



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

**ALTERACIÓN CUARZO-SERICITA EN YACIMIENTO TIPO PÓRFIDO
CUPRÍFERO: ESTUDIO MINERALÓGICO, LITOGEOQUÍMICO Y
TERMODINÁMICO EN MINA RADOMIRO TOMIC, DISTRITO
CHUQUICAMATA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS,
MENCIÓN GEOLOGÍA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

ARANZAZÚ BULNES BENISCELLI

PROFESOR GUÍA:

BRIAN KEITH TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

CLIFFORD R. STANLEY

KATJA DECKART

VICTOR MAKSAEV JURCHUC

SANTIAGO DE CHILE

ENERO 2013

RESUMEN

En varios yacimientos tipo pórfido cuprífero a nivel mundial se ha identificado un mineral o agregado mineral de grano fino denominado sericita gris, sericita verde o sericita gris verde, además de la tradicional sericita “blanca” que es parte de la asociación de minerales que definen la alteración fílica.

La sericita gris verde se distingue de la sericita asociada a la alteración fílica por su color modal, pero las razones que generan esta diferencia no son claras y poco se conoce de las características químicas y mineralógicas de este tipo de sericita.

En la mina Radomiro Tomic se han identificado diversas alteraciones hidrotermales que presentan sericita y se han separado en dos grupos principales: uno que contiene sericita gris verde y otro que contiene sericita “blanca”. Esta clasificación se hace en base a la mineralización asociada en el sector de la muestra donde se está mapeando, lo que genera dificultades en zonas de superposición de eventos y cuando la mineralización es poco evidente o ausente.

Si bien la metodología de mapeo es útil, ésta ha demostrado no ser del todo certera. Por lo cual el presente trabajo se centra en discernir desde un punto de geoquímico, genético y temporal las diferencias principales entre los dos tipos de sericitas existentes en el yacimiento. Para esto se llevan a cabo estudios químicos de roca total, mineralógicos y genéticos.

Con la información obtenida en esta tesis se ha podido diferenciar las alteraciones sericíticas con un método simple, poco costoso e independiente del observador que no involucra la mineralización asociada, y que además es capaz de entregar información de las condiciones de formación, evolución y temporalidad relativa de estas alteraciones dentro de sistema.

AGRADECIMIENTOS

En estas pequeñas líneas me gustaría agradecer a todas las personas que han hecho posible la realización de esta tesis y a todas aquellas personas que están o han estado a mi lado. En especial a mi padre que me inculcó las cosas importante y valores, a mis amigos del colegio y vida, familia, colegas, compañeros de trabajo, amigos de la universidad de Acadia, administrativos del departamento de geología y a mis compañeros de universidad, pues con ellos empecé y compartí este largo, pero gratificante proceso. Quisiera partir por el más importante en la actualidad, mi esposo Leo, mis amigos más íntimos como el isma, carcas, joaco, gonzalo, hernán, dragón, tincola, nacho, manfred, guagua, buho, jackie, caro miralles, fabi, anita y aquellos compañeros con los que he recorrido estos dos últimos años, el locura, pia, pájara, checho, monse, hernán porras, leila, coni, feña alvarez, feña soto, susi, pame y annelie.

Por último, me gustaría mostrar mi gratitud a todas las personas e instituciones que participaron en la realización de esta investigación, a Brian y Feña, Cliff Stanley, Enrique Tidy, Pedro Carrasco, Marizta Acuña, Julio y Mario de los laboratorios, Universidad de Acadia, Codelco Norte, Derk; Alejandro Barrenechea, Pedro Elissetche, Seba y Lucho de Radomirdo Tomic, Rafael González de Mansa Mina, a Mario Valdés y Angus Campbell de mi oficina por su constante preocupación y buena disposición.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
AGRADECIMIENTOS.....	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PRESENTACIÓN.....	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO	4
1.4. METODOLOGÍA.....	4
1.5. UBICACIÓN Y VIAS DE ACCESO	5
II. ANTECEDENTES	8
2.1. SÍNTESIS BIBLIOGRÁFICA.....	8
2.1.1. DEFINICIÓN DE MOSCOVITA Y SERICITA	8
2.1.2. ASOCIACIONES MINERALES Y PARAGÉNESIS	10
2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	14
2.1.4. AMBIENTE DE FORMACIÓN Y TEMPERATURA	15
2.2. MARCO GEOLÓGICO	17
2.2.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS.....	18
2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS	20
2.3. GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO.....	24
2.3.1. LITOLOGÍA	24
2.3.2. ESTRUCTURAS	34
III. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS	40
3.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	40
3.2. RECOPIACIÓN GEOLÓGICA	40
3.3. MUESTREO	40
3.4. CARACTERIZACIÓN MINERAL	43
3.5. LITOGEOQUÍMICA	44
3.6. CONDICIONES FORMADORAS	47
IV. RESULTADOS	50
4.1. CARACTERIZACIÓN MINERAL	51

4.1.1.	PETROGRAFÍA	52
4.1.2.	CALCOGRAFÍA.....	54
4.1.3.	DIFRACCIÓN DE RAYOS X.....	55
4.2.	GEOQUÍMICA.....	59
4.2.1.	PRESENTACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS	60
4.2.2.	CONTROL DE CALIDAD.....	64
4.2.3.	ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS.....	70
4.2.4.	LITOGEOQUÍMICA	72
4.3.	CONDICIONES FORMADORAS	74
4.3.1.	INCLUSIONES FLUIDAS	74
4.3.2.	PSEUDOSECCIONES	78
V.	DISCUSIONES.....	80
5.1.	LITOLOGÍA	80
5.1.1.	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA.....	80
5.1.2.	CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA.....	81
5.1.3.	GEOQUÍMICA.....	83
5.2.	ALTERACIÓN	88
5.2.1.	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA.....	89
5.2.2.	CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA.....	90
5.2.3.	GEOQUÍMICA.....	93
5.2.4.	COMPOSICIÓN INICIAL DEL SISTEMA.....	106
5.2.5.	REACCIONES QUÍMICAS PARA CADA ALTERACIÓN.....	106
5.3.	MINERALIZACIÓN	109
5.3.1.	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA.....	109
5.3.2.	CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA.....	109
5.3.3.	GEOQUÍMICA.....	111
5.4.	CONDICIONES FORMADORAS	115
5.5.	TEMPORALIDAD	121
5.5.1.	CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA.....	121
5.5.2.	CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA.....	122
5.5.3.	GEOQUÍMICA.....	123
VI.	CONCLUSIONES	125
VII.	REFERENCIAS.....	132

ANEXO A	137
DIFRACCIÓN DE RAYOS X	137
ANEXO B	150
PETROGRAFÍA Y CALCOGRAFÍA	150
ANEXO C	151
CERTIFICADO DE DATOS GEOQUÍMICOS.....	151
ANEXO D.....	169
ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD.....	169
ANEXO E	177
PSEUDOSECCIONES	177
ANEXO F	184
INCLUSIONES FLUIDAS	184

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del yacimiento Radomiro Tomic.....	6
Figura 2. Mapa Geológico Distrital (generalizado) de Makshev et al., 1994, tomado desde Ortega et al., 2006.....	23
Figura 3. Sección 9540 representativa de la distribución litológica en RT (mirando al norte).	28
Figura 4. Sección 10500 con unidades geológicas mineralizadas de la mina	32
Figura 5. Sistema Estructural Distrital (Leiva et al., 2000)	35
Figura 6. Esquema estructural del yacimiento Radomiro Tomic (Leiva et al., 2000).....	39
Figura 7. Mapa de distribución de las muestras tomadas en mina RT.	41
Figura 8. Difractograma de muestra QSIN03 con alteración filica.....	56
Figura 9. Difractograma de muestra GVIN07 con alteración cuarzo sericita gris verde.	58
Figura 10. Resultados obtenidos para estándar SO-18.....	66
Figura 11. Gráfico de elementos conservados.....	73
Figura 12. Gráfico de salinidades y temperaturas de homogenización de inclusiones fluidas.....	77
Figura 13. Fotomicrografías de los tres tipos litológicos: Pórfido Este (A), Oeste (B) y Fino (C).	82
Figura 14. Diagrama QAP geoquímico de las muestras en estudio. Considera Al y no considera Ca.....	83
Figura 15. Diagrama QAP geoquímico de las muestras en estudio. Considera Ca y no considera C y Al. ...	85
Figura 16. Diagrama TAS de Le Maitre et al., 1989	86
Figura 17. Diagrama de afinidad geoquímica potásica de Gill et al., 1981	87
Figura 18. Diagrama de elementos traza para clasificación tectónica de granitos de Pearce et al., 1984..	88
Figura 19. A) Ensamblaje de mineralogía de alteración y estructura en alteración filica. B) Ensamblaje de mineralogía de alteración y estructura en alteración cuarzo sericita gris verde. C) Andalucita y moscovita con textura de intercrecimiento.....	91
Figura 20. Gráfico PER de calcio y carbono.....	93
Figura 21. Gráfico PER para calcio y azufre.....	95
Figura 22. Gráfico PER para hierro y. azufre	96
Figura 23. Gráfico PER para sodio y aluminio	97
Figura 24. Gráfico PER para calcio y aluminio.....	98
Figura 25. Gráfico PER para potasio y aluminio.	99
Figura 26. Gráfico PER para calcio-sodio-potasio y aluminio.....	100
Figura 27. Gráfico GER de potasio y calcio-sodio-potasio.....	102
Figura 28. Gráfico GER de calcio y calcio-sodio-potasio	103
Figura 29. Gráfico GER de sodio y calcio-sodio-potasio.....	104
Figura 30. Gráfico GER de sodio y calcio-sodio sobre un denominador de aluminio y potasio.	105
Figura 31. A) mineralización pirita y calcopirita asociada a alteración filica. B) mineralización bornita y calcopirita asociada a alteración cuarzo sericita gris verde. C) mineralización bornita y calcopirita diseminada en muestra con alteración cuarzo sericita gris verde.....	110
Figura 32. Gráfico PER para cobre y azufre.....	112
Figura 33. Gráfico GER para hierro-magnesio y calcio-sodio-potasio.....	113
Figura 34. Gráfico GER de hierro-magnesio-azufre y calcio-sodio-magnesio.....	114

Figura 35. Estabilidad de minerales (Hemley y Jones, 1964) en función de la razón molar (K^+/H^+) y la temperatura, modificada (Sverjensky et al., 1991a).....	116
Figura 36. Pseudosección asociada a alteración cuarzo sericita gris verde (muestra GVIN07).....	117
Figura 37. Pseudosección asociada a alteración fílica (muestra QSIN04).....	119
Figura 38. Tabla de clasificación de alteraciones hidrotermales (Corbett y Leach, 1998).....	128
Figura 39. Relaciones presión-temperatura de reacciones de equilibrio de deshidratación y transformaciones polimórfica (Rose y Burt, 1979).	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla tipo para muestreo litogeoquímico adaptada al caso de tres litologías y dos alteraciones.	42
Tabla 2. Muestras recolectadas en mina Radomiro Tomic.....	43
Tabla 3. Muestras seleccionadas para petrología y calcografía en microscopio	43
Tabla 4. Muestras seleccionadas para DRX.....	44
Tabla 5. Muestras seleccionadas para análisis de inclusiones fluidas de Mina Radomiro Tomic.....	48
Tabla 6. Extracto de variabilidad clorítica para construcción de pseudosecciones	49
Tabla 7. Clasificación de muestras de acuerdo a su tipo de alteración sericítica	51
Tabla 8. Composición de una muestra con alteración fílica analizada del yacimiento MMH.	57
Tabla 9. Composición de muestra GVIN07 con alteración cuarzo sericita gris verde.....	58
Tabla 10. Estadígrafos de datos geoquímicos.	62
Tabla 11. Coeficientes de variación calculados en muestras duplicadas.....	68
Tabla 12. Tabla resumen con los resultados de las inclusiones fluidas.	76
Tabla 13. Porcentaje de óxidos por muestra para construir las pseudosecciones	79
Tabla 14. Clasificación de vetillas en sistemas tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).....	122

I. INTRODUCCIÓN

La mina Radomiro Tomic es un yacimiento en explotación a rajo abierto ubicado en la II Región de Chile. Sus operaciones empezaron en 1995 y a partir de 1998 comenzó su operación en régimen. Este yacimiento tipo pórfido cuprífero es operado por CODELCO-CHILE y se estima que sus recursos superan los 2000 millones de toneladas de mineral con una ley media de 0.55% Cu.

En este yacimiento se han identificado distintos tipos de alteración hidrotermal, dentro de las cuales el volumen mayoritario está asociado al desarrollo de alteraciones sericíticas. Las alteraciones que contienen sericita se han clasificado en el yacimiento en dos grupos principales de acuerdo a la mineralización que presentan asociada. En este estudio, las alteraciones sericíticas, se han clasificado en base a criterios mineralógicos, a su comportamiento geoquímico y a las condiciones termodinámicas de los fluidos que las transportan.

1.1. PRESENTACIÓN

En yacimientos del tipo pórfido cuprífero se reconocen diversos tipos de alteración hidrotermal, cada uno de estos tipos se asocia a eventos sucesivos en el tiempo y por lo general a temperaturas progresivamente menores. En etapas tempranas de alteración hidrotermal, a rangos de temperatura por sobre los 400°C, los procesos de alteración hidrotermal ocurren asociados principalmente a mecanismos de difusión, en ambiente reológico dúctil a frágil-dúctil y en condiciones de muy baja permeabilidad. Bajo estas condiciones existe un predominio de alteración hidrotermal del tipo potásico, caracterizado por un metasomatismo selectivo a penetrativo, dependiendo tanto del tipo de roca huésped como de las características de los fluidos hidrotermales y permeabilidad. A temperaturas progresivamente más bajas y en la medida en que el comportamiento reológico de la roca huésped cambia de dúctil, a frágil-dúctil a frágil, aumenta el grado de fracturamiento de ésta y también la permeabilidad o bien, la razón agua/roca. A mayor permeabilidad y razón agua/roca (junto con una disminución de pH) la alteración hidrotermal cambia de preponderantemente difusiva a advectiva, primando alteraciones del tipo

hidrolíticas, entre éstas la alteración del tipo cuarzo-sericita. En sistemas del tipo pórfido cuprífero los inicios de alteración hidrolítica marcan en gran medida los inicios de la etapa hidrotermal tardía, de enfriamiento acelerado del sistema asociado a fuerte circulación de fluidos y transferencia de calor por convección. En esta etapa existe un predominio de la alteración hidrotermal del tipo cuarzo-sericita o fílica, una alteración típicamente penetrativa, destructiva y con una alta proporción de pirita. Esta alteración ocurre típicamente a temperaturas entre los 200 y 300°C, pero si existen las condiciones de permeabilidad adecuadas a mayor temperatura, esta misma alteración incluso puede ser coetánea con la alteración hidrotermal del tipo potásico, a temperaturas por sobre los 400°C (Corbett y Leach, 1998). A temperaturas sobre los 350°C, fluidos hidrotermales pueden tener condiciones en las cuales el cobre se mantiene en solución, por lo tanto, en estos rangos de temperatura y dependiendo de condiciones de temperatura, presión, pH y Eh, entre otros, puede ocurrir la precipitación y posterior mineralización de calcopirita y bornita (Beane y Titley, 1981; Titley, 1993; Hunt, 1991). En el caso de alteración hidrolítica, procesos de hidrólisis desestabilizan el transporte hidrotermal de cobre y lleva a rápida precipitación de calcopirita, por lo cual, a temperaturas de alteración potásica, bajo condiciones de deformación y aumento puntual de permeabilidad, es posible generar alteración del tipo cuarzo-sericita, pero ésta usualmente se presenta con alta concentración de mineralización de calcopirita, además de pirita. La alteración hidrolítica de alta temperatura puede contener además de cuarzo-sericita, andalucita, corindón y topacio, entre otros.

En yacimientos del tipo pórfido cuprífero se denomina a la alteración cuarzo-sericita de alta temperatura con el nombre cuarzo-sericita gris verde, la cual se diferencia de la alteración fílica de la etapa hidrotermal tardía porque presenta importante mineralización cuprífera hipógena y por consiguiente altas concentraciones de cobre (Sillitoe, 2010).

En este estudio, la alteración cuarzo-sericita tardía se denominará alteración fílica o PHY, por su abreviatura en inglés, y la alteración sericítica de alta temperatura se llamará alteración cuarzo-sericita gris verde o SGV.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

El principal objetivo de este estudio es caracterizar y diferenciar las alteraciones cuarzo-sericita gris verde y fílica, incluyendo sus procesos genéticos y zonaciones.

Buscar criterios mineralógicos y geoquímicos de diferenciación, y tratar de comprender los ambientes de formación de cada una de estas alteraciones.

Generar información aplicable a la comprensión de zonaciones minerales y litogeoquímicas para exploraciones mineras. Y realizar una caracterización mineral y paragenética para aplicaciones en la comprensión de estudios genéticos de yacimientos del tipo pórfido cuprífero y para aplicaciones geominerometalúrgicas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudiar y caracterizar las asociaciones minerales de las alteraciones hidrotermales del tipo cuarzo-sericita gris verde y fílica.

Estudiar y determinar las temperaturas de formación de las mencionadas alteraciones en base a estudios de microtermometría de inclusiones fluidas, para conocer sus respectivos ambientes de formación.

Estudiar las propiedades litogeoquímicas de las mencionadas alteraciones y determinar criterios litogeoquímicos de discriminación y caracterización para cada tipo de sericita.

Determinar el origen y génesis de la alteración cuarzo-sericita gris verde y la relación de ésta con otros eventos de alteración hidrotermal y con la mineralización cuprífera.

Determinar criterios de discriminación entre la alteración cuarzo-sericita gris verde y la alteración fílica, tanto del punto de vista mineralógico como geoquímico.

1.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La hipótesis de este trabajo es que la alteración hidrotermal cuarzo sericita gris verde es una alteración hidrolítica de alta temperatura, que se diferencia de la alteración fílica de fondo por su ambiente de formación, como también por las condiciones químicas y asociaciones mineralógicas que las determinan.

Además se plantea que los procesos de generación de ambas alteraciones son distintos desde el punto de vista químico y temporal dentro de un sistema de pórfido cuprífero, y por lo tanto se asocian a distintos minerales de mena.

1.4. METODOLOGÍA

Para la realización del presente estudio se proponen los siguientes pasos:

- Revisión bibliográfica y preparación de antecedentes y estado del arte en el tema

- Revisión bibliográfica y compilación de información relevante del yacimiento o sectores del yacimiento a ser considerados en el estudio
- Selección de testigos de sondajes representativos de la o las secciones escogidas y determinación de tramos para toma de muestras
- Revisión de los testigos de sondajes seleccionados y toma de muestras. Se recolectaron 42 muestras para efectos de los diversos análisis a realizar
- Selección de submuestras para estudios de caracterización mineral, para análisis litogeoquímicos y para estudio de inclusiones fluidas
- Estudio de caracterización mineral mediante petrografía, calcografía y DRX
- Estudio litogeoquímico y determinación de criterios de caracterización geoquímica para distinguir cada tipo de alteración sericítica
- Estudio de inclusiones fluidas para la determinación de condiciones de formación de los distintos tipos de alteración hidrolítica
- Estudio de condiciones termodinámicas de formación de alteraciones
- Compilación de información, procesamiento de datos, interpretación y elaboración de informe final

1.5. UBICACIÓN Y VIAS DE ACCESO

El yacimiento Radomiro Tomic se ubica a 40 Km de la ciudad de Calama, Región de Antofagasta, al norte de la mina Chuquicamata a una altura promedio de 3000 m.s.n.m.

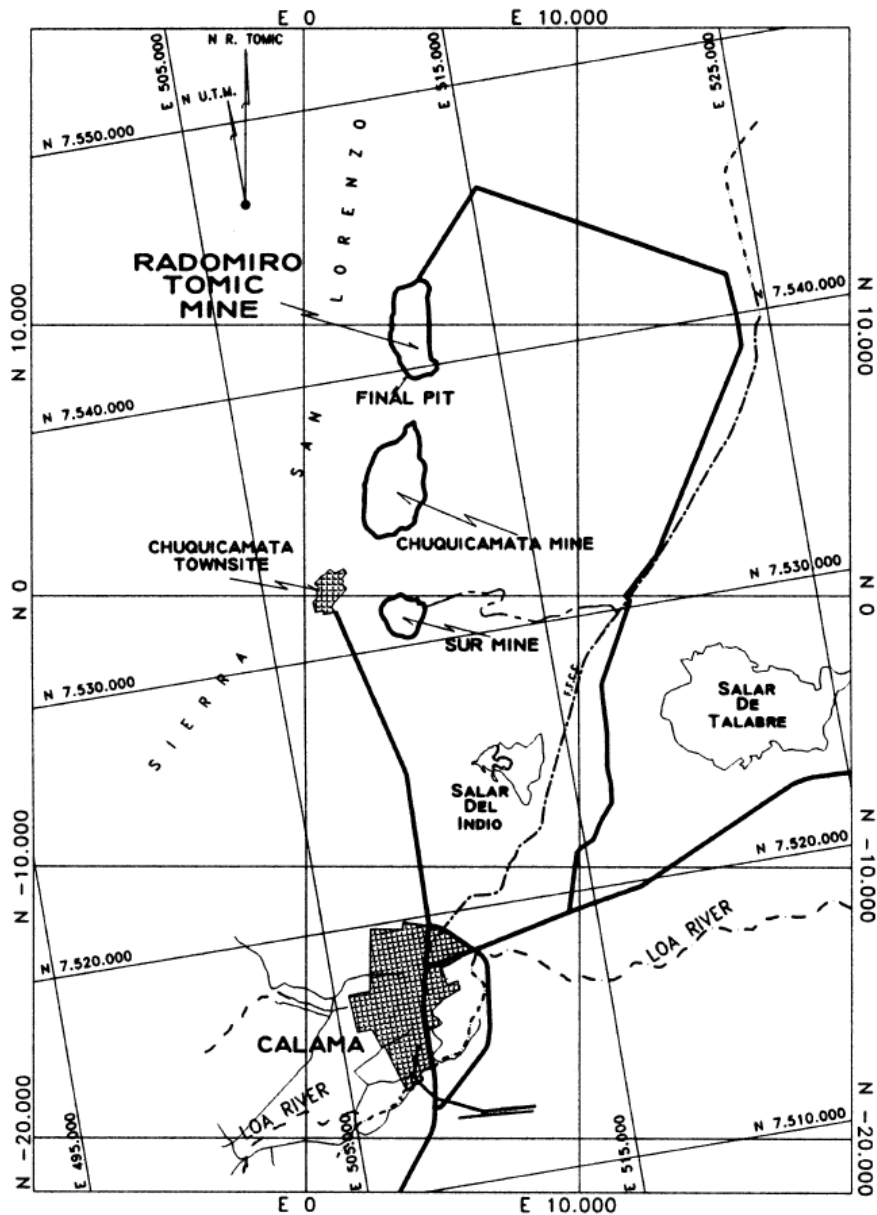


Figura 1. Ubicación del yacimiento Radomiro Tomic.

El yacimiento se encuentra en un valle limitado al este por los cerros de Chuquicamata, al oeste por la Sierra San Lorenzo, formando parte de la subcuenca Pampa Cere de la hoya hidrográfica del río Loa (Cuadra et al., 1997).

El cuerpo mineralizado tiene 5 kilómetros de largo y de 800 a 1000 metros de ancho. El área presenta en la superficie una cubierta de gravas aluviales que tienen un espesor variable entre 30 metros al este y 150 metros en el sector oeste.

El acceso se realiza a través de la autopista nacional 21, luego la ruta pública B-155 hacia el norte y finalmente un camino concesionado por Codelco con controles de ingreso a la mina.

II. ANTECEDENTES

2.1. SÍNTESIS BIBLIOGRÁFICA

2.1.1. DEFINICIÓN DE MOSCOVITA Y SERICITA

La moscovita es un filosilicato de morfología laminar y con un clivaje perfecto en la cara basal, el cual es consecuencia de su estructura atómica en capas. Estas capas consisten en redes de octaedros de aluminio y tetraedros de silicio alternados, por lo tanto corresponde a un filosilicato de estructura 2:1 según la clasificación de Dana.

La fórmula principal “ideal” de la moscovita (Ralph, 2000) es $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$, la cual tiene los siguientes remplazos principales:

Para K: principalmente Na y en menores cantidades Rb, Cs, Ca, Ba.

Para el aluminio octaedral: Mg, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn, Li, Cr, Ti, V.

Para el ion (OH): F y en algunos casos Cl.

La carga de los iones K^+ está balanceada por el remplazo de Si por Al en los tetraedros de silicio. En el remplazo sódico del potasio se ha estudiado una posible solución sólida con la paragonita, pero se ha observado una discontinuidad en la cual la moscovita se encuentra entre un 100% y un 65% del extremo potásico y paragonita solamente entre 100% y un 80% del extremo sódico.

En la hidromoscovita, en cambio, el catión potásico es remplazado por $(\text{H}_3\text{O})^+$.

El mineral llamado fengita está descrito para moscovitas que tienen una razón Si:Al mayor a 3:1, en el cual el aumento de silicio está acompañado por el remplazo del aluminio octaédrico por Mg o Fe^{2+} . Por lo tanto, se define como una mica blanca similar a la sericita degradada en Al y con mayores porcentajes en SiO_2 , Fe y/o Mg.

Se denomina sericita a la variedad degradada (con pérdida de potasio) de la moscovita. Además se denomina illita a cualquier arcilla o filosilicato hidratado del tipo 2:1, que sea deficiente en K cuando el tamaño es del orden del micrón.

Sericita es un término genérico usado para describir mica blanca de grano fino (moscovita y en ocasiones, paragonita). Estas micas, no necesariamente son diferentes a la moscovita en cuanto a química se refiere. Aunque, por lo general, tienen mayor cantidad de Si, Mg y $(\text{H}_3\text{O})^+$, además de ser bajos en K.

La sericita es una moscovita de grano muy fino que puede contener cantidades menores de illita y representa una transición entre illita y moscovita cristalina (Corbett y Leach, 1998).

Más específicamente, el término “sericita” (Parry et al., 1984) es usado para definir un conjunto de minerales productos de alteración hidrotermal de grano fino que incluye moscovita, fengita, illita y otros miembros finales de solución sólida, dentro de los cuales se puede incluir la paragonita, esmectita, caolinita y otros filosilicatos hidratados.

En términos de alteraciones hidrotermales se determina que existen 2 tipos de sericitas que tienen características, tanto mineralógicas como genéticas distintas, dentro del desarrollo conceptual de un pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).

El primer tipo es aquella que desde este punto en adelante, se denominará sericita blanca, la cual corresponde a la clásica alteración filica observada para aquellas alteraciones hidrotermales generadas en ambientes porfídicos tardíos que mineralógicamente generan alteración penetrativa intensa, destrucción de la textura original de la roca y baja presencia de sulfuros de Cu.

Mientras que el segundo tipo de sericita es la llamada sericita gris verde (sericita verde) o sericita de alta temperatura. La segunda se diferencia de la anterior por sus características visuales en muestra de mano, color verde disperejo con tonalidades grisáceas y con textura poco continua, límites muy irregulares o como manchas. Además de sus diferencias genéticas, temporales y paragenéticas que la hacen cualitativamente distintiva de la sericita blanca (Sillitoe, 2010).

2.1.2. ASOCIACIONES MINERALES Y PARAGÉNESIS

Si bien, la sericita gris verde es una asociación mineral poco estudiada y usualmente no se considera una asociación mineral distinta o una variedad específica de la sericita, muestra características claras que la hacen diferenciarse visualmente de ésta.

Las características principales de la sericita gris verde son su color gris verdoso, su especial sedosidad al tacto, su tamaño de grano habitualmente más grueso que la sericita blanca y su estilo de mineralización característico restringido a parches penetrativos, formas irregulares o selectivas y en vetillas, preferentemente en sus halos.

El tipo de alteración asociado a la sericita gris verde es variable desde selectiva a penetrativa, pero usualmente se encuentra en un grado o intensidad fuerte, lo cual se evidencia en una amplia destrucción de la textura original de la roca, debido al remplazo de los minerales originales por un agregado de sericita, cuarzo, abundantes sulfuros de cobre diseminado y algo de feldespato potásico (Aguilar, 2008).

En el prospecto Pimentón, por ejemplo, se tiene un amplio desarrollo de alteración a feldespato potásico, como evento hidrotermal principal, que se observa superpuesto por dos fases minerales principales, como lo son una amplia biotización y una alteración selectiva de sericita gris verde que se dispone en el entorno de los núcleos de alteración potásica. Aquí la sericita gris verde ocurre en los bordes de los minerales máficos y como halo de vetillas de cuarzo, sobre el fondo potásico (Pardo, 2006).

Por lo general, es más común encontrar a estas asociaciones minerales en un estilo de mineralización determinado por estructuras que en cúmulos o parches. Es por esto que en este trabajo se usa la clasificación de vetillas realizada por Gustafson y Hunt (1975) para especificar el tipo de vetilla a la que se esté haciendo alusión.

En niveles no tan profundos de El Salvador se presenta andalucita y feldespato potásico asociados al evento temprano de alteración potásica. La andalucita ocurre en halos oscuros, discontinuos y mal definidos de esta alteración (feldespato-K, biotita, sericita). Algunos parecen ser halos de vetillas tempranas de cuarzo de tipo A. Estos halos incluyen feldespato-K, albita, andalucita, anhidrita, biotita, sericita gris verde y cuarzo. Además se observa la presencia de corindón, pero ocurre sólo en trazas asociado a andalucita. Las vetillas tempranas *Early Biotite* (EB) que se observan en niveles más profundos, parecieran ser las equivalentes en profundidad del tipo A ya que presentan asociaciones minerales idénticas a éstas (Gustafson y Quiroga, 1995).

En el yacimiento Chuquicamata, también existen vetillas tempranas, frecuentemente subparalelas, que poseen en sus halos este tipo de alteración hidrotermal. Estas vetillas contienen cuarzo, cuarzo-bornita o cuarzo-molibdenita. La mineralización asociada a la sericita gris verde ocurre finamente diseminada y es

abundante. Se compone, al igual que "K-Sil", de bornita con mineralización supérgena (digenita, calcosina, covelina) o bien calcopirita y bornita acompañada de mineralización supérgena. Pero siempre presenta ausencia de pirita lo que puede ser utilizado como un criterio de diferenciación de la sericita blanca (Aguilar, 2008). En fases tardías, las vetillas tempranas de este evento están remplazadas por pirita, digenita y bornita, o pirita con covelina.

En Chuquicamata existen vetillas de calcopirita con halo sericítico, pero en este caso, las vetillas se componen de calcopirita diseminada, pirita subordinada o ausente y sin bornita, con halo de cuarzo y sericita blanca en espacios limitados que preservan sectores con la textura original del pórfido.

En el depósito de Butte, Montana se definen las vetillas *pale-green sericitic* o PGS como vetillas con más del 50% de volumen en minerales opacos, rellenas de magnetita, calcopirita, pirita y cuarzo, con un halo ampliamente desarrollado de más de 5 cm en cada lado de la vetilla dominado por feldespato potásico, cuarzo, sericita gris verde, clorita y en menor medida calcita (Reed, 1999; Reed and Rusk, 2001 y 2008). Estos autores también plantean que las PGS son el equivalente hacia la parte alta del sistema de las vetillas *early dark micaceous* o EDM y las vetillas PGS se pueden encontrar como una continuación de las vetillas EDM, en sus bordes exteriores o en relación de sobreimposición con éstas.

En el yacimiento La Escondida, se determinó que en las partes de alteración lejanas a las vetillas, los cristales de feldespato son alterados a sericita blanca y los bordes están rodeados de sericita gris verde. Esta alteración fue estudiada en halos, a través de un estudio microscópico en cristales de tamaños mayores a los 50 μm , y se determinó que simplemente corresponde a cúmulos de cuarzo y sericita (Padilla et al., 2001 y Garza, 2001).

El mismo autor anterior también definió, a través del estudio de cortes pulidos, que los sulfuros de Cu-Fe sólo supera el 0.5% en volumen donde se presentan las asociaciones hidrotermales del clorita-sericita y sericita gris verde, en los halos de vetillas o donde se mantienen presentes los sulfuros provenientes de

la alteración argílica avanzada. En contraste a esto, la pirita es el principal sulfuro en la alteración sericítica blanca.

Por su parte, en el yacimiento mexicano de Los Chicharrones, se observan vetillas tectonizadas tipo B donde la molibdenita ocurre asociada e incluida en cuarzo y feldespato potásico de grano fino. Estas vetillas representan la zona feldespática de la alteración potásica principal del yacimiento. Además se describen vetas azules (Waterman, unpub. 1951) y vetas denominadas “compuestas”, que presentan alta mineralización de molibdenita (*stockwork*) y halos con sericita gris verde que son características de la zona denominada silícica dentro de esta alteración potásica.

También, en Los Chicharrones, ocurren vetas posteriores asociadas a las alteraciones filica y propilítica que consisten principalmente en sulfuros de pirita, esfalerita y minerales de antimonio (Silva, 1981).

Con esto último, también cabe destacar que por lo general, la alteración filica constituida por sericita blanca, se puede encontrar acompañada de pirita y carbonatos, incluso llegando a cantidades abundantes. Esto es algo que no se observa en el caso la sericita gris verde, a excepción del caso del yacimiento Butte en Montana.

En algunos de los yacimientos que presentan zonas de alteración cuarzo sericita gris verde existe abundante mineralización de Cu, ésta suele superar 1% en peso de sus leyes.

Finalmente, a la fecha y actual estado del arte existe falta de criterios y conocimientos de diferenciación entre la sericita blanca y la sericita gris verde, lo cual se refleja en algunas publicaciones que son capaces de determinar, por ejemplo, que la alteración potásica silicatada contiene como componentes principales a la sericita, feldespato potásico y biotita, pero no se especifica el tipo de sericita o su diferencia con respecto a la sericita asociada a la zona de alteración filica. En algunos casos más antiguos, ni siquiera se hace diferencia entre alteración filica y alteración argílica (Creasey, 1959 y Schwartz, 1947),

lo cual indica que el estudio de alteraciones hidrotermales es dinámico y se encuentra en constante evolución.

2.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química de la sericita gris verde no se conoce con precisión, pero se destaca que varias de las descripciones consultadas anteriormente, coinciden en describirla como una asociación mineral deficiente en K y enriquecida en Mg, lo que concuerda con los términos illita y fengita, que han sido usados informalmente para describir esta asociación.

La composición química de la sericita hidrotermal varía según su origen. En un estudio que compara sericitas asociadas a sistemas de pórfidos cupríferos y sericitas asociadas a un campo geotermal (Parry et al., 1984), se concluye que, en cuanto a su homogeneidad química, una sericita hidrotermal producida en un sistema geotermal se presenta notablemente más heterogénea que una sericita hidrotermal asociada a alteración hipógena en sistemas de tipo pórfido cuprífero.

En este estudio se asume que lo descrito en el párrafo anterior, se refiere principalmente al caso de la sericita blanca asociada a sistemas de pórfidos, ya que la sericita gris verde, no ha sido debidamente caracterizada en cuanto a su composición química.

Aun cuando no se conoce con certeza su composición química, se sabe que su origen está subordinado a reacciones químicas hidrolíticas (Hemley y Jones, 1964) y se interpreta como resultado de fluidos de derivación magmática. Al igual que el caso de la sericita blanca y las vetillas EDM (Rusk et al., 2008).

2.1.4. AMBIENTE DE FORMACIÓN Y TEMPERATURA

Aunque es sabido que el límite superior de estabilidad termal, a 1000 bares de presión de agua para la moscovita es de 620° C (Burnham, 1962), las temperaturas determinadas históricamente en inclusiones fluidas en depósitos de tipo pórfido cuprífero para esta asociación mineral varían en el rango de 180° - 400° C (Nash, 1967 y Creasey, 1966). Pero las temperaturas estimadas específicamente para la sericita gris verde y otras alteraciones hidrotermales relacionadas a ésta, en varios yacimientos superan ampliamente los 350°C. Por lo anterior, en este trabajo se asume que el rango de temperaturas históricas tiene relación solamente con la sericita blanca, sin saber si en aquellas publicaciones se tenía conciencia o no de las diferencias internas de esta asociación mineral.

El yacimiento Los Chicharrones se ubica en la provincia de Sinaloa, México. Esta provincia es considerada una de las zonas más importantes respecto a la cantidad centros de mineralizados o *clusters* de pórfidos cupríferos en México. Algunas décadas atrás, Los Chicharrones era considerado simplemente como un *stockwork* de Mo, pero en la actualidad es clasificado (Valencia, 2006) como un pórfido cuprífero debido a la gran similitud que tiene con estos depósitos en el arreglo zonal de sus alteraciones y estilos de mineralización de sulfuros.

En Los Chicharrones, la sericita gris verde se asocia a la alteración potásica, tanto en su zona feldespática como en su zona silícica (Valencia, 2006). Esta alteración presenta tectonización producida por la intrusión de vetas y vetillas posteriores, por lo que se ha designado a este evento como el primer evento de alteración. Además, en el estudio de inclusiones fluidas de este yacimiento, se determinó que la alteración potásica se formó a temperaturas mayores a los 350° C y menores a los 500° (Hemley et al., 1971), y que esta alteración y consecuente mineralización, fue generada por fluidos con contenidos de salinidad relativamente altos, por lo cual se define a este evento como una etapa transicional entre el evento magmático y el hidrotermalismo, habiéndose catalogado como un estadio magmático tardío hidrotermal temprano dentro del sistema (Silva, 1981).

Las presiones estimadas a partir de las inclusiones fluidas corroboran esta hipótesis, pues sugieren que el último fracturamiento fue producido en condiciones hidrostáticas intermitentes, que permitieron el flujo (mezcla) de aguas no magmáticas más frías. Debido a esto, la mineralización de molibdenita asociada a la alteración potásica en este yacimiento, se ha atribuido al evento transicional desde magmatismo a hidrotermalismo temprano.

En el prospecto Pimentón se describieron los eventos de alteración de sericita, sericita gris verde y potásica, como eventos pertenecientes a una zona caracterizada por un ambiente porfídico. Siendo además, el evento asociado a la sericita blanca posterior temporalmente en su génesis y superior/superpuesto en forma parcial con respecto a su distribución espacial en el modelo del yacimiento (Pardo, 2006).

En Chuquicamata, existe una relación espacial entre las alteraciones sericita gris verde y “K-Sil”, así como entre la sericita gris verde y las vetas de cuarzo-molibdenita. Por lo general, la sericita gris verde y su mineralización de sulfuros se observan cortando tanto al “K-Sil” como a las vetas de cuarzo-molibdenita, pero también se ha encontrado la relación inversa, lo que sugiere que son eventos formados al mismo tiempo o singenéticamente. Debido a esta correlación espacial entre “K-Sil” y la sericita gris verde temprana, y a sus características comunes ambas se han englobado funcionalmente en una unidad de alteración mayor, que se ha denominado Potásico Intenso (PI). Además, en zonas con alteración cuarzo-sericítica tardía pueden reconocerse alteraciones tempranas relictas o bandas irregulares que representan texturas “fantasmas” de alteraciones tempranas (“K-Sil” o sericita gris verde), a veces como halo de vetillas tempranas, con abundantes sulfuros finamente diseminados, que sugieren que antes de la sobreimposición del evento tardío existió mineralización temprana de alta ley, asociada al PI. A las zonas más o menos continuas que presentan estas características, se las ha denominado PIR, Potásico Intenso Relicto (Aguilar, 2008).

En Butte, Montana, se determina que las *pale-green sericitic veins* son generadas a temperaturas y presiones menores que las *early dark micaceous veins* pero desde el mismo fluido, lo que implica, que las *pale-green sericitic veins* corresponden a la expresión continua e inmediatamente posterior de las *early dark micaceous veins*. La temperatura de homogenización de inclusiones ricas en vapor es sobre los 520°

C y la temperatura bien acotada de las *early dark micaceous veins*, implican que la mayoría de las *pale-green sericitic veins* se formaron probablemente entre 475°- 550° C. Además, se determina a través del estudio sucesivo de la evolución genética de las inclusiones fluidas, que el fluido magmático que genera las *early dark micaceous veins*, en un progresivo estado de descompresión y diferenciación durante el ascenso en las fracturas, es el que alimenta la generación de las *pale-green sericitic veins* (Rusk y Reed, 2008).

De la recopilación anterior se concluye que el evento de sericita gris verde es previo y más profundo con respecto a la alteración fílica, además es contemporáneo y superpuesto con la alteración potásica. Por otra parte, en algunas vetillas *early dark micaceous* se ha descrito la presencia de sericita gris verde como parte de su ensamblaje de alteración, por lo tanto, se puede considerar la existencia de este mineral a temperaturas incluso superiores a 550°C.

De acuerdo a su relación coetánea con la alteración potásica, temperaturas de formación, relación genética con vetillas tempranas tipo B y tectonización observada en algunos yacimientos, se infiere que la alteración sericita gris verde corresponde a un estadio magmático tardío hidrotermal temprano que presenta deformación en un campo de alta plasticidad, por lo tanto, es probable que esta asociación se genere en un ambiente por debajo del límite de fragilidad.

2.2. MARCO GEOLÓGICO

El distrito Chuquicamata se encuentra afectado y controlado por un rasgo estructural de carácter regional, el Sistema de Falla Oeste. A éste se le asocia tanto la distribución como la ocurrencia de los depósitos que componen el distrito. Es por esto que el distrito se puede separar en dos ambientes diferenciados, bloque oriental y bloque occidental (Maksaev et al., 1994)

El bloque oriental se encuentra conformado por volcanitas y plutones adosados a la traza principal de la Falla Oeste de edades Permo-Triásico y extensos cuerpos elongados de edad Terciaria.

El bloque occidental se compone por rocas metamórficas y plutones Paleozóicos, volcanitas Triásicas, sedimentitas marinas y continentales del Jurásico y Cretácico Inferior, y volcanitas-sedimentitas rojas del Cretácico Superior-Terciario. Estas unidades se distribuyen en franjas norte-sur siguiendo patrones claramente estructurales. Transversalmente a estas rocas se reconocen tres unidades intrusivas que las cortan: Complejo Intrusivo Montecristo, Diorita Los Picos y Complejo Intrusivo Fortuna. Todos presentan edades Paleoceno a Oligoceno Inferior (Pardo y Rivera, 1999).

Sobre éstos se observan depósitos de gravas, sedimentitas lacustres y aluvio-coluviales de edades Mioceno-Reciente cubriendo un 60% de área, con espesores que varían entre 50 y 600 m.

2.2.1. UNIDADES ESTRATIFICADAS

Rocas Metamórficas Paleozóicas

Las unidades más antiguas que se han reconocido en la zona corresponden a un basamento de series metamórficas (esquistos micáceos, anfibolitas y gneises) y migmatíticas, atribuidas al Paleozóico (Thomas, 1978). Estas rocas ocurren dispuestas en dirección norte-sur aflorando en algunos cerros de Chuquicamata, en el rajo de Mina Sur y al norte, este y sureste del rajo de la Mina Chuquicamata, ver figura 2.

Paleozóico Superior

- **Formación Agua Dulce** (García, 1967, publicado en Ortega et al., 2006): se compone de conglomerados, areniscas y sedimentitas de granos finos, además de una secuencia volcánica verde oscura, brechas andesíticas y dacitas porfídicas con escasos fenocristales de plagioclasas. Sobreyace en contacto depositacional al Granito Mesa (Carbonífero Superior) y se apoya también en discordancia angular y de erosión sobre metaconglomerados de la unidad Estratos de Quetena (Carbonífero-Pérmico). La formación pertenece al Permo-Triásico y aflora en los cerros de Chuquicamata, al este de las minas Chuquicamata y Radomiro Tomic.

Jurásico Superior-Cretácico Inferior

- **Formación Cerritos Bayos** (Biese, 1961 y Lira, 1989): secuencia de rocas carbonatadas de facies detríticas y psefíticas plegadas de forma intensa y falladas. Se disponen sobreyaciendo concordantemente a las rocas sedimentarias continentales de la Formación Agua Dulce. Corresponde a un equivalente del Grupo Caracoles (García, 1967) que aflora al occidente de la falla Oeste.
- **Formación San Salvador** (Lira, 1989): corresponde a una secuencia calcárea y siliciclástica. Es posible distinguir tres miembros: Miembro Estación, Miembro Salvador, Miembro EL Morro (Pardo y Rivera, 1999). Aflora típicamente en la localidad de Cerritos Bayos y en el distrito de Chuquicamata tienen una amplia distribución, extendiéndose en sentido norte-sur.

Cretácico Superior-Terciario Inferior

- **Formación Cerro Empexa** (Lira, 1989): conglomerados, areniscas, dacitas, andesitas porfídicas, brechas y tobas dacíticas parcialmente silicificadas, con una potencia mínima de 500 m (Rojas y Morgado, 2004, publicado en Ortega et al., 2006). Estas rocas se distribuyen en los bordes de los cerros de Montecristo y se le ha llamado Estratos de Campamento en esta área (mapa en Chong y Pardo, 1994).

- **Formación Icanche** (Maksaev, 1978, publicado en Ortega et al., 2006): secuencia de andesitas porfídicas, aglomerados y tobas dacíticas parcialmente silicificadas que presentan una potencia mínima de 500 m. Estas volcanitas se distribuyen como una franja discontinua en sentido norte-sur, próxima a la traza principal de la Falla Oeste. Además se observan aflorando en el Cerro Icanche. Se correlacionan con la Formación Arca exhibida en el mapa de Chong y Pardo, 1994).

2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS

Los intrusivos reconocidos en el distrito tienen una clara tendencia determinada por un sentido de orientación norte-sur.

Granitos y Granodioritas Paleozóicas

Las rocas intrusivas del Paleozóico corresponden al basamento sobre el cual se depositaron las series estratificadas del Mesozóico (Tapia, 1980, publicado en Ortega et al., 2006).

- **Granito Mesa** (Renzetti, 1957): textura granular de tamaño medio a grueso, ocasionalmente porfídica y en algunos sectores de aspecto gnéisico. El mineral máfico predominante es la biotita y las alteraciones observadas corresponden a clorita, sericita, epidota y arcillas. Corresponde al intrusivo más antiguo reconocido en el área, que intruye generando estructuras de *roofpendant* en las series metamórficas Paleozóicas. Los afloramientos se exponen en el sector oriental del yacimiento Radomiro Tomic y al noreste del Cerro Calama. Las dataciones Pb-Alfa en circones realizadas a este intrusivo entrega edades de 292 ± 30 Ma (Marinovic y Lahsen, 1984). Sin embargo, su asociación con el granito del Cerro Moctezuma

en Sierra Limón Verde (305 ± 4 Ma por K/Ar en biotita, Makshev et al., 1994) le confieren un rango de edad Carbonífero Superior-Pérmico (Pardo y Rivera, 1999).

- **Granodiorita Este** (Renzetti, 1957): intrusivo equigranular de grano medio a grueso. Petrográficamente corresponde a un stock granodiorítico de biotita y hornblenda con textura hipidiomórfica equigranular.

En el basamento de Mina Sur intruye al Granito Mesa. Además corresponde a un cuerpo elongado de dirección noreste y se encuentra expuesta en el sector de los cerros de Chuquicamata.

Está datado en 238 ± 6 Ma con K/Ar en biotitas como edad mínima (Makshev et al., 1994) y en $233-240\pm 25$ Ma a través del método Pb-Alfa en circones (Munizaga, 1976) como edad máxima. Por lo que se le adjudica una edad Triásica.

Granitos y Granodioritas Cenozoicas

- **Granodiorita Elena** (Renzetti, 1957): stock granodiorítico de color gris rosa con textura hipidiomórfica granular y desarrollo de facies porfídicas marginales alteradas, pobremente mineralizadas e íntegramente relacionadas al Pórfido Chuqui.

Se encuentra expuesta al este del yacimiento Radomiro Tomic (cerca de los cerros de Chuquicamata) como pequeños cuerpos aislados y en el basamento de Mina Sur.

Intruye a las volcanitas de la Formación Agua Dulce y se le asigna una edad Eoceno-Oligoceno (Ambrus, 1979). Ballard, en el año 2001 le asigna una edad absoluta de 37.7 Ma. y algunas dataciones (Álvarez, 1980, publicado en Ortega et al., 2006) con el método U/Pb le otorgan una edad de intrusión Triásico Medio-Superior, por lo que se interpreta como un rejuvenecimiento provocado por la intrusión del Pórfido Chuqui.

- **Diorita Los Picos** (Thomas, 1978): está clasificada como una diorita de hornblenda, biotita y piroxeno con variaciones composicionales a monzonita cuarcífera y diorita cuarcífera. Presenta textura hipidiomórfica equigranular de grano medio a fino.

Se encuentra al oeste de la Mina Radomiro Tomic en la Sierra San Lorenzo. Tiene disposición norte-sur y se extiende en un cinturón de 30 km de largo. En algunos altos topográficos de la zona queda representada como *roof pendant* sobre la granodiorita Fortuna, la cual la intruye. Las edades obtenidas con datación K/Ar en biotitas son variables: 38.1±1 Ma (Ambrus, 1979), 45.1±1.8 Ma (Thomas, 1978) y 43.4±1.2 Ma (Maksaev et al. 1994).

- **Complejo Granodiorítico Fortuna** (Renzetti, 1957): corresponde a un complejo intrusivo compuesto por dos granodioritas definidas por Maksaev et al. (1978) y publicadas en Ortega et al., (2006): Granodiorita Fortuna Clara o Granodiorita Fiesta (Dilles et al., 1997) en Mina Chuquicamata, Granodiorita Fortuna Gris o Granodiorita Antena (Ambrus, 1979). Además de un conjunto de pórfidos denominados Pórfidos San Lorenzo (Marinovic y Lahsen, 1984). Se ubica al oeste y suroeste del yacimiento y se extiende por los cerros del Inca y la serranía de San Lorenzo. El contacto con el Pórfido Chuqui es mediante fallas estructurales (Ambrus, 1979).
- **Pórfido Chuqui**: corresponde a rocas de variedades monzograníticas a granodioríticas de textura porfídica, con presencia de fenocristales de feldespatos potásico, plagioclasa, cuarzo y biotita inmersos en una masa fundamental aplítica. Se ha diferenciado en tres variedades según variaciones texturales y composicionales: Pórfido Este, Pórfido Oeste y Pórfido Banco. Estas variedades se detallan a continuación.

Todas las unidades descritas pueden verse en el Mapa Geológico de Chuquicamata (Chong y Pardo, 1994). Este mapa fue realizado por la oficina regional de Calama de la Gerencia de Exploraciones de Codelco Chile.

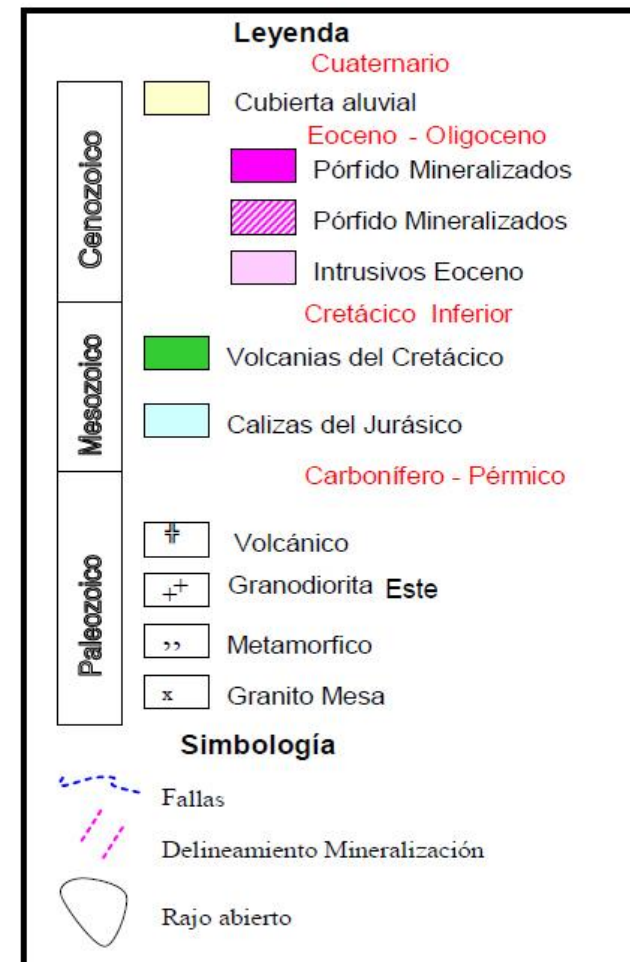
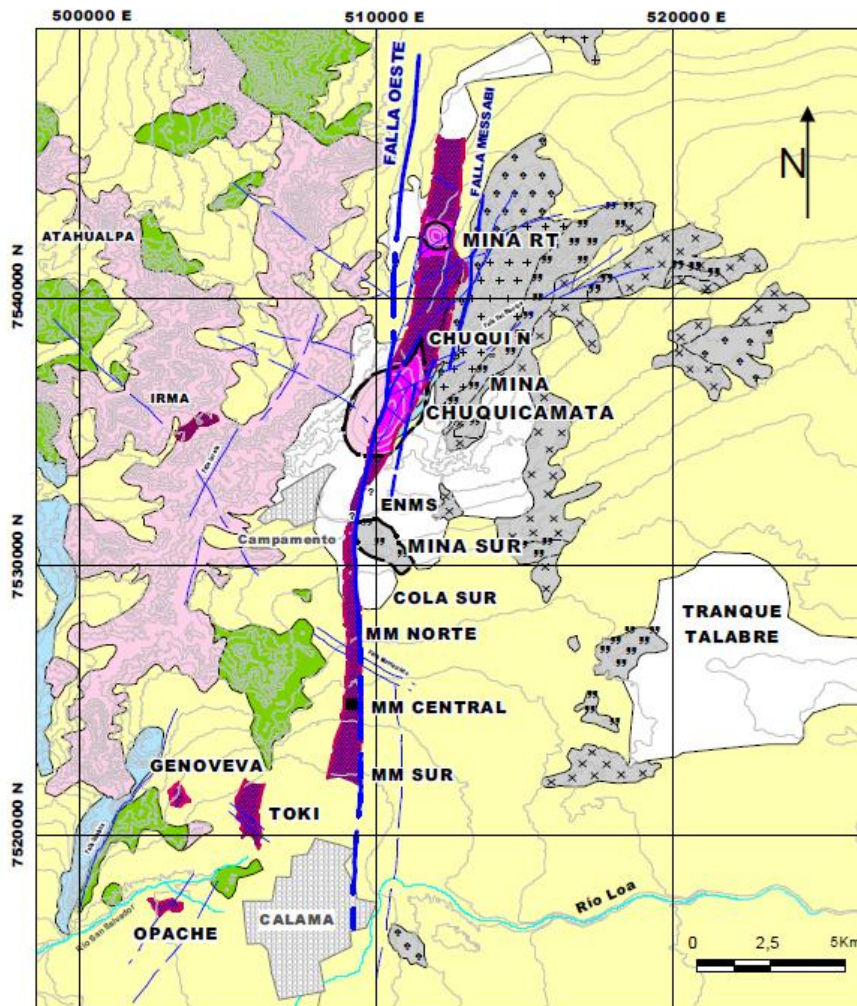


Figura 2. Mapa Geológico Distrital (generalizado) de Maksaev et al., 1994, tomado desde Ortega et al., 2006.

2.3.GEOLOGÍA DEL YACIMIENTO

El yacimiento Radomiro Tomic corresponde a un depósito tipo pórfido cuprífero asociado al complejo intrusivo Chuquicamata, emplazado en el ambiente tectónico de la Zona de Falla Oeste.

La mineralización se aloja en el Pórfido Chuqui de edad Oligoceno Inferior, que corresponde a un cuerpo intrusivo granodiorítico a monzonítico, emplazado en rocas ígneas de similar composición. Está en contacto hacia el este con la Granodiorita Elena y al oeste con el Complejo Granodiorítico Fortuna. Éstos por su parte intruyen una secuencia volcano-sedimentaria Mesozoica y granitoides Pérmicos.

La mineralización y alteración hipógena se encuentran asociadas casi exclusivamente al Pórfido Chuqui, con edades para la fase tardimagnética de 32.7 Ma y de 31.8 Ma para la alteración sericítica, ambas mediciones se realizaron con el método Ar/Ar en feldespato potásico y sericita, respectivamente (Cuadra et al., 1997b, Ossandón y Zentilli, 1997).

2.3.1. LITOLOGÍA

El depósito Radomiro Tomic está emplazado íntegramente en el Complejo Pórfido Chuqui. Este complejo intrusivo se divide en tres variedades texturales principales, de composición general granodiorítica a cuarzo-monzodiorítica: Pórfido Este, Pórfido Fino y Pórfido Oeste (Aracena, 1981; Carvajal, 2003 y Ortega et al., 2006). El primero es el más importante volumétricamente. En el yacimiento se reconocen además de los intrusivos Elena y Fortuna (previos al emplazamiento del pórfido Chuqui), metasedimentos, brechas y gravas.

Pórfido Este (Lindgren, 1917 y Aracena, 1981). Es la unidad con mayor distribución en el yacimiento.

Corresponde a un pórfido de composición granodiorítica con variaciones a monzograníticas y monzodioríticas. Presenta textura fanerítica inequigranular, con tamaño del grano medio a grueso con tono gris rosado claro. La masa fundamental está compuesta por cuarzo y feldespato potásico.

Dataciones radiométricas realizadas con el método K/Ar en biotitas indican una edad de 34.6 ± 0.2 Ma (Ballard et al., 2001).

Pórfido Oeste (Soto, 1979 y Aracena, 1981). Estructuras filonianas restringidas volumétricamente, que intruyen al Pórfido Este (figura 3).

Este pórfido tiene una composición monzogranítica de grano medio, con abundantes fenocristales de plagioclasas y feldespatos potásicos, ojos de cuarzo y biotitas. La masa fundamental es aplítica con textura más fina que el Pórfido Este.

Según dataciones radiométricas realizadas en la mina Chuquicamata con el método K/Ar en biotitas, se ha calculado una edad de 31.8 ± 0.9 Ma (Ballard et al., 2001).

Pórfido Fino (Waterman, unpub. 1951 y Aracena, 1981). Corresponde a cuerpos filonianos que intruyen al Pórfido Este, de relación genética desconocida respecto al Pórfido Oeste.

Está clasificado como un pórfido monzodiorítico de textura porfídica doble, con un tamaño de grano muy fino y tonalidad grisácea.

Dataciones radiométricas realizadas en la mina Chuquicamata con el método K/Ar en biotitas han dado como resultados edades de 33.3 ± 0.3 Ma (Ballard, 2001).

Tanto a nivel distrital como en la Mina Chuquicamata se conoce a este tipo litológico como Pórfido Banco, correspondiente a un mismo evento en una expresión más distal.

Granodiorita Elena. Stock granodiorítico que se encuentra al este del Pórfido Chuqui y corresponde a la roca de caja del emplazamiento de éste pórfido, ver figura 3.

Esta unidad está definida como un intrusivo granodiorítico equigranular, con tamaño de grano medio a grueso. Presenta abundante alteración clorítica.

Dataciones radiométricas efectuadas en la mina Chuquicamata con el método Pb-Alfa en circón indican edades de 145 ± 15 Ma y 122 ± 28 Ma (Munizaga, 1976). En contraposición, Ballard et al. (2001), entrega edades de 37.7 Ma, lo que ha sido interpretado como un rejuvenecimiento debido a la intrusión porfídica.

Granodiorita Fortuna (Renzetti, 1957). Su extensión se encuentra restringida al sector oeste del Pórfido Chuqui y este contacto queda delimitado por la Falla Oeste.

Corresponde a un cuerpo intrusivo granodiorítico con composiciones tonalíticas y monzoníticas subordinadas. Posee una textura hipidiomórfica granular porfídica de grano grueso a medio y un tono gris claro. En las zonas colindantes a la Falla Oeste presenta notoria textura cataclástica.

Según dataciones radiométricas realizadas en la mina Chuquicamata con el método K/Ar en biotitas se ha determinado que las edades de estas rocas varían de 36.2 ± 14 Ma (Cuadra et al., 1997) a 38 ± 0.3 Ma (Munizaga, 1976), ambos resultados publicados en Ortega et al. (2006).

Metasedimentos. Se distribuyen principalmente en los bordes del yacimiento.

Corresponden a rocas de volcanosedimentarias indiferenciadas, con tonos gris verde oscuros y que además pueden encontrarse con foliación.

Brechas. Están restringidas sólo a diques menores de grano fino y color rosado gris claro.

Gravas. Representa una cobertura sobre el basamento ígneo antes definido (Pórfido Chuqui, Granodiorita Elena y Granodiorita Fortuna).

Esta unidad corresponde a sedimentos no consolidados o parcialmente consolidados que varían desde clastos soportados a matriz soportados. Tiene una composición polimíctica con clastos de diferentes formas. En algunos sectores la matriz presenta óxidos o sales que favorecen la consolidación de estos sedimentos. La potencia de esta unidad varía de 0-200 m.

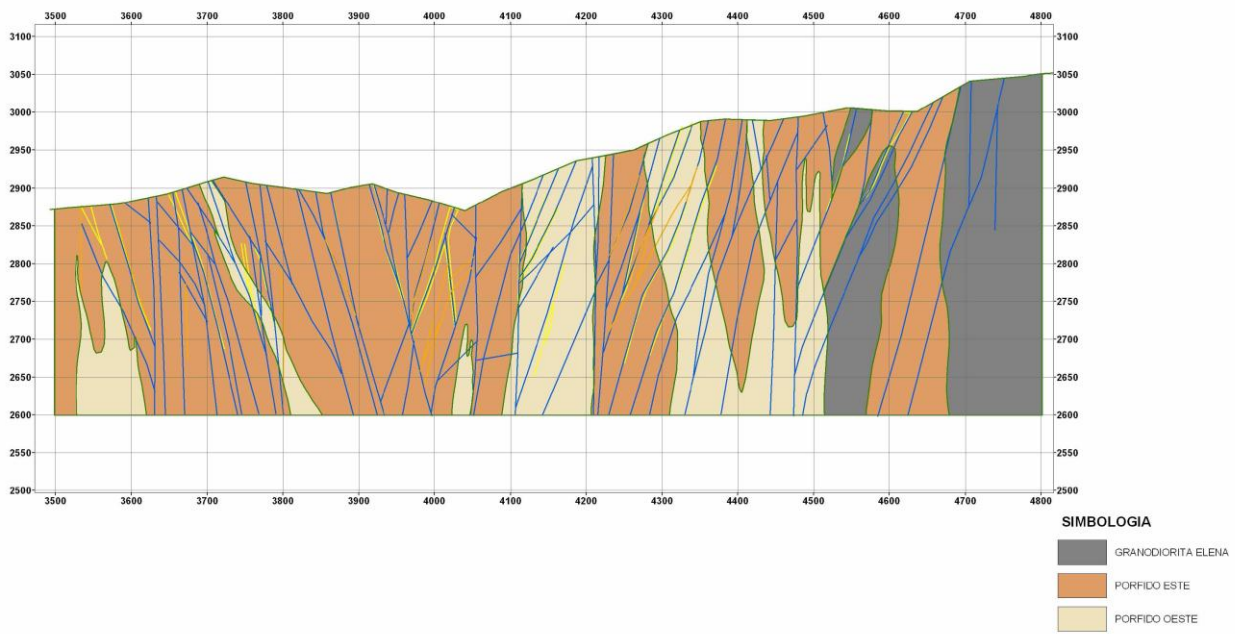


Figura 3. Sección 9540 representativa de la distribución litológica en RT (mirando al norte).

2.3.1.1. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En el Modelo Geológico del yacimiento RT se reconocen sucesivos eventos de alteración y mineralización. La individualización de cada uno de estos eventos permiten definir las unidades que constituyen la base del modelo geológico del depósito (Cornejo, 2009).

1. *Primario clorítico marginal*

El evento clorítico marginal constituye el evento más temprano de alteración/mineralización. Se distribuye en los límites Este y Oeste del depósito. La mineralización asociada corresponde a pirita y en menor proporción a calcopirita, las cuales se presentan predominantemente diseminada y, en menor medida, en micro vetillas con contenidos inferiores a 0,1% Cu.

2. *Primario potásico de fondo*

La alteración potásica consiste en un reemplazo parcial a penetrativo de los feldespatos. La textura original de la roca está conservada y el evento de alteración se caracteriza por la biotización de minerales máficos y por vetilleos con intensidad menor al 5 % de vetillas tempranas tipo EB, EB-A y vetillas gris verde. La mineralización asociada ocurre preferentemente diseminada y en forma subordinada en vetillas y microvetillas, con un total de sulfuros < 1%, de distribución irregular. Las asociaciones características son bornita-calcopirita con leyes de 0,3 – 0,4% CuT. Una segunda asociación es de Cpy-Py con leyes de 0,2% CuT.

3. *Primario potásico penetrativo*

Esta alteración se caracteriza por una moderada a intensa presencia de vetillas y microvetillas tempranas, compuestas por cuarzo, feldespato potásico, biotita secundaria y sulfuros diseminados en el halo. La mineralización en vetillas es mayor al 1% y se compone de bornita +/-calcopirita.

Existen al menos dos tipos más de vetillas tempranas, pero en el estado actual del conocimiento de la zona de sulfuros primarios de RT, no es posible aún confirmar si pertenecen o no a este evento temprano o si corresponden más bien a un evento hidrotermal más tardío. Se trata de vetillas de sericita gris verde de halo muy bien definido y sutura central continua de sulfuros, y de vetillas de color más verdoso en reemplazo selectivo, con sulfuros diseminados en el halo.

La intensidad de vetillas de la zona potásica penetrativa va de 5% a 30 % en volumen, con rangos de ley mayores a 0,8% CuT.

4. *Evento tardío de cuarzo-sericita*

En el yacimiento Radomiro Tomic, el sistema estructural Kalatche es interpretado como el principal control estructural de la alteración cuarzo-sericítica, en halos de vetillas tipo D, con mineralización característica de pirita y calcopirita. Esta alteración consiste en agregados de sericita, cuarzo y pirita que obliteran la textura original del pórfido. Ocurre en halos irregulares de bordes difusos, mediante el remplazo intenso de la biotita, plagioclasas y feldespatos potásicos. También ocurren cantidades menores de arcillas, como remplazo de plagioclasa y escasas vetillas localizadas de alunita-cuarzo.

2.3.1.2. EVENTOS SUPÉRGENOS

La actividad supérgena en RT generó amplias zonas lixiviadas, oxidadas de Cu-Fe y zonas con enriquecimiento de sulfuros secundarios.

1. *Zona de Enriquecimiento Secundario de Sulfuros.*

El enriquecimiento con sulfuros secundarios se ha separado en dos zonas:

a) *Enriquecimiento fuerte:* Predominancia de sulfuros secundarios, como remplazo en más de un 75% de los sulfuros de cobre primarios. Bornita y calcopirita se encuentran totalmente reemplazadas. Por consiguiente, la mena es fundamentalmente supérgena y la pirita se observa mayoritariamente con pátinas de calcosina. Sobre la zona de enriquecimiento fuerte se reconocen las zonas de lixiviación y de oxidados de cobre.

b) *Enriquecimiento débil*: Corresponde a sulfuros secundarios, subordinados, en fracturas, zonas de falla y como remplazo parcial de sulfuros de cobre primarios, igualmente es posible reconocer importantes cantidades de bornita y calcopirita. El sulfuro secundario más importante en las zonas de enriquecimiento es calcosina pero también presenta cantidades significativas de covelina. Existe abundante yeso en cavidades y fracturas abiertas producto de la lixiviación parcial de sulfatos, principalmente de anhidrita.

2. Zona de oxidación y lixiviación *in situ*

La mayor parte de las zonas lixiviadas y oxidadas de los niveles superiores del depósito se encuentran en explotación. A pesar de esto, es posible reconocer que la mineralogía más común en las zonas de oxidados es atacamita, junto a menor crisocola y óxidos negros.

Es usual encontrar sulfuros relictos, principalmente calcosina secundaria asociada a estructuras, coexistiendo con las mineralogías oxidadas, constituyendo zonas de mineralización mixtas o parcialmente lixiviadas. Lo anterior indica que estas zonas, actualmente oxidadas, constituyeron antes un nivel de enriquecimiento, el cual fue posteriormente oxidado, lixiviado y desplazado hacia abajo por una profundización del nivel de oxidación supérgena (Cornejo, 2009).

2.3.1.3. UNIDADES GEOLÓGICAS MINERALÓGICAS

Las principales unidades geológicas presentes en el yacimiento son descritas en Canales *et al.* (2006) y fueron definidas por Cuadra *et al.* (1997). La distribución espacial de las unidades geológicas, sugiere un control estructural predominante en el yacimiento (Herrera, 2008).

b) Mixtos (MX). Presencia de óxidos y sulfuros, ambos en cantidades superiores al 30% y se encuentran en forma lenticulares delgadas y en estructuras discontinuas en el yacimiento.

c) Óxidos.

c.1) Óxidos Inferiores (OXI). Mineralogía de mena homogénea y predominio de atacamita, con arcillas con cobre y crisocola subordinadas, además de *copper wad* en trazas. Las alteraciones hidrotermales principales son la sericítica y la potásica, junto con una disminución de argilización supérgena. El óxido de hierro predominante es la hematita. En los sectores más profundos, de esta unidad coexisten calcosina y atacamita coexisten, aumentando la primera al encontrarse cerca del techo de sulfuros.

c.2) Óxidos Superiores (OXS). Esta unidad se caracteriza por una gran heterogeneidad en la mineralogía de mena en el eje vertical. En general, presenta predominio de atacamita y arcillas con cobre, cantidades moderadas de crisocola y menores de *copper wad*. Entre el piso del Óxido Superior y el nivel freático las arcillas con cobre, la crisocola y el *copper wad* aumentan fuertemente y la atacamita disminuye al punto de ser menos abundantes que las arcillas con cobre.

Predomina la alteración argílica supérgena (caolinita y montmorillonita) sobreimpuesta a la alteración hidrotermal sericítica principal y a la alteración potásica. La limonita predominante es la goethita.

d) Lixiviados (LX). Corresponde a minerales oxidados de hierro, con presencia de limonitas indígenas, goethita, hematita, jarosita, yeso y minerales arcillosos. Puede contener trazas de óxidos.

e) Grava Exótica (GRX). Depósitos sedimentarios que sobreyacen a las rocas del área, con mineralización de óxidos de cobre (exótico) de leyes altas ($CuT \gg 0.2\%$).

f) Grava Mineralizada (GRM). Depósitos sedimentarios que sobreyacen las rocas del área con mineralización residual de óxidos de cobre en clastos y/o matriz ($CuT \geq 0.2\%$).

g) Roca Estéril (GRE). Roca con escasa mineralización ($CuT < 0.2\%$), evidenciada por la falta de sulfuros y/u oxidados de cobre. Se diferencia de la unidad de lixiviado por la ausencia de limonitas.

2.3.2. ESTRUCTURAS

Durante el Eoceno-Oligoceno Inferior, el distrito Chuquicamata fue afectado por un ciclo de deformación contraccional, el cual generó estructuras que controlaron el emplazamiento del Pórfido Chuqui y los procesos de mineralización y alteración hidrotermal asociados a éste (Rojas y Cuadra, 2000). En orden de relevancia se determinan los sistemas de fallas mayores norte-sur, fallas de segundo orden noreste, estructuras de cuarzo noreste y fallas discretas noroeste (figura 5).

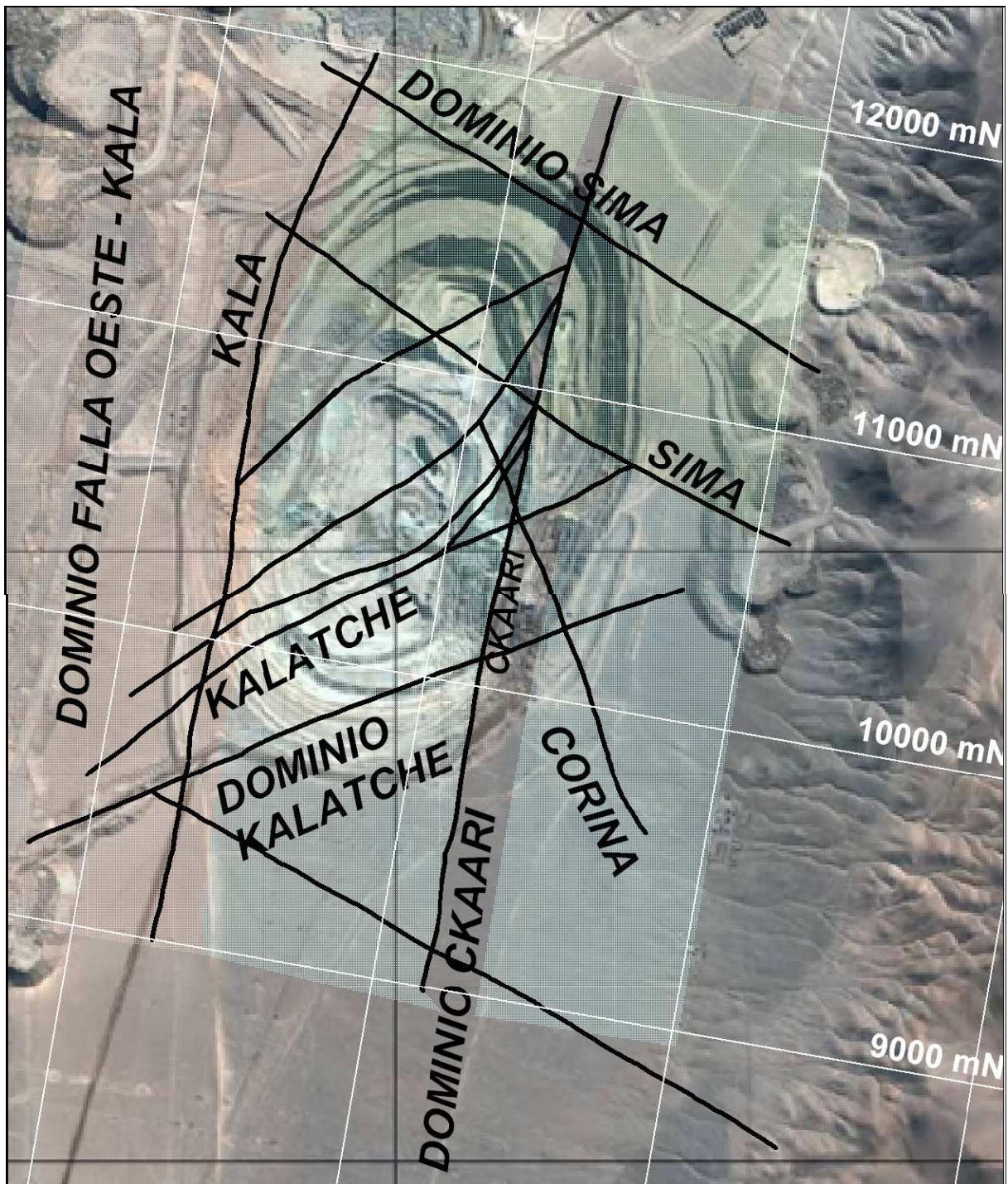


Figura 5. Sistema Estructural Distrital (Leiva et al., 2000).

Las fallas con orientación norte-sur corresponden, en su mayoría a ramificaciones de la Falla Oeste, conformando así el Sistema de Falla Oeste (Cuadra et al., 1997). Desplazamientos dextrales de este sistema generaron algunos elementos estructurales del distrito: las fallas noreste, las vetas y vetillas de cuarzo-sulfuros con rumbo NE o ENE y manteo subvertical (Cuadra y Rojas, 2001). No se conoce bien la relación de las estructuras noroeste, pero en algunos mapas se han mostrado truncando a la falla NS Ckaari y las estructuras NE, por ejemplo en la figura 6.

2.3.2.1. Estructuras Mina Radomiro Tomic

Dentro del sistema norte-sur destacan las fallas Kala y Ckaari que se asocian al desarrollo del sistema de Falla Oeste, limitando a la mina por ambos costados. Las estructuras noreste corresponden principalmente a un sistema conjugado extensional y está fuertemente determinado por la falla Kalatche, que además controla la distribución de la alteración cuarzo-sericítica y su mineralización asociada. Las estructuras del sistema Kalatche en contacto con el sistema Ckaari presentan un cambio de rumbo y manteo, disponiéndose con una orientación N30°E/EO. Las fallas Sima y Corina tienen características compresionales y orientación noroeste.

Todas las fallas y sistemas de fallas descritos a continuación se pueden ver en el esquema estructural del yacimiento (figura 6).

Sistema Puri. Se reconoce en el sector noroeste del rajo. Corresponde a fallas de gran longitud y continuidad, con rumbo N10°-30°E y manteos de 40°-70°. Presenta relleno de sericita-cuarzo-limonita con espesores de 10-50 cm.

Sistema Tarar (Blanca). También se ubica en el sector noroeste de la mina, pero alcanza a ser reconocido en zonas más profundas del rajo y al este del sistema Puri. Presentan rumbo de N30°E y manteo E a subvertical, relleno brechoso de sericita-cuarzo-limonita y espesores de 5-500 cm.

Sistema Ckalal (Canal). Se dispone en los sectores norte y sur del rajo. Su traza es discontinua y controla los paleocanales de grava exótica que se disponen en el yacimiento. Tiene rumbo EO y manteo aproximado 70° al norte y al sur. El relleno corresponde a arcillas-óxidos de cobre y su espesor varía de 3-5 cm.

Sistema Sima. Sólo se reconoce en el sector norte del rajo. Evidencia estructuras discontinuas y de escasa potencia. Su rumbo es N60°O y mantea 60°S. Presenta el mismo relleno del sistema Ckalal y espesor de 5-10 cm.

Sistema Kalatche (Naranja). Este sistema se distribuye a través de todo el eje central de la mina y son estructuras con gran extensión longitudinal. Su orientación predominante es N62°E, pero en el sector sur pueden llegar a tener rumbo N38°, en la intersección con el sistema Ckaari. El manteo es de 68°-88°E. Presenta relleno de cuarzo-limonita con espesores de 0.5-2 m.

Sistema Karao (Espina). Este sistema constituye las fallas de “arrastre” del sistema Kalatche en contacto con las fallas Ckaari. Las estructuras que contempla este sistema se ubican en el sector este del rajo. Tienen rumbo N30°E y manteo 70°-80°. El relleno corresponde a cuarzo-limonitas en espacios de 10-20 cm de espesor.

Sistema Ckaari. Se ubica en el borde este del rajo. Este sistema se caracteriza por su extensa continuidad longitudinal y su alto manteo. Tiene rumbo norte-sur y manteo entre 80°-90° al E y al O. El relleno es del tipo arcilla-limonitas en espesores de 5-10 cm.

Sistema Corina. Se ubica al este de la mina, pero al centro en latitud. Su orientación corresponde a N20°O/65°SO. También presenta relleno de arcilla-limonitas y espesor de 3-5 cm.

Sistema Kala. Se distribuye en el extremo oeste del yacimiento y constituye una zona de falla que provoca un salto topográfico de las gravas cercano a 50 m en la vertical. Se interpretan como estructuras subverticales de orientación norte-sur.

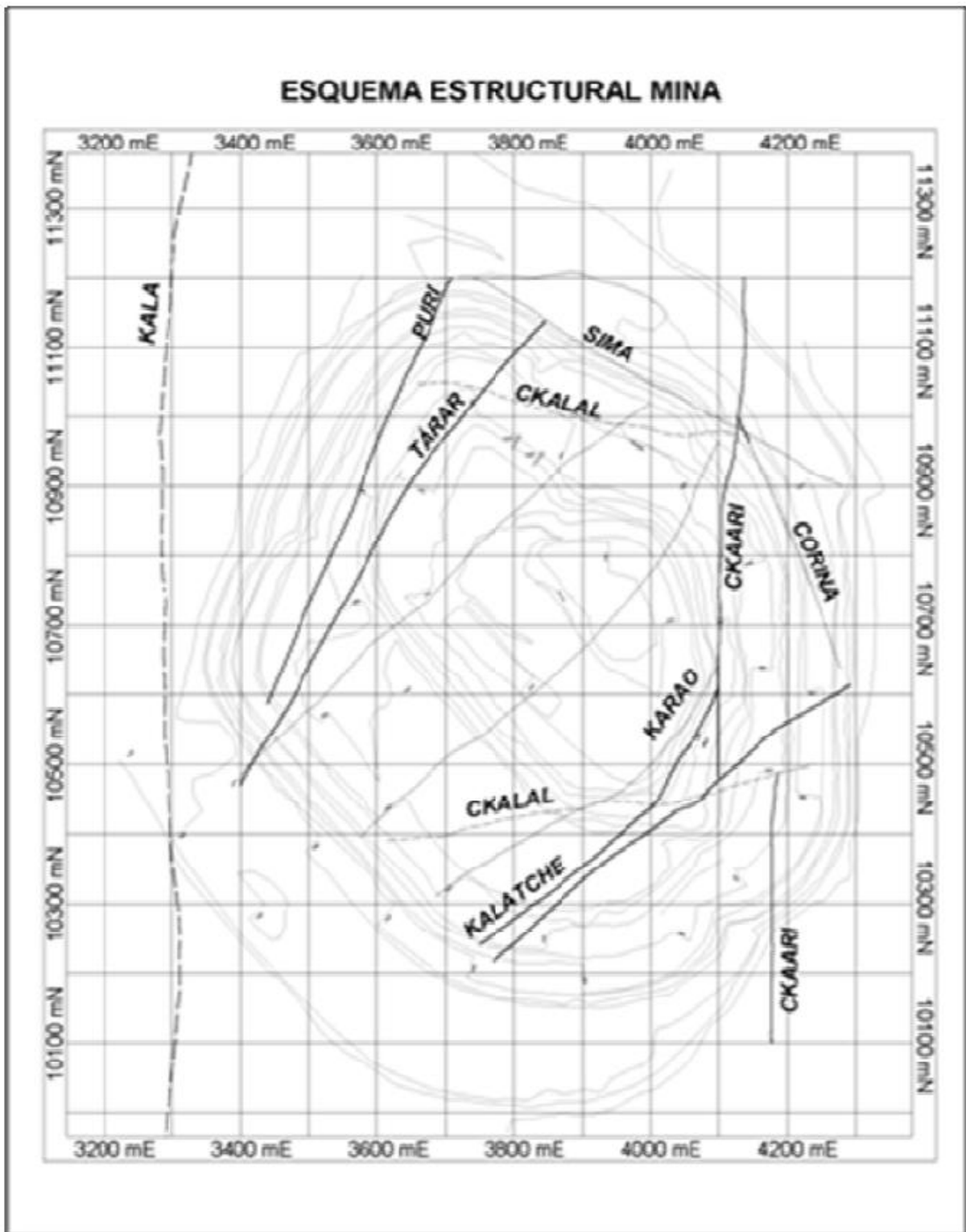


Figura 6. Esquema estructural del yacimiento Radomiro Tomic (Leiva et al., 2000).

III. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

3.1. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Para la realización de este estudio fue necesario recolectar diversos materiales de distintas fuentes. En esta primera etapa, se recolectó información geológica bibliográfica para la elaboración de un marco conceptual y detalles, al estado del arte actual, sobre alteración del tipo cuarzo sericita gris verde en yacimientos del tipo pórfido cuprífero.

3.2. RECOPIACIÓN GEOLÓGICA

Realización de una investigación geológica de la zona de estudio que permita entender las características litológicas, los episodios de alteración y mineralización, además de las estructuras dominantes en el yacimiento. El marco geológico se realiza con el propósito de comprender los procesos involucrados en la génesis del yacimiento.

3.3. MUESTREO

Del estudio previo se seleccionaron zonas idóneas para la toma de muestras. Una vez en el yacimiento, se acotaron las zonas anteriormente definidas y se decidieron los sondajes a utilizar. Para la toma de muestras se utilizaron testigos de sondajes de campañas previas, realizados en labores de mina y de exploración circundante. Se debiera abarcar el sector mina en forma espacialmente homogénea, pero debido a la escases de muestras se ha tomado más de una muestra por sondaje, en algunos casos.

En la figura 7 se puede ver la distribución espacial de los sondeos escogidos para la toma de muestras, de acuerdo a las coordenadas locales del yacimiento. En la simbología las figuras representan la litología, el rombo corresponde al Pórfido Este, el cuadrado al Pórfido Fino y el triángulo al Pórfido Oeste. Por otra parte los colores representan la alteración que tiene la muestra, la alteración fílica (PHY) se denota en color amarillo, la alteración cuarzo sericita gris verde (SGV) en gris y las rocas sin alteración (UNA por su sigla en inglés *Unaltered*) están en color verde.

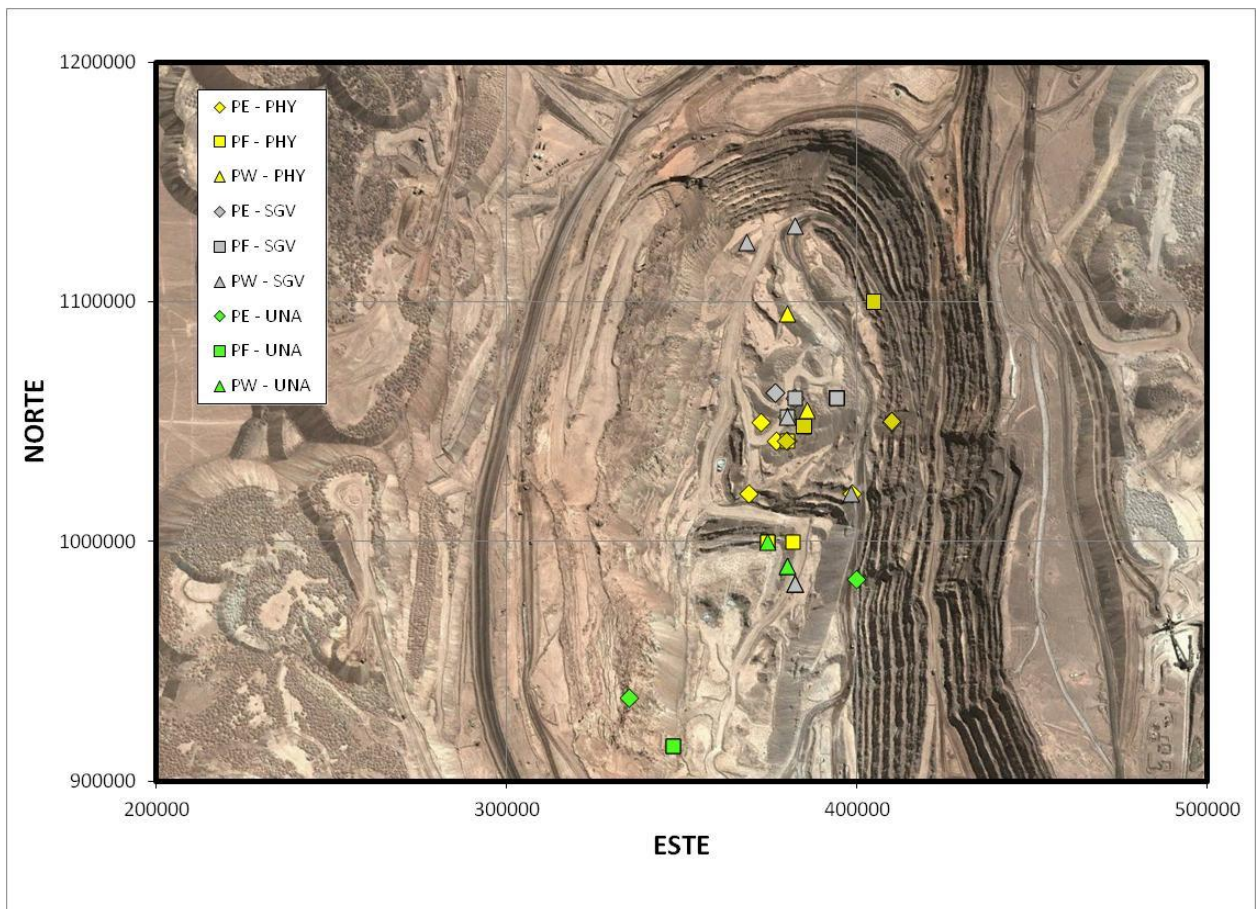


Figura 7. Mapa de distribución de las muestras tomadas en mina RT.

Las muestras se seleccionaron de acuerdo al protocolo de muestreo litogeoquímico desarrollado por Clifford R. Stanley (Acadia University, Nueva Escocia, Canadá) adaptado al estudio de alteraciones hidrotermales.

Para el desarrollo del muestreo litogeoquímico es necesario identificar alteración fílica y alteración cuarzo sericita gris verde por separado en cada una de las tres variedades litológicas, siendo imprescindible determinar la intensidad de la alteración en cada muestra. Además, se debe recolectar muestras de las diversas litologías sin presencia de alteración, esto último se realiza con objeto de usarlas como línea base y generar puntos de comparación.

Para facilitar las labores de muestreo resulta de gran utilidad realizar una tabla guía como la siguiente, que contemple las litologías, alteraciones e intensidades, incluyendo los casos sin alteración.

Tabla 1. Tabla tipo para muestreo litogeoquímico adaptada al caso de tres litologías y dos alteraciones.

		Litología 1		Litología 2		Litología 3	
Alteración 1	Débil						
	Moderado						
	Intenso						
Alteración 2	Débil						
	Moderado						
	Intenso						
Sin Alteración	Roca Fresca						

En la mina Radomiro Tomic, los tipos litológicos que presentan las alteraciones en estudio, se restringen de forma mayoritaria a tres litologías principales: Pórfido Este, Pórfido Fino y Pórfido Oeste, en orden de relevancia cuantitativa.

En este yacimiento se han obtenido las siguientes muestras (Tabla 2) pudiendo observarse un déficit en alteración cuarzo-sericita gris verde intensa para la litología Pórfido Oeste. Se debe indicar que se ha tomado una muestra extra de la alteración cuarzo sericita gris verde intensa para la litología Pórfido Este.

En la Tabla 2 se agregaron contadores de muestra en los costados de filas y columnas. Con esto se denota que el total de muestras obtenidas en la mina Radomiro Tomic asciende a 42.

Tabla 2. Muestras recolectadas en mina Radomiro Tomic.

		Pórfido Este		Pórfido Fino		Pórfido Oeste		
QS	Débil	4892 / QSDE01	6470 / QSDE02	6552 / QSDE03	6475 / QSDE04	6528 / QSDE05	9135 / QSDE06	6
	Moderado	6253 / QSMO01	5002 / QSMO02	4894 / QSMO03	9193 / QSMO04	6449 / QSMO05	9135 / QSMO06	6
	Intenso	4892 / QSIN01	9124 / QSIN04	4995 / QSIN02	9193 / QSIN03	6528 / QSIN05	6558 / QSIN06	6
GV	Débil	4892 / GVDE02	4995 / GVDE04	4988 / GVDE01	6551 / GVDE03	9156 / GVDE05	6528 / GVDE06	6
	Moderado	6253 / GVMO01	5002 / GVMO02	6552 / GVMO03	6551 / GVMO04	9094 / GVMO05	6528 / GVMO06	6
	Intenso	6253 / GVIN01	6552 / GVIN03	4988 / GVIN02	6446 / GVIN04	9047 / GVIN05		5
		4995 / GVIN07						1
RF	Roca Fresca	9198 / RFPE01	9091 / RFPE02	9246 / RFPF01	9246 / RFPF02	9193 / RFPW01	9156 / RFPW02	6
		8	7	7	7	7	6	42

3.4. CARACTERIZACIÓN MINERAL

La caracterización mineral se realiza en pasos sucesivos que permiten detallar en forma progresiva la información de la mineralogía a identificar. En primera instancia se realizó petrografía y calcografía a algunas muestras del yacimiento, las cuales se seleccionan equitativamente entre litologías, alteraciones y sus intensidades (incluido los casos de roca fresca).

Para estos efectos se escogieron 30 muestras, las cuales se presentan en color verde en la Tabla 3.

Tabla 3. Muestras seleccionadas para petrología y calcografía en microscopio.

		Pórfido Este		Pórfido Fino		Pórfido Oeste	
QS	Débil	4892 / QSDE01	6470 / QSDE02	6552 / QSDE03	6475 / QSDE04	6528 / QSDE05	9135 / QSDE06
	Moderado	6253 / QSMO01	5002 / QSMO02	4894 / QSMO03	9193 / QSMO04	6449 / QSMO05	9135 / QSMO06
	Intenso	4892 / QSIN01	9124 / QSIN04	4995 / QSIN02	9193 / QSIN03	6528 / QSIN05	6558 / QSIN06
GV	Débil	4892 / GVDE02	4995 / GVDE04	4988 / GVDE01	6551 / GVDE03	9156 / GVDE05	6528 / GVDE06
	Moderado	6253 / GVMO01	5002 / GVMO02	6552 / GVMO03	6551 / GVMO04	9094 / GVMO05	6528 / GVMO06
	Intenso	6253 / GVIN01	6552 / GVIN03	4988 / GVIN02	6446 / GVIN04	9047 / GVIN05	
		4995 / GVIN07					
RF	Roca Fresca	9198 / RFPE01	9091 / RFPE02	9246 / RFPF01	9246 / RFPF02	9193 / RFPW01	9156 / RFPW02

Luego, se escogieron 5 muestras (resaltadas en Tabla 4) para determinar los minerales predominantes de acuerdo a su estructura cristalina y así poder individualizarlos a través del proceso de difracción de rayos X. Este análisis consiste en una difracción cualitativa en muestras de roca entera pulverizadas en partículas de tamaño < 2 mm.

Tabla 4. Muestras seleccionadas para DRX.

		Pórfido Este		Pórfido Fino		Pórfido Oeste	
QS	Débil	4892 / QSDE01	6470 / QSDE02	6552 / QSDE03	6475 / QSDE04	6528 / QSDE05	9135 / QSDE06
	Moderado	6253 / QSMO01	5002 / QSMO02	4894 / QSMO03	9193 / QSMO04	6449 / QSMO05	9135 / QSMO06
	Intenso	4892 / QSIN01	9124 / QSIN04	4995 / QSIN02	9193 / QSIN03	6528 / QSIN05	6558 / QSIN06
GV	Débil	4892 / GVDE02	4995 / GVDE04	4988 / GVDE01	6551 / GVDE03	9156 / GVDE05	6528 / GVDE06
	Moderado	6253 / GVMO01	5002 / GVMO02	6552 / GVMO03	6551 / GVMO04	9094 / GVMO05	6528 / GVMO06
	Intenso	6253 / GVIN01	6552 / GVIN03	4988 / GVIN02	6446 / GVIN04	9047 / GVIN05	
		4995 / GVIN07					
RF	Roca Fresca	9198 / RFPE01	9091 / RFPE02	9246 / RFPF01	9246 / RFPF02	9193 / RFPW01	9156 / RFPW02

3.5. LITOGEOQUÍMICA

Determinar y cuantificar de manera visual el tipo y grado de alteración hidrotermal de un sistema es complejo, esto dado los problemas de identificación (textura, alteración y meteorización) y los problemas de cuantificación (representatividad geométrica, alteración estructuralmente controlada, múltiples formas de alteración y sobreimposición de estilos de alteración) que puede presentar una muestra. Esto implica que, en general, no es conveniente usar estimaciones visuales como parámetros de exploración para la búsqueda de mineralización, o al menos se debe ser cuidadoso al usar este tipo de datos para no sobrevalorar más de lo que se puede garantizar, y de esta manera no caer en errores durante el proceso de exploración.

La litogeoquímica ha sido empleada en exploraciones para detectar la presencia de alteración hidrotermal asociada a mineralización, con el propósito de hacer más precisa la estimación del tipo y grado de alteración. En sus comienzos, se utilizó de manera estadística, sin utilizar información geológica o geoquímica, y por consiguiente, con pocos criterios petrológicos en las interpretaciones.

En el presente trabajo se plantea una alternativa de uso de la litogeoquímica que utiliza principios petrológicos durante la investigación, que se basa en la Teoría de Transferencia de Materia (específicamente utilizando *Molar Element Ratio* o Razones de Elementos Molares), y que formula hipótesis, las que son testeadas posteriormente (si falla se desecha la hipótesis y se obtiene una explicación). Esta técnica será usada para investigar las causas de las variaciones composicionales en los testigos en estudio.

Un modelo litogeoquímico de variación, debe considerar cuatro componentes:

1. variaciones debidas a errores de medición, que pueden ser introducidos durante muestreo y/o análisis
2. variaciones causadas por el efecto de cierre
3. variaciones causadas por procesos geológicos reales que no son de interés (fraccionamiento)
4. variaciones causadas por procesos geológicos reales de interés (metasomatismo hidrotermal)

La varianza de las cuatro componentes mencionadas arriba es aditiva:

$$\sigma^2_{\text{total}} = \sigma^2_{\text{error}} + \sigma^2_{\text{cierre}} + \sigma^2_{\text{fraccionación}} + \sigma^2_{\text{metasomatismo}}$$

Luego, reorganizando se aísla la variable de interés para exploraciones:

$$\sigma^2_{\text{metasomatismo}} = \sigma^2_{\text{total}} - \sigma^2_{\text{error}} - \sigma^2_{\text{cierre}} - \sigma^2_{\text{fraccionación}}$$

Finalmente, el tratamiento adecuado del *set* de datos litogeoquímicos puede cuantificar la alteración y obtener una solución a la ecuación anterior mediante los siguientes pasos:

- Realizar una medición litogeoquímica (obtener variaciones composicionales, σ^2_{total})
- Evitar efecto de cierre (formar proporciones molares, - σ^2_{cierre})
- Calcular el error de medición (verificar que las variaciones composicionales observadas excedan el error de medición, - σ^2_{error})
- Determinar un modelo de fraccionamiento (remover variación de base o *background* debido a procesos de formación de rocas, - $\sigma^2_{fraccionación}$)

Mediante este conjunto de operaciones, se determina la variable composicional atribuible a metasomatismo hidrotermal, que es lo que se pretende encontrar en este estudio.

Con el afán de obtener óptimos resultados, se deben tomar todas las precauciones posibles para mitigar las diferentes fuentes de error. Es por esto, que la toma de muestras se debe realizar en forma cuidadosa y siguiendo el protocolo para el envío a laboratorio.

Una vez que las muestras fueron enviadas a un laboratorio de análisis geoquímico en Canadá y se obtuvo la base de datos, la cual contiene las concentraciones de los distintos elementos medidos a las muestras, se debe realizar un paso previo antes de implementar la metodología litogeoquímica.

Este primer paso es la revisión estadística de los datos, la cual consiste en realizar un análisis exploratorio con el objeto de pesquisar datos aberrantes, anómalos o repetidos, y de esta forma, evitar posibles

errores o exacerbaciones que pueden generar fallas de arrastre, ya que este tipo de fallas afectarían todo el desarrollo estadístico posterior.

3.6. CONDICIONES FORMADORAS

Para estudiar el carácter inicial de los fluidos y las condiciones de formación, tanto de la alteración fílica como de la alteración cuarzo sericita gris verde, se realizaron análisis de inclusiones fluidas y pseudosecciones en muestras con ambos tipos de alteración sericítica.

Seis muestras se seleccionaron para estudios de inclusiones fluidas en cuarzo secundario, dando especial énfasis en aquellas que presentan alteración cuarzo-sericita gris verde, con la intención de determinar las condiciones físico-químicas de los fluidos formadores de este tipo de mineralogía de alteración y compararlas con las condiciones de los fluidos asociados a la alteración fílica.

Estos estudios se llevaron a cabo en el laboratorio de inclusiones fluidas del Departamento de Geología de la Universidad de Chile, que cuenta con una platina modelo Linkam THMS 500 para calentamiento y enfriamiento entre -196°C y temperaturas superiores a 500°C . El calentamiento de la platina se hace eléctricamente y el enfriamiento se realiza haciendo pasar nitrógeno líquido por la ranura de la platina donde se inserta la muestra. En este estudio las muestras corresponden a cortes doblemente pulidos, pues el microscopio de este laboratorio está dotado solamente de luz transmitida.

En consecuencia, este estudio se realizó siguiendo el método microtermométrico que se basa en la modificación de las relaciones de fases por influencia térmica, en primera instancia un calentamiento para determinar la temperatura de homogenización y luego criometría de la inclusión para obtener su temperatura de fusión.

Las muestras estudiadas se presentan resaltadas en la Tabla 5 y han sido seleccionadas por cantidad y tipo de inclusiones que poseen.

Tabla 5. Muestras seleccionadas para análisis de inclusiones fluidas de Mina Radomiro Tomic.

		Pórfido Este		Pórfido Fino		Pórfido Oeste	
QS	Débil	4892 / QSDE01	6470 / QSDE02	6552 / QSDE03	6475 / QSDE04	6528 / QSDE05	9135 / QSDE06
	Moderado	6253 / QSMO01	5002 / QSMO02	4894 / QSMO03	9193 / QSMO04	6449 / QSMO05	9135 / QSMO06
	Intenso	4892 / QSIN01	9124 / QSIN04	4995 / QSIN02	9193 / QSIN03	6528 / QSIN05	6558 / QSIN06
GV	Débil	4892 / GVDE02	4995 / GVDE04	4988 / GVDE01	6551 / GVDE03	9156 / GVDE05	6528 / GVDE06
	Moderado	6253 / GVMO01	5002 / GVMO02	6552 / GVMO03	6551 / GVMO04	9094 / GVMO05	6528 / GVMO06
	Intenso	6253 / GVIN01	6552 / GVIN03	4988 / GVIN02	6446 / GVIN04	9047 / GVIN05	
		4995 / GVIN07					
RF	Roca Fresca	9198 / RFPE01	9091 / RFPE02	9246 / RFPF01	9246 / RFPF02	9193 / RFPW01	9156 / RFPW02

Por otra parte, para poder evaluar las condiciones termodinámicas en las que ocurrieron estos procesos de alteración se realizaron dos pseudosecciones, una de éstas en una muestra con alteración cuarzo sericita gris verde y la otra en una muestra con alteración filica.

Las pseudosecciones son diagramas de fases en el espacio PT con diversos campos de estabilidad de asociaciones minerales. Estos diagramas se realizan en base a la composición química de los elementos mayores medidos en forma de óxidos y a la mineralogía previamente estudiada de las muestras.

La teoría de las pseudosecciones proviene del entendimiento de las soluciones sólidas y los pseudocomponentes (Spear, 1993). Con una buena base de datos termodinámica se puede generar un diagrama P-T para diferentes fases minerales puras y al superponer estos gráficos conociendo la mineralogía presente en una muestra, se obtendría un diagrama de estabilidad de asociaciones en el espacio P-T. Pero cuando se tienen soluciones sólidas, la variabilidad composicional es mucho más grande y su estabilidad no sólo depende de las condiciones de presión y temperatura, sino que de los componentes químicos presentes o involucrados en procesos posteriores. Por ejemplo, una alteración postgenética puede generar un cambio dentro una solución sólida y no necesariamente cambiar el tipo mineral.

Debido a esto, se hace un estudio en base a pseudocomponentes para cada una de las soluciones sólidas presentes en el sistema a analizar. Los pseudocomponentes corresponden a aproximaciones de las fases a través de una serie de “*componentes*” arbitrarios. En la práctica, un pseudocomponente es una combinación lineal de componentes presentes en una fase, de manera que el miembro extremo mineral o estadio mineral establecido por esa combinación sea estable. En la Tabla 6 se puede ver un ejemplo de pseudocomponentes definidos para la clorita.

Tabla 6. Extracto de variabilidad clorítica para construcción de pseudosecciones.

Solution: Chl(HP)				
<i>End-member fractions:</i>	<i>Daph</i>	<i>Ames</i>	<i>Afchl</i>	<i>Clin</i>
Ch_1_038	0.390	0.000	0.000	0.610
Ch_2_038	0.391	0.000	0.008	0.601
Ch_3_038	0.391	0.000	0.010	0.599
Ch_4_038	0.389	0.008	0.000	0.603
...
...

En este estudio se construyen las pseudosecciones en modelamiento inverso (Powell y Holland, 2010) de la siguiente manera: al programa utilizado se le entregan los modelos de solución sólida y la química de roca total, luego éste escribe reacciones balanceadas entre los constituyentes para cada componente estable de la fase (pura o solución sólida), se asume equilibrio químico en cada una de las reacciones antes descritas ($0 = \Delta G^\circ + RT \ln K$), donde ΔG° es una función de P y T (las cuales se derivan de las propiedades de los miembros extremos) y K es una función de las actividades de las fases minerales.

Finalmente, el programa evalúa en cada píxel del gráfico (espacio P-T previamente definidos por el ejecutor), cuáles son las fases minerales más estables para todos los tipos minerales ingresados según petrografía. Esto lo hace de manera recursiva hasta completar todo el espacio P-T en observación.

IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos de los distintos procedimientos analíticos realizados en este estudio. Éstos se muestran agrupados por el tipo de información obtenida en la aplicación de cada metodología.

Por medio de la descripción macroscópica realizada a las muestras, se sospecha de inconsistencia en la clasificación del tipo de alteración que presentan algunas de éstas. Lo anterior, no necesariamente denota una mala descripción original, sino que puede estar exhibiendo un comportamiento de mezcla y/o superposición de los eventos de alteración. Por lo tanto, se decide tratar aquellas muestras por separado en las representaciones gráficas, es decir, se cambió su color para facilitar su diferenciación, pero se preserva su información geográfica y geoquímica.

En la Tabla 7 se puede observar la clasificación de muestras que se utilizará en este informe para denotar las distintas alteraciones, las muestras en amarillo son representativas de alteración fílica, las muestras en gris de alteración cuarzo sericita gris verde y las muestras en verde corresponden a aquellas que no presentan ninguno de estos tipos de alteración. Además desde ahora en adelante, se distinguen aquellas muestras que han sido cambiadas de su categoría original con tonalidades más oscuras, pero representativas de su nueva clasificación (gris o amarillo) y se han detectado dos muestras que presentan fuerte anomalía del resto del grupo quedando marcadas en rojo.

Tabla 7. Clasificación de muestras de acuerdo a su tipo de alteración sericitica.

		Pórfido Este		Pórfido Fino		Pórfido Oeste	
QS	Débil	4892 / QSDE01	6470 / QSDE02	6552 / QSDE03	6475 / QSDE04	6528 / QSDE05	9135 / QSDE06
	Moderado	6253 / QSMO01	5002 / QSMO02	4894 / QSMO03	9193 / QSMO04	6449 / QSMO05	9135 / QSMO06
	Intenso	4892 / QSIN01	9124 / QSIN04	4995 / QSIN02	9193 / QSIN03	6528 / QSIN05	6558 / QSIN06
GV	Débil	4892 / GVDE02	4995 / GVDE04	4988 / GVDE01	6551 / GVDE03	9156 / GVDE05	6528 / GVDE06
	Moderado	6253 / GVM001	5002 / GVM002	6552 / GVM003	6551 / GVM004	9094 / GVM005	6528 / GVM006
	Intenso	6253 / GVIN01	6552 / GVIN03	4988 / GVIN02	6446 / GVIN04	9047 / GVIN05	
		4995 / GVIN07					
RF	Roca Fresca	9198 / RFPE01	9091 / RFPE02	9246 / RFPF01	9246 / RFPF02	9193 / RFPW01	9156 / RFPW02

4.1. CARACTERIZACIÓN MINERAL

La caracterización mineral ha sido evaluada en análisis petrográficos, calcográficos y apoyados por algunas muestras analizadas a través del método de difracción de rayos X cualitativo.

Los estudios petrográficos y calcográficos han sido llevados a cabo en 30 de las 42 muestras tomadas de este yacimiento.

Todas las muestras fueron descritas en microscopio petrográfico y los resultados están en el Anexo B junto con las fotografías relevantes para cada caso.

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos a través de los métodos microscópicos.

4.1.1. PETROGRAFÍA

- Todas las muestras tienen sericita como agregado microcristalino de alteración, incluso aquellas consideradas como rocas sin alteración. Con esto se determina que este tipo de mineralogía de alteración presenta una distribución espacial importante, siendo probablemente la alteración más desarrollada en intensidad y en distribución en el yacimiento.
- La sericita asociada a alteración fílica es más pequeña (menor a 0,3 mm) y se presenta de forma más compacta o densa que la sericita asociada a la alteración cuarzo sericita gris verde. Ambos tipos de sericitas no son excluyentes, muchas muestras presentan ambos tipos coexistiendo.
- 27 de las 30 muestras estudiadas petrográficamente presentan minerales opacos (ehedrales y anhedrales) en asociación directa con cuarzo secundario y sericita y/o dentro de vetillas de cuarzo secundario con halo sericítico.
- Relacionado con lo expuesto anteriormente, las concentraciones y tamaños de los minerales opacos sube levemente al aumentar la intensidad dentro de la alteración fílica o al aumentarla dentro de la alteración cuarzo sericita gris verde, pero se marca un salto muy abrupto al pasar de alteración fílica a alteración cuarzo sericita gris verde, representado en concentración promedio de 15% y con tamaños que llegan hasta los 8 mm en minerales opacos.
- Las muestras catalogadas como alteradas a sericita gris verde, presentan una amplia variabilidad mineralógica, incluyendo minerales primarios y minerales de alteración, probablemente desarrollados antes o sincrónicos con la alteración sericítica (por ejemplo feldespato, andalucita, actinolita y biotita secundaria).
- Sólo 7 muestras contiene clorita, de las cuales 3 corresponden a las rocas menos alteradas de este estudio y 4 a muestras con sericita gris verde. Algunas de las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde aún tienen biotita, por lo que la generación de clorita puede deberse a una alteración (singenética o posterior al evento sericítico) de la biotita presente en aquellas muestras.

- 18 de las muestras descritas se puede observar granos de rutilo, dióxido de titanio, en unidades morfológicas similares a la titanita (también llamada “esfeno”). La titanita es un óxido de titanio (nesosilicato carbonatado) y se suele encontrar como mineral accesorio en rocas plutónicas intermedias y félsicas (Ralph, 2000). Por lo tanto, queda en evidencia que la titanita se altera perdiendo Ca^+ y SiO_2 . El dióxido de silicio puede participar en reacciones químicas generando ambos tipos de alteraciones sericíticas. El calcio, probablemente, continúa en solución hasta niveles más superficiales para incorporarse a fases minerales de alteraciones posteriores.
- Tres muestras contienen andalucita, todas tienen mineralogía asociada a alteración cuarzo sericita gris verde.
- Se puede encontrar biotita en muestras de roca fresca y en muestras alteradas con sericita gris verde, especialmente las muestras menos alteradas. Algunas de éstas evidencian flogopitización.
- Una muestra contiene epidota, la cual se asocia a alteraciones posteriores a las sericíticas y se considera como errática.
- 17 muestras contienen arcillas en un rango amplio de su desarrollo. Se determinan arcillas penetrativas, selectivas en diferentes grados y ausencia total.
- Solamente 4 muestras evidencian minerales del grupo de los óxidos e hidróxidos de hierro que sean apreciables en corte transparente.
- La mayoría de las muestras presenta más de un evento de alteración y en algunas se puede evaluar su temporalidad en forma relativa. Los eventos de alteración corresponde a potásico de fondo, sericita gris verde, alteración fílica y arcillas.
- Una muestra con alteración cuarzo sericita gris verde presenta alunita en 5% del corte. Se entiende como un caso anómalo, posiblemente superposición de una alteración posterior, por lo tanto, este mineral no se considerará en el procedimiento litogeoquímico, ya que tampoco se identifica en los análisis mineralógicos o de estabilidad de asociaciones minerales.
- Una muestra presenta el mineral bassanita $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Éste se encuentra en forma natural, solamente en el Vesubio y en el Valle Panamint de California (paralelo al Valle de la Muerte). Se puede formar artificialmente por calentamiento de yeso, pudiendo haberse generado durante la

preparación del corte transparente. Se considera errático y no relacionado a las características geológicas del yacimiento.

4.1.2. CALCOGRAFÍA

- Los principales minerales opacos reconocibles son calcopirita, pirita, bornita y algunos óxidos e hidróxidos de hierro (hematita y goethita).
- Es común encontrar calcopirita en exsolución con bornita. También se observa digenita-calcosina reemplazando bordes de calcopirita y bornita.
- La pirita se asocia únicamente con calcopirita o calcosina. Calcosina se presenta escasamente.
- Al igual que en la observación petrográfica, las concentraciones y tamaños de los minerales opacos sube levemente al pasar a mayores intensidades dentro de la alteración fílica o dentro de la alteración cuarzo sericita gris verde. Pero, al pasar de alteración fílica a alteración cuarzo sericita gris verde el porcentaje de minerales opaco promedio sube un 2.5% y el tamaño promedio de estos minerales aumenta 2 mm aproximadamente.
- La alteración fílica presenta absoluta predominancia de pirita, con o sin presencia de calcopirita. En cambio, la alteración cuarzo sericita gris verde muestra predominancia de calcopirita y bornita. Lo anterior es consistente con la hipótesis que plantea que son dos etapas de alteración separadas en el tiempo.
- Se ha determinado también, que existen muestras que presentan pirita-calcopirita y otras que presentan calcopirita-bornita. Sólo en una muestra se presentan estos tres minerales.
- Dos muestras catalogadas como alteración fílica “normal” presentan bornita (sin pirita). En el caso contrario, existen dos muestras alteradas con sericita gris verde que presentan pirita.

- En la mitad de las muestras se observan óxidos y/o hidróxidos de hierro supérgenos, aun cuando son grados muy bajos, esto representa otro evento en el sistema por lo que también delimita condiciones físico-químicas a las que alguna vez estuvo expuesto el depósito.
- Se determina que las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde presentan magnetita-hematita en reemplazo, pero sólo una muestra supera el 5%. Además se observa una muestra con alteración cuarzo sericita gris verde que presentan solamente hematita, por lo que se infiere que la magnetita fue totalmente reemplazada.
- Las muestras con alteración filica presentan sólo hematita como óxido de hierro, pero siempre acompañadas de pirita.
- Las muestras denominadas sin alteración presentan niveles de magnetita-hematita hasta un 5%. En cambio, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde tiene valores superiores llegando a presentar hasta un 30% de esta asociación.
- Se puede observar molibdenita en una muestra catalogada como “sin alteración” y en una muestra con alteración cuarzo sericita gris verde débil. En el caso de la muestra alterada con sericita gris verde se ha determinado un 1% de molibdenita, pudiendo ser un relicto previo a aquella alteración sericítica o cogenético con ésta.

4.1.3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Los resultados de los análisis de rayos X sobre 5 muestras evidencian que las muestras con alteración filica presentan menos componentes minerales en el rango de detección del método que las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde. En el caso de las muestras con alteración filica, todas éstas presentan cuarzo y moscovita, además de calcopirita, pirita o ambas. En cambio, en las muestras con cuarzo sericita gris verde se observa además de cuarzo y moscovita, calcopirita y microclina, nunca presentando pirita. También algunas de éstas muestras presentan óxido de Sr y Zr (SrZrO_3), andalucita, bernalita, fosfato silícico y/o un mineral de Cu y Ti (Cu_4Ti).

En el Anexo A pueden verse los cinco difractogramas realizados a las muestras del yacimiento Radomiro Tomic, más cuatro difractogramas realizados a muestras del yacimiento Mina Ministro Hales. En este yacimiento se realizaron análisis de difracción de rayos X cualitativa análogos a los llevados a cabo en la mina RT, es decir, DRX en ambos tipos de alteraciones sericíticas. Estos resultados se utilizaron como punto de comparación con respecto a los resultados obtenidos en el yacimiento Radomiro Tomic.

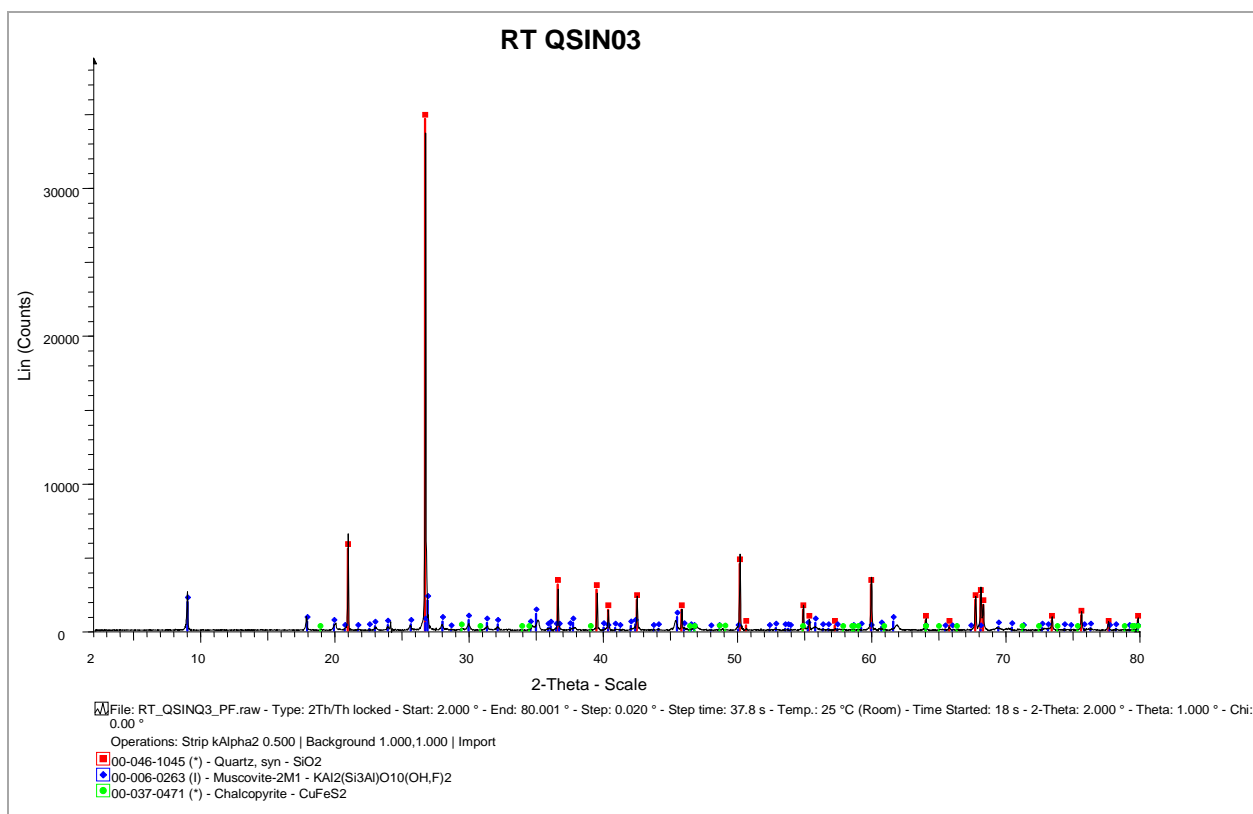


Figura 8. Difractograma de muestra QSIN03 con alteración filica.

En la figura 8 se observa el difractograma de una de las muestras con alteración filica del yacimiento Radomiro Tomic. Esta figura es característica de este tipo de alteración en ambos yacimientos y evidencia baja diversidad mineralógica dentro de lo que este método permite detectar, es decir, concentraciones mayores a 5%.

Tabla 8. Composición de una muestra con alteración fílica analizada del yacimiento MMH.

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂
00-042-1340 (*)	Pirita	FeS ₂

La Tabla 8 resume los minerales detectados mediante difracción de rayos X en una muestra con alteración fílica del yacimiento Mina Ministro Hales. De acuerdo al estudio de los difractogramas de ambos yacimientos, estos minerales son los característicos de la alteración fílica, la única variabilidad en esta alteración es la presencia o ausencia de uno de los sulfuros.

En los difractogramas de muestras alteradas con sericita gris verde también pueden observarse los *peaks* característicos del cuarzo y la moscovita. En algunos casos además se observa una amplia variedad de otros minerales, que no corresponden a mineralización (ver ejemplo en figura 9).

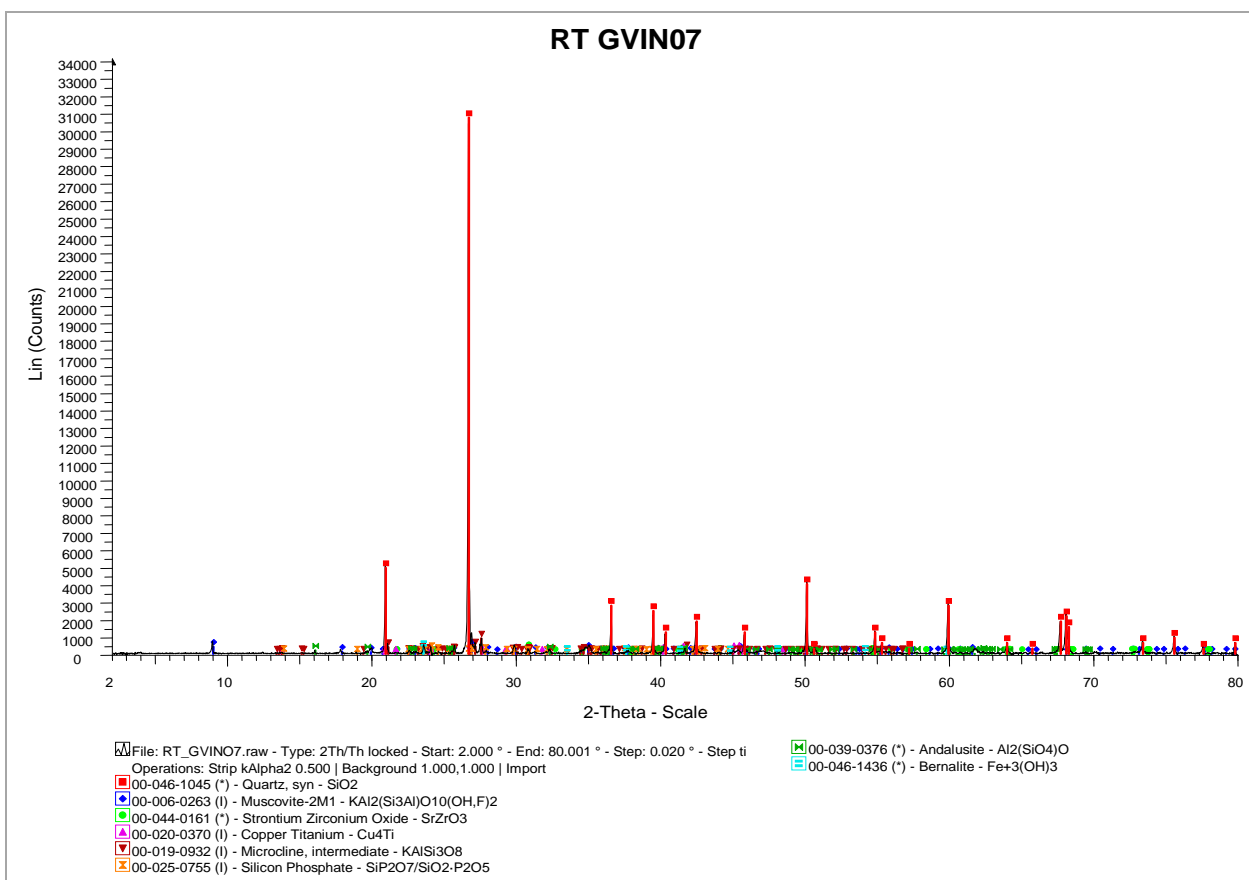


Figura 9. Difractograma de muestra GVIN07 con alteración cuarzo sericita gris verde.

Tabla 9. Composición de muestra GVIN07 con alteración cuarzo sericita gris verde.

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo,	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-044-0161 (*)	Óxido de Estroncio y Zirconio	SrZrO ₃
00-020-0370 (I)	Aleación Cobre Titanio	Cu ₄ Ti
00-019-0932 (I)	Microclina	KAlSi ₃ O ₈
00-025-0755 (I)	Fosfato de Silicio	SiP ₂ O ₇ /SiO ₂ ·P ₂ O ₅
00-039-0376 (*)	Andalucita	Al ₂ (SiO ₄)O
00-046-1436 (*)	Bernalita	Fe ⁺³ (OH) ₃

Del estudio de difracción de rayos X en ambos tipos de alteración se evidencia que la principal diferencia es la cantidad y tipo de minerales encontrados. En la alteración cuarzo sericita gris verde (ejemplo en Tabla 9) se identificaron entre 4 y 7 minerales primarios o de alteración, en cambio, la alteración fílica sólo muestra cuarzo y moscovita.

Se observa gran variabilidad en los resultados de este procedimiento analítico con respecto a los tipos de alteración en estudio, lo cual puede deberse a la alta tasa de error en la diferenciación de estas alteraciones o a que la cantidad de muestra utilizada en estos análisis es muy pequeña y no representativa de la muestra total, por ejemplo, una muestra de 20 cm que fue inicialmente colectada como alterada a sericita blanca, puede haber tenido un cúmulo de sericita gris verde y viceversa. Por estas dos razones no es recomendable realizar difracción de rayos X con muestras catalogadas previamente. Más investigación hace falta para comprobar si este tipo de análisis es capaz de clasificar estas alteraciones sericíticas de forma predictiva.

Si se pudiera considerar el criterio anteriormente descrito como patrón general para diferenciar entre alteración fílica y alteración cuarzo sericita gris verde, se identifican dos muestras posiblemente mal clasificadas. Las muestras GVIN04 y GVIN02 del yacimiento RT han sido colectadas como muestras alteradas a sericita gris verde, pero los resultados de ambas difracciones de rayos X son más parecidos, en mineralogía y difractograma, a los resultados obtenidos para las muestras con alteración fílica. La diferencia en la clasificación de estas muestras también se observa desde el punto de vista macroscópico y geoquímico.

4.2. GEOQUÍMICA

Se analizaron 49 muestras en el laboratorio ACME Labs de Vancouver, Canadá. Las muestras corresponden a las 42 tomadas en la mina Radomiro Tomic más 7 *blind reference material*. Estos materiales de referencia desconocidos son pulpas que han sido agregados al conjunto de muestras antes

de su envío al laboratorio con el fin de estimar el error analítico de las variables al duplicar sus mediciones.

4.2.1. PRESENTACIÓN DE DATOS GEOQUÍMICOS

En esta sección se presentan los datos iniciales entregados por el laboratorio. El certificado original se encuentra en el Anexo C que muestra los valores medidos de las 49 muestras analizadas más los resultados de las mediciones de duplicados analíticos, blancos y estándares.

Antes de proceder a cualquier manipulación analítica de los datos es necesario tomar algunas medidas preventivas para detectar la posible presencia de errores inducidos en el tratamiento de las muestras y para determinar la confianza de nuestra base de datos. En esta sección se hace una primera revisión general de los valores y se presentan los parámetros estadísticos básicos. Este proceso de revisión se completa en las secciones 4.2.2 y 4.2.3 con el control de calidad de los procedimientos de laboratorio y el análisis exploratorio de los datos.

La revisión de las estadísticas básicas para los 62 elementos medidos en 49 muestras se puede observar en la Tabla 10.

En la tabla antes indicada se pueden identificar algunos rasgos generales, por ejemplo, que existen 19 elementos con mínimos bajo el límite de detección del método analítico utilizado.

Los elementos Cd, Sb y Ni (ambos métodos) tienen valores máximos que se escapan del resto de las mediciones, todos estos casos corresponden solamente a una muestra de valor excepcional, la muestra asociada al valor máximo. También se observan máximos elevados en As y Zn, pero no tan distales del

resto de las mediciones y se considera común encontrar estos elementos elevados en sistemas tipo pórfido cuprífero.

Un parámetro estadístico básico es la desviación estándar (DS), pero debido a que las desviaciones estándares dependen de los valores relativos de cada elemento, se ha calculado el coeficiente de variación CV de acuerdo a la fórmula (1), que se utiliza para contrastar series de datos con valores no comparables o en distintas unidades.

$$CV = \frac{DS}{Media} \quad (1)$$

Del estudio de los CV se ha determinado que existen algunas variables que se encuentran en un rango extremadamente alto, llegando a tener coeficientes de variación mayor a 4. Estas variables son Cr, Ni, Total C, Cd, Sb y Hg.

En la siguiente sección se revisan los valores de acuerdo a criterios preestablecidos para control de calidad de datos geoquímicos.

Tabla 10. Estadígrafos de datos geoquímicos.

Elemento []	<i>SiO2</i> %	<i>Al2O3</i> %	<i>Fe2O3</i> %	<i>MgO</i> %	<i>CaO</i> %	<i>Na2O</i> %	<i>K2O</i> %	<i>TiO2</i> %	<i>P2O5</i> %
Mínimo	52.52	9.25	0.49	0.26	0.05	0.1	0.53	0.12	0.03
Máximo	81.64	16.82	10.74	7.25	8.13	5	6.59	1.31	0.25
Media	70.748	14.870	2.223	0.804	1.331	1.764	4.127	0.274	0.097
DS	5.268	1.607	2.023	1.130	1.855	1.799	1.427	0.196	0.043
CV	0.074	0.108	0.91	1.405	1.394	1.02	0.346	0.713	0.446

Elemento []	<i>MnO</i> %	<i>Cr2O3</i> %	<i>Ni</i> ppm	<i>Sc</i> ppm	<i>LOI</i> %	<i>Sum</i> %	<i>Ba</i> ppm	<i>Be</i> ppm	<i>Co</i> ppm
Mínimo	<0.01	<0.002	<20	1	0.2	95.25	101	<1	0.4
Máximo	0.14	0.032	174	33	9.7	99.97	1257	3	45.4
Media	1.90E-02	1.53E-03	<9.673	4.224	2.582	98.851	567.939	1.714	4.271
DS	3.61E-02	6.26E-03	31.976	5.112	1.566	1.011	279.966	1.190	7.202
CV	1.903	4.091	3.305	1.21	0.606	0.01	0.493	0.694	1.686

Elemento []	<i>Cs</i> ppm	<i>Ga</i> ppm	<i>Hf</i> ppm	<i>Nb</i> ppm	<i>Rb</i> ppm	<i>Sn</i> ppm	<i>Sr</i> ppm	<i>Ta</i> ppm	<i>Th</i> ppm
Mínimo	0.1	13.9	1.3	1.4	6.5	<1	9	<0.1	0.6
Máximo	9.2	35.2	3.9	7.6	169.7	27	1028.5	0.8	11.4
Media	2.135	21.200	2.812	5.527	95.241	6.755	257.831	0.373	4.598
DS	1.988	4.508	0.434	1.284	41.390	6.805	265.150	0.145	2.084
CV	0.931	0.213	0.154	0.232	0.435	1.007	1.028	0.389	0.453

Elemento []	<i>U</i> ppm	<i>V</i> ppm	<i>W</i> ppm	<i>Zr</i> ppm	<i>Y</i> ppm	<i>La</i> ppm	<i>Ce</i> ppm	<i>Pr</i> ppm	<i>Nd</i> ppm
Mínimo	0.2	17	<0.5	44	1.4	4.7	9.5	1.36	4.7
Máximo	5.4	278	50.6	139	20	20.2	37.8	4.24	16.4
Media	1.657	59.918	19.249	98.802	5.800	14.002	27.614	2.957	10.947
DS	0.874	44.259	14.488	17.972	4.007	3.897	7.068	0.683	2.596
CV	0.527	0.739	0.753	0.182	0.691	0.278	0.256	0.231	0.237

Elemento []	<i>Sm</i> ppm	<i>Eu</i> ppm	<i>Gd</i> ppm	<i>Tb</i> ppm	<i>Dy</i> ppm	<i>Ho</i> ppm	<i>Er</i> ppm	<i>Tm</i> ppm	<i>Yb</i> ppm
Mínimo	0.72	0.16	0.48	0.04	0.27	0.02	0.11	<0.01	0.17
Máximo	3.11	1.18	3.3	0.54	3.17	0.7	2.12	0.31	2.19
Media	1.703	0.459	1.327	0.176	0.953	0.183	0.544	0.079	0.592
DS	0.526	0.192	0.624	0.111	0.667	0.143	0.431	0.063	0.410
CV	0.309	0.418	0.47	0.632	0.7	0.783	0.791	0.807	0.692

Elemento []	<i>Lu</i> ppm	<i>TOTAL C</i> %	<i>TOTAL S</i> %	<i>Mo</i> ppm	<i>Cu</i> ppm	<i>Pb</i> ppm	<i>Zn</i> ppm	<i>Ni</i> ppm
Mínimo	0.02	<0.02	<0.02	0.3	9.1	0.4	7	0.3
Máximo	0.34	2.03	2.61	376.1	>10000	38.6	692	144.9
Media	0.091	0.060	0.724	69.594	5722.855	4.424	50.980	5.035
DS	0.063	0.295	0.632	97.135	4262.626	6.828	100.022	20.877
CV	0.695	4.935	0.872	1.396	0.745	1.543	1.962	4.147

Elemento []	<i>As</i> ppm	<i>Cd</i> ppm	<i>Sb</i> ppm	<i>Bi</i> ppm	<i>Ag</i> ppm	<i>Au</i> ppb	<i>Hg</i> ppm	<i>Tl</i> ppm	<i>Se</i> ppm
Mínimo	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	<0.01	<0.1	<0.5
Máximo	84.6	457.8	1.2	9.7	13.7	192.8	0.13	0.4	8.5
Media	4.633	9.647	0.033	0.884	2.608	30.916	0.0059	<0.065	2.202
DS	13.070	65.367	0.313	1.667	3.521	42.526	0.0349	0.109	2.154
CV	2.821	6.776	9.59	1.89	1.35	1.376	5.89	1.67	0.98

4.2.2. CONTROL DE CALIDAD

La primera etapa de este proceso consistió en agregar 7 muestras de pulpa al grupo antes del envío al laboratorio, para que sean analizadas dentro del lote. Estas muestras se utilizarán posteriormente para medir la precisión de las mediciones y calcular del error analítico.

En segundo lugar, se estudian las muestras de control separadas por tipo para evaluar cuáles parámetros (contaminación, precisión y exactitud) han sido afectados durante el proceso. Finalmente, se determina la confianza de cada variable a través de su error analítico.

En el proceso de control de calidad del laboratorio se realizaron dos mediciones de blancos por método analítico utilizado. En este caso se utilizaron tres métodos: método denominado 4A-4B para los elementos en el rango SiO_2 -Lu, método 1DX para Mo-Se y método 2A Leco para Total C y Total S, ordenados de acuerdo a la Tabla 10. Estas mediciones se hacen para evaluar la ocurrencia de contaminación durante el proceso de medición.

Además de la contaminación durante el proceso de medición, también podría ocurrir contaminación durante la preparación de las muestras. Para comprobar esto se realizaron dos mediciones denominadas *preparation wash* (muestra G1) que consisten en medir algún material de roca sólido de gran tamaño con valores conocidos, por ejemplo un pedazo de cuarzo. Este material pasa a través de todo el proceso de preparación de muestras y luego es medido en dos ocasiones para comparar aquellos valores entre sí.

Se realizó la medición de muestras estándares o valores de referencia predeterminados por cada método analítico. Para el caso de las muestras medidas por el método 4A-4B se realizaron cuatro mediciones de estándares con el material denominado SO-18. Para el método 2A Leco se realizaron otras cuatro mediciones de estándares en las muestras OREAS76A y CSC. Y para el caso de los seis estándares medidos con el método 1DX se analizaron dos veces cada una de las muestras DS8, OREAS45PA y

OREAS45CA. Esto se hace con el objetivo de medir la exactitud o la cercanía de los resultados obtenidos a su valor verdadero o valor de referencia esperado.

El control de calidad del laboratorio se completa con el análisis de dos duplicados de material desconocido (muestras J-O y N-I), dos duplicados de preparación (muestras QSDE02 y GVIN02) y cinco duplicados de pulpa (muestras J, QSDE06, RFPW02, GVM006, GVM002) que permiten controlar la reproducibilidad analítica de las mediciones o precisión en cada etapa del proceso.

Los resultados analíticos obtenidos en las mediciones antes descritas se pueden observar en el Anexo C que corresponde al certificado original entregado por el laboratorio. En éste se pueden revisar los valores obtenidos en duplicados y blancos, además de comparar los resultados obtenidos en los estándares con sus valores esperados.

Para evaluar la eficiencia del proceso de control de calidad inducido por el laboratorio se analizan los resultados de las mediciones de blancos, estándares y duplicados. Con respecto a los blancos, se valida que el proceso no incurrió en contaminación, pues en todas las mediciones de blancos se obtienen valores bajo el límite de detección de cada variable, esto se puede ver en el Anexo D.

La contaminación durante la preparación de muestras se mide evaluando los resultados de la muestra G1. Para esto se calcula el coeficiente de variación porcentual a partir de las dos mediciones. De este estudio se observa que existen dos posibles contaminaciones de los elementos La y Ce por poseer un coeficiente de variación mayor a 10%, además de cuatro probables contaminaciones por Be, Cu, Pb y Au.

Los resultados de las muestras estándares se estudian según el método utilizado. Para todos los métodos se fija que el rango de distancia máxima aceptada con respecto a los valores esperados del estándar es de 10% (Anexo D).

Para el método denominado 2A Leco se realizaron dos mediciones de cada estándar (OREAS76A y CSC). Este método considera las variables Total C y Total S, y se determina que sólo una de las 8 mediciones cae fuera del rango aceptado, ver Anexo D.

Para el método 4A-4B se evaluaron los 46 elementos que aparecen en la figura 10 de acuerdo a la muestra estándar SO-18. Algunos valores de esta figura se modificaron por potencias de 10, para asegurar que estuvieran en el rango 1-100 y así poder mostrar los resultados en escala logarítmica para una mejor visualización gráfica de los datos. En el gráfico se ven las cuatro mediciones distinguidas por colores y se concluye que la mayoría de los elementos medidos se encuentran dentro del rango aceptado, a excepción de los elementos Tm, Sm, Gd y Ta.

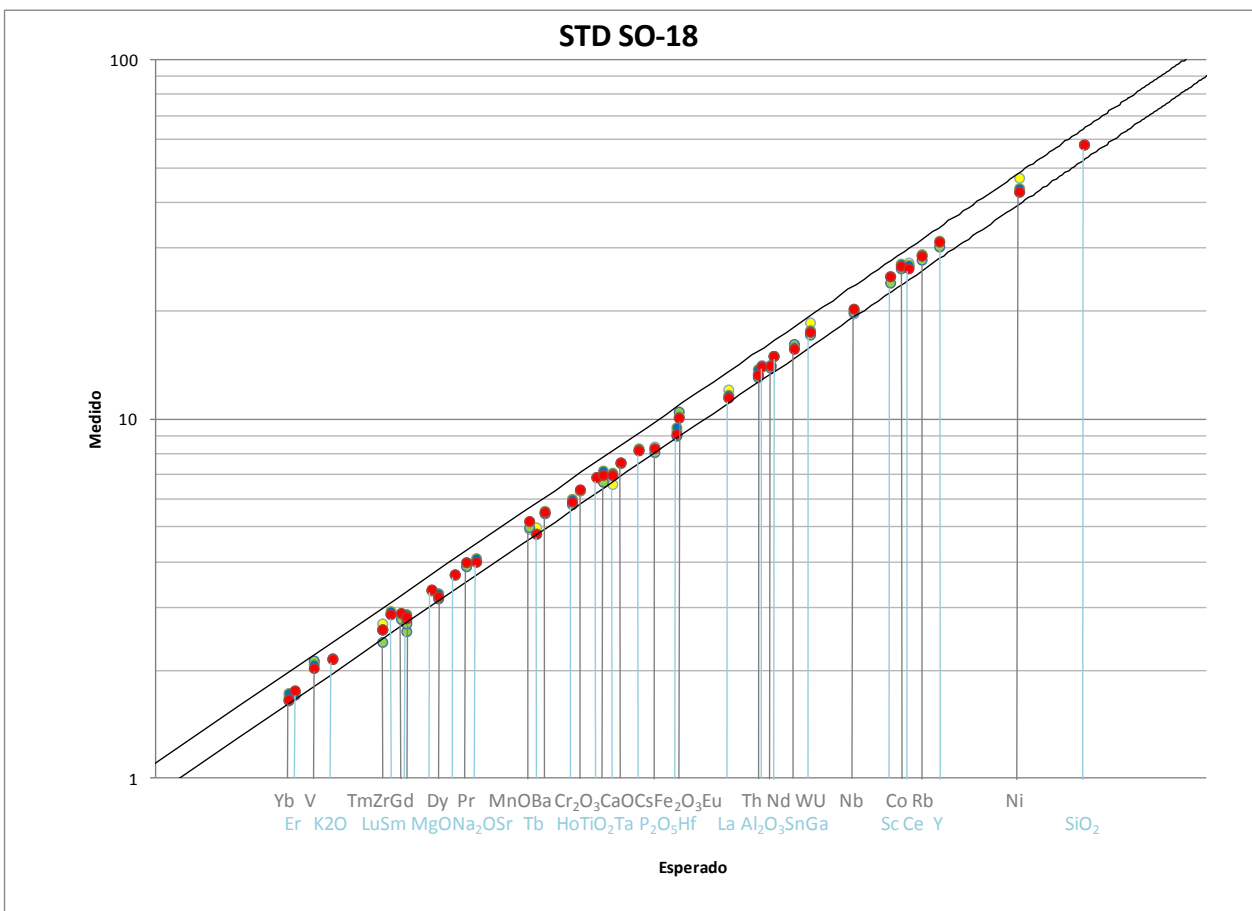


Figura 10. Resultados obtenidos para estándar SO-18.

En el método 1DX, que incluye las últimas 14 variables de la Tabla 10, se usaron tres estándares muy distintos por lo que el análisis de los datos se divide según la muestra utilizada. Para el estándar OREAS45CA, caen dentro del rango aceptado los elementos Bi, Ag, Pb, Ni, Cu y Zn. El estándar OREAS45PA también tiene presenta baja exactitud, validándose solamente en los casos de Bi, Hg, Pb, Ni, Cu y Zn. En cambio, el estándar SD8 es el único que ha demostrado una buena exactitud del método analítico con sólo cuatro elementos fuera de rango: Hg, Se, Tl y Au. Estos gráficos están disponibles en el Anexo D.

Los duplicados se dividen en tres tipos: material de referencia desconocido agregado antes del envío al laboratorio, duplicado de preparación de muestras y duplicado de pulpa. Estos elementos de control de calidad se estudian en base a su coeficiente de variación porcentual, en este caso, se establece que cuando el coeficiente supere el 10% aquellas variables se consideran posiblemente imprecisas y si el coeficiente supera el 20%, las variables son probablemente imprecisas o de baja reproducibilidad.

Para el caso de los materiales de referencia desconocidos se detectaron cinco variables fuera del rango del 10%, pero por ser material que no es parte del estudio no se consideran relevante los elementos que presentan esta desviación. Los duplicados de preparación o mediciones realizadas con el rechazo del testigo que se analiza, ayudan a identificar la reproducibilidad de los análisis considerando el proceso de preparación de muestras. Con respecto a esto, se detectan las variables Fe_2O_3 , Co, Cd y Se posiblemente imprecisas y los elementos Ni y Au se consideran probablemente imprecisos. Por último, en los duplicados de pulpa, que consideran sólo la medición analítica de las concentraciones, se han detectado los elementos Hf, Zr, Dy, Er Tm y Cd fuera del rango del 10% y los elementos de baja reproducibilidad corresponden a Th, U y Au. Los coeficientes de variación porcentuales se pueden ver en la Tabla 11.

Tabla 11. Coeficientes de variación calculados en muestras duplicadas.

Método	Elemento	Unidad	CV Duplicados		
			Desconocido	Preparación	Pulpa
4A-4B	Fe2O3	(%)	1,212	11,821	1,465
4A-4B	TiO2	(%)	11,480	2,844	1,961
4A-4B	LOI	(%)	43,179	0,000	0,000
4A-4B	Co	(ppm)	3,845	15,440	5,000
4A-4B	Hf	(ppm)	3,703	6,853	12,820
4A-4B	Th	(ppm)	3,129	8,479	50,839
4A-4B	U	(ppm)	6,667	7,692	21,160
4A-4B	Zr	(ppm)	3,205	6,848	16,876
4A-4B	Tb	(ppm)	10,067	2,703	7,692
4A-4B	Dy	(ppm)	7,593	7,033	10,251
4A-4B	Er	(ppm)	4,390	3,589	11,459
4A-4B	Tm	(ppm)	15,156	0,000	10,828
1DX	Mo	(ppm)	17,478	9,274	3,448
1DX	Ni	(ppm)	1,886	37,716	4,348
1DX	Cd	(ppm)	0,000	16,638	10,879
1DX	Au	(ppb)	14,849	26,587	23,022
1DX	Se	(ppm)	0,000	16,318	0,000

De acuerdo al estudio de las muestras de control, se concluye que no ha ocurrido contaminación durante las mediciones, pero sí una probable contaminación en el proceso de preparación de muestras evidenciado por el material G1. Se valida la exactitud de los datos en 49 de las 62 variables medidas en laboratorio, pero ninguna de las variables inexactas se aleja considerablemente de su valor esperado. Con respecto a la precisión, solamente existen cuatro variables que muestran una fuerte lejanía al parámetro: Ni (método 1DX), Th, U y Au, las cuales serán excluidas de la base de datos.

El proceso de control de calidad se completa con el estudio del error analítico, que permite determinar la confianza de cada variable. Esta medida es representativa de los procedimientos de preparación de muestras y de los análisis de laboratorio, pues se calcula con los valores obtenidos en duplicados y estándares.

A partir de los duplicados analíticos, se calcula el porcentaje del error relativo analítico mediante el coeficiente de variación obtenido para cada par de mediciones duplicadas. Esto se hace calculando la raíz cuadrada del promedio de los coeficientes de variación al cuadrado y multiplicando por 100 para obtener un factor porcentual (Stanley y Lawie, 2007). En la fórmula (2) el índice n corresponde al número de pares duplicados.

$$\overline{CV}\% = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (CV^2)} \times 100 \quad (2)$$

Los estándares se utilizan para evaluar la exactitud de las mediciones de acuerdo a la fórmula (3), que consiste en calcular el coeficiente de variación porcentual para cada variable.

$$CV\% = \frac{DS_{st}}{Media_{st}} \times 100 \quad (3)$$

Finalmente, el error analítico E_A se estima como el promedio de la suma cuadrática del CV de los duplicados y el CV de los estándares, ver fórmula (4).

$$E_A = \sqrt{\frac{CV_{Dup}^2 + CV_{St}^2}{2}} \quad (4)$$

Los criterios de confiabilidad en base al error analítico de las variables son múltiples y dependen del tipo de datos que se enfrentan. En este caso se consideran analíticamente confiables las variables con error analítico menor o igual al 10%. Las variables que presentan este parámetro en el rango 10-20% deben estudiarse en base a su error total para ser utilizadas en el estudio litogeoquímico y las variables con error analítico sobre el 20% se consideran no confiables para este estudio.

De acuerdo al criterio antes descrito se segregan del análisis litogeoquímico los elementos Th, Be y Au, mientras que las variables U, Mo, Cu, Pb, Ni (método 1DX), Cd y Se deben ser revisadas con mayor detalle antes utilizarse en análisis estadísticos o diagramas litogeoquímicos.

4.2.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Una vez que se han excluido de la base de datos las variables no confiables y las muestras de control, se revisan los datos a utilizar en litogeoquímica con el objeto de determinar anomalías estadísticas que no son reflejadas en el análisis de las muestras de control.

Este procedimiento consiste en un análisis exploratorio de los datos y se utilizan dos metodologías que pretenden seleccionar las variables robustas del lote y dar manipulabilidad estadística a aquellas que tengan mediciones fuera del límite de detección.

- Límite de detección

El tratamiento comienza con la exclusión de las variables que presentan más de la mitad de los datos fuera del límite de detección o sin respuesta analítica, correspondiente a los elementos Ni (método 4A-4B), Cd, Sb, Hg y Tl.

En las variables no excluidas, que igualmente poseen valores bajo el límite de detección, aquellos valores se rempazan por la mitad del límite de detección.

Las concentraciones que se encuentran por sobre el límite de detección se modifican por el valor exacto del límite de detección superior, pues si se usara un valor mayor se podría sobrestimar en forma incierta el potencial de las variables.

- Detección de *outliers*

Una simple prueba de detección de valores anómalos, consiste en estudiar cuánto se desvía cada valor de la media aritmética. Esto se hace en base a la regla **tres sigma o empírica** que plantea que en una distribución normal el 99.73% de los valores se encuentran en el rango Media + 3DS y que el 95.45% de los datos caen en el rango Media + 2DS. Por lo tanto, los datos mayores que Media + 3DS son probablemente anómalos y los datos entre Media + 2DS y Media + 3DS se consideran posiblemente anómalos o anómalos débilmente.

Según el criterio anteriormente descrito, existen 10 variables que tienen posibles valores anómalos, de las cuales sólo los elementos Ba, Sn y Se presentan más de un valor de este tipo. Para el caso de valores probablemente anómalos, son 15 las variables que presentan este tipo de datos, de las cuales sólo el elemento Cs tiene más de un dato con valor fuertemente anómalo.

En términos generales, se concluye que la presencia de este tipo de datos es baja y que los elementos Au, Ag, Mo, Sn y Pb son los que presentan la mayor cantidad de valores anómalos, nunca superando 4 datos por variable, es decir menos del 10% de las muestras, por lo tanto se considera aceptable para el conjunto en estudio.

4.2.4. LITOGEOQUÍMICA

En la sección anterior se detectaron las variables que representan problemas en la base de datos y se seleccionaron aquellas que son analíticamente confiables, de acuerdo a eso la base de datos ha sido modificada para asegurarse de la robustez del conjunto antes entrar en el análisis litogeoquímico.

Para poder utilizar el método litogeoquímico de razones de elementos conservados o *Pearce Element Ratios* se necesita encontrar un elemento que se conserve a lo largo de los distintos procesos que generaron y afectaron las rocas en estudio. Para esto, usualmente se recurre a algunos elementos menores o del grupo de las Tierras Raras.

El primer paso en la identificación de un elemento conservado consiste en graficar parejas de elementos y encontrar aquellos en los cuales la línea de tendencia tienda a cero. Para esto, se grafica un punto que represente el promedio de las concentraciones en ambos ejes si los datos se observan bien distribuidos, o se puede hacer una regresión lineal para definir la línea que ajuste mejor los datos.

Se reconocen varias parejas que tienden a cero, en todos estos casos se dibuja el error absoluto en ambos ejes para todas las muestras y se determina cuántos de estos puntos (con errores) no interceptan la línea de tendencia al origen. Se calcula estadísticamente un límite de aceptación por cantidad de muestras, para 42 muestras el máximo aceptado de puntos que no intercepten con la línea de tendencia es de 6.

Basado en los gráficos de posibles elementos conservados, se determina que tanto el Zr como el TiO_2 son componentes conservados y aptos para actuar como denominador conservado en las razones de elementos molares PER, puesto que su línea de tendencia va directo al origen y no presenta ningún dato que no intercepte la línea de tendencia del gráfico, ver figura 11.

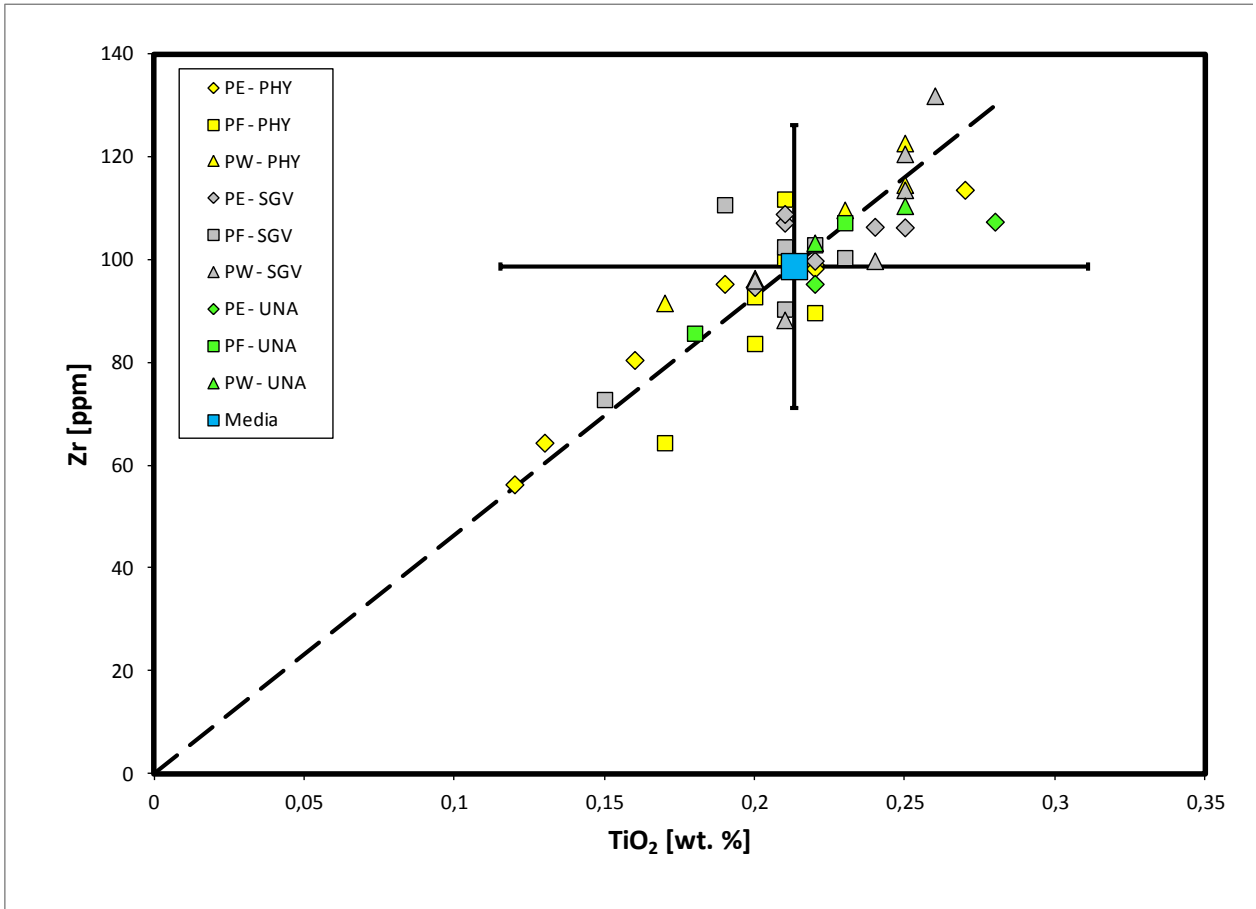


Figura 11. Gráfico de elementos conservados.

Para determinar cuál de estos dos elementos se utilizará como denominador conservado se evalúa el error analítico relativo y el incremento de ambos. En estos dos parámetros el Zr obtiene los menores valores, por lo que se selecciona como el elemento más favorable para ser utilizado de denominador conservado en las razones de elementos de Pearce (PER).

Una vez determinado el elemento circonio como denominador conservado, se realizan gráficos PER para conocer la variabilidad mineralógica, los minerales controladores y las abundancias relativas en los distintos eventos a evaluar.

Posteriormente se realizan diagramas GER o gráficos de elementos generales, los cuales se caracterizan por presentar sus ejes divididos por un elemento no conservado. De todas las variables en análisis se escoge el aluminio como elemento no conservado, por ser una de las variables más participativas en los procesos de alteración estudiados. En estos gráficos los minerales controladores se representan en forma de puntos o nodos, por lo tanto, estos gráficos además de mostrar los minerales predominantes, pueden evidenciar tendencias que reflejen eventos posteriores o alteraciones ocurridas a la roca primaria.

4.3. CONDICIONES FORMADORAS

Para estimar las condiciones formadoras de las alteraciones en estudio se emplean dos metodologías. Una de ellas es capaz de proporcionar información de la temperatura y salinidad de los fluidos hidrotermales que generan las alteraciones en rocas primarias, a través del análisis de inclusiones del fluido original en los minerales generados. Y la otra técnica utilizada consiste en determinar, mediante concentraciones geoquímicas, un diagrama de fases minerales que revela la presión y temperatura a la cual se han formado aquellas asociaciones mineralógicas.

4.3.1. INCLUSIONES FLUIDAS

Se realizó un estudio de inclusiones fluidas en cinco de las seis muestras originalmente determinadas para este propósito, pues una de las muestras tiene poca presencia de inclusiones. Se escogieron prioritariamente inclusiones de tipo I y en algunos casos se midieron inclusiones con dos fases. Todas las mediciones realizadas corresponden a inclusiones hospedadas en cuarzo.

Cada una de las muestras se dividió en cuatro sectores y se realizaron, en promedio, cinco mediciones por sector. Alguna de las zonas o sectores eran monocristal y otras consistían de varios cristales colindantes. De acuerdo a lo anterior, el promedio de inclusiones analizadas en cada muestra es de 20.

Las inclusiones fluidas muestran que la temperatura de formación de los cuarzos que las contenían, varían dependiendo de tipo de alteración al que se relaciona el corte doblemente pulido. En este sentido, las muestras relacionadas a alteración fílica tienen temperaturas de homogenización menores que las muestras relacionadas a sericita gris verde, aun cuando todas las muestras presentan más de una familia de temperaturas de homogenización. De manera general, se pueden separar las familias de inclusiones fluidas en dos grupos, un primer grupo en el cual las temperaturas fluctúan entre 250°C-450°C y un segundo grupo que varía en el rango 450°C-600°C.

También se distingue una segmentación de las temperaturas de homogenización dependiendo de la zona o sector de la muestra estudiada, pues las muestras que tienen más de una familia de temperaturas muestran que los valores que difieren del promedio se agrupan solamente en alguno/s de los sectores, ver Anexo F.

La Tabla 12 muestra un resumen de los valores de temperaturas de homogenización (Th) y salinidades obtenidas de las muestras en estudio. En negrita se observan los valores medios para cada muestra, en amarillo los valores asociadas a la familia de bajas temperaturas y en gris, el promedio de las mediciones asociadas a las temperaturas altas.

Tabla 12. Tabla resumen con los resultados de las inclusiones fluidas.

Muestra	Th °C	Salinidad % wt.
QSIN06	353.7	12.6
QSIN03	407.6	15.7
	372.6	15.3
	547.8	17.2
	434.2	16.2
GVIN03	355.2	16.4
	486.9	16.1
GVIN05	470.7	18.8
	325.9	18.8
	516.5	18.8
	502.4	19.0
GVIN02	362.2	19.4
	522.5	19.0

Las salinidades se han calculado encontrando la temperatura de fusión de la inclusión y aplicando la fórmula de conversión para inclusiones con presencia de vapor (Bodnar, 1993). De acuerdo a la Tabla 12, se evidencia que la salinidad de las inclusiones fluidas es menor (12.6 y 15.7 porcentaje en peso) en muestras asociadas a alteración fílica “normal” que en muestras con alteración cuarzo sericita gris vede (16-19% wt).

Todos resultados y descripciones de las inclusiones medidas en cada muestra se pueden encontrar en el Anexo F.

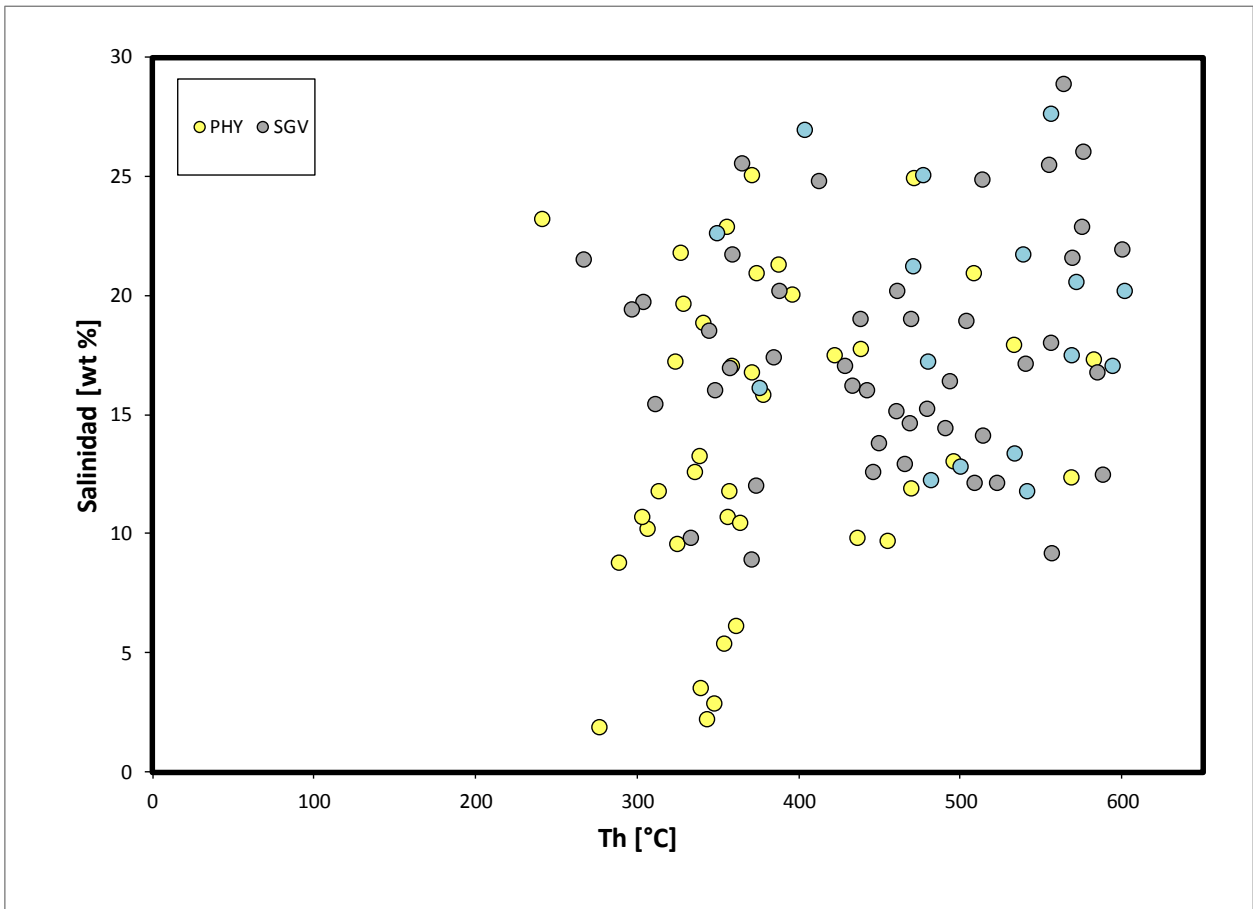


Figura 12. Gráfico de salinidades y temperaturas de homogenización de inclusiones fluidas.

En la figura 12 se grafica la salinidad en función de la temperatura de homogenización para las 101 inclusiones medidas en este estudio. En gris se muestran aquellas inclusiones asociadas a alteración cuarzo sericita gris verde, en amarillo las inclusiones fluidas estudiadas en muestras con alteración fílica y en celeste una muestra de las que presentan anomalías, pues su alteración estaba descrita originalmente como alteración cuarzo sericita gris verde, pero de acuerdo al comportamiento geoquímico y difractograma de esta muestra se ha incluido en el grupo de las muestras alteradas a sericita “blanca”. En este gráfico se aprecia cercana al grupo de las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde, pero es importante destacar que para este estudio de inclusiones fluidas, las muestras son pequeñas y fueron tomadas de manera selectiva en vetillas, por lo que estas diferencias en comportamiento se pueden explicar por una superposición de los eventos sericíticos y/o un muestreo sesgado.

A pesar de la dispersión de las muestras en el gráfico, es posible apreciar dos tendencias de acuerdo al tipo de alteración. Las muestras amarillas, que representan la alteración fílica “normal” tienen un rango de temperaturas de homogenización más acotado y con valores más pequeños que las muestras en gris, pero salinidades que son transversales a todo el eje. En cambio, en las muestras grises asociadas a alteración cuarzo sericita gris verde, tanto sus temperaturas de homogenización como sus salinidades son mayores que en las muestras con alteración fílica. Finalmente, se reconoce que estos datos no son concluyentes pues las medidas muestran un amplio traslape entre ambos tipos de alteración.

4.3.2. PSEUDOSECCIONES

Al aplicar el método de generación de pseudosecciones a una muestra con alteración cuarzo sericita gris verde y a otra muestra con alteración fílica, se obtuvieron dos gráficos P-T (figura 36 y figura 37, respectivamente) que muestran la estabilidad de minerales en función de sus condiciones de presión y temperatura. Esto se lleva a cabo para constreñir las condiciones P-T en muestras con metasomatismo.

Las pseudosecciones se calcularon en el *software* Perple_X, versión 07 (Connolly, 2005), usando la base de datos termodinámica internamente consistente de Holland and Powell (1998; actualización 2002 y detallada *online* en el archivo hp02ver.dat) y en el sistema KFMASHT-CN. En estos cálculos, se usaron los modelos de solución mineral “Bio(TCC)” para biotita, “feldspar” para plagioclasa y feldespato potásico, Pheng(HP) para mica blanca, Chl(HP) para clorita y el agua presente en el modelo se estimó como el porcentaje LOI (*Loss on ignition*). Los otros minerales que participan de los procesos en estudio fueron considerados fases puras, entre los cuales se tiene: esfeno (sph), cuarzo (q), rutilo (ru), albita (ab), microclina (mic), andalucita (and), ilmenita (ilm) y corindón (crd).

Las muestras utilizadas fueron: GVIN07 que representa la alteración cuarzo sericita gris verde y QSIN04 para el caso de alteración fílica. Los elementos considerados fueron aquellos representativos de la mineralogía presente en las muestras (Tabla 13), y los modelos de solución mineral se definieron en función de la petrografía tipo para cada alteración.

Tabla 13. Porcentaje de óxidos por muestra para construir las pseudosecciones.

<i>Muestra</i>	<i>SiO₂</i>	<i>TiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>FeO</i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na₂O</i>	<i>K₂O</i>	<i>H₂O</i>	<i>Sum</i>
QSIN04	72.05	0.2	13.58	3.49	0.45	0.08	0.11	4.12	3.8	98.03
GVIN07	74.72	0.21	13.6	0.68	0.35	0.09	0.42	5.76	2.3	98.24

En el Anexo E se puede encontrar los diagramas de fases resultantes en ambos casos con sus campos de estabilidad de descritos de acuerdo a las asociaciones minerales representativas de cada campo.

V. DISCUSIONES

En este capítulo se analizan e interpretan los resultados obtenidos en los procedimientos previamente realizados, estos resultados se agrupan de acuerdo al tipo de información obtenida, clasificada desde el punto de vista descriptivo, es decir, información litológica, alteraciones, mineralización, genética y temporal. Para obtener una mejor presentación visual de los datos, se adopta una representación que involucra figuras geométricas y colores. Cada figura representa una litología, el rombo corresponde al Pórfido Este, el cuadrado al Pórfido Fino y el triángulo al Pórfido Oeste. Por su parte los colores representan la alteración que tiene la muestra, al igual que en las tablas anteriores, la alteración filica (PHY) se denota por color amarillo, la alteración cuarzo sericita gris verde (SGV) por color gris y las rocas sin alteración (UNA por su sigla en inglés *Unaltered*) quedan en color verde. Esta clasificación se utilizará en todo el documento.

5.1. LITOLOGÍA

Las muestras seleccionadas en este estudio corresponden primordialmente a rocas alteradas y mineralizadas. No fue factible obtener muestras frescas dentro del yacimiento, es por esto que en esta sección se intenta determinar la composición original de las rocas analizando distintos criterios como la caracterización macroscópica, microscópica y el análisis de datos geoquímicos para el caso de las muestras menos alteradas de este estudio.

5.1.1. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA

Prácticamente todas las rocas del yacimiento presentan algún grado de alteración, por lo que desde el punto de vista macroscópico, es casi imposible conocer las litologías originales con precisión, sin

embargo se puede hacer una buena estimación a través del análisis de las rocas menos alteradas que participan en este estudio.

De acuerdo a los mapeos de medio testigo realizados a las muestras al momento de ser tomadas, se obtienen composiciones principales en el rango de granodiorita a monzogranodiorita, pero no se descarta que las rocas más frescas de toda la mina, tengan variaciones hasta una composición monzodiorítica.

Debido al fuerte grado de alteración de las muestras, se estima poco útil realizar una clasificación modal a través de diagramas QAP para roca intrusivas (Streckeisen, 1976), pero sí se realizará esta clasificación con la información geoquímica, puesto que esta información además de permitir estimar la composición original de las rocas, es capaz de mostrar una trayectoria de alteración desde una perspectiva imparcial al observador.

5.1.2. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

Los minerales formadores de las rocas que se observan menos alteradas en este estudio son cuarzo, plagioclasa, feldespato potásico, biotita y esfeno, éstos parecieran corresponder a la mineralogía primaria de estas rocas, pero con el grado de alteración que éstas presentan es probable que algunos de estos minerales se encuentren enriquecidos y otros empobrecidos con respecto a sus cantidades originales. Sin embargo, la petrografía realizada a las muestras indica que las variaciones litológicas están más relacionadas con sus parámetros texturales, que con su composición mineralógica original.

En base al estudio petrográfico, se determina que la textura de cada pórfido es única y que los tres pórfidos presentan distinto tamaño de grano. El Pórfido Este es equigranular con cristales irregulares que bordean los 2 mm, el Pórfido Oeste exhibe una textura porfídica, con masa fundamental de granulometría cercana a 0,1 mm y fenocristales de bordes nítidos aproximadamente de 1 mm, el Pórfido Fino muestra una textura original equigranular con tamaño de grano menor al Pórfido Este, que en

promedio alcanzan los 0,4 mm. En la figura 13 se puede ver una fotomicrografía de cada tipo litológico que permite conocerlos y comparar las diferencias texturales mencionadas anteriormente.

En la figura 13 también es posible obtener información textural de algunos minerales secundarios presentes en el yacimiento, por ejemplo, en la fotomicrografía B se observa una textura de alteración por remplazo en biotita y el mineral que se encuentra al centro de la fotomicrografía C corresponde a una titanita o esfero siendo remplazada por rutilos.

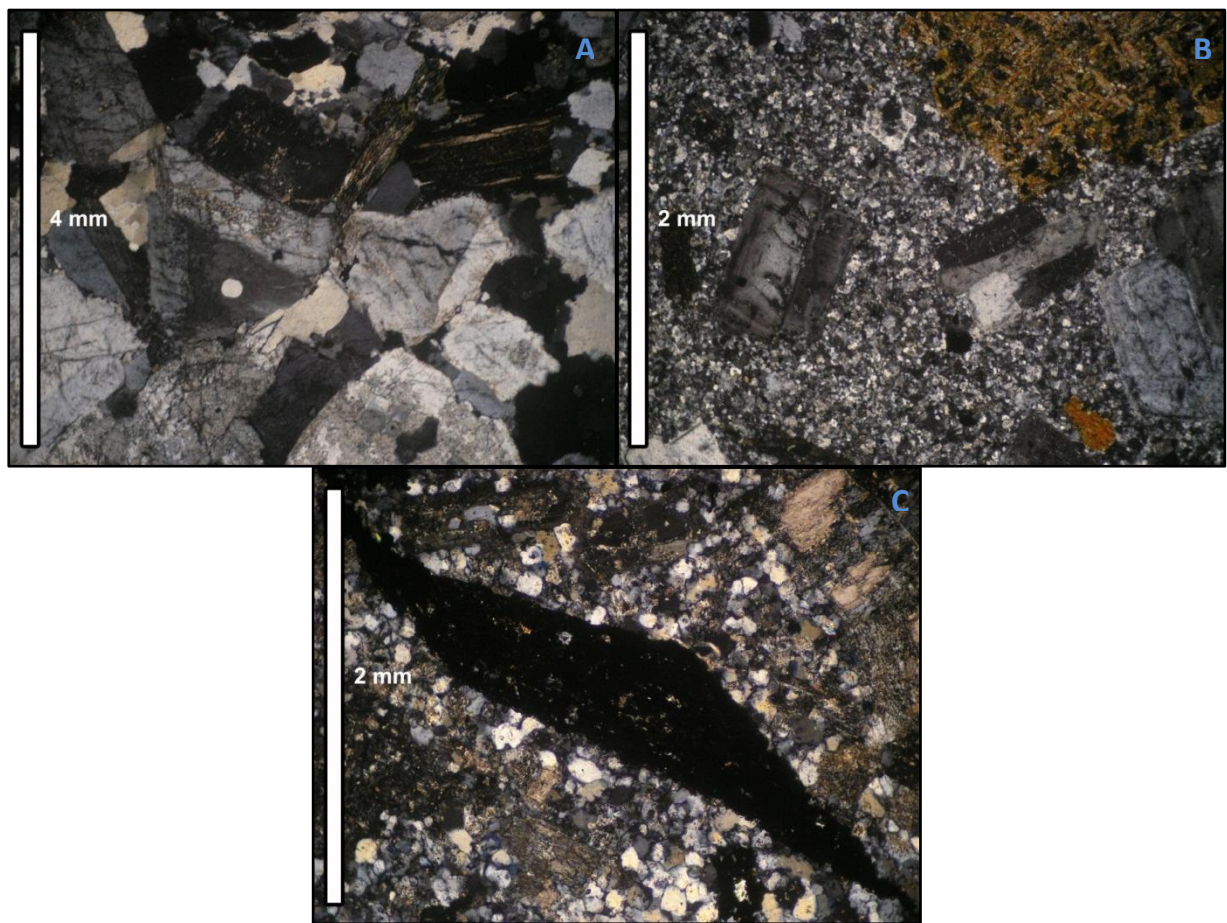


Figura 13. Fotomicrografías de los tres tipos litológicos: Pórfido Este (A), Oeste (B) y Fino (C).

5.1.3. GEOQUÍMICA

El reconocimiento mineral y clasificación litológica de las rocas en este yacimiento es complejo, puesto que prácticamente no se encuentran rocas frescas. Los efectos de alteración hidrotermal son intensos, motivo por el cual se ha optado por realizar clasificaciones de Streckeisen en base a la composición química de las rocas, en particular mediante combinaciones lineales de algunos elementos específicos.

En primer lugar, se realiza un diagrama que permite ver la variabilidad composicional de las muestras, proyectado desde la pirita y calcopirita (restadas en eje de feldespato potásico). Para evitar que los aportes de carbonato de calcio produzcan una sobrestimación en la presencia de las plagioclasas se ha decidido ignorar el Ca en la confección de este diagrama, pero en consecuencia, se pierde la componente anortítica de las plagioclasas.

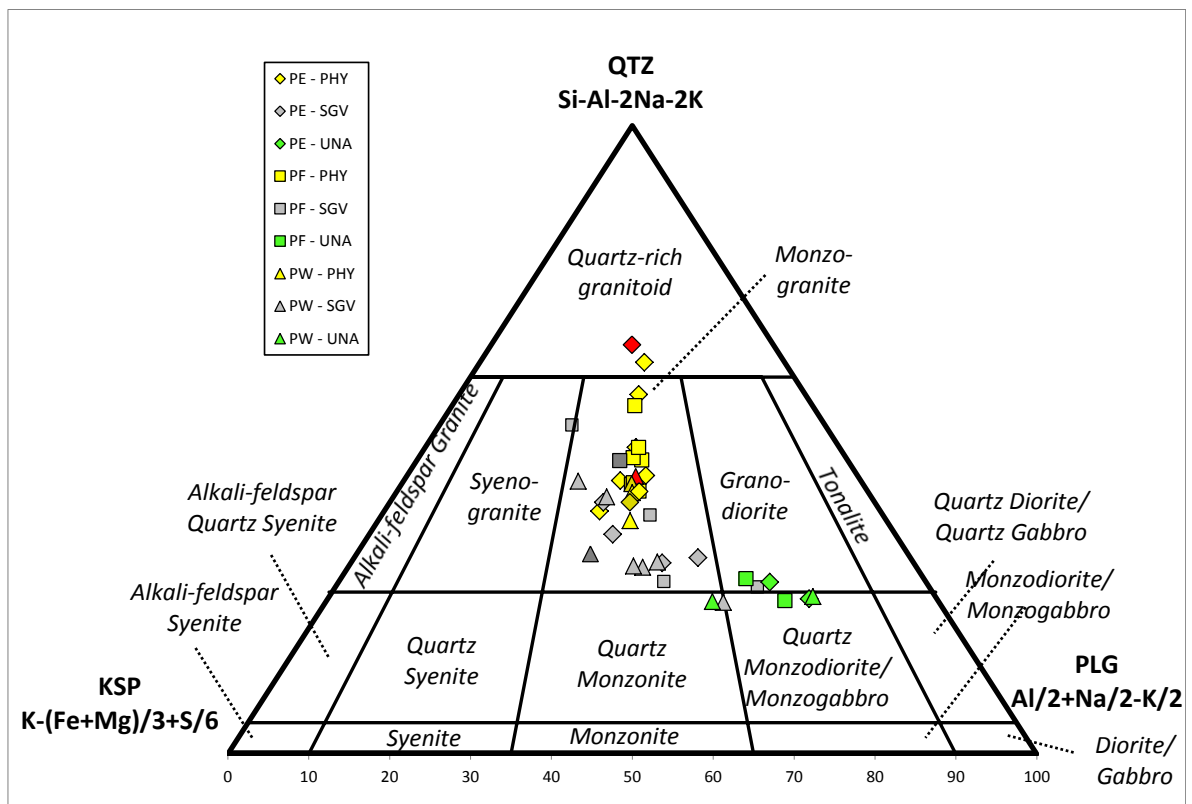


Figura 14. Diagrama QAP geoquímico de las muestras en estudio. Considera Al y no considera Ca.

En la figura 14 se observa que la composición de las rocas menos alteradas en estudio corresponde a una transición entre granodiorita y monzodiorita, mientras las muestras alteradas tienden a mayores proporciones de sílice. Dentro de esta tendencia, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde parecieran corresponder a una transición de pérdida de plagioclasas, a expensas de un aumento en cuarzo y feldespato potásico, lo que probablemente corresponda a un efecto de cierre en el sistema. En cambio, las muestras con alteración fílica blanca muestran una tendencia directa desde el sector monzogranítico hacia el extremo del cuarzo, efecto característico de una alteración cuarzo sericita convencional.

Si se grafica el sistema anterior, pero esta vez considerando el calcio y no considerando el carbono (representado en forma de dióxido) ni el aluminio, se tiene que las rocas frescas están en la misma ubicación, no así las rocas que presentan alteración. De todas formas, en la figura 15 se observa que las rocas alteradas se separan de la misma forma que se puede inferir en la figura 14, las muestras con alteración fílica “blanca” tienen una cantidad baja de feldespato potásico y no tienen plagioclasas. En cambio, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde dejan ver una tendencia de destrucción de las plagioclasas y por consiguiente, aumentan las proporciones de feldespato potásico y cuarzo en menor medida.

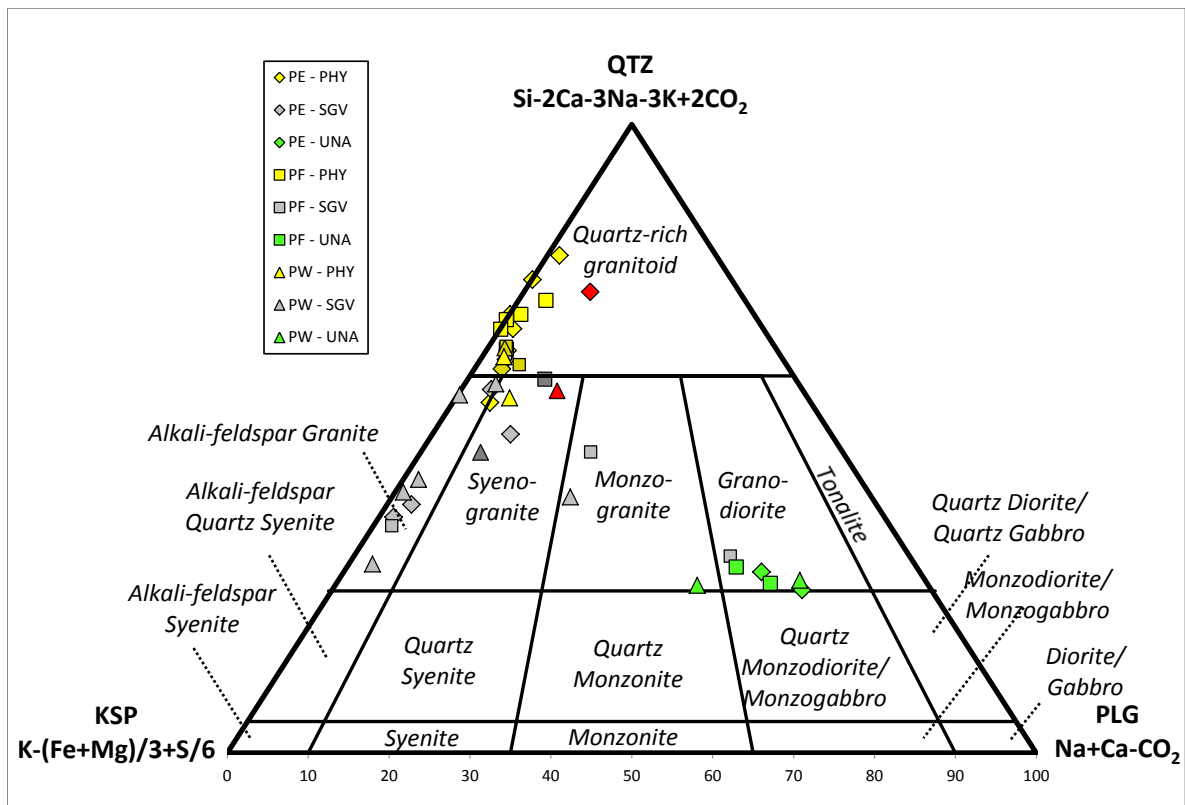


Figura 15. Diagrama QAP geoquímico de las muestras en estudio. Considera Ca y no considera C y Al.

En la figura 16 (diagrama TAS) se observa que las rocas menos alteradas presentan composición de granito a granodiorita. Además de esto, las muestras asociadas a la alteración cuarzo sericita gris verde y a la alteración fílica presentan una disminución en el eje de los álcalis que se puede explicar por una fuerte pérdida de sodio y un aumento en silicio, lo cual correspondería a un “efecto de cierre” en el sistema. Las muestras con alteración fílica normal presentan una tendencia más marcada en ese sentido.

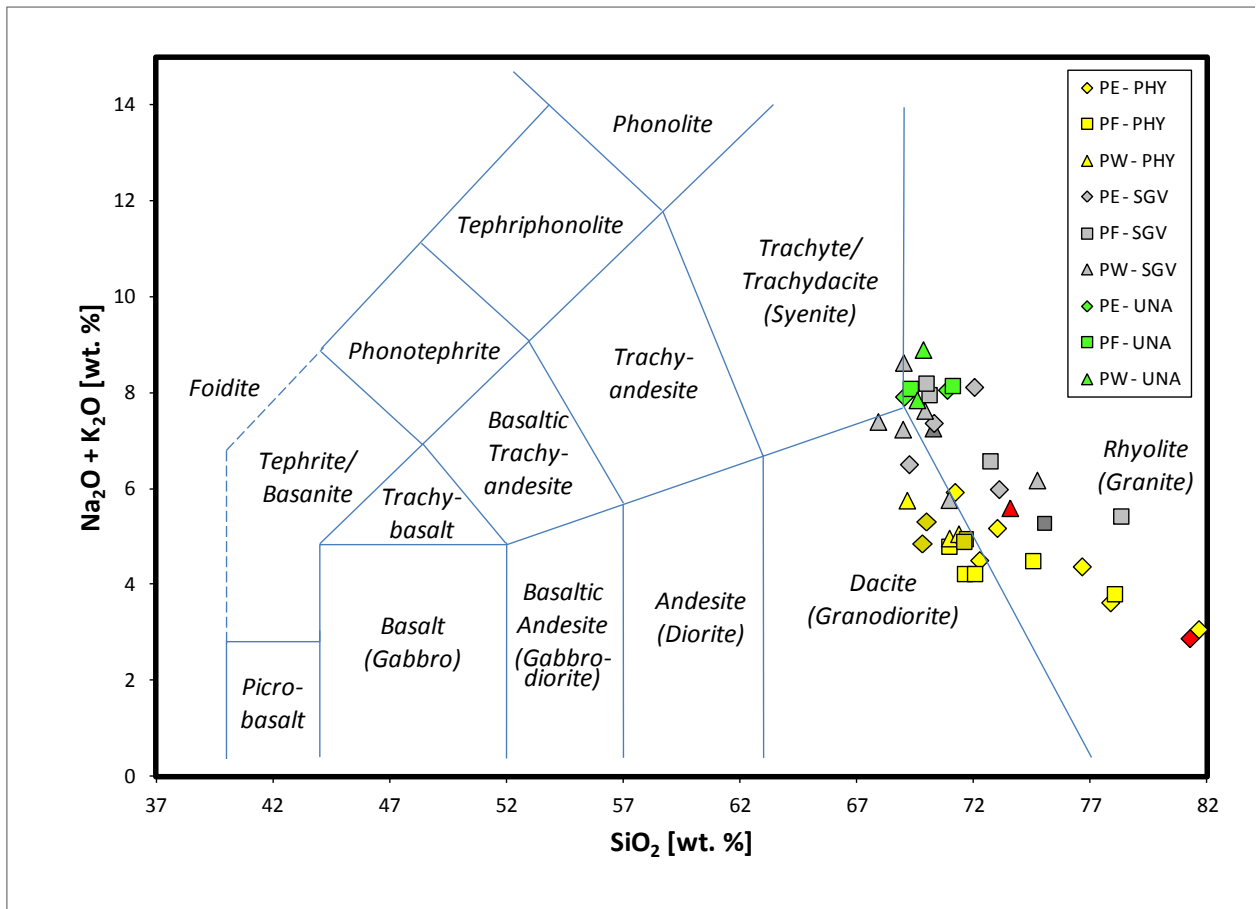


Figura 16. Diagrama TAS de Le Maitre et al., 1989.

En la figura 17 se muestra que las rocas no alteradas se grafican entre la serie calco-alkalina de alto potasio y la de medio potasio, lo cual puede corresponder a la signatura potásica original de las rocas en estudio o se puede deber a un incipiente *background* de alteración potásica. Con respecto a las muestras alteradas, se observa que tanto las muestras con sericita gris verde como aquellas con sericita blanca reflejan un aumento en potasio producto de las alteraciones sericíticas, por lo tanto emplear el potasio como método de clasificación resulta de poca utilidad para este caso.

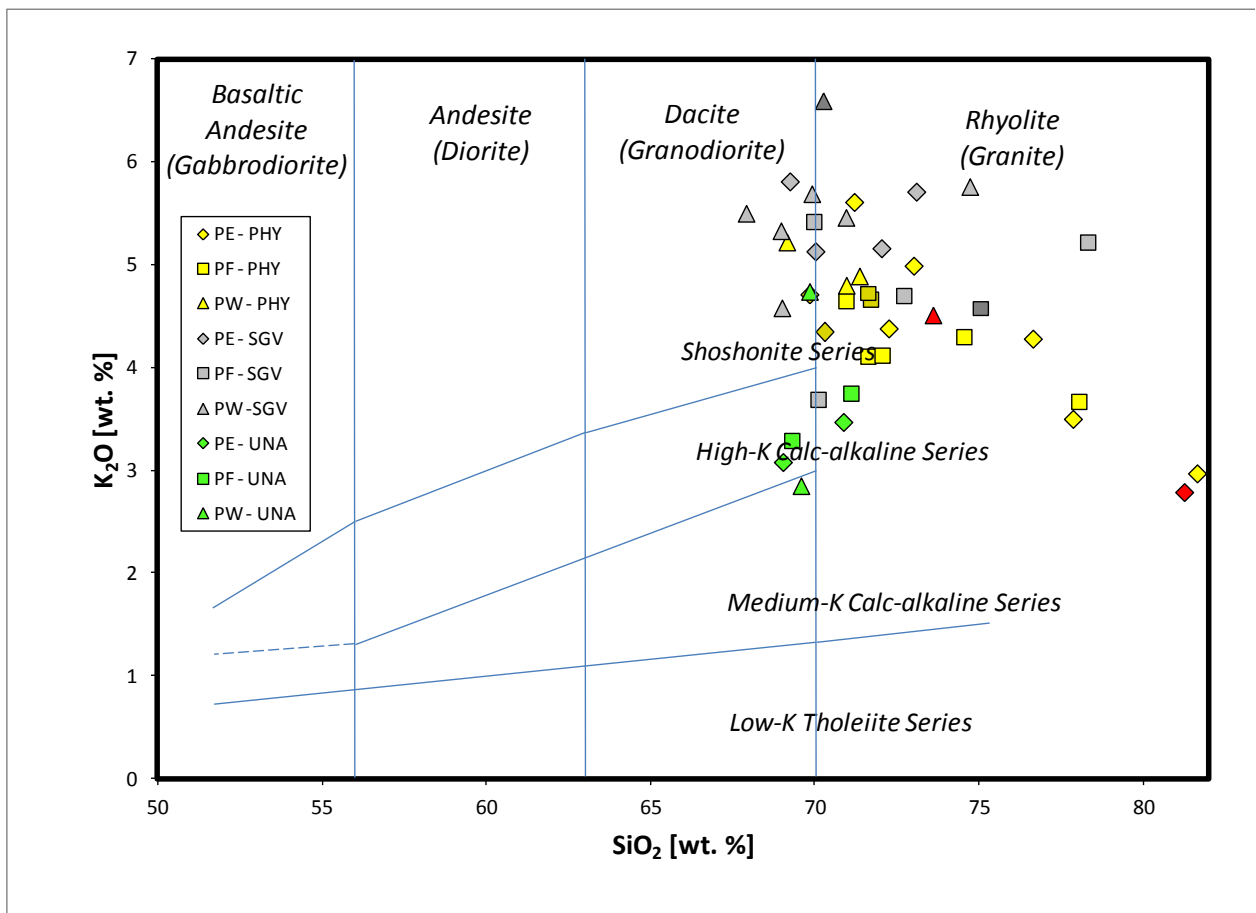


Figura 17. Diagrama de afinidad geoquímica potásica de Gill et al., 1981.

Con respecto al diagrama de clasificación tectónica de la figura 18, todas las muestras se clasifican como granitos de arco volcánico, lo cual es coherente con el entorno en el que se encuentran y la geología regional descrita en Capítulo II.

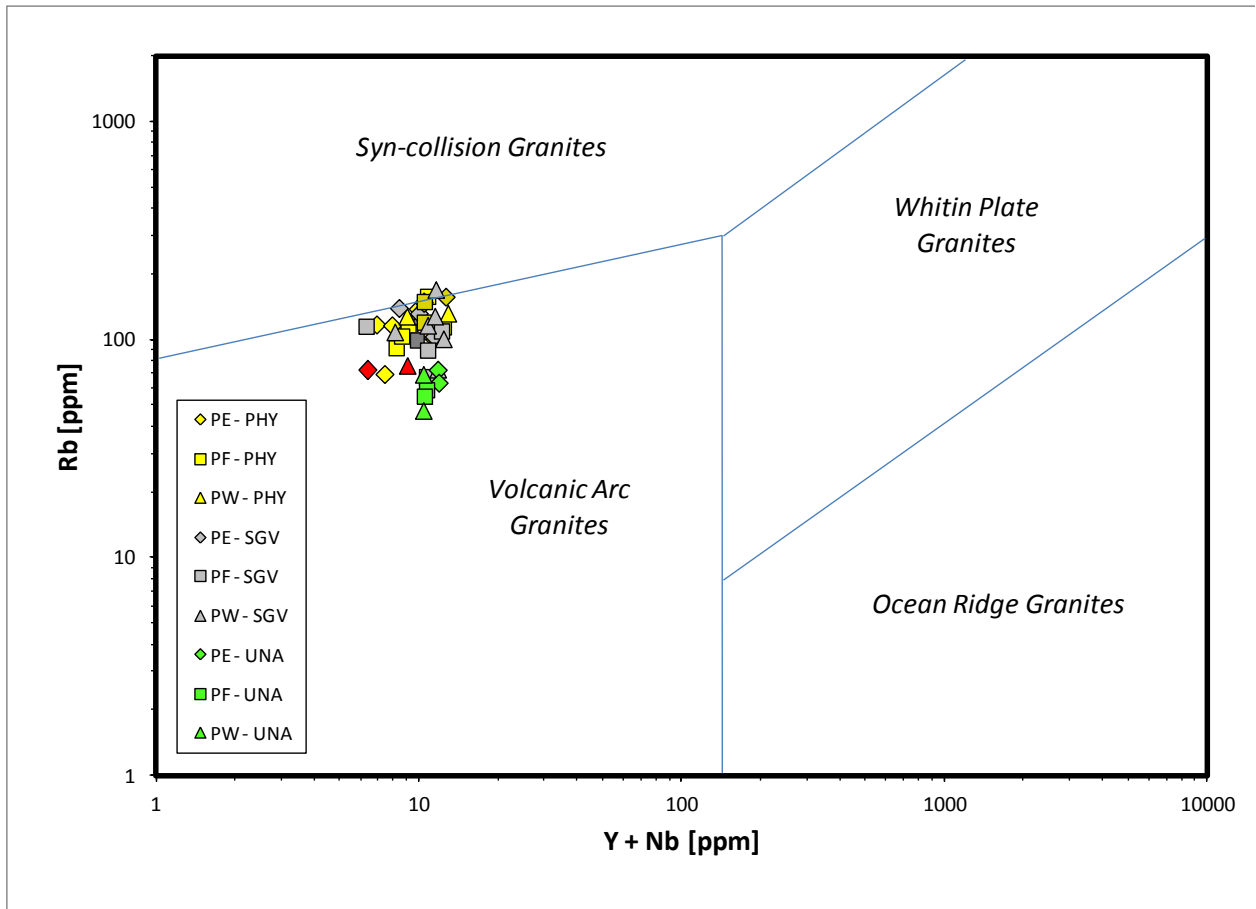


Figura 18. Diagrama de elementos traza para clasificación tectónica de granitos de Pearce et al., 1984.

5.2. ALTERACIÓN

El estudio de las alteraciones hidrotermales constituye una parte primordial de este documento, por lo tanto en esta sección se realiza una revisión completa de la mineralogía, mineralización, litogeoquímica y reacciones químicas que, en su conjunto, constituyen y posibilitan la presencia de las alteraciones que acá se investigan.

Como se vio en la sección 5.1, las rocas iniciales difieren desde una óptica textural, pero petrográfica y geoquímicamente son muy similares entre sí, lo cual permite hacer un estudio de alteraciones asumiendo igualdad en las condiciones iniciales.

5.2.1. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA

En la caracterización macroscópica de las rocas se valida la clasificación de mapeo original, aun cuando se reconoce que ésta no es la más adecuada para la metodología de estudio, puesto que el primer paso para la toma de muestras consiste en identificar las zonas con las distintas alteraciones según la base de datos de mapeo de sondajes existente en la mina, los cuales se hacen, en la mayoría de los casos, en base a la mineralización que presenta el testigo, por lo tanto, esto podría generar un sesgo en la categorización de las muestras. Este posible sesgo se minimizó en este estudio, pues la clasificación original de la mina se utilizó solamente como una primera aproximación en el proceso de muestreo y no es representativa del estudio analítico posterior realizado en este informe.

Las alteraciones fílica y cuarzo sericita gris verde presentan una asociación mineral similar y a escala de muestra de mano es difícil diferenciar entre ambas, pues texturalmente también son similares, por lo tanto los únicos factores que marcan una diferencia notable a esta escala son el color característico de la alteración cuarzo sericita gris verde y la mineralización acompañante, ya que la alteración cuarzo sericita gris verde presenta una mayor proporción de calcopirita por sobre pirita, en la mayoría de los casos en estudio. De los dos criterios anteriormente descritos como diferenciadores, es mejor mantener en mente la diferencia de color en los minerales de alteración, pues esto ayuda a definir más precisamente los límites y superimposiciones entre ambas alteraciones, en cambio la mineralización puede no concordar exactamente con los límites de las alteraciones, especialmente en casos de mezcla.

También se identifica que tanto la alteración fílica como la alteración cuarzo sericita gris verde tienen un control regido por estructuras o permeabilidad secundaria y sus dominios presentan superposición de ambos eventos. Lo anterior y su composición mineral similar a escala macroscópica hacen que estos

eventos no sean fácilmente aislables entre sí. Pero sí se aprecia que a escala de muestra de mano, las vetillas de alteración cuarzo sericita gris verde presentan una forma sinuosa, en cambio las vetillas asociadas a la alteración fílica son rectas.

5.2.2. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

En el estudio microscópico se identifica que la mineralogía de alteración presenta características diferenciadas según el tipo específico de alteración sericítica.

De acuerdo a los estudios petrográficos, el conjunto de muestras se puede clasificar en dos grupos generales: un grupo representativo de rocas con baja proporción de minerales de alteración, denominadas rocas frescas, y otro grupo que presenta abundantes minerales de alteración, especialmente sericita o micas blancas de baja granulometría, llamadas rocas alteradas.

Estos dos grupos, además de presentar una notoria diferencia en la abundancia de minerales de alteración, evidencian fuertes diferencias en su variabilidad, siendo las rocas frescas la que presentan mayor diversidad de facies minerales. Es decir, las rocas frescas preservan gran parte de su mineralogía original, en cambio las rocas alteradas están compuestas ampliamente por dos o tres minerales de alteración.

Por su parte, las rocas con alteración también pueden ser separadas en dos subgrupos: uno que presenta muestras que contienen un alto contenido de sericita y con poca o nula presencia de minerales primarios, alteración fílica “normal”, y un segundo subgrupo que presenta menores porcentajes de sericita y una mayor variabilidad mineralógica o alteración cuarzo sericita gris verde. Las muestras del primer subgrupo se caracterizan por predominancia de cuarzo y sericita, con menor rutilo, pirita y/o calcopirita, mientras que en las muestras del segundo subgrupo además de cuarzo y sericita es común encontrar minerales como circón, feldespato potásico, plagioclasas, biotita-flogopita, andalucita y epidota.

Esta clasificación es coherente con la separación según tipo de alteración que tienen la mayoría de las muestras estudiadas. Sólo en cuatro casos, la clasificación descriptiva macroscópica es incoherente, pero eso no necesariamente es erróneo a gran escala, pues el estudio petrográfico se realiza en una porción muy reducida de la muestra tomada originalmente y también se ha identificado que la alteración cuarzo sericita gris verde está controlada por estructuras de pequeña escala que se intercalan en un ambiente dominado por las alteraciones potásicas o fílica. Esto no quiere decir que la alteración fílica no sea controlada por estructuras o permeabilidad secundaria, pero sí es evidente que este tipo de alteración tiene una distribución mucho más amplia y penetrativa que el desarrollo que puede alcanzar la alteración cuarzo sericita gris verde.

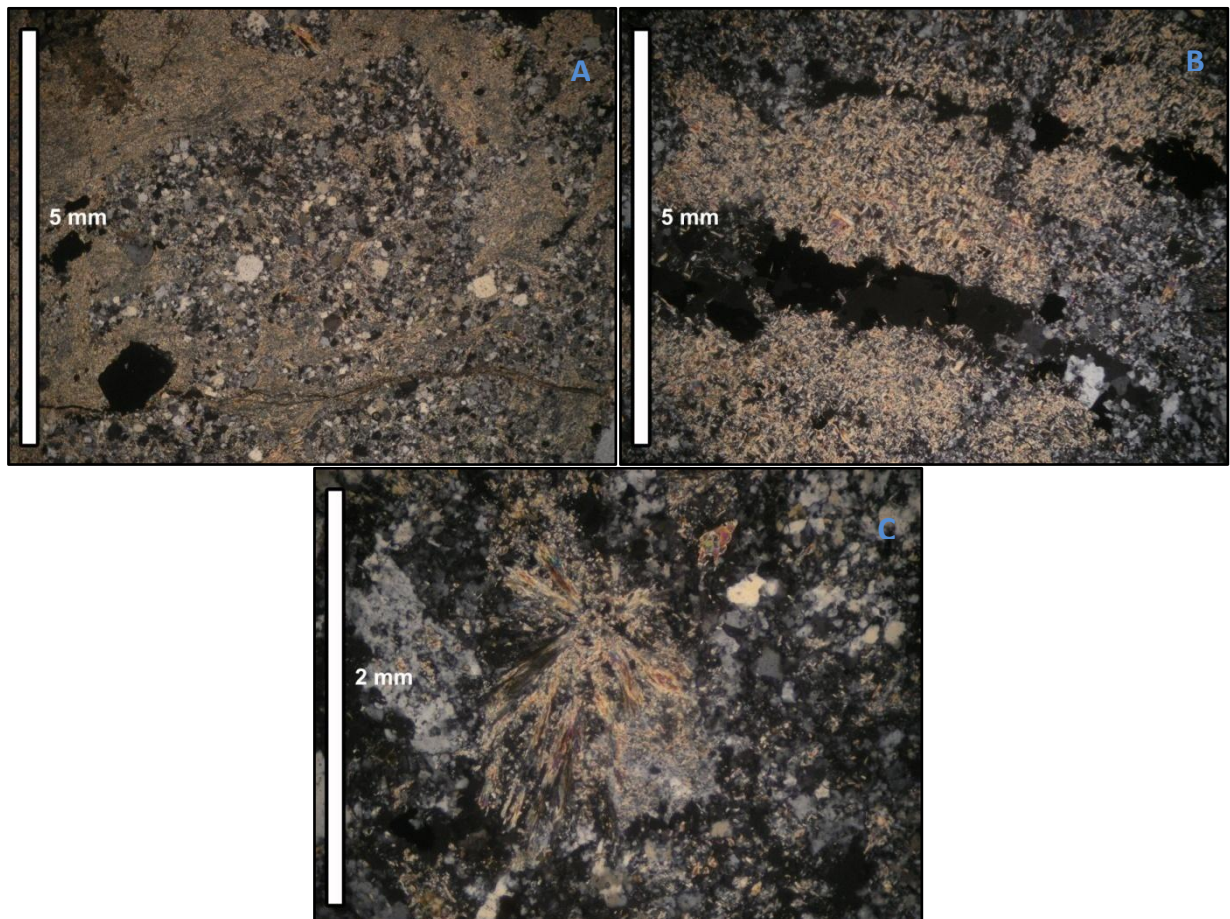


Figura 19. A) Asociación de mineralogía de alteración y estructura en alteración fílica. B) Asociación de mineralogía de alteración y estructura en alteración cuarzo sericita gris verde. C) Andalucita y moscovita con textura de intercrecimiento.

Además de la clasificación de acuerdo a las asociaciones minerales que permite diferenciar las alteraciones fílica y cuarzo sericita gris verde, se determina que la sericita presenta características particulares según el tipo de alteración. La sericita asociada con alteración fílica presenta un tamaño de grano menor que la sericita asociada con alteración cuarzo sericita gris verde. Adicionalmente, se puede observar que la disposición relativa de los granos entre sí es mucho más tupida en el caso de la alteración fílica y podría denominarse como una “fábrica más compacta”, en cambio, en el caso de la alteración cuarzo sericita gris verde es posible determinar granos de micas blancas mejor desarrollados, más grandes y presentando notorios espacios entre éstos, comparar fotomicrografías A y B en figura 19.

5.2.3. GEOQUÍMICA

En esta sección se realiza un análisis litogeoquímico en base a la mineralogía descrita en las muestras en estudio, ver Capítulo IV. Este análisis se realiza a través de diagramas de elementos conservados (PER) para dilucidar los controles minerales principales que tiene el conjunto de muestras, y a través de diagramas de elementos generales (GER) que permiten ver variaciones entre los distintos minerales controladores.

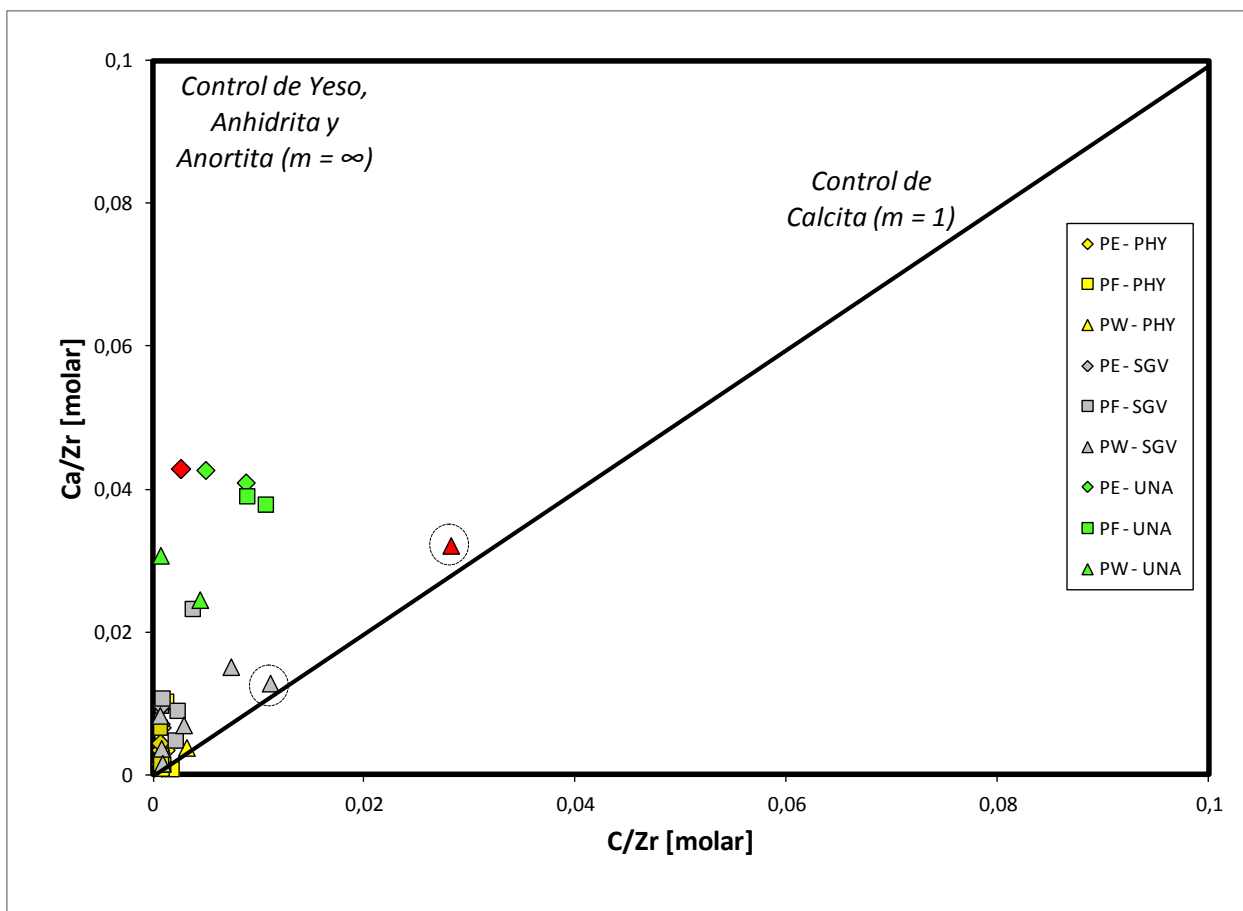


Figura 20. Gráfico PER de calcio y carbono.

En la figura 20 se presenta un diagrama de Ca vs. C, ambos normalizados al Zr. En este diagrama es posible observar que las muestras sin alteración son las que presentan mayor control de yeso, anhidrita, anortita o una combinación de estos minerales. Algunas muestras con alteración cuarzo sericita gris verde también presentan control de estos minerales, pero en menor medida, mientras que todas las muestras con alteración fílica se ven empobrecidas en yeso, anhidrita, anortita y calcita. Solamente se identifican dos muestras en el campo de la calcita, ambas corresponden al Pórfido Oeste, pero una de ellas se encuentra dentro de los rangos normales, en comparación con las otras muestras de este estudio. En cambio, la otra muestra se considera errática por su alta presencia de calcita y porque este mineral no ha sido identificado en ningún otro procedimiento analítico realizado, por lo tanto esa muestra quedará marcada en color rojo.

En la figura 21 se presenta un diagrama de Ca vs. S, ambos normalizados al Zr. En este diagrama se observa que las rocas frescas tienen abundante presencia de anortita (calcita descartada en figura 20), la cual disminuye a través de muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y no se presenta en lo absoluto en las muestras con alteración fílica. Por lo tanto, de acuerdo a la mineralogía presentada en este diagrama, la alteración cuarzo sericita gris verde contiene sulfuros y anortita en bajas proporciones, en cambio la alteración fílica sólo presenta control de sulfuros, sin presencia de anortita.

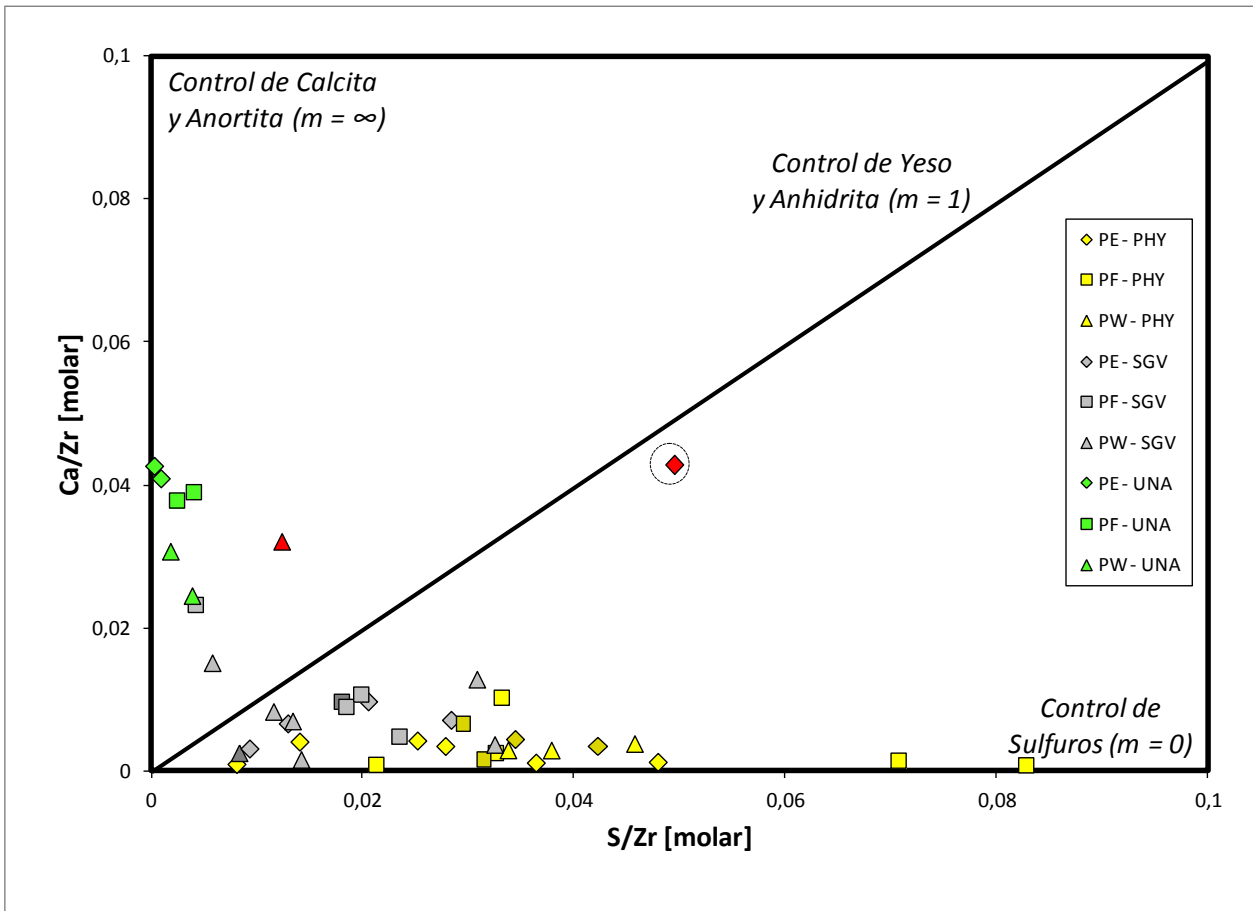


Figura 21. Gráfico PER para calcio y azufre.

Se encierra en un círculo una muestra presenta yeso o anhidrita y se considera errática dentro de este análisis, pues ninguno de estos minarles ha sido registrado en los otros procedimientos analíticos, como tampoco en los antecedentes bibliográficos o geológicos del yacimiento.

En consecuencia, las dos muestras que presentan fuerte anomalía geoquímica del resto, quedarán marcadas en color rojo permanentemente.

En la figura 22 se presenta un diagrama de Fe vs. S, ambos normalizados al Zr. En este diagrama se observa que las rocas frescas presentan algunos minerales con hierro que no son sulfuros. También se ve que existe un control muy marcado de pirita y calcopirita en las muestras con alteración fílica. En cambio, algunas muestras con alteración cuarzo sericita gris verde son similares a las rocas no alteradas y otras muestras con esta alteración exhiben mezcla de sulfuros, sin asociarse a ninguno en particular. Lo que sí es claro en las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde es que estos sulfuros ocurren en proporciones menores que en las muestras con alteración fílica, pues su presencia se puede acotar al cuadrante más cercano al origen del gráfico. No se evidencia presencia de sulfatos, al igual que en la petrología.

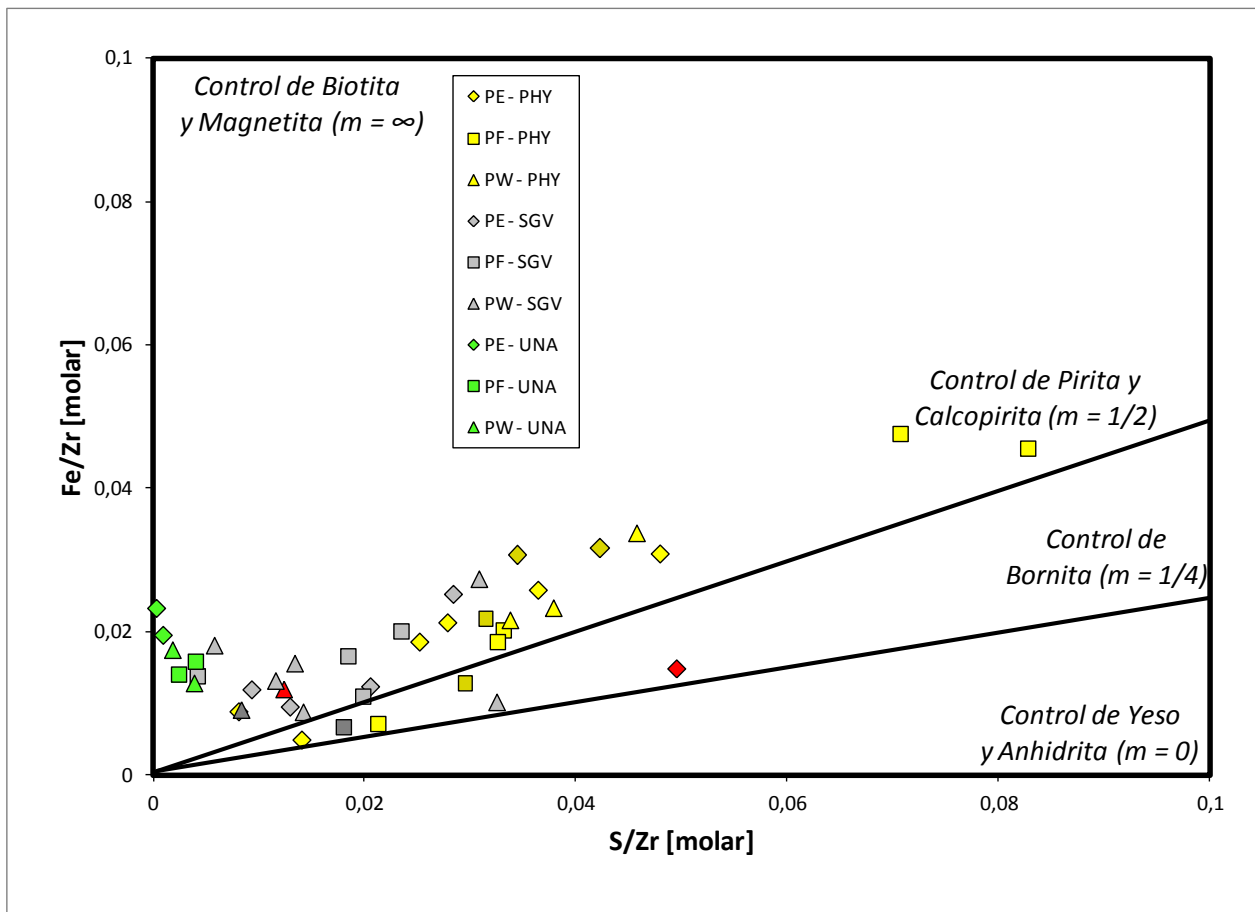


Figura 22. Gráfico PER para hierro y azufre.

En la figura 23 se presenta un diagrama de Na vs. Al, ambos normalizados al Zr. En este diagrama se separa la albíta de los otros silicatos descritos en los análisis mineralógicos anteriores.

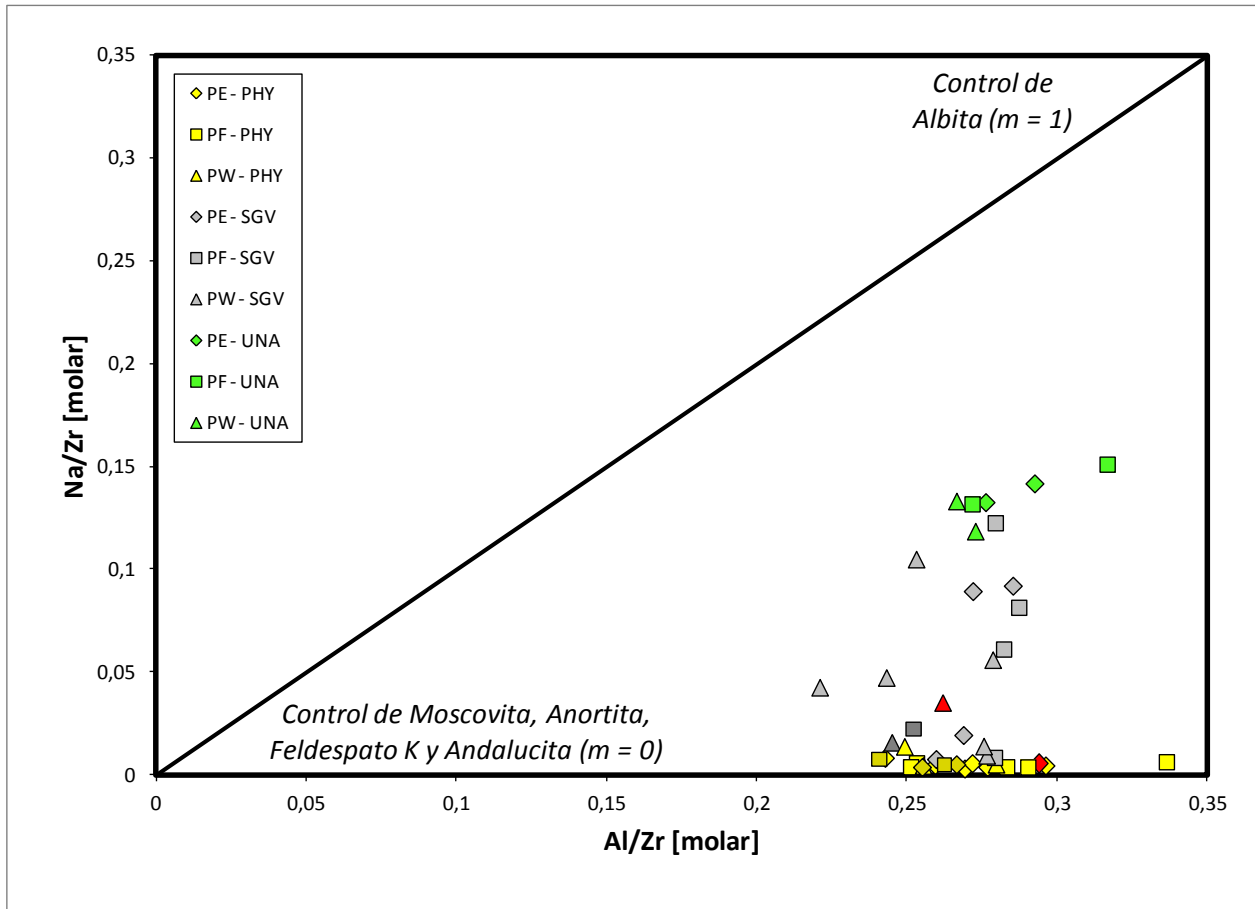


Figura 23. Gráfico PER para sodio y aluminio.

En esta figura se puede ver que las rocas frescas son las más albíticas del grupo, además que las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde evidencian pérdida de sodio y aumento progresivo de potasio, reflejado en un incremento de moscovita, andalucita, feldespato potásico o una combinación de aquellos. Y por último, se observa que las muestras con alteración fílica no presentan sodio, albíta ni anortita como se vio anteriormente, por lo tanto están empobrecidas en plagioclasas.

En la figura 24 se presenta un diagrama de 2Ca vs. Al, ambos normalizados al Zr. Este diagrama se realiza con la intención de aislar la anortita del resto de los silicatos presentes en las muestras de este estudio.

Al igual que en la figura 21, este diagrama refleja baja presencia de anortita en las rocas frescas, aún menor en aquellas muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y ausencia de este mineral en las muestras con alteración fílica.

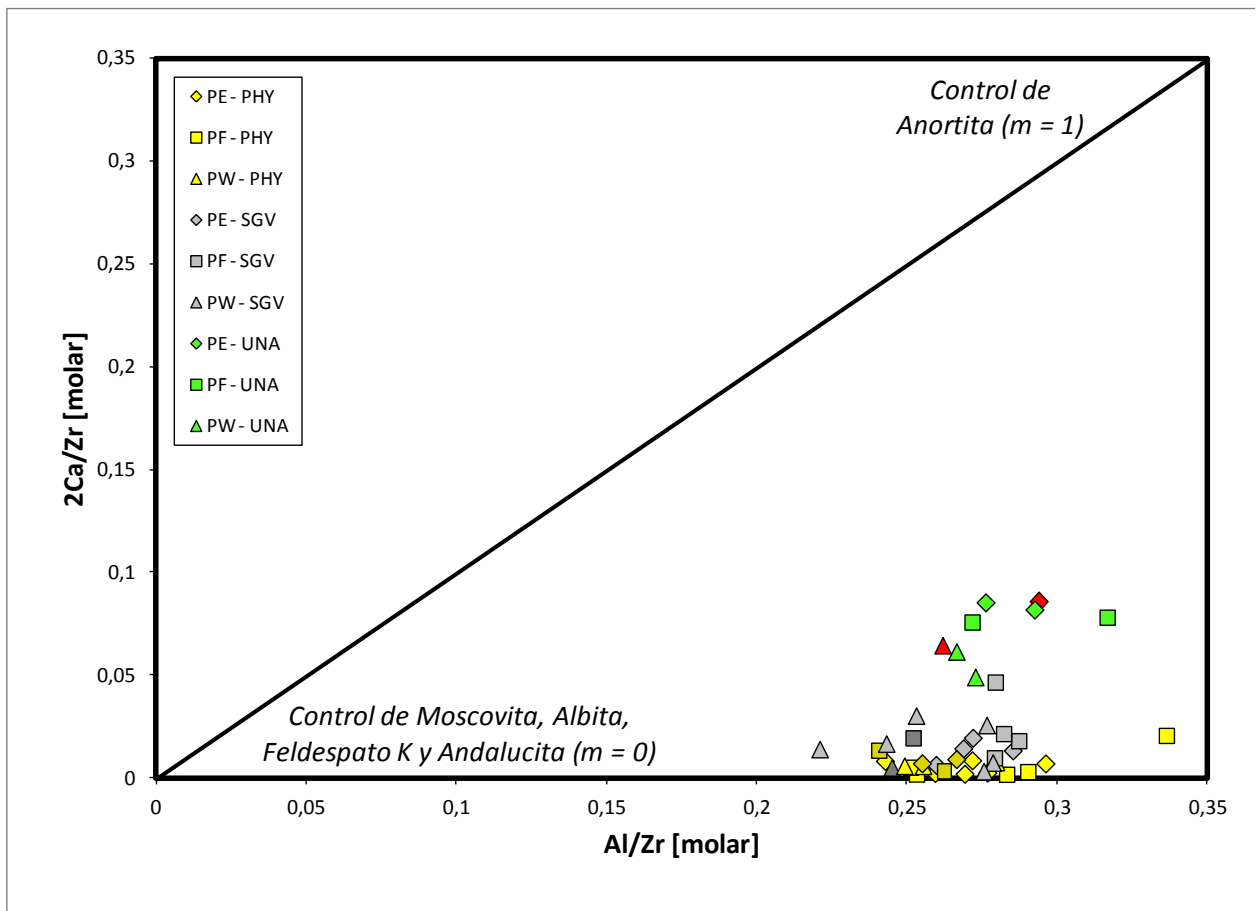


Figura 24. Gráfico PER para calcio y aluminio.

Una vez que se ha determinado la presencia o ausencia de albita y anortita en las muestras de este estudio, se procede a investigar sobre los otros silicatos encontrados en los análisis mineralógicos a los

que fueron sometidas las muestras. Para esto se considera la opción de realizar un diagrama que permita separar la moscovita del feldespato potásico y de la andalucita.

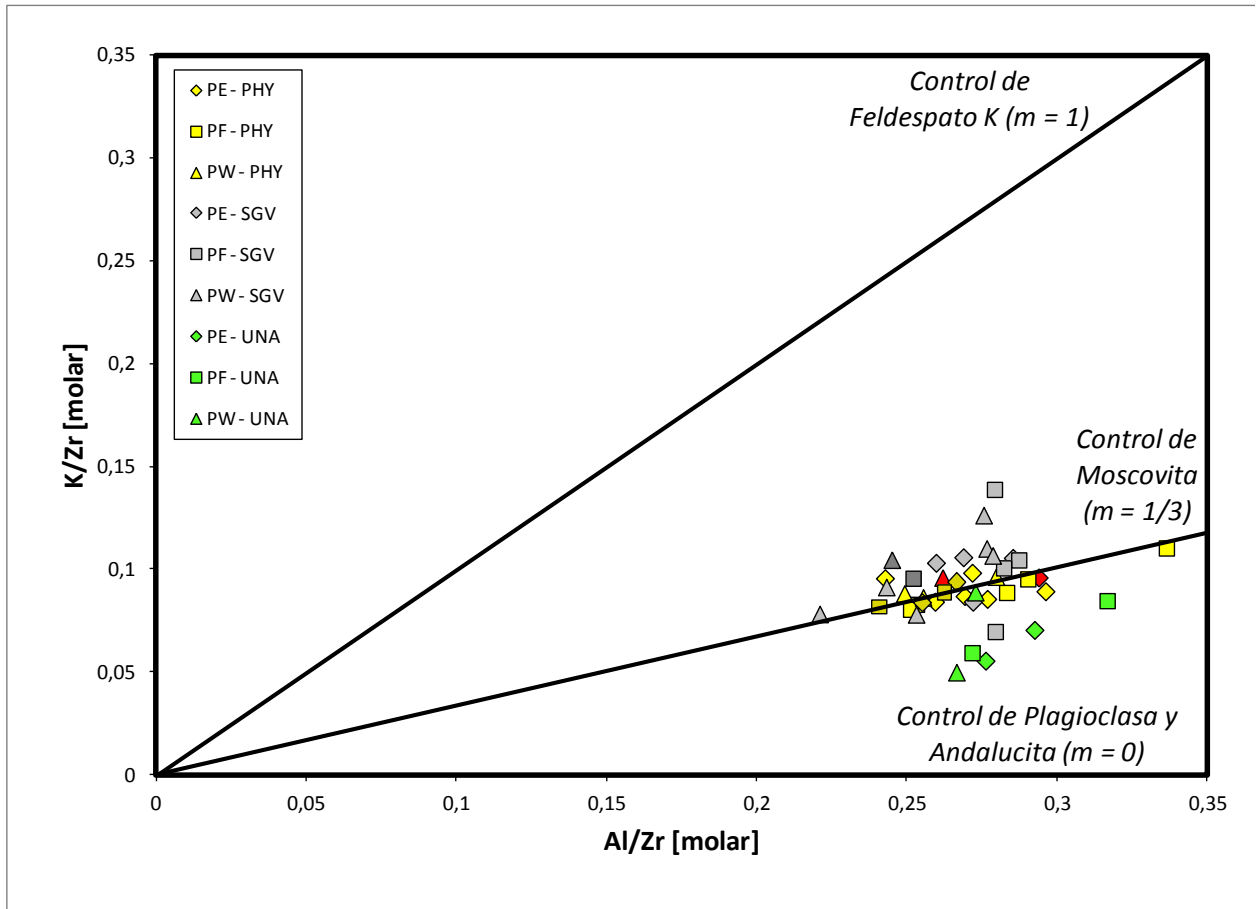


Figura 25. Gráfico PER para potasio y aluminio.

En la figura 25 se presenta un diagrama de K vs. Al, ambos normalizados al Zr. A grandes rasgos se observa que la mayor parte de las muestras se concentran en la línea de control de la moscovita, pero al revisarlo en detalle, se evidencia un fuerte control de moscovita en las muestras con alteración fílica, en cambio, las rocas frescas tienden a la línea de inferior de plagioclasa y andalucita, desprendiéndose del control moscovítico. Por otra parte, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde son las más dispersas del grupo y reflejan presencia de moscovita, de feldespato potásico y de plagioclasas con andalucita.

En la figura 26 se presenta un diagrama de $(2Ca+Na+K)$ vs. Al, ambos normalizados al Zr. En éste se ve que las rocas menos alteradas están restringidas al dominio de los feldespatos con poca presencia de moscovita, las rocas con alteración fílica están absolutamente controladas por moscovita, en cambio las rocas con alteración cuarzo sericita gris verde se muestran transicionales entre los otros dos grupos, pero no se puede determinar un control de andalucita en ellas a pesar de que algunas de estas muestras presentan este mineral en su petrografía. Lo descrito anteriormente puede deberse a una baja presencia de andalucita en relación a los otros minerales del gráfico, al efecto de mezcla que puede ocurrir en este tipo de diagramas o a una combinación de ambos factores.

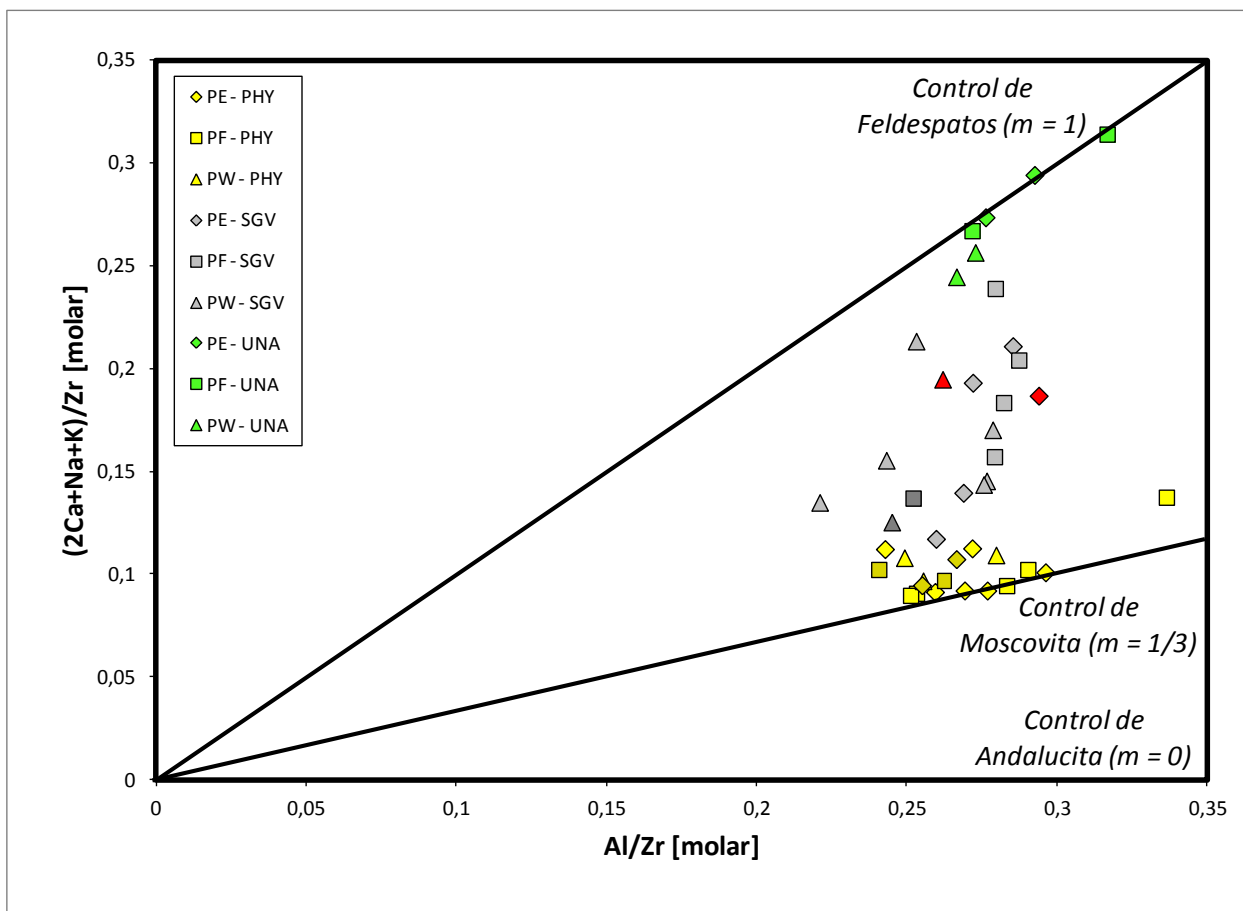


Figura 26. Gráfico PER para calcio-sodio-potasio y aluminio.

El efecto de mezcla de un diagrama PER significa que la representación gráfica no necesariamente coincide con un mineral único, es decir, un par coordinado en el diagrama puede representar la existencia de algún mineral, como también puede representar que esa proporción se obtuvo por una combinación de otros minerales, por lo que es fundamental tener una buena descripción mineralógica para calibrar e interpretar los diagramas de razones de elementos de Pearce.

Además de identificar los minerales controladores para cada tipo de alteración en estudio, es interesante obtener una mirada que permita advertir procesos de cambio o modificación en la mineralogía, es por esto que se realizan diagramas GER, los cuales son capaces de mostrar el desarrollo de estos cambios a través de tendencias de construcción y destrucción de fases minerales.

Por esta razón, los diagramas a continuación corresponden a gráficos de razones de elementos generales que se realizan en base a aquellos elementos que definen las fases minerales participativas en estas transformaciones, estos elementos son el Na, Ca, K y Al.

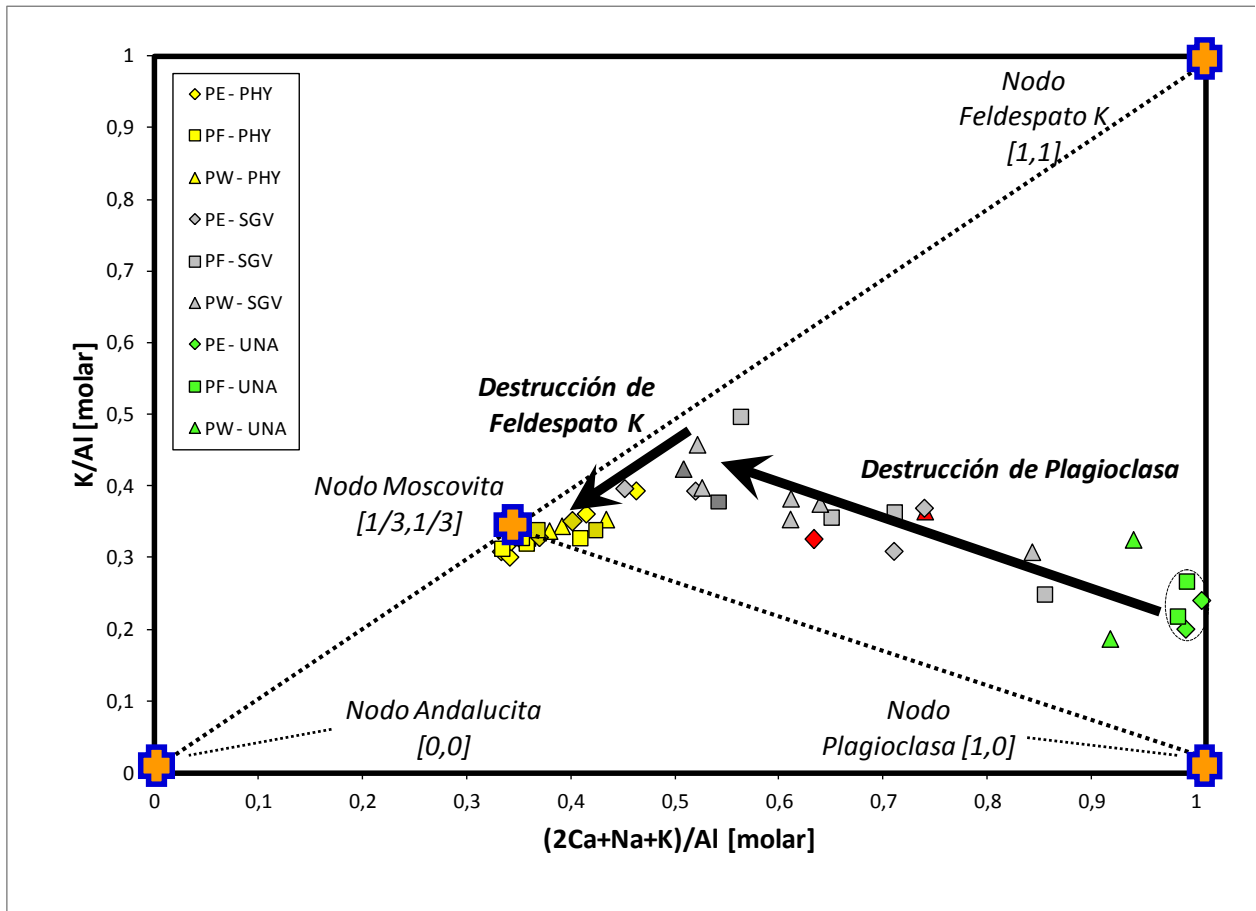


Figura 27. Gráfico GER de potasio y calcio-sodio-potasio.

En la figura 27 se presenta un diagrama de K vs. (2Ca+Na+K), ambos normalizados al Al. En este gráfico se observa que las rocas frescas tienen una composición mayoritaria de plagioclasas con respecto al feldespato potásico. A partir de éstas existen dos tendencias en el desarrollo de las alteraciones, la primera corresponde a la creación moscovita y destrucción de plagioclasas en rocas con alteración cuarzo sericita gris verde, y la segunda tendencia corresponde a la destrucción de feldespato potásico y adición de moscovita que presentan las muestras con alteración filica. Este gráfico también entrega una buena aproximación inicial (rocas frescas) de la proporción plagioclasas/feldespato potásico, estimada en 7.5/2.5.

La figura 28 corresponde a un diagrama de 2Ca vs. (2Ca+Na+K), ambos normalizados al Al. Éste muestra al nodo de anortita separado del nodo albitico y potásico, según el cual, la primera tendencia de alteración correspondería a destrucción de anortita, mientras la segunda etapa quedaría compuesta por destrucción de albita y de feldespato potásico.

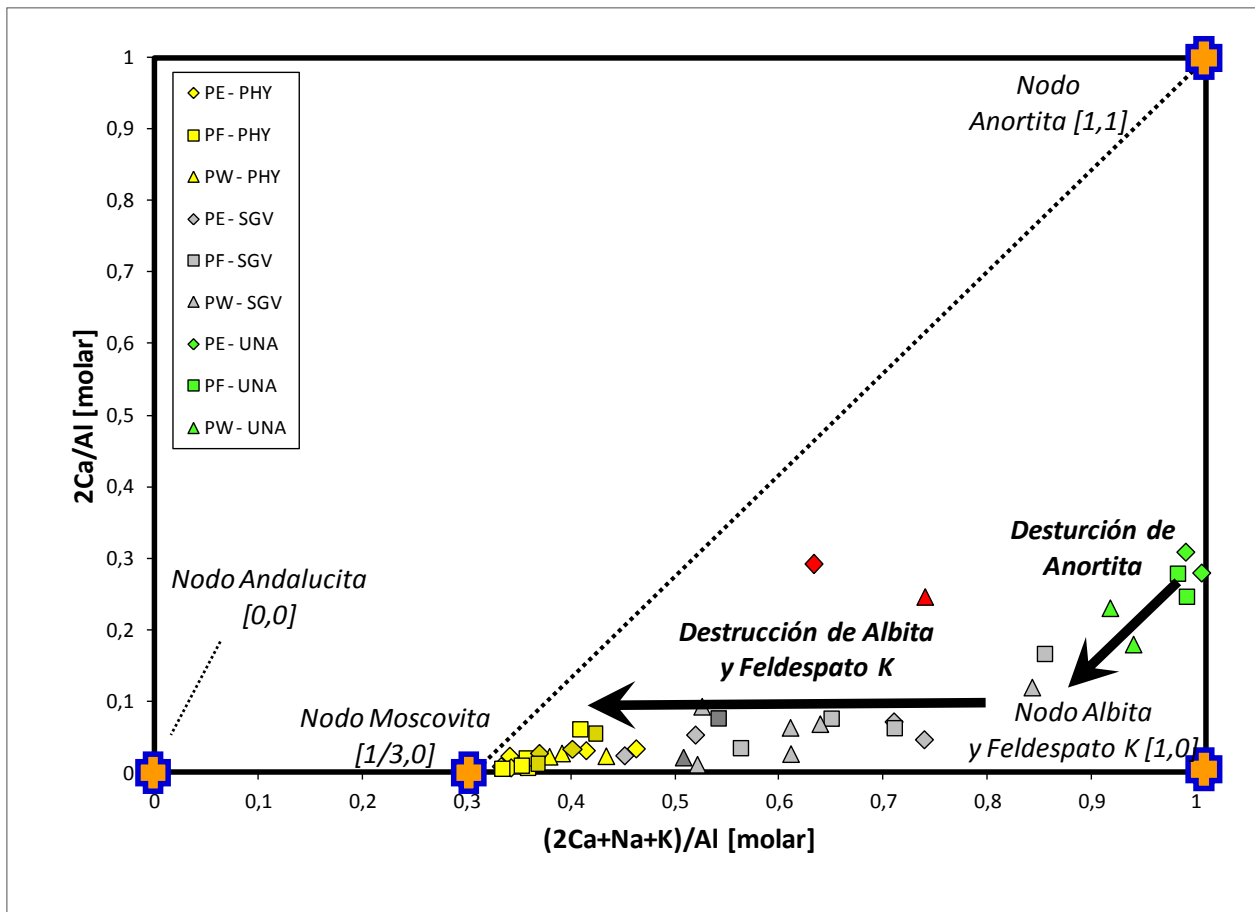


Figura 28. Gráfico GER de calcio y calcio-sodio-potasio.

Los dos gráficos anteriores no muestran tendencias idénticas aunque tampoco muestran oposiciones irreconciliables, por lo tanto se decide graficar la figura 29 que corresponde a un diagrama de Na vs. (2Ca+Na+K), ambos normalizados al Al.

Entonces, graficando las muestras en un esquema donde la anortita y el feldespato potásico se muestran en un nodo separado de la albita, se explicitan las tres tendencias que se notaban parcialmente en los dos gráficos anteriores. Esto es, una inicial destrucción de anortita sin incremento de moscovita, una segunda etapa de destrucción de albita con incremento de moscovita representada principalmente en muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y la tercera etapa corresponde a la destrucción de feldespato potásico hacia moscovita que se evidencia principalmente en la alteración filica.

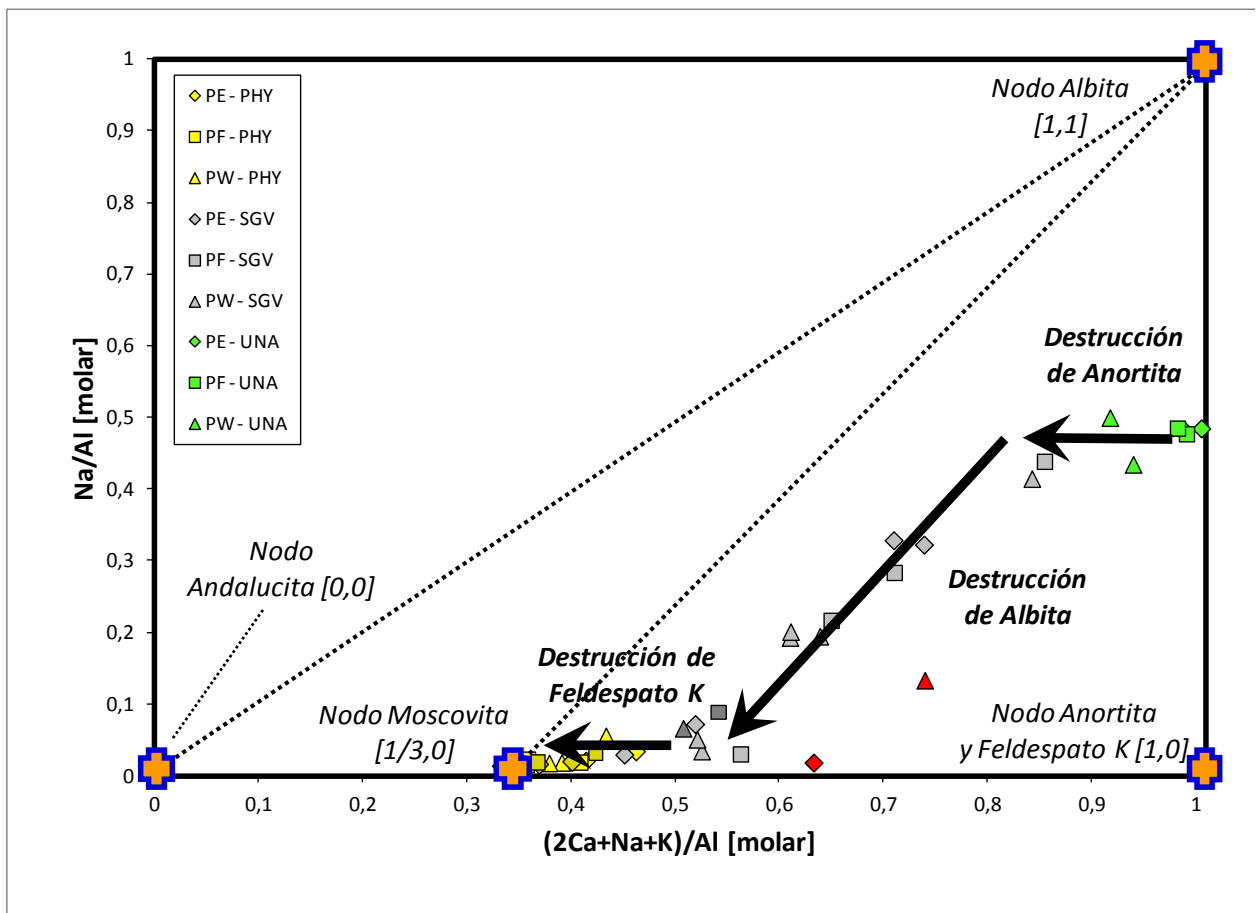


Figura 29. Gráfico GER de sodio y calcio-sodio-potasio.

Finalmente, se grafica la figura 30 que es un diagrama de Na vs. (2Ca+Na), ambos ejes normalizados al (Al-K). Esta figura corresponde a una proyección desde feldespato potásico por lo que se distinguen muy bien las dos primeras etapas de alteración y la tercera etapa de destrucción de feldespato potásico queda reducida a una expresión puntual.

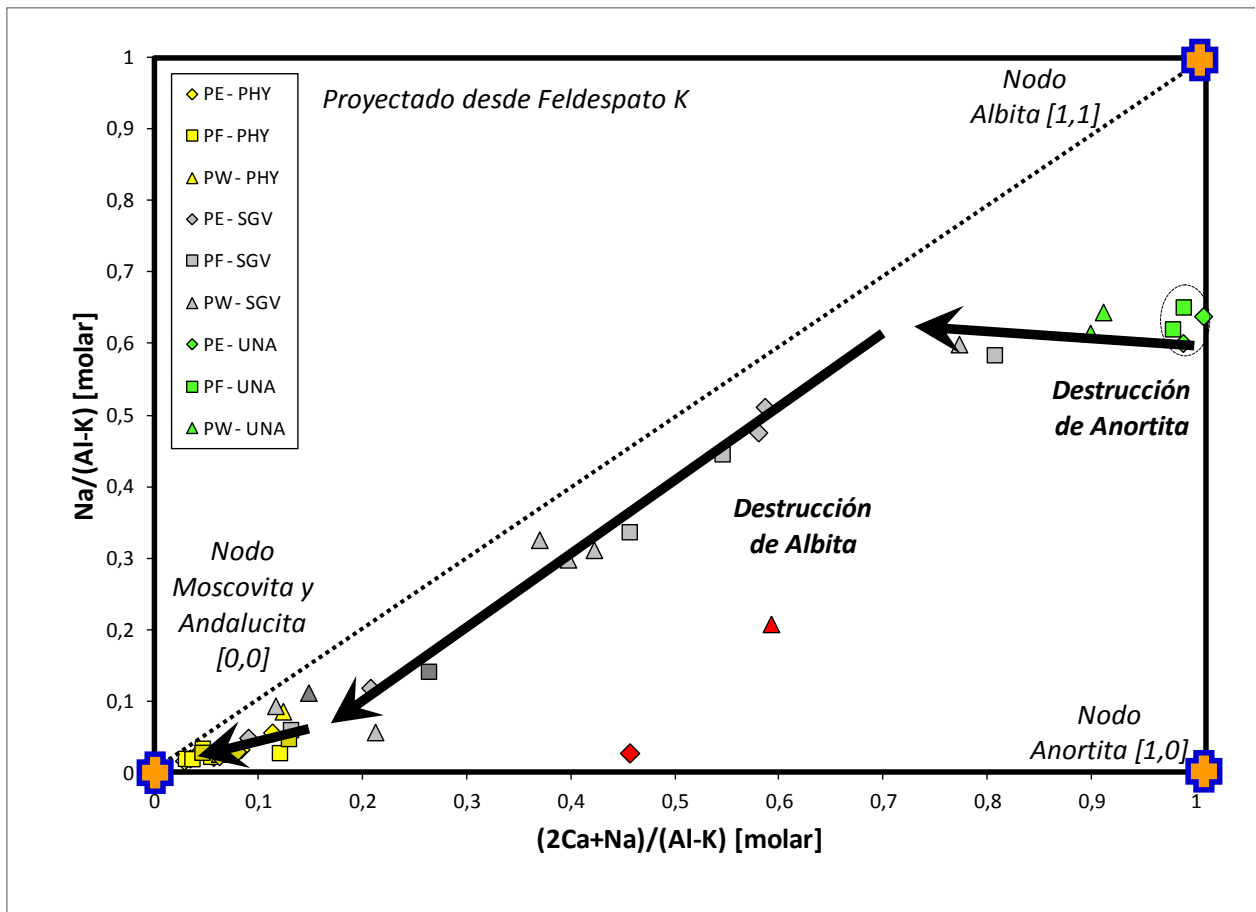


Figura 30. Gráfico GER de sodio y calcio-sodio sobre un denominador de aluminio y potasio.

Esta última figura entrega además una excelente aproximación de la composición original de las plagioclasas (albita 0.65).

5.2.4. COMPOSICIÓN INICIAL DEL SISTEMA

Utilizando las aproximaciones obtenidas de la figura 27 y de la figura 30, se puede construir un sistema de ecuaciones que entregue las cantidades originales de los componentes extremos que definen la solución sólida de los feldespatos.

$$\frac{1}{2} = PLG(0.65) + KF(X)$$

$$\frac{1}{4} = PLG(0) + KF(1 - X)$$

$$\frac{1}{4} = PLG(0.35) + KF(0)$$

Al resolver el sistema, se tiene las composiciones originales buscadas.

$$PLG = 0.715$$

$$KF = 0.286$$

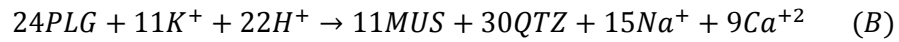
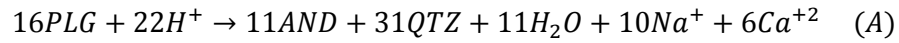
$$X = 0.126$$

$$K^+ = 0.874$$

5.2.5. REACCIONES QUÍMICAS PARA CADA ALTERACIÓN

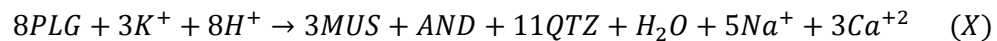
En la alteración cuarzo sericita gris verde las plagioclasas se destruyen, obteniéndose moscovita y andalucita. Por lo tanto, el estudio de las reacciones químicas para esta alteración se divide en dos miembros extremos, una primera reacción que transforma las plagioclasas en andalucita y otra reacción

que transforma las plagioclasas en moscovita (ambos casos liberan sílice, Na y Ca). Se obtienen los factores de equilibrio de ambas reacciones extremas (cálculos realizados en MATLAB) y de acuerdo a lo observado en la petrografía se estima la razón andalucita/moscovita.



La andalucita no se ha encontrado en los análisis microscópicos ni litogeoquímicos de las muestras con alteración fílica o de aquellas sin alteración, consecuentemente se asume que sólo existe asociada a la alteración cuarzo sericita gris verde. A pesar de esto la razón andalucita/moscovita sigue siendo bastante difícil de estimar, pues no todas las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde presentan ambos minerales, además aquellas muestras tienen diversos grados de alteración y pertenecen a distintos tipos litológicos.

De las 18 muestras alteradas a cuarzo sericita gris verde, se tienen cuatro muestras con presencia de andalucita, por lo que el valor de existencia más alto de esta razón es de 4/18 (límite superior). Considerando esto, se obtiene la reacción intermedia que entregarían aquellas proporciones entre los minerales de alteración.



Con la proporción estimada de los minerales andalucita/moscovita también se pueden calcular las proporciones en peso y volumen para aquellos minerales. Así, se reconoce que la diferencia volumétrica entre los minerales en cuestión alcanza un orden de magnitud en unidades de cc^3 en el caso con mayor generación de andalucita.

$$MUS = 18 * 398.71g = 7176.78g$$

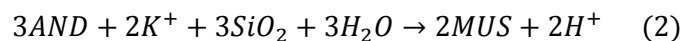
$$AND = 4 * 162.05g = 648.2g$$

$$MUS = 18 * 140.75 \text{ cc}^3 = 2533.5 \text{ cc}^3$$

$$AND = 4 * 51.44 \text{ cc}^3 = 205.76 \text{ cc}^3$$

Por lo tanto, el proceso químico de alteración a cuarzo sericita gris verde, ocurre en proporciones variables entre la reacción *B* y la reacción *X*, es decir, va desde generación absoluta de moscovita hasta la generación de andalucita y moscovita en diferencia volumétrica mayor a un orden de magnitud, de acuerdo al registro actual de las muestras en estudio.

En cambio, la reacción química que produce alteración fílica “blanca”, es absolutamente potásica. Tal como se observa en los diagramas GER, el proceso de alteración ocurre de la destrucción del feldespato potásico (y posible destrucción de la andalucita también), pero no de la reacción de las plagioclasas. Por lo tanto, en este caso las reacciones pueden independizarse, pues los reactantes principales son minerales distintos e independientes genéticamente, pero el producto mineral es el mismo.



5.3. MINERALIZACIÓN

5.3.1. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA

El mapeo de sondajes usualmente realizado en el yacimiento, sugiere que la clasificación entre alteración fílica y cuarzo sericita gris verde, se hace principalmente en base a la mineralización observada. Esta clasificación genera una limitante en el estudio comparativo de estas alteraciones. Aún cuando la selección de toma de muestras se realizó sin considerar esto, los primeros pasos en la búsqueda de testigos se llevó a cabo bajo el criterio de mapeo de sondajes realizado en la mina, por lo que la recolección de testigos no es totalmente independiente de la mineralización.

Las rocas con alteración cuarzo sericita gris verde se caracterizan por presentar mineralización de calcopirita, pudiendo estar o no acompañada de bornita, en contraste con la alteración fílica, que se caracteriza presencia de pirita mayor que calcopirita o con ausencia de este último mineral.

La clasificación macroscópica de alteraciones hidrotermales en base a su mineralización asociada, si bien ofrece un criterio razonable para discriminar, se han detectado casos en que no coinciden, en especial cuando hay solamente calcopirita con o sin pirita subordinada. Dependiendo del observador, esto pudiera ser aceptable dentro de un margen de error cualitativo, pero al igual que en el caso de las alteraciones, si se considera que el corte pulido puede no ser representativo a mayor escala y que existe alta probabilidad de mezcla de alteraciones hidrotermales, el criterio no es del todo certero y por lo tanto, representa una fuente de error en la clasificación de éstas.

5.3.2. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

La mineralización observada es fácilmente clasificable en las muestras estudiadas, ver figura 31. Se determina que en muestras con alteración fílica se presenta pirita y/o calcopirita y las muestras con

alteración cuarzo sericita gris verde tienen calcopirita o calcopirita-bornita, pudiendo estar acompañados de digenita, calcosina y/o covelina.

La calcosina, digenita y covelina corresponden a sulfuros secundarios y por lo tanto son productos de enriquecimiento supérgeno del sistema, ocurrido posteriormente a los procesos de enriquecimiento hipógeno asociados a las alteraciones en estudio. Su porcentaje en la muestras es bajo y se asocia principalmente con bornita y/o calcopirita, pues esta mineralización se relaciona a un sistema más rico en cobre (ver sección siguiente), en comparación con la mineralización hipógena asociada a la alteración fílica.

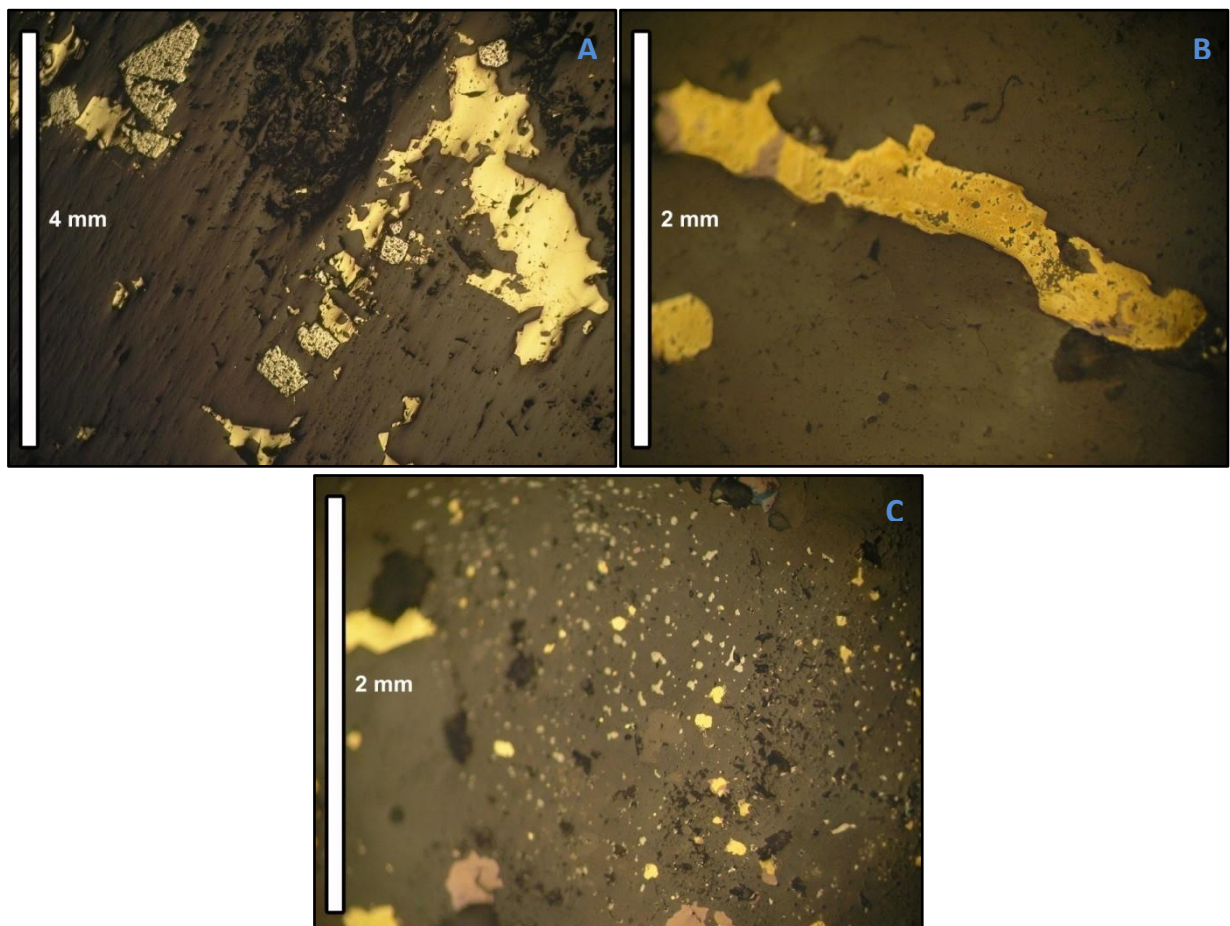


Figura 31. A) mineralización pirita y calcopirita asociada a alteración fílica. B) mineralización bornita y calcopirita asociada a alteración cuarzo sericita gris verde. C) mineralización bornita y calcopirita diseminada en muestra con alteración cuarzo sericita gris verde.

Desde el punto de vista calcográfico, la mineralización es coincidente con la mineralización determinada en el mapeo macroscópico de medio testigo. Y al igual que en el caso anterior, no se legitima el uso de este método de clasificación (según la mineralización acompañante) para determinar el tipo de alteración hidrotermal que tienen las muestras.

5.3.3. GEOQUÍMICA

En la figura 32 se presenta un diagrama de Cu vs. S, ambos normalizados al Zr. En este se ve que las rocas menos alteradas no presentan mineralización de sulfuros, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde presentan un control dominado por los sulfuros calcopirita y bornita, en cambio las muestras con alteración fílica están controladas por calcopirita y pirita, llegando a mostrar más del doble de sulfuros (no hay evidencia de sulfatos según figura 22) que las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde.

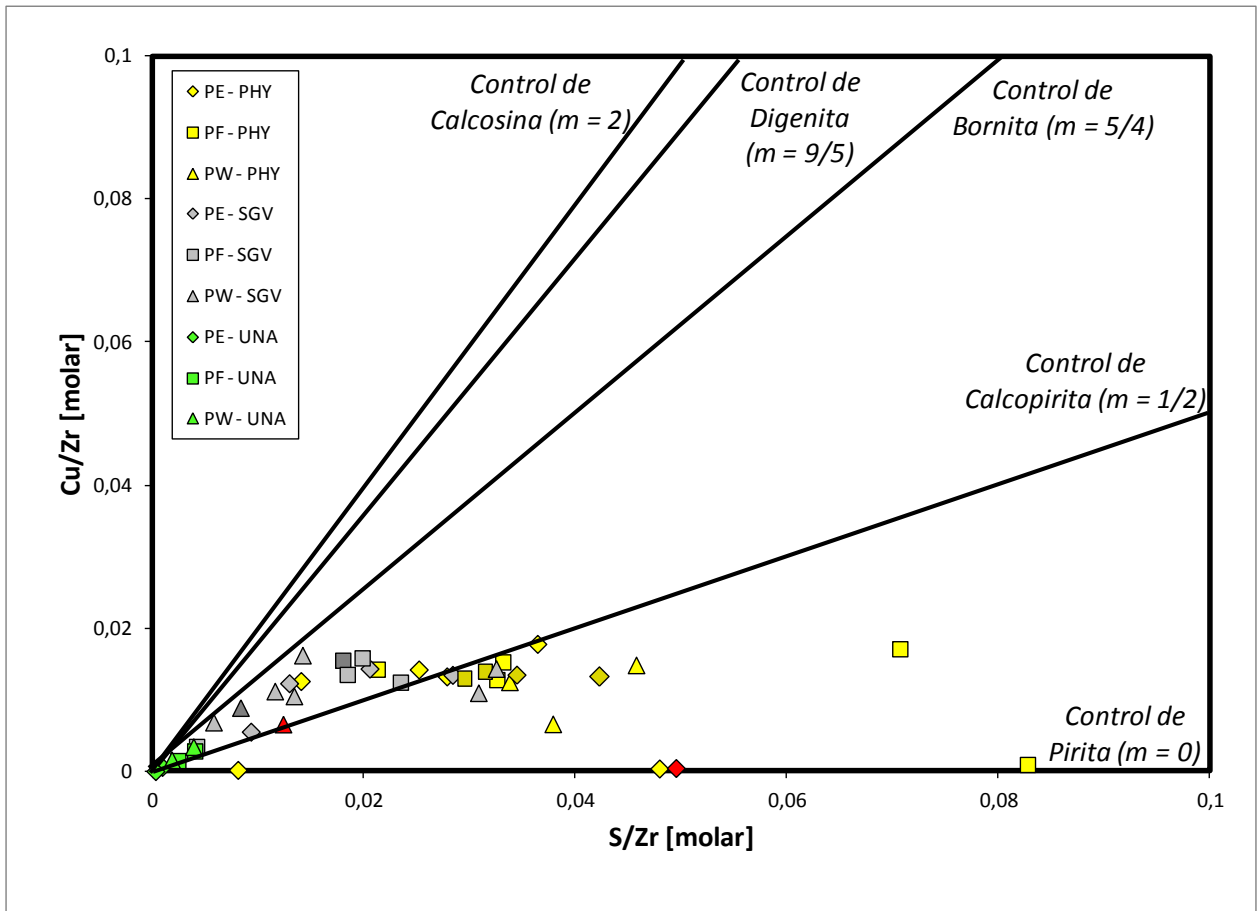


Figura 32. Gráfico PER para cobre y azufre.

En conjunto, la figura 22 y la figura 32 definen un control de sulfuros de Cu-Fe bajo en hierro para el caso de las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y un control de sulfuros Cu-Fe rico en hierro para las muestras con alteración fílica.

En la figura 33 se presenta un diagrama de $(Fe+Mg)$ vs. $(2Ca+Na+Al)$, ambos normalizados al Al. En ésta se observa una tendencia en el mismo sentido de los gráficos anteriores, es decir, se destruyen los feldespatos hacia la moscovita, siendo la alteración cuarzo sericita gris verde el estadio transicional entre las rocas "no alteradas" y la alteración fílica. Al mismo tiempo, este gráfico refleja un aumento progresivo hacia el nodo superior izquierdo, lo cual se corrobora según petrografía, pues existe un claro aumento de pirita en las muestras con alteración fílica.

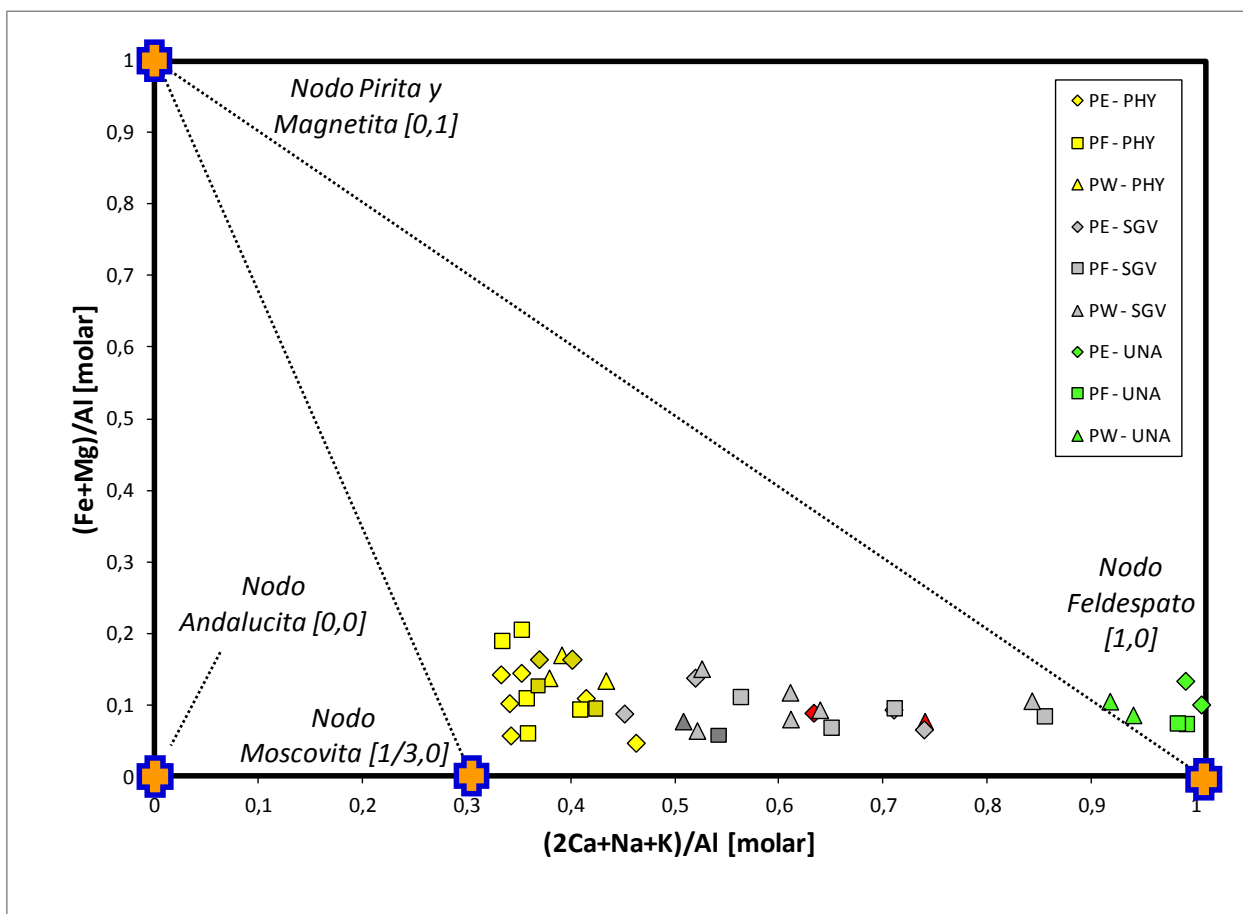


Figura 33. Gráfico GER para hierro-magnesio y calcio-sodio-potasio.

En la figura 34 se presenta un diagrama de $(Fe+Mg-S/2)$ vs. $(2Ca+Na+Al)$, ambos normalizados al Al. A este diagrama se le ha sustraído el S para exponer la figura anterior, pero proyectada desde la pirita. En éste se ve que las rocas sin alteración se ubican en la misma posición que en la figura 33, por lo tanto no presentan sulfuros ni sulfatos y la cantidad inicial del eje vertical refleja un leve contenido de magnetita y/o biotita (muestras encerradas en círculo). Al igual que en la figura anterior la alteración cuarzo sericita gris verde representa una etapa intermedia entre las rocas no alteradas y la alteración fílica, en el proceso de destrucción de magnetita y biotita. La biotita no puede ser representada en los gráficos PER o GER por su amplia variabilidad geoquímica, a pesar de haber sido identificada en varias de las muestras de este estudio, por lo tanto, para fines prácticos se considera asociada al nodo de la magnetita.

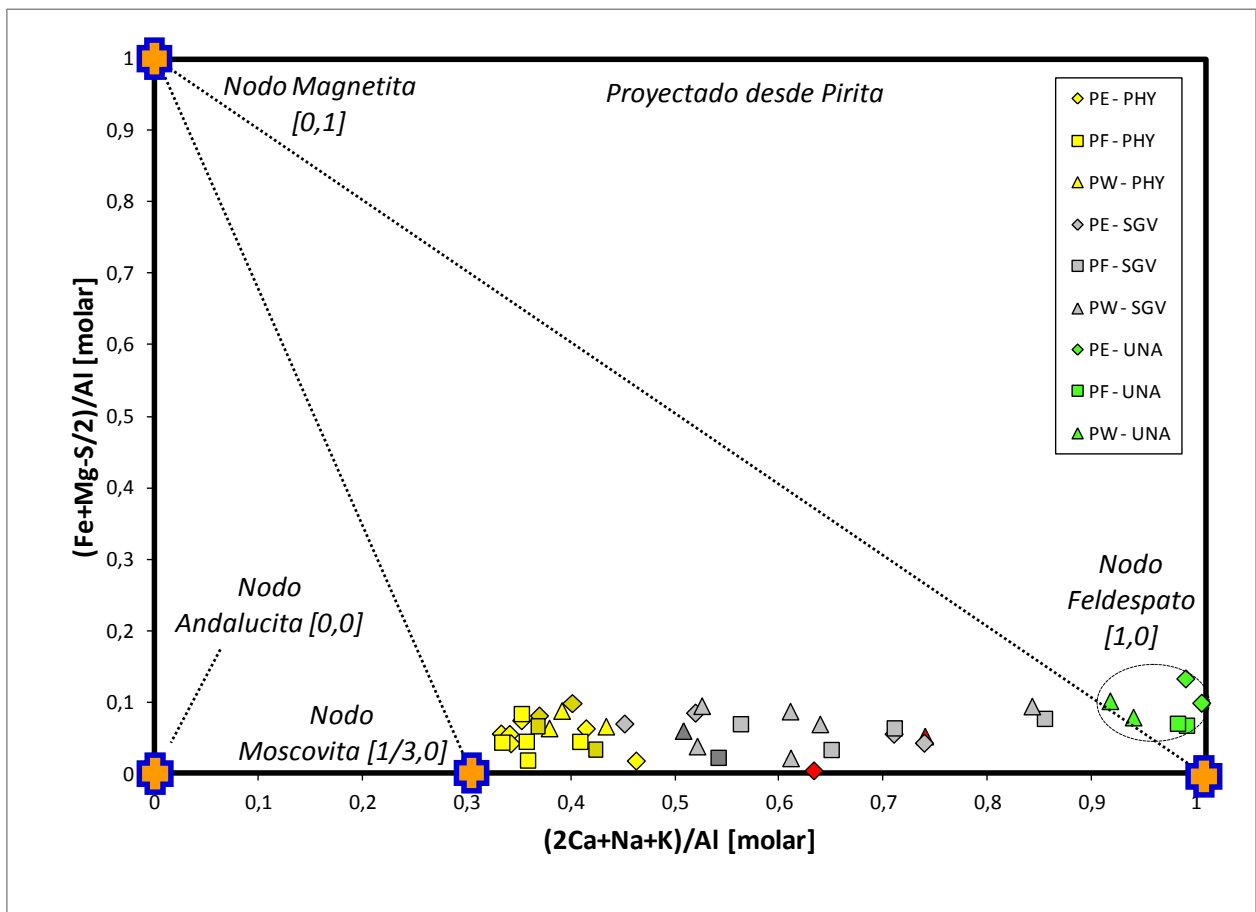


Figura 34. Gráfico GER de hierro-magnesio-azufre y calcio-sodio-magnesio.

Por otro lado, el fuerte empobrecimiento en magnetita y biotita que presenta la alteración fílica, sirve para ratificar que el aumento observado en la figura anterior es consecuencia de un incremento en pirita, tal como se ve en los estudios petrográficos y macroscópicos.

La destrucción gradual de estos minerales produce que el fluido que está alterando se enriquezca en Fe y Mg durante el proceso de alteración a cuarzo sericita gris verde. Lo que sumado al aumento de SiO_2 y Al aportado por la destrucción de las plagioclasas para construir cuarzo, sericita gris verde y andalucita, implica que la sericita gris verde correspondería a una moscovita rica en Fe, Mg y probablemente SiO_2 . Por consiguiente, la sericita gris verde equivale a la serie mineral denominada fengita (Cibin et al., 2008) restringida entre los minerales moscovita y aluminoceladonita (Rieder, 1998).

La baja proporción de andalucita no es suficiente para explicar la cantidad de Al que tiene la alteración cuarzo sericita gris verde exhibida en los gráficos anteriores. Además, la fengita observada microscópicamente no aparece reemplazando a los minerales máficos, sino que más bien los hace inestable y los destruye, por lo que el extremo celadonítico de la serie queda descartado para el caso de la alteración cuarzo sericita gris verde.

Lo anterior sugiere que el color característico que se observa en este mineral desde un enfoque macroscópico, se debe a que la sericita gris verde tiene mayores concentraciones de Fe y Mg, y se encuentra empobrecida en Al con respecto a la sericita presente en la alteración fílica.

5.4. CONDICIONES FORMADORAS

La figura 35 muestra la estabilidad de minerales de alteración típicos de depósitos de tipo pórfido cuprífero en función de la razón molar (K^+/H^+) y la temperatura (la curva de pirita-alunita se agregó de Giggenbach, 1992). En ésta, se observa que la asociación mineral compuesta por andalucita, moscovita y feldespato potásico, sólo se puede tener en el punto 1. La evolución del vapor sigue una trayectoria que atraviesa todo el campo de estabilidad de la andalucita en función de la temperatura. El fluido hidrotermal, por su parte, evoluciona en el sentido de las micas blancas, llegando al campo indiferenciado de la moscovita con illita y hasta la pirofilita.

Es necesario más análisis para determinar la real presencia de pirofilita en las muestras en estudio, para esto se puede utilizar el método de tinción o *staining*, con el cual, luego de un tratamiento de imagen, se puede determinar cuantitativamente la presencia relativa entre moscovita (o minerales con potasio) y pirofilita.

Según lo anterior, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y presencia de andalucita, estarían asociadas al punto 1, y aquellas muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y sin

presencia de andalucita estarían relacionadas a la evolución que recorre un líquido como factor de alteración, por no evidenciarse muestras controladas por andalucita y/o con ausencia de moscovita.

Por otra parte, las muestras con alteración fílica reflejan esta misma tendencia, pero partiendo desde el campo de la moscovita hasta la asociación moscovita- arcillas.

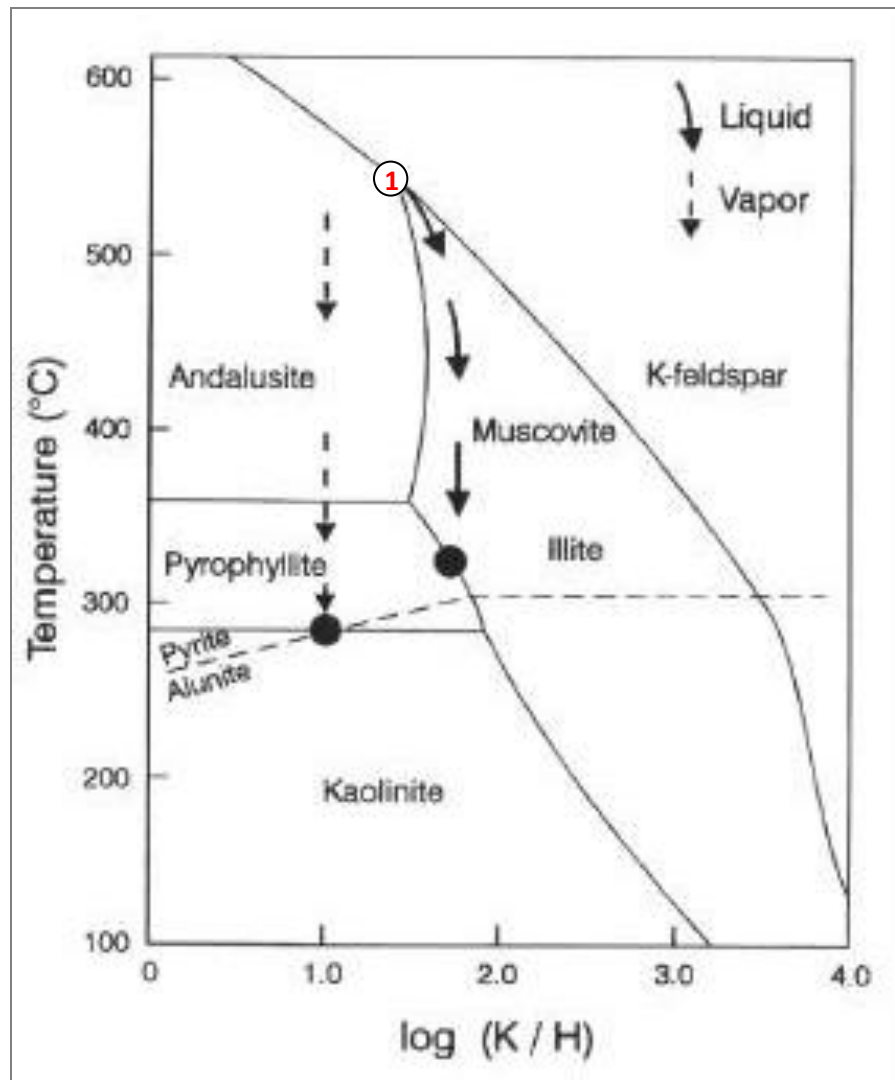


Figura 35. Estabilidad de minerales (Hemley y Jones, 1964) en función de la razón molar (K^+/H^+) y la temperatura, modificada (Sverjensky et al., 1991a)

En base a lo anteriormente descrito, se busca una forma alternativa de evaluar condiciones formadoras para estas muestras. Para esto se utiliza el método de generación de pseudosecciones en base a la composición química medida para los elementos mayores.

Aun cuando la utilización de pseudosecciones ha sido restringida casi exclusivamente al estudio de rocas metamórficas, la información obtenida corrobora de forma precisa lo antes observado en la figura 35.

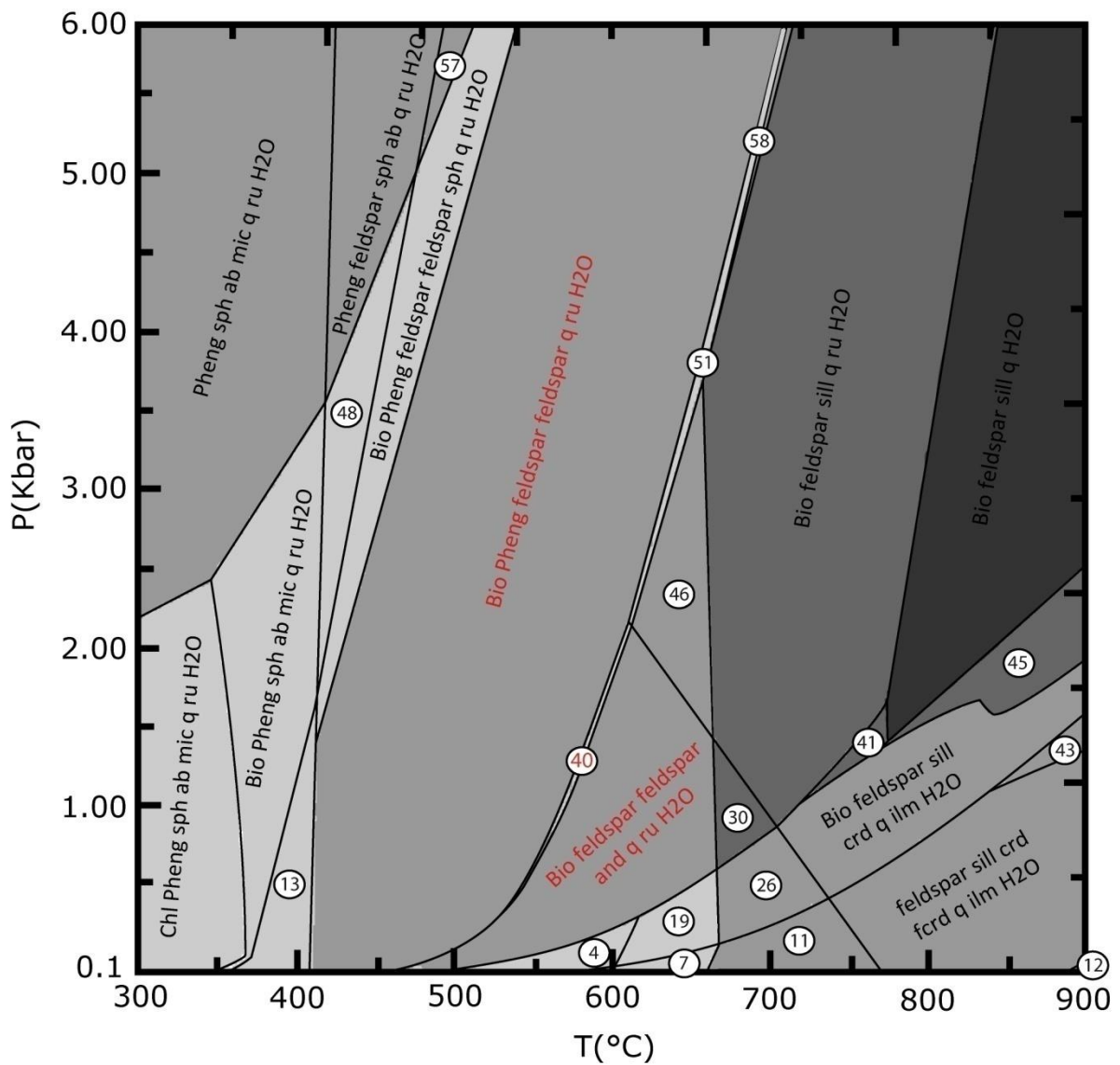


Figura 36. Pseudosección asociada a alteración cuarzo sericita gris verde (muestra GVIN07).

En la figura 36 se observa que el campo 40 donde se encuentra la paragénesis biotita, fengita o mica blanca, feldespato potásico, plagioclasa, andalucita, cuarzo, rutilo y agua corresponde a un área pequeña, elongada y con fuerte pendiente. Esto quiere decir que, para el caso de las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y presencia de andalucita la presión puede ser variable entre 0.5 y 2.5 Kbar, pero la temperatura sólo puede estar entre 530 y 570°C.

Por otra parte, las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde y sin presencia de andalucita caerían en los campos 47 y 13 (Anexo E), ya que no evidencian presencia de clorita o esfeno, por lo tanto, la presión se establece similar al caso anterior, pero la temperatura puede llegar hasta los 370°C.

También se considera asociado a la alteración cuarzo sericita gris verde, el caso que presenta plagioclasas y andalucita, sin feldespato potásico (campo 30), aunque esto depende de la composición original de las rocas. Por último, haciendo una investigación en detalle orientada a dilucidar si el mineral determinado petrográficamente como rutilo, pudiera tener algún grado de reemplazo o exsolución con ilmenita, se agregarían a los campos 19 y 26, que contienen corindón y andalucita con presencia de plagioclasas y feldespato en el primer caso, y sin feldespato en el segundo.

En cambio, en la pseudosección realizada a la muestra con alteración fílica (figura 37), se observa que la paragénesis más común se tiene en el campo 34 que denota la presencia de biotita, clorita, fengita, esfeno, cuarzo, rutilo y agua.

No se puede asegurar la presencia de esfeno en las alteraciones en estudio pues en muchos de los casos se ha visto alterado a rutilo, pero tampoco se puede descartar que no existan porciones de esfeno, por pequeñas que sean, que no se hayan alterado a rutilo. Por lo tanto, se considera como fase mineral presente.

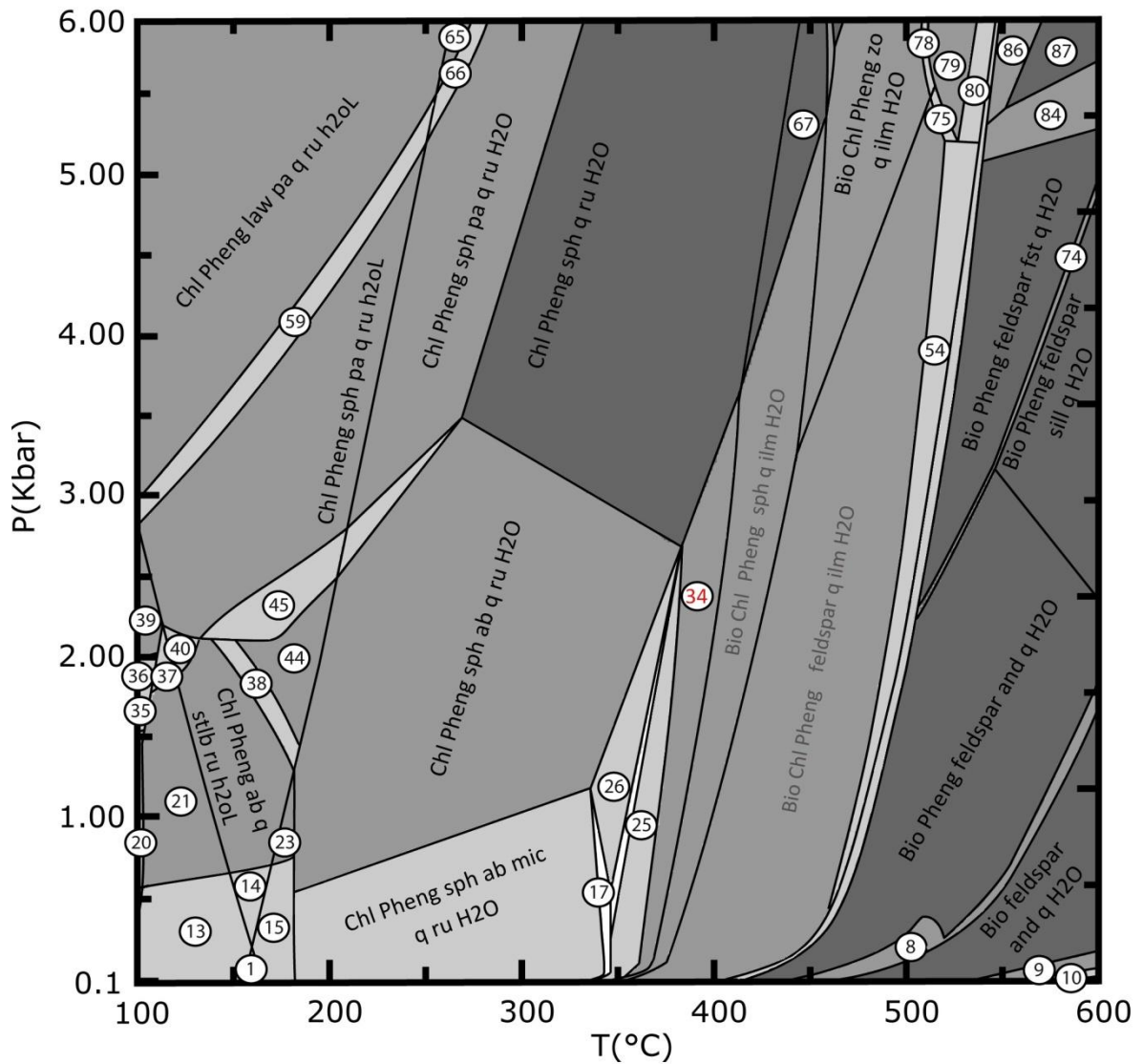


Figura 37. Pseudosección asociada a alteración filica (muestra Q5IN04).

Por otra parte, la ilmenita es un mineral muy relacionado al rutilo, aparentemente se pueden formar bajo las mismas condiciones de presión y temperatura, y ambos son minerales generados en procesos de alteración hidrotermal del esfeno, pero la ilmenita no es compatible con la alteración filica por la acidez de su pH.

Más investigación es necesaria para determinar si el mineral descrito como rutilo en la petrografía, es rutilo, rutilo rico en Fe o una combinación de ambos minerales, por lo tanto, desde el punto de vista petrográfico se considera indefinido, aunque es lógico inferir que en un ambiente rico en hierro, como lo es el caso de las muestras con alteración fílica (figura 22), se tenga rutilo rico en Fe en vez de rutilo en fase pura. Si este fuera el caso, también se considerarían representativos de la alteración fílica los campos marcados en gris (a la derecha del campo 34) pues el rutilo rico en hierro presenta la misma composición química que la ilmenita.

Esto deja al descubierto que en la generación de pseudosecciones no se contempla la actividad de hidrógeno para definir los minerales que conformaran los campos dentro del diagrama de fases, puesto que esta metodología analítica no se desarrolló originalmente para el estudio de alteraciones hidrotermales. Otra limitante que presenta este método es que considera condiciones de equilibrio químico, las cuales no siempre se tienen en los procesos de alteración hidrotermal.

El estudio de inclusiones fluidas es congruente con la interpretación de pseudosecciones, ya que revela la misma relación entre la temperatura y la mineralogía de alteración. La asociación de minerales de alteración en el caso de la alteración cuarzo sericita gris verde se produce en un evento de temperaturas cercanas al rango 400°C-600°C. En cambio, en el caso de la alteración fílica, la temperatura se establece entre 250°C-400°C.

Con respecto a la salinidad, la incertidumbre es mayor, aunque igualmente se puede determinar una pequeña alza de salinidad en las muestra con alteración cuarzo sericita gris verde (ver Anexo F). Pero, al contrastar las dos familias presentes en una misma muestra, la salinidad pareciera no tener un patrón definido de comportamiento, mostrándose equivalente.

En el caso de considerar válido aquel patrón creciente en salinidad, podría concluirse la ocurrencia de procesos de interacción entre los dos eventos de alteración de la mineralogía original que se determinaron en este estudio. Dentro de estos procesos podría contarse el “enfriamiento”, en el cual la

temperatura baja en forma casi iso-salina entre la alteración cuarzo sericita gris verde y la alteración fílica (Camprubí, 2010) o puede deberse a un proceso mixto de enfriamiento y mezcla (Velasco, 2004). Para determinar cuál de estos dos procesos responde mejor se deben graficar los datos en un diagrama P-T y determinar la dispersión de valores entre las posiciones correspondientes a los fluidos originales, pero no se puede llevar a cabo en este estudio pues se requiere una mayor cantidad de datos de inclusiones fluidas que permitan determinar una dispersión estadística válida.

También puede ser que la relación entre ambos eventos no sea un proceso consecutivo de evolución de un fluido hidrotermal sino, corresponder a dos eventos sericíticos separados en el tiempo y no vinculados entre sí.

5.5. TEMPORALIDAD

5.5.1. CARACTERIZACIÓN MACROSCÓPICA

Desde el punto de vista macroscópico y en relación al mapeo de sondajes de la mina, queda determinado que las vetillas con cuarzo sericita gris verde son previas y en la mayoría de los casos, presentan sobreimposición de vetillas con alteración fílica “normal”.

Además, de acuerdo al modelo de vetillas para pórfidos cupríferos (Sillitoe, 2010), se reconoce el evento de vetillas con cuarzo sericita gris verde, como un evento con características tanto del grupo 1 como del grupo 2 (presencia sulfuros, ensamblaje de alteración y asociadas a la alteración potásica), por lo cual se concluye que este evento se emplaza conjuntamente con las vetillas tempranas y con vetillas de cuarzo granular tipos A y B. Lo anterior se puede corroborar también desde el punto de vista mineralógico, pues la presencia de sericita gris verde ha sido registrada en paragénesis con vetillas de ambos grupos.

Tabla 14. Clasificación de vetillas en sistemas tipo pórfido cuprífero (Sillitoe, 2010).

Grupo	Vetillas	Características
1	Temprana Qz (M) Temprana Bt (EB) K-Feldespatos	-Sulfuros -Ensamblaje de alteración
2	Sulfuros-Qz granular (A, B)	± Ensamblaje alteración
3	Tardía Sulfuros-Qz cristalino (D)	Halo K destructivo

Este modelo corresponde a una versión actualizada del estudio de vetillas en pórfidos realizado en el yacimiento El Salvador (Gustafson y Hunt, 1975).

5.5.2. CARACTERIZACIÓN MICROSCÓPICA

A través del estudio petro-calcográfico de las muestras, se determina que todas las características por las cuales la alteración cuarzo sericita gris verde ha sido catalogada como un estadio intermedio entre los grupos de vetillas 1 y 2, se reconocen desde el punto de vista microscópico.

El estudio de minerales translúcidos, muestra que las vetillas relacionadas a alteración cuarzo sericita gris verde y las vetillas con alteración fílica presentan características minerales similares y se podrían interceptar, pero es difícil reconocer por este medio, cuál de las vetillas corresponde a cuál evento, ya que la mineralogía es prácticamente la misma en los halos y suturas para ambas familias de vetillas. La única excepción es la presencia de andalucita, que como se determinó anteriormente, tiene una muy baja probabilidad de ocurrencia, por lo que no constituye un buen criterio de discriminación.

Desde el punto de vista calcográfico, las vetillas con alteración cuarzo sericita gris verde presentan calcopirita con bornita o calcopirita sola, en cambio las muestras con alteración fílica presentan pirita y/o calcopirita con pirita mayoritariamente diseminada. Por lo tanto no existe un criterio de discriminación

absoluto, especialmente en los casos que la muestra sólo tiene calcopirita o en aquellos casos que poseen pirita y calcopirita, pero la pirita se encuentra diseminada y las vetillas están constituidas únicamente de calcopirita.

Lo que sí se puede inferir, es que al tener presencia de calcopirita y bornita corresponden a vetillas con alteración cuarzo sericita gris verde, ya que para tener este tipo de mineralización es necesario tener un sistema Cu-Fe bajo en Fe y esto se puede determinar de acuerdo al tipo de alteración que se presente. Pero una buena correlación entre asociación mineral de alteración y mineralización solamente se puede hacer en microscopio siempre que los cortes transparentes y pulidos correspondan a una misma ubicación de una vetilla específica.

5.5.3. GEOQUÍMICA

La geoquímica convencional, más precisamente el diagrama TAS, gráficos de óxidos (elementos mayores), afinidades potásica o alumínica, entregan información poco fiable sobre la relación temporal para estas alteraciones. Pero del estudio litogeoquímico, se desprende que además del patrón transicional que se puede ver en las muestras con alteración cuarzo sericita gris verde, las condiciones en las que ocurren los procesos hidrolíticos propician la estabilidad de asociaciones minerales disimiles identificadas para cada caso, por lo que se reconocen aquellas reacciones químicas como válidas para determinar la temporalidad de los eventos. En este escenario, se vuelve evidente que las observaciones macroscópicas y microscópicas se condicen con la litogeoquímica y la antes señalada temporalidad de los eventos, es decir, el proceso asociado a la generación de vetillas con cuarzo sericita gris verde es previo a la alteración cuarzo sericita “blanca” si ambas alteraciones fueran producto de un mismo evento.

Además de establecerse que la alteración cuarzo sericita gris verde es previa a la alteración fílica, se intuye que la temporalidad relativa, más allá de ser un estado estrictamente posterior e independiente, corresponde a una transición en el tiempo de un sistema en evolución. Esto se observa ya que existe dependencia desde el punto de los componentes químicos, las temperaturas de formación de ambas

alteraciones (de acuerdo a las pseudosecciones e inclusiones fluidas) y probablemente también, la variabilidad en las salinidades.

Lo anterior no descarta que estas alteraciones puedan ser afectadas por pulsos adicionales magmáticos y/o hidrotermales que generen superposición de los eventos caracterizados en esta tesis.

VI. CONCLUSIONES

En este capítulo se describen las conclusiones principales obtenidas en esta investigación.

En primer lugar, se concluye que no existe un término único, explícito o estricto que defina al mineral de alteración o asociación mineral denominado sericita, pero sí se reconoce que es un agregado microcristalino de minerales micáceos (filosilicatos) y se produce de una reacción hidrolítica que altera principalmente al grupo de los feldspatos y en algunos casos al grupo de los minerales ferromagnesianos.

La alteración cuarzo sericita gris verde se diferencia de la alteración sericítica blanca por su color modal. No se ha podido determinar en análisis microscópicos un factor mineral que genere esta diferencia, pero en este yacimiento se identifica que la sericita asociada a este tipo de alteración es de mayor tamaño que la sericita “blanca” y presenta un empaquetamiento menos compacto que aquella. Además, se descarta que la sericita verde, corresponda a un agregado mineral compuesto por sericita y clorita, ya que la cantidad de clorita presente en las muestras es casi nula o ausente en algunos casos, aun cuando es recomendable hacer microanálisis en las micas para corroborar la composición mineral con mayor precisión.

El probable enriquecimiento en Fe y Mg producto de la destrucción de los minerales máficos que sufren las rocas que están siendo alteradas, junto con un aumento de SiO₂ y Al aportado por la destrucción de las plagioclasas generan un ambiente propicio para que a sericita gris verde corresponda a una moscovita rica en Fe, Mg y probablemente SiO₂. Por consiguiente, la sericita gris verde equivaldría a la serie mineral denominada fengita restringida entre los minerales moscovita y aluminoceladonita, esto es sin considerar el extremo celadonítico de la solución sólida.

Desde el punto de vista microscópico, se evidencian diferencias entre las dos asociaciones minerales sericíticas. La alteración fílica se caracteriza por presentar una asociación de cuarzo, sericita, rutilo, pirita y/o calcopirita, en cambio, la alteración cuarzo sericita gris verde conserva parte de la mineralogía primaria y tiene una asociación de minerales de alteración con más fases minerales, es decir, presenta mayor variabilidad mineralógica: cuarzo, feldspatos, sericita, andalucita, rutilo, actinolita, biotita primaria o secundaria, clorita o flogopita, epidota, calcopirita, bornita (y posibles sulfuros de cobre supérgenos) lo que podría estar reflejando que la cuarzo sericita gris verde corresponde a una alteración transicional.

En el caso estudiado, la intensidad de alteración que presentan las muestras hace que sea imposible una clasificación modal para determinar la composición original de las rocas, por lo tanto los diagramas de Streckeisen en base a componentes químicos molares, entregan una excelente herramienta en la determinación litológica de las rocas menos alteradas y para evaluar la composición modal de las rocas alteradas. La litogeoquímica también es indispensable para determinar los controles minerales, la evolución de los procesos de alteración y mineralización; y para encontrar las condiciones iniciales del sistema, las que a su vez permiten descifrar las reacciones química por las cuales se rigen estos procesos de alteración.

La proporción de andalucita sobre moscovita puede variar en cada yacimiento, pero la metodología a utilizar para determinar las reacciones químicas que controlan la alteración, debiera ser la misma pues se considera válida para cualquier razón entre estos minerales.

Se concluye que la alunita hipógena no es parte de los sistemas de alteración en estudio, solamente se genera en la alteración argílica avanzada (Corbett y Leach, 1998), y por lo tanto, ha sido correctamente eximida de la mineralogía de alteración. Esto además se valida por no haber sido detectada en la difracción de rayos X al contrastarse con los difractogramas tipo de alunitas (Universidad de Valladolid, 2011), los cuales se pueden observar en el Anexo A.

Con respecto a la mineralización asociada a este tipo de alteración hidrotermal, se determina que en la alteración cuarzo sericita gris verde predomina la mineralización de calcopirita y bornita, con déficit de pirita.

La variabilidad litológica de los cuerpos intrusivos en cuestión, no parece ser un factor preponderante para el control del tipo de alteración sericítica a generarse. En este caso, priman factores como la actividad del ion hidrógeno, la temperatura y comportamiento reológico de la roca huésped. Por lo tanto, se concluye que para generar alteración cuarzo sericita gris verde debieran coexistir estas condiciones: sistema magmático tardío hidrotermal temprano, altas temperaturas, comportamiento dúctil de la roca de caja (isoterma 400° C marca en buena medida la zona de transición entre roca frágil y roca dúctil) y condiciones de deformación que sean capaces de generar aumento puntual de la permeabilidad secundaria.

Ha sido posible caracterizar el comportamiento de la alteración cuarzo sericita gris verde con respecto a la roca de caja y es por esto que se determina que su estilo de mineralización es asociado a estructuras, principalmente en halos de vetillas y fracturas rellenas. Lo anterior sugiere que estas estructuras son cogenéticas al fracturamiento hidráulico, por lo tanto debieran responder, en orientación y distribución, a los regímenes de deformación que se dan durante la alteración potásica, en condición dúctil a frágil-dúctil.

La alteración cuarzo sericita gris verde corresponde a la facies de mayor temperatura de la alteración fílica y ambas alteraciones tendrían una relación genética/temporal interpretada como la evolución de un mismo sistema de alteración.

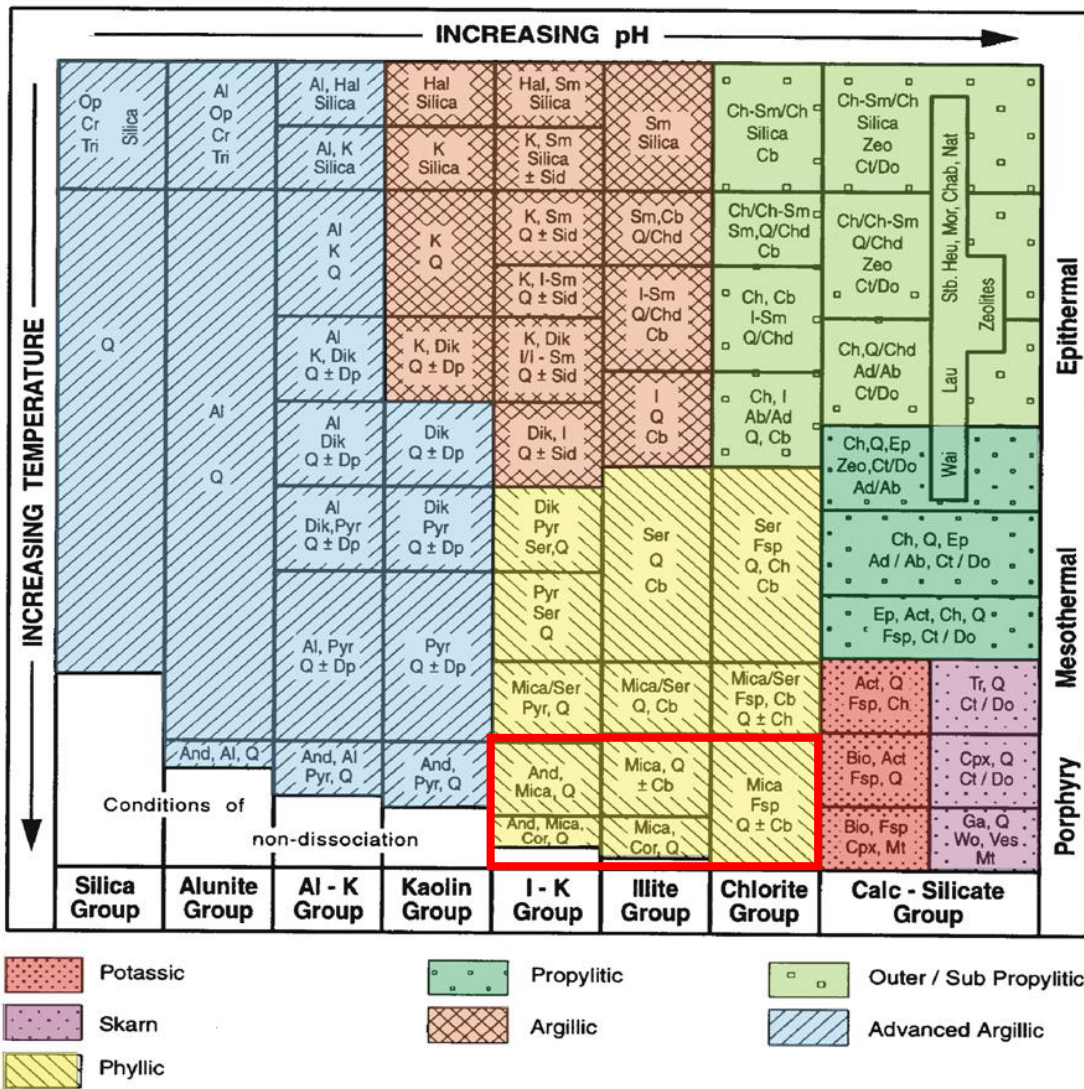


Figura 38. Tabla de clasificación de alteraciones hidrotermales (Corbett y Leach, 1998).

Se reconoce que, tanto la alteración filica “blanca” como la alteración cuarzo sericita gris verde corresponden a procesos hidrolíticos que generan micas similares desde el punto de vista mineralógico, pero se entienden como eventos disimiles. La alteración cuarzo sericita gris verde parece tener una evolución química distinta debido a las condiciones iniciales tanto del fluido como de la roca de caja, una temporalidad relativa y una mineralización asociada diferentes (con respecto a la alteración filica “blanca”), por lo tanto, se considera como una alteración autónoma pero no aislada de la alteración filica y se asocia a las dos fases de mayor temperatura del Grupo I-K, del Grupo Illita y también a la fase de mayor temperatura del Grupo Clorita, según la figura 38.

Se reconoce que la metodología de análisis litogeoquímico en base a diagramas de elementos conservados y no conservados (esto es PER y GER, respectivamente) es certera por presentar una buena correlación con la petro-calcografía y las fases minerales de debieran encontrarse de acuerdo al estudio de pseudosecciones.

Además de ser una buena metodología de discriminación de alteraciones, permite describir la evolución de las alteraciones y determinar condiciones transicionales. Por lo tanto, se recomienda su utilización, especialmente para casos en que el ojo humano entrenado no sea capaz de dilucidar diferencias que se generen en algunos procesos químicos.

También, se valida la utilización de pseudosecciones en este estudio de metasomatismo, especialmente para el caso de la alteración hidrotermal de mayor temperatura. Esto se puede evaluar con la figura 39, que muestra un patrón similar a la pseudosección calculada en base a la alteración cuarzo sericita gris verde. En esta figura se tiene que la mineralogía de alteración se encuentra en el campo delimitado por las curvas 6 y 4, lo que genera las mismas condiciones termodinámicas a las obtenidas mediante la construcción de pseudosecciones: temperatura en el rango 500°C-600°C y presión con límite superior entre 2-3 Kbar.

Además de validarse, en este caso se reconoce más precisa en los límites de las variables P y T; y también más específica, gracias al control de fases minerales que se puede hacer del sistema en estudio. Por lo cual, demuestra ser una útil herramienta de diferenciación de alteraciones hidrotermales y de determinación de ambientes.

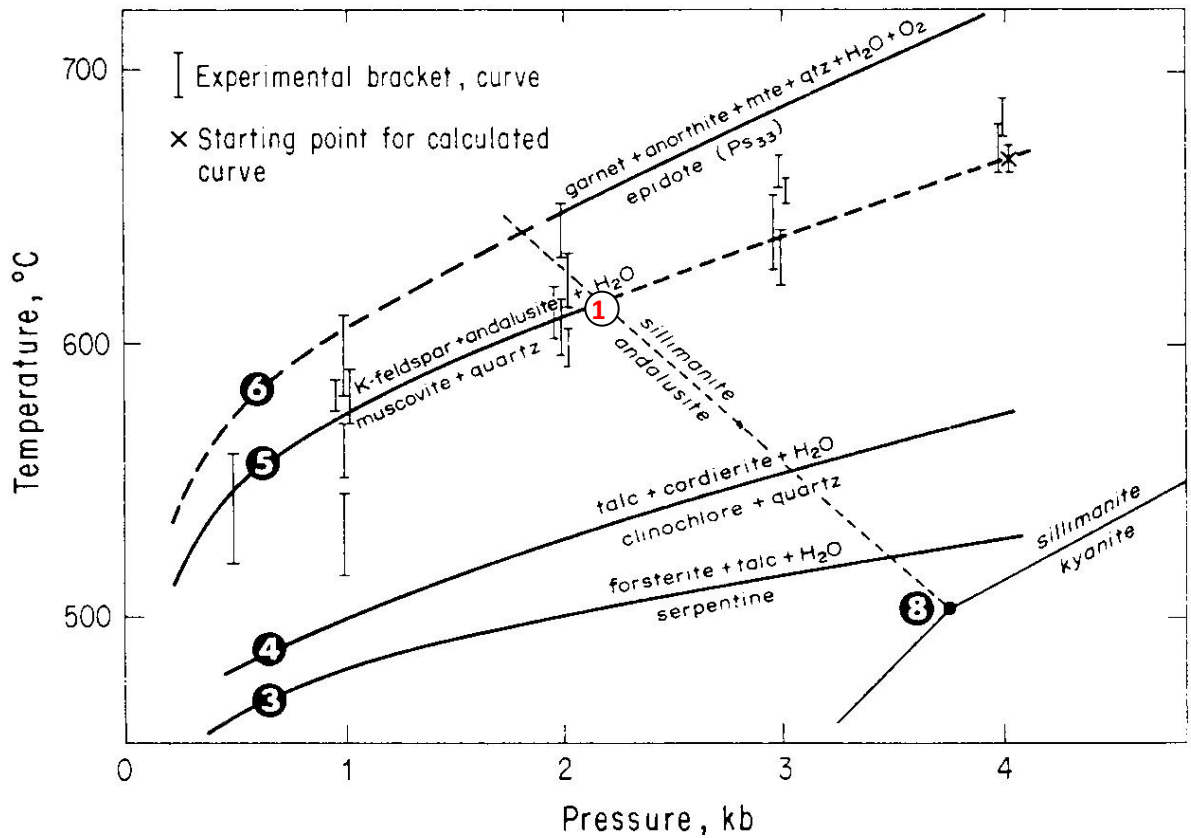


Figura 39. Relaciones presión-temperatura de reacciones de equilibrio de deshidratación y transformaciones polimórfica (Rose y Burt, 1979).

Si bien se han identificado diferencias en la mineralización asociada a cada tipo de alteración sericítica en estudio, se determina que el mapeo de minerales de alteración en base a la mineralogía de mena no es óptimo ya que se han identificado falencias, especialmente en los casos de superposición de eventos y cuando solamente se logra identificar calcopirita como mineral de mena. Por lo que se recomienda buscar métodos de apoyo para eventualmente mejorar el mapeo visual de alteraciones y por consiguiente el modelo geometalúrgico.

La clasificación de las alteraciones sericíticas pudiera mejorarse mediante el empleo de criterios litogeoquímicos, pues son cuantitativos y sólo requieren de información geoquímica validada (proceso

de control de calidad. Por otra parte, la información que se puede obtener de estos análisis va más allá de la distinción del tipo de alteración hidrotermal y permite determinar la génesis y evolución de éstas.

Se recomienda realizar más análisis de inclusiones fluidas, para tener una mejor estimación de la salinidad del fluido reactor y así poder evaluar el rol que juega este factor en los dos tipos de alteración que se analizan en este documento.

Con respecto a las zonaciones espaciales, en un sistema continuo y sin superposición de eventos, se espera que la alteración cuarzo sericita gris verde sea más profunda que la alteración filica “blanca”, pero no es posible estimar zonaciones laterales entre ellas. Y en niveles más profundos puede esperarse que la sericita gris verde se presente en vetillas micáceas con biotita y/o con halos biotíticos (Early dark micaceous o Early biotite).

VII. REFERENCIAS

Aguilar, J. C. (2008). *Caracterización geotécnica y estructural de la rampa de exploración y del túnel de drenaje, mina Chuquicamata*. Universidad de Chile: Memoria para optar al título de geólogo.

Álvarez et al. (1980). Geología del complejo Chuquicamata. *Anales del congreso cincuentenario del Instituto de Ingeniería en Minas*, Vol. II, 314-363.

Ambrus, J. (1979). *Emplazamiento de los pórfidos cupríferos de Chile*. España: Universidad de Salamanca.

Aracena, I. (1981). *Geología y alteración del sector norte del yacimiento Chuquicamata*. Santiago: Universidad de Chile.

Ballard et al. (2001). Two ages of porphyry intrusion resolved for super-giant Chuquicamata copper deposit of northern Chile by ELA-ICP-MS and SHRIMP. *Geology*, Vol. 29, 383-386.

Beane y Titley. (1981). Porphyry copper deposits, Part II. Hydrothermal alteration and mineralization. *Economic Geology*, 235-263.

Biese, W. (1961). *El Jurásico de Cerritos Bayos*. Santiago: Universidad de Chile.

Bodnar, R. (1993). Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions. *Geochim Cosmochim*, 683-684.

Burnham, W. (1962). A method for determining the solubility of water in silicate melts. *American Journal of Science*, 721-745.

Camprubí, A. (2010). Criterios para la exploración minera mediante microtermometría de inclusiones fluidas. *Boletín de la Sociedad Mexicana*, 25-42.

Canales et al. (2006). *Protocolo de mapeo de sondajes para Radomiro Tomic*. Codelco Norte: Informe inédito.

Chong y Pardo. (1994). *Geología del distrito Chuquicamata, segunda región Antofagasta*. Codelco Norte: Informe inédito.

Cibin et al. (2008). The octahedral sheet of metamorphic 2M1-phengites: A combined EMPA and ACANES study. *American Mineralogist*, 414-425.

Connolly, J. (2005). Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Sciences Letters*, 524-541.

Corbett y Leach. (1998). Southwest Pacific Rim gold copper systems: Structure, alteration and mineralization. *Society of Economic Geologists*, 273.

- Cornejo, J. (2009). *Modelamiento geoestadístico de bundancias de minerales en el yacimiento Radomiro Tomic*. Santiago: Universidad de Chile.
- Creasey, S. (1959). Some phase relations in the hydrothermally altered rocks of porphyry copper deposits. *Economic Geology* .
- Creasey, S. (1966). *Hydrothermal alteration, in Titley, S.R. and Hicks, C.L. eds., Geology of the porphyry copper deposits*. Tucson: University of Arizona.
- Cuadra et al. (1997). Dataciones radiométricas recientes en Radomiro Tomic. *VIII Congreso Geológico Chileno*, (págs. Acta Vol. II, 916-919). Antofagasta.
- Cuadra et al. (1997). Geología del yacimiento Radomiro Tomic. *VIII Congreso Geológico Chileno, Actas Vol. III* , 1918-1922.
- Cuadra y Rojas. (2001). Oxide mineralization at the Radomiro Tomic porphyry copper deposit, northern Chile. *Economic Geology* , 387-400.
- Dilles et al. (1997). El Abra and Fortuna complexes: a porphyry copper batholith sinistrally displaced by the Oeste fault. *Actas del VIII Congreso Geológico Chileno*, Vol. III, 1883-1887.
- García, F. (1967). Geología del norte grande de Chile. *Simposio sobre el geosinclinal andino*, Publicación N°3, 138.
- Giggenbach. (1992). Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries. *Economic Geology*, 1927-1944.
- Gustafson y Hunt. (1975). The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 857-912.
- Gustafson y Quiroga. (1995). Patterns of mineralization and alteration below the porphyry copper orebody at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, 2-16.
- Hemley et al. (1971). Some alteration reactions in the system CaO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O. *Society of Mining Geologists of Japan, Special issue 2*, 58-63.
- Hemley y Jones. (1964). Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. *Economic Geology*, 538-569.
- Herrera, P. (2008). *Geoquímica del yacimiento Radomiro Tomic (RT), Calama. Región de Antofagasta, Chile*. Calama: Universidad Católica del Norte.
- Holland y Powell. (1998). An internally consistent thermodynamic data set for phases of petrological interest. *Journal of Metamorphic Geology* , Vol. 6 Issue 3, 309-343.
- Hunt, J. (1991). Porphyry copper deposits. *Economic Geology* , Monograph 8: 192-206.
- Leiva et al. (2000). *Caracterización geotécnica-estructural en mina Radomiro Tomic*. Codelco Chile, División Radomiro Tomic: Informe inédito.

- Lindgren, W. (1917). *Report on the Chuquicamata Lode*. Codelco Chile, división Chuquicamata: Superintendencia de Geología.
- Lira, G. (1989). *Geología del área pre-andina de Calama, con énfasis en la estratigrafía y paleogeografía del Mosozoico, 22° a 22°40' latitud sur, región de Antofagasta*. Santiago: Universidad de Chile.
- Maksaev et al. (1994). Estudio geológico de la franja longitudinal comprendida entre Quebrada Blanca y Chuquicamata SERNAGEOMIN-CODELCO. *Informe inédito*, 72.
- Maksaev, V. (1978). Geología del cuadrángulo Chitigua y sector occidental del cuadrángulo Cerro Palpana. *Carta geológica de Chile, Instituto de investigaciones geológicas*, 31-55.
- Maksaev, V. (2003). *Evolución del conocimiento de los procesos involucrados en la génesis de los pórfidos cupríferos*. Santiago.
- Marinovic y Lahsen. (1984). *Hoja Calama N°58 escala 1:250.000, región de Antofagasta*. Carta geológica de Chile: Sernageomin.
- Munizaga, F. (1976). *Determinación de edades radiométricas de rocas de Chuquicamata y El Abra. Informe departamento de geología*. Brasil: Universidad de Sao Paulo.
- Ortega et al. (2006). *Caracterización geológica, geotécnica y geometalúrgica 2005-2009 (CBV) mina Radomiro Tomic*. Codelco Norte: Informe inédito.
- Ossandón y Zentilli. (1997). El distrito de Chuquicamata: una concentración de cobre de clase mundial. *Actas VIII Congreso geológico chileno, 1888-1892*.
- Padilla et al. (2001). Geology of the Escondida porphyry copper deposit, Antofagasta region, Chile. *Economic Geology*, V. 96, N°2, 307-324.
- Pardo, R. (2006). *Trabajos realizados por Rio Tinto Mining and Exploration Limited hasta mayo de 2006 en el proyecto Pimentón, bajo un acuerdo suscrito en una carta de entendimiento con South American Gold and Copper Co. Ltd*. Santiago.
- Pardo y Rivera. (1999). *Exploración básica de seguimiento en distrito Chuquicamata II región*. Informe inédito.
- Parry et al. (2002). Clay Mineralogy of phyllic and intermediate argillic alteration at Bingham, Utah. *Economic Geology*, 221-239.
- Parry et al. (1984). Geochemistry of hydrothermal sericite from Roosevelt Hot Springs, and the Tintic and Santa Rita porphyry copper systems. *Economic Geology*, 72-86.
- Powell y Holland. (2010). Using equilibrium thermodynamics to understand metamorphism and metamorphic rocks. *Elements*, 309-314.
- Ralph, J. (2000). *Mindat*. Obtenido de <http://www.mindat.org>

- Reed y Rusk. (2001). Insights into supercritical hydrothermal processes from numerical models of potassic hydrothermal alteration, and SEM-CL imaging of vein quartz at Butte, Montana. *Workshop on Potential Thermal Extraction from Deep-seated Rock Masses: Sendai, Japan, Tohoku University* , 37-53.
- Reed, M. (1999). Zoning of metals and early potassic and sericitic hydrothermal alteration in the Butte, Montana, porphyry Cu–Mo deposit. *Geological Society of America Abstracts* , 381.
- Renzetti, B. (1957). *Geology and petrogenesis at Chuquicamata*. USA: Indiana University.
- Rieder, M. (1998). Nomenclature of the micas. *The Canadian Mineralogist* , 905–912.
- Rojas y Cuadra. (2000). Caracterización de los óxidos de cobre del yacimiento Radomiro Tomic. *Actas del IX Congreso Geológico Chileno* , 341-345.
- Rose y Burt. (1979). Hydrothermal Alteration. En: *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Segunda Edición (Hubert L. Barnes). *Wiley Interscience Publication* , , 173-235.
- Rusk et al. (2008). Fluid Inclusion Evidence for Magmatic-Hydrothermal Fluid Evolution in the Porphyry Copper-Molybdenum Deposit at Butte, Montana. *Economic Geology* , 307-334.
- Schwartz, G. (1947). Hydrothermal alteration in the "porphyry copper" deposits. *Economic Geology* , 319-352.
- Sillitoe, R. (2010). Porphyry Copper Systems. *Economic Geology* , 3-41.
- Silva, D. (1981). Petrología, alteraciones y oclusiones fluidas en el stockwork de molibdeno "Los Chicharrones", Nacoriba, Municipio de Badiraguato, Sinaloa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 42-1.
- Soto, H. (1979). *Alteración y mineralización primaria en Chuquicamata (unpub.)*. España: Universidad de Salamanca.
- Spear, F. S. (1993). *Metamorphic Phase Equilibria and Pressure-Temperature-Time Paths*. Troy, New York: BookCrafters.
- Stanley y Lawie. (2007). Average relative error in geochemical determinations: clarification, calculation and a plea for consistency. *Exploration and Mining Geology* , Vol. 16, N° 3-4, pp. 267-275.
- Streckeisen, A. (1976). To each plutonic rock its proper name. *Elsevier* , 1-33.
- Sverjensky et al. (1991a). Thermodynamic assessment of hydrothermal alkali feldspar-mica-aluminosilicate equilibria. *Geochim. Cosmochim.* , 989-1004.
- Titley, S. (1993). Characteristics of porphyry copper occurrence in the American southwest. *Geological Association of Canada* , 433-464.
- Tapia, J. (1980). *Distribución y control de la mineralización en el yacimiento Chuqui Norte, II región Antofagasta*. Chile: Universidad Católica del Norte.

Thomas, A. (1978). *Geología de la zona El Inca, Chuquicamata*. Codelco Chile, División Chuquicamata: Informe inédito.

Universidad de Valladolid. (06 de 10 de 2011). *Servidor Web de Minerales*. Obtenido de <http://greco.fmc.cie.uva.es/index.asp>

Valencia. (2006). Características metalogenéticas de los depósitos de tipo pórfido cuprífero en México y su situación en el contexto mundial. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana* , 1-26.

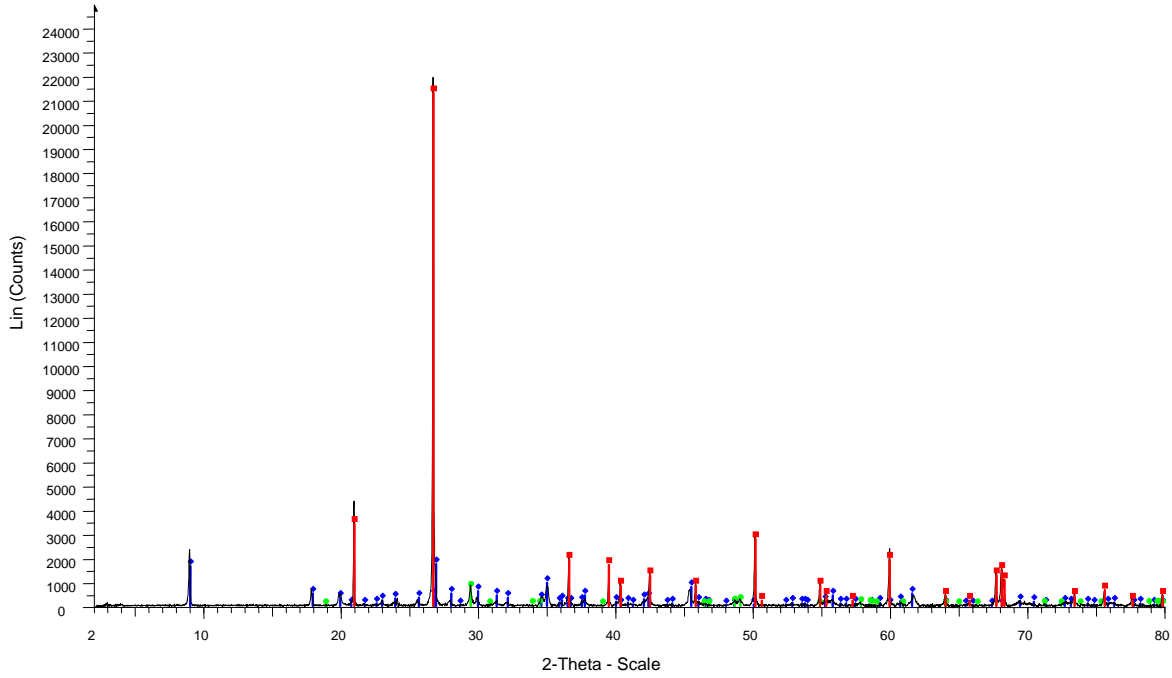
Velasco, F. (2004). *Introducción al estudio de las inclusiones fluidas*. Mendoza, Argentina: XXIII Curso Latinoamericano de Metalogenia.

Zürich, E. T. (2002). *Perple_X (Összegabaly_i*)*. Obtenido de <http://www.perplex.ethz.ch>

ANEXO A

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

RT GVIN02



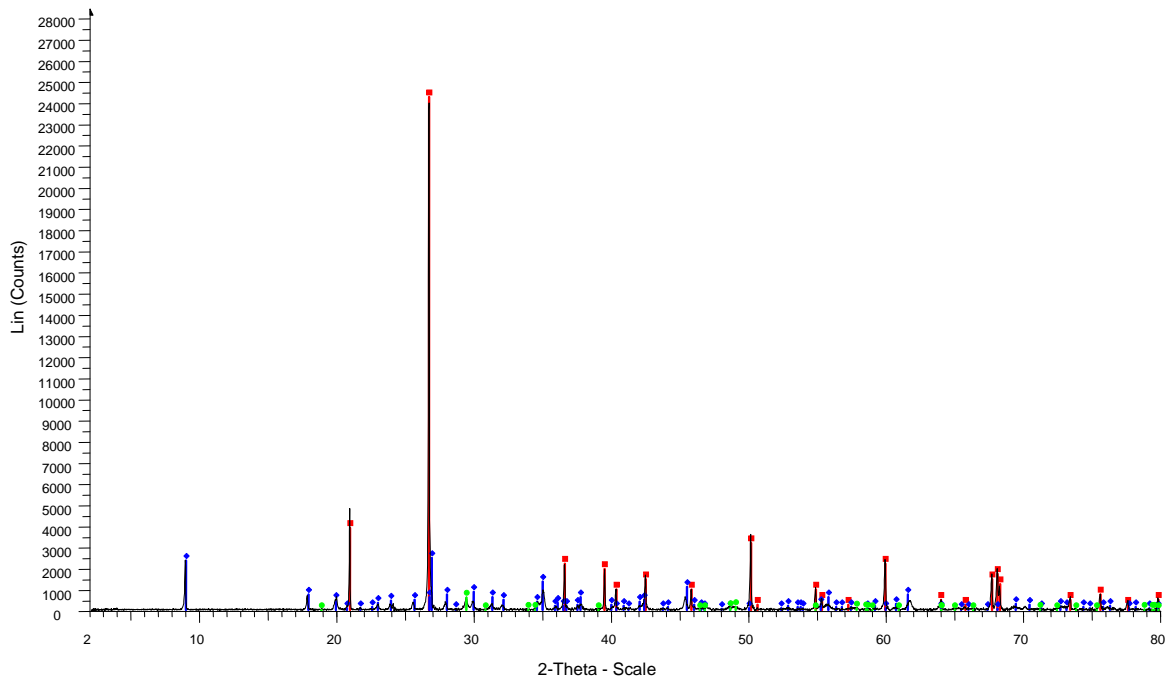
File: RT_GVINQ2.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 15 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - P

Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-046-1045 (*) - Cuarzo - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Moscovita - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-037-0471 (*) - Calcopirita - CuFeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂

RT GVIN04



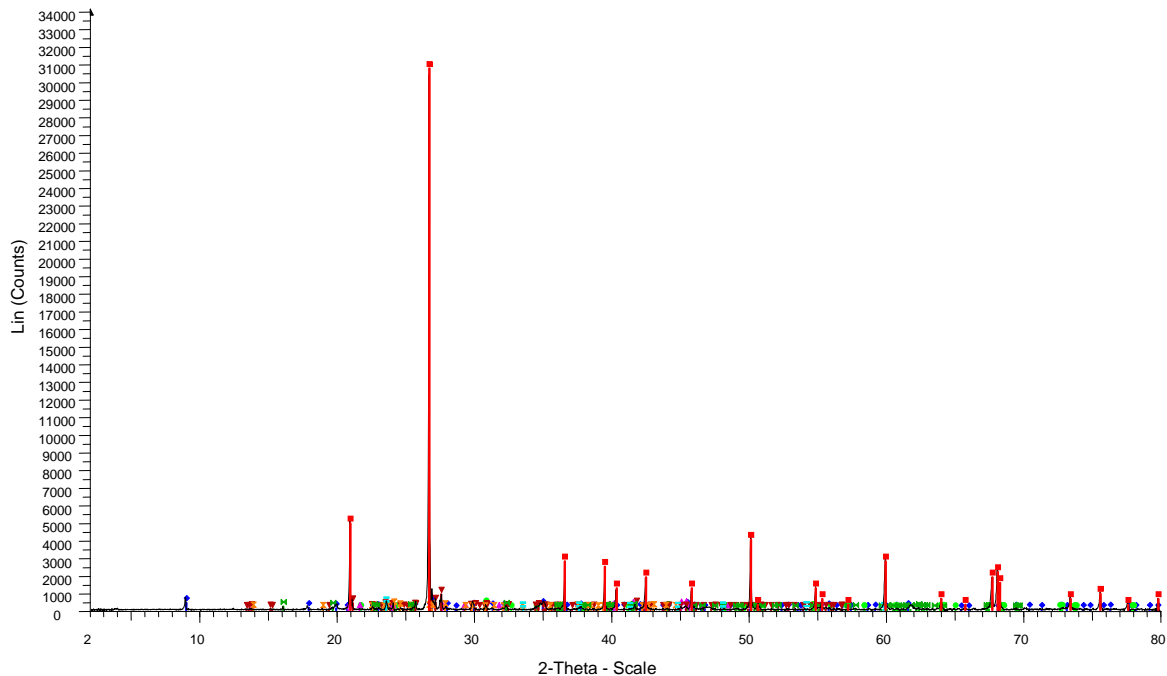
File: RT_GVINO4.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 15 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° - P

Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-046-1045 (*) - Cuarzo - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Moscovita - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-037-0471 (*) - Calcopirita - CuFeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂

RT GVIN07

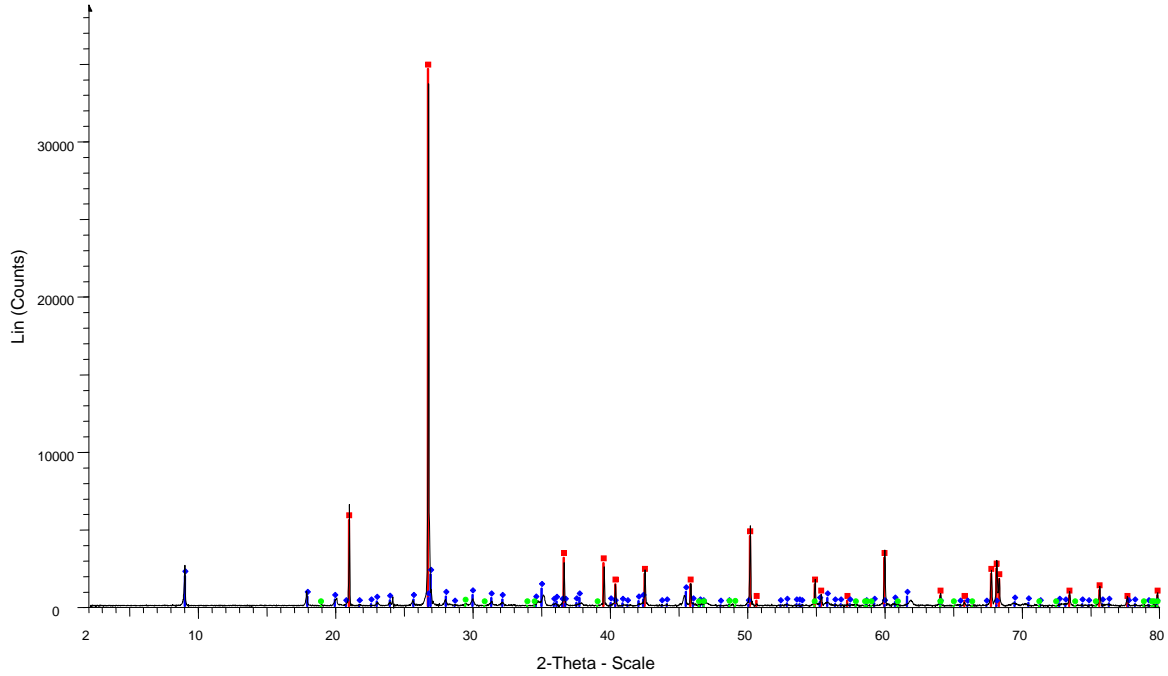


File: RT_GVIN07.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step ti
 Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-046-1045 (*) - Cuarzo - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Moscovita - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-044-0161 (*) - Strontium Zirconium Oxide - SrZrO₃
- 00-020-0370 (I) - Copper Titanium - Cu₄Ti
- 00-019-0932 (I) - Microclina - KAlSi₃O₈
- 00-025-0755 (I) - Fosfato de Silicio - SiP₂O₇/SiO₂·P₂O₅
- 00-039-0376 (*) - Andalusite - Al₂(SiO₄)O
- 00-046-1436 (*) - Bernalite - Fe⁺³(OH)₃

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-044-0161 (*)	Óxido de Estroncio y Zirconio	SrZrO ₃
00-020-0370 (I)	Aleación Cobre Titanio	Cu ₄ Ti
00-019-0932 (I)	Microclina	KAlSi ₃ O ₈
00-025-0755 (I)	Fosfato de Silicio	SiP ₂ O ₇ /SiO ₂ ·P ₂ O ₅
00-039-0376 (*)	Andalucita	Al ₂ (SiO ₄)O
00-046-1436 (*)	Bernalita	Fe ⁺³ (OH) ₃

RT QSIN03



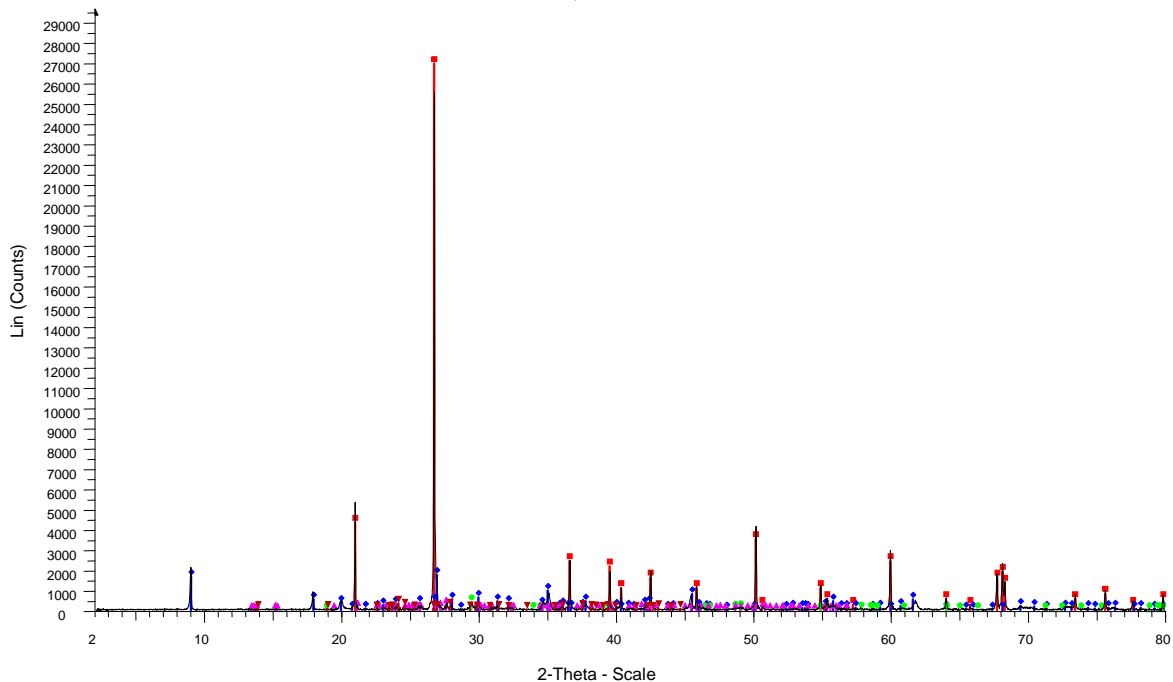
File: RT_QSINQ3_PF.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 18 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 °

Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-046-1045 (*) - Cuarzo - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Moscovita - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-037-0471 (*) - Calcopirita - CuFeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂

RT QSIN06



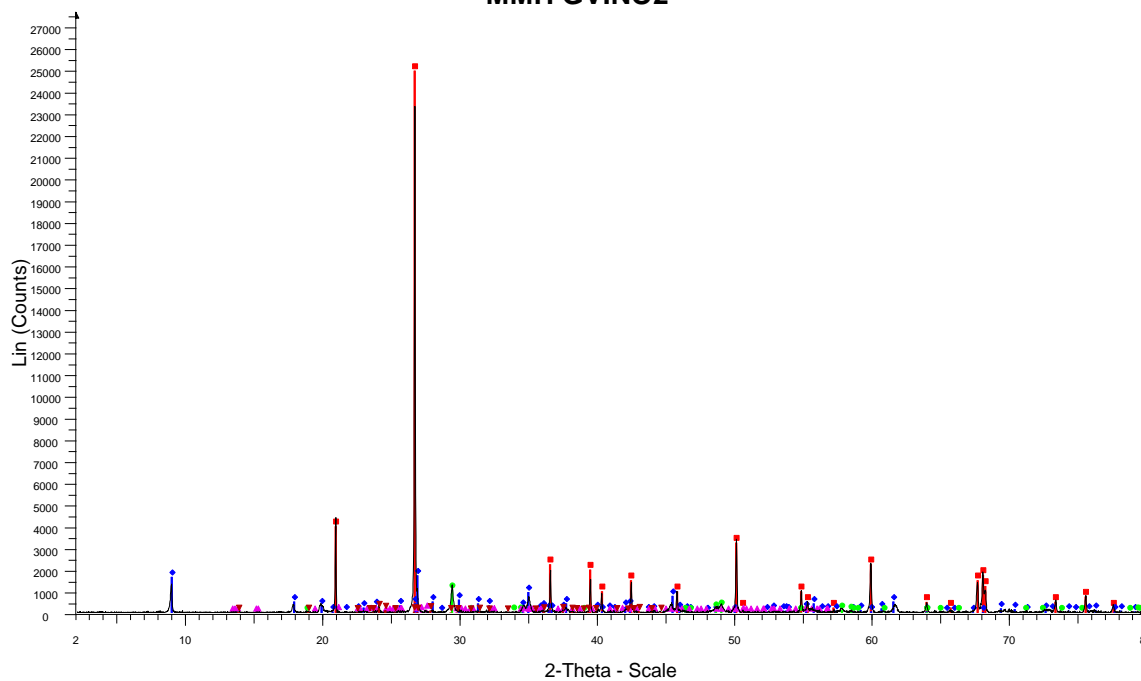
File: RT_QSINQ6_PW.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 15 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00

Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

- 00-046-1045 (*) - Cuarzo - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Moscovita - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-037-0471 (*) - Calcopirita - CuFeS₂
- 00-019-0932 (I) - Microclina - KAlSi₃O₈
- 00-025-0755 (I) - Fosfato de Silicio - SiP₂O₇/SiO₂·P₂O₅

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂
00-019-0932 (I)	Microclina	KAlSi ₃ O ₈
00-025-0755 (I)	Fosfato de Silicio	SiP ₂ O ₇ /SiO ₂ ·P ₂ O ₅

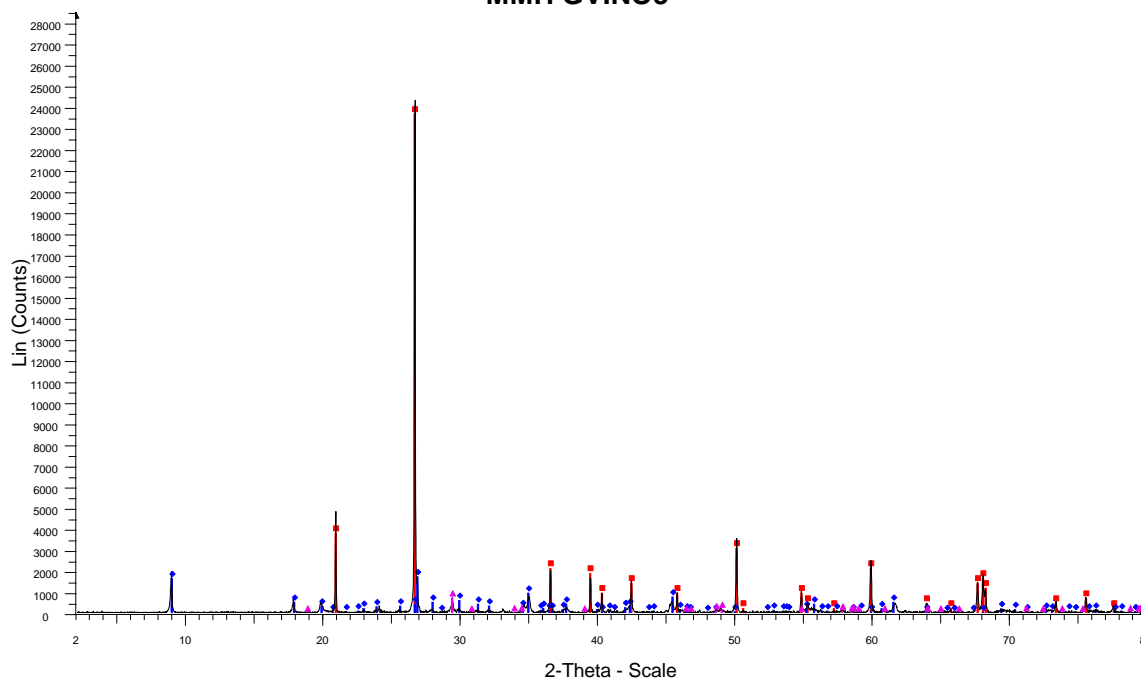
MMH GVINO2



File: MMH_GVINO2.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 19 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° -
 Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 00-006-0263 (I) - Muscovite-2M1 - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
 00-037-0471 (*) - Chalcopyrite - CuFeS₂
 00-019-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi₃O₈
 00-025-0755 (I) - Silicon Phosphate - SiP₂O₇/SiO₂·P₂O₅

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂
00-019-0932 (I)	Microclina	KAlSi ₃ O ₈
00-025-0755 (I)	Fosfato de Silicio	SiP ₂ O ₇ /SiO ₂ ·P ₂ O ₅

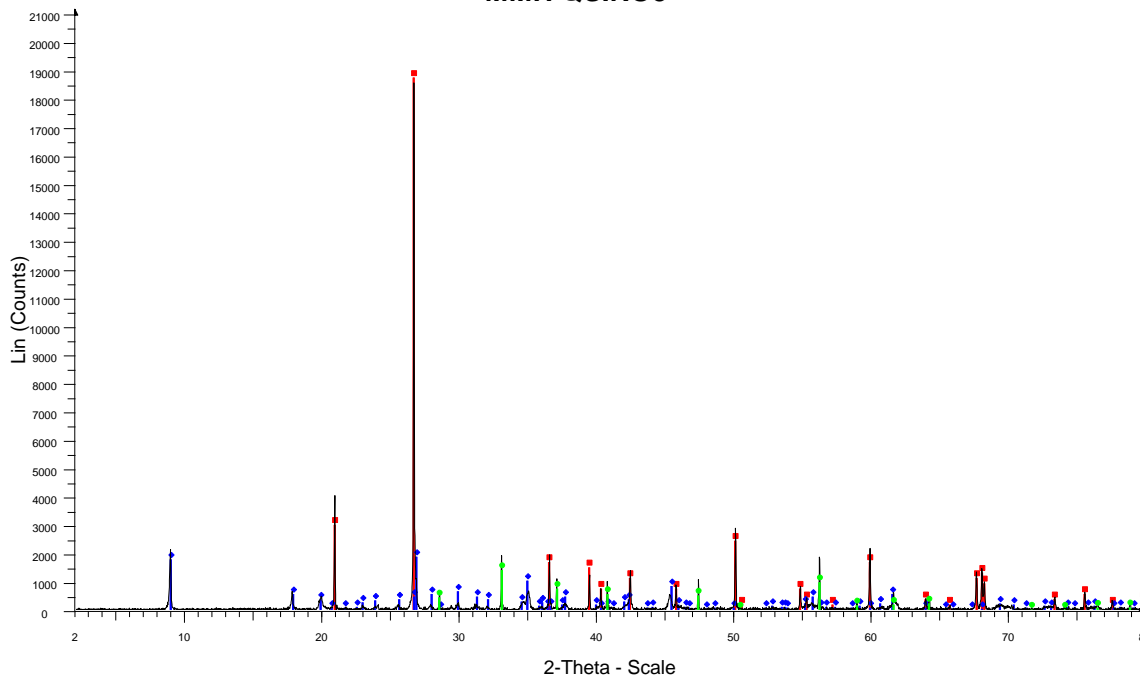
MMH GVINO3



File: MMH_GVIN03.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° -
 Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
 ■ 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 ■ 00-006-0263 (I) - Muscovite-2M1 - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
 ■ 00-037-0471 (*) - Chalcopyrite - CuFeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂

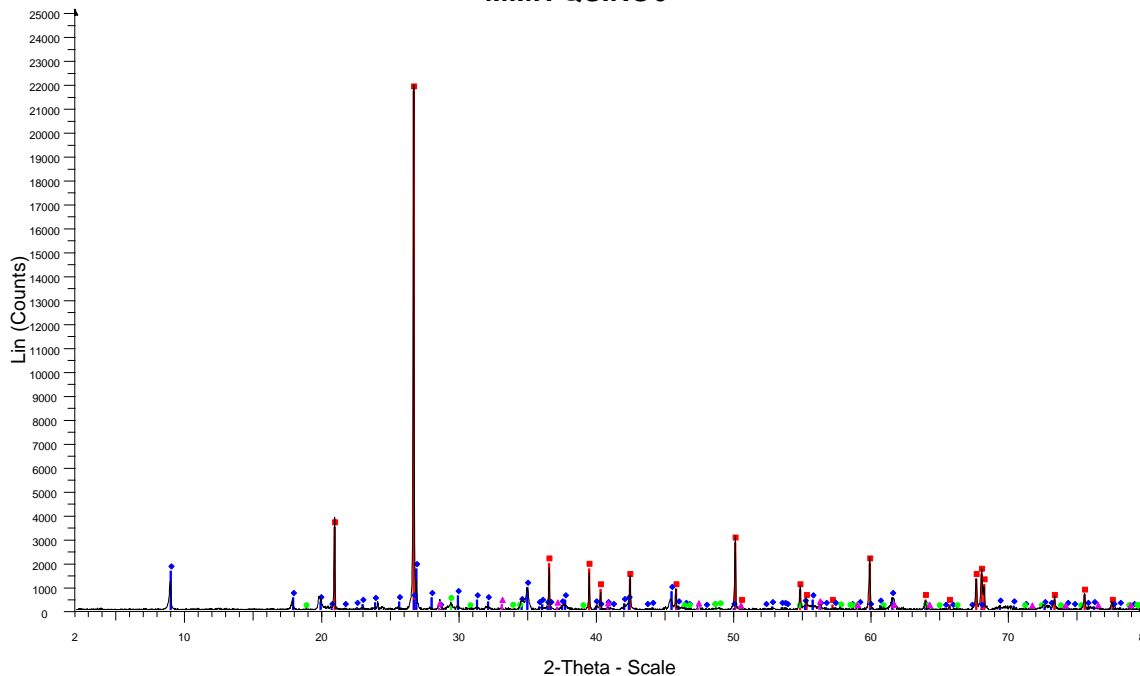
MMH QSINO5



File: MMH_QSINO5.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° -
 Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import
 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
 00-006-0263 (I) - Muscovite-2M1 - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
 00-042-1340 (*) - Pyrite - FeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-042-1340 (*)	Pirita	FeS ₂

MMH QSINO6



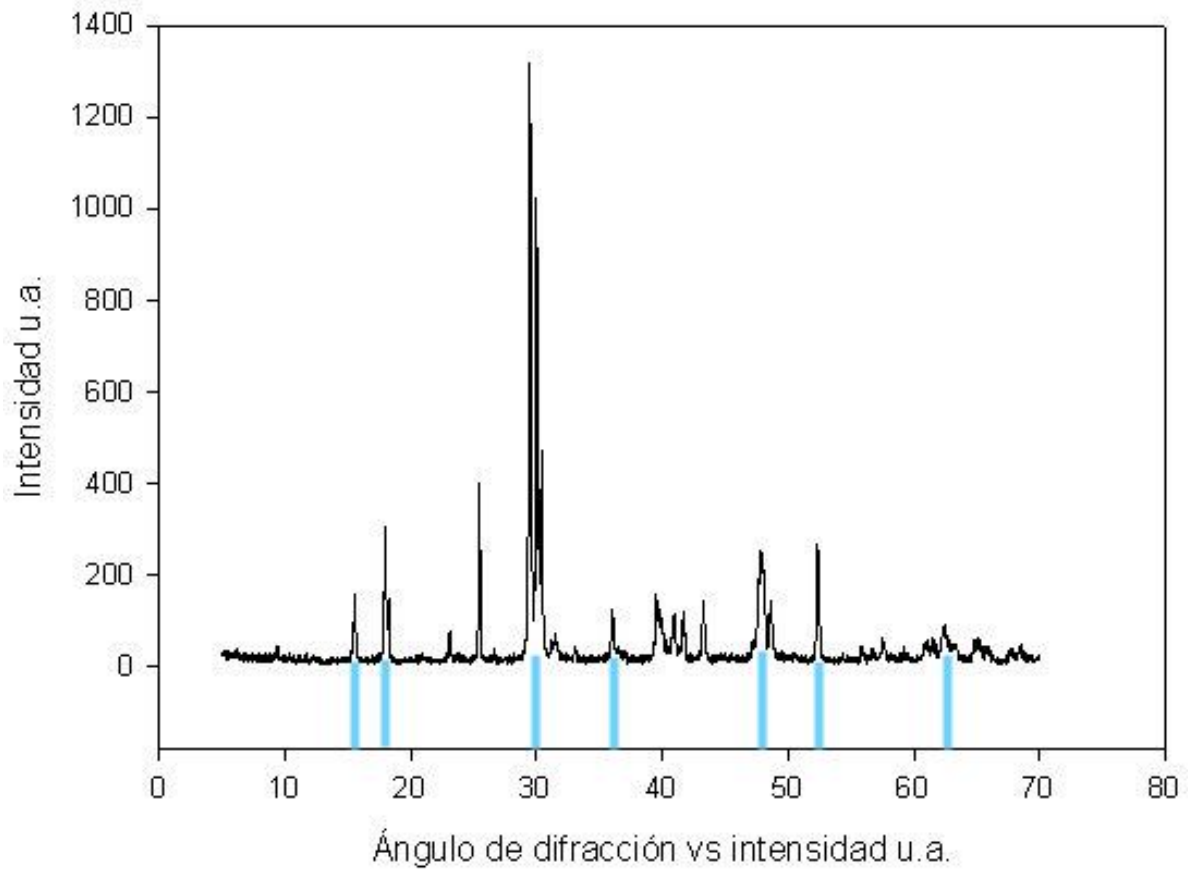
File: MMH_QSINO6.raw - Type: 2Th/Th locked - Start: 2.000 ° - End: 80.001 ° - Step: 0.020 ° - Step time: 37.8 s - Temp.: 25 °C (Room) - Time Started: 16 s - 2-Theta: 2.000 ° - Theta: 1.000 ° - Chi: 0.00 ° -

Operations: Strip kAlpha2 0.500 | Background 1.000,1.000 | Import

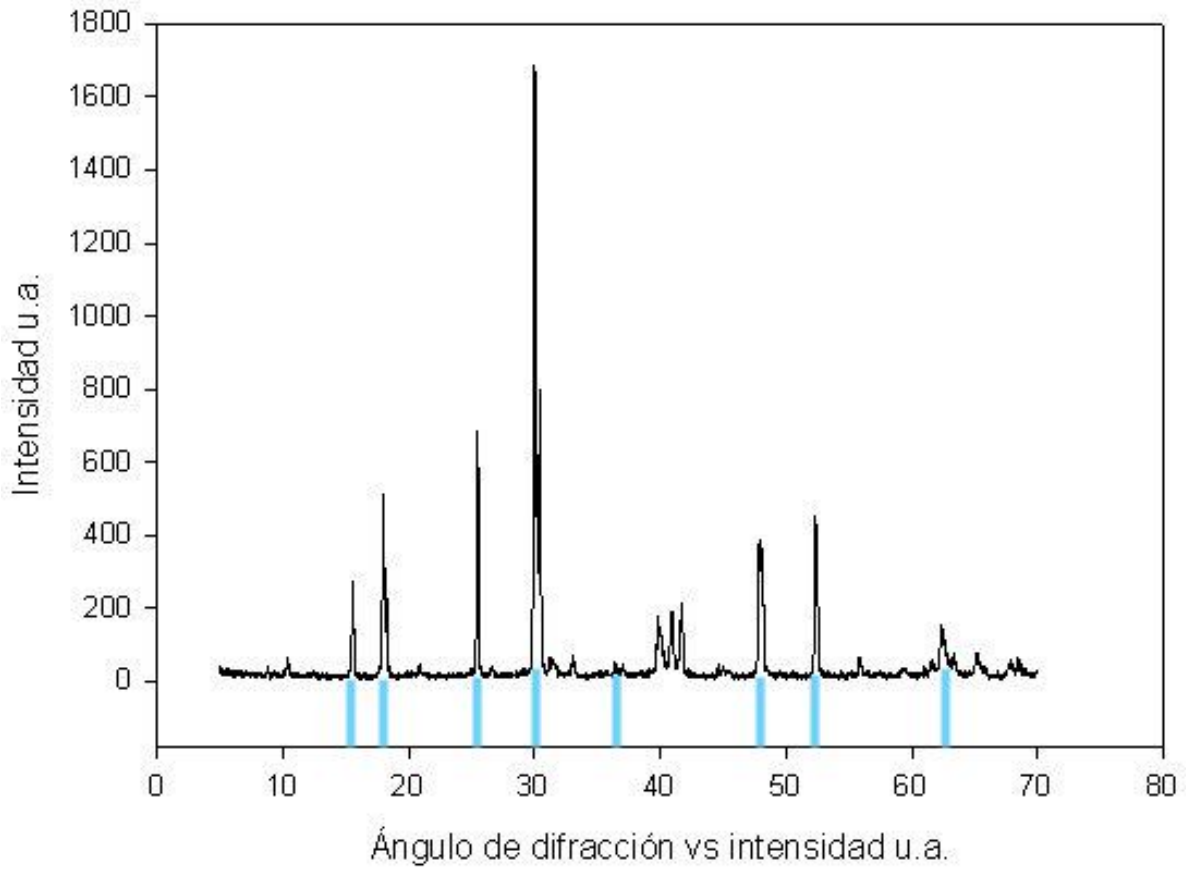
- 00-046-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 00-006-0263 (I) - Muscovite-2M1 - KAl₂(Si₃Al)O₁₀(OH,F)₂
- 00-037-0471 (*) - Chalcopyrite - CuFeS₂
- ▲ 00-042-1340 (*) - Pyrite - FeS₂

SS-VVV-PPPP	Nombre del Componente	Fórmula
00-046-1045 (*)	Cuarzo	SiO ₂
00-006-0263 (I)	Moscovita	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂
00-037-0471 (*)	Calcopirita	CuFeS ₂
00-042-1340 (*)	Pirita	FeS ₂

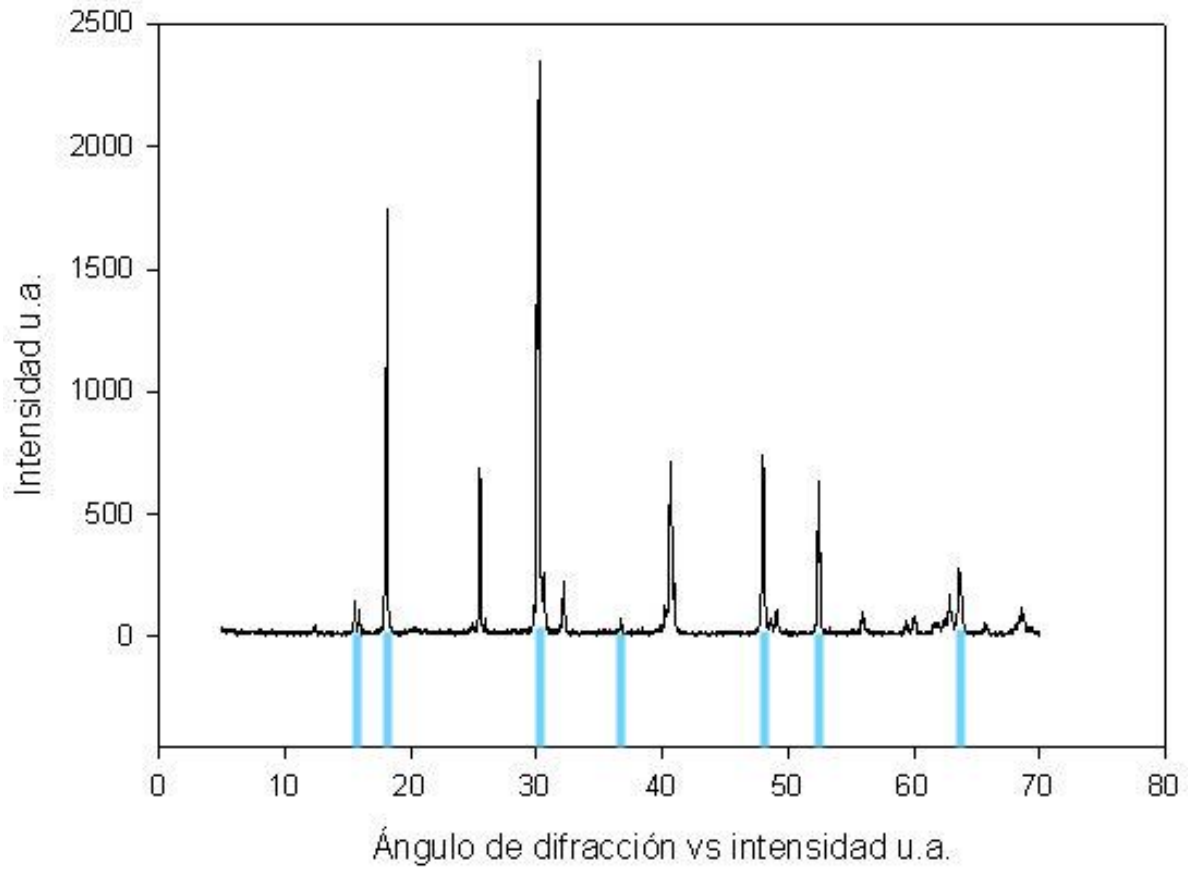
ALUNITA



ALUNITA EL MUYO SG



ALUNITA BARRANCO JAROSO



ANEXO B (DIGITAL)

PETROGRAFÍA Y CALCOGRAFÍA

ANEXO C

CERTIFICADO DE DATOS GEOQUÍMICOS



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Submitted By: Brian Townley
Receiving Lab: Chile-Santiago
Received: February 03, 2011
Report Date: March 20, 2011
Page: 1 of 3

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

CLIENT JOB INFORMATION

Project: None Given
Shipment ID:
P.O. Number: SIN REFERENCIA
Number of Samples: 49

SAMPLE DISPOSAL

STOR-PLP Store After 90 days Invoice for Storage
DISP-RJT Dispose of Reject After 90 days

Acme does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

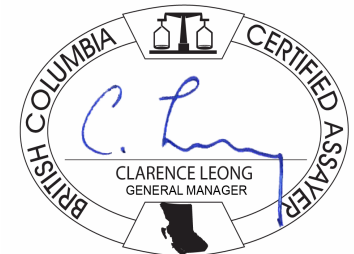
Invoice To: Universidad de Chile
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de
Santiago
Chile

CC: Cliff Stanley

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

Method Code	Number of Samples	Code Description	Test Wgt (g)	Report Status	Lab
No Prep	49	Sorting of samples on arrival and labeling			SAN
Ship	49	Shipping charges for collect packages			SAN
R200-250	42	Crush split and pulverize 250g drill core to 200 mesh			VAN
4A4B	49	Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements	0.2	Completed	VAN

ADDITIONAL COMMENTS



This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.
All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of analysis only.
** asterisk indicates that an analytical result could not be provided due to unusually high levels of interference from other elements.



1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 3 Part 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	WGHT	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
Analyte	Wgt	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	
Unit	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	
QSDE01	Drill Core	0.83	71.62	14.20	3.58	0.33	0.05	0.12	4.11	0.22	0.05	0.01	<0.002	<20	2	5.6	99.89	162	2	4.4	2.9
QSDE02	Drill Core	1.22	71.20	15.41	0.49	0.33	0.29	0.32	5.61	0.27	0.25	<0.01	0.004	<20	3	3.8	98.01	787	2	1.1	1.8
QSDE03	Drill Core	0.59	75.06	13.09	0.54	0.32	0.55	0.70	4.57	0.20	0.07	<0.01	<0.002	<20	3	3.1	98.22	505	2	1.2	1.1
I	Pulp	0.05	65.46	15.37	4.43	2.46	4.05	3.97	1.42	0.45	0.14	0.08	0.008	27	9	2.0	99.79	717	1	10.1	0.5
QSDE04	Drill Core	1.52	72.25	15.33	2.68	0.38	0.08	0.13	4.38	0.22	0.07	<0.01	0.006	<20	2	4.4	99.93	213	2	5.7	2.1
QSDE05	Drill Core	0.56	70.27	16.82	0.97	0.53	0.19	0.66	6.59	0.25	0.07	<0.01	0.003	<20	4	2.5	98.91	442	2	1.0	1.5
QSDE06	Drill Core	0.72	73.60	13.43	0.95	0.33	1.81	1.08	4.51	0.17	0.07	0.01	<0.002	<20	3	3.4	99.34	935	2	0.4	3.1
QSMO01	Drill Core	1.25	81.26	9.25	0.73	0.28	1.48	0.10	2.78	0.12	0.03	<0.01	0.002	<20	2	3.9	99.97	101	2	4.0	0.8
QSMO02	Drill Core	1.15	78.04	12.11	1.14	0.33	0.41	0.14	3.67	0.17	0.08	<0.01	0.003	<20	2	3.1	99.14	127	2	4.8	0.8
QSMO03	Drill Core	0.82	77.86	11.67	1.82	0.42	0.06	0.13	3.50	0.16	0.05	0.01	<0.002	<20	3	3.0	98.68	515	3	0.9	9.2
J	Pulp	0.06	64.31	16.53	4.42	2.63	4.98	4.27	1.66	0.50	0.18	0.08	0.010	44	10	0.2	99.78	622	1	12.1	0.4
QSMO04	Drill Core	0.76	74.54	14.21	0.63	0.37	0.06	0.20	4.30	0.21	0.06	0.01	<0.002	<20	2	2.4	96.98	234	2	5.3	3.2
QSMO05	Drill Core	0.66	70.96	15.07	2.85	0.59	0.23	0.17	4.80	0.20	0.05	0.03	0.002	<20	2	3.1	98.03	613	3	0.5	3.9
QSMO06	Drill Core	0.54	81.64	10.66	1.20	0.26	0.14	0.10	2.97	0.13	0.06	0.01	<0.002	<20	1	2.0	99.20	497	2	0.4	4.1
QSIN01	Drill Core	0.52	76.64	14.34	0.74	0.28	0.06	0.10	4.28	0.19	0.08	0.01	<0.002	<20	3	3.2	99.96	110	3	1.6	1.6
QSIN02	Drill Core	0.86	73.01	14.93	1.60	0.49	0.26	0.19	4.99	0.22	0.09	0.02	0.004	<20	3	3.0	98.79	276	2	1.9	2.3
QSIN03	Drill Core	0.68	70.95	15.70	1.82	0.45	0.18	0.15	4.65	0.21	0.10	0.03	0.002	<20	2	3.4	97.66	1257	3	0.7	2.3
K	Pulp	0.06	52.72	15.12	10.74	7.25	8.13	3.25	0.53	1.31	0.22	0.14	0.032	174	17	0.3	99.76	184	1	45.4	0.1
QSIN04	Drill Core	0.77	72.05	13.58	3.49	0.45	0.08	0.11	4.12	0.20	0.08	0.03	0.002	<20	2	3.8	98.03	267	3	1.4	9.2
QSIN05	Drill Core	0.58	69.15	15.96	2.17	0.60	0.21	0.54	5.22	0.25	0.10	<0.01	<0.002	<20	3	2.7	96.93	703	3	0.9	1.9
QSIN06	Drill Core	0.88	71.36	15.66	2.24	0.58	0.20	0.17	4.89	0.23	0.07	<0.01	<0.002	<20	3	3.9	99.30	407	2	8.9	1.5
GVDE01	Drill Core	0.68	73.09	15.56	1.12	0.52	0.21	0.28	5.71	0.21	0.11	0.01	0.002	<20	3	2.6	99.44	275	2	1.2	1.2
GVDE02	Drill Core	0.72	69.85	15.53	3.01	0.49	0.23	0.14	4.71	0.21	0.07	0.02	0.003	24	2	3.9	98.11	342	3	1.2	2.7
GVDE03	Drill Core	0.86	70.10	16.01	1.24	0.45	1.47	4.27	3.69	0.21	0.09	0.01	<0.002	<20	2	2.0	99.51	903	3	1.9	1.8
L	Pulp	0.05	52.52	14.21	9.98	2.06	6.96	2.50	0.72	0.89	0.16	0.13	0.004	28	33	9.7	99.80	646	<1	21.0	0.7
GVDE04	Drill Core	0.89	78.31	11.36	1.28	0.36	0.22	0.21	5.22	0.15	0.08	0.02	0.003	<20	2	1.9	99.14	316	2	0.8	2.7
GVDE05	Drill Core	0.73	69.91	16.39	1.39	0.51	0.62	1.94	5.69	0.25	0.14	<0.01	<0.002	<20	3	1.8	98.68	645	3	1.2	1.4
GVDE06	Drill Core	0.65	69.00	16.07	1.80	0.44	1.06	4.05	4.58	0.25	0.11	0.04	<0.002	<20	3	1.7	99.12	850	2	3.2	1.6
GVMO01	Drill Core	1.05	72.03	15.10	0.79	0.39	0.39	2.96	5.16	0.20	0.10	<0.01	0.002	<20	3	1.8	98.89	485	2	0.5	1.0
GVMO02	Drill Core	0.65	71.71	14.91	1.24	0.49	0.45	0.28	4.66	0.19	0.08	<0.01	<0.002	<20	3	2.8	96.85	269	2	1.5	1.4



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 3 Part 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
		Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL		0.5	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	
QSDE01	Drill Core	19.1	2.9	6.3	109.0	4	9.9	0.4	6.1	1.0	70	25.6	89.7	2.8	19.1	34.8	3.52	12.5	1.70	0.38	0.89
QSDE02	Drill Core	22.5	3.5	7.1	106.5	8	1029	0.5	7.3	1.1	50	17.4	113.6	3.8	18.8	37.1	4.24	16.4	2.64	0.71	1.66
QSDE03	Drill Core	18.3	2.7	6.1	99.3	12	178.2	0.4	5.5	1.3	50	20.5	92.8	3.8	15.1	29.1	3.13	10.7	1.54	0.36	1.02
I	Pulp	16.1	2.8	3.5	23.9	<1	622.0	0.2	2.5	0.9	79	0.9	96.6	11.8	12.1	25.4	3.21	13.3	2.45	0.74	2.23
QSDE04	Drill Core	20.5	2.8	6.2	110.2	4	21.7	0.4	4.3	1.0	47	31.4	99.1	4.4	16.4	30.5	3.18	11.2	1.43	0.36	0.84
QSDE05	Drill Core	26.3	3.4	5.9	127.4	27	164.4	0.4	4.0	1.7	152	39.6	122.7	4.2	16.1	29.8	3.14	11.2	1.56	0.41	1.01
QSDE06	Drill Core	17.6	2.7	4.3	75.3	1	159.3	0.3	2.4	2.4	19	11.4	91.6	4.8	8.7	17.7	2.04	8.1	1.32	0.37	1.07
QSMO01	Drill Core	15.9	2.1	4.0	71.9	9	19.3	0.3	3.9	0.7	65	19.9	56.3	2.4	6.3	12.5	1.39	4.8	0.72	0.22	0.52
QSMO02	Drill Core	20.6	2.3	5.9	91.8	13	14.7	0.4	5.6	0.7	72	25.3	64.4	2.3	7.1	13.2	1.36	4.7	0.72	0.18	0.48
QSMO03	Drill Core	22.5	2.6	4.5	117.3	6	22.1	0.3	3.0	1.0	58	32.4	80.5	2.4	11.3	21.5	2.26	8.0	1.07	0.24	0.66
J	Pulp	18.4	3.2	3.4	22.7	1	736.8	0.1	2.1	0.7	86	<0.5	117.8	12.9	12.4	27.9	3.48	14.5	2.85	0.83	2.64
QSMO04	Drill Core	24.4	3.0	5.5	103.8	9	26.5	0.4	5.3	1.8	55	28.5	100.4	3.1	17.7	31.6	3.20	11.2	1.47	0.35	0.93
QSMO05	Drill Core	23.8	2.6	5.5	136.3	8	18.4	0.4	3.6	1.6	29	21.5	96.4	4.5	13.6	26.9	2.92	10.3	1.50	0.38	1.10
QSMO06	Drill Core	14.5	1.9	3.6	69.5	3	74.9	0.2	2.0	0.8	17	18.1	64.4	3.8	9.1	18.2	2.02	7.3	1.11	0.31	0.83
QSIN01	Drill Core	22.8	2.7	5.2	116.2	27	9.0	0.3	2.7	0.8	82	47.9	95.3	2.7	9.9	20.5	2.21	8.0	0.98	0.16	0.58
QSIN02	Drill Core	24.4	3.1	5.7	138.3	12	43.1	0.5	7.2	1.9	63	36.8	98.3	4.2	15.6	29.6	3.23	11.5	1.71	0.41	1.12
QSIN03	Drill Core	29.9	3.1	6.4	114.4	6	48.4	0.4	4.4	2.0	47	29.5	111.8	6.0	13.4	27.1	2.97	11.0	1.66	0.46	1.23
K	Pulp	18.5	2.3	7.0	6.5	1	484.4	0.3	0.9	0.2	163	<0.5	86.1	15.1	8.2	19.7	2.70	13.4	3.11	1.18	3.30
QSIN04	Drill Core	26.9	2.3	6.2	157.9	5	33.8	0.3	6.0	5.4	44	42.9	83.7	4.6	17.0	31.9	3.30	11.6	1.76	0.45	1.23
QSIN05	Drill Core	21.7	3.1	6.1	132.1	13	122.8	0.4	4.8	2.0	35	26.1	114.6	6.8	20.2	37.7	4.00	14.2	2.05	0.55	1.43
QSIN06	Drill Core	23.3	3.0	5.2	128.0	10	21.2	0.3	3.9	1.4	43	26.7	109.7	3.8	17.3	31.8	3.22	10.8	1.54	0.36	0.99
GVDE01	Drill Core	24.6	2.9	5.6	139.6	16	44.3	0.3	3.3	1.1	79	37.0	107.2	2.8	7.6	15.9	1.70	6.3	0.94	0.24	0.68
GVDE02	Drill Core	35.2	3.2	6.3	146.5	17	21.5	0.3	3.2	1.5	30	50.6	108.9	4.2	12.7	25.9	2.89	11.0	1.66	0.36	1.12
GVDE03	Drill Core	18.9	2.9	5.6	67.6	1	496.3	0.4	3.7	1.1	22	5.0	102.5	5.1	13.2	26.3	2.89	10.8	1.64	0.47	1.20
L	Pulp	14.7	1.3	1.4	14.0	<1	268.9	<0.1	0.6	1.5	278	0.6	44.0	20.0	4.7	9.5	1.60	8.1	2.24	0.77	2.79
GVDE04	Drill Core	14.4	2.1	4.1	115.1	4	79.1	0.3	4.3	0.7	43	22.9	72.8	2.2	8.4	16.6	1.76	6.0	0.89	0.23	0.59
GVDE05	Drill Core	23.6	3.1	5.8	116.3	12	281.1	0.4	3.7	1.7	57	27.1	120.6	5.0	17.9	34.6	3.64	13.0	1.92	0.51	1.31
GVDE06	Drill Core	18.5	3.0	5.9	73.1	3	456.6	0.4	3.6	1.9	32	9.0	113.6	5.9	15.6	30.9	3.42	12.5	1.94	0.55	1.46
GVMO01	Drill Core	21.8	2.9	7.6	112.2	7	171.2	0.6	7.2	1.5	58	17.4	94.7	3.9	19.3	34.9	3.45	12.2	1.74	0.44	1.17
GVMO02	Drill Core	24.5	3.1	6.1	119.9	21	40.4	0.5	11.4	2.4	72	34.4	110.7	4.5	17.0	32.1	3.19	11.4	1.57	0.39	1.20



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 3 Part 3

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	Analyte	Unit	MDL	4A-4B Tb	4A-4B Dy	4A-4B Ho	4A-4B Er	4A-4B Tm	4A-4B Yb	4A-4B 2A Lu	Leco 2A TOT/C	Leco TOT/S	1DX Mo	1DX Cu	1DX Pb	1DX Zn	1DX Ni	1DX As	1DX Cd	1DX Sb	1DX Bi	1DX Ag	1DX Au
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb
QSDE01	Drill Core			0.09	0.42	0.08	0.23	0.04	0.32	0.06	0.02	2.61	39.3	610.1	1.2	9	0.6	<0.5	<0.1	<0.1	0.5	0.2	5.8
QSDE02	Drill Core			0.19	0.74	0.13	0.34	0.05	0.39	0.07	<0.02	0.56	20.8	>10000	2.8	13	0.8	<0.5	1.5	<0.1	0.4	7.3	60.0
QSDE03	Drill Core			0.13	0.62	0.12	0.34	0.05	0.41	0.07	<0.02	0.59	112.3	>10000	0.9	30	0.4	<0.5	0.3	<0.1	0.3	2.2	107.8
I	Pulp			0.35	1.88	0.40	1.17	0.18	1.22	0.19	0.08	0.05	0.9	27.8	3.2	31	11.4	19.8	0.1	1.1	0.2	0.1	22.1
QSDE04	Drill Core			0.11	0.62	0.13	0.39	0.06	0.48	0.08	<0.02	1.67	28.0	284.5	0.5	22	1.0	9.1	<0.1	<0.1	0.2	0.2	7.4
QSDE05	Drill Core			0.13	0.64	0.12	0.42	0.06	0.50	0.09	<0.02	0.36	239.2	7482	2.0	24	0.4	<0.5	<0.1	<0.1	0.4	2.2	29.9
QSDE06	Drill Core			0.14	0.74	0.14	0.40	0.06	0.48	0.07	0.34	0.40	22.8	4221	1.7	11	0.3	6.0	<0.1	<0.1	0.5	1.6	6.8
QSMO01	Drill Core			0.08	0.35	0.08	0.20	0.03	0.29	0.05	0.02	0.98	41.7	160.1	1.2	7	0.4	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3.1
QSMO02	Drill Core			0.07	0.33	0.07	0.17	0.03	0.25	0.04	<0.02	0.75	131.1	6871	3.8	23	1.1	<0.5	<0.1	<0.1	2.5	1.4	55.7
QSMO03	Drill Core			0.08	0.37	0.08	0.23	0.04	0.37	0.06	<0.02	1.03	57.1	>10000	17.8	20	0.5	8.1	<0.1	<0.1	0.2	0.7	3.3
J	Pulp			0.41	2.35	0.44	1.24	0.19	1.31	0.20	<0.02	<0.02	0.5	11.4	2.7	25	7.6	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.4
QSMO04	Drill Core			0.11	0.53	0.10	0.30	0.05	0.39	0.06	<0.02	0.75	76.6	>10000	4.9	16	1.2	1.1	0.5	0.3	0.2	8.9	9.0
QSMO05	Drill Core			0.15	0.77	0.14	0.42	0.07	0.47	0.08	0.04	1.55	2.9	>10000	0.9	38	0.4	6.8	<0.1	<0.1	0.3	1.5	6.7
QSMO06	Drill Core			0.11	0.62	0.12	0.34	0.05	0.35	0.05	<0.02	0.63	1.4	5962	1.9	16	0.4	4.0	0.1	<0.1	0.4	0.8	30.0
QSIN01	Drill Core			0.08	0.38	0.08	0.22	0.04	0.34	0.05	<0.02	0.27	54.9	143.9	0.4	8	0.4	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.3
QSIN02	Drill Core			0.14	0.74	0.13	0.36	0.06	0.39	0.07	<0.02	0.87	128.6	9762	2.8	29	0.6	0.5	<0.1	<0.1	0.7	2.4	19.0
QSIN03	Drill Core			0.17	0.86	0.19	0.51	0.08	0.54	0.09	<0.02	1.28	18.9	>10000	18.2	692	0.6	0.9	2.0	1.2	4.1	11.0	30.8
K	Pulp			0.54	2.93	0.56	1.50	0.21	1.30	0.19	0.03	0.03	1.5	54.9	0.9	66	144.9	3.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	10.5
QSIN04	Drill Core			0.15	0.77	0.14	0.41	0.06	0.48	0.08	<0.02	2.08	376.1	>10000	38.6	110	0.8	84.6	0.8	0.4	1.5	3.9	6.6
QSIN05	Drill Core			0.19	0.95	0.18	0.60	0.08	0.62	0.10	<0.02	1.36	12.4	>10000	1.0	16	0.4	<0.5	<0.1	<0.1	9.7	10.6	158.4
QSIN06	Drill Core			0.13	0.56	0.12	0.33	0.06	0.47	0.07	<0.02	1.46	197.5	5082	2.1	16	0.8	3.2	<0.1	0.2	0.5	1.0	9.0
GVDE01	Drill Core			0.09	0.39	0.08	0.25	0.04	0.30	0.05	<0.02	0.35	65.6	4152	1.1	60	0.3	<0.5	<0.1	<0.1	0.2	1.1	18.0
GVDE02	Drill Core			0.14	0.70	0.13	0.38	0.06	0.50	0.07	<0.02	1.62	18.9	>10000	10.8	17	0.5	8.1	<0.1	<0.1	0.1	0.8	3.0
GVDE03	Drill Core			0.17	0.83	0.16	0.50	0.07	0.47	0.08	0.05	0.15	114.9	2496	1.4	17	0.8	<0.5	<0.1	<0.1	0.3	1.1	16.2
L	Pulp			0.51	3.17	0.70	2.12	0.31	2.03	0.32	2.03	2.06	4.9	116.1	3.8	106	27.5	19.2	0.2	0.4	0.1	<0.1	0.9
GVDE04	Drill Core			0.08	0.40	0.07	0.20	0.03	0.24	0.04	0.02	0.60	343.4	6329	2.5	37	0.3	0.5	<0.1	<0.1	0.4	1.5	17.9
GVDE05	Drill Core			0.16	0.81	0.15	0.40	0.07	0.53	0.08	<0.02	0.49	39.4	9437	2.2	34	0.9	<0.5	7.7	<0.1	1.3	2.8	45.6
GVDE06	Drill Core			0.20	0.97	0.18	0.55	0.08	0.55	0.09	0.11	0.23	29.0	5449	1.6	67	1.1	<0.5	<0.1	<0.1	0.3	1.6	17.0
GVMO01	Drill Core			0.14	0.69	0.12	0.34	0.05	0.43	0.07	<0.02	0.43	51.5	8135	2.4	10	0.6	<0.5	<0.1	<0.1	0.7	1.9	18.8
GVMO02	Drill Core			0.14	0.74	0.12	0.40	0.06	0.41	0.08	<0.02	1.15	32.3	>10000	6.2	62	0.5	0.9	<0.1	<0.1	3.4	11.8	192.8

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: Universidad de Chile
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 3 Part 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	1DX	1DX	1DX	
Analyte	Hg	Tl	Se	
Unit	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.01	0.1	0.5	
QSDE01	Drill Core	0.01	<0.1	2.9
QSDE02	Drill Core	0.06	<0.1	2.3
QSDE03	Drill Core	0.02	<0.1	3.3
I	Pulp	0.13	<0.1	<0.5
QSDE04	Drill Core	<0.01	<0.1	1.7
QSDE05	Drill Core	<0.01	<0.1	3.1
QSDE06	Drill Core	<0.01	<0.1	0.6
QSMO01	Drill Core	<0.01	<0.1	0.6
QSMO02	Drill Core	<0.01	<0.1	4.4
QSMO03	Drill Core	<0.01	<0.1	2.1
J	Pulp	<0.01	<0.1	<0.5
QSMO04	Drill Core	<0.01	<0.1	3.2
QSMO05	Drill Core	<0.01	<0.1	1.5
QSMO06	Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
QSIN01	Drill Core	<0.01	<0.1	0.5
QSIN02	Drill Core	<0.01	<0.1	4.5
QSIN03	Drill Core	0.01	<0.1	3.9
K	Pulp	0.06	<0.1	<0.5
QSIN04	Drill Core	<0.01	<0.1	3.3
QSIN05	Drill Core	<0.01	<0.1	2.5
QSIN06	Drill Core	<0.01	<0.1	1.4
GVDE01	Drill Core	<0.01	<0.1	2.5
GVDE02	Drill Core	<0.01	<0.1	2.8
GVDE03	Drill Core	<0.01	<0.1	0.7
L	Pulp	0.09	0.3	1.4
GVDE04	Drill Core	<0.01	<0.1	3.4
GVDE05	Drill Core	<0.01	<0.1	2.8
GVDE06	Drill Core	<0.01	<0.1	2.1
GVMO01	Drill Core	<0.01	<0.1	2.9
GVMO02	Drill Core	0.01	<0.1	6.4

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 3 of 3 Part 1

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	WGHT	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
Analyte	Wgt	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	
Unit	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	
GVMO03	Drill Core	0.55	69.97	16.12	1.46	0.49	0.56	2.78	5.42	0.23	0.09	0.01	<0.002	<20	2	1.5	98.66	770	2	1.7	2.0
M	Pulp	0.06	70.32	14.58	3.75	1.05	3.46	3.84	2.13	0.37	0.08	0.08	0.020	<20	10	0.2	99.86	788	1	7.0	1.2
GVMO04	Drill Core	0.45	69.24	15.97	2.35	0.56	0.47	0.70	5.81	0.25	0.10	0.02	0.002	<20	4	2.6	98.04	702	2	2.7	1.7
GVMO05	Drill Core	1.16	70.95	14.84	2.30	0.61	0.76	0.31	5.46	0.20	0.09	0.03	<0.002	<20	2	3.5	99.04	637	2	3.3	8.0
GVMO06	Drill Core	0.67	68.97	16.29	1.80	0.61	0.57	1.91	5.33	0.26	0.11	0.02	<0.002	<20	3	2.8	98.63	700	2	2.1	2.2
GVIN01	Drill Core	1.26	70.30	15.17	1.08	0.58	0.60	3.03	4.34	0.22	0.10	<0.01	<0.002	<20	3	2.9	98.30	508	1	0.7	1.5
GVIN02	Drill Core	0.64	70.02	15.86	2.85	0.60	0.29	0.18	5.13	0.24	0.15	0.02	<0.002	<20	3	3.0	98.37	1020	3	1.9	3.7
GVIN03	Drill Core	1.00	72.71	14.26	0.87	0.34	0.60	1.88	4.70	0.21	0.05	<0.01	<0.002	<20	2	2.6	98.18	674	2	6.2	1.0
N	Pulp	0.06	65.45	15.48	4.36	2.48	4.07	4.01	1.42	0.46	0.13	0.08	0.007	25	9	1.8	99.79	683	1	10.7	0.5
GVIN04	Drill Core	0.83	71.63	15.10	1.96	0.52	0.10	0.17	4.72	0.22	0.08	<0.01	<0.002	<20	2	3.1	97.63	350	2	0.6	1.3
GVIN05	Drill Core	0.73	67.91	15.54	0.89	0.54	0.23	1.90	5.50	0.24	0.08	<0.01	<0.002	<20	4	2.4	95.25	578	1	2.0	3.1
GVIN07	Drill Core	0.70	74.72	13.60	0.68	0.35	0.09	0.42	5.76	0.21	0.07	<0.01	<0.002	<20	4	2.3	98.24	301	2	0.5	3.6
RFPE01	Drill Core	1.26	70.87	15.58	1.63	0.42	2.40	4.59	3.47	0.22	0.09	0.01	<0.002	<20	2	0.5	99.81	678	<1	2.0	0.8
RFPE02	Drill Core	1.63	69.03	16.58	2.19	0.65	2.82	4.84	3.08	0.28	0.12	0.03	<0.002	<20	3	0.2	99.81	829	<1	2.8	1.2
RFPF01	Drill Core	0.05	71.10	15.17	1.19	0.29	2.06	4.40	3.75	0.18	0.07	<0.01	<0.002	<20	2	1.5	99.66	683	<1	1.3	0.7
O	Pulp	0.82	64.26	16.42	4.34	2.65	4.90	4.29	1.65	0.50	0.18	0.08	0.010	44	9	0.5	99.79	611	<1	11.5	0.3
RFPF02	Drill Core	0.90	69.30	16.28	1.32	0.30	2.50	4.80	3.29	0.23	0.09	0.01	<0.002	<20	2	1.5	99.64	1222	2	1.9	1.0
RFPW01	Drill Core	0.78	69.84	15.75	1.16	0.49	1.56	4.16	4.74	0.22	0.07	0.02	<0.002	<20	3	1.5	99.50	857	<1	2.9	1.1
RFPW02	Drill Core	1.10	69.58	16.46	1.69	0.52	2.09	5.00	2.85	0.25	0.11	<0.01	<0.002	<20	3	1.1	99.66	833	3	2.3	0.9



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 3 of 3 Part 2

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
		Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MDL		0.5	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05
GVMO03	Drill Core	19.1	2.6	7.1	109.5	5	335.6	0.4	5.2	1.9	40	11.2	100.4	5.1	14.6	30.5	3.29	11.8	1.85	0.48	1.29
M	Pulp	13.9	3.9	3.1	47.3	2	230.8	0.2	4.3	1.3	58	0.6	139.0	18.8	11.1	23.9	2.77	11.4	2.51	0.69	2.78
GVMO04	Drill Core	25.4	3.1	4.5	131.9	9	103.3	0.3	7.9	2.3	117	27.4	106.3	5.5	16.1	31.5	3.19	11.8	1.87	0.57	1.51
GVMO05	Drill Core	25.2	2.6	6.5	169.7	6	69.5	0.8	3.1	2.3	28	27.8	96.0	5.1	14.8	28.4	2.96	10.1	1.55	0.35	1.22
GVMO06	Drill Core	20.8	3.3	6.4	100.8	6	266.8	0.4	3.8	2.1	41	15.8	131.9	6.0	18.8	36.4	3.68	13.1	1.83	0.51	1.40
GVIN01	Drill Core	21.7	3.2	6.1	103.4	8	153.8	0.5	6.4	1.8	46	12.5	99.8	5.3	16.7	32.8	3.32	12.5	1.66	0.38	1.28
GVIN02	Drill Core	33.4	3.2	6.6	156.6	9	36.5	0.5	7.7	2.8	40	43.7	106.4	6.1	16.7	32.8	3.41	11.9	1.72	0.47	1.41
GVIN03	Drill Core	17.5	2.7	7.0	89.5	6	285.4	0.5	6.9	3.1	39	11.2	90.4	3.8	14.2	28.5	3.01	10.3	1.52	0.38	1.12
N	Pulp	17.5	2.7	3.1	23.0	<1	625.2	0.2	2.6	0.9	82	0.8	90.7	11.4	11.6	25.4	3.03	12.4	2.15	0.68	2.12
GVIN04	Drill Core	23.0	2.8	6.0	147.7	9	13.6	0.5	7.2	2.1	48	29.9	102.9	4.6	16.1	30.4	3.13	11.1	1.55	0.37	1.31
GVIN05	Drill Core	25.5	2.5	5.9	128.1	8	316.1	0.3	5.1	2.1	48	19.3	99.8	5.6	18.9	37.8	4.02	14.2	2.05	0.48	1.45
GVIN07	Drill Core	17.9	2.6	6.7	108.4	11	86.7	0.6	3.4	1.0	96	23.4	88.3	1.4	7.5	14.6	1.54	5.2	0.72	0.16	0.53
RFPE01	Drill Core	19.5	2.7	6.2	72.7	<1	541.5	0.6	8.0	3.0	27	1.7	95.3	5.6	16.6	32.5	3.19	11.6	1.74	0.44	1.34
RFPE02	Drill Core	20.0	2.8	6.4	63.4	<1	648.6	0.4	5.0	1.5	33	2.0	107.4	5.5	16.4	34.1	3.55	13.7	1.99	0.52	1.44
RFPF01	Drill Core	19.4	2.5	6.7	58.9	<1	514.1	0.5	6.3	2.7	19	1.9	85.7	4.0	16.0	30.3	2.90	10.2	1.49	0.39	1.04
O	Pulp	19.3	3.0	3.5	21.7	1	753.6	0.2	2.0	0.8	90	<0.5	119.2	12.3	12.3	27.7	3.30	14.1	2.66	0.80	2.60
RFPF02	Drill Core	19.5	3.1	6.0	55.0	<1	655.6	0.5	3.7	1.4	24	2.1	107.2	4.5	14.3	29.3	2.92	11.2	1.55	0.44	1.22
RFPW01	Drill Core	17.0	2.9	5.6	69.3	<1	627.6	0.3	4.6	2.7	33	4.1	103.3	4.8	15.2	31.8	3.12	12.0	1.83	0.48	1.24
RFPW02	Drill Core	19.0	3.0	5.4	47.3	<1	650.6	0.3	3.6	1.6	30	2.9	110.5	5.0	16.4	33.2	3.28	11.8	1.77	0.52	1.45



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 3 of 3 Part 3

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

Method	Analyte	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B 2A	Leco 2A	Leco	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au
Unit		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb
MDL		0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
GVMO03	Drill Core	0.17	0.87	0.17	0.47	0.07	0.47	0.08	0.03	0.65	59.9	9486	2.8	24	0.7	<0.5	<0.1	<0.1	0.4	1.8	22.9
M	Pulp	0.48	2.80	0.62	2.00	0.31	2.19	0.34	<0.02	<0.02	0.3	9.1	2.6	39	2.9	<0.5	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.5
GVMO04	Drill Core	0.20	0.97	0.17	0.51	0.08	0.53	0.08	<0.02	1.06	323.1	>10000	2.5	21	0.8	1.0	<0.1	<0.1	4.1	5.7	60.8
GVMO05	Drill Core	0.15	0.82	0.17	0.43	0.08	0.52	0.08	0.14	1.04	4.0	7356	17.1	89	2.5	18.6	0.5	0.1	0.6	3.2	34.6
GVMO06	Drill Core	0.18	0.86	0.18	0.55	0.09	0.58	0.09	0.05	0.62	48.3	9697	1.7	154	1.5	0.6	<0.1	<0.1	0.3	1.7	20.3
GVIN01	Drill Core	0.15	0.89	0.16	0.48	0.07	0.50	0.07	<0.02	0.72	3.1	>10000	5.1	16	1.4	<0.5	<0.1	<0.1	1.5	3.8	63.9
GVIN02	Drill Core	0.17	0.89	0.18	0.51	0.08	0.54	0.09	<0.02	1.29	39.8	>10000	2.3	158	1.0	0.8	<0.1	<0.1	0.2	1.1	7.6
GVIN03	Drill Core	0.14	0.67	0.14	0.30	0.06	0.37	0.07	<0.02	0.63	53.1	>10000	1.0	100	1.6	2.8	457.8	<0.1	0.4	3.0	34.1
N	Pulp	0.30	1.91	0.38	1.10	0.14	1.17	0.16	0.08	0.04	1.0	27.0	3.1	29	11.1	20.3	<0.1	1.0	0.2	<0.1	17.9
GVIN04	Drill Core	0.13	0.70	0.13	0.41	0.05	0.43	0.05	<0.02	1.14	66.0	>10000	1.2	11	0.3	14.9	0.4	0.5	2.1	5.9	57.3
GVIN05	Drill Core	0.16	0.89	0.17	0.57	0.06	0.59	0.08	<0.02	1.14	24.8	>10000	19.3	38	1.4	1.2	2.1	<0.1	1.4	13.7	140.2
GVIN07	Drill Core	0.04	0.27	0.02	0.11	<0.01	0.17	0.02	<0.02	0.44	335.1	>10000	4.1	20	0.3	0.8	<0.1	<0.1	3.1	8.2	102.3
RFPE01	Drill Core	0.15	0.93	0.15	0.51	0.05	0.54	0.08	0.11	0.03	5.7	420.4	2.2	12	1.0	0.5	0.3	<0.1	<0.1	0.2	4.4
RFPE02	Drill Core	0.16	0.99	0.15	0.48	0.05	0.56	0.07	0.07	<0.02	0.9	35.3	1.9	18	1.4	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.5
RFPF01	Drill Core	0.11	0.70	0.11	0.40	0.05	0.44	0.06	0.10	0.12	7.4	1710	1.2	10	0.7	<0.5	0.2	<0.1	0.2	0.5	18.1
O	Pulp	0.36	2.02	0.41	1.32	0.16	1.18	0.19	<0.02	<0.02	0.7	11.8	2.8	24	7.4	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
RFPF02	Drill Core	0.13	0.77	0.13	0.37	0.04	0.47	0.05	0.15	0.09	93.4	1135	1.3	21	0.8	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	2.0
RFPW01	Drill Core	0.14	0.91	0.13	0.45	0.05	0.49	0.06	0.06	0.14	76.1	2494	2.1	56	1.3	0.6	0.2	<0.1	0.2	0.7	8.2
RFPW02	Drill Core	0.14	0.95	0.12	0.45	0.05	0.46	0.05	<0.02	0.07	3.0	1251	1.0	26	1.1	<0.5	1.2	<0.1	0.1	0.4	5.0



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 3 of 3 Part 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

SAN11000169.1

	Method	1DX	1DX	1DX
	Analyte	Hg	Tl	Se
	Unit	ppm	ppm	ppm
	MDL	0.01	0.1	0.5
GVMO03	Drill Core	<0.01	<0.1	3.0
M	Pulp	<0.01	0.2	<0.5
GVMO04	Drill Core	0.01	<0.1	3.8
GVMO05	Drill Core	<0.01	0.1	1.2
GVMO06	Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
GVIN01	Drill Core	<0.01	<0.1	2.3
GVIN02	Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
GVIN03	Drill Core	0.04	0.4	5.9
N	Pulp	0.13	<0.1	<0.5
GVIN04	Drill Core	0.01	<0.1	4.4
GVIN05	Drill Core	0.07	0.2	8.4
GVIN07	Drill Core	<0.01	<0.1	8.5
RFPE01	Drill Core	<0.01	<0.1	<0.5
RFPE02	Drill Core	<0.01	<0.1	<0.5
RFPF01	Drill Core	<0.01	<0.1	0.7
O	Pulp	<0.01	<0.1	<0.5
RFPF02	Drill Core	<0.01	<0.1	<0.5
RFPW01	Drill Core	<0.01	<0.1	1.3
RFPW02	Drill Core	<0.01	<0.1	0.7



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 1 of 2 Part 1

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

Method	WGHT	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
Analyte	Wgt	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	
Unit	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	
MDL	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	
QSMO06	Drill Core	0.54	81.64	10.66	1.20	0.26	0.14	0.10	2.97	0.13	0.06	0.01	<0.002	<20	1	2.0	99.20	497	2	0.4	4.1
N	Pulp	0.06	65.45	15.48	4.36	2.48	4.07	4.01	1.42	0.46	0.13	0.08	0.007	25	9	1.8	99.79	683	1	10.7	0.5
Pulp Duplicates																					
QSDE06	Drill Core	0.72	73.60	13.43	0.95	0.33	1.81	1.08	4.51	0.17	0.07	0.01	<0.002	<20	3	3.4	99.34	935	2	0.4	3.1
REP QSDE06		QC																			
J	Pulp	0.06	64.31	16.53	4.42	2.63	4.98	4.27	1.66	0.50	0.18	0.08	0.010	44	10	0.2	99.78	622	1	12.1	0.4
REP J		QC																			
GVM002	Drill Core	0.65	71.71	14.91	1.24	0.49	0.45	0.28	4.66	0.19	0.08	<0.01	<0.002	<20	3	2.8	96.85	269	2	1.5	1.4
REP GVM002			71.66	14.93	1.25	0.49	0.45	0.28	4.69	0.19	0.08	<0.01	<0.002	<20	3	2.8	96.86	254	2	1.5	1.5
GVM006	Drill Core	0.67	68.97	16.29	1.80	0.61	0.57	1.91	5.33	0.26	0.11	0.02	<0.002	<20	3	2.8	98.63	700	2	2.1	2.2
REP GVM006			69.26	16.17	1.75	0.60	0.56	1.90	5.30	0.25	0.11	0.02	<0.002	<20	3	2.8	98.68	715	2	1.9	2.1
RFPW02	Drill Core	1.10	69.58	16.46	1.69	0.52	2.09	5.00	2.85	0.25	0.11	<0.01	<0.002	<20	3	1.1	99.66	833	3	2.3	0.9
REP RFPW02		QC																			
Core Reject Duplicates																					
QSDE02	Drill Core	1.22	71.20	15.41	0.49	0.33	0.29	0.32	5.61	0.27	0.25	<0.01	0.004	<20	3	3.8	98.01	787	2	1.1	1.8
DUP QSDE02			71.12	15.45	0.62	0.33	0.29	0.32	5.52	0.26	0.25	<0.01	<0.002	<20	3	3.8	98.00	759	2	0.9	1.8
GVIN02	Drill Core	0.64	70.02	15.86	2.85	0.60	0.29	0.18	5.13	0.24	0.15	0.02	<0.002	<20	3	3.0	98.37	1020	3	1.9	3.7
DUP GVIN02			70.30	15.82	2.76	0.58	0.29	0.17	5.04	0.23	0.15	0.02	<0.002	<20	3	3.0	98.37	1045	2	1.5	3.7
Reference Materials																					
STD CSC	Standard																				
STD CSC	Standard																				
STD DS8	Standard																				
STD DS8	Standard																				
STD OREAS45PA	Standard																				
STD OREAS45CA	Standard																				
STD OREAS45PA	Standard																				
STD OREAS45CA	Standard																				
STD OREAS76A	Standard																				
STD OREAS76A	Standard																				

This report supersedes all previous preliminary and final reports with this file number dated prior to the date on this certificate. Signature indicates final approval; preliminary reports are unsigned and should be used for reference only.



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 1 of 2 Part 2

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

Method Analyte Unit MDL		4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
		Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.5	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05	
QSMO06	Drill Core	14.5	1.9	3.6	69.5	3	74.9	0.2	2.0	0.8	17	18.1	64.4	3.8	9.1	18.2	2.02	7.3	1.11	0.31	0.83	
N	Pulp	17.5	2.7	3.1	23.0	<1	625.2	0.2	2.6	0.9	82	0.8	90.7	11.4	11.6	25.4	3.03	12.4	2.15	0.68	2.12	
Pulp Duplicates																						
QSDE06	Drill Core	17.6	2.7	4.3	75.3	1	159.3	0.3	2.4	2.4	19	11.4	91.6	4.8	8.7	17.7	2.04	8.1	1.32	0.37	1.07	
REP QSDE06																						
J	Pulp	18.4	3.2	3.4	22.7	1	736.8	0.1	2.1	0.7	86	<0.5	117.8	12.9	12.4	27.9	3.48	14.5	2.85	0.83	2.64	
REP J																						
GVM002	Drill Core	24.5	3.1	6.1	119.9	21	40.4	0.5	11.4	2.4	72	34.4	110.7	4.5	17.0	32.1	3.19	11.4	1.57	0.39	1.20	
REP GVM002																						
GVM006	Drill Core	20.8	3.3	6.4	100.8	6	266.8	0.4	3.8	2.1	41	15.8	131.9	6.0	18.8	36.4	3.68	13.1	1.83	0.51	1.40	
REP GVM006																						
RFPW02	Drill Core	19.0	3.0	5.4	47.3	<1	650.6	0.3	3.6	1.6	30	2.9	110.5	5.0	16.4	33.2	3.28	11.8	1.77	0.52	1.45	
REP RFPW02																						
Core Reject Duplicates																						
QSDE02	Drill Core	22.5	3.5	7.1	106.5	8	1029	0.5	7.3	1.1	50	17.4	113.6	3.8	18.8	37.1	4.24	16.4	2.64	0.71	1.66	
DUP QSDE02																						
GVIN02	Drill Core	33.4	3.2	6.6	156.6	9	36.5	0.5	7.7	2.8	40	43.7	106.4	6.1	16.7	32.8	3.41	11.9	1.72	0.47	1.41	
DUP GVIN02																						
Reference Materials																						
STD CSC	Standard																					
STD CSC	Standard																					
STD DS8	Standard																					
STD DS8	Standard																					
STD OREAS45PA	Standard																					
STD OREAS45CA	Standard																					
STD OREAS45PA	Standard																					
STD OREAS45CA	Standard																					
STD OREAS76A	Standard																					
STD OREAS76A	Standard																					



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
Plaza Ercilla N° 803
Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
Report Date: March 20, 2011

Page: 1 of 2 Part 3

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

Method	Analyte	Unit	MDL	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	2A Leco	2A Leco	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	
				Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	
				ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppb	
				0.01	0.05	0.02	0.03	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.5
QSMO06	Drill Core			0.11	0.62	0.12	0.34	0.05	0.35	0.05	<0.02	0.63	1.4	5962	1.9	16	0.4	4.0	0.1	<0.1	0.4	0.8	30.0	
N	Pulp			0.30	1.91	0.38	1.10	0.14	1.17	0.16	0.08	0.04	1.0	27.0	3.1	29	11.1	20.3	<0.1	1.0	0.2	<0.1	17.9	
Pulp Duplicates																								
QSDE06	Drill Core			0.14	0.74	0.14	0.40	0.06	0.48	0.07	0.34	0.40	22.8	4221	1.7	11	0.3	6.0	<0.1	<0.1	0.5	1.6	6.8	
REP QSDE06	QC											0.34	0.41											
J	Pulp			0.41	2.35	0.44	1.24	0.19	1.31	0.20	<0.02	<0.02	0.5	11.4	2.7	25	7.6	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	1.4	
REP J	QC											0.5	10.6	2.8	25	7.6	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5	
GVM002	Drill Core			0.14	0.74	0.12	0.40	0.06	0.41	0.08	<0.02	1.15	32.3	>10000	6.2	62	0.5	0.9	<0.1	<0.1	3.4	11.8	192.8	
REP GVM002	QC			0.12	0.66	0.12	0.32	0.05	0.39	0.07														
GVM006	Drill Core			0.18	0.86	0.18	0.55	0.09	0.58	0.09	0.05	0.62	48.3	9697	1.7	154	1.5	0.6	<0.1	<0.1	0.3	1.7	20.3	
REP GVM006	QC			0.18	1.02	0.19	0.52	0.08	0.53	0.08	0.04	0.66												
RFPW02	Drill Core			0.14	0.95	0.12	0.45	0.05	0.46	0.05	<0.02	0.07	3.0	1251	1.0	26	1.1	<0.5	1.2	<0.1	0.1	0.4	5.0	
REP RFPW02	QC											2.8	1252	1.0	25	1.2	<0.5	1.4	<0.1	0.1	0.4	3.6		
Core Reject Duplicates																								
QSDE02	Drill Core			0.19	0.74	0.13	0.34	0.05	0.39	0.07	<0.02	0.56	20.8	>10000	2.8	13	0.8	<0.5	1.5	<0.1	0.4	7.3	60.0	
DUP QSDE02	QC			0.18	0.82	0.13	0.32	0.05	0.42	0.07	<0.02	0.56	22.6	>10000	3.3	14	0.4	<0.5	1.9	<0.1	0.4	7.2	54.9	
GVIN02	Drill Core			0.17	0.89	0.18	0.51	0.08	0.54	0.09	<0.02	1.29	39.8	>10000	2.3	158	1.0	0.8	<0.1	<0.1	0.2	1.1	7.6	
DUP GVIN02	QC			0.17	0.98	0.17	0.53	0.08	0.60	0.09	<0.02	1.17	47.0	>10000	2.1	156	0.7	0.7	<0.1	<0.1	0.2	1.2	13.0	
Reference Materials																								
STD CSC	Standard											2.96	4.11											
STD CSC	Standard											2.92	4.18											
STD DS8	Standard											13.2	106.3	128.9	336	38.2	26.7	2.5	5.3	7.2	1.8	103.7		
STD DS8	Standard											12.1	107.1	125.0	308	36.9	26.6	2.3	4.7	6.6	1.8	93.6		
STD OREAS45PA	Standard											1.0	594.2	20.6	125	300.1	5.2	<0.1	0.3	0.2	0.4	51.8		
STD OREAS45CA	Standard											1.2	503.0	21.9	63	237.1	4.5	<0.1	0.2	0.2	0.3	37.1		
STD OREAS45PA	Standard											0.8	590.0	20.5	126	287.9	5.1	0.1	0.2	0.2	0.3	57.3		
STD OREAS45CA	Standard											0.9	489.2	21.2	60	237.1	4.7	0.1	0.1	0.2	0.3	53.9		
STD OREAS76A	Standard											0.15	18.21											
STD OREAS76A	Standard											0.14	17.09											



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given

Report Date: March 20, 2011

Page: 1 of 2 **Part** 4

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

Method	1DX	1DX	1DX
Analyte	Hg	Tl	Se
Unit	ppm	ppm	ppm
MDL	0.01	0.1	0.5
QSMO06 Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
N Pulp	0.13	<0.1	<0.5
Pulp Duplicates			
QSDE06 Drill Core	<0.01	<0.1	0.6
REP QSDE06 QC			
J Pulp	<0.01	<0.1	<0.5
REP J QC	<0.01	<0.1	<0.5
GVM002 Drill Core	0.01	<0.1	6.4
REP GVM002 QC			
GVM006 Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
REP GVM006 QC			
RFPW02 Drill Core	<0.01	<0.1	0.7
REP RFPW02 QC	<0.01	<0.1	0.8
Core Reject Duplicates			
QSDE02 Drill Core	0.06	<0.1	2.3
DUP QSDE02 QC	0.06	<0.1	2.9
GVIN02 Drill Core	<0.01	<0.1	1.8
DUP GVIN02 QC	<0.01	<0.1	2.2
Reference Materials			
STD CSC Standard			
STD CSC Standard			
STD DS8 Standard	0.22	6.0	6.7
STD DS8 Standard	0.18	5.2	5.1
STD OREAS45PA Standard	0.03	<0.1	1.1
STD OREAS45CA Standard	0.04	<0.1	1.1
STD OREAS45PA Standard	0.03	0.1	0.8
STD OREAS45CA Standard	0.03	<0.1	0.7
STD OREAS76A Standard			
STD OREAS76A Standard			



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given

Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 2 Part 1

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

	WGHT	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B
	Wgt	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	CaO	Na2O	K2O	TiO2	P2O5	MnO	Cr2O3	Ni	Sc	LOI	Sum	Ba	Be	Co	Cs	
	kg	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	
	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.002	20	1	-5.1	0.01	1	1	0.2	0.1	
STD SO-18	Standard	58.15	14.15	7.54	3.35	6.35	3.69	2.16	0.69	0.82	0.39	0.547	47	25	1.9	99.75	495	<1	27.0	6.8	
STD SO-18	Standard	58.20	14.07	7.58	3.34	6.35	3.70	2.16	0.69	0.82	0.39	0.548	43	24	1.9	99.75	501	<1	26.3	6.7	
STD SO-18	Standard	58.18	14.03	7.58	3.36	6.38	3.70	2.15	0.69	0.82	0.40	0.552	43	25	1.9	99.75	521	1	26.7	7.0	
STD SO-18	Standard	58.25	14.02	7.56	3.34	6.33	3.69	2.15	0.69	0.83	0.40	0.556	44	25	1.9	99.74	519	1	27.1	7.2	
STD CSC Expected																					
STD OREAS76A Expected																					
STD DS8 Expected																					
STD OREAS45PA Expected																					
STD OREAS45CA Expected																					
STD SO-18 Expected		58.47	14.23	7.67	3.35	6.42	3.71	2.17	0.69	0.83	0.39	0.55	44	25			514		26.2	7.1	
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<20	<1	0.0	<0.01	<1	<1	<0.2	<0.1	
BLK	Blank	<0.01	<0.01	<0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.002	<20	<1	0.0	<0.01	<1	<1	<0.2	<0.1	
Prep Wash																					
G1	Prep Blank	<0.01	66.93	15.67	3.56	1.17	3.41	3.56	3.64	0.40	0.20	0.10	0.003	<20	6	1.1	99.75	999	3	4.6	4.2
G1	Prep Blank	<0.01	67.19	15.51	3.52	1.17	3.50	3.59	3.47	0.40	0.20	0.10	0.004	<20	6	1.1	99.75	956	2	4.8	4.3



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 2 Part 2

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

		4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	
		Ga	Hf	Nb	Rb	Sn	Sr	Ta	Th	U	V	W	Zr	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.5	0.1	0.1	0.1	1	0.5	0.1	0.2	0.1	8	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.02	0.3	0.05	0.02	0.05
STD SO-18	Standard	18.6	9.3	19.7	28.7	15	403.7	6.6	10.1	16.1	210	14.2	286.5	30.2	12.1	27.3	3.27	13.5	2.73	0.84	2.85
STD SO-18	Standard	17.2	9.0	19.9	27.8	15	403.8	7.0	10.5	16.2	213	13.9	287.8	30.3	11.5	26.7	3.17	13.1	2.57	0.81	2.78
STD SO-18	Standard	17.5	9.1	20.3	28.5	15	400.9	7.0	10.1	15.7	203	14.1	286.8	31.2	11.5	26.3	3.21	13.3	2.79	0.83	2.89
STD SO-18	Standard	17.7	9.5	20.3	28.8	15	410.6	7.1	10.2	15.9	208	14.1	292.4	31.4	11.7	26.9	3.28	13.8	2.80	0.83	2.88
STD CSC Expected																					
STD OREAS76A Expected																					
STD DS8 Expected																					
STD OREAS45PA Expected																					
STD OREAS45CA Expected																					
STD SO-18 Expected		17.6	9.8	21.3	28.7	15	407.4	7.4	9.9	16.4	200	14.8	280	31	12.3	27.1	3.45	14	3	0.89	2.93
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank																				
BLK	Blank	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.5	<0.1	<0.2	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	<0.05
BLK	Blank	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.5	<0.1	<0.2	<0.1	<8	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.02	<0.3	<0.05	<0.02	<0.05
Prep Wash																					
G1	Prep Blank	20.1	4.2	23.9	137.1	2	749.4	1.5	8.7	3.5	59	<0.5	133.8	17.9	26.7	54.8	6.36	24.3	4.14	1.05	3.40
G1	Prep Blank	19.1	4.2	23.8	131.4	1	748.6	1.5	9.0	3.2	59	<0.5	145.3	17.4	32.3	63.2	7.00	25.4	4.17	1.07	3.21



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.
 1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada
 Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given
 Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 2 Part 3

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

		4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B	4A-4B 2A	Leco 2A	Leco	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX	1DX		
		Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	TOT/C	TOT/S	Mo	Cu	Pb	Zn	Ni	As	Cd	Sb	Bi	Ag	Au	
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	
STD SO-18	Standard	0.50	2.75	0.60	1.75	0.27	1.70	0.27			0.1	0.1	0.1	1	0.1	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5
STD SO-18	Standard	0.48	2.70	0.58	1.71	0.24	1.65	0.26														
STD SO-18	Standard	0.48	2.82	0.59	1.76	0.26	1.66	0.26														
STD SO-18	Standard	0.48	2.87	0.60	1.73	0.26	1.73	0.26														
STD CSC Expected									2.94	4.25												
STD OREAS76A Expected									0.16	18												
STD DS8 Expected											13.44	110	123	312	38.1	26	2.38	4.8	6.67	1.69	107	
STD OREAS45PA Expected											0.9	600	19	119	281	4.2	0.09	0.13	0.18	0.3	43	
STD OREAS45CA Expected											1	494	20	60	240	3.8	0.1	0.13	0.19	0.275	43	
STD SO-18 Expected		0.53	3	0.62	1.84	0.27	1.79	0.27														
BLK	Blank										<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
BLK	Blank								<0.02	<0.02												
BLK	Blank								<0.02	<0.02												
BLK	Blank										<0.1	<0.1	<0.1	<1	<0.1	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.5
BLK	Blank	<0.01	<0.05	<0.02	<0.03	<0.01	<0.05	<0.01														
BLK	Blank	<0.01	<0.05	<0.02	<0.03	<0.01	<0.05	<0.01														
Prep Wash																						
G1	Prep Blank	0.51	2.85	0.57	1.67	0.27	2.04	0.30	<0.02	<0.02	0.2	3.2	3.8	50	3.5	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	6.6
G1	Prep Blank	0.50	2.77	0.57	1.64	0.26	1.92	0.30	<0.02	<0.02	<0.1	2.0	2.7	49	3.4	<0.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2.8



Acme Analytical Laboratories (Vancouver) Ltd.

1020 Cordova St. East Vancouver BC V6A 4A3 Canada

Phone (604) 253-3158 Fax (604) 253-1716

www.acmelab.com

Client: **Universidad de Chile**
 Plaza Ercilla N° 803
 Santiago Región Metropolitana de Santiago Chile

Project: None Given

Report Date: March 20, 2011

Page: 2 of 2 **Part** 4

QUALITY CONTROL REPORT

SAN11000169.1

		1DX Hg ppm 0.01	1DX TI ppm 0.1	1DX Se ppm 0.5
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD SO-18	Standard			
STD CSC Expected				
STD OREAS76A Expected				
STD DS8 Expected		0.192	5.4	5.23
STD OREAS45PA Expected		0.03	0.07	0.54
STD OREAS45CA Expected		0.03	0.07	0.5
STD SO-18 Expected				
BLK	Blank	<0.01	<0.1	<0.5
BLK	Blank			
BLK	Blank			
BLK	Blank	<0.01	<0.1	<0.5
BLK	Blank			
BLK	Blank			
Prep Wash				
G1	Prep Blank	0.02	0.4	<0.5
G1	Prep Blank	<0.01	0.3	<0.5

ANEXO D

ANÁLISIS DE CONTROL DE CALIDAD

A continuación se proporcionan los gráficos obtenidos para las muestras estándares utilizadas en el control de calidad de los análisis geoquímicos. En cada gráfico se presentan los valores esperados del estándar en el eje horizontal y los valores obtenidos en el eje vertical. Cada medición realizada se muestra en series de colores distintos.

Gráfico del estándar denominado SO-18 que mide los elementos del método 4A-4B.

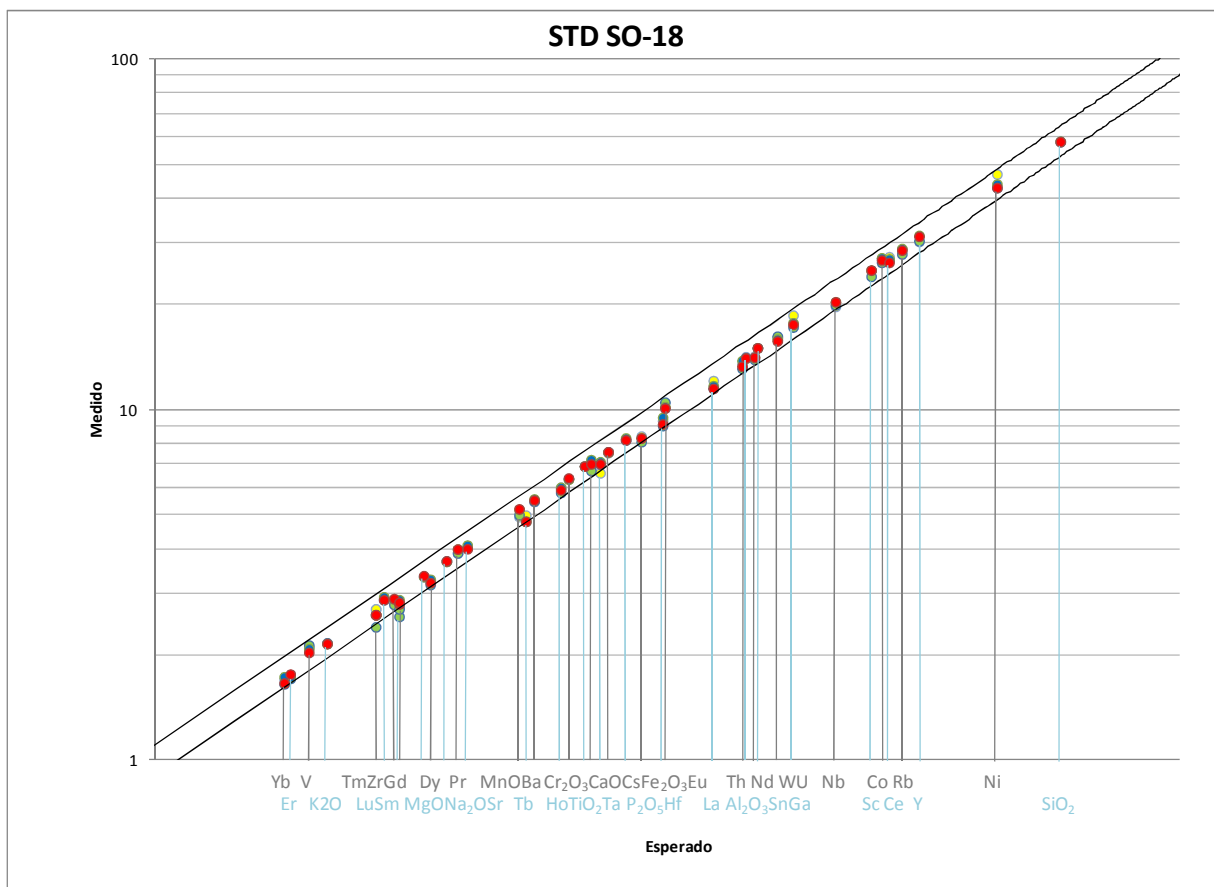


Gráfico de las muestras estándares OREAS76A y CSC para el método 2A Leco.

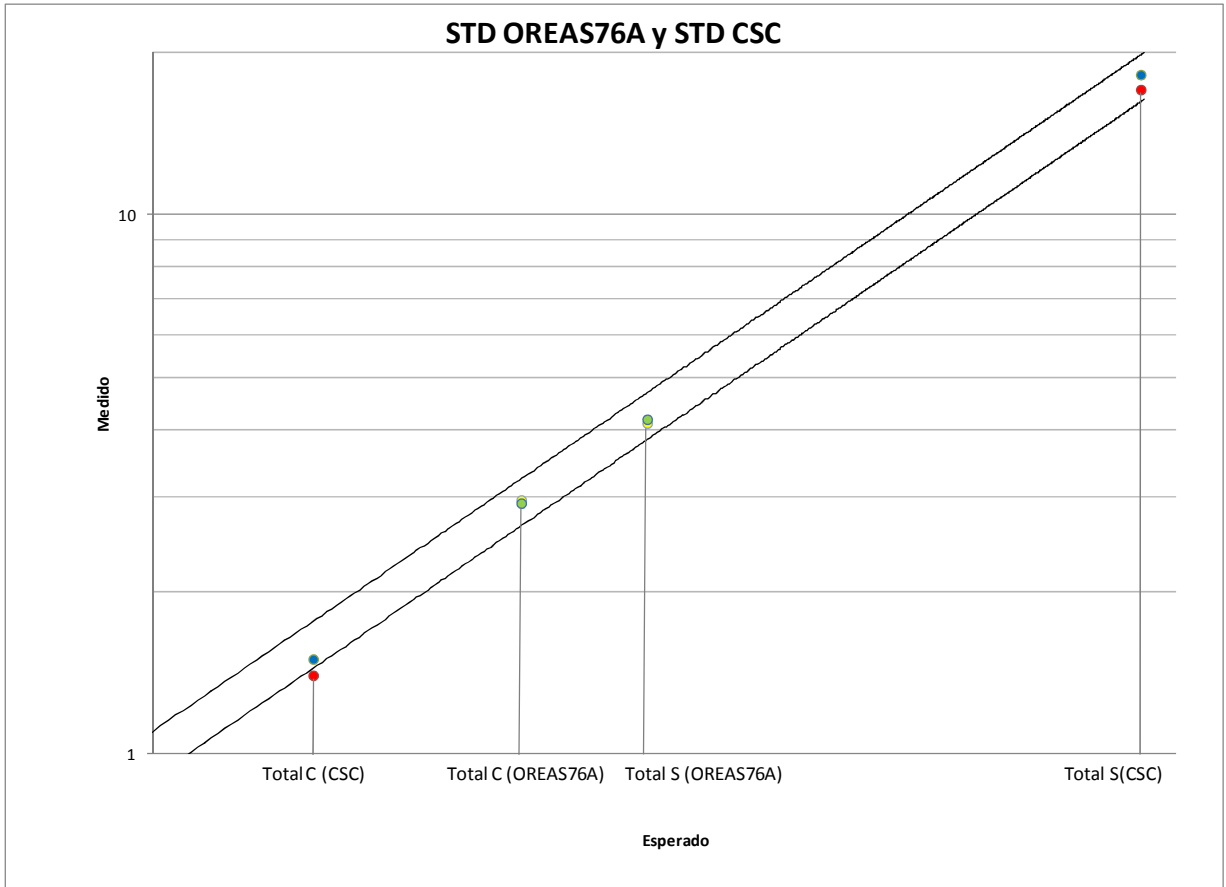


Gráfico de la muestra estándar OREAS45CA para el método 1DX.

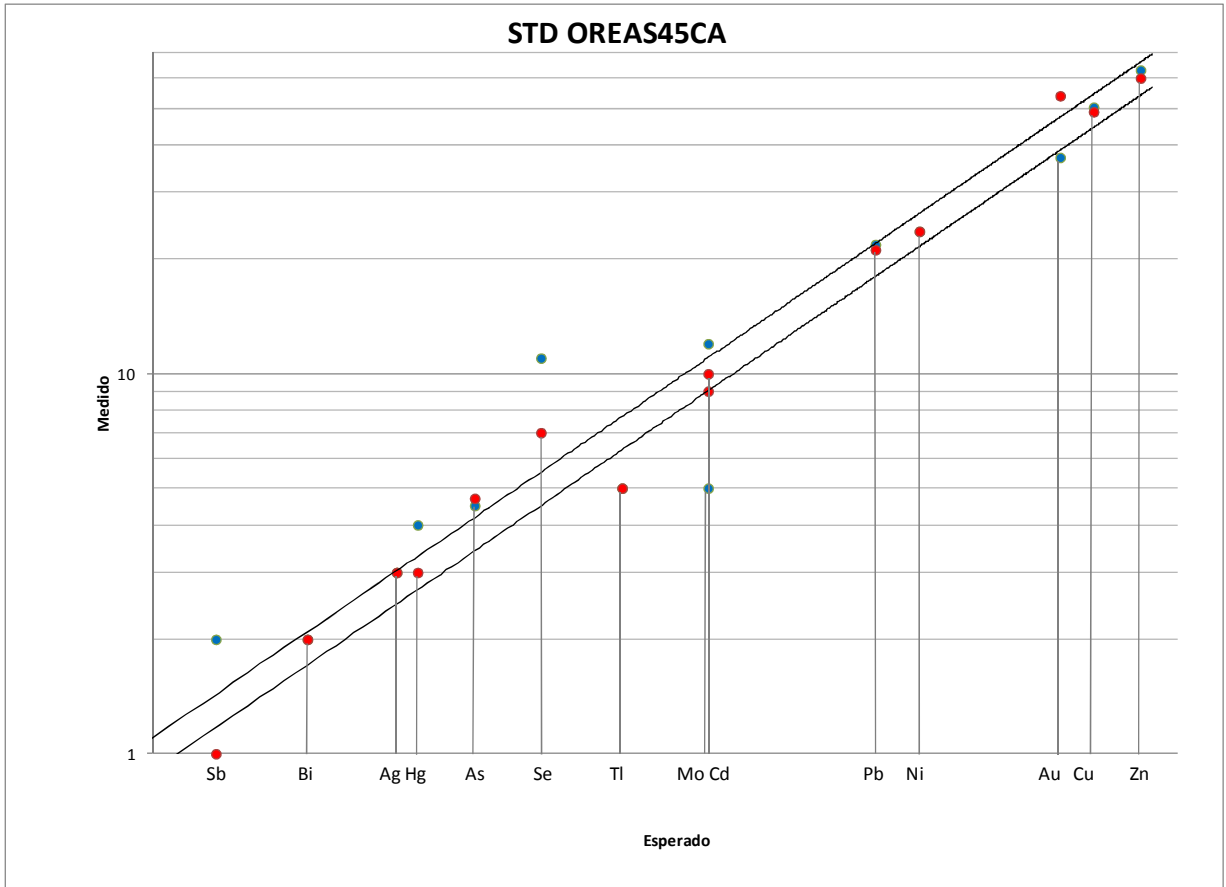


Gráfico de la muestra estándar OREAS45PA para el método 1DX.

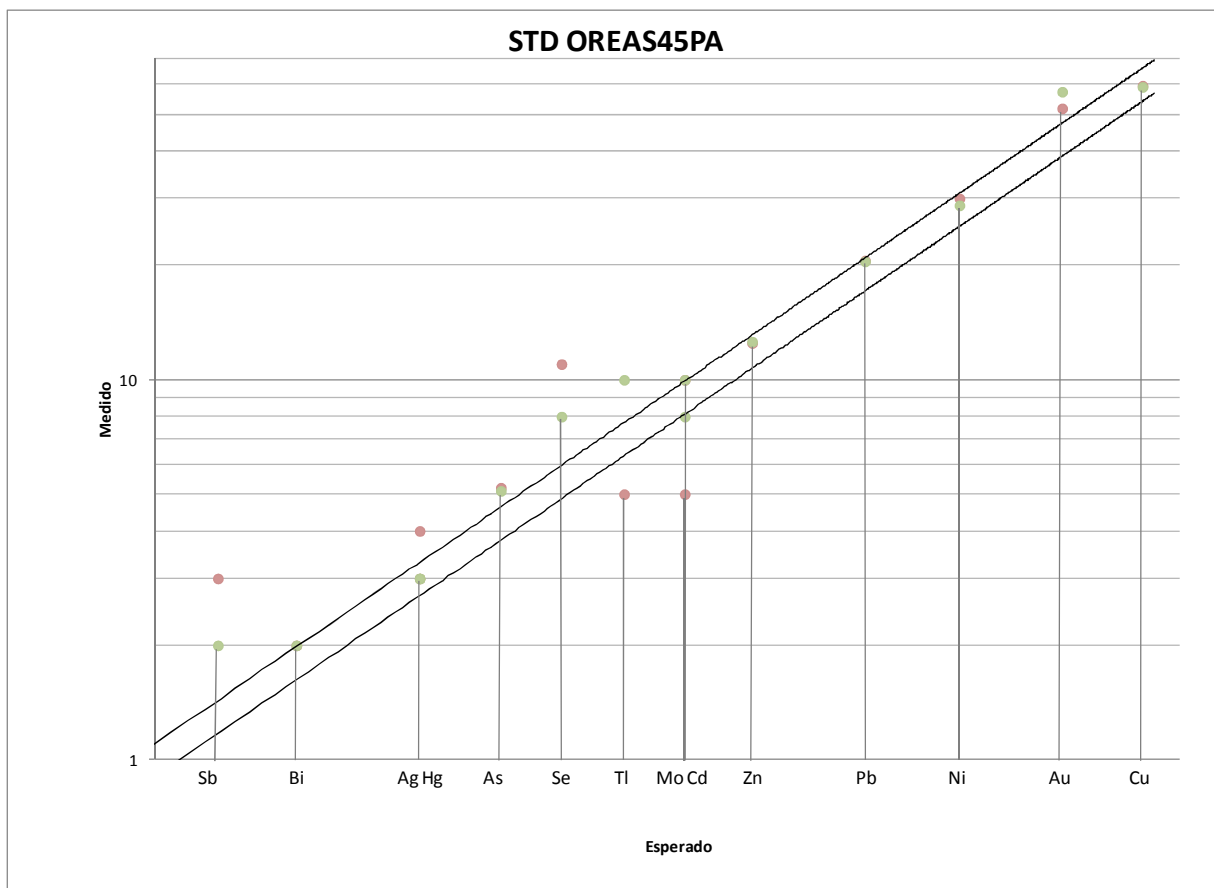
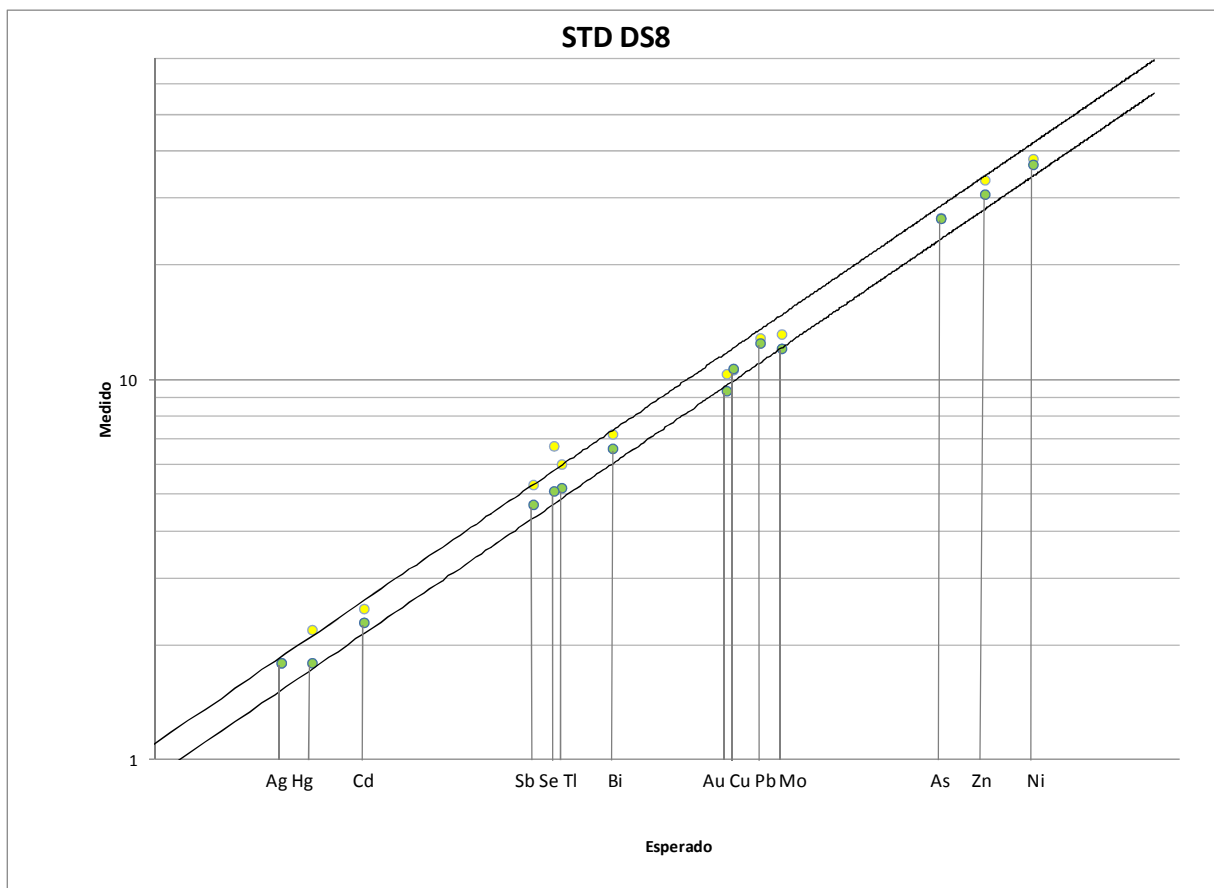


Gráfico de la muestra estándar DS8 para el método 1DX.



La siguiente tabla muestra los coeficientes de variación calculados por tipo de material agregado para el control de calidad del laboratorio y el error analítico asociado a cada variable.

Método	Elemento	Unidad	Duplicados			Estándares	Prep. Wash G1	EA
			Desconocido	Preparación	Pulpa			
4A-4B	SiO ₂	(%)	0,040	0,207	0,213	0,072	0,274	0,184
4A-4B	Al ₂ O ₃	(%)	0,488	0,181	0,376	0,420	0,726	0,472
4A-4B	Fe ₂ O ₃	(%)	1,212	11,821	1,465	0,253	0,799	5,368
4A-4B	MgO	(%)	0,554	1,695	0,826	0,286	0,000	0,993
4A-4B	CaO	(%)	0,846	0,000	0,885	0,325	1,842	1,118
4A-4B	Na ₂ O	(%)	0,553	2,857	0,262	0,156	0,593	1,335
4A-4B	K ₂ O	(%)	0,302	1,199	0,427	0,268	3,381	1,626
4A-4B	TiO ₂	(%)	11,480	2,844	1,961	0,000	0,000	6,922
4A-4B	P ₂ O ₅	(%)	3,704	0,000	0,000	0,608	0,000	2,167
4A-4B	MnO	(%)	0,000	0,000	0,000	1,462	0,000	1,462
4A-4B	Cr ₂ O ₃	(%)	0,000	0,000	0,000	0,747	0,000	0,747
4A-4B	Ni	(ppm)	0,000	0,000	0,000	4,278	0,000	4,278
4A-4B	Sc	(ppm)	5,263	0,000	0,000	2,020	0,000	3,986
4A-4B	LOI	(%)	43,179	0,000	0,000	0,000	0,000	43,179
4A-4B	Sum	(%)	0,005	0,005	0,026	0,005	0,000	0,014
4A-4B	Ba	(ppm)	2,587	2,178	3,058	2,546	3,111	2,718
4A-4B	Be	(ppm)	0,000	0,000	0,000	0,000	28,284	28,284
4A-4B	Co	(ppm)	3,845	15,440	5,000	1,342	3,009	7,603
4A-4B	Cs	(ppm)	0,000	0,000	4,159	3,202	1,664	3,179
4A-4B	Ga	(ppm)	4,802	1,163	3,931	3,396	3,608	3,589
4A-4B	Hf	(ppm)	3,703	6,853	12,820	2,404	0,000	7,596
4A-4B	Nb	(ppm)	6,231	2,289	7,192	1,496	0,296	4,430
4A-4B	Rb	(ppm)	2,959	1,657	3,580	1,585	3,002	2,677
4A-4B	Sn	(ppm)	0,000	0,000	5,000	0,000	0,000	5,000
4A-4B	Sr	(ppm)	1,156	0,892	3,503	1,019	0,076	1,758
4A-4B	Ta	(ppm)	0,000	0,000	0,000	3,202	0,000	3,202
4A-4B	Th	(ppm)	3,129	8,479	50,839	1,851	2,397	23,132
4A-4B	U	(ppm)	6,667	7,692	21,160	1,388	6,332	10,894
4A-4B	V	(ppm)	2,939	0,990	3,796	2,016	0,000	2,650
4A-4B	W	(ppm)	0,000	2,414	3,823	0,894	0,000	2,661
4A-4B	Zr	(ppm)	3,205	6,848	16,876	0,950	5,827	8,681
4A-4B	Y	(ppm)	2,940	3,512	4,950	1,992	2,003	3,270
4A-4B	La	(ppm)	2,148	0,535	5,571	2,417	13,423	6,663
4A-4B	Ce	(ppm)	0,360	1,548	4,080	1,553	10,067	4,958
4A-4B	Pr	(ppm)	3,920	2,540	4,382	1,605	6,775	4,231
4A-4B	Nd	(ppm)	3,771	5,777	4,150	2,224	3,130	3,989
4A-4B	Sm	(ppm)	7,377	2,658	1,866	3,903	0,511	4,012
4A-4B	Eu	(ppm)	4,609	2,083	4,472	1,521	1,334	3,152

Método	Elemento	Unidad	Duplicados			Estándares	Prep. Wash G1	EA
			Desconocido	Preparación	Pulpa			
4A-4B	Gd	(ppm)	2,641	1,075	4,924	1,743	4,065	3,223
4A-4B	Tb	(ppm)	10,067	2,703	7,692	2,062	1,400	5,900
4A-4B	Dy	(ppm)	7,593	7,033	10,251	2,695	2,013	6,686
4A-4B	Ho	(ppm)	4,362	2,857	2,703	1,616	0,000	3,046
4A-4B	Er	(ppm)	4,390	3,589	11,459	1,276	1,282	5,775
4A-4B	Tm	(ppm)	15,156	0,000	10,828	4,887	2,668	9,721
4A-4B	Yb	(ppm)	5,624	6,436	5,152	2,194	4,285	4,955
4A-4B	Lu	(ppm)	8,947	0,000	8,891	1,905	0,000	7,365
2A Leco	TOT/C	(%)	0,000	0,000	0,000	3,515	0,000	3,515
2A Leco	TOT/S	(%)	0,000	4,878	3,360	3,283	0,000	3,910
1DX	Mo	(ppm)	17,478	9,274	3,448	15,197	0,000	11,264
1DX	Cu	(ppm)	2,259	0,000	3,637	1,211	32,636	16,469
1DX	Pb	(ppm)	2,414	9,373	1,818	1,836	23,933	11,603
1DX	Zn	(ppm)	3,908	3,758	1,961	4,083	1,428	3,224
1DX	Ni	(ppm)	1,886	37,716	4,348	2,206	2,050	17,053
1DX	As	(ppm)	1,763	0,000	0,000	1,950	0,000	1,859
1DX	Cd	(ppm)	0,000	16,638	10,879	3,402	0,000	11,644
1DX	Sb	(ppm)	6,734	0,000	0,000	4,899	0,000	5,889
1DX	Bi	(ppm)	0,000	0,000	0,000	3,550	0,000	3,550
1DX	Ag	(ppm)	0,000	4,402	0,000	0,000	0,000	4,402
1DX	Au	(ppb)	14,849	26,587	23,022	16,175	57,170	31,583
1DX	Hg	(ppm)	0,000	0,000	0,000	8,165	0,000	8,165
1DX	Tl	(ppm)	0,000	0,000	0,000	5,832	0,000	5,832
1DX	Se	(ppm)	0,000	16,318	0,000	11,071	0,000	13,943

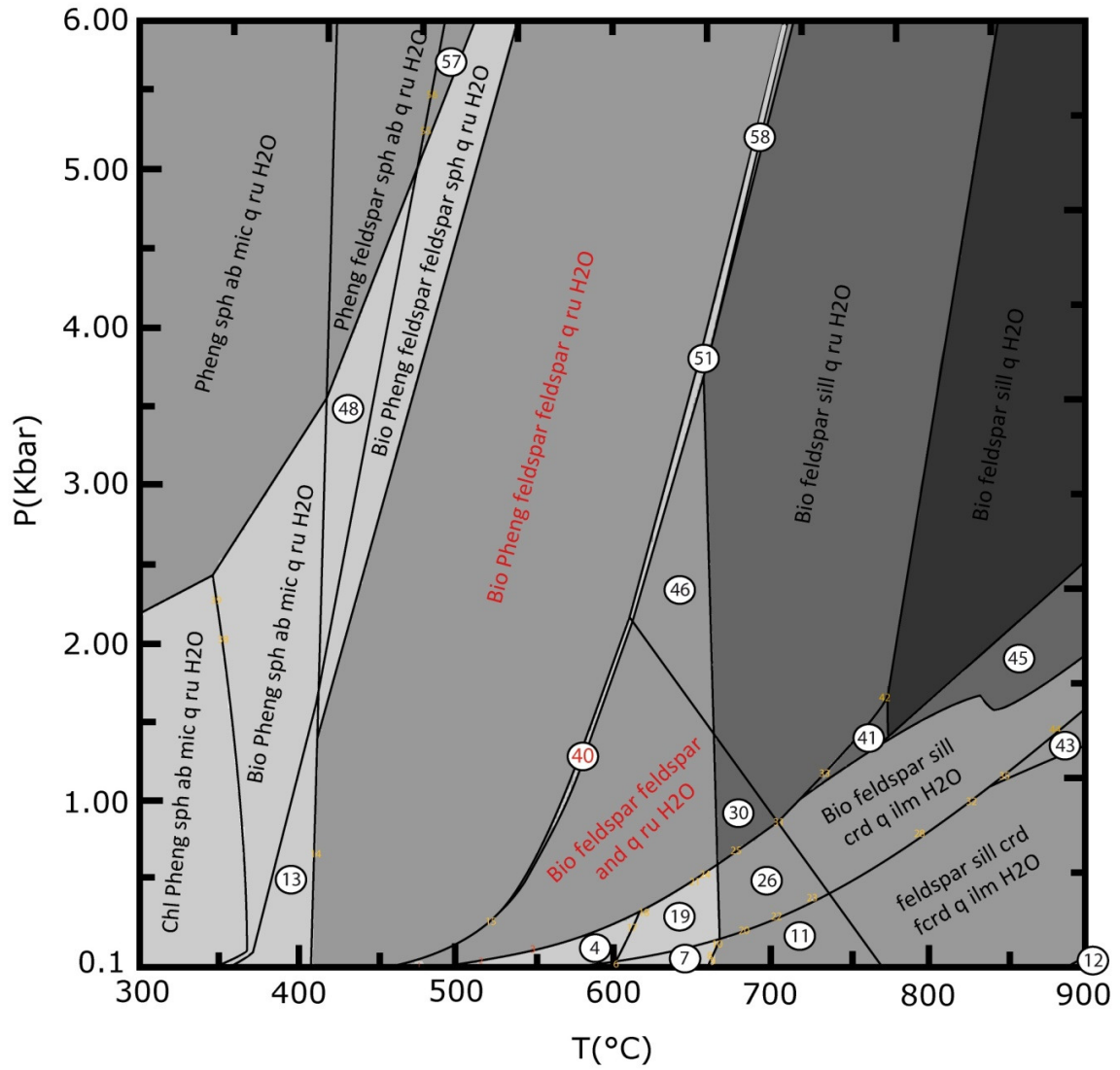
ANEXO E

PSEUDOSECCIONES

Asociaciones minerales de pseudosección con alteración cuarzo sericita gris verde (muestra GVIN07):

- 1- Bio(TCC) feldspar feldspar feldspar and q ru H2O
- 2- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 and q ru H2O
- 3- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 and q ru H2O
- 4- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 and q ilm H2O
- 5- feldspar feldspar osm1 fosm and q ilm H2O
- 6- feldspar feldspar osm1 fosm and crd q ilm H2O
- 7- feldspar feldspar fosm and crd q ilm H2O
- 8- feldspar feldspar fosm and crd fcrd q ilm H2O
- 9- feldspar feldspar and crd fcrd q ilm H2O
- 10- feldspar fosm and crd fcrd q ilm H2O
- 11- feldspar and crd fcrd q ilm H2O
- 12- feldspar sill crd fcrd trd ilm H2O
- 13- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar ab mic q ru H2O
- 14- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar mic q ru H2O
- 15- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar and q ru H2O
- 16- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar and q ru H2O
- 17- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 and crd q ilm H2O
- 18- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 and q ru H2O
- 19- Bio(TCC) feldspar feldspar and crd q ilm H2O
- 20- Bio(TCC) feldspar and crd fcrd q ilm H2O
- 21- Bio(TCC) feldspar feldspar and crd q ru H2O
- 22- Bio(TCC) feldspar and crd fcrd q ilm H2O
- 23- Bio(TCC) feldspar and crd fcrd q ilm H2O
- 24- Bio(TCC) feldspar feldspar and crd q ru ilm H2O
- 25- Bio(TCC) feldspar and crd q ru H2O
- 26- Bio(TCC) feldspar and crd q ilm H2O
- 27- feldspar sill crd fcrd q ilm H2O
- 28- Bio(TCC) feldspar sill crd fcrd q ilm H2O
- 29- Bio(TCC) feldspar feldspar and q ru H2O
- 30- Bio(TCC) feldspar and q ru H2O
- 31- Bio(TCC) feldspar sill q ru ilm H2O
- 32- Bio(TCC) feldspar sill crd fcrd q ilm H2O
- 33- Bio(TCC) feldspar sill q ru ilm H2O
- 34- Bio(TCC) feldspar sill crd q ilm H2O
- 35- Bio(TCC) feldspar sill crd fcrd q ilm H2O
- 36- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 37- Bio(TCC) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 38- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 39- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 40- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar and q ru H2O
- 41- Bio(TCC) feldspar sill q ilm H2O
- 42- Bio(TCC) feldspar sill q ru ilm H2O

- 43- feldspar sill crd q ilm herc H2O
- 44- Bio(TCC) feldspar sill crd q ilm herc H2O
- 45- Bio(TCC) feldspar sill crd q H2O
- 46- Bio(TCC) feldspar feldspar sill q ru H2O
- 47- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar q ru H2O
- 48- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar sph ab q ru H2O
- 49- Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 50- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar sph q ru H2O
- 51- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar sill q ru H2O
- 52- Bio(TCC) feldspar sill q ru H2O
- 53- Bio(TCC) feldspar sill q H2O
- 54- Pheng(HP) feldspar sph ab q ru H2O
- 55- Pheng(HP) feldspar feldspar sph ab q ru H2O
- 56- Pheng(HP) feldspar feldspar sph ab q ru H2O
- 57- Pheng(HP) feldspar feldspar sph q ru H2O
- 58- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar sill q ru H2O



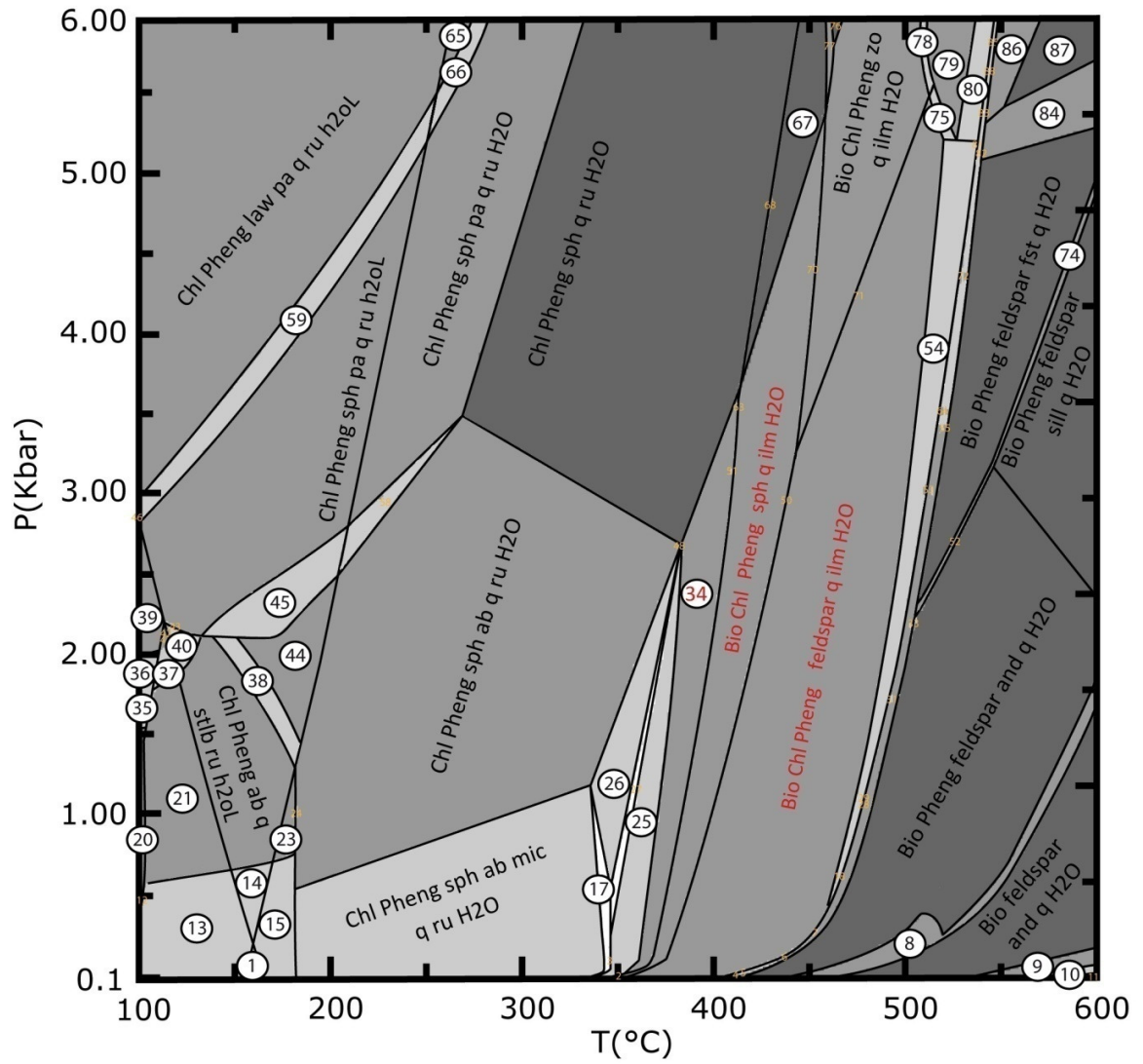
Asociaciones minerales de pseudosección asociada a alteración fílica “blanca” (muestra QSIN04):

- 1- Chl(HP) Pheng(HP) ab mic stlb ru H2O q8L
- 2- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ilm H2O
- 3- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 4- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar fctd q H2O
- 5- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar and fctd q H2O
- 6- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and fctd q H2O
- 7- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and fctd q ilm H2O
- 8- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar feldspar and q H2O
- 9- Bio(TCC) feldspar feldspar fosm and q H2O
- 10- Bio(TCC) feldspar feldspar osm1 fosm and q H2O
- 11- feldspar feldspar osm1 fosm and q ilm H2O
- 12- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic ru h2oL q8L
- 13- Chl(HP) Pheng(HP) ab mic stlb ru h2oL q8L
- 14- Chl(HP) Pheng(HP) ab mic q stlb ru h2oL
- 15- Chl(HP) Pheng(HP) ab mic q stlb ru H2O
- 16- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O
- 17- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab mic q ru H2O ann1
- 18- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and q ilm H2O
- 19- Bio(TCC) feldspar feldspar and q H2O
- 20- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab ru h2oL q8L
- 21- Chl(HP) Pheng(HP) ab stlb ru h2oL q8L
- 22- Chl(HP) Pheng(HP) ab q stlb ru h2oL
- 23- Chl(HP) Pheng(HP) ab q stlb ru H2O
- 24- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q stlb ru H2O
- 25- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ru H2O
- 26- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ru H2O ann1
- 27- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ru H2O ann1
- 28- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and q H2O
- 29- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and fctd q H2O
- 30- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar and q H2O
- 31- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and fctd q H2O
- 32- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar q ilm H2O
- 33- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar and fst q H2O
- 34- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru H2O
- 35- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab stlb ru h2oL q8L
- 36- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa ab ru h2oL q8L
- 37- Chl(HP) Pheng(HP) pa ab stlb ru h2oL q8L
- 38- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q stlb ru h2oL
- 39- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa ru h2oL q8L
- 40- Chl(HP) Pheng(HP) pa ab q stlb ru h2oL
- 41- Chl(HP) Pheng(HP) pa stlb ru h2oL q8L
- 42- Chl(HP) Pheng(HP) pa q stlb ru h2oL

- 43- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa q stlb ru h2oL
- 44- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ru h2oL
- 45- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa ab q ru h2oL
- 46- Chl(HP) Pheng(HP) law sph pa ru h2oL q8L
- 47- Chl(HP) Pheng(HP) sph ab q ru H2O
- 48- Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru H2O ann1
- 49- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph q ilm H2O
- 50- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar sph q ilm H2O
- 51- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru ilm H2O
- 52- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar and fst q H2O
- 53- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fctd q H2O
- 54- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fctd q ilm H2O
- 55- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fst q H2O
- 56- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar sill q H2O
- 57- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa q ru h2oL
- 58- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa ab q ru H2O
- 59- Chl(HP) Pheng(HP) law sph pa q ru h2oL
- 60- Chl(HP) Pheng(HP) sph pa q ru H2O
- 61- Chl(HP) Pheng(HP) law pa q ru h2oL
- 62- Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru H2O
- 63- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru ilm H2O
- 64- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fst fctd q H2O
- 65- Chl(HP) Pheng(HP) law pa q ru H2O
- 66- Chl(HP) Pheng(HP) law sph pa q ru H2O
- 67- Chl(HP) Pheng(HP) sph q ilm H2O
- 68- Chl(HP) Pheng(HP) sph q ru ilm H2O
- 69- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) zo q ilm H2O
- 70- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) zo sph q ilm H2O
- 71- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar zo q ilm H2O
- 72- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fst fctd q H2O
- 73- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar fst q H2O
- 74- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar sill fst q H2O
- 75- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar Gt(HP) q ilm H2O
- 76- Chl(HP) Pheng(HP) zo q ilm H2O
- 77- Chl(HP) Pheng(HP) zo sph q ilm H2O
- 78- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) zo q ilm H2O
- 79- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) q ilm H2O
- 80- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) fctd q ilm H2O
- 81- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar fst fctd q H2O
- 82- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) feldspar Gt(HP) fst q H2O
- 83- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) fst fctd q ilm H2O
- 84- Bio(TCC) Pheng(HP) feldspar Gt(HP) fst q H2O
- 85- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) fst fctd q ilm H2O
- 86- Bio(TCC) Pheng(HP) Gt(HP) fst q ilm H2O

87- Bio(TCC) Pheng(HP) Gt(HP) fst q H2O

88- Bio(TCC) Chl(HP) Pheng(HP) Gt(HP) fst q ilm H2O



ANEXO F

INCLUSIONES FLUIDAS

Muestra ID	Forma	Tamaño mm	Tipo	Fases	Gas %	Sol %	Tm °C	Th °C	Tsol °C	Salinidad % wt.	Observaciones
QSIN06	1 Rectangular	4,65	I	2	50		18,5	387,1		21,3	
QSIN06	2 Triangular	3,1	I	2	40		13,4	323,2		17,3	
QSIN06	3 Triangular	6,2	I	2	80		16,3	328,2		19,7	
QSIN06	4 Triangular	3,1	I	2	70		24,2	370,6		25,1	
QSIN06	5 Circular	9,3	I	2	60		11,9	377,6		15,9	
QSIN06	1 Ovalada	6,2	I	2	45		24,0	470,9		25,0	
QSIN06	2 Triangular	5,58	I	2	70		12,9	370,6		16,8	
QSIN06	3 Ovalada	3,1	I	2	40		16,8	395,6		20,1	
QSIN06	4 Ovalada	1,55	I	2	70		8,8	335,3		12,6	
QSIN06	5 Ovalada	4,65	I	2	60		13,7	421,8		17,5	Expansión
QSIN06	1 Irregular	9,3	I	2	60		2,1	338,9		3,5	
QSIN06	2 Ovalada	1,55	I	2	20		3,3	353,4		5,4	
QSIN06	3 Ovalada	3,1	I	2	35		1,3	342,8		2,2	
QSIN06	4 Ovalada	3,1	I	2	70		1,7	347,3		2,9	
QSIN06	5 Ovalada	3,1	I	2	30		3,8	360,8		6,2	
QSIN06	1 Rectangular	4,65	I	2	50		7,2	355,6		10,7	
QSIN06	2 Ovalada	3,1	I	2	35		1,1	276,2		1,9	
QSIN06	3 Ovalada	0,93	I	2	50		6,3	324,4		9,6	
QSIN06	4 Irregular	2,48	I	2	65		5,7	288,3		8,8	
QSIN06	5 Irregular	6,2	I	2	40		6,8	306,0		10,2	
QSIN06	20 Promedio total inclusiones fluidas							353,7		12,6	

Muestra ID	Forma	Tamaño mm	Tipo	Fases	Gas %	Sol %	Tm °C	Th °C	Tsol °C	Salinidad % wt.	Observaciones
QSIN03	1 Irregular	6,2	I	2	40		14,2	532,8		18,0	
QSIN03	2 Ovalada	0,62	I	2	50		6,5	435,9		9,9	
QSIN03	3 Ovalada	0,93	I	2	40		8,2	469,2		11,9	
QSIN03	4 Ovalada	1,24	I	2	60		7,0	363,3		10,5	
QSIN03	5 Irregular	6,2	I	2	60		8,1	312,9		11,8	
QSIN03	1 Ovalada	1,55	I	2	45		14,0	438,0		17,8	
QSIN03	2 Ovalada	0,62	I	2	55		8,1	356,6		11,8	
QSIN03	3 Ovalada	1,55	I	2	30		13,2	358,2		17,1	
QSIN03	4 Rectangular	0,93	I	2	60		7,2	302,7		10,7	
QSIN03	1 Triangular	1,55	I	2	60		18,0	507,9		21,0	
QSIN03	2 Triangular	4,65	I	2	60		6,4	454,6		9,7	
QSIN03	3 Ovalada	1,55	I	2	40		8,6	568,3		12,4	Expansión
QSIN03	4 Triangular	6,2	I	2	85		9,2	495,4		13,1	Expansión
QSIN03	5 Rectangular	3,72	I	2	45		13,5	582,2		17,3	Expansión
QSIN03	1 Ovalada	1,55	I	2	40		21,3	240,8		23,2	
QSIN03	2 Ovalada	1,55	I	2	50		9,4	338,2		13,3	
QSIN03	3 Ovalada	1,55	I	2	60		19,2	326,5		21,8	
QSIN03	4 Ovalada	1,55	I	2	50		18,0	373,5		21,0	
QSIN03	5 Ovalada	6,2	I	2	40		20,8	355,1		22,9	
QSIN03	6 Triangular	4,65	I	2	70		15,3	340,5		18,9	
QSIN03	20 Promedio total inclusiones fluidas							407,6		15,7	
QSIN03	16 Promedio familia baja temperatura							372,6		15,3	
QSIN03	4 Promedio familia alta temperatura							547,8		17,2	

Muestra ID	Forma	Tamaño mm	Tipo	Fases	Gas %	Sol %	Tm °C	Th °C	Tsol °C	Salinidad % wt.	Observaciones
GVIN03	1 Ovalada	0,62	I	2	35		18,9	568,9		21,6	
GVIN03	2 Ovalada	3,1	I	2	75		9,1	465,2		13,0	
GVIN03	3 Circular	1,55	I	2	80		8,4	522,3		12,2	
GVIN03	4 Triangular	4,65	I	2	30		13,3	540,0		17,2	
GVIN03	5 Ovalada	2,79	I	2	60		6,0	556,2		9,2	
GVIN03	6 Ovalada	1,55	I	2	20		5,8	370,4		8,9	
GVIN03	1 Ovalada	3,1	I	2	45		13,6	384,1		17,4	
GVIN03	2 Triangular	7,75	I	2	30		19,1	358,5		21,8	
GVIN03	3 Ovalada	3,1	I	2	50		11,3	479,0		15,3	
GVIN03	4 Circular	1,55	I	2	40		17,0	387,6		20,2	
GVIN03	5 Circular	0,93	I	2	40		12,1	347,8		16,1	
GVIN03	1 Ovalada	1,55	I	2	50		23,8	412,1		24,8	
GVIN03	2 Ovalada	1,55	I	2	25		6,5	332,8		9,9	
GVIN03	3 Rómbica	3,72	I	2	25		13,1	357,0		17,0	
GVIN03	4 Circular	0,62	I	2	30		16,4	303,4		19,8	
GVIN03	1 Circular	1,55	I	2	60		11,2	460,0		15,2	
GVIN03	2 Circular	2,48	I	2	40		15,5	469,1		19,0	
GVIN03	3 Ovalada	3,1	I	2	30		13,2	428,2		17,1	
GVIN03	4 Ovalada	1,55	I	2	35		12,3	432,8		16,2	
GVIN03	5 Rectangular	3,72	I	2	60		8,4	508,4		12,2	
GVIN03	20 Promedio total inclusiones fluidas							434,2		16,2	
GVIN03	8 Promedio familia baja temperatura							355,2		16,4	
GVIN03	12 Promedio familia alta temperatura							486,9		16,1	

Muestra ID	Forma	Tamaño mm	Tipo	Fases	Gas %	Sol %	Tm °C	Th °C	Tsol °C	Salinidad % wt.	Observaciones
GVIN05	1 Ovalada	4,65	I	2	70		15,5	437,8		19,0	Expansión
GVIN05	2 Irregular	7,75	I	2	60		10,2	513,6		14,1	Expansión
GVIN05	3 Irregular	5,58	I	2	70		17,0	460,5		20,2	Expansión
GVIN05	4 Triangular	4,65	I	2	60		11,5	310,8		15,5	
GVIN05	5 Circular	1,55	I	2	30		16,0	296,3		19,4	
GVIN05	6 Circular	3,1	I	2	40		14,9	344,1		18,6	
GVIN05	7 Irregular	7,75	I	2	25		8,3	373,2		12,0	
GVIN05	1 Triangular	4,65	I	2	50		20,8	574,9		22,9	
GVIN05	2 Triangular	1,55	I	2	50		19,4	599,8		22,0	Expansión
GVIN05	3 Triangular	1,55	I	2	60		8,7	587,8		12,5	Expansión
GVIN05	4 Ovalada	3,1	I	2	70		24,9	554,5		25,5	Expansión
GVIN05	5 Ovalada	3,1	I	2	80		12,9	584,4		16,8	Expansión
GVIN05	1 Irregular	7,75	I	2	40		12,1	441,8		16,1	
GVIN05	2 Ovalada	2,48	I	2	40		25,8	575,7		26,1	
GVIN05	3 Triangular	3,72	I	2	60		9,9	449,2		13,8	
GVIN05	4 Ovalada	1,55	I	2	40		18,8	266,5		21,5	
GVIN05	5 Ovalada	4,34	I	2	45		10,7	468,3		14,7	
GVIN05	6 Irregular	7,75	I	2	45		15,4	503,3		19,0	
GVIN05	1 Circular	2,48	I	2	30		30,4	563,5		28,9	
GVIN05	2 Triangular	4,65	I	2	20		8,8	445,6		12,6	
GVIN05	3 Ovalada	9,3	I	2	25		25,0	364,5		25,6	
GVIN05	4 Circular	4,65	I	2	20		12,5	493,1		16,4	
GVIN05	5 Ovalada	3,1	I	2	30		14,3	555,7		18,0	
GVIN05	6 Ovalada	1,86	I	2	20		10,5	490,3		14,5	
GVIN05	7 Circular	1,55	I	2	25		23,9	513,2		24,9	
GVIN05	25 Promedio total inclusiones fluidas							470,7		18,8	
GVIN05	6 Promedio familia baja temperatura							325,9		18,8	
GVIN05	19 Promedio familia alta temperatura							516,5		18,8	

Muestra ID	Forma	Tamaño mm	Tipo	Fases	Gas %	Sol %	Tm °C	Th °C	Tsol °C	Salinidad % wt.	Observaciones
GVIN02	1 Ovalada	3,72	I	2	60		9,5	533,2		13,4	Expansión
GVIN02	2 Ovalada	2,48	I	2	90		20,4	349,0		22,6	Expansión
GVIN02	3 Irregular	3,1	I	2	60		27,3	403,3		27,0	
GVIN02	4 Triangular	0,93	I	2	80		12,2	375,4		16,1	
GVIN02	5 Irregular	3,1	I	2	40		24,2	476,6		25,1	
GVIN02	1 Rectangular	1,55	I	2	60		9,0	499,7		12,8	
GVIN02	2 Circular	0,93	I	2	50		18,4	470,4		21,3	
GVIN02	3 Ovalada	0,93	I	2	30		8,5	481,4		12,3	
GVIN02	4 Circular	1,86	I	3	20	20	13,4	479,6	266,3	17,3	
GVIN02	1 Circular	0,93	I	2	35		17,5	571,4		20,6	
GVIN02	2 Circular	0,62	I	2	35		8,1	540,9		11,8	
GVIN02	3 Irregular	1,24	I	2	50		19,1	538,5		21,8	
GVIN02	1 Irregular	1,24	I	2	80		13,7	568,5		17,5	Expansión
GVIN02	2 Irregular	3,1	I	2	30		13,2	593,8		17,1	
GVIN02	3 Irregular	3,72	I	2	65		17,0	601,3		20,2	
GVIN02	4 Rectangular	1,55	I	3	25	25	28,4	555,7	336,5	27,7	
GVIN02	16 Promedio total inclusiones fluidas							502,4		19,0	
GVIN02	2 Promedio familia baja temperatura							362,2		19,4	
GVIN02	14 Promedio familia alta temperatura							522,5		19,0	