elegidos, por lo que se busca el valor absoluto máximo del elemento entre cada factor. De este modo, las variables pueden estar asociadas a un solo factor.

Aquellos elementos que presentan una correlación positiva se encuentran relacionados directamente con el factor, mientras aquellos que presentan correlación negativa indica una relación inversa. En caso de ser una correlación positiva, se busca en el boxplot del factor valores positivos para encontrar concentraciones altas. Por el contrario, en las correlaciones negativas se busca valores negativos para definir concentraciones altas.

Tabla 3.5: Valores propios de acuerdo con cada factor (PC) con su respectiva varianza acumulada. Datos obtenidos mediante el software ioGAS.

Factores	Valores propios	Porcentaje de varianza %	Acumulada %
<b>PC1</b>	21.99	34.36	34.36
<b>PC2</b>	8.093	12.64	47
<b>PC3</b>	4.824	7.538	54.54
<b>PC4</b>	3.387	5.292	59.83
<b>PC5</b>	3.251	5.08	64.91
<b>PC6</b>	3.199	4.998	69.91
<b>PC7</b>	2.201	3.438	73.35
<b>PC8</b>	2.061	3.22	76.57
<b>PC9</b>	1.811	2.83	79.4
<b>PC10</b>	1.489	2.326	81.72
<b>PC11</b>	1.197	1.87	83.59
<b>PC12</b>	1.148	1.794	85.39
<b>PC13</b>	<b>1.08</b>	<b>1.687</b>	<b>87.08</b>
<b>PC14</b>	0.914	1.428	88.5
<b>PC15</b>	0.7666	1.198	89.7
<b>PC16</b>	0.6973	1.089	90.79
<b>PC17</b>	0.6481	1.013	91.8
<b>PC18</b>	0.5201	0.8126	92.62
<b>PC19</b>	0.4894	0.7647	93.38

Tabla 3.6: Matriz de correlación de cargas: Los elementos representados en celdas amarillas representan el factor asociado a cada variable, mientras que en negrita se observa una correlación positiva y en rojo una correlación negativa.

	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13
CaO	0.17	-0.033	-0.13	0.067	-0.125	0.139	-0.022	0.063	-0.058	-0.112	-0.1	0.063	-0.04
TiO2	0.183	-0.114	-0.032	0.025	0.008	-0.113	-0.066	-0.095	0.011	0.086	0.116	-0.016	0.048
Sc (ppm)	0.191	-0.056	-0.047	0.062	0.064	-0.1	-0.054	-0.053	0.042	0.049	0.051	0.01	-0.072
Y (ppm)	0.188	0.12	0.048	-0.009	0.06	0.026	0.045	-0.068	-0.003	-0.116	-0.048	0.003	-0.054
Ce (ppm)	0.168	0.155	0.072	-0.072	0.001	0.032	0.038	0.165	-0.016	0.101	0.046	-0.117	0.021
Pr (ppm)	0.169	0.166	0.063	-0.063	0.02	0.026	0.047	0.138	-0.042	0.077	0.017	-0.126	0.035
Nd (ppm)	0.181	0.148	0.05	-0.045	0.021	0.019	0.069	0.087	-0.05	0.028	-0.008	-0.131	0.025
Sm (ppm)	0.19	0.129	0.049	-0.037	0.046	0.015	0.072	0.023	-0.072	0.005	-0.034	-0.058	-0.002
Eu (ppm)	0.19	0.037	0.07	0.004	0.088	0.076	0.062	0.055	-0.082	0.065	-0.1	-0.053	0.101
Gd (ppm)	0.191	0.116	0.042	-0.008	0.077	0.026	0.086	-0.028	-0.056	-0.029	-0.061	-0.05	-0.04
Tb (ppm)	0.191	0.113	0.054	-0.008	0.071	0.023	0.06	-0.046	-0.052	-0.061	-0.066	0.003	-0.033
Dy (ppm)	0.193	0.102	0.038	-0.022	0.06	0.022	0.041	-0.076	0.001	-0.064	-0.056	0.042	-0.058
Ho (ppm)	0.196	0.097	0.054	0.007	0.07	0.045	0.012	-0.051	0.006	-0.06	-0.036	0.048	-0.054
Er (ppm)	0.195	0.09	0.04	-0.017	0.025	0.03	-0.001	-0.088	0.065	-0.083	-0.03	0.079	-0.062
Tm (ppm)	0.193	0.105	0.036	0.006	0.014	0.028	-0.031	-0.073	0.076	-0.086	-0.005	0.079	-0.041
Yb (ppm)	0.19	0.11	0.034	-0.013	-0.007	0.003	-0.047	-0.048	0.12	-0.083	0.006	0.088	-0.01
Lu (ppm)	0.189	0.112	0.017	-0.015	-0.008	-0.017	-0.069	-0.061	0.116	-0.043	0.03	0.087	-0.021
Al2O3	0.115	-0.225	0.065	-0.012	-0.029	-0.141	-0.046	0.035	0.058	0.013	0.104	-0.018	0.16
Na2O	0.134	-0.222	0.015	-0.12	-0.025	0.083	-0.037	0.064	-0.16	0.055	0.021	0.006	0.122
Nb (ppm)	0.057	0.223	0.106	-0.137	-0.115	-0.167	-0.078	-0.102	0.024	0.065	0.002	-0.092	0.161
Sr (ppm)	0.153	-0.163	-0.034	-0.018	-0.13	0.155	-0.067	0.082	-0.093	-0.009	-0.095	0.107	0.095
Li (ppm)	0.167	-0.179	0.04	0.027	0.05	-0.042	-0.078	-0.005	-0.079	0.13	-0.019	0.066	-0.028
Te (ppm)	-0.082	0.217	-0.101	0.128	0.14	0.155	-0.135	0.039	0.046	0.064	-0.057	0.131	0.147
Th (ppm)	-0.071	0.125	0.206	-0.118	-0.073	-0.021	0.048	-0.053	-0.106	0.135	-0.106	-0.109	-0.164
SiO2	-0.162	-0.024	0.176	-0.114	-0.027	-0.163	0.121	0.011	-0.107	0.001	-0.128	-0.086	-0.071
Cu (ppm)	0.071	0.02	-0.296	0.031	-0.182	-0.179	-0.032	-0.178	-0.104	-0.054	-0.022	0.052	-0.06
Ag (ppm)	-0.001	0.162	-0.227	0.141	-0.127	-0.196	-0.125	-0.032	-0.206	0.119	0.068	-0.063	0.078
Au (ppm)	0.082	0.193	-0.237	0.005	-0.054	-0.087	-0.017	0.001	-0.168	0.058	0.123	-0.102	0.055
Se (ppm)	-0.003	0.188	-0.238	-0.016	-0.018	-0.122	0.081	-0.179	-0.108	-0.125	0.064	-0.121	0.08
In (ppm)	-0.035	0.181	-0.219	0.167	-0.102	-0.169	-0.1	-0.005	-0.153	0.161	-0.167	0.054	-0.07
MnO	-0.016	-0.017	0.273	0.306	0.037	-0.119	-0.092	0.097	-0.056	0.25	0.174	0.149	-0.069
Pb (ppm)	0.035	-0.035	0.097	0.306	-0.249	0.196	0.034	-0.167	-0.015	0.024	0.045	-0.111	0.134
Zn (ppm)	0.049	-0.036	0.064	0.347	-0.247	0.156	0.055	-0.097	0.037	0.048	-0.067	-0.28	0.057
Mn (ppm)	-0.006	-0.03	0.274	0.3	0.054	-0.11	-0.106	0.09	-0.049	0.264	0.156	0.143	-0.106
Hg (ppm)	0.048	0.015	0.095	0.314	-0.192	0.216	0.176	-0.035	0.043	-0.094	-0.184	-0.204	0.114
Bi (ppm)	-0.044	0.206	-0.123	0.219	0.086	0.011	-0.175	0.058	-0.092	0.092	-0.071	0.153	0.135
Ge (ppm)	0.061	-0.104	-0.062	0.049	0.267	-0.039	0.16	-0.127	0.141	0.089	-0.162	0.046	0.085
Fe2O3	-0.069	0.195	-0.08	0.098	0.265	0.167	-0.112	-0.114	0.159	0.07	0.059	0.036	0.158
Ni (ppm)	0.153	-0.067	0.003	0.005	0.226	0.025	0.047	-0.175	0.023	0.226	-0.132	0.027	-0.103
Co (ppm)	-0.023	0.056	-0.047	-0.013	0.203	0.337	-0.036	-0.075	0.244	0.132	0.376	-0.017	0.068
P2O5	0.088	-0.098	0.06	0.117	0.019	-0.252	0.152	-0.069	-0.191	-0.014	-0.173	0.108	0.206
Mo (ppm)	0.109	0.012	-0.174	-0.047	-0.103	-0.039	0.336	0.167	0.056	0.165	0.191	0.134	0.067
As (ppm)	-0.081	0.09	0.178	0.066	0.163	-0.128	0.278	-0.159	-0.198	-0.169	0.242	0.003	-0.068
Re (ppm)	0.072	0.037	-0.112	-0.051	-0.133	-0.059	0.347	0.244	0.074	0.261	0.117	0.163	0.241
Cd (ppm)	0.079	-0.098	-0.061	0.178	-0.176	0.167	0.271	-0.126	0.116	-0.024	0.064	-0.041	-0.179
Zr (ppm)	0.085	0.038	0.19	-0.182	-0.228	0.007	-0.212	-0.245	-0.045	0.02	0.178	0.101	0.017
V (ppm)	0.154	-0.138	-0.076	0.096	0.052	-0.116	-0.095	-0.178	0.02	0.054	0.038	-0.075	0.031
La (ppm)	0.15	0.174	0.08	-0.058	0.025	0	0.074	0.208	-0.016	0.097	0.062	-0.116	0.011
Hf (ppm)	0.066	0.051	0.202	-0.201	-0.236	0.004	-0.178	-0.268	-0.001	0.028	0.144	0.064	0.038
Cr2O3	-0.114	-0.003	-0.014	-0.105	-0.098	0.126	0.117	-0.346	-0.061	0.312	-0.12	0.16	-0.096
Tl (ppm)	0.142	-0.176	0.007	0	0.098	-0.142	0.097	-0.177	0.002	0.065	0.075	-0.044	0.022
U (ppm)	0.056	0.174	0.107	-0.078	-0.128	-0.106	-0.104	-0.007	0.253	-0.014	-0.174	0.107	0.11
K2O	-0.025	0.034	-0.036	0.024	-0.33	-0.166	0.078	0.014	0.379	-0.05	0.111	0.197	-0.101
Rb (ppm)	0.044	-0.048	-0.07	0.061	0.097	-0.317	0.159	-0.083	0.413	-0.018	-0.034	-0.042	-0.034
MgO	0.168	-0.151	-0.045	0.043	0.023	-0.073	-0.136	-0.021	0.026	0.184	-0.074	-0.005	0.023
Cr (ppm)	-0.112	0.063	-0.002	-0.096	0.043	0.093	0.193	-0.208	-0.039	0.364	-0.259	0.097	-0.084
Ta (ppm)	-0.068	0.134	0.17	-0.014	-0.078	-0.03	-0.086	-0.042	0.124	0.224	-0.022	-0.207	0.073
Ba (ppm)	-0.082	0.122	0.236	-0.037	-0.115	-0.089	0.127	0.172	0.123	0.019	-0.26	0.137	0.121
Sb (ppm)	-0.078	0.091	0.179	0.109	0.124	-0.117	0.222	-0.103	-0.205	-0.135	0.262	-0.039	0.04
Sn (ppm)	-0.135	0.125	-0.066	0.021	-0.031	-0.079	0.053	-0.094	0.143	0.108	0.176	-0.221	0.077
W (ppm)	-0.096	0.18	-0.037	0.067	0.055	0.04	0.107	-0.195	0.011	-0.085	-0.053	0.213	-0.102
B (ppm)	0.029	0.101	0.133	0.27	-0.012	-0.027	-0.009	0.048	-0.031	-0.227	0.01	0.413	0.018
Ga (ppm)	-0.086	-0.051	0.109	0.073	0.158	-0.2	-0.103	-0.112	0.154	-0.124	-0.193	-0.187	0.412
Be (ppm)	0.05	0.079	-0.025	0.155	0.039	-0.155	-0.134	0.171	0.155	0.042	-0.078	-0.257	-0.546

## **CAPÍTULO 4: RESULTADOS**

### **4.1. Descripción petrográfica**

A continuación, se realiza una descripción petrográfica de las muestras seleccionadas. Se describe la ocurrencia de los principales sulfuros en el depósito, respecto de las principales litologías y asociaciones de alteración reconocidas en Los Bronces. Esta sección es seguida, posteriormente, por una descripción general de la distribución de sulfuros en función de las zonas de alteración y litología (Sección 4.2), y un análisis estadístico de los datos geoquímicos de las muestras estudiadas (Sección 4.3).

#### **4.1.1. Calcopirita y su relación respecto a la alteración de tipo sericita gris verde**

La zona litológica con mayor presencia de total de sulfuros es el Pórfido Diorítico. Esta roca presenta fenocristales de plagioclasas alterados moderadamente a albita-sericita, fenocristales de ortoclasa levemente alterados a sericita-arcillas y minerales ferromagnesianos moderada a pervasivamente alterados a biotita secundaria y clorita. Los fenocristales se encuentran inmersos en una masa fundamental principalmente de plagioclasa, cuarzo y ortoclasa, y minerales ferromagnesianos alterados (Figura 4.1).

La alteración de tipo Sericita Gris Verde (SGV) se encuentra asociada a calcopirita dominante, y se caracteriza por presentar minerales de alteración como sericita temprana y arcillas, afectando principalmente a feldespatos y plagioclasas (Figura 4.2) y pirita ausente o escasa. Además, puede presentar mineralización de molibdenita (Figura 4.3). En zonas profundas, los eventos transicionales de SGV están relacionados a fuertes desarrollos de biotitización pervasiva encontrándose principalmente en el Pórfido Diorítico. Los eventos hidrotermales de sericita temprana comprenden desde las etapas tardías de alteración potásica de biotita dominante hasta las etapas transicionales con micas verde pálido que tienen incrementos de turmalina y anhidrita.

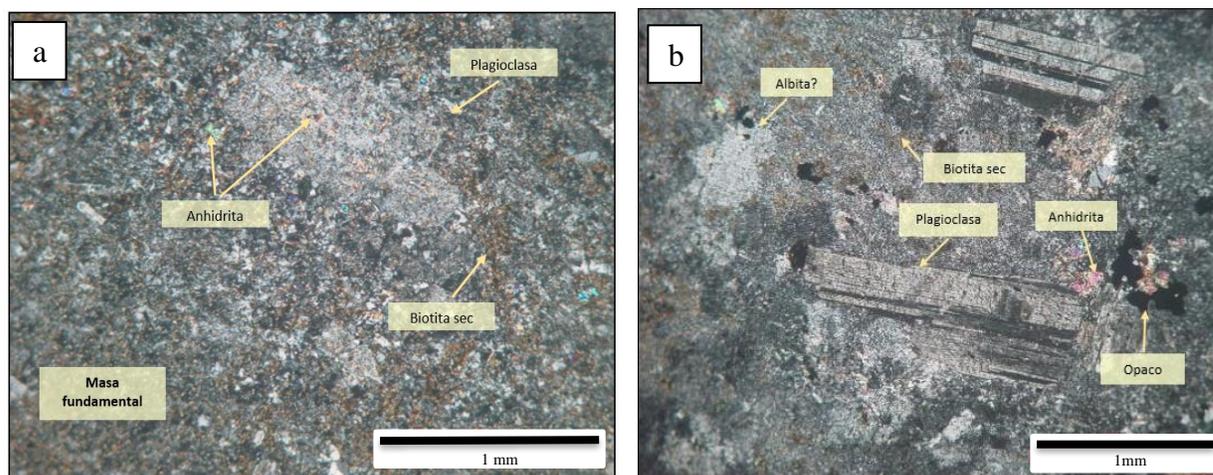


Figura 4.1: Fotomicrografías en luz polarizada plana del Pórfido Diorítico con alteración sericita gris verde (SGV). (a) Anhidrita en un fenocristal de plagioclasa alterado junto a biotita secundaria inmersos en una masa fundamental. XLP, 50X. (b) Fenocristales de plagioclasa en una masa fundamental de anhidrita, albita, biotita secundaria y opacos. XLP, 50X. Ambas en luz transmitida.

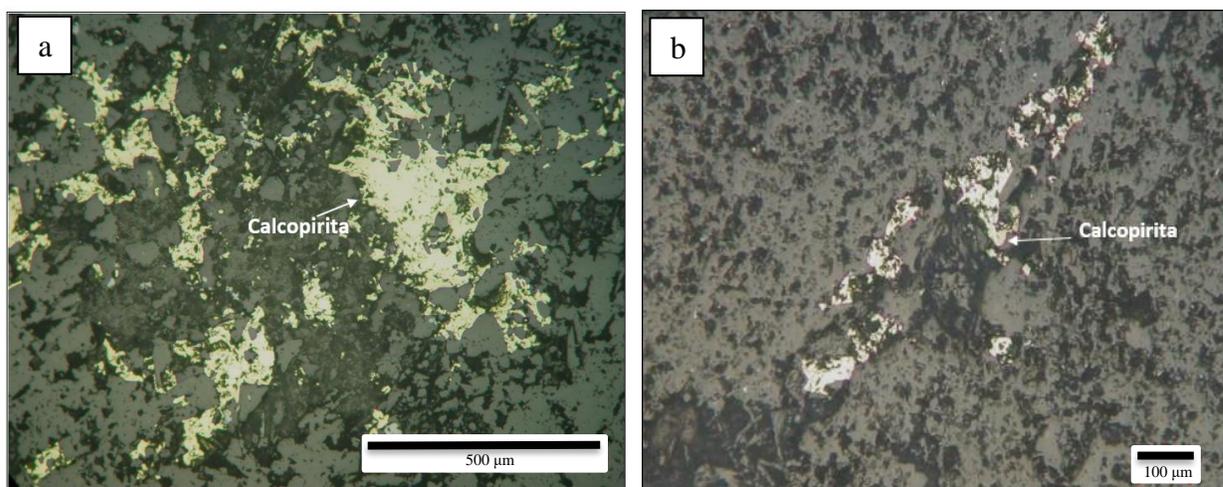


Figura 4.2: Fotomicrografías en luz polarizada plana del comportamiento de la calcopirita. (a) Calcopirita diseminada en la masa fundamental. LLP, 100X. (b) Calcopirita en tramo de microvetilla. LLP, 100X. Ambas en luz reflejada.

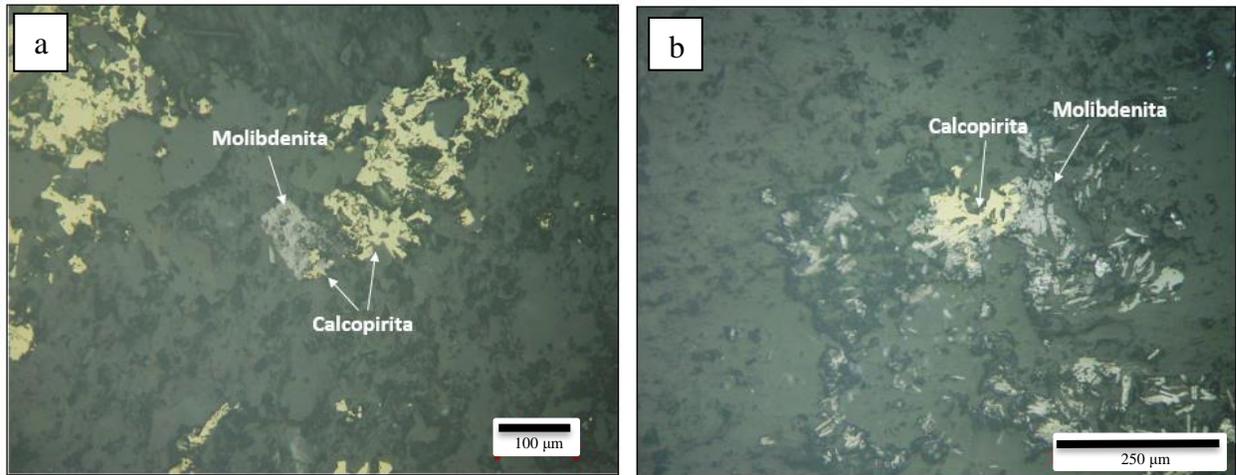


Figura 4.3: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la asociación calcopirita-molibdenita en SGV. (a) Molibdenita con calcopirita asociada. LPP, 200X. (b) Calcopirita-molibdenita local en matriz. LPP, 200X. Ambas en luz reflejada.

#### 4.1.2. Relación de turmalina-molibdenita con sericita gris verde

La alteración de turmalina transicional está estrechamente relacionada a la alteración sericita gris verde aumentando, el desarrollo de turmalina en zonas transicionales más tardías de sericita gris verde.

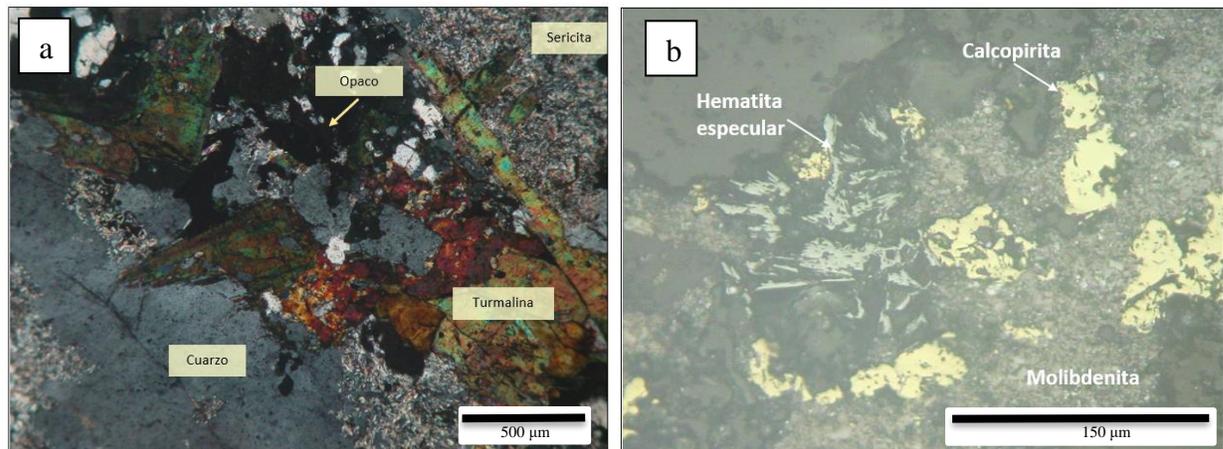


Figura 4.4: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la matriz tipo de una brecha hidrotermal de turmalina con mineralización de molibdenita, especularita y calcopirita. (a) Matriz compuesta por turmalina y cuarzo. XLP,50X (luz transmitida) (b) Molibdenita, especularita y calcopirita entrecrecidas. LPP, 200X (luz reflejada).

La turmalina transicional es una fase con incrementos de mineralización transicional de molibdeno-cobre. En particular, se puede observar brechas de turmalina-cuarzo-anhidrita

que cortan a la alteración sericita gris verde en cotas intermedias del sondaje LB180120 (Figura 4.4.a). Las brechas contienen molibdenita en su matriz, tanto como fracción fragmental como también constituyéndose parte de ella, además de calcopirita y hematita especular (Figura 4.4.b). Se observó una relación de corte con los eventos de Tipo D donde brechas y vetas de cuarzo-sericita con pirita masiva sin molibdenita cortan tanto los desarrollos de SGV como brechas de turmalina-molibdenita.

#### 4.1.3. Pirita y su relación respecto a la alteración de tipo cuarzo sericita

La alteración cuarzo-sericita corresponde a un evento tardío y destructivo que se superpone a eventos transicionales como la alteración sericita gris verde y turmalina transicional. Es el evento de mayor sulfuración en el yacimiento alcanzando sus mayores expresiones en cotas intermedias a superiores. Se considera la alteración con mayor contenido de sulfuros totales con pirita dominante respecto a la calcopirita. En profundidad ocurre a través de vetas y vetillas a partir de delgadas estructuras que cortan a la sericita gris verde-turmalina-anhidrita (Figura 4.5). En cotas intermedias cortan a las brechas de turmalina-molibdenita transicional. Por otra parte, se puede observar en brechizaciones de cuarzo-sericita abundantes cavidades, consecuencia de la lixiviación de yeso y/o anhidrita que originalmente ocuparon los espacios, y relictos de estos mismos.

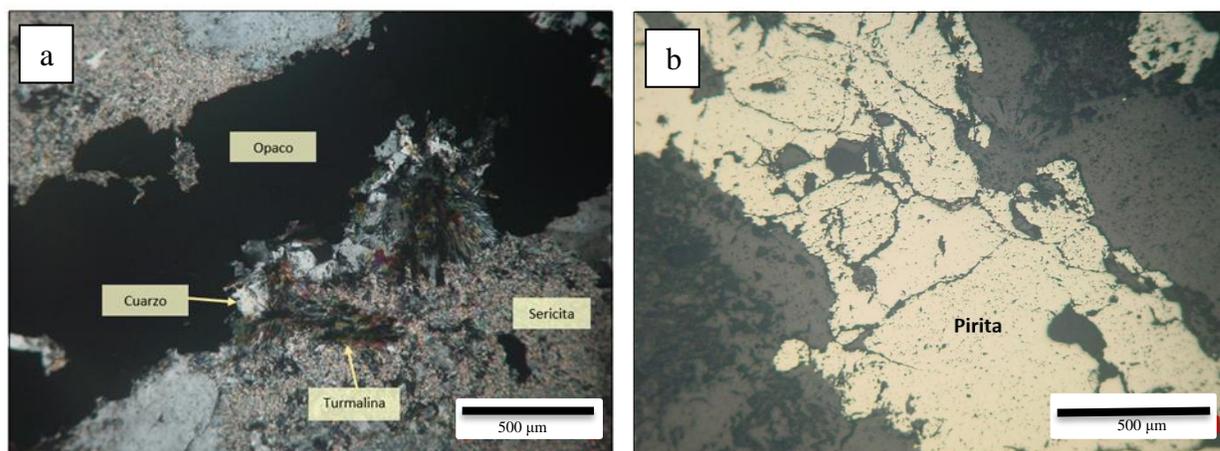


Figura 4.5: Fotomicrografía en luz polarizada plana de la vetilla de cuarzo-pirita. (a) Vetilla de cuarzo con mineralización de opacos (pirita) en sutura con escaso yeso-anhidrita. XLP, 50X (luz transmitida) (b) Pirita masiva en vetilla. LPP, 100X (luz reflejada)

#### 4.1.4. Presencia de bornita en PGR/PQM

El pórfido PGR / PQM incluye en su matriz ígnea fragmentos de Pórfido Diorítico fuertemente biotitizado, con presencia de anhidrita, y es cortado por brechas de biotita. La principal alteración destructiva que desarrolla es Kfeld-Cuarzo y vetillas de Cuarzo-A con mineralización de calcopirita entrecrecida con bornita (Figura 4.6).

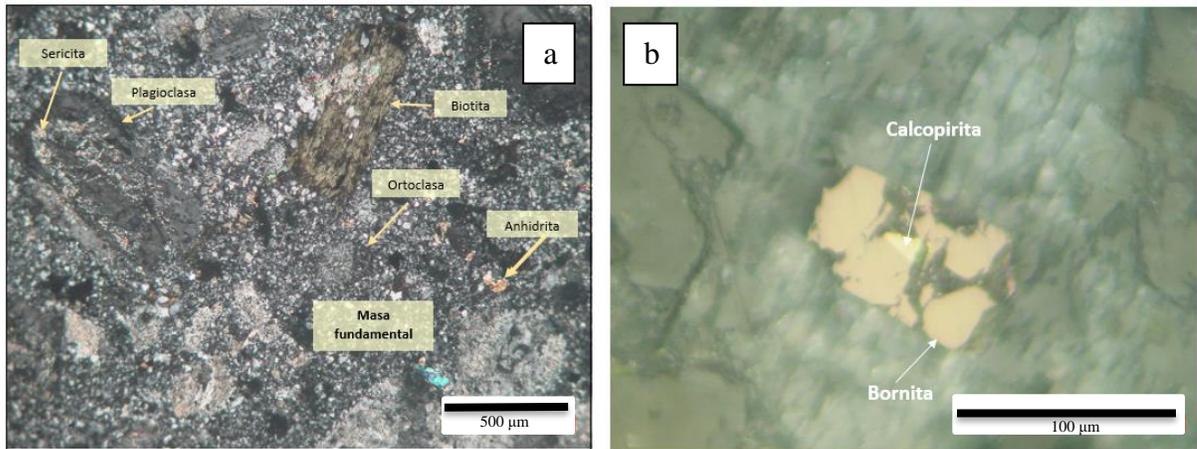


Figura 4.6: Fotomicrografía en luz polarizada plana del cuerpo porfídico asociado a la mineralización de bornita. (a) Pórfido con fenocristales de plagioclasa, ortoclasa, biotita, anhidrita y sericita. XLP, 50X (luz transmitida). (b) Calcopirita entrecrecida con bornita. LPP, 500X (luz reflejada).

#### 4.2. Distribución de sulfuros en función de las zonas estudiadas

A continuación, se presentan los resultados del análisis estadístico de los datos geoquímicos de las muestras estudiadas. Las zonas de litologías y alteraciones permiten agrupar continuidades del mapeo en detalle y proyectarlos a una escala superior. En los sondajes estudiados se observó diferentes zonas de alteración asociadas a alteraciones hidrotermales como sericita gris verde (SGV), cuarzo-sericita (QS), potásica biotítica (bt), turmalina transicional (Turm), las cuales están determinadas por rangos de acuerdo con el porcentaje volumétrico de dicha alteración. Una zona de alteración puede tener una o dos alteraciones hidrotermales en su definición. Por otro lado, la zona de litología determina la litología principal mapeada.

Se observó un mayor desarrollo de pirita en zonas de alteración asociadas a la cuarzo-sericita como en  $QS > 60$ ,  $QS \geq 20$  y  $QS \& Turm$  (Figura 4.7.a). Por otra parte, se tiene un mayor desarrollo de calcopirita en zonas de alteración asociadas a la sericita gris verde como en  $\Rightarrow 23 \text{ SGV} < 35$ ;  $bt > 50$ ,  $SGV \geq 35$ ,  $\Rightarrow 23 \text{ SGV} < 35$  y  $SGV \geq 7$  (Figura 4.7.b).

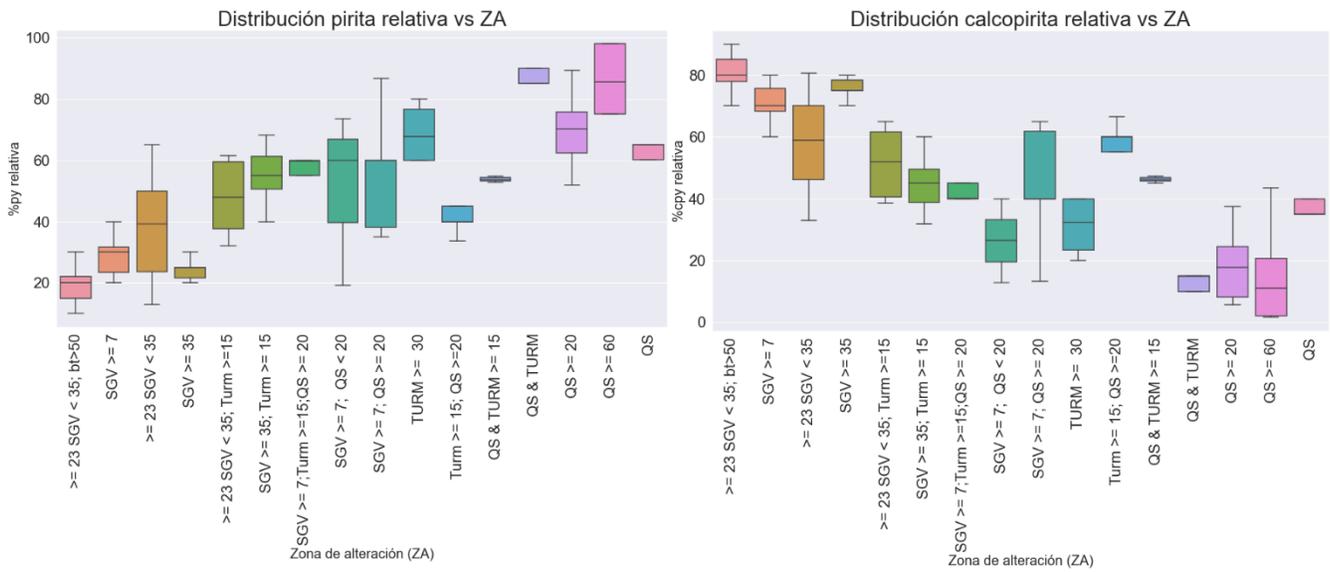


Figura 4.7: Izquierda: Distribución de pirita (%py) respecto al total de sulfuros vs zona de alteración. Derecha: Distribución de calcopirita (%cp) respecto al total de sulfuros vs zona de alteración.

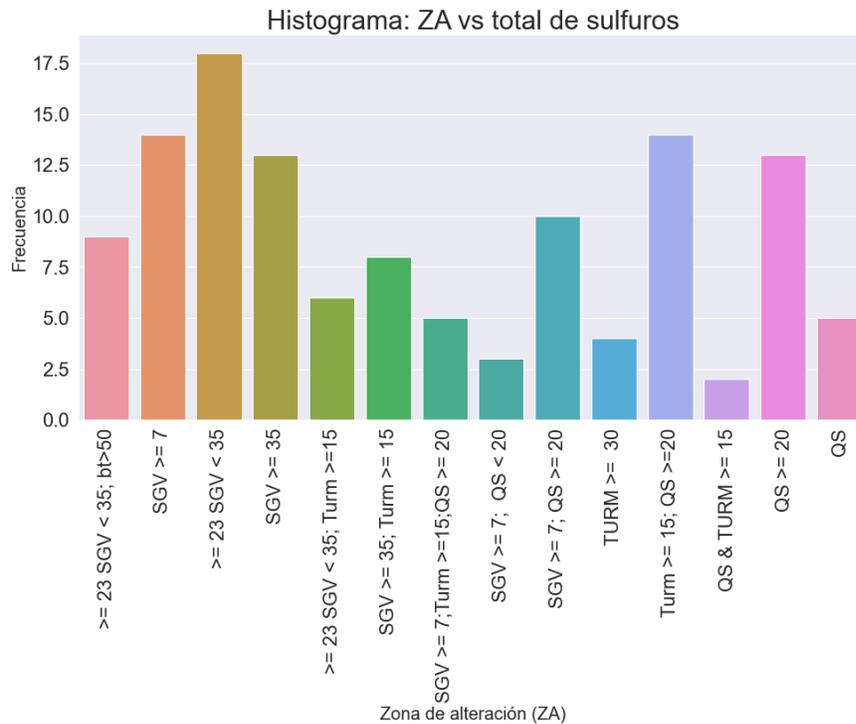


Figura 4.8: Histograma de zona de alteración (ZA).

Se observó un mayor desarrollo de sulfuros en la zona litológica del Pórfido Diorítico, concentrándose entre 3-4.5% volumétrico de sulfuros en los tramos de sondajes mapeados, seguido por la Cuarzomonzonita en los rangos de 2-3% de sulfuros (Figura 4.9.a), siendo estas dos zonas litológicas las estudiadas durante la memoria. En específico, el Pórfido Diorítico se caracteriza por presentar sólo cuatro tipos de zonas de alteraciones destacándose una gran concentración de sulfuros en el QS&Turm (Figura 4.10.a), junto a otras tres zonas de alteración asociadas a la SGV. Por otro lado, las mejores leyes de cobre están relacionadas a la alteración SGV (Figura 4.11).

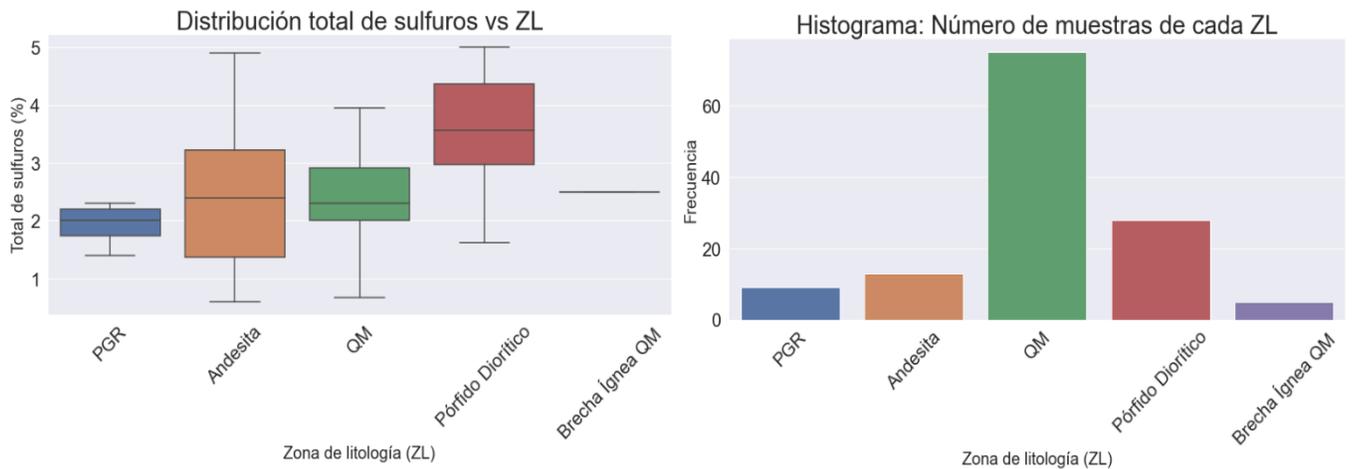


Figura 4.9: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de litología. Derecha: Histograma de muestras de zonas de litologías. Tipo de letra es distinto.

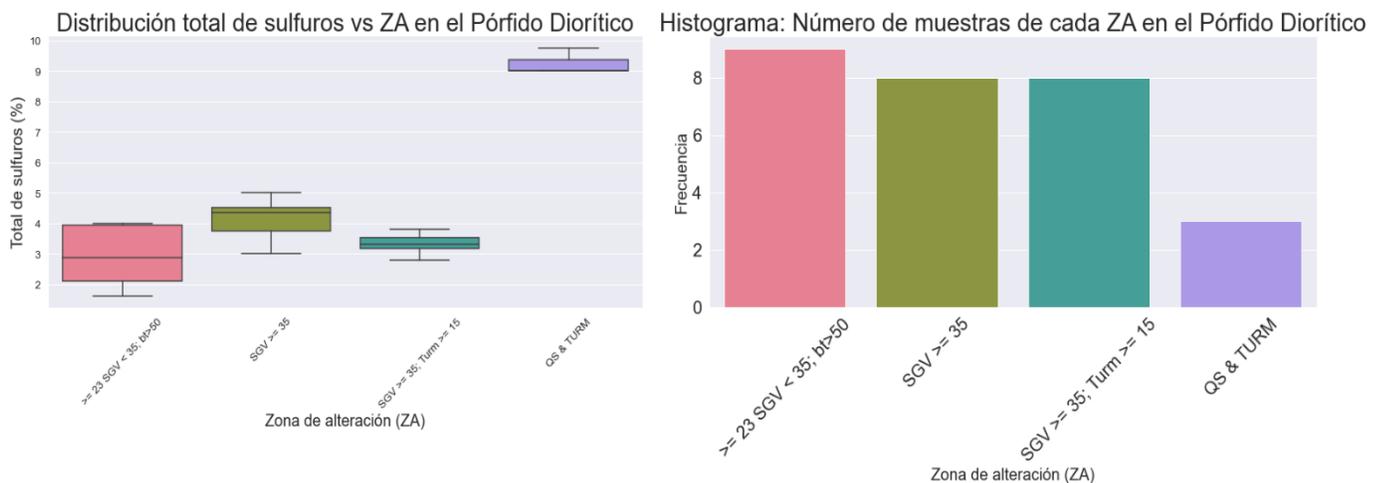


Figura 4.10: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de alteración en el Pórfido Diorítico. Derecha: Histograma de muestras de zonas de alteración en el Pórfido Diorítico.

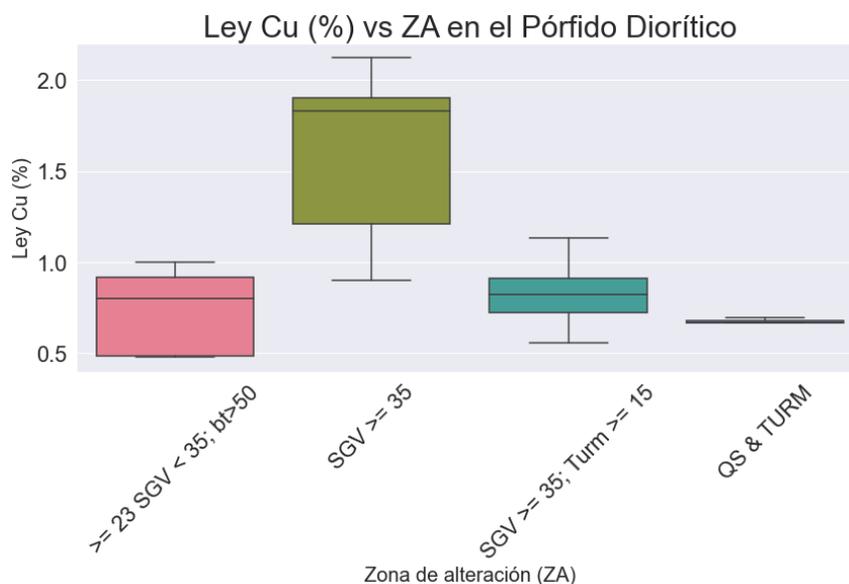


Figura 4.11: Leyes de cobre vs zona de alteración en el Pórfido Diorítico.

A diferencia del Pórfido Diorítico, en la zona litológica de la Cuarzomonzonita (QM) se observó una menor influencia de la alteración SGV en el aporte del total de sulfuros (Figura 4.12.a), existiendo una diversidad de zonas de alteración asociadas.

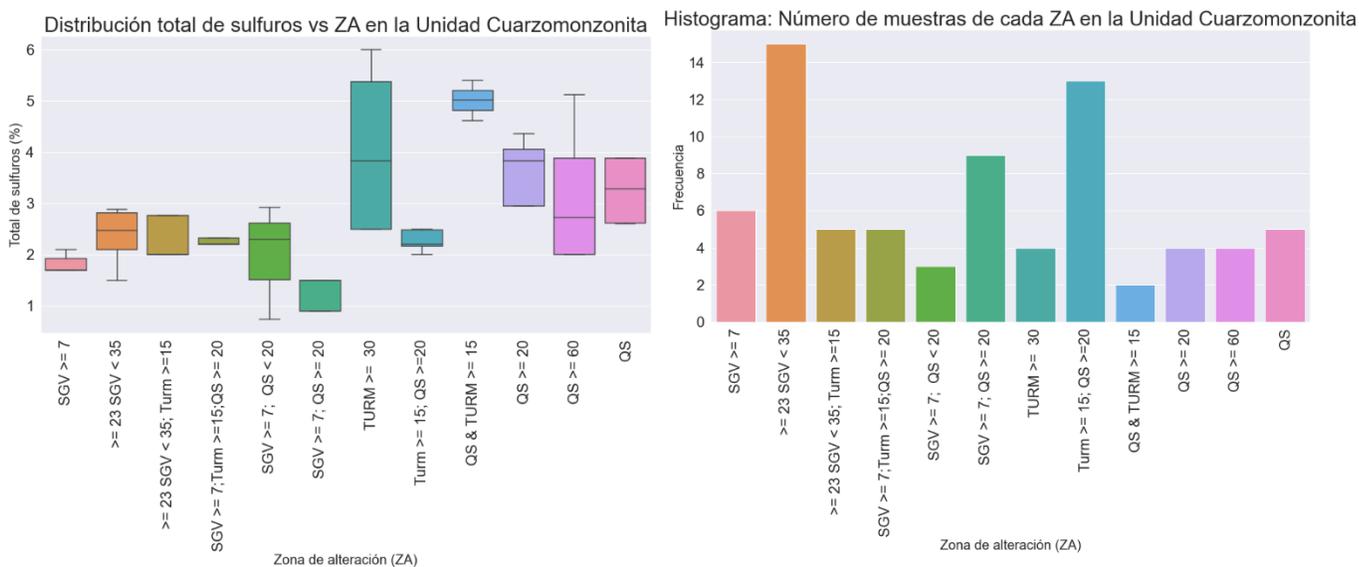


Figura 4.12: Izquierda: Distribución total de sulfuros (%) en la roca vs zona de alteración en la Cuarzomonzonita. Derecha: Histograma de muestras de zonas de alteración en la Cuarzomonzonita.

### 4.3. Análisis geoquímico multielemento

#### 4.3.1. Análisis univariable: Elementos de interés

A continuación, se presenta un análisis estadístico univariable de los elementos de interés, con énfasis en los elementos de interés económico, es decir, el cobre, molibdeno, plata, oro, cobalto y renio. El análisis consiste en el estudio de las concentraciones de los elementos respecto a las zonas de alteración y litología.

Las mayores concentraciones de Cu ocurren en la zona de alteración de  $>23 \text{ SGV} \leq 35$ ;  $\text{bt} > 50$ ,  $\text{SGV} \geq 35$ ;  $\text{Turm} \geq 15$  y  $\text{SGV} \geq 35$ , siendo esta última donde se genera principalmente SGV en un porcentaje volumétrico de la roca mayor a 35 % con concentraciones de cobre mayores o igual a 10.000 ppm. En general, se observó un control de la alteración SGV en todas las zonas de alteración a excepción del QS. Por otro lado, la zona de litología es dominada por el Pórfido Diorítico y la Bx Ígnea QM.

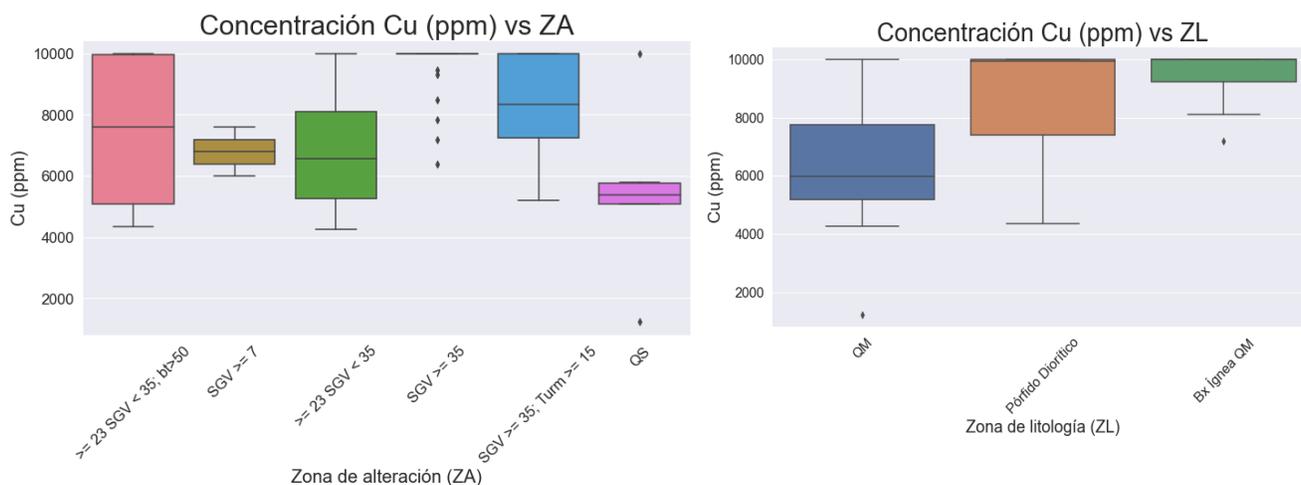


Figura 4.13: Izquierda: Distribución de la concentración de cobre (ppm) respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de cobre (ppm) respecto a la zona de litología (ZL)

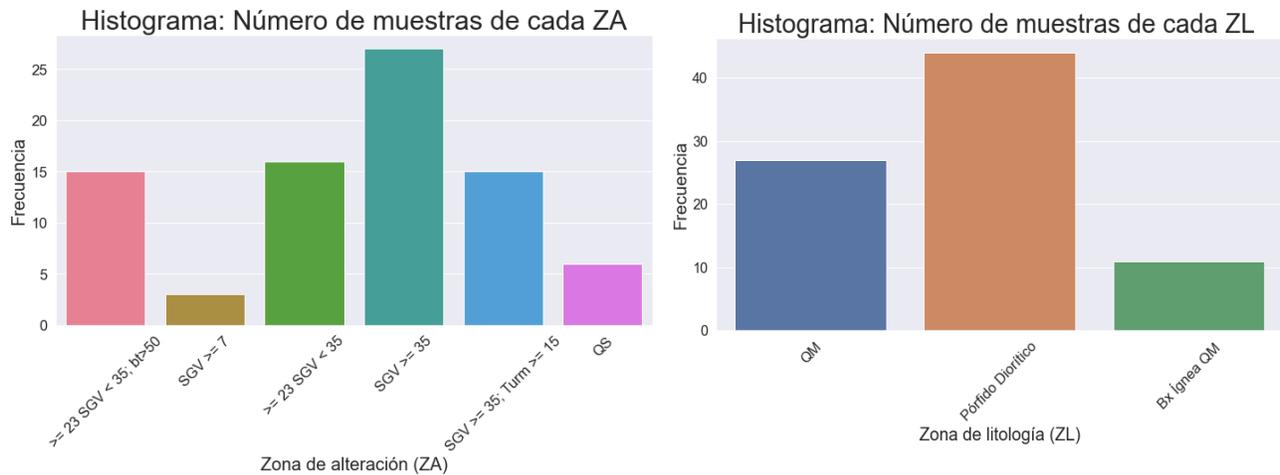


Figura 4.14: Izquierda: Histograma de zona de alteración (ZA). Derecha: Histograma de zona de litología (ZL) de los datos geoquímicos utilizados.

Las mayores concentraciones de Mo ocurren en la zona de alteración de  $SGV \geq 35$  y en  $>23 \text{ SGV} \leq 35; bt > 50$  donde se observa una dispersión en sus valores de hasta 1.200 ppm con mediana en 600 ppm indicando buenas concentraciones. Por otro lado, la zona de litología se observó principalmente en el Pórfido Diorítico y Bx Ígnea QM.

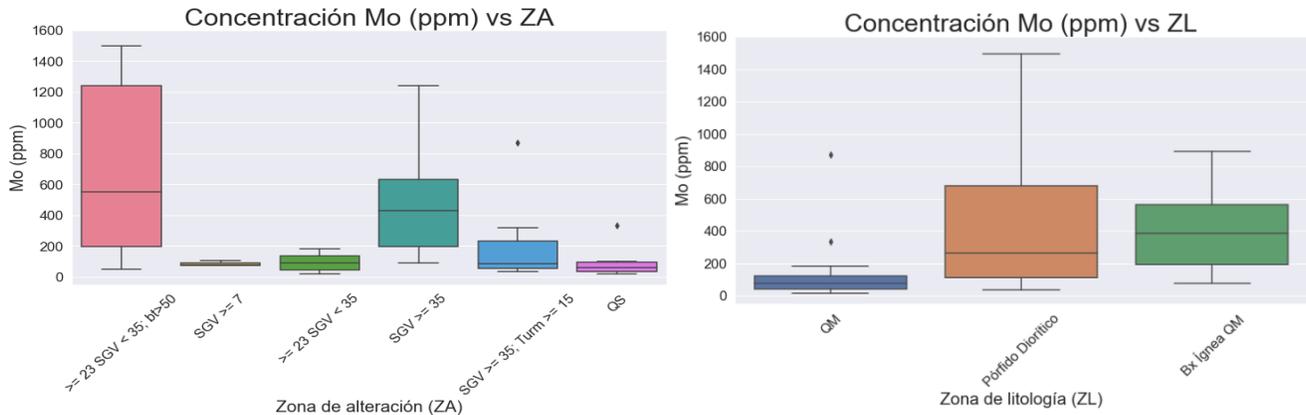


Figura 4.15: Izquierda: Distribución de la concentración de molibdeno (ppm) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de molibdeno (ppm) respecto a la zona de litología (ZL).

Las mayores concentraciones de Ag ocurren en la zona de alteración de  $SGV \geq 35; \text{Turm} \geq 15$  y  $SGV \geq 35$  con una mediana en 3.000 ppb aproximadamente y concentraciones más altas en el orden del 6.000 ppb. Por otro lado, se observa que no existe un control en particular de alguna litología, domina ligeramente el Pórfido Diorítico.

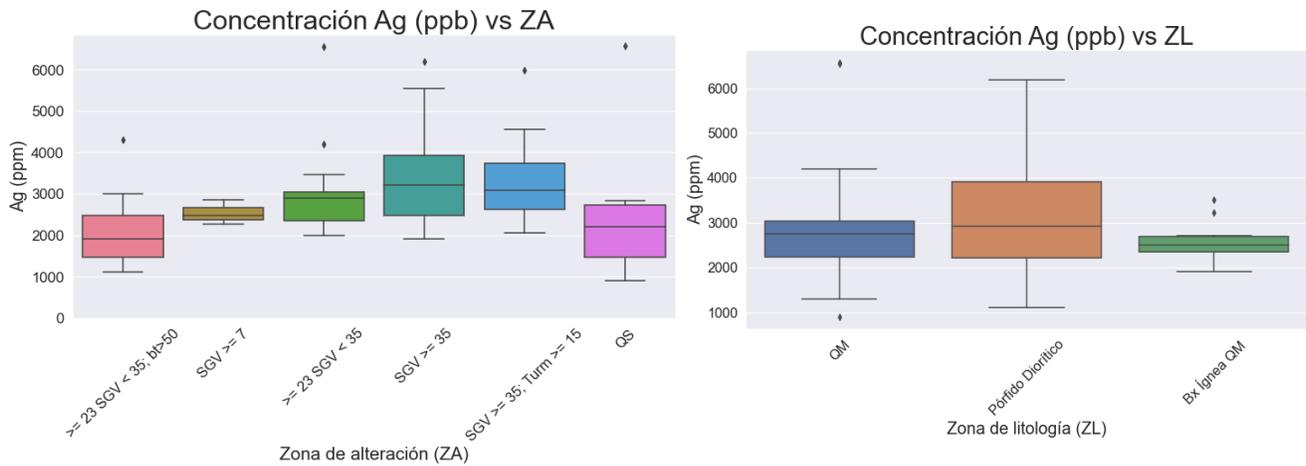


Figura 4.16: Izquierda: Distribución de la concentración de plata (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de plata (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).

Las mayores concentraciones de Au ocurren en la zona de alteración de  $>23 \text{ SGV} \leq 35$ ;  $bt > 50$ ,  $\text{SGV} \geq 35$ ;  $\text{Turm} \geq 15$  y  $\text{SGV} \geq 35$ , siendo esta última la principal con concentraciones máximas en 90 ppb de Au. Por otro lado, se observó que las concentraciones son dominadas por el Pórfido Diorítico.

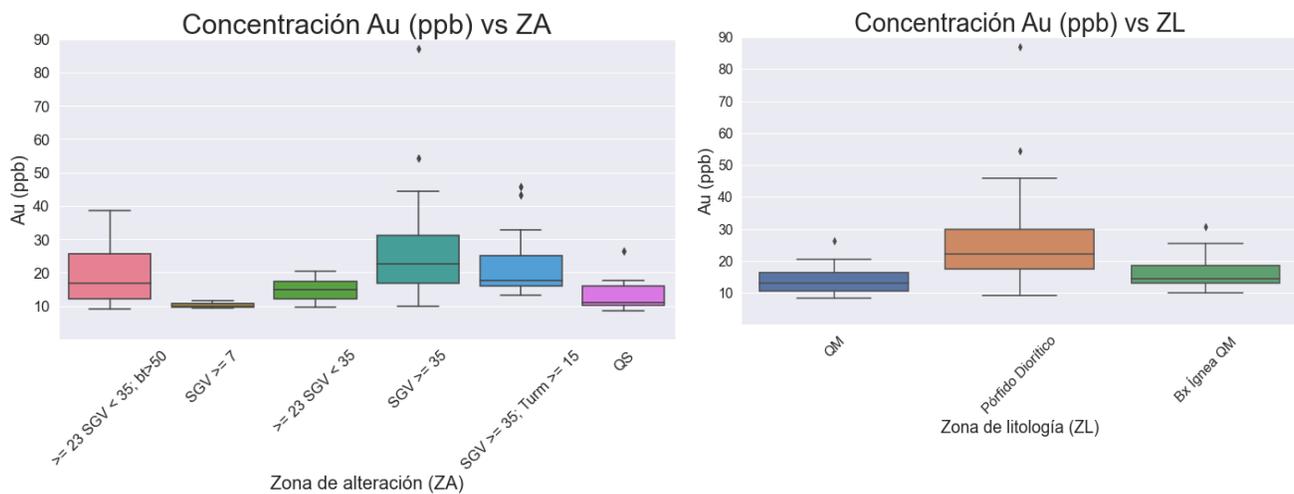


Figura 4.17: Izquierda: Distribución de la concentración de oro (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de oro (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).

Las mayores concentraciones de Co ocurren en la zona de alteración de  $23 < \text{SGV} < 35$ ;  $bt > 50$ ,  $\text{SGV} \geq 35$  y  $\text{SGV} \geq 7$ , mientras que en QS se observó una variación de concentraciones con un peak de 40 ppm. Por otro lado, la zona de litología se observó dominada por el Pórfido Diorítico y ligeramente superior en Bx Ígnea QM.

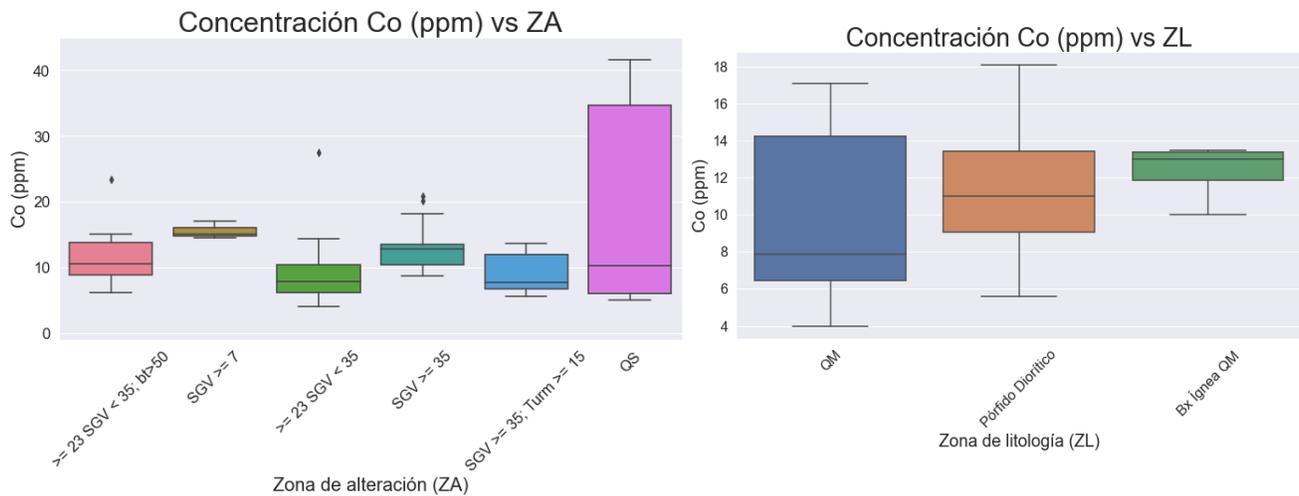


Figura 4.18: Izquierda: Distribución de la concentración de cobalto (ppm) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de cobalto (ppm) respecto a la zona de litología (ZL).

Las mayores concentraciones de Re ocurren en las zonas de alteración de  $SGV \geq 35$  y  $>23 SGV <= 35; bt > 50$ , siendo esta última la principal. Por otro lado, la zona de litología está dominada por el Pórfido Diorítico y Bx Ígnea QM.

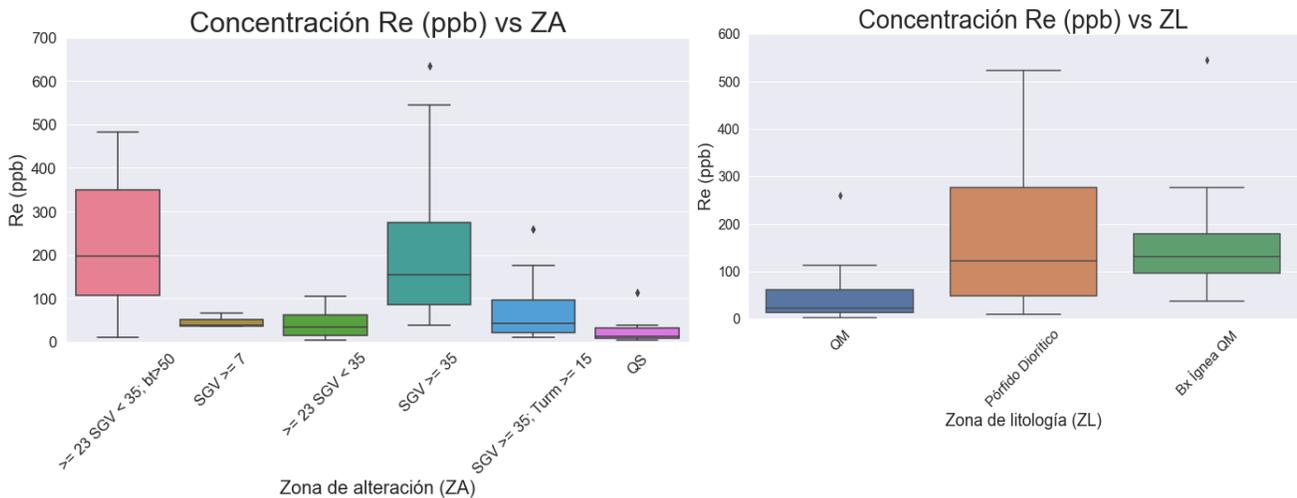


Figura 4.19: Izquierda: Distribución de la concentración de renio (ppb) respecto la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución de la concentración de renio (ppb) respecto a la zona de litología (ZL).

#### 4.3.2. Estadística multivariable: Análisis de componentes principales

A continuación, se presentan los resultados del análisis de componentes principales (PCA), utilizado en este estudio con el propósito de simplificar la base de datos y agrupar elementos que se comportan de una manera similar.

Las mejores concentraciones están dadas de acuerdo con el tipo de correlación. Aquellos

elementos que presentan una correlación/anomalía positiva se encuentran relacionados directamente buscando valores positivos del factor. Por el contrario, en las correlaciones negativas se busca valores negativos para definir concentraciones altas. En el análisis PCA se identifican 13 factores, los cuales son descritos a continuación.

El factor 1 está determinado por elementos de tierras raras: Ho, Er, Dy, Tm, Tb, Sc, Gd, Yb, Eu, Sm, Lu, Y, Pr y Ce, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor, además de elementos típicamente inmóviles como Ti y Nd. Otro elemento incorporado es Ca.

Los elementos presentan una correlación positiva por lo que se estudian de forma directa (mejores concentraciones asociadas a valores positivos del eje factor 1). En cuanto a la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en  $23 < \text{SGV} < 35$ :  $\text{bt} > 50$ ,  $\text{SGV} \geq 35$  y  $\text{SGV} \geq 7$  (Figura 4.20.a), y en la zona litológica del Pórfido Diorítico (Figura 4.20.b).

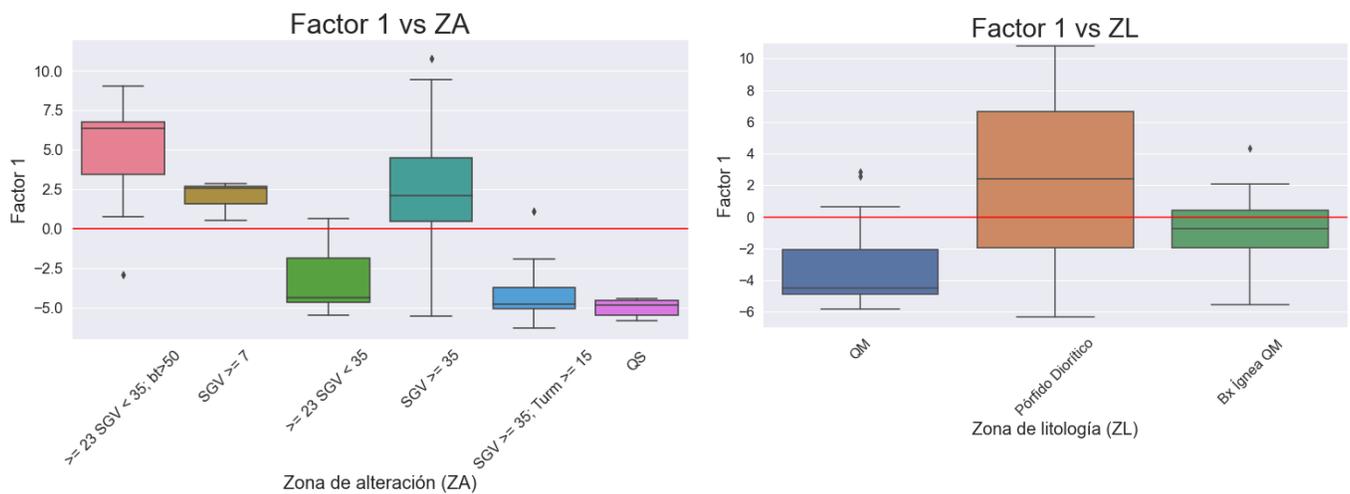


Figura 4.20: Izquierda: Distribución del Factor 1 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 1 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 2 está determinado por elementos: Nb, Na y Te, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor de manera directa (mejores concentraciones asociadas a valores positivos del eje factor 2), además incorpora Al, Li y Sr de manera indirecta (mejores concentraciones asociadas a valores negativos del eje factor 2).

En cuanto a los elementos que presentan anomalía negativa, las mayores concentraciones ocurren en la ZA:  $23 < \text{SGV} < 35$ ;  $\text{bt} > 50$  y  $\text{SGV} \leq 7$  (Figura 4.21.a), y en la zona litológica de la Bx ígnea QM (Figura 4.21.b), mientras que los elementos que presentan anomalía positiva ocurren en  $\text{SGV} > 35$ ;  $\text{Turm} \geq 15$  y en el Pórfido Diorítico.

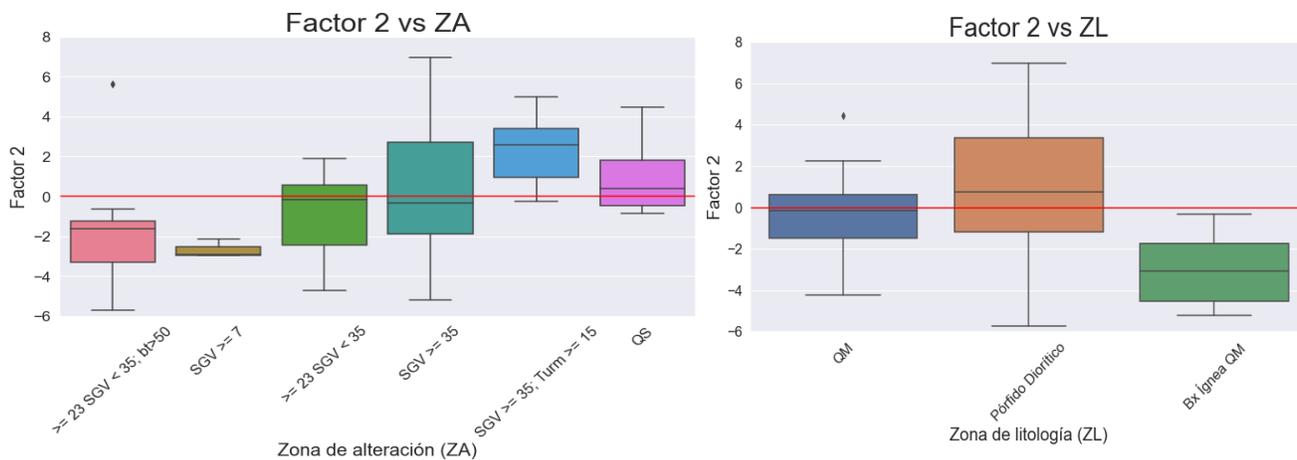


Figura 4.21: Izquierda: Distribución del Factor 2 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 2 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 3 está determinado por elementos incorporados de manera indirecta: Cu, Au y Ag, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor, además incorpora Se y In. Por otro lado, presenta Th y Si de manera directa.

En cuanto a los elementos que presentan anomalía negativa como Cu, Au, Ag, Se e In, las mayores concentraciones ocurren en la ZA:  $\text{SGV} \geq 35$ ;  $\text{Turm} \geq 15$  y  $\text{SGV} \geq 35$  (Figura 4.22.a), y en las zonas litológicas de la Bx ígnea QM y Pórfido Diorítico (Figura 4.22.b), mientras que los elementos que presentan anomalía positiva ocurren en  $\geq 23 \text{SGV} < 35$  y en la Cuarzomonzonita (QM).

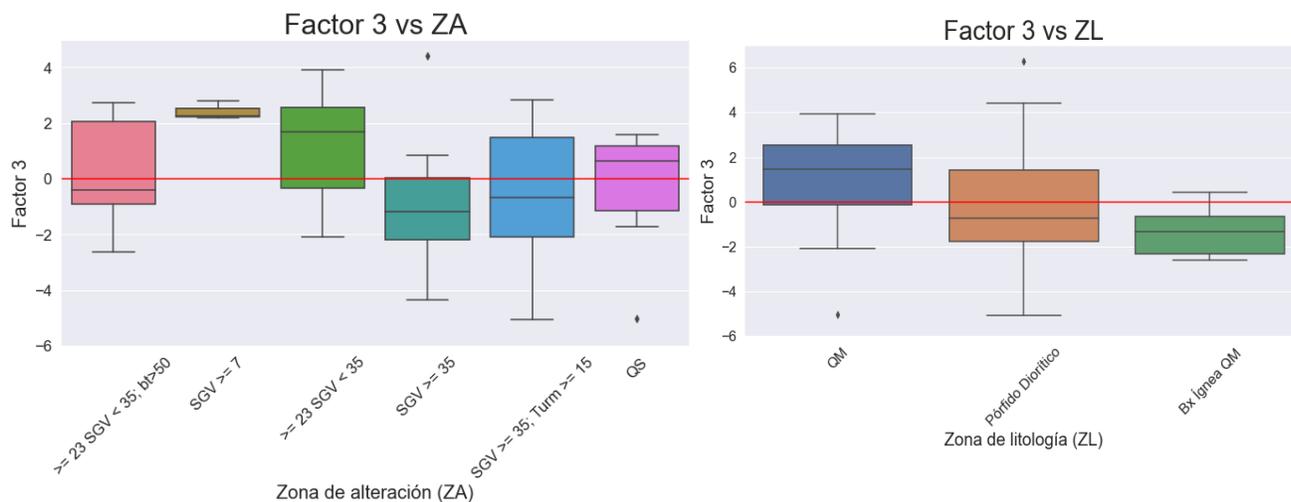


Figura 4.22: Izquierda: Distribución del Factor 3 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 3 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 4 está determinado por elementos incorporados de manera directa: Zn, Hg, Pb, Mn, Mn y Bi, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor. No presenta elementos de manera indirecta.

En cuanto a la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en  $\geq 23$   $SGV < 35$ , y en cuanto a la zona litológica no se observó una litología dominante (Figura 4.23).

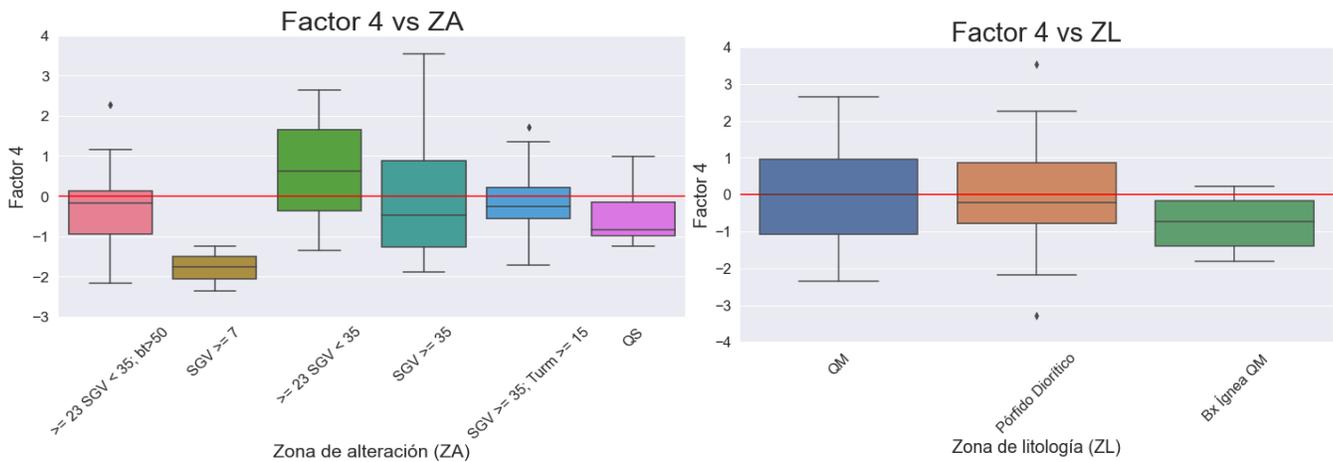


Figura 4.23: Izquierda: Distribución del Factor 4 respecto a la Zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 4 respecto a la Zona de litología (ZL).

El factor 5 está determinado por elementos incorporados de manera directa: Gr, Fe y Ni, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor.

En cuanto a la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en  $23 < SGV < 35$ :  $bt > 50$ , mientras que en la zona litológica no se observó una litología dominante (Figura 4.24).

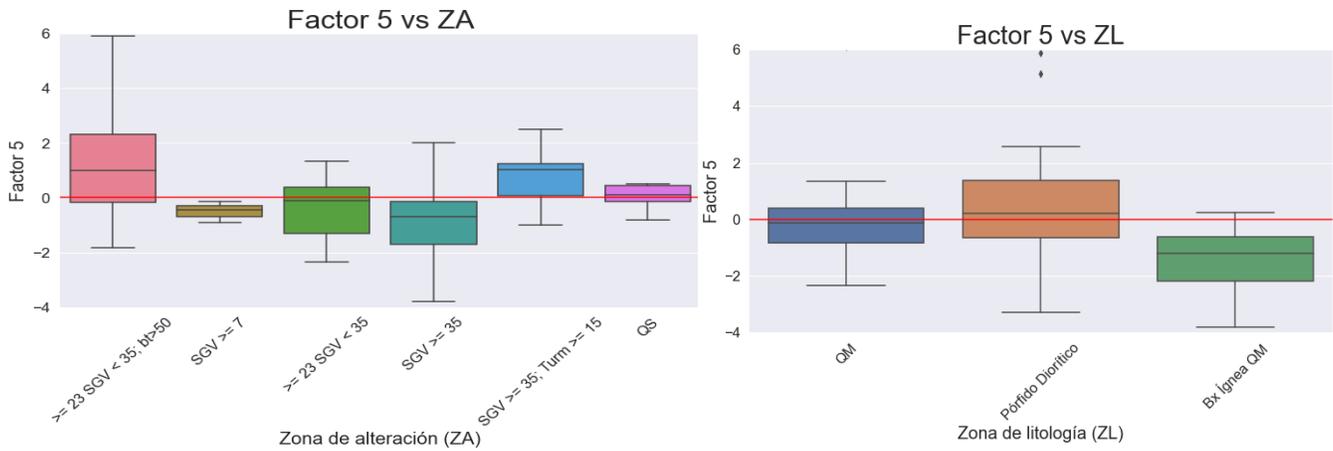


Figura 4.24: Izquierda: Distribución del Factor 5 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 5 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 6 está determinado por Co de manera directa y P de manera indirecta.

En cuanto al elemento que presenta anomalía negativa: P, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $23 < SGV < 35$  y el elemento que presentan anomalía positiva Co ocurre en  $23 < SGV < 35$ ;  $bt > 50$ ,  $SGV \geq 7$  y QS, y en general, la ZL no se observó una litología dominante (Figura 4.25).

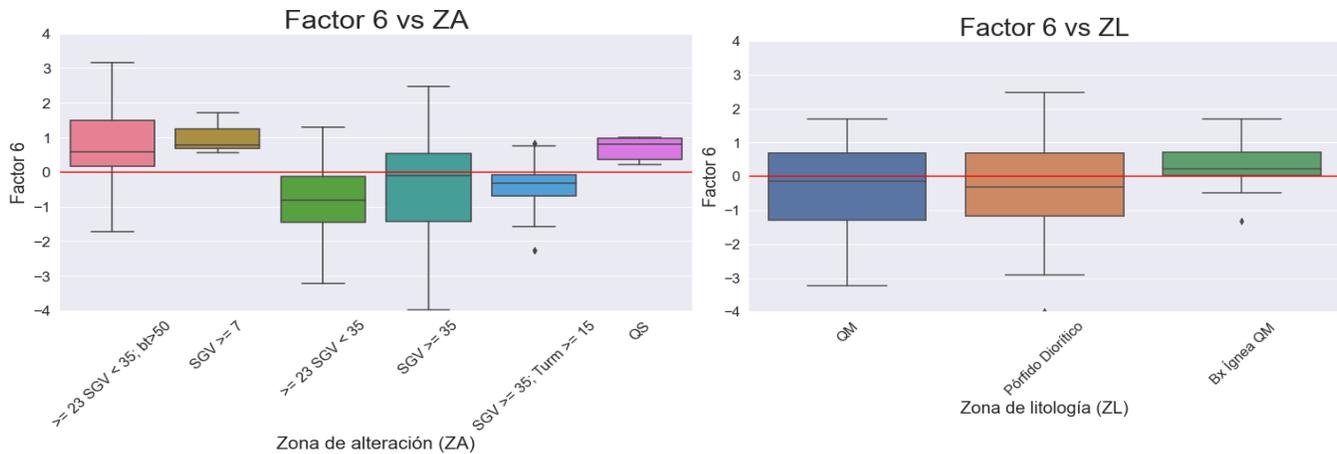


Figura 4.25: Izquierda: Distribución del Factor 6 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 6 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 7 está determinado por elementos incorporados de manera directa: Re, Mo, Asy Cd, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor.

En cuanto la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $SGV \geq 35$ ;  $Turm \geq 15$  y  $>23$   $SGV \leq 35$ ;  $bt > 50$ . Respecto la ZL, no se observó una litología dominante (Figura 4.26).

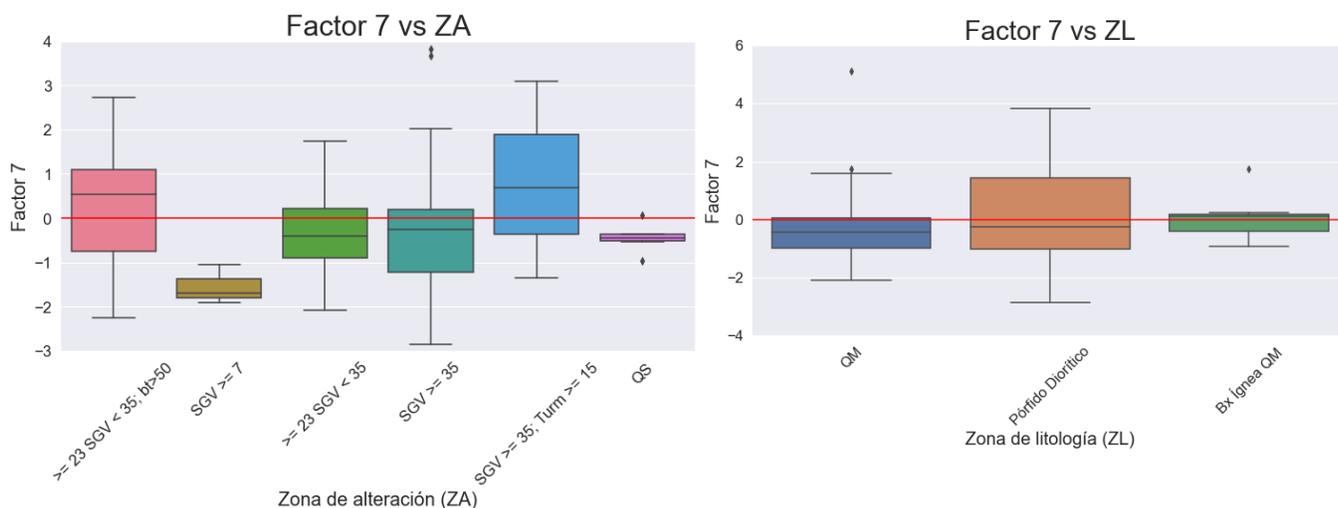


Figura 4.26: Izquierda: Distribución del Factor 7 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 7 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 8 está determinado por elementos incorporados de manera indirecta: Cr, Hf, Zr, V y Tl. Por otro lado, incorpora La de manera directa.

En cuanto a los elementos que presenta anomalía negativa: Cr, Hf, Zr, V y Tl, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $SGV \geq 7$ ,  $SGV \geq 35$ ;  $Turm \geq 15$  y  $SGV \geq 35$  y el elemento que presentan anomalía positiva La ocurre en  $23$   $SGV \leq 35$ ;  $bt > 50$ . En general, la ZL no se observó una litología dominante (Figura 2.27).

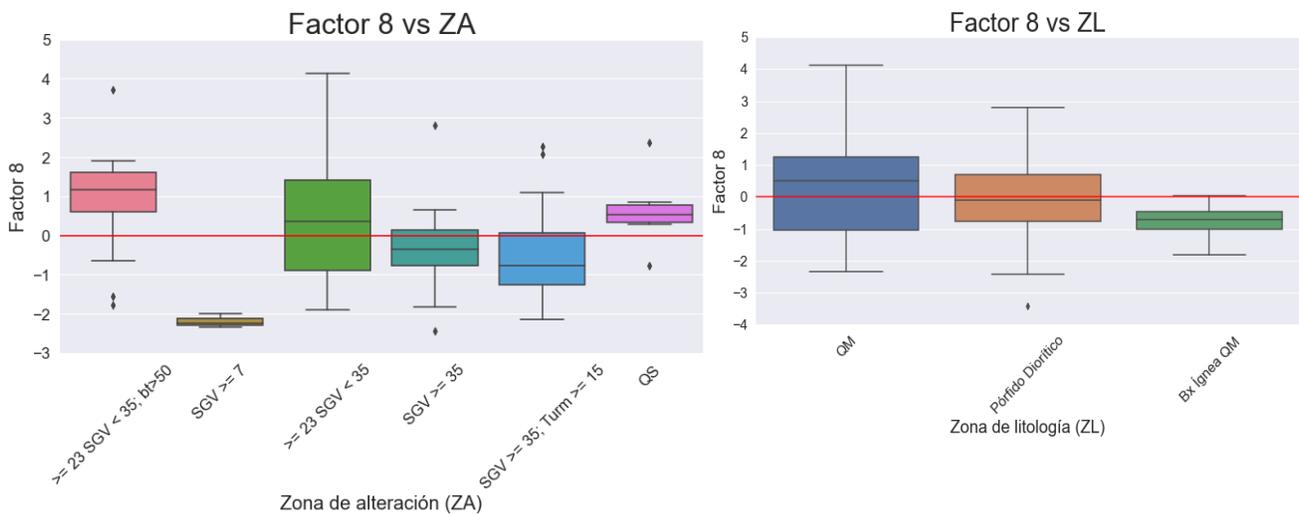


Figura 4.27: Izquierda: Distribución del Factor 8 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 8 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 9 está determinado por elementos incorporados de manera directa: Rb, K y U, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor.

En cuanto la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de QS. Respecto la ZL, no se observó una litología dominante (Figura 4.28).

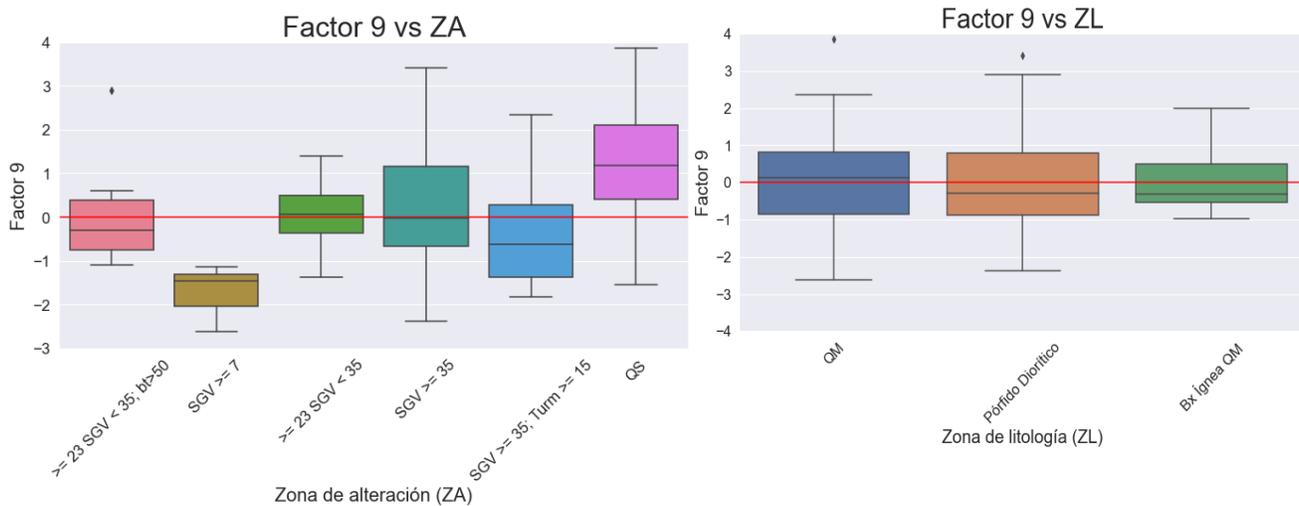


Figura 4.28: Izquierda: Distribución del Factor 9 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 9 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 10 está determinado por elementos incorporados de manera directa: Cr, Ta y Mg, ordenados de mayor a menor peso estadístico en el factor.

En cuanto a la zona de alteración, las mayores concentraciones ocurren en  $SGV \geq 7$ ,  $\geq 23SGV < 35$  y QS. Respecto la ZL, predomina en Cuarzomonzonita (Figura 4.29).

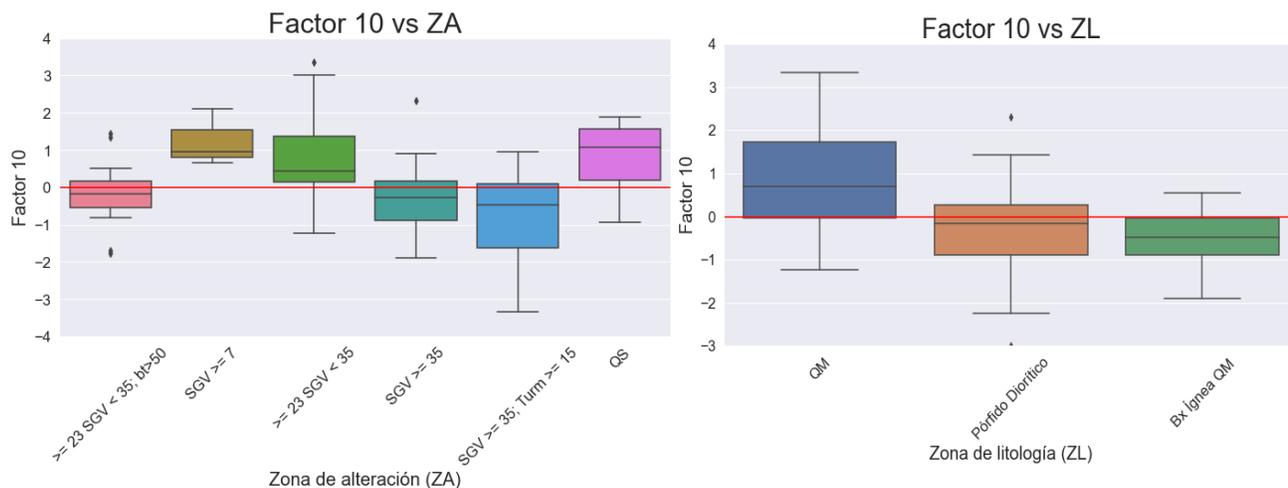


Figura 4.29: Izquierda: Distribución del Factor 10 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 10 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 11 está determinado por Sb de manera directa. Por otro lado, incorpora Ba de manera indirecta.

En cuanto a Sb, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $SGV \geq 35$ , y en la ZL predomina la Bx Ígnea QM, mientras que en Ba ocurre en  $SGV \geq 7$ ,  $SGV \geq 35$ ; Turm  $\geq 15$  y QS, y no se observó una litología dominante (Figura 4.30).

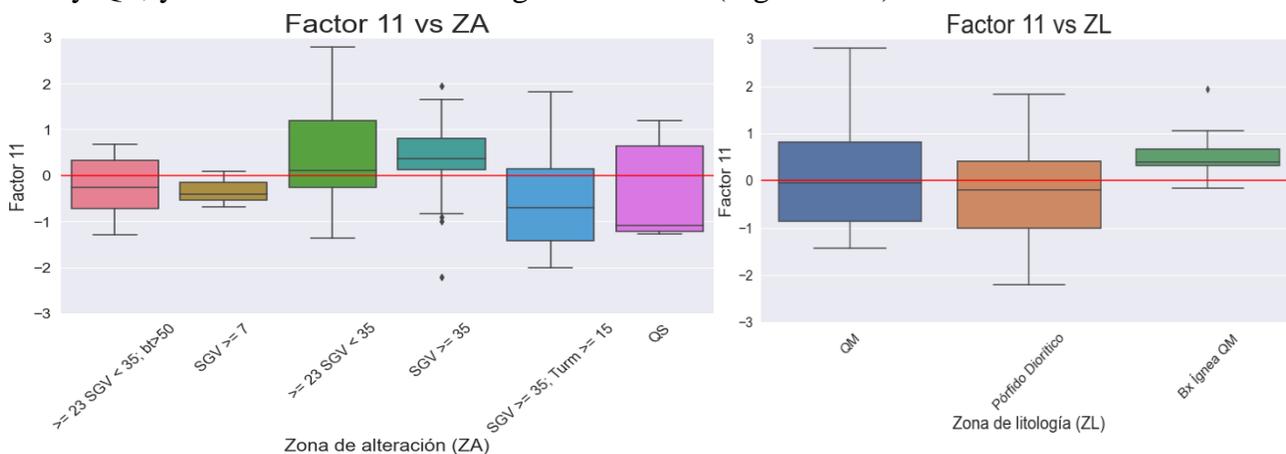


Figura 4.30: Izquierda: Distribución del Factor 11 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 11 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 12 está determinado por B y W de manera directa. Por otro lado, incorpora Snde manera indirecta.

En cuanto a los elementos que presentan anomalía positiva como B y W, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $23 \text{ SGV} \leq 35$ ;  $\text{bt} > 50$ , mientras que en Sn ocurre en QS. En general, no se observó una litología dominante (Figura 4.31).

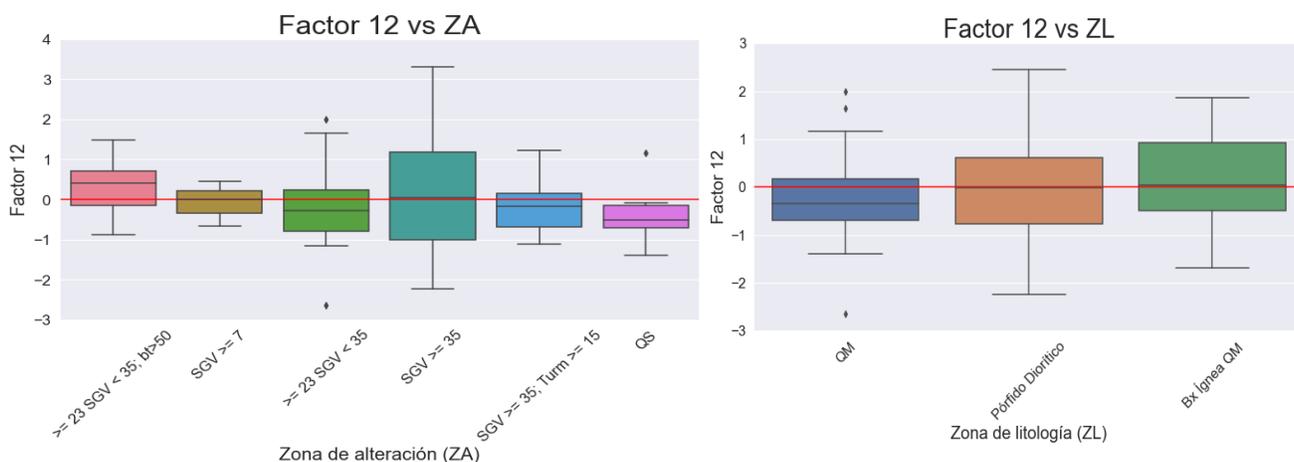


Figura 4.31: Izquierda: Distribución del Factor 12 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 12 respecto a la zona de litología (ZL).

El factor 13 está determinado por Ga de manera directa e incorpora Be de manera indirecta.

En cuanto a Ga, las mayores concentraciones ocurren en la ZA de  $\text{SGV} \geq 7$ , mientras que Be ocurre en QS. En general, no se observó una litología dominante (Figura 4.32).

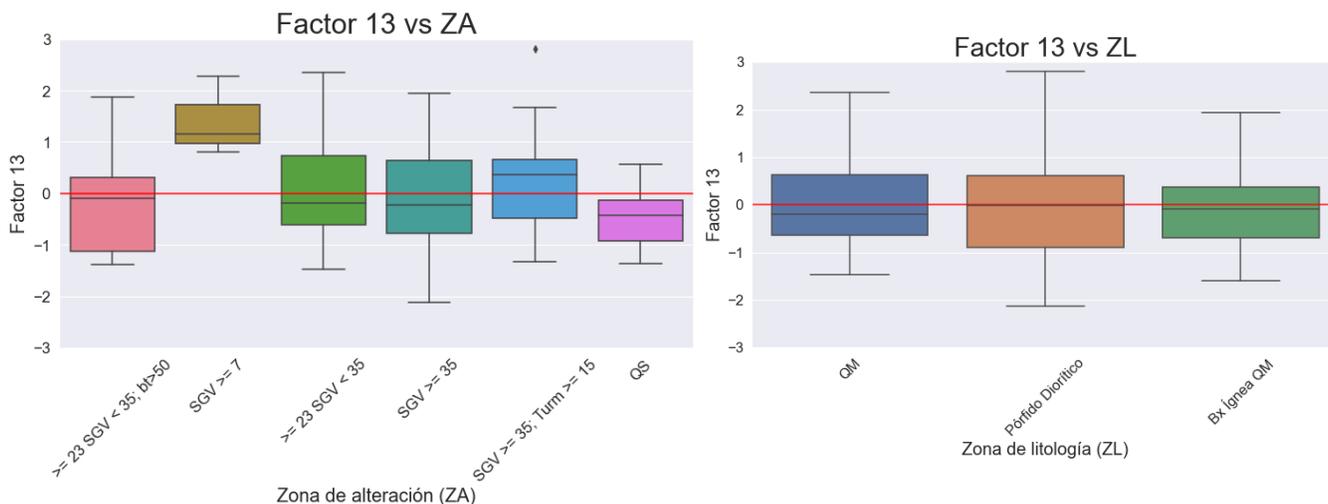


Figura 4.32: Izquierda: Distribución del Factor 13 respecto a la zona de alteración (ZA). Derecha: Distribución del Factor 13 respecto a la zona de litología (ZL).

## **CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN**

### **5.1. Resumen de datos**

Los resultados expuestos en la sección anterior indican que la mineralización de sulfuros de Cu(-Fe) en la mina Los Bronces se concentra principalmente en el Pórfido Diorítico, seguido por la Cuarzomonzonitas (QM) y las andesitas (Figura 4.9.a), teniendo para esta última muy pocas muestras para el estudio. En el Pórfido Diorítico prevalece principalmente las zonas de alteración asociadas a la alteración de sericita gris verde (SGV) exceptuando cuarzo-sericita (QS) y turmalina transicional (TURM) (Figura 4.10.a), donde se destaca en la alteración  $SGV \geq 35$  las mayores leyes de cobre superiores al 0.95 % (Figura 4.11). Por otro lado, se infiere que el alto valor de las leyes de cobre relacionada a la QS & TURM en torno al 0.75 % se debe a relictos de minerales de calcopirita de las alteraciones superpuestas estudiadas en lámina de sección delgada.

El estudio indica que la calcopirita, mena principal en Los Bronces, domina en: (1) Zonas de alteración con sericita gris verde, en un rango de 60-80 % respecto al total de sulfuros y (2) Zonas de sericita gris verde con alteración potásica caracterizada por una fuerte biotitización, con un porcentaje mayor al 80% respecto del total de sulfuros (Figura 4.5. b), mientras que alteración cuarzo-sericita (QS) se encuentra dominada por más del 60% de pirita respecto al total de sulfuros (Figura 4.7.a), lo cual se ha constatado en diversos estudios como John y Taylor (2016).

Se encontró una variabilidad de zonas de alteración en la zona litológica de la Cuarzomonzonita (QM) (Figura 4.12.a), y a diferencia del Pórfido Diorítico, no prevalece la sericita gris verde y tampoco existe una fuerte biotitización. El yacimiento en sí mismo no presenta un importante desarrollo potásico debido posiblemente a la sobreimposición de alteraciones hidrotermales o a que aún no se llega a profundidades mayores. Las pocas muestras observadas con alteración potásica están asociadas al Pórfido Diorítico, en concordancia con lo documentado (Tabla 7.1).

### **5.2. Relación entre elementos y mineral huésped**

#### **5.2.1. Factor 3**

De acuerdo con los elementos de estudio, Cu, Mo, Ag, Au, Co, Re, los factores que agrupan estos elementos de interés son el factor 3, factor 6 y factor 7.

El factor 3 está constituido por los elementos Cu, Au, Ag, Se e In, los cuales son típicos en sistemas de tipo pórfido cuprífero (John y Taylor, 2016). Como es de conocimiento, los depósitos de pórfido de Cu son la fuente de Cu más importante del mundo, y representan más del 60 % de la producción mundial anual de Cu y alrededor del 65 % de los recursos de Cu conocidos. Los sistemas de pórfido de cobre actualmente suministran casi las tres cuartas partes del Cu del mundo, la mitad del Mo, tanto como una quinta parte del Au, alrededor del 80 % del Re y la mayor parte del Se (John y Taylor, 2016).

El Cu es el producto principal de todos los depósitos de pórfido de Cu, mientras que la Ag es un subproducto y el Au comúnmente puede tratarse de un coproducto. El Se, por su parte, es un subproducto de los depósitos de pórfido de Cu, donde la mayor parte del Se sustituye al azufre en la estructura de los minerales de sulfuro de Cu-Fe.

Los minerales de Cu predominantes en el mineral hipógeno son la calcopirita, que se encuentra en casi todos los depósitos, y la bornita, que se encuentra en aproximadamente el 75% de los depósitos (John y Taylor, 2016). En particular, el yacimiento Los Bronces está constituido principalmente de calcopirita seguido en menor cantidad por pirita.

Por ende, los elementos del factor 3 identificado en esta memoria (Cu, Au, Ag, Se e In) tienen como semejanza estar presentes en la mayoría de los sistemas de tipo pórfido de Cu. En Los Bronces, estos elementos probablemente se encuentran incorporados tanto en solución sólida como inclusiones minerales en los sulfuros de cobre más importantes como la calcopirita, y en menor medida bornita. John y Taylor (2016) indican que el Au está presente tanto en solución sólida en calcopirita y bornita, como en granos de oro nativo y electrum. La Ag, por otra parte, se encontraría principalmente en solución sólida en sulfuros de Cu-Fe (Crespo et al., 2018, 2020). El Se sustituye el S en sulfuros como resultado de sus radios iónicos y estado de oxidación similares. Además, se ha documentado que el Se se encuentra formando inclusiones minerales dentro de la bornita y calcopirita en brechas en el depósito de pórfido de Cu-Au de Mount Polley en Canadá, donde la mineralización de Se está asociada con leyes más altas de Cu y Ag, mayores contenidos de bornita y más Cu/Au que en otras brechas en el depósito (Logan y Mihalynuk, 2005). Finalmente, las concentraciones más altas de In se presentan principalmente como un constituyente traza en la calcopirita (Briskey, 2005).

Respecto de los resultados estadísticos multicomponente mediante PCA, es posible realizar mediante un análisis de sensibilidad cuales serían los elementos del factor 3 que interactúan con una tendencia similar en las alteraciones sericita gris verde (SGV) (Figura 5.1) y cuarzo-sericita (QS) (Figura 5.2), corroborando así la asociación de todos estos elementos en su conjunto.

En la SGV tanto el Cu como el Au presentan la tendencia que, a medida que aumentan las concentraciones del elemento, aumenta la intensidad de la alteración, presentando una relación directa entre estas dos variables. En general, para la asociación Au-Se-In se observó una tendencia similar aumentando las concentraciones de los elementos a medida en las mayores intensidades de la alteración.

Por otra parte, en la alteración QS, el Cu y Au presentan una relación inversa, disminuyendosin interrupciones a medida que aumenta la intensidad de la alteración. En cambio, los elementos Ag-Se-In presentan pequeños aumentos en los intervalos intermedios a medida que aumenta la intensidad de la alteración. En general, se observó una tendencia a disminuir a mayores intensidades.

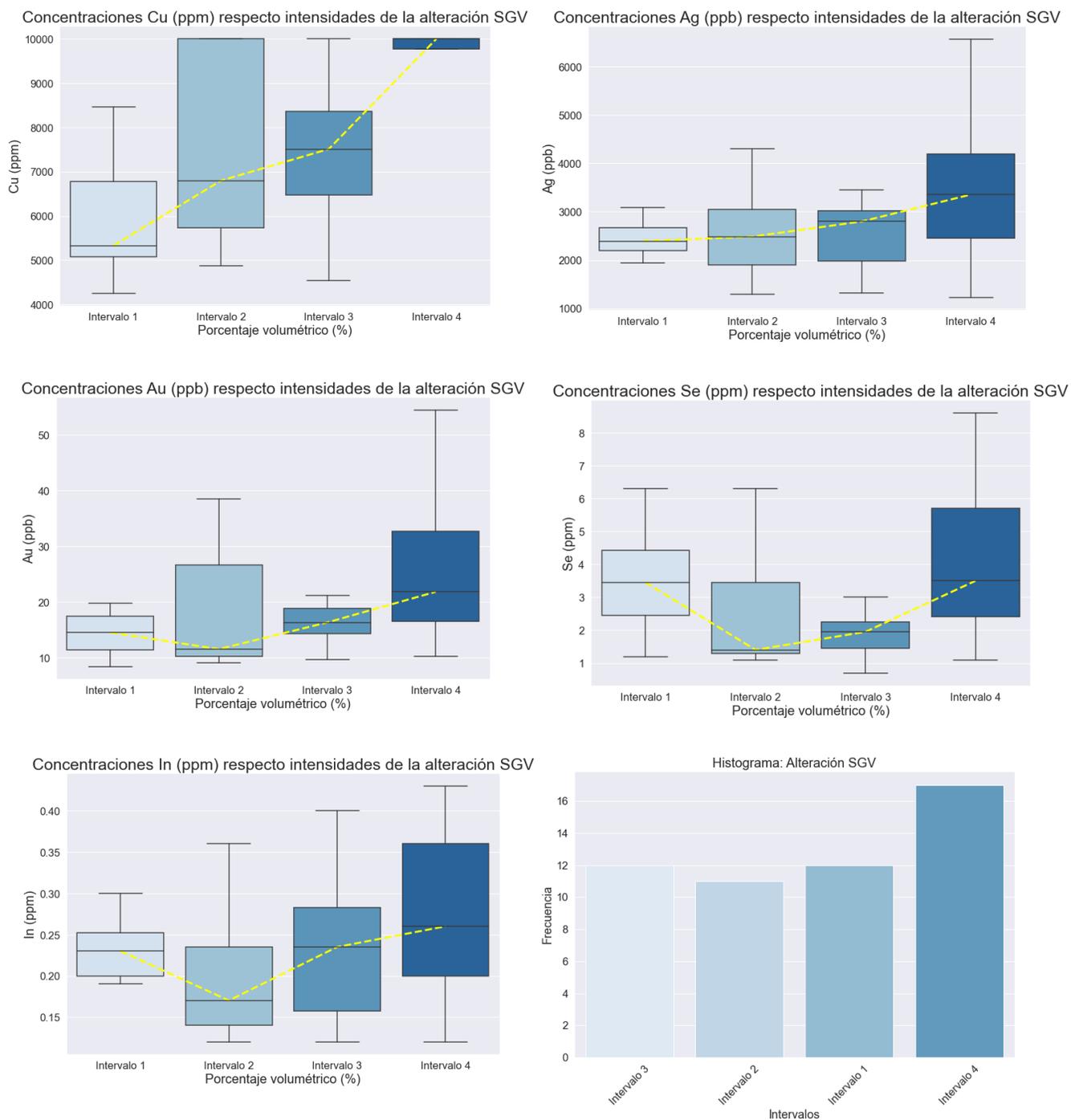


Figura 5.1: Tendencia de concentraciones de Cu, Ag, Au, Se, In respecto a la alteración SGV junto al histograma de la alteración. Los intervalos están asociados a un porcentaje volumétrico % (intensidad de la alteración). En particular para la sericita gris verde (SGV). Intervalo 1:  $SGV \leq 8$ , Intervalo 2:  $8 < SGV \leq 23$ , Intervalo 3:  $23 < SGV \leq 30$  e Intervalo 4:  $SGV > 30$ , mientras que la cuarzo-sericita (QS). Intervalo 1:  $QS \leq 5$ , Intervalo 2:  $5 < QS \leq 19$ , Intervalo 3:  $19 < QS \leq 43$  e Intervalo 4:  $QS > 43$ .

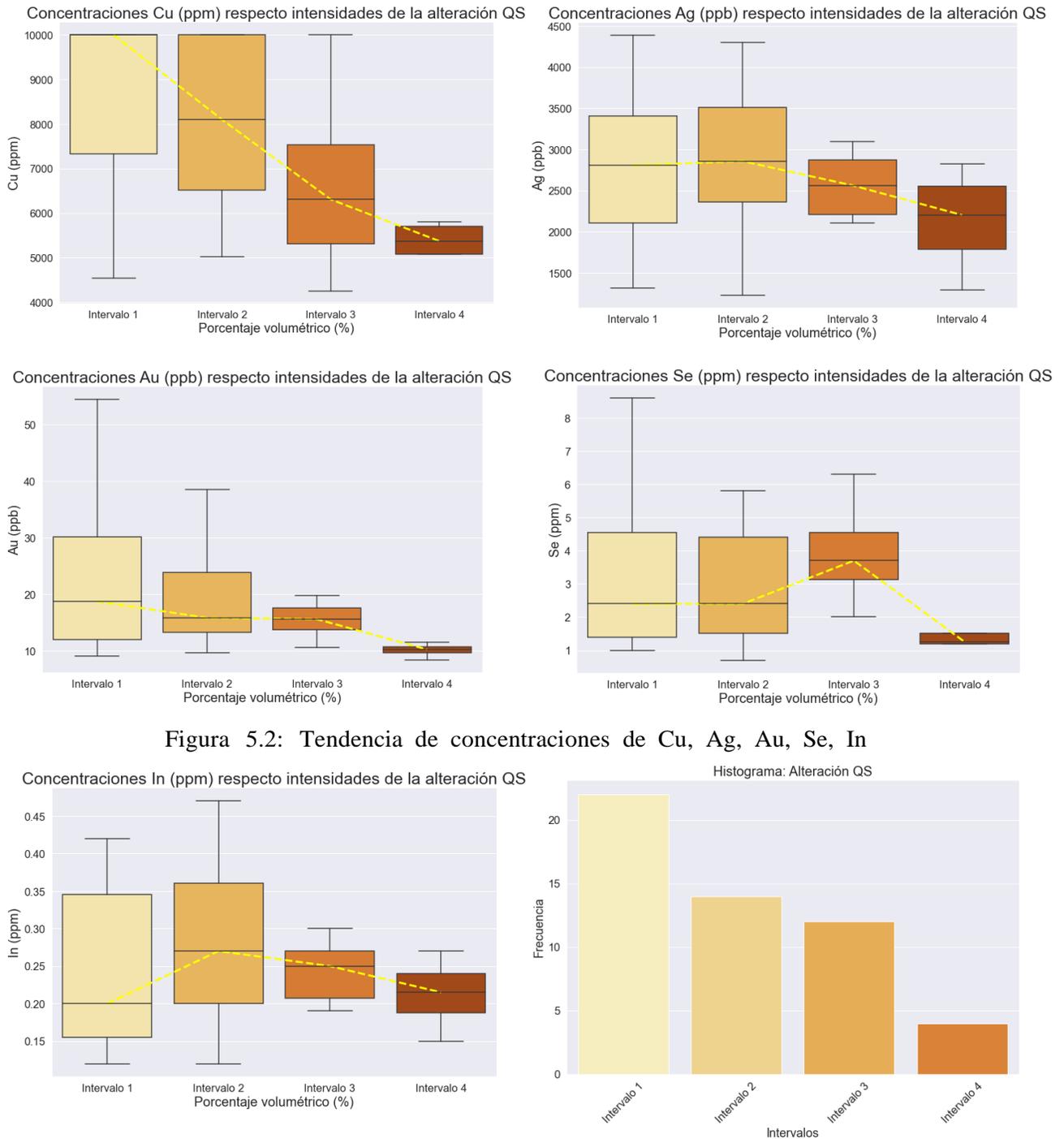


Figura 5.2: Tendencia de concentraciones de Cu, Ag, Au, Se, In

respecto a la alteración QS junto al histograma de la alteración. Los intervalos están asociados a un porcentaje volumétrico % (intensidad de la alteración). En particular para la sericita gris verde (SGV). Intervalo 1:  $SGV \leq 8$ , Intervalo 2:  $8 < SGV \leq 23$ , Intervalo 3:  $23 < SGV \leq 30$  e Intervalo 4:  $SGV > 30$ , mientras que la cuarzo-sericita (QS). Intervalo 1:  $QS \leq 5$ , Intervalo 2:  $5 < QS \leq 19$ , Intervalo 3:  $19 < QS \leq 43$  e Intervalo 4:  $QS > 43$ .

#### **4.2.2. Factor 6**

El factor 6 presenta únicamente el elemento cobalto (Co). Según un estudio hecho por el Comité Minería No Metálica (2017), el yacimiento Los Bronces presenta un potencial a evaluar como subproducto y en general, el Co se caracteriza por presentar afinidad por sulfuros de Cu, Ni, As y Fe, comúnmente en asociaciones minerales en yacimientos hidrotermales. Diversos estudios han indicado que las mayores concentraciones de cobalto suelen encontrarse en la pirita, siendo este su principal mineral huésped (Rivas-Romero et al., 2021; Crespo et al., 2020).

#### **4.2.3. Factor 7**

El factor 7 está constituido por los elementos Re, Mo, As y Cd. El renio es el subproducto de elemento crítico más importante de los depósitos de pórfido de Cu-Mo, asociándose a la molibdenita, la cual es un coproducto de la explotación de Cu. John y Taylor (2016) explicaron que la asociación renio-molibdeno se da por la ocurrencia de molibdenita en la que el Re puede reemplazar sitios del Mo en la estructura cristalina. La molibdenita se presenta como dos politipos con estructuras romboédricas (3R) y hexagonales (2H). El politipo 2H es la forma estable y es mucho más común en muestras naturales (Newberry, 1979a, b).

Al realizar un análisis de sensibilidad de los resultados de PCA, se observó una tendencia similar en Mo-Re en ambas alteraciones de estudio, variando insignificadamente en el Cd. En cuanto al As, no se observó una relación con el resto de los elementos. La unión del As en el factor 7 puede estar asociado a la falta de información suficiente en la base de datos la cual puede generar resultados poco precisos y confiables. Se obtuvo una asociación Mo-Re-(Cd).

En específico, la alteración sericita gris verde (SGV) (Figura 5.3) presenta una relación directa, a medida que aumentan las concentraciones de estos elementos, aumenta la intensidad de la alteración. En el Cd se tiene algunas discrepancias, pero en general se comporta de la misma forma que el Mo-Re. No se observó ninguna relación con As, en particular, en esta última se observa una variación de concentraciones en intensidades bajas de la alteración SGV.

En la alteración cuarzo-sericita (QS) (Figura 5.3) se observó una tendencia similar en Mo-Re-Cd: relación inversa. No se observó ninguna relación con As, se ve que en esta existe una variación de concentraciones en intensidades intermedias de la alteración cuarzo-sericita (QS).

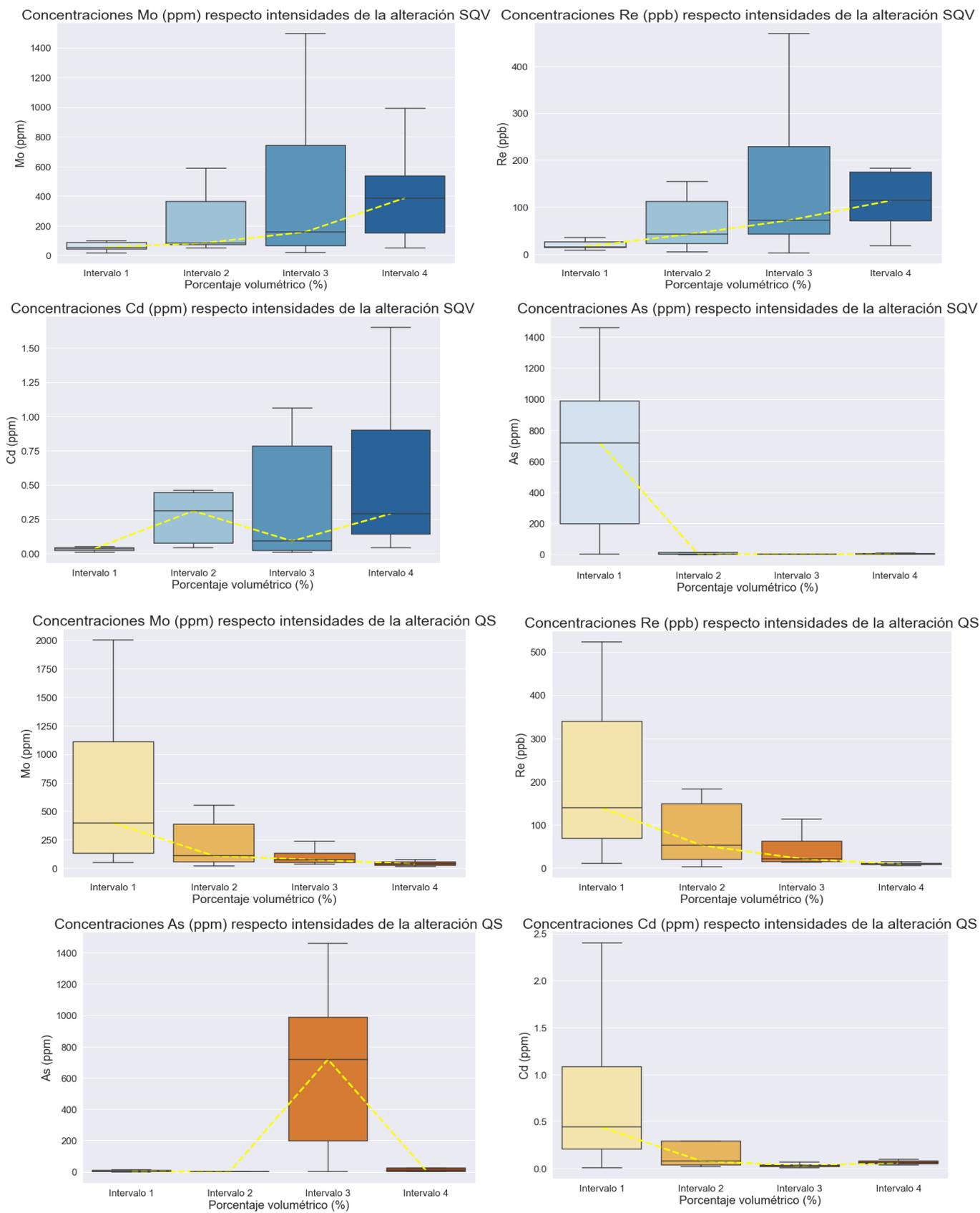


Figura 5.3: Tendencia de concentraciones de Mo, Re y Cd respecto a la alteración QS. Mismos intervalos del Factor 3.

### 5.3. Relación entre elementos de interés y alteraciones hidrotermales

A pesar de su importancia científica y económica, existen muy pocos estudios en pórfidos cupríferos que documenten y exploren la distribución de los elementos mayores y trazas respecto de las asociaciones de alteración, y su relación con los procesos mineralizantes y la intensidad de éstos. Uno de esos escasos estudios corresponde a John y Taylor (2016), quienes indicaron que, en sistemas de pórfido cuprífero, los elementos Cu, Mo y Au se asocian invariablemente con los núcleos potásicos, sericíticos y de sericita-clorita. Los minerales huésped de estos elementos de alteración hidrotermal en los depósitos de pórfidos de Cu y Mo están zonificados espacial y temporalmente generando que la intensidad y el tipo de alteración hidrotermal influya significativamente en las concentraciones de los elementos. Estos resultados también son concordantes con estudios más recientes en sistemas de pórfidos de Cu-Mo, por ejemplo, Crespo y otros (2020) (Río Blanco, Chile), Rivas-Romero y otros (2021) (Chuquicamata, Chile) y Brodbeck y otros (2022) (Bingham Canyon, EEUU).

En el caso de la mina Los Bronces, los resultados presentados en esta Memoria relacionados a la Concentración de Cu (ppm) vs zona de alteración (Figura 4.13.a) indican que el Cu se encuentra en concentraciones iguales o superiores a 10.000 ppm en la alteración de transición de sericita gris verde (SGV), y específicamente, cuando la intensidad de alteración presenta un porcentaje volumétrico mayor a 35 %. Por otra parte, para porcentajes volumétricos de SGV de 23-35 %, se observaron concentraciones desde los 4.000 ppm de Cu hasta los 10.000 ppm, mientras que para SGV menores al 7 %, se distinguen concentraciones alrededor de 7.000 ppm de Cu. Además, en la zona de alteración de SGV junto la alteración de turmalina transicional (TURM) con un porcentaje volumétrico superior a 15% se obtuvo concentraciones principalmente superiores 7.500 ppm de Cu. Finalmente, altas concentraciones de Cu también se observaron en una amplia transición que comprende desde las etapas tardías de alteración potásica de biotita (bt) dominante superior al porcentaje volumétrico del 50% hasta etapas transicionales asociadas a la SGV entre 23-35% con concentraciones desde 4.100 hasta 10.000 ppm. Finalmente, menores concentraciones asociadas a la alteración cuarzo-sericita (QS) entre 5.000 y 6.000 ppm de Cu.

En contraste, el Mo en Los Bronces se concentra principalmente en zonas de alteración potásica gradando a SGV ( $\geq 23$  SGV  $< 35$ ;  $bt > 50$ ), con concentraciones que varían principalmente entre 200 y 1.500 ppm (Figura 4.15.a). Estas mayores concentraciones de Mo son seguidas por la zona de alteración SGV  $> 35$  %, cuyas concentraciones alcanzan un rango de 200-1.200 ppm. Es relevante mencionar que en la alteración de turmalina transicional (TURM) se observó en muestra de mano y luego verificó en luz polarizada, incrementos de mineralización transicional de Mo-Cu (Figura 4.4.a). En particular, para el sondaje LB180120, se observan brechas de turmalina-cuarzo-anhidrita que cortan a sericita gris verde (SGV), y que contienen molibdenita en su matriz, tanto en la fracción fragmental (clastos) como también constituyéndose parte de ella (matriz). John y Taylor (2016) reportaron que la mineralización del Mo está espacialmente asociada con las zonas de alteración potásica y sericítica, y el elemento en cuestión puede tener la ley más alta cerca del contacto y la superposición entre estas dos zonas de alteración. Por ejemplo, en el

depósito de Los Sulfatos en el distrito de Río Blanco-Los Bronces, estudios anteriores centrados en la distribución de molibdeno y renio y reportados por Diéguez (2014) concluyen que los sectores que presentan mayor concentración de renio son aquellos que pertenecen a litologías tipo pórfido y andesitas, y a las alteraciones sericita y potásica-biotítica. En la mina Los Bronces, el Re presenta relaciones similares a las reportadas por Diéguez (2014), respecto de su distribución en las distintas zonas de alteración, concentrándose principalmente en la zona de alteración de SGV con biotitización > 50% y SGV>35, y presentando concentraciones hasta 520 ppb de Re en la zona litológica del Pórfido Diorítico (Figura 4.19.b).

Estudios anteriores concluyeron que la Ag se concentra en los núcleos de los depósitos de pórfido de Cu (Singer et al., 2008; John y Taylor, 2016). Por otra parte, las variaciones significativas en la concentración de Ag estarían relacionadas con los diferentes tipos de alteración hidrotermales, tal como reportó Crespo y otros (2020). En la mina Los Bronces, las mayores concentraciones de Ag están asociadas a zonas de alteración de transición de SGV tanto dominante con concentraciones que varían entre 2.000-6.000 ppb de Ag como en compañía con la alteración turmalina transicional (TURM) con concentraciones entre 2.000 ppb-4.600 ppb de Ag (Figura 4.16.a). Mientras que en la zona de alteración asociada a la SGV y alteración potásica ( $\geq 23$  SGV <35; bt>50) se observan entre 1.000-3.000 ppb. Por el contrario, Brodbeck y otros (2022) mencionaron que las mayores concentraciones de Ag en Bingham se encuentran en el núcleo potásico del yacimiento.

En sistemas de pórfido cuprífero, estudios anteriores han documentado que el Au se encuentra en zonas potásicas, y generalmente se correlaciona con el contenido de cobre también se observan en alteraciones sericíticas y de sericita-clorita (Kesler, 1973; Kesler et al., 2002; John y Taylor, 2016). En Los Bronces, se observó que las mayores concentraciones están asociadas, al igual que el Cu, Mo y Ag, a zonas de transición como SGV y turmalina transicional. En particular, la SGV con el porcentaje volumétrico superior al 25% presenta concentraciones entre 18-31 ppb principalmente, seguido por SGV  $\geq 35$ ; TURM $\geq 15$  con concentraciones entre 17-25 ppb. Luego va disminuyendo en la zona de alteración asociada a la alteración potásica (bt). Finalmente, las menores concentraciones de Au se asocian a la alteración QS (Figura 4.17.a).

Estudios recientes han explorado la distribución de distintos elementos de interés, incluyendo el elemento crítico cobalto (Co), respecto de las alteraciones hidrotermales presentes en depósito de pórfido de Cu (ej. Rivas-Romero et al., 2021; Brodbeck et al., 2022). En el megayacimiento de pórfido de Cu-Mo de Chuquicamata, Chile, Rivas-Romero y otros (2021) reportaron que la pirita es el huésped más importante de los elementos traza con concentraciones significativas de Co (1.530 ppm), Cu (9.700 ppm) y Ag (450 ppm). Rivas-Romero y otros (2021) concluyeron que las concentraciones de Co, Ag y Cu, específicamente en la pirita, varían con la alteración; por ejemplo, las concentraciones más altas de Ag y Cu están relacionadas con la alteración potásica de fondo a alta temperatura, mientras que los contenidos más altos de Co están asociados con tipos de alteración de temperatura más baja, por ejemplo, cuarzo-sericita. En el presente estudio asociado al depósito Los Bronces, las mejores concentraciones de Co también se asocian con la alteración de baja temperatura cuarzo-sericita (QS), en concordancia con lo documentado por Rivas-Romero y otros (2021), y también de acuerdo con lo reportado por Crespo y otros

(2020) en el depósito Río Blanco.

#### 5.4. Comparación con el depósito de Río Blanco

Estudios recientes en la mina Río Blanco son de utilidad para comparar tendencias entre la distribución de elementos en las distintas asociaciones de alteración-mineralización. Por ejemplo, Crespo y otros (2018) reportan la ocurrencia de metales críticos (Pd, Pt, Au, Ag y Te) en sulfuros de cobre durante la etapa de alteración potásica, de mayor temperatura. Este estudio es expandido por Crespo y otros (2020), reportándose datos a escala tanto de depósito como de grano mineral, enfocado en la ocurrencia y distribución de la Ag y elementos asociados en el depósito. Los autores muestran que la Ag se concentra principalmente en minerales de Cu en el núcleo central del depósito, y las variaciones significativas en la concentración de Ag están relacionadas con los diferentes tipos de alteración hidrotermal. Además, ésta estaría controlada por enfriamiento, cambios en el pH,  $f_{O_2}$  y  $f_{S_2}$  de los fluidos hidrotermales, y la intensidad de la alteración hidrotermal.

Estudios en la mina Río Blanco, la cual es parte del mega yacimiento de pórfido de Río Blanco- Los Bronces, indican que el sulfuro de Cu más abundante es la calcopirita (Crespo et al., 2018). Además, indican que la calcopirita y bornita están asociadas principalmente a la zona de alteración potásica y luego en la sericita gris verde (SGV). (Crespo et al., 2020). En Los Bronces, de acuerdo con lo reportados en estudios anteriores y en esta Memoria, la calcopirita también se destaca por ser el sulfuro de Cu más abundante, encontrándose presente principalmente en alteraciones hidrotermales de transición de SGV.

Crespo y otros (2020) indicaron que la Ag se concentra principalmente en minerales de Cu en el núcleo central del depósito, y las variaciones de sus concentraciones están relacionadas con los diferentes tipos de alteraciones hidrotermales. En particular, la calcopirita presenta concentraciones de Ag que van desde 0.8 ppm hasta valores que bordean los 10 ppm. La mayor concentración de Ag en la calcopirita está asociada con la etapa de alteración potásica a alta temperatura y disminuye ligeramente en la zona de sericita gris verde (SGV). Por otro lado, la mayor concentración de Ag en la bornita es en la sericita gris verde en el orden de 1.000 ppm. Las menores concentraciones de Ag están asociadas a la piritita en la cuarzo-sericita (QS). En comparación con lo estudiado en la mina Los Bronces, las mayores concentraciones de Ag están asociadas a alteraciones de transición entre SGV, que presenta principalmente calcopirita, y la alteración de turmalina, pero con concentraciones que no superan los 6 ppm de Ag y en menor medida la alteración potásica.

Otros elementos críticos como Au y Co presentan cantidades significativas en la piritita, en especial el cobalto varía entre las alteraciones siendo ligeramente inferior en la cuarzo-sericita (QS). En comparación con Los Bronces donde la QS presenta las mayores concentraciones de Co.

En ambas minas la Ag se asocia típicamente con otros elementos de interés económico, entre ellos, Cu, Se y In, que se relacionan con los sulfuros de Cu-Fe y los sulfosales de Cu (Crespo et al., 2020). Además, estos elementos se concentran principalmente cercanos al núcleo del depósito y en alteraciones hidrotermales transicionales variando según el mineral huésped.

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIÓN

El yacimiento los Bronces se caracteriza por ser un mega depósito de pórfido de Cu-Mo donde históricamente el modelo litológico ha sido de gran relevancia como guía para la mineralización de sulfuros de Cu(-Fe) a escala de mina. Dicho modelo se asocia a la permeabilidad de las brechas hidrotermales en el depósito; sin embargo, al transitar hacia el ambiente primario el control de la mineralización económica cambia. Es en este contexto que esta Memoria de título se centró en el estudio de la relación entre la alteración hidrotermal y la mineralización económica de Los Bronces, con el propósito de constreñir el grado de control de la alteración hidrotermal en el tipo y ley de mineralización en el depósito. Para ello se analizó un conjunto de sondajes seleccionados por sus mejores leyes de Cu, muestreándose tramos representativos para su caracterización macroscópica, petrográfica y el análisis estadístico de una base de datos geoquímicos de éstos.

Los resultados de este estudio indican que la zona litológica con mayor presencia de total de sulfuros de Cu(-Fe) es el Pórfido Diorítico, el cual consiste en un emplazamiento de forma de stock y diques en la roca caja Cuarzomonzonita (QM). En el Pórfido Diorítico, principal huésped de la mineralización en el depósito, se destacan varias zonas asociadas a la alteración hidrotermal de tipo sericita gris verde (SGV) y sólo una zona asociada a la alteración de tipo cuarzo-sericita (QS). El estudio macroscópico y petrográfico de las muestras indica que la asociación de sulfuros en la SGV es de calcopirita dominante y menor molibdenita, sin presencia de pirita, o en contenidos inferiores. Las mayores abundancias de calcopirita se encuentran asociadas a la zona de alteración de SGV con alteración potásica (bt) seguida por aquellas donde sólo prevalece la SGV.

El análisis de una base de datos geoquímicos de las muestras estudiadas indicó la presencia de asociaciones entre elementos de interés económico, las cuales son concordantes con lo reportado en otros grandes yacimientos de tipo pórfido cuprífero. En primer lugar, se reconoce la asociación Cu-Au-Ag-(Se-In), donde estos elementos estarían alojados en sulfuros de cobre como calcopirita y bornita, probablemente en solución sólida o microinclusiones (John y Taylor, 2016; Logan y Mihalynuk, 2005; Briskey, 2005), siendo la calcopirita el principal sulfuro de la mina Los Bronces, seguido por la pirita. Por otra parte, se reconoce la asociación de Re-Mo-(Cd), la cual estaría asociada a la ocurrencia de molibdenita, en la que el Re puede reemplazar al molibdeno en la estructura cristalina (John y Taylor, 2016).

Se identificó además una relación directa entre la ley de Cu y las zonas de alteración con presencia de SGV, en especial la SGV>35%, donde la mayoría de las concentraciones de Cu son iguales o mayores a 10.000 ppm. Siguiendo por la Ag, ésta se encuentra asociada a zonas de SGV tanto dominante como en presencia de la alteración de tipo turmalina transicional (TURM) y potásica (bt). La Ag se encuentra en zonas de transición SGV y turmalina, seguido por la alteración potásica y QS. Tanto el Re como el Mo están espacialmente asociados con las zonas de alteración potásica y SGV. Por último, los

contenidos más altos de Co están asociados con tipos de alteración de temperatura más baja, la cuarzo-sericita o QS; específicamente este elemento se relaciona directamente a la pirita, donde se encontraría alojado principalmente en solución sólida (Crespo y otros, 2020).

Al comparar los resultados de esta Memoria con estudios realizados en el depósito Río Blanco (Crespo et al., 2018; Crespo et al., 2020), se identifica en ambos casos que la Ag se asocia típicamente con otros elementos de interés económico, entre ellos, Cu, Se y In, que se relacionan con los sulfuros de Cu-Fe. En especial, los minerales huéspedes serían la bornita y la calcopirita, siendo esta última el sulfuro dominante en ambos depósitos. Además, estos elementos se concentran principalmente cercanos al núcleo del depósito y en alteraciones hidrotermales transicionales variando según el mineral huésped e intensidad de la alteración hidrotermal.

Estudios indican que la concentración de los elementos discutidos, principalmente el Cu, Mo, Ag, Au, Re y Co, estarían controlados por el enfriamiento, cambios en el pH,  $f O_2$  y  $f S_2$  de los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización. Además, se pudo evidenciar a lo largo del presente documento que el tipo e intensidad de la alteración hidrotermal presenta una relación directa con la mineralización económica de la mina Los Bronces.

Se concluye que la zona de litología controla la mineralización de sulfuros de Cu(-Fe), siendo el Pórfido Diorítico la principal roca caja de los sulfuros, pero no necesariamente de la mineralización económica. Por otra parte, la alteración hidrotermal y mineralización y/o tipo de sulfuros están estrechamente relacionadas. Específicamente, la alteración de tipo QS presenta pirita dominante, mientras que la alteración de tipo SGV contiene calcopirita dominante, siendo esta última la principal controladora de las mayores concentraciones de los elementos de interés, y en particular, el cobre. Se concluye entonces que el modelo de alteración pasaría a ser el principal determinante para definir la ocurrencia de la mineralización económica, mientras que el modelo litológico se trataría de una variable de segundo orden.

## BIBLIOGRAFÍA

Aguirre, L. 1960. Geología de los Andes de Chile Central, provincia de Aconcagua. Inst. Inv.Geol., 9: 1- 70, Santiago de Chile.

Alfaro, M. 1969. Estudio Geológico de la Mina Los Bronces, Provincia de Santiago. Memoria de Título, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.

Andrade, C. 2015. Levantamiento remoto de datos estructurales en rajos abiertos y su impacto en la definición de modelos estructurales: mina Los Bronces, Angloamerican Sur. Memoria para optar al título de geólogo.

Arif, J., Baker, T. 2004. Gold paragenesis and chemistry at Batu Hijau, Indonesia: Implications for gold-rich porphyry copper deposits: *Mineralium Deposita*, v. 39, p. 523–53.

Armijo, R., Rauld, R., Thiele, R., Vargas, G., Campos, J., Lacassin, R., Kausel, E. 2010. The West Andean Thrust (WAT), the San Ramón Fault and the seismic hazard for Santiago (Chile). *Tectonics*: 29, TC2007, doi: 10.1029/2008TC002427.

Ballard JR, Palin JM, Williams IS, Campbell IH, Faunes A. 2001. Two ages of porphyry intrusion resolved for the super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP. *Geology* 29:383–386

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

Beccar, L., Vergara, M., Munizaga, F. 1986. Edades K/Ar de la Formación Farellones en el Cordón del Cerro La Parva, Cordillera de los Andes de Santiago, Chile. *Revista Geológica de Chile*, v. 28–29, p. 109–113.

Briskey, J., A. 2005. Indio en zinc-plomo y otros depósitos minerales: un reconocimiento Estudio de renacimiento de 1118 análisis de indio publicados antes de 1985: Informe de archivo abierto del Servicio Geológico de EE. UU. 2005-1209, 8 p.

Brodbeck, M., McClenaghan, S. M., Kamber, B. S., Redmond, P. 2022. Metal(loid) Deportment in Sulfides from the High-Grade Core of the Bingham Canyon Porphyry Cu-Mo-Au Deposit, Utah. *Economic Geology*. 117 (7): 1521–1542. doi: <https://doi.org/10.5382/econgeo.4954>

Campbell IH, Ballard JR, Palin JM, Allen C, Faunes A. 2006. U–Pb zircon geochronology of granitic rocks from the Chuquicamata-El Abra porphyry copper belt of Northern Chile: excimer laser ablation ICP-MS analysis. *Econ Geol* 101:1327–1344

Carrizo, D., Barros, C., Gallardo, S. 2013. Modelo estructural 3D de la Mina Los Bronces, Anglo American Sur S.A. (Inédito) Anglo American, Santiago.

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

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

Comisión Chilena del Cobre. 2016. Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera.

Townley, B., Díaz, A., Luca, R. Brian Townley, Minerales por cobalto en Chile potencial de exploración minera. CORFO | Comité Minería No Metálica | Sernageomin.

Cannell, J., Cooke, DR., Walshe, JL., Stein, H. 2005. Geology, mineralization, alteration and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu–Mo deposit. *Econ Geol* 100:979–1003

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

Cooke, D.R., Hollings, P. and Walsh, J.L. (2005) Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls. *Economic Geology*, 100, 801-818.

Crespo, J., Reich, M., Barra, F., Verdugo, J.J., Martínez, C. 2018. Critical metal particles in ore sulfides from the Río Blanco porphyry Cu-Mo deposit, Chile: *Minerals*, v. 8, p. 519.

Crespo, J., Reich, M., Barra, F., Verdugo, J.J., Martínez, C., Leisen, L., Romero, R., Morata, D., Marquardt, C. 2020. Occurrence and Distribution of Silver in the World-Class Río Blanco Porphyry Cu-Mo Deposit, Central Chile: *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 115, no. 8, pp. 1619–1644.

Diéguez, R. 2014. Distribución del molibdeno y renio en el depósito Los Sulfatos, Región Metropolitana, Chile. Universidad de Chile. Memoria para optar al título de geólogo.

Deckart, K., Clark, A.H., Aquilar, C., Vargas, R. 2005. Magmatic y hydrothermal chronology of the supergiant 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, p. 905–934.

Deckart, K., Godoy, E., Bertens, A., Jeréz, D., Saeed, A.. 2010. Barren Miocene granitoids in the Central Andean metallogenic belt, Chile: geochemistry and Nd-Hf and U-Pb isotope systematics. *And Geol* 37(1):1–31

Deckart, K., Clark, A. H., Cuadra, P., Fanning, M. 2013. Refinement of the time-space evolution of the giant Mio-Pliocene Río Blanco-Los Bronces porphyry Cu-Mo cluster, Central Chile: new U-Pb (SHRIMP II) and Re-Os geochronology and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  thermochronolog data. *Miner Deposita* (2013) 28: 57-79.

Deckart, K., Silva, W., Spröhnle, C., Vela, I. 2014. Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: an update. *Miner Deposita* 49, 535–546 Mathur R, Ruiz JR, Munizaga FM (2001) Insights into Andean metallogenesis from the perspective of Re-Os analyses of sulphides. South American Isotope Conference, (CD-ROM). SERNAGEOMIN, Chile, 4 p

Deckart, K., Silva, W., Sprohnló, C., VELA, I. 2014. Timing and duration of hydrothermal activity at the Los Bronces porphyry cluster: an update. *Miner Deposita* DOI 10.1007/s00126-014-0512-9.

Farías, M., Charrier, R., Carretier, S., Martinod, J., Fock, A., Campbell, D., Cáceres, J., Comte, D. 2008. Late Miocene high and rapid Surface uplift and its erosional response in the Andes of Central Chile ( $33^{\circ}$ - $35^{\circ}\text{S}$ ). *Tectonics* 27: TC1005. doi: 10.1029/2006TC002046.

Frikken, P., Cooke, D., Walshe, J., Archibald, D., Skarmeta, J., Serrano, L., Vargas, R. 2005. Mineralogical and Isotopic Zonation in the Sur - Sur Tourmaline Breccia, Río Blanco- Los Bronces Cu-Mo Deposit, Chile: Implications for Ore Genesis. *Economic Geology*, v. 100, pp. 935-961.

Gustafson, L.B., and Hunt, J.P. 1975, The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 70, p.856-912.

Gustafson, L.B., and Quiroga, J. 1995. Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v.90, p. 2-16.

Hedenquist, J.W., Lowenstern, J.B. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370, 519-527.

Irrázaval, V., Sillitoe, R., Wilson, A., Toro, J. 2010. Discovery History of a giant, High-Grade, Hypogene Porphyry Copper-Molybdenum. Deposit at Los Sulfatos, Los Bronces-RíoBlanco District, Central Chile. Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication

15, pp. 253–269.

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

John, D.A., and Taylor, R.D. 2016. By-products of porphyry copper and molybdenum deposits: Reviews in Economic Geology, v. 18, p. 137–164.

Kaiser, H.F. 1958. The Varimax Criterion for Analytic Rotation in Factor Analysis. Psychometrika, 23, 187-200. <https://doi.org/10.1007/BF02289233>

Kesler, S. E. 1973. Copper, molybdenum and gold abundances in porphyry copper deposits. Economic Geology, 68(1), 106–112. doi:10.2113/gsecongeo.68.1.106

Kesler, S.E., Chryssoulis, S.L., and Simon, G. 2002. Gold in porphyry copper deposits: Its abundance and fate: Ore Geology Reviews, v. 21, p. 103–124.

Klohn, C. 1960. Geología de la Cordillera de Los Andes de Chile Central, Provincia de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Boletín, No. 8, p. 1-95.

Levi, B., Aguirre, L., Nyström, J., Padilla, H., Vergara, M. 1989. Low-grade regional metamorphism in the Mesozoic-Cenozoic volcanic sequences of the Central Andes Journal of Metamorphic Petrology. 7 , pp. 487-495.

Logan, J., M & Mihalynuk, M., G. 2005, 'Porphyry Cu-Au Deposits of the Iron Mask Batholith, Southeastern British Columbia', Geological Field Work 2004, British Columbia Geological Survey, Vancouver, paper 2005-1.

López, L., Vergara, M. 1982. Geoquímica y Petrogénesis de Rocas Ígneas Asociadas al Pórfido Cuprífero Río Blanco – San Francisco. Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Longo, A.A., and Teal, L., 2005, A summary of the volcanic stratigraphy and the geochronology of magmatism and hydrothermal activity in the Yanacocha Gold District, northern Perú, in Rhoden, H.N., Steininger, R.C., and Vikre, P.G., eds., Geological Society of Nevada Symposium 2005, Window to the World, Reno, Nevada, May 2005, p. 797-808.

Lowell, J.D., Guilbert, J.M. 1970. Lateral and vertical alteration zoning in porphyry ore deposits. Economic Geology, 65, 373-408.

Maksaev, V., Munizaga, F., McWilliams, M., Fanning, M., Mathur, R., Ruiz, J., Zentelli, M. 2004. New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U–Pb,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , Re–Os, and fission track dating. In: Sillitoe RH, Perello J, Vidal CE (eds) *Andean metallogeny: new discoveries, concepts and updates*. Society of Economic Geologists, Boulder, pp 15–54, Special Publication 11

Maksaev, V., Munizaga F., Zentilli, M., Charrier, R. 2009. Fission track thermochronology of Neogene plutons in the Principal Andean Cordillera of central Chile (33–35 degrees S): Implications for tectonic evolution and porphyry Cu-Mo mineralization. *Andean geology* 62: -171.

Mathur R, Ruiz JR, Munizaga FM. 2001. Insights into Andean metallogenesis from the perspective of Re-Os analyses of sulphides. *South American Isotope Conference*, (CD-ROM). SERNAGEOMIN, Chile, 4 p

Muñoz, M., Fuentes, F., Vergara, M., Aguirre, L., Nystrom, J., Feraud, G., Demant, G. 2006. Abanico East Formation: petrology and geochemistry of volcanic rocks behind the Cenozoic arc front in the Andean Cordillera, central Chile (33°50'S). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 33, No. 1, p. 109-140.

Newberry, J. 1979 a. Polytypism in molybdenite (I): a non-equilibrium impurity-induced phenomenon. *American Mineralogist*, v. 64, pp 758-767.

Newberry, J. 1979 b. Polytypism in molybdenite (II): relationships between polytypism, ore deposition/alteration stages and rhenium contents. *American Mineralogist*, v.64, pp 768- 775.

Piquer, J., Skarmeta, J. 2012. Structural control on stratigraphy, magmatism and mineralization in the Rio Blanco-Los Bronces district, Central Chile. T1 13° Congreso Geológico Chileno.

Piquer, J., Skarmeta, J, Cooke D. R. 2015. Structural Evolution of the Rio Blanco-Los Bronces District, Andes of Central Chile: Controls on Stratigraphy, Magmatism, and Mineralization. *Society of Economic Geologists, Inc. Economic Geology*, v. 110, pp. 1995–2023.

Reich, M., Palacios, C., Barra, F., and Chryssoulis, S. 2013b. “Invisible” silver in chalcopyrite and bornite from the Mantos Blancos copper deposit: *European Journal of Mineralogy*, v. 25, p. 453–460.

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

Rivas-Romero, C., Reich, M., Barra, F., Gregory, D., Pichott, S. 2021. The Relation between Trace Element Composition of Cu-(Fe) Sulfides and Hydrothermal Alteration in a Porphyry Copper Deposit: Insights from the Chuquicamata Underground Mine, Chile. *Minerals*. 11, 671. <https://doi.org/10.3390/min11070671>.

Rivera SL, Pardo R, Alcota H, Fontecilla C, Kovacic P, Pizarro J, Rojo J. 2006. Reseña de la exploración y geología del cluster de porfidos de cobre Toki, distrito Chuquicamata. Actas XI Congreso Geológico Chileno, Antofagasta (electronic version)

Ruiz, J., Mathur, R. 1999. Metallogenesis in continental margins: ReOs evidence from porphyry copper deposits in Chile, en Lambert, D.C., y Ruiz, J. (eds.), Application of radiogenic isotopes to ore deposit research and exploration. *Reviews in Economic Geology*, 12, 59-72.

Serrano, L., Vargas, R., Stambuk, V., Aguilar, C., Galeb, M., Holmgren, C., Contreras, A., Goday, S., Vela, I., Skewes, M.A., Stern, C.R. 1996. The Late Miocene to Early Pliocene Río Blanco-Los Bronces copper deposit, central Chilean Andes, in *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, style and metallogeny*. Society of Economic Geologists Special Publication no. 5, p. 119–130.

Sillitoe, R. 1992. Gold and Copper Metallogeny in the Central Andes – Past, Present, and Future Exploration Objectives. *Economic Geology*, V. 87, pp. 2205-2216.

Sillitoe, R. 2003. A Selective Review of Exploration Programmes at the El Soldado, Los Bronces and Manto Verde Mines, Chile. Informe Interno de la Compañía Minera Anglo American. Superintendencia de Exploraciones. Santiago, Chile.

Sillitoe, R. 2003. Exploration Potential and Recommendations, Los Bronces District, Central Chile. Informe Interno de la Compañía Minera Anglo American. Superintendencia de Exploraciones. Santiago, Chile.

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

Sillitoe, R.H. 2010. Porphyry Copper Systems. *Economic Geology*, 105, 3-41.

Singer, D.A., Berger, V.I., and Moring, B.C. 2008. Porphyry copper deposits of the world—database and grade and tonnage models, 2008. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2008-1155, 45 p., <http://pubs.usgs.gov/of/2008/1155/>.

Skewes, M., Holmgren, C. 1993. Solevantamiento Andino, Erosión y Emplazamiento de Brechas Mineralizadas en el Depósito de Cobre Porfírico Los Bronces, Chile Central (33°S); Aplicación de Geotermometría de Inclusiones Fluídas. *Revista Geológica, Chile*. Vol. 20.

Pp.71-84. Santiago, Chile.

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

Skewes, A., and Stern, C.R. 1994. Tectonic trigger for the formation of late Miocene Cu-rich breccia pipes in the Andes of central Chile: *Geology*, v. 22, p. 551–554.

SNL Metals Mining. 2015. Strategies for Copper Reserves Replacement- The cost of Finding and Acquiring Copper- Major Copper Discoveries, 1990-2014.

Stambuck, V., Serrano, L., Blondel, J. 1982. Geología del Yacimiento Río Blanco. III Congreso Geológico Chileno, Tomo II, Concepción, Chile.

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

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

Toro, J., Ortuzar, J., Zamorano, J., Cuadra, P., Hermosilla, J., Spohnle, C. 2012. Protracted Magmatic-Hydrothermal History of the Río Blanco-Los Bronces District, Central Chile: Development of World's Greatest Known Cocentration of Copper. *Society of Economic Geologists, Inc. Special Publication 16*, pp. 000-000.

Vargas, F. 2015. Estudio de mineralización y distribución de Ag en el sector Los Bronces del complejo porfírico Cu- Mo Río Blanco - Los Bronces, Región Metropolitana, Chile. Memoria para optar al título de geólogo.

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

Vivanco, M. 2022. Memorandum: Programa diagnóstico geología de la mineralización primaria yacimiento Los Bronces. Angloamerican.

Wilson, W., Cooke, D, Stein, H., Fanning, C., Holliday, J., Tedder, J. 2007. U-Pb and Re-Os Geochronologic Evidence for Two Alkalic Porphyry Ore-Forming Events in the Cadia District, New South Wales, Australia. *Economic Geology*: 102 (1): 3–26. doi: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.102.1.3>

Warnaars, F., Holgrem, C., Barassi, S. 1985. Porphyry Copper and Tourmaline Breccias at Los Bronces, Chile. Society of Economic Geologists. Vol. 80. p. 1544-1565.

Yáñez, G., Cembrano, J., Pardo, M., Ranero, C., Selles, D. 2002. The Challenger-Juan Fernández-Maipo major tectonic transition of the Nazca-Andean subduction system at 33-34°S: geodynamic evidence and implications. Journal of South American Earth Sciences, Vol.15, p. 23-38.

Zürcher, L. 2002. Regional Setting and Magmatic Evolution of Laramide Porphyry Copper Systems in Western Mexico. Ph.D. thesis unpublished, The University of Arizona, Tucson, Arizona, 427 p.

## ANEXOS

### ANEXO A: Descripciones macroscópicas

#### 1. Sondaje LB200072



<b>Muestra:</b> M01	<b>Desde:</b> 766,80 <b>Hasta:</b> 766,94
<b>Dimensión:</b> 14 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de Pórfido Diorítico posiblemente albitizados alterados a alteración potásica y Sericita Gris Verde (SGV) en una matriz de turmalina y anhidrita. Se observó una alteración de turmalina transicional en discretas vetas y vetillas. Presenta mineralización de dominante de calcopirita (1%) y en menor concentración de pirita en matriz de forma diseminada. Posibles vetillas
<b>Clasificación</b>	Incipiente brecha de turmalina



<b>Muestra:</b> M02	<b>Desde:</b> 773,22 <b>Hasta:</b> 773,37
<b>Dimensión:</b> 15 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de Pórfido Diorítico y otros de color crema con alteración potásica y sericita gris verde, se observó minerales de alteración, posiblemente sericita- arcillas. Matriz de anhidrita- yeso, cuarzo y turmalina. Mineralización de calcopirita (8%), piritita (3%) y molibdenita (3%) en la matriz.
<b>Clasificación</b>	Brecha de biotita



<b>Muestra:</b> M03	<b>Desde:</b> 775,05 <b>Hasta:</b> 775,15
<b>Dimensión:</b> 10 cm	
<b>Descripción general</b>	Continúa la descripción anterior. En la SGV hay un empobrecimiento de turmalina que se observó mediante cristales granulares de 1mm. Por otra parte, se observó una gran presencia de turmalina asociado a un gran flujo. Se observó presencia de qz, anh y mineralización de calcopirita (5%) principalmente, seguido de pirita (1%) y molibdenita (2%).
<b>Clasificación</b>	Brecha de turmalina



<b>Muestra:</b> M04	<b>Desde:</b> 789,32 <b>Hasta:</b> 789,32
<b>Dimensión:</b> 15 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de color crema de composición Cuarzomonzonita de textura casi obliterada con posible alteración potásica y SGV. Se observó escasa anhidrita. Mineralización de calcopirita (8%) y molibdenita (1%). Presencia de turmalina diseminada
<b>Clasificación</b>	Brecha de biotita



<b>Muestra:</b> M05	<b>Desde:</b> 793,98 <b>Hasta:</b> 794,05
<b>Dimensión:</b> 7 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos del Pórfido Diorítico con alteración moderadaa albita-sericita en el polvo de brecha. Se ron cristales redondeados de 0.5-1 mm de turmalina, plagioclasa, anhidrita y cuarzo en la matriz. Mineralización diseminada y en vetilla de cpy (3%).
<b>Clasificación</b>	Imposición de Pórfido Diorítico en polvo de roca



<b>Muestra:</b> M06	<b>Desde:</b> 825,59 <b>Hasta:</b> 825,73
<b>Dimensión:</b> 16 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de color crema, Pórfido Diorítico de hasta 3 cm, seguido por QM <1cm y presencia de polvo de roca. Se observaron halos en los fragmentos de diorita. En la matriz hay turmalina y baja presencia de anhidrita. Mineralización diseminada y en vetillas de cpy (5%). Baja presencia de molibdenita
<b>Clasificación</b>	Brecha de contacto de biotita

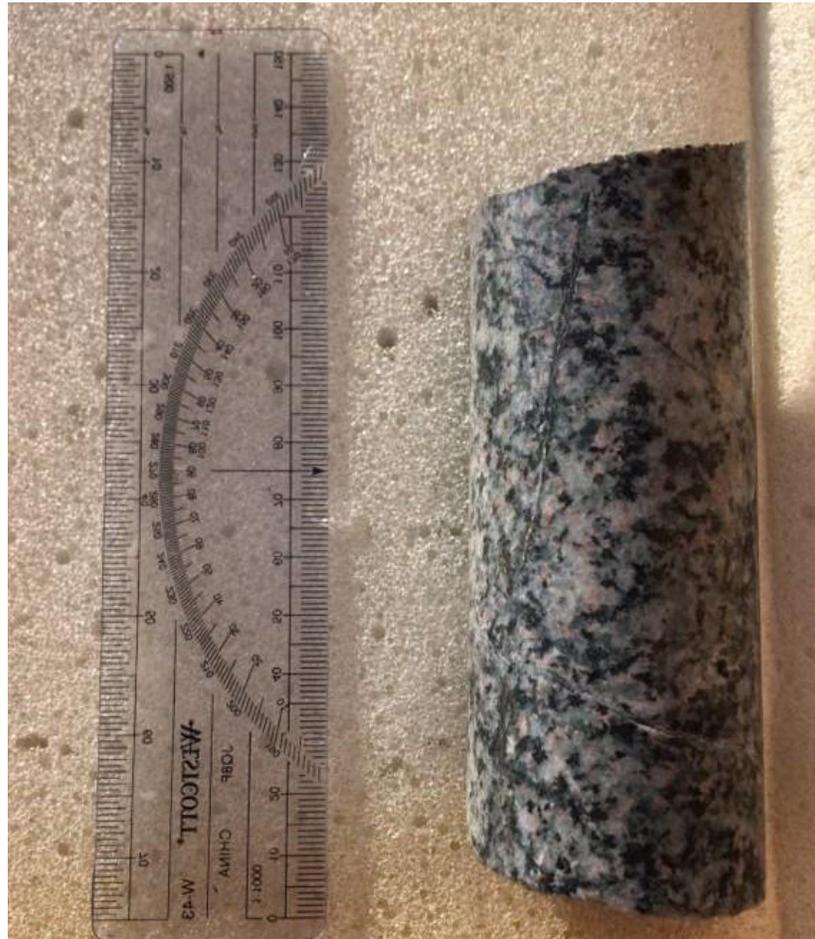


<b>Muestra:</b> M07	<b>Desde:</b> 841,40 <b>Hasta:</b> 841,48
<b>Dimensión:</b> 8 cm	
<b>Descripción general</b>	Cuarzo monzonita de textura fanerítica de grano medio con una leve a moderada alteración. Se caracteriza por plagioclasas, feldespato potásico y cuarzo, junto a biotita y posible anfíbol.
<b>Clasificación</b>	QM alterado



<b>Muestra:</b> M08	<b>Desde:</b> 849,66 <b>Hasta:</b> 849,81
<b>Dimensión:</b> 8 cm	
<b>Descripción general</b>	Brecha de contacto compuesta por fragmentos de Pórfido Diorítico y cuarzo monzonita, los primeros con una alteración moderada a biotita secundaria y los segundos, a albita-sericita, inmersos en una matriz de cuarzo, plagioclasa, anhidrita-yeso y biotita, con alteración sericita gris verde con mineralización de calcopirita (3%).
<b>Clasificación</b>	Brecha de contacto con SGV

## 2. Sondaje LB170039



<b>Muestra:</b> M09	<b>Desde:</b> 733,03 <b>Hasta:</b> 766,15
<b>Dimensión:</b> 12 cm	
<b>Descripción general</b>	Roca de textura fanerítica con cristales de feldespato potásico, cuarzo y minerales máficos. Se observó un reemplazo selectivo de biotita. Presenta mineralización de calcopirita (7%). Vetillas de turmalina y cuarzo. Levemente alterada a SGV.
<b>Clasificación</b>	QM casi inalterado



<b>Muestra:</b> M10	<b>Desde:</b> 747,79 <b>Hasta:</b> 747,85
<b>Dimensión:</b> 6,5 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de QM con alteración selectiva. Presenta una zona que se generó posiblemente por un movimiento dúctil con presencia de cuarzo y turmalina bien seleccionado de tamaño arena fina. Presenta mineralización de cpy>pi.
<b>Clasificación</b>	Posible zona dúctil



<b>Muestra:</b> M11	<b>Desde:</b> 755,09 <b>Hasta:</b> 755,20
<b>Dimensión:</b> 11 cm	
<b>Descripción general</b>	Textura obliterada. Se observaron cristales de anhidrita y cuarzo (también secundario) de 5mm apróx, rodeado por abundante sericita fina producto de una alteración selectiva y pervasiva de posibles feldespatos. Vetillas de cuarzo. Presenta mineralización de cpy (4%) y py (4%). Matriz de polvo de roca.
<b>Clasificación</b>	Posible QM

### 3. Sondaje LB150004



<b>Muestra:</b> M12	<b>Desde:</b> 1003,03 <b>Hasta:</b> 1003,09
<b>Dimensión:</b> 6 cm	
<b>Descripción general</b>	Textura fanerítica. Se observaron cxs de cuarzo, albita, biotita/ anfíbol posiblemente. Además de vetillas de anhidrita, cuarzo y molibdenita. Vetilla de cuarzo. Mineralización de cpy (2%) y bn (<1%).
<b>Clasificación</b>	PQM



<b>Muestra:</b> M13	<b>Desde:</b> 1016,78 <b>Hasta:</b> 1016,87
<b>Dimensión:</b> 9 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos oscuros posiblemente del Pórfido Diorítico biotitizados y claros asociados a Cuarzomonzonita albitizados de grano medio a grueso. Se observaron otros fragmentos de cuarzo. Presenta mineralización diseminada de cpy (2%). Rellenos de anhidrita.
<b>Clasificación</b>	Pórfido Diorítico con fragmentos posibles de PQM



<b>Muestra:</b> M14	<b>Desde:</b> 1011,58 <b>Hasta:</b> 1011,71
<b>Dimensión:</b> 13 cm	
<b>Descripción general</b>	Fragmentos de Cuarzomonzonita y de Pórfido Diorítico en matriz con polvo de roca de forma intersticial, biotita secundaria, anhidrita y turmalina. Se observaron algunos cuarzos. Mineralización de calcopirita (3%).
<b>Clasificación</b>	Pórfido Diorítico

#### 4. Sondaje LB39606



<b>Muestra:</b> M15	<b>Desde:</b> 481,32 <b>Hasta:</b> 481,39
<b>Dimensión:</b> 7 cm	
<b>Descripción general</b>	Roca intrusiva de textura obliterada, probablemente Cuarzomonzonita, con relictos de cuarzo, biotita y sericita. Escasa turmalina. Alteración de SGV con mineralización diseminada de cpy. Vetilla tipo C de pirita
<b>Clasificación</b>	Protolito irreconocible. Roca intrusiva



<b>Muestra:</b> M16	<b>Desde:</b> 529,44 <b>Hasta:</b> 529,58
<b>Dimensión:</b> 14 cm	
<b>Descripción general</b>	Roca intrusiva alterado a SGV con presencia de turmalina y cuarzo. Presenta anhidrita relleno de cavidades. Hay una gran vetilla tipo C de cuarzo y pirita (15%) de un grosor de 1.5 cm. Mineralización de cpy (3%) en los fragmentos.
<b>Clasificación</b>	QM alterado



<b>Muestra:</b> M17	<b>Desde:</b> 545,69 <b>Hasta:</b> 545,82
<b>Dimensión:</b> 13 cm	
<b>Descripción general</b>	Roca intrusiva alterada a QS, relictos de cuarzo con abundante sericita fina. Posible yeso rellenando cavidades. Presencia de turmalina. Gran mineralización de pirita (15%) diseminada y en vetillas, escasa calcopirita.
<b>Clasificación</b>	QM alterado

## 5. Sondaje LB180120



<b>Muestra:</b> M18	<b>Desde:</b> 378,88 <b>Hasta:</b> 379,04
<b>Dimensión:</b> 16 cm	
<b>Descripción general</b>	Roca intrusiva de color gris con mineralización de QS y SGV. Se impone una turmalina brechizando la roca Se observó una vetilla de molibdenita de 5mm y stockwork de pirita (7%) y cuarzo.
<b>Clasificación</b>	Brecha incipiente de turmalina



<b>Muestra:</b> M19	<b>Desde:</b> 381,93 <b>Hasta:</b> 382,10
<b>Dimensión:</b> 17 cm	
<b>Descripción general</b>	QM con posible alteración fílica y presencia de pirita diseminada. Hay relictos de SGV con poca presencia de cpy. Se impone una turmalina brechizando a la roca. Finalmente hay una vetilla de 2mm de py y cpy (<2%).
<b>Clasificación</b>	Brecha incipiente de turmalina



<b>Muestra:</b> M20	<b>Desde:</b> 388,11 <b>Hasta:</b> 388,28
<b>Dimensión:</b> 17 cm	
<b>Descripción general</b>	Abundantes fragmentos de QM alterado a SGV; sericita fina con arcillas asociadas a la alteración de posibles feldespatos, con mineralización de cpy (2%). Matriz principalmente de turmalina y molibdenita, seguido por anhidrita-yeso
<b>Clasificación</b>	Brecha de turmalina

## ANEXO B: Base de datos

### Tabla B.1: Base de datos: Sondaje LB200072

Sondaje			Alteraciones destructivas			Total sulf % respecto la rx	Respecto al total de sulfuros						Leyes		Zonas	
Nombre	Desde	Hasta	Alt. Bt %	Alt. SGV %	Alt. QS %		py %	bn %	en %	cp %	cv %	cc %	LCuT %	LMoT %	Zona de alteración (ZA)	Zona de litología (ZL)
LB200072	650	655	28.1	23.0	0.8	1.6	26.2	0.0	0.0	73.8	0.0	0.0	0.48	766.00	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	655	660	74.0	23.0	2.0	2.0	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	0.48	0.01	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	660	665	69.2	26.2	3.6	2.1	22.0	0.0	0.0	78.0	0.0	0.0	0.48	0.01	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	665	670	50.0	39.0	10.0	2.5	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.50	0.01	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	670	675	64.3	32.3	2.5	2.9	15.0	0.0	0.0	85.0	0.0	0.0	0.80	0.08	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	675	680	69.0	30.0	0.0	3.0	10.0	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.90	0.10	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	685	690	65.6	29.0	2.0	4.0	11.5	0.0	0.0	88.5	0.0	0.0	0.92	0.13	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	690	695	63.0	23.0	2.0	4.0	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	1.00	0.10	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	700	700	62.9	23.5	1.9	4.0	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	1.00	0.10	>= 23 SGV <35; bt>50	Pórfido Diorítico
LB200072	720	725	12.0	17.0	18.0	4.0	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.90	0.00	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	770	775	0.0	77.0	0.0	5.0	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	2.12	0.12	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	775	780	0.0	77.0	0.0	5.0	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	2.12	0.12	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	780	785	0.0	77.0	0.3	4.4	21.6	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	1.83	0.10	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	785	790	0.0	77.0	0.3	4.4	21.6	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	1.83	0.10	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	790	795	0.0	77.0	0.3	4.4	21.6	0.0	0.0	78.4	0.0	0.0	1.83	0.10	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	795	800	0.0	77.0	1.0	3.0	25.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	1.21	0.06	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	800	805	0.0	77.0	1.0	3.0	25.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	1.21	0.06	SGV >= 35	Pórfido Diorítico
LB200072	815	820	54.0	22.0	0.0	2.5	5.0	0.0	0.0	95.0	0.0	0.0	1.26	0.06	SGV >= 35	Brecha Ígnea QM
LB200072	825	830	0.0	69.0	6.0	2.5	25.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	1.04	0.04	SGV >= 35	Brecha Ígnea QM
LB200072	830	835	0.0	69.0	6.0	2.5	25.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	1.04	0.04	SGV >= 35	Brecha Ígnea QM
LB200072	835	840	0.0	69.0	6.0	2.5	25.0	0.0	0.0	75.0	0.0	0.0	1.04	0.04	SGV >= 35	Brecha Ígnea QM
LB200072	860	865	4.0	35.0	6.0	2.5	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.78	0.01	SGV >= 35	Brecha Ígnea QM
LB200072	870	875	31.1	37.4	3.0	2.5	19.4	0.0	0.0	80.6	0.0	0.0	1.13	0.02	>= 23 SGV <35	QM
LB200072	875	880	30.9	38.6	3.1	2.5	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	1.14	0.02	>= 23 SGV <35	QM
LB200072	880	885	20.0	29.6	1.9	2.2	23.7	0.0	0.0	76.3	0.0	0.0	0.99	0.01	>= 23 SGV <35	QM
LB200072	885	890	1.5	14.3	0.0	1.7	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.75	0.01	SGV >= 7	QM
LB200072	890	895	1.5	14.3	0.0	1.7	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.75	0.01	SGV >= 7	QM
LB200072	895	900	1.5	14.3	0.0	1.7	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.75	0.01	SGV >= 7	QM

### Tabla B.2: Base de datos: Sondaje 39606

Sondaje			Alteraciones destructivas			Total sulf % respecto la rx	Respecto al total de sulfuros						Leyes		Zonas	
Nombre	Desde	Hasta	Alt. Potásica %	Alt. SGV %	Alt. QS %		py %	bn %	en %	cp %	cv %	cc %	LCuT %	LMoT %	Zona de alteración (ZA)	Zona de litología (ZL)
LB39606	500	505	0.0	0.0	31.0	5.0	80.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.87	0.02	Turm >= 15; QS >=20	QM
LB39606	505	510	0.0	1.1	33.4	2.5	57.4	0.0	0.0	42.6	0.0	0.0	0.87	0.02	Turm >= 15; QS >=20	QM
LB39606	530	535	0.0	12.5	16.6	2.1	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.60	0.01	SGV >= 7	QM
LB39606	535	540	0.0	10.7	10.3	1.0	32.3	0.0	0.0	67.7	0.0	0.0	0.60	0.01	SGV >= 7	QM
LB39606	540	545	0.0	23.0	18.0	2.0	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.58	0.02	SGV >= 7	QM
LB39606	545	550	0.0	12.1	42.8	18.3	60.3	0.0	0.0	39.7	0.0	0.0	0.53	0.03	SGV >= 7	QM

### Tabla B.3: Base de datos: Sondaje LB150004

Sondaje			Alteraciones destructivas			Total sulf % respecto la rx	Respecto al total de sulfuros						Leyes		Zonas	
Nombre	Desde	Hasta	Alt. Potásica %	Alt. SGV %	Alt. QS %		py %	bn %	en %	cp %	cv %	cc %	LCuT %	LMoT %	Zona de alteración (ZA)	Zona de litología (ZL)
LB150004	950	955	0.0	18.8	9.1	2.0	34.8	0.0	0.0	65.3	0.0	0.0	0.66	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	975	980	11.0	21.0	3.0	2.0	10.0	0.0	0.0	90.0	0.0	0.0	0.99	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	985	990	13.3	29.9	3.2	2.0	23.9	0.0	0.0	76.1	0.0	0.0	0.80	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	1000	1005	0.0	41.0	2.0	2.2	7.0	3.0	0.0	90.0	0.0	0.0	1.11	0.03	SGV >= 7	PGR
LB150004	1005	1010	0.0	14.5	3.2	1.7	23.8	2.4	0.0	73.8	0.0	0.0	0.64	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	1010	1015	0.0	15.9	2.7	1.7	23.4	2.2	0.0	74.4	0.0	0.0	0.68	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	1020	1025	3.0	14.0	4.0	1.4	20.0	0.0	0.0	80.0	0.0	0.0	0.63	0.01	SGV >= 7	PGR
LB150004	1045	1050	0.0	25.9	20.8	2.3	64.7	1.9	0.0	33.5	0.0	0.0	0.42	0.03	>= 23 SGV <35	PGR
LB150004	1050	1055	0.0	26.0	18.0	2.3	65.0	2.0	0.0	33.0	0.0	0.0	0.41	0.03	>= 23 SGV <35	PGR

Tabla B.4: Base de datos: Sondaje LB170039

Sondaje			Alteraciones destructivas			Total sulf % respecto la rc	Respecto al total de sulfuros						Leyes		Zonas	
Nombre	Desde	Hasta	Alt. Potásica %	Alt. SGY %	Alt. QS %		py %	bu %	en %	cp %	cv %	ce %	LCuT %	LMoT %	Zona de alteración (ZA)	Zona de litología (ZL)
LB170039	5	10	26.0	8.0	19.5	6.8	53.3	0.0	1.5	37.0	6.8	0.0	1.53	0.01	-	Andesita
LB170039	10	15	0.0	4.0	0.0	3.7	39.2	0.0	6.6	49.2	0.0	1.6	1.24	0.01	-	Andesita
LB170039	15	20	0.0	2.1	19.3	3.2	80.4	0.0	9.9	8.1	1.1	1.5	1.09	0.01	QS >= 20	Andesita
LB170039	20	25	0.0	1.6	33.4	3.1	70.0	0.0	13.6	8.2	0.0	9.1	1.09	0.00	QS >= 20	Andesita
LB170039	25	30	0.6	2.9	23.6	2.4	53.4	0.0	9.7	35.5	0.0	6.2	1.37	0.06	Turn >= 15; QS >= 20	Andesita
LB170039	30	35	9.1	2.9	23.3	4.9	70.9	0.0	1.2	23.0	0.0	5.3	0.93	0.02	QS >= 20	Andesita
LB170039	35	40	20.0	0.0	10.0	0.7	60.0	0.0	0.0	30.0	0.0	10.0	0.87	0.04	QS >= 20	Andesita
LB170039	40	45	6.4	0.0	27.7	2.9	70.2	0.0	6.8	17.8	0.0	5.2	0.73	0.08	QS >= 20	Andesita
LB170039	55	60	0.0	2.6	5.7	1.0	30.0	0.0	7.9	57.2	0.0	7.9	0.90	0.04	Bt s - SGV <7	Andesita
LB170039	60	65	0.0	0.7	3.9	1.5	36.5	0.0	14.8	47.0	0.0	1.8	0.88	0.02	Bt s - SGV <7	Andesita
LB170039	75	80	0.0	1.0	5.0	0.6	60.0	0.0	20.0	15.0	0.0	5.0	0.82	0.02	QS >= 20	Andesita
LB170039	80	85	0.0	1.4	15.5	1.6	66.3	0.0	15.8	12.9	0.0	5.0	0.79	0.01	QS >= 20	Andesita
LB170039	85	90	0.7	2.7	12.3	1.4	39.5	0.0	13.6	43.4	0.0	3.6	0.79	0.01	QS >= 60	Andesita
LB170039	125	130	0.0	6.8	27.5	4.4	70.5	0.0	0.0	24.5	1.6	3.4	0.65	0.01	QS >= 20	QM
LB170039	130	135	0.0	10.4	19.4	3.9	51.9	0.0	0.0	37.4	0.0	10.7	0.57	0.01	QS >= 20	QM
LB170039	135	140	0.0	3.0	25.0	17.1	89.0	0.0	0.0	6.3	0.0	4.7	0.76	0.01	QS >= 20	QM
LB170039	140	145	0.0	2.2	21.8	13.2	89.3	0.0	0.0	5.7	0.0	5.0	0.88	0.01	QS >= 20	QM
LB170039	145	150	0.0	1.9	5.6	0.7	62.4	0.0	0.0	27.6	0.0	10.0	0.50	0.01	QS >= 20	QM
LB170039	155	160	0.0	4.0	22.5	3.7	75.8	0.0	0.0	20.2	0.0	6.1	0.52	0.00	QS >= 20	QM
LB170039	165	170	0.0	0.2	24.8	3.5	93.6	0.0	0.0	1.6	0.0	4.8	0.32	0.00	QS >= 60	QM
LB170039	175	180	0.0	1.0	25.0	2.0	75.0	0.0	0.0	20.0	0.0	5.0	0.37	0.00	QS >= 60	QM
LB170039	180	185	0.0	1.0	25.0	2.0	75.0	0.0	0.0	20.0	0.0	5.0	0.37	0.00	QS >= 60	QM
LB170039	670	675	0.0	29.0	8.0	1.5	30.0	0.0	0.0	70.0	0.0	0.0	0.50	0.01	>= 23 SGV <35	QM
LB170039	675	680	0.0	27.8	16.1	6.3	32.6	0.0	0.0	67.4	0.0	0.0	0.63	0.00	>= 23 SGV <35	QM
LB170039	680	685	0.0	26.5	10.0	0.7	12.9	13.3	0.0	73.8	0.0	0.0	0.75	0.02	>= 23 SGV <35	QM
LB170039	685	690	0.0	29.6	10.2	2.0	36.0	0.0	0.0	64.0	0.0	0.0	0.62	0.02	>= 23 SGV <35	QM
LB170039	690	695	2.6	26.8	5.5	5.5	19.6	0.0	0.0	46.1	0.0	0.0	0.79	0.41	>= 23 SGV <35	QM
LB170039	705	710	0.0	17.8	57.8	6.6	73.3	0.0	0.0	26.8	0.0	0.0	0.47	0.01	QS	QM
LB170039	710	715	0.0	7.7	54.1	2.6	65.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.50	0.01	QS	QM
LB170039	715	720	0.0	7.0	54.0	2.6	65.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.50	0.01	QS	QM
LB170039	720	725	0.0	10.4	52.5	3.3	60.2	0.0	0.0	39.8	0.0	0.0	0.76	0.02	QS	QM
LB170039	725	730	0.0	41.4	35.6	3.9	41.2	0.0	0.0	58.8	0.0	0.0	1.21	0.05	QS	QM
LB170039	740	745	0.0	26.0	17.0	3.3	55.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.80	0.04	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	750	755	0.0	25.8	37.2	3.6	54.0	0.0	0.0	46.0	0.0	0.0	0.86	0.01	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	760	765	0.0	43.0	16.0	3.8	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	1.13	0.01	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	770	775	0.0	9.0	17.0	3.5	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	1.06	0.01	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	775	780	3.8	7.5	23.0	3.4	55.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.84	0.02	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	780	785	5.0	7.0	25.0	3.3	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.77	0.02	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	790	795	0.0	8.0	34.0	2.8	65.0	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.59	0.01	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	795	800	0.0	6.7	40.4	2.3	68.2	0.0	0.0	31.8	0.0	0.0	0.56	0.01	SGV >= 35; Turn >= 15	Pórfido Diorítico
LB170039	805	810	0.0	8.0	30.0	1.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.51	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	810	815	0.0	8.0	30.0	1.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.51	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	815	820	0.0	8.0	30.0	1.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.51	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	820	825	0.0	8.0	30.0	1.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.51	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	825	830	0.0	8.0	30.0	1.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.51	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	830	835	0.0	8.0	36.1	2.3	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.57	0.01	SGV >= 7; Turn >= 15; QS >= 20	QM
LB170039	835	840	0.0	8.0	41.0	3.0	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.62	0.01	SGV >= 7; Turn >= 15; QS >= 20	QM
LB170039	840	845	0.0	2.0	34.0	2.2	55.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.53	0.06	SGV >= 7; Turn >= 15; QS >= 20	QM
LB170039	845	850	0.0	2.0	34.0	2.2	55.0	0.0	0.0	45.0	0.0	0.0	0.53	0.06	SGV >= 7; Turn >= 15; QS >= 20	QM
LB170039	850	855	1.0	6.8	11.9	2.2	59.8	0.0	0.0	40.2	0.0	0.0	0.47	0.01	SGV >= 7; Turn >= 15; QS >= 20	QM
LB170039	855	860	0.1	7.9	33.3	11.8	86.7	0.0	0.0	13.3	0.0	0.0	0.63	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	860	865	0.8	6.5	15.2	3.7	47.7	0.0	0.0	52.4	0.0	0.0	0.40	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	865	870	1.0	6.0	9.0	0.9	35.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.32	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	870	875	1.0	6.0	9.0	0.9	35.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.32	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	875	880	1.0	6.0	9.0	0.9	35.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.32	0.01	SGV >= 7; QS >= 20	QM
LB170039	880	885	0.2	2.7	42.0	5.1	77.3	0.0	0.0	22.7	0.0	0.0	0.32	0.01	QS >= 60	QM
LB170039	885	890	0.0	5.2	20.4	2.9	73.5	0.0	0.0	26.5	0.0	0.0	0.41	0.02	SGV >= 7; QS <20	QM
LB170039	890	895	0.0	7.0	24.0	2.3	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.49	0.02	SGV >= 7; QS <20	QM
LB170039	895	900	0.0	14.5	10.4	0.7	19.2	0.0	0.0	12.8	0.0	0.0	0.45	0.02	SGV >= 7; QS <20	QM

Tabla B.5: Base de datos: Sondaje LB180120

Sondaje			Alteraciones destructivas			Total sulf % respecto la rx	Respecto al total de sulfuros						Leyes		Zonas	
Nombre	Desde	Hasta	Alt. Potásica %	Alt. SGY %	Alt. QS %		py %	bn %	en %	cp %	cv %	cc %	LCuT %	LMoT %	Zona de alteración (ZA)	Zona de litología (ZL)
LB180120	375	380	0.0	13.9	46.4	5.4	52.8	0.0	0.0	47.3	0.0	0.0	1.77	0.06	QS & TURM >= 15	QM
LB180120	380	385	0.0	16.8	39.3	4.6	54.9	0.0	0.0	45.2	0.0	0.0	1.01	0.02	QS & TURM >= 15	QM
LB180120	385	390	0.0	27.7	21.5	2.9	49.9	0.0	0.0	50.1	0.0	0.0	1.07	0.01	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	390	395	0.0	13.6	34.4	2.8	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.68	0.01	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	395	400	0.0	10.0	20.0	2.0	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.56	0.01	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	400	405	1.9	10.0	22.9	2.5	41.0	0.0	0.0	59.0	0.0	0.0	0.77	0.21	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	405	410	1.2	16.5	29.8	2.5	47.6	0.0	0.0	52.4	0.0	0.0	0.70	0.16	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	410	415	0.0	26.4	20.9	2.2	44.8	0.0	0.0	55.3	0.0	0.0	0.52	0.08	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	415	420	0.0	27.7	17.2	2.8	39.2	0.0	0.0	60.8	0.0	0.0	0.65	0.11	>= 23 SGV <35	QM
LB180120	425	430	0.0	18.0	31.0	2.0	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.62	0.10	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	430	435	0.0	27.6	24.2	2.0	36.8	0.0	0.0	62.0	0.0	0.0	0.62	0.09	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	435	440	0.0	42.0	14.0	2.0	32.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	0.62	0.06	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	440	445	1.7	18.4	25.6	2.8	56.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.0	0.59	0.04	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	445	450	0.5	27.7	39.1	5.1	60.7	0.0	0.0	39.3	0.0	0.0	0.83	0.10	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	450	455	0.6	27.8	54.0	19.8	61.5	0.0	0.0	38.5	0.0	0.0	0.64	0.17	>= 23 SGV <35; Turm >= 15	QM
LB180120	455	460	0.0	2.0	88.0	45.0	98.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.35	0.13	QS >= 60	QM
LB180120	460	465	0.0	2.0	88.0	45.0	98.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.35	0.13	QS >= 60	QM
LB180120	465	470	0.0	2.0	88.0	45.0	98.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.35	0.13	QS >= 60	QM
LB180120	475	480	0.0	12.0	36.0	34.0	90.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	1.43	0.04	QS & TURM	Pórfido Diorítico
LB180120	480	485	0.0	12.0	36.0	34.0	90.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	1.43	0.04	QS & TURM	Pórfido Diorítico
LB180120	485	490	0.0	13.0	32.1	9.8	85.2	0.0	0.0	14.9	0.0	0.0	0.69	0.09	QS & TURM	Pórfido Diorítico
LB180120	490	495	0.0	13.0	32.0	9.0	85.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.67	0.09	QS & TURM	Pórfido Diorítico
LB180120	495	500	0.0	13.0	32.0	9.0	85.0	0.0	0.0	15.0	0.0	0.0	0.67	0.09	QS & TURM	Pórfido Diorítico
LB180120	510	515	0.0	20.0	38.0	6.0	80.0	0.0	0.0	20.0	0.0	0.0	0.62	0.09	TURM >= 30	QM
LB180120	515	520	0.0	18.0	31.0	5.2	75.6	0.0	0.0	24.4	0.0	0.0	0.58	0.09	TURM >= 30	QM
LB180120	530	535	0.0	16.0	12.0	2.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.57	0.02	TURM >= 30	QM
LB180120	535	540	0.0	16.0	12.0	2.5	60.0	0.0	0.0	40.0	0.0	0.0	0.57	0.02	TURM >= 30	QM
LB180120	545	550	0.0	15.0	16.0	2.2	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.70	0.17	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	550	555	0.0	15.0	16.0	2.2	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.70	0.17	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	555	560	0.0	15.0	16.0	2.2	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.70	0.17	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	560	565	0.0	15.3	17.7	2.2	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.69	0.15	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	565	570	0.0	17.0	26.0	2.0	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.64	0.05	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	570	575	0.0	17.0	26.0	2.0	40.0	0.0	0.0	60.0	0.0	0.0	0.64	0.05	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	575	580	0.0	27.9	13.3	2.5	30.9	0.0	0.0	69.1	0.0	0.0	0.92	0.03	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	580	585	0.0	26.6	13.4	2.5	33.6	0.0	0.0	66.4	0.0	0.0	0.90	0.02	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	585	590	0.0	19.0	18.0	2.5	45.0	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.73	0.02	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	590	595	0.0	18.8	18.2	2.4	45.0	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.69	0.04	Turm >= 15; QS >= 20	QM
LB180120	595	600	0.0	18.0	19.0	2.0	45.0	0.0	0.0	55.0	0.0	0.0	0.58	0.09	Turm >= 15; QS >= 20	QM

# ANEXO C: Base geoquímica

Tabla C.6: Base de datos geoquímica: Parte 1

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	TiO2 %	CaO %	Na2O %	K2O %	MgO %	P2O5 %	MnO %	Cr2O3 %	
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	64.3	15.01	5.68	0.5	1.89	1.5	4.53	1.61	0.12	0.05	0.053	
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	62.57	14.32	7.63	0.47	1.65	1.08	4.38	1.49	0.11	0.04	0.033	
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	64.75	14.55	5.28	0.49	1.8	1.2	4.67	1.71	0.11	0.05	0.054	
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	64.29	14.92	5.75	0.48	1.55	0.86	5.27	1.62	0.11	0.05	0.03	
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	62.26	14.65	4.84	0.5	2.65	1.11	5.47	1.46	0.18	0.04	0.053	
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	59.87	15.92	8.33	0.51	1.54	1.05	4.67	1.74	0.11	0.07	0.028	
	700	705	QM	QS	49.05	12.32	20.01	0.39	0.84	0.09	3.98	0.6	0.04	0.03	0.067	
	705	710	QM	QS	62.44	14.17	8.32	0.47	1.36	0.11	4.67	1.1	0.1	0.04	0.033	
	710	715	QM	QS	63.38	15.04	6.15	0.48	1.59	0.79	4.91	1.75	0.11	0.04	0.055	
	715	720	QM	QS	64.13	14.42	6.06	0.46	2.13	1.44	4.78	1.55	0.12	0.05	0.06	
	720	725	QM	QS	63.07	14.47	6.55	0.47	2.39	0.97	4.76	1.57	0.12	0.04	0.034	
	725	730	QM	QS	59.81	12.15	9.9	0.39	2.84	0.17	3.99	1.17	0.1	0.03	0.056	
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	61.68	14.27	6.42	0.47	2.7	0.46	4.66	1.66	0.12	0.04	0.031	
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	57.98	13.7	8	0.47	4.12	0.17	4.65	1.62	0.14	0.03	0.05	
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	62.4	14.35	7.28	0.46	1.99	0.49	4.96	1.5	0.1	0.03	0.032	
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	58.98	13.68	7.73	0.45	4.35	0.34	5.05	1.5	0.13	0.03	0.051	
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	58.35	14.41	10.13	0.45	2.59	0.11	4.97	1.2	0.13	0.02	0.02	
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	56.85	13.83	11.8	0.44	2.56	0.11	4.54	1.17	0.14	0.02	0.039	
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	56.54	13.17	11.07	0.45	4.24	0.1	4.15	1.45	0.15	0.02	0.029	
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	60.64	13.2	9.66	0.46	2.54	0.15	4.43	1.34	0.12	0.03	0.068	
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	63.94	14.2	8.45	0.51	0.43	0.17	4.26	0.98	0.15	0.05	0.04	
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	65.47	13.86	7.8	0.48	0.53	0.13	4.23	0.94	0.15	0.03	0.076	
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	66.07	13.05	7.21	0.44	0.73	0.16	4.36	0.88	0.13	0.04	0.041	
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	66.18	12.73	6.85	0.43	1.67	0.11	4.16	0.81	0.13	0.04	0.074	
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	64.63	13.88	6.94	0.47	1.45	0.17	4.41	0.96	0.15	0.03	0.043	
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	66.23	14.07	7.42	0.47	0.28	0.17	4.63	0.87	0.14	0.03	0.064	
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	66.67	13.83	6.7	0.46	0.61	0.2	4.65	0.88	0.17	0.06	0.033	
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20	64.41	13.67	7.3	0.46	1.52	0.4	4.62	1.38	0.16	0.04	0.067	
	810	815	QM	>= 23 SGV <35	66.06	14.24	6.71	0.46	0.72	0.48	4.8	1.22	0.14	0.05	0.024	
	815	820	QM	>= 23 SGV <35	65.08	14.17	6.4	0.47	1.25	0.31	4.84	1.23	0.17	0.06	0.035	
	820	825	QM	>= 23 SGV <35	65.97	14.62	6.65	0.49	0.34	0.27	4.83	0.86	0.16	0.08	0.042	
	825	830	QM	>= 23 SGV <35	65.83	14.62	6.42	0.49	0.43	0.43	4.87	1.08	0.16	0.06	0.027	
	830	835	QM	>= 23 SGV <35	65.8	15.12	6.49	0.52	0.35	0.18	4.81	1.2	0.18	0.07	0.044	
	LB200072	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	57.45	15.86	3.99	0.63	4.51	2.69	4.73	2.5	0.16	0.05	0.025
		655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.67	16.27	4.2	0.73	5.1	3.04	4.78	2.85	0.15	0.05	0.021
		660	665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.87	15.84	4.66	0.73	5.27	3.17	3.96	2.51	0.15	0.05	0.021
		665	670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	55.45	16.32	4.37	0.73	4.96	3.46	3.66	2.89	0.15	0.04	0.023
		670	675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.27	16	5.58	0.72	4.79	2.56	4.07	2.87	0.14	0.06	0.022
		675	680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.83	15.72	4.76	0.68	5.12	3	4.18	2.62	0.14	0.03	0.023
		680	685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	56.41	15.65	5.3	0.64	4.23	2.52	4.11	2.41	0.14	0.04	0.028
685		690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	52.08	17.02	7.51	0.83	4.52	3.34	3.88	4.15	0.17	0.04	0.023	
690		695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.67	15.91	4.57	0.7	4.97	3.17	4.54	2.56	0.14	0.02	0.023	
695		700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	53.11	16.82	6.43	0.89	5.08	3.99	3.64	3.16	0.19	0.03	0.022	
800		805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	58.45	15.02	4.41	0.71	3.92	0.81	4.87	2.37	0.16	0.03	0.039	
805		810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	55.47	13.54	4.54	0.59	5.78	0.84	6.13	1.26	0.14	0.03	0.057	
810		815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	59.47	16.29	3.81	0.68	2.72	1.67	6.27	1.99	0.15	0.03	0.066	
815		820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	57.1	15.01	4.44	0.58	4.16	2.68	4.42	2.21	0.14	0.02	0.053	
820		825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	59.61	15.03	3.85	0.59	3.65	2.41	4.88	2.34	0.14	0.03	0.06	
825		830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	57.42	15.13	4.37	0.63	4.05	2.85	4.4	2.22	0.12	0.02	0.044	
830		835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	54.72	15.09	5.12	0.66	4.69	2.07	4.92	2.29	0.16	0.03	0.032	
835		840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	59.04	14.89	4.13	0.57	3.52	1.87	5.84	2.12	0.13	0.03	0.051	
840		845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	63.03	14.88	3.52	0.52	2.33	2.66	5.17	1.6	0.11	0.02	0.06	
845		850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	58.82	15.13	4.12	0.63	3.81	2.75	4.75	2.06	0.14	0.03	0.036	
850		855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	48.95	17.4	4.79	0.69	7.73	1.96	5.11	1.9	0.13	0.04	0.041	
855		860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	60.35	16.23	3.79	0.66	2.94	3.52	4.5	2.4	0.16	0.04	0.038	
860		865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	60.08	16.46	4.14	0.69	2.64	3	4.61	2.6	0.16	0.04	0.052	
865		870	QM	>= 23 SGV <35	59.16	15.46	5.18	0.65	2.34	2.32	5.01	2.57	0.15	0.09	0.046	
870		875	QM	>= 23 SGV <35	61.06	15.37	4.23	0.65	2.19	1.96	5.39	2.4	0.14	0.05	0.055	
875		880	QM	>= 23 SGV <35	60.58	15	5.37	0.57	2.02	1.82	5.12	2.23	0.15	0.03	0.042	
880		885	QM	>= 23 SGV <35	60.47	15.38	4.87	0.65	2.64	2.17	4.69	2.46	0.21	0.04	0.063	
885		890	QM	SGV >= 7	58.79	16.7	5.92	0.71	3.53	3.75	3.22	2.49	0.17	0.04	0.044	
890		895	QM	SGV >= 7	60.35	15.98	5.27	0.68	3.09	3.12	4	2.54	0.16	0.05	0.088	
895		900	QM	SGV >= 7	61.25	15.09	5.72	0.76	3.03	3.08	3.61	2.75	0.17	0.04	0.045	
700		705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	54.83	16.14	4.82	0.73	4.82	3.82	4.15	2.64	0.17	0.04	0.021	
705		710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	55.69	16.17	4.49	0.73	4.51	3.93	4.22	2.76	0.16	0.04	0.023	
710		715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	62.79	15.18	2.72	0.4	3.73	4.12	3.44	1	0.15	0.04	0.033	
715		720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	59.92	15.18	2.48	0.54	4.19	3.32	5.76	1.43	0.15	0.02	0.042	
720		725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	52.85	12.83	10.79	0.57	3.6	1.04	4.7	1.95	0.13	0.04	0.044	
725		730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	53.69	12.56	11.21	0.56	3.69	1.06	4.25	2.13	0.13	0.05	0.04	
730		735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	50.96	14.55	5.35	0.64	7.94	1.7	4.93	2.22	0.17	0.06	0.031	
735		740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	50.58	14.67	8.08	0.69	5.78	0.54	4.38	2.48	0.16	0.06	0.027	
740		745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	53.41	14.7	8.8	0.66	3.78	1.04	4.66	2.6	0.19	0.06	0.032	
745		750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	55.56	16.45	6.64	0.75	2.95	1.17	5.73	2.54	0.16	0.05	0.025	
750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	55.7	15.55	6.02	0.68	4.02	1.05	5.17	2.31	0.15	0.05	0.03		
755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	57.52	15.87	5.67	0.7	3.39	1.23	4.81	2.22	0.16	0.04	0.034		
760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	59.73	14.6	5.18	0.6	3.08	1.47	5.65	1.99	0.11	0.04	0.04		
765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	52.55	15.65	5.36	0.8	4.43	2.83	5.06	3.08	0.18	0.04	0.018		
770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	54.72	15.76	5.41	0.78	3.91	2.8	4.98	2.96	0.17	0.03	0.023		
775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	54.13	14.7	6.24	0.73	4.39	1.33	4.73	2.14	0.14	0.03	0.021		
780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	54.04	15.28	5.25	0.76	4.93	0.94	5.24	1.62	0.12	0.03	0.03		
785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	51.49	15.29	5.21	0.79	5.67	2.46	4.63	2.29	0.15	0.03	0.022		
790	795	Pórf														

Tabla C.7: Base de datos geoquímica: Parte 2

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	Ba (PPM)	Sc(PPM)	Ga(PPM)	Hf(PPM)	Nb(PPM)	Rb(PPM)	Sr(PPM)	Ta(PPM)	Th(PPM)	U(PPM)		
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	620	6	19.2	3.6	4.2	128	3	212.7	0.4	12.2	3.8	
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	564	6	18.8	3.2	3.7	122.6	3	163.2	0.3	7.4	2.7	
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	603	6	17.7	3.3	4.2	132.5	3	165.8	0.4	12.3	2.8	
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	665	6	16.9	3.8	4	146.1	3	155.3	0.3	9.3	3.1	
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	723	6	16.3	2.9	4.1	140.2	4	246.5	0.3	7.4	3.2	
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	532	6	19.4	3.6	4.5	138.5	3	177.2	0.4	8.9	3.6	
	700	705	QM	QS		361	5	16.2	2.9	3.6	118.6	4	48.1	0.3	6.3	2.2
	705	710	QM	QS		413	5	18.8	4.1	4.3	160.5	4	104.1	0.3	7.3	3.2
	710	715	QM	QS		644	6	18.8	3.4	4.4	146.8	3	150.8	0.3	10	3.1
	715	720	QM	QS		684	6	16.6	3.8	3.9	135.3	2	236.9	0.3	8.7	3.2
	720	725	QM	QS		646	5	17.9	3	3.9	143.2	3	190.6	0.4	8.7	3.9
	725	730	QM	QS		395	5	16.5	2.7	3.4	132.7	4	169.3	0.3	6.3	2.8
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	581	6	18.8	3.4	3.7	144.3	3	190.7	0.3	6.2	3.7	
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	537	6	17.4	3	4.6	147.2	3	233	0.2	9.3	3.5	
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	686	6	18.7	3.2	4	155.6	2	161.2	0.4	8.8	2.7	
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	679	6	18.4	3.7	4.8	151.9	2	270.3	0.4	5.9	2.8	
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	636	5	23.7	3.4	3.8	146.5	3	180.2	0.3	5.1	4.7	
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	504	5	22.7	3.2	4	146.7	4	150.3	0.3	4.9	3.5	
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	360	6	17.6	3.2	4.3	150.5	3	203.7	0.3	10.4	3.9	
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	598	7	17.6	3.7	4.3	141.3	2	125.5	0.3	7.4	3.2	
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	571	7	19.9	3.5	4.2	129.5	5	36.8	0.3	5.9	2.8	
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	528	7	20.8	3.7	4.8	134.1	4	23.8	0.4	12.7	4.4	
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	590	6	18.7	3.3	4	138.3	3	41.6	0.3	16.9	4.2	
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	536	6	17.5	3.4	4.1	135.1	3	34.1	0.3	9.8	3.3	
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	539	6	19.2	3.5	4.3	146.5	3	39.6	0.3	6.8	2.5	
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	640	6	19.3	3.1	4.4	138.6	3	36.4	0.3	6.9	2.7	
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	706	6	18	3	4	141.6	3	57.2	0.3	12.1	2.9	
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20	635	6	18.4	3.6	4.5	141.1	4	96.7	0.4	10.5	3.6	
	810	815	QM	>= 23 SGV <35	672	6	19.1	3.6	4.5	150.3	4	78.6	0.4	10.4	3.2	
	815	820	QM	>= 23 SGV <35	639	6	18.8	3.4	4.1	149.5	3	94.1	0.3	10.5	3.5	
	820	825	QM	>= 23 SGV <35	630	6	19.2	3.8	4.2	146	3	46.3	0.4	7.8	2.4	
	825	830	QM	>= 23 SGV <35	648	6	19.7	4.4	4.4	151.8	3	72.2	0.3	8.5	2.7	
	830	835	QM	>= 23 SGV <35	637	7	18.7	3.7	4.5	158.6	2	60.1	0.3	9	2.4	
	LB200072	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	613	10	19.2	3.6	3.9	146	1	471.2	0.2	6.1	5.1
		655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	524	13	17.9	3.9	3.5	150.7	1	452	0.3	5.9	1.8
		660	665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	397	12	16.8	3.3	3.9	133.5	1	423.4	0.2	5.4	2.1
		665	670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	377	12	17.4	3.6	4	132.4	1	430.3	0.3	7.7	2.4
670		675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	422	13	17.2	3.5	3.7	146.7	1	375.6	0.2	6.7	2.2	
675		680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	456	12	15.2	3.8	4.2	142.4	1	414.7	0.2	8.4	2.4	
680		685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	459	10	16.8	3.6	3.9	135.5	1	356.4	0.3	5.8	2.6	
685		690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	302	17	18.3	2.7	3.1	204.1	1	390.1	0.2	3.4	1.8	
690		695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	433	12	16.4	3.8	3.9	158.8	1	418.1	0.3	7	2.4	
695		700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	327	15	17.3	3.2	3.5	165.6	1	409.9	0.2	3.8	2	
800		805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	325	12	17.5	4	4.5	159.1	2	218.5	0.4	6.7	2.8	
805		810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	483	9	12.2	3.4	3.7	140.6	3	356.2	0.2	7.2	2.5	
810		815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	431	7	18.4	3.8	3.6	180.3	3	292.6	0.2	5.1	2.4	
815		820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	319	8	16.1	3.9	3.7	138.8	2	324.9	0.3	7	2.3	
820		825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	359	8	14.9	3.7	4	143.3	2	279.8	0.2	7.4	2.9	
825		830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	351	9	15.7	3.6	4.1	139	3	327.8	0.3	6.4	3.6	
830		835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	379	11	17.6	3.5	3.9	149.9	3	335.2	0.3	5.5	3	
835		840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	455	8	16.5	3.5	3.3	154	2	313.8	0.3	6.9	2.6	
840		845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	395	7	15.9	3.6	3	134.4	2	261.3	0.2	7.9	2.7	
845		850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	418	9	17.3	3.7	3.7	136.8	2	331.7	0.2	6.1	2.5	
850		855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	445	9	15.2	5.2	4.4	133.6	3	476.5	0.3	6.2	2.6	
855		860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	397	9	20.8	3.9	3.6	137	2	367.8	0.2	6.3	2.2	
860		865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	383	9	20	3.4	3.6	142	2	333.2	0.3	5.9	2.1	
865		870	QM	>= 23 SGV <35	412	9	18.6	3.7	3.5	148.5	3	269.4	0.4	8.5	2.4	
870		875	QM	>= 23 SGV <35	414	9	18.3	3.9	3.8	141.2	3	256.4	0.2	5.5	2.4	
875		880	QM	>= 23 SGV <35	388	9	19.1	3.4	3	139.3	4	244	0.3	6.2	1.9	
880		885	QM	>= 23 SGV <35	507	9	18.8	3.9	4	134.4	3	296	0.3	7.2	2.2	
885		890	QM	SGV >= 7	438	9	18.4	4.6	4.3	117.3	1	488.3	0.3	12.1	4.3	
890		895	QM	SGV >= 7	513	9	19.3	4.7	4.5	129.6	2	398.8	0.3	7.4	2.6	
895		900	QM	SGV >= 7	465	10	18.5	5.3	4.6	126.5	2	378.9	0.3	6.8	2.6	
700		705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	465	13	17.3	3.3	4.1	152.1	1	410.3	0.3	4.8	2.5	
705		710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	384	13	19.1	3.3	4	149.7	1	373.1	0.2	4.9	2.9	
710		715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	538	4	16.3	3	3.1	94.1	1	475	0.2	3.7	2	
715		720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	651	9	15.4	3.9	4.3	126.8	1	396.3	0.3	7.3	3.4	
720		725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	510	10	14.9	4.2	4.8	118.9	2	263.3	0.4	8.5	5.4	
725		730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	439	10	14.7	4.7	4.7	104.2	2	259.5	0.4	8.6	4.3	
730		735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	645	11	16.7	3.7	4.3	132.8	1	479.4	0.3	6.6	4.7	
735		740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	345	12	17.5	2.8	3.6	148.4	2	273.5	0.3	4.6	2.6	
740		745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	454	12	17.7	2.8	3.4	145.2	2	235.5	0.2	4.2	2.7	
745		750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	511	14	20.3	3.3	5.8	172.5	2	206	0.3	4.7	5.6	
750		755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	499	12	18.3	3.5	4.4	151.9	2	248.8	0.2	7.6	8.7	
755		760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	434	12	19.1	3.1	4.4	151.1	3	224.4	0.3	4.7	6.6	
760		765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	809	10	16.7	6.6	6	147.9	2	254.8	0.4	12.1	12.7	
765		770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	557	14	16.4	3.8	5.3	162	2	309	0.3	6.6	10.9	
770		775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	545	13	17.2	4.6	5.2	164	2	295.8	0.3	8.1	3.6	
775		780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	421	13	15.7	4	5.5	141.8	3	252.2	0.3	6.9	3.7	
780		785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	371	14	16	3.8	4.7	150.8	3	247.8	0.3	6.3	3.7	
785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	348	13	15.2	3.6	5	136.4	3	299.3	0.2	6.7	3.4		
790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	419	12	15.8	3.9	4.1	128.5	1	286.2	0.2	6.8	2.8		
795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	311	11	15.3	3.5	4.6	120.7	1	311	0.2	7	3.2		

Tabla C.8: Base de datos geoquímica: Parte 3

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	V(PPM)	W(PPM)	Zr(PPM)	Y(PPM)	La(PPM)	Ce(PPM)	Pr(PPM)	Nd(PPM)	Sm(PPM)	Eu(PPM)	Gd(PPM)
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	77	31.7	121	6.6	18.8	33.9	3.76	13.7	2.23	0.59	1.75
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	78	28	115.1	5.4	16	29.1	3.32	12.1	1.99	0.52	1.53
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	84	29.2	114.6	5.7	21.2	37.7	4.23	14.9	2.38	0.56	1.69
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	88	28.9	134.3	5.6	18.5	33.5	3.76	13.3	2.18	0.53	1.65
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	87	37.7	100.4	7.1	25	44.1	4.83	17.3	2.83	0.61	2.07
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	84	35.7	130.6	6.2	18	34.4	3.78	13.9	2.28	0.53	1.69
	700	705	QM	QS	78	73.8	102.6	8.1	20.6	37.5	4.21	14.4	2.37	0.53	1.99
	705	710	QM	QS	102	46.1	137.5	7.4	17	31.7	3.66	13.8	2.19	0.56	1.81
	710	715	QM	QS	97	41.6	113.4	6	17	30.7	3.54	12.7	2.12	0.53	1.61
	715	720	QM	QS	84	55.3	140.2	6.2	15.1	28.6	3.21	11.3	1.9	0.49	1.62
	720	725	QM	QS	88	61.9	103.8	6.3	18.4	35.3	3.97	14.7	2.24	0.59	1.77
	725	730	QM	QS	112	64.3	95.5	6.5	16.1	29.3	3.45	12.4	2.03	0.51	1.77
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	82	35.6	119.9	6.3	17.1	30	3.47	13.3	2.06	0.55	1.72
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	84	39	104.1	8.2	15.5	28.7	3.61	14	2.56	0.55	2.09
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	80	31.1	108.4	5.5	15.2	25.8	2.98	11	1.81	0.48	1.54
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	85	37.5	130.2	9.2	18.1	35.7	4.37	17.7	3.04	0.63	2.48
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	117	79.4	120.2	6.8	10.2	19.4	2.48	10	1.84	0.48	1.55
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	106	69.1	110.5	7.6	10.9	22.7	2.86	11	1.95	0.44	1.69
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	85	49.5	116.3	13.7	20.2	37.7	4.76	19.9	3.81	0.78	3.24
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	87	157.9	129.6	7.8	17.8	32.3	3.83	14.9	2.65	0.55	2.21
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	106	48.8	126.7	7.4	16.7	30.9	3.66	14.7	2.4	0.5	1.96
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	117	64.3	128.3	8	17	30	3.67	15.1	2.72	0.54	2.13
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	84	95.7	120.2	7.8	15.8	29.6	3.55	13.5	2.38	0.54	1.91
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	90	64	114.3	8.7	16.2	31.1	3.85	15.1	2.83	0.56	2.32
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	89	74.8	120.9	12.5	20.1	35.4	4.48	17.9	3.28	0.67	2.79
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	80	55.4	109.2	6.8	15.4	27.4	3.24	12.5	2.19	0.46	1.67
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	82	47.6	107.6	8.2	16.8	29.6	3.51	13	2.54	0.49	2.01
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20	82	43.5	128.7	7	14.1	28.1	3.05	11.8	2.14	0.47	1.74
	810	815	QM	>= 23 SGV <35	79	33.8	126.9	6.9	16.4	29.1	3.22	12.5	2.14	0.52	1.72
	815	820	QM	>= 23 SGV <35	88	41.1	121.7	7.6	14	26.1	3.1	12.4	2.32	0.53	1.91
	820	825	QM	>= 23 SGV <35	85	45.6	131.2	7	16	27.2	3.27	12.8	2.27	0.51	1.78
	825	830	QM	>= 23 SGV <35	86	35.7	150.2	6.8	14	25.4	3.01	11.8	2.04	0.46	1.75
	830	835	QM	>= 23 SGV <35	103	78.8	136.1	8.6	23.6	30.3	3.6	13.9	2.55	0.56	2.25
	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	125	20.7	130.6	10.8	27.2	48	4.99	19.4	3.35	0.74	2.73
	655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	161	18.1	149.1	12.8	29.7	55.3	6.03	22.6	4.22	0.79	3.16
	660	665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	149	22.6	134.5	13.3	27.5	53.1	5.93	21.8	3.91	0.85	3.19
	665	670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	145	19.9	131.9	13	28.1	53	5.96	22.3	3.88	0.92	3.33
	670	675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	152	25.1	131	12.9	28.8	55.5	6.06	22.8	4.02	0.85	3.18
	675	680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	143	21.7	137.5	11.9	22.9	44.1	5.09	19.8	3.64	0.79	2.92
	680	685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	119	22.7	131.5	9.5	18.6	36.5	4.06	17	2.98	0.69	2.47
	685	690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	199	14.8	99.9	12.3	16.5	34.4	4.09	17.7	3.45	0.88	3.01
	690	695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	144	18.6	140.7	12.2	29.8	57.1	6.14	23.4	3.83	0.83	2.96
	695	700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	189	16.2	111.4	12	20.7	40.9	4.79	20	3.69	0.9	3.21
	800	805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	151	30.5	144.3	9.3	19.7	40.4	4.54	18.2	2.88	0.56	2.38
	805	810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	104	68	121	11.4	15	29.5	3.46	15.2	2.83	0.65	2.58
	810	815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	125	49.4	135.7	5.3	10.6	21	2.39	9.8	1.92	0.43	1.28
	815	820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	110	26.6	136	7.7	16	31.6	3.55	14.5	2.62	0.51	2.05
	820	825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	122	25	139	7.3	13.6	27.3	3.15	13.7	2.4	0.47	2.07
825	830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	115	29.3	130.9	8.7	19.6	36.4	3.84	15.9	2.61	0.59	2.28	
830	835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	130	34.2	120	10.1	18.6	36.8	4.16	17.1	3.11	0.63	2.41	
835	840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	113	33.5	131.8	6.3	9.7	19.6	2.27	9.6	1.9	0.42	1.56	
840	845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	113	25.5	136.8	3.9	6.4	13.5	1.49	6.1	1.27	0.35	0.95	
845	850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	127	23.7	123.6	8.8	13.4	27.9	3.22	13.8	2.38	0.52	1.97	
850	855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	120	39	184.3	11	19.1	40.2	4.41	17.2	3.21	0.7	2.71	
855	860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	151	20.4	145.8	7.3	13.4	27	3.04	12.5	2.01	0.56	1.79	
860	865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	147	25.6	125.2	6.6	12.4	26.5	3.03	11.9	2.2	0.62	1.73	
865	870	QM	>= 23 SGV <35	155	34.9	131.9	6.2	10.7	22.1	2.47	9.9	1.78	0.57	1.58	
870	875	QM	>= 23 SGV <35	153	35.6	145.5	6.8	11.5	24.2	2.77	10.7	2.02	0.53	1.75	
875	880	QM	>= 23 SGV <35	154	36.4	116.4	7.2	12.9	26.9	3.16	13.3	2.34	0.54	1.84	
880	885	QM	>= 23 SGV <35	147	27.3	138.4	9.3	13.9	31.4	3.66	14.5	2.73	0.65	2.25	
885	890	QM	SGV >= 7	145	21.9	175.3	9.9	15.3	32.9	4.04	15.7	3.06	0.83	2.38	
890	895	QM	SGV >= 7	134	27.7	164.3	8.7	14.4	30.2	3.7	14.4	2.78	0.7	2.28	
895	900	QM	SGV >= 7	154	24.8	185.8	10	16.6	35.3	4.22	17.6	3.24	0.7	2.57	
700	705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	148	15	120.2	10.4	15.7	32.5	3.79	15.1	2.81	0.7	2.25	
705	710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	145	17.6	121.5	10.4	20.3	39	4.65	17.9	3.25	0.78	2.58	
710	715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	60	19.1	115	5.7	16.4	31.6	3.6	14.2	2.4	0.59	1.55	
715	720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	100	25.8	145.5	9.8	18.6	38.5	4.31	15.8	2.84	0.66	2.33	
720	725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	101	59.9	160.1	11.3	23.7	46.1	5.3	19.8	3.59	0.71	2.63	
725	730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	117	80.4	170.5	10.5	25.9	51.8	5.52	20.2	3.42	0.72	2.57	
730	735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	131	37.7	131.8	14.5	28.6	55.5	6.34	25.5	4.22	0.91	3.5	
735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	153	42.4	118.8	11.2	16.2	31.1	3.9	15.7	2.93	0.62	2.4	
740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	147	36.9	104.6	9.2	14.6	29.7	3.49	13.9	2.77	0.61	2.41	
745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	163	36.8	124.3	8.2	16.6	30.2	3.5	14.7	2.42	0.53	1.97	
750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	142	53.5	124	11.8	25	43.8	5.01	19.8	3.3	0.68	2.66	
755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	145	36.4	113.8	10.2	16.1	29.1	3.42	13.8	2.65	0.53	2.15	
760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	96	21	229.4	17.3	30.4	62.3	6.87	25.4	4.49	0.76	3.48	
765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	142	30	137.5	14	43.2	79	8.61	31	5.08	0.92	3.66	
770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	140	27.3	164.3	14.4	34.8	67.8	7.57	27.9	4.65	0.89	3.68	
775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	175	34.7	148.9	13.2	35.9	64.9	7.23	26.8	4.41	0.8	3.17	
780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	152	32.5	141.3	11	25.5	50.3	5.73	21.1	3.79	0.69	2.74	
785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	139	32.4	136.5	13.2	32.8	59.4	6.74	24.5	4.08	0.76	3.26	
790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	138	22.7	131.8	11.7	21.8	43.9	5.17	20.2	3.49	0.67	2.72	
795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	134	23.5	128.3	9.4	18.5	36	4.34	17.3	2.99	0.6	2.33	

Tabla C.9: Base de datos geoquímica: Parte 4

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	Tb(PPM)	Dy(PPM)	Ho(PPM)	Er(PPM)	Tm(PPM)	Yb(PPM)	Lu(PPM)	Mo(PPM)	Cu(PPM)	Pb(PPM)	Zn(PPM)	
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	0.22	1.11	0.24	0.6	0.09	0.65	0.1	22.8	5016.17	2.14	83.2	
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	0.2	1.01	0.19	0.52	0.08	0.59	0.09	19.84	6522.28	2.45	63.4	
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	0.21	1.08	0.2	0.52	0.08	0.58	0.09	134.02	7905.14	2.29	59.3	
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	0.2	1.07	0.18	0.48	0.08	0.51	0.08	108.94	6303.47	2.48	63.2	
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	0.25	1.24	0.24	0.68	0.09	0.76	0.12	2000	8100.14	2.34	50.2	
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	0.21	1.12	0.22	0.6	0.09	0.64	0.1	32.75	5155.13	2.42	124.5	
	700	705	QM	QS		0.25	1.4	0.29	0.8	0.12	0.79	0.12	102.18	1243.39	2.4	44.9
	705	710	QM	QS		0.22	1.2	0.25	0.63	0.09	0.62	0.1	73.93	5798.37	2.01	22.6
	710	715	QM	QS		0.21	1.1	0.21	0.61	0.08	0.57	0.09	27.36	5072.43	3.05	54.1
	715	720	QM	QS		0.2	1.16	0.23	0.64	0.08	0.59	0.09	18.34	5082.36	2.41	71.2
	720	725	QM	QS		0.22	1.19	0.21	0.62	0.09	0.58	0.08	51.18	5662.82	2.17	59.8
	725	730	QM	QS		0.21	1.07	0.21	0.57	0.07	0.48	0.07	334.94	10000	2.47	44.1
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	0.2	1.14	0.2	0.58	0.08	0.58	0.09	870.51	8326.78	1.77	57.9	
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.27	1.48	0.25	0.69	0.1	0.59	0.1	316.19	10000	1.74	51.9	
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.19	0.88	0.18	0.5	0.07	0.49	0.08	293.69	7169.46	1.42	43.4	
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.29	1.61	0.28	0.79	0.11	0.74	0.11	121.46	10000	1.8	51.3	
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.2	1.13	0.24	0.75	0.11	0.83	0.12	67.38	7430.47	4.25	20.5	
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.22	1.35	0.24	0.72	0.1	0.77	0.13	36.7	9302.43	2.03	22.9	
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.45	2.49	0.42	1.24	0.16	1.02	0.14	54.45	10000	0.92	27	
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.29	1.4	0.28	0.69	0.1	0.63	0.1	61.56	10000	1.59	36.4	
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.25	1.25	0.24	0.62	0.11	0.73	0.11	85.24	10000	4.53	25.8	
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.26	1.36	0.28	0.74	0.1	0.68	0.11	81.47	8456.82	3.02	20.6	
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.26	1.36	0.25	0.71	0.1	0.65	0.09	238.25	7846.53	3.83	32.5	
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.3	1.58	0.28	0.79	0.1	0.63	0.1	113.08	5502.87	3.18	24.2	
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.38	2.05	0.36	1	0.13	0.83	0.12	231.72	7288.33	3.34	21.6	
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	0.21	1.08	0.23	0.63	0.08	0.53	0.08	50.22	6007.98	2.98	26.6	
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	0.27	1.38	0.25	0.69	0.1	0.64	0.1	35.42	5201.38	3.18	48	
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20	0.24	1.15	0.23	0.66	0.09	0.58	0.1	54.51	5343.42	1.7	42.8	
	810	815	QM	>= 23 SGV <35	0.23	1.16	0.23	0.69	0.09	0.62	0.1	54.31	4256.78	1.85	44.7	
	815	820	QM	>= 23 SGV <35	0.25	1.28	0.26	0.67	0.09	0.59	0.09	36.57	4692.33	2.34	52.4	
	820	825	QM	>= 23 SGV <35	0.23	1.24	0.23	0.65	0.09	0.61	0.09	85.37	5316.4	2.98	45.2	
	825	830	QM	>= 23 SGV <35	0.22	1.12	0.23	0.65	0.09	0.61	0.1	46.96	5307.59	2.54	46.2	
	830	835	QM	>= 23 SGV <35	0.29	1.53	0.29	0.78	0.1	0.67	0.11	98.31	6607.1	2.99	57.3	
	LB200072	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.36	2.03	0.38	1.1	0.17	1.11	0.16	49.53	4880.64	1.47	77.3
		655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.39	2.14	0.45	1.34	0.16	1.16	0.17	181	4945.9	1.36	71.1
660		665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.43	2.27	0.49	1.24	0.18	1.16	0.18	56.84	4534.87	12.02	74.5	
665		670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.42	2.38	0.47	1.25	0.17	1.12	0.2	49.44	5235.04	1.69	53.7	
670		675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.45	2.35	0.48	1.22	0.18	1.22	0.19	399.16	7072.98	2.56	53.6	
675		680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.39	2.16	0.42	1.3	0.18	1.24	0.2	1494.97	10000	1.29	44.2	
680		685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.33	1.79	0.37	1.07	0.14	0.89	0.13	1469.02	10000	1.93	48.6	
685		690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.39	2.46	0.46	1.28	0.19	1.25	0.19	1255.28	9132.54	1.41	58.5	
690		695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.38	2.08	0.43	1.31	0.17	1.15	0.19	1224.65	10000	1.64	47.1	
695		700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.44	2.17	0.44	1.29	0.18	1.19	0.19	568.79	7591.54	1.7	49	
800		805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.31	1.73	0.31	0.92	0.13	0.99	0.16	537.74	10000	3.48	70.3	
805		810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.35	2.12	0.37	1.23	0.18	1.14	0.18	1963.42	10000	6.43	87.4	
810		815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.17	1.05	0.18	0.63	0.07	0.51	0.09	893.85	10000	2.38	61.6	
815		820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.25	1.49	0.24	0.82	0.1	0.71	0.12	588.29	10000	9.21	112.3	
820		825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.24	1.44	0.25	0.73	0.1	0.69	0.11	323.69	10000	2.69	65.9	
825		830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.28	1.57	0.31	0.95	0.13	0.9	0.14	534.63	10000	2.96	72.7	
830		835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.32	1.77	0.33	0.95	0.14	0.98	0.15	388.02	10000	23.77	64	
835		840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.2	1.09	0.21	0.54	0.09	0.62	0.09	411.5	8467.03	1.53	81.7	
840		845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.13	0.79	0.14	0.46	0.06	0.43	0.07	290.46	10000	22.93	75.7	
845		850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.26	1.5	0.27	0.75	0.11	0.72	0.12	89.17	10000	4.61	64.6	
850		855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.36	1.99	0.42	1.18	0.16	1.18	0.17	675.57	10000	36.7	155.7	
855		860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.24	1.19	0.25	0.74	0.1	0.66	0.11	95.84	7194.57	6.97	80.3	
860		865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	0.23	1.4	0.26	0.72	0.1	0.63	0.11	79.48	8096.69	3.38	88	
865		870	QM	>= 23 SGV <35	0.2	1.12	0.22	0.63	0.09	0.57	0.1	145.27	7444.93	65.04	292.8	
870		875	QM	>= 23 SGV <35	0.22	1.19	0.21	0.7	0.1	0.57	0.1	113.17	10000	6.25	242.3	
875		880	QM	>= 23 SGV <35	0.23	1.24	0.25	0.7	0.1	0.61	0.11	150.39	9770.84	11.75	473.2	
880		885	QM	>= 23 SGV <35	0.32	1.69	0.33	0.97	0.13	0.84	0.13	184.11	10000	9.05	134.1	
885		890	QM	SGV >= 7	0.32	1.64	0.33	0.93	0.14	0.87	0.13	76.22	7581.44	32.19	128.2	
890		895	QM	SGV >= 7	0.3	1.71	0.31	0.87	0.12	0.82	0.12	107.43	5988.46	3.93	99.4	
895		900	QM	SGV >= 7	0.36	1.94	0.34	1.06	0.14	0.97	0.15	73.6	6798.94	4.56	96.2	
700		705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.33	1.91	0.37	1.05	0.14	1.08	0.16	1179.44	9889.55	2.36	63.5	
705		710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.36	1.96	0.39	0.98	0.14	1.05	0.15	1357.57	8154.29	1.45	58.9	
710		715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	0.21	1.06	0.2	0.58	0.07	0.5	0.07	312.38	5420.6	5.63	61.9	
715		720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.32	1.66	0.32	1	0.15	0.97	0.14	211.32	4356.69	0.98	35.8	
720		725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.35	1.99	0.42	1.15	0.16	1.16	0.2	550.36	10000	16.04	64.6	
725	730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.36	2.01	0.41	1.17	0.19	1.23	0.21	454.38	9452.21	10.38	50.7		
730	735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.47	2.45	0.51	1.4	0.21	1.4	0.2	574.39	6373.79	79.34	819.8		
735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.34	1.77	0.39	1.1	0.15	0.98	0.17	430.48	10000	3.59	84		
740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.33	1.78	0.34	1.06	0.15	1.03	0.16	172.61	10000	4.04	143.8		
745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.26</												

Tabla C.10: Base de datos geoquímica: Parte 5

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	Ag (PPM)	Ni(PPM)	Co(PPM)	Mn(PPM)	As(PPM)	Au(PPM)	Cd(PPM)	Sb(PPM)	Bi(PPM)	Cr(PPM)	B(PPM)
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	1.996	17.1	5.3	331	2.7	0.0096	0.11	0.14	0.97	344.2	2
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	2.856	12.7	9.3	281	3.7	0.015	0.07	0.14	5.39	105.9	2
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	3.034	17	4	342	1.9	0.0191	0.02	0.18	1.94	354.1	3
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	2.748	11.9	5.1	310	1.8	0.0158	0.03	0.29	1.73	95.7	2
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	3.022	14.3	5	239	3.3	0.0168	0.01	0.29	1.81	348	3
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	6.543	10.8	9.8	457	341	0.0146	0.44	69.56	5.77	88.8	4
	700	705	QM	QS	0.905	24	342.6	219	217.7	0.0176	0.16	3.79	3.99	406.1	2
	705	710	QM	QS	1.293	10.5	41.6	259	56.5	0.0115	0.04	0.77	1.87	91.8	2
	710	715	QM	QS	1.945	17.7	5.7	296	13.1	0.0084	0.05	0.27	1.15	358.4	3
	715	720	QM	QS	2.458	18.9	6.8	343	3.2	0.01	0.1	0.23	1.36	393.2	3
	720	725	QM	QS	2.824	12.6	5	304	2.2	0.0104	0.07	0.13	1.95	108.1	3
	725	730	QM	QS	6.563	17.5	13.6	181	4.8	0.0264	0.07	0.26	3.67	374.1	2
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	3.307	12.3	6.4	258	5.5	0.0154	0.01	0.15	2.16	94.8	3
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	5.969	17.4	6.9	218	1	0.0434	0.1	0.32	9.86	328.3	3
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.129	12.7	5.6	226	2.5	0.0188	0.02	0.2	1.65	102.4	3
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	4.549	17	7.6	221	1.7	0.0459	0.1	0.23	3.94	328.3	3
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	2.846	10.7	12.7	127	1	0.0157	0.02	0.19	4.07	60.4	3
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.085	14.8	11.6	105	1.4	0.0203	0.03	0.25	3.16	243.1	3
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.969	14.7	6.6	115	0.9	0.0327	0.04	0.41	2.47	78	3
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.724	19.1	6.7	193	135.9	0.0263	0.05	7.6	1.94	451.4	3
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.747	15.4	7.7	330	1152.8	0.0238	0.04	31.78	1.77	123.7	4
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	2.747	24.3	12.5	164	727.5	0.0154	0.02	27.67	1.72	532.3	3
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	3.091	14.9	12.1	276	986.6	0.0174	0.02	38.5	1.63	131.8	3
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	2.059	26.5	11.7	252	1136.2	0.0161	0.01	35.06	4.24	514.7	3
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	2.488	19.1	13.7	189	1458.9	0.0176	0.01	40.62	2.04	137.2	4
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15	2.214	19.4	10.7	224	709.3	0.0175	0.04	21.69	1.74	441.5	3
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15	2.385	11.3	6.7	389	750.7	0.0132	0.05	31.63	1.65	99.3	3
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20	2.105	21.1	7.9	312	132.3	0.014	0.02	5.63	2.02	446	2
	810	815	QM	>= 23 SGV <35	2.208	12.6	7.7	347	220.2	0.0116	0.03	7.81	1.98	64	3
	815	820	QM	>= 23 SGV <35	2.17	16	7.3	430	423.8	0.0105	0.03	17.99	1.75	217.7	3
	820	825	QM	>= 23 SGV <35	2.322	16.4	6.5	563	985.5	0.013	0.04	21.37	1.9	255.7	3
	825	830	QM	>= 23 SGV <35	2.637	13.6	7.9	425	849.2	0.015	0.04	19.96	1.36	83.2	4
	830	835	QM	>= 23 SGV <35	2.934	15.7	6.5	538	1167.9	0.0198	0.04	30.57	2.46	278.4	6
LB200072	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.528	23.4	14.2	366	13.9	0.0091	0.21	0.19	0.71	97.7	3
	655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.385	34.4	9.8	376	13.6	0.0117	0.42	0.26	0.55	92.6	4
	660	665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.315	29.2	9.4	351	76.3	0.0105	0.44	1.54	1.12	92.3	3
	665	670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.231	35.4	8	313	10.9	0.0102	0.18	0.16	0.44	94.5	3
	670	675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.904	28.1	7	474	23.2	0.0165	0.89	0.46	1.21	84.7	5
	675	680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	2.561	29.5	11.2	213	2.5	0.0262	2.96	0.1	0.64	100.5	3
	680	685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	2.999	22.3	10.5	324	2.9	0.026	2.95	0.13	0.81	105.4	2
	685	690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.951	49.1	15.1	283	2.7	0.0211	2.81	0.05	0.28	114.9	3
	690	695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	2.482	26	9.1	150	1.7	0.0294	2.4	0.07	0.31	91.4	2
	695	700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.611	37.9	14.1	236	2.5	0.0168	1.06	0.14	0.33	93.6	2
	800	805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	2.807	21.9	14.7	244	0.9	0.0185	1.11	0.08	0.55	127.1	3
	805	810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.733	15.4	13.5	182	2.1	0.025	3.99	0.08	1.1	173.8	2
	810	815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.614	19.2	13.5	191	1.2	0.0145	1.91	0.04	0.35	220.8	3
	815	820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	3.223	20.5	16	171	0.4	0.0308	1.42	0.06	0.7	179.8	2
	820	825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.338	20.8	11.5	212	0.5	0.0217	0.71	0.05	0.3	214.2	1
	825	830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	3.507	21	13	173	0.6	0.0255	1.22	0.05	0.58	145	1
	830	835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.694	19.3	17.7	201	1	0.0157	0.9	0.02	0.63	109.5	3
	835	840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.274	16.6	12.9	216	1	0.0132	1.05	0.05	0.34	156.5	5
	840	845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.362	15.9	10	141	0.8	0.0157	0.71	0.04	0.24	182.9	2
	845	850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.502	17	10.5	183	0.9	0.0132	0.33	0.04	0.33	111.9	4
	850	855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	2.704	17.8	13.1	245	132.9	0.0133	1.93	2.5	0.79	115	4
	855	860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	1.909	21	13.3	263	2.1	0.0099	0.36	0.05	0.29	121.3	2
	860	865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	2.362	22.3	12.2	301	1.4	0.0123	0.29	0.04	0.48	160.8	2
	865	870	QM	>= 23 SGV <35	3.035	22	14.2	658	198.4	0.0109	1.37	3.64	0.87	144.5	3
	870	875	QM	>= 23 SGV <35	4.19	21.7	8.2	366	1.5	0.0187	0.83	0.07	0.78	169.4	2
	875	880	QM	>= 23 SGV <35	2.992	19.6	27.5	188	13.4	0.0205	1.65	0.09	1.86	117.1	2
	880	885	QM	>= 23 SGV <35	3.455	21.7	14.3	301	1.7	0.0123	0.69	0.08	0.43	191.9	3
	885	890	QM	SGV >= 7	2.86	22.6	17.1	284	2	0.0094	0.46	0.05	0.38	145.4	3
	890	895	QM	SGV >= 7	2.258	24	15	319	2.5	0.0099	0.43	0.08	0.35	260.1	2
	895	900	QM	SGV >= 7	2.484	24.2	14.5	285	2.5	0.0115	0.31	0.06	0.61	138.5	1
	700	705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	2.484	24.4	12.8	260	5.9	0.0251	0.05	0.1	0.39	79.4	3
	705	710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	2.028	26.2	13.4	249	2.6	0.0175	0.03	0.08	0.34	79.4	3
	710	715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	1.567	18.3	8.5	260	215.3	0.0134	0.14	6.11	0.35	105.4	4
715	720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.1	13.9	6.2	142	2.3	0.0126	0.05	0.1	0.28	137.1	3	
720	725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	4.298	28.8	23.4	279	13.7	0.0385	0.08	0.61	5.82	121.5	4	
725	730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.211	15.5	20.9	373	34.1	0.043	0.03	0.71	5.26	116.9	7	
730	735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	2.18	22.7	18.1	422	62.8	0.0184	4.76	10.15	2.27	94.7	6	
735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	4.366	21	20.2	401	17	0.0244	0.1	0.42	4.79	80.2	4	
740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	4.381	28.5	13.6	445	5.7	0.0269	0.24	0.16	9.15	93.1	4	
745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	4.119	22.1	12.8	350	4.3	0.0238	0.12	0.14	1.28	77.2	3	
750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.9	24.6	8.7	336	9.8	0.0225	0.16	0.72	2.02	87	6	
755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	2.77	18.9	10.2	279	1.7	0.0179	0.13	0.15	1.22	103.6	4	
760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	2.329	27.3	10.6	270	1.8	0.0191	0.13	0.13	1.19	137.6	3	
765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.486	26.1	10.9	277	0.9	0.0445	0.01	0.11	1.91	73.9	3	
770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.932	32.1	12.2	248	1	0.0432	0.12	0.09	1.7	88.3	3	
775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	5.545	21.3	9.3	185	5.1	0.0544	0.16	0.15	0.91	65.2	3	
780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	4.386	23.1	9	185	212.6	0.0441	0.38	5.16	3.28	83.1	4	
785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	6.184	21.3	10.3	180	1.2	0.0871	0.2	0.1	4.48	68.8	2	
790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	3.354	24.8	11.1	273	1.7	0.0316	0.14	0.1	1.22	84.4	2	
795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	2.452	17.1	10	206	1	0.0218	0.14	0.09	0.51	78.8	3	

Tabla C.11: Base de datos geoquímica: Parte 6

Sondaje	Desde	Hasta	ZL	ZA	Ti(PPM)	Hg(PPM)	Se(PPM)	Te(PPM)	Ge(PPM)	In(PPM)	Re(PPM)	Be(PPM)	Li(PPM)	
LB170039	670	675	QM	>= 23 SGV <35	0.12	0.005	0.7	0.41	0.1	0.21	0.003	0.3	2	
	675	680	QM	>= 23 SGV <35	0.1	0.005	1.3	2.21	0.1	0.29	0.006	0.3	1.7	
	680	685	QM	>= 23 SGV <35	0.1	0.005	1.5	0.68	0.1	0.4	0.057	0.3	2	
	685	690	QM	>= 23 SGV <35	0.14	0.005	1.9	0.58	0.1	0.27	0.052	0.3	2	
	690	695	QM	>= 23 SGV <35	0.14	0.005	2.1	0.61	0.1	0.36	2.207	0.2	1.5	
	695	700	QM	>= 23 SGV <35	0.13	0.582	1.1	0.91	0.1	0.23	0.016	0.2	1.4	
	700	705	QM	QS		0.06	0.164	4.2	2.47	0.1	0.05	0.039	0.2	0.2
	705	710	QM	QS		0.08	0.034	2.1	0.74	0.1	0.15	0.009	0.3	0.6
	710	715	QM	QS		0.1	0.005	1.2	0.34	0.1	0.2	0.014	0.3	1.6
	715	720	QM	QS		0.13	0.005	1.3	0.44	0.1	0.23	0.008	0.3	1.9
	720	725	QM	QS		0.13	0.005	1.2	0.78	0.1	0.27	0.005	0.3	1.7
	725	730	QM	QS		0.1	0.005	3.4	1.02	0.1	0.65	0.113	0.3	1
	730	735	QM	SGV >= 35; Turm >= 15		0.16	0.005	1.9	0.76	0.1	0.29	0.26	0.3	1.4
	735	740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.14	0.009	9.1	2.28	0.1	0.6	0.175	0.3	1.3
	740	745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.14	0.013	3	0.7	0.1	0.28	0.16	0.3	1.2
	745	750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.14	0.005	11.6	1.44	0.1	0.36	0.076	0.2	1.1
	750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.09	0.005	6.1	0.96	0.1	0.26	0.05	0.2	0.6
	755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.11	0.005	6.7	1.4	0.1	0.3	0.023	0.3	0.6
	760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.13	0.005	5.7	1.22	0.1	0.43	0.018	0.3	0.9
	765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.12	0.005	5.2	0.8	0.1	0.4	0.02	0.3	1.1
	770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.23	0.164	5.7	0.71	0.1	0.36	0.042	0.3	1.2
	775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.19	0.138	4.4	0.7	0.1	0.26	0.035	0.2	1.3
	780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.26	0.138	4.5	0.68	0.1	0.3	0.099	0.3	1.3
	785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.24	0.221	4.5	0.87	0.1	0.19	0.042	0.2	1.4
	790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.27	0.282	4.7	0.81	0.1	0.25	0.095	0.2	1.2
	795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35; Turm >= 15		0.22	0.147	3.8	0.71	0.1	0.23	0.018	0.2	1.3
	800	805	QM	SGV >= 35; Turm >= 15		0.26	0.243	3.6	0.7	0.1	0.23	0.01	0.3	2.3
	805	810	QM	SGV >= 7; QS >= 20		0.27	0.036	3.3	0.6	0.1	0.19	0.013	0.3	1.8
	810	815	QM	>= 23 SGV <35		0.26	0.058	2.6	0.78	0.1	0.19	0.019	0.3	1.7
	815	820	QM	>= 23 SGV <35		0.36	0.179	2.6	0.7	0.1	0.2	0.014	0.3	2.2
	820	825	QM	>= 23 SGV <35		0.21	0.11	2	0.41	0.1	0.25	0.023	0.3	1.5
	825	830	QM	>= 23 SGV <35		0.33	0.147	3.6	0.47	0.1	0.21	0.013	0.3	1.7
	830	835	QM	>= 23 SGV <35		0.38	0.235	6.3	0.44	0.1	0.3	0.014	0.3	1.9
	LB200072	650	655	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.39	8	1.3	0.22	0.1	0.13	0.01	0.3	5.1
		655	660	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.46	5	1.3	0.15	0.1	0.13	0.075	0.4	5.5
		660	665	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.4	16	1	0.33	0.1	0.12	0.018	0.4	5.1
		665	670	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.4	5	1.1	0.11	0.1	0.12	0.019	0.3	5
		670	675	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.39	36	1.4	0.31	0.1	0.18	0.139	0.3	5
		675	680	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.45	22	2.2	0.12	0.1	0.15	0.391	0.3	4.4
		680	685	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.31	38	2.9	0.22	0.1	0.19	0.482	0.4	4.4
685		690	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	1.02	22	2	0.17	0.2	0.16	0.469	0.4	6.3	
690		695	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.43	5	2.5	0.12	0.1	0.12	0.286	0.2	4	
695		700	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.72	9	1.6	0.13	0.2	0.13	0.175	0.1	6.1	
800		805	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.39	24	4.3	0.17	0.1	0.23	0.166	0.5	3.3	
805		810	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.18	30	5.3	0.59	0.1	0.33	0.634	0.2	1.9	
810		815	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.39	23	4.3	0.17	0.1	0.22	0.276	0.1	3.1	
815		820	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.41	28	6.3	0.17	0.1	0.19	0.154	0.3	3.4	
820		825	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.47	18	4.3	0.14	0.1	0.18	0.108	0.3	3.7	
825		830	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.44	34	5.8	0.21	0.1	0.2	0.174	0.3	3.3	
830		835	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.43	9	3.5	0.2	0.1	0.18	0.183	0.3	3.2	
835		840	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.44	13	2.4	0.17	0.1	0.26	0.114	0.2	2.7	
840		845	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.31	9	2.4	0.08	0.1	0.17	0.132	0.1	2.1	
845		850	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.36	14	2.4	0.13	0.1	0.18	0.038	0.2	2.9	
850		855	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.36	38	2.6	0.2	0.1	0.27	0.545	0.3	3	
855		860	Bx Ignea QM	SGV >= 35	0.43	22	1.8	0.09	0.1	0.14	0.086	0.1	3.7	
860		865	Bx Ignea QM	>= 23 SGV <35	0.44	11	2.3	0.15	0.1	0.19	0.045	0.2	4.4	
865		870	QM	>= 23 SGV <35	0.45	83	1.6	0.39	0.1	0.25	0.105	0.2	4.4	
870		875	QM	>= 23 SGV <35	0.35	18	3.1	0.17	0.1	0.4	0.057	0.4	3.9	
875		880	QM	>= 23 SGV <35	0.37	26	2.4	0.41	0.1	0.36	0.077	0.4	3.2	
880		885	QM	>= 23 SGV <35	0.4	21	2.4	0.11	0.1	0.21	0.087	0.2	4.5	
885		890	QM	SGV >= 7	0.49	5	1.4	0.1	0.1	0.16	0.036	0.1	4.6	
890		895	QM	SGV >= 7	0.45	5	1.1	0.14	0.1	0.2	0.038	0.2	4.1	
895		900	QM	SGV >= 7	0.49	5	1.4	0.23	0.1	0.17	0.066	0.2	4.5	
700		705	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.59	11	2	0.15	0.1	0.17	0.309	0.3	5.2	
705		710	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.6	6	1.7	0.12	0.1	0.14	0.414	0.2	5.3	
710		715	PRG	>= 23 SGV <35; bt>50	0.12	101	1.6	0.1	0.1	0.12	0.198	0.2	3.4	
715		720	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.2	6	1.2	0.09	0.1	0.08	0.243	0.2	2.9	
720		725	Pórfido Diorítico	>= 23 SGV <35; bt>50	0.11	34	4.4	1.54	0.1	0.47	0.149	0.3	3.2	
725		730	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.12	14	2.3	1.99	0.1	0.33	0.121	0.2	3.2	
730		735	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.33	1753	1.7	0.56	0.1	0.19	0.274	0.3	3.4	
735		740	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.27	39	3.5	0.75	0.1	0.36	0.16	0.4	3.7	
740		745	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.33	30	3.3	1.25	0.1	0.49	0.053	0.4	4.1	
745		750	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.39	25	3.4	0.25	0.1	0.34	0.04	0.3	3.8	
750	755	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.32	31	3	0.78	0.1	0.29	0.067	0.4	3.5		
755	760	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.27	14	2.6	0.41	0.1	0.22	0.123	0.4	3.4		
760	765	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.34	9	2	0.33	0.1	0.21	0.084	0.3	3.1		
765	770	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.58	17	4.8	0.35	0.1	0.32	1.401	0.4	4.7		
770	775	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.6	14	6.9	0.32	0.1	0.26	0.523	0.3	4.4		
775	780	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.36	21	8.3	0.23	0.1	0.35	0.468	0.3	2.9		
780	785	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.29	38	5.7	0.36	0.1	0.34	0.169	0.4	2.6		
785	790	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.36	29	8.6	0.41	0.1	0.42	0.477	0.3	3.3		
790	795	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.43	16	4.8	0.35	0.1	0.36	0.083	0.3	4		
795	800	Pórfido Diorítico	SGV >= 35	0.45	12	3.5	0.16	0.1	0.2	0.071	0.3	3.4		