



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA**



# **Mineralogía y microquímica de las fases de cobre negro y sus ripios: avance en el conocimiento de los residuos generados en cinco etapas de extracción secuencial.**

**Memoria para optar al Título de Geólogo**

**Mauricio Antonio Arthur Durán**

**Profesor Patrocinante:** Dr. Marcos Javier Pincheira Núñez  
**Profesores Comisión:** MSc. Abraham Elias González Martínez  
Dr. Oscar Alfonso Jerez Riveros

**Concepción, 2019**

## ÍNDICE

<b>1.- INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1.- Generalidades</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2.- Objetivos</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2.1.- Objetivos Generales</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2.2.- Objetivos Específicos</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3.- Ubicación y Accesos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4.- Metodología de trabajo</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.1.- Concentración de muestras y Cu, Fe y Mn (total y soluble)</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.2.- Extracción secuencial (ES)</b> .....	<b>4</b>
<b>1.4.3.- Análisis de las distintas etapas de extracción secuencial</b> .	<b>5</b>
<b>1.4.3.1- Mineralogía</b> .....	<b>5</b>
<b>1.4.3.2- Microsonda electrónica (EPMA)</b> .....	<b>6</b>
<b>1.4.3.3- QEMSCAN</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5.- Marco Teórico</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5.1.- Procesos Supérgenos</b> .....	<b>8</b>
<b>1.5.2.- Silicatos de cobre negro</b> .....	<b>8</b>
<b>1.6.- Trabajos anteriores</b> .....	<b>10</b>
<b>2.- MARCO GEOLÓGICO</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.- Geología del Distrito Chuquicamata</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.1.- Generalidades</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.2.- Rocas metamórficas</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.2.1- Complejo metamórfico Limón Verde</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.3.- Rocas Estratificadas</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1.3.1- Estratos de Quetena</b> .....	<b>11</b>

2.1.3.2- Formación Agua Dulce.....	11
2.1.3.3- Grupo Caracoles.....	13
2.1.3.4- Formación Cerritos Bayos.....	13
2.1.3.5- Formación San Salvador .....	13
2.1.3.6- Formación Cerro Empexa.....	14
2.1.3.7- Formación Tolar .....	14
2.1.3.8- Formación Icanche.....	14
2.1.3.9- Formación Calama .....	15
2.1.3.10- Grupo El Loa.....	15
2.1.4.- Rocas Intrusivas .....	16
2.1.4.1- Complejo Intrusivo Chuquicamata.....	16
2.1.4.2- Granito Mesa .....	16
2.1.4.3- Granodiorita Este .....	17
2.1.4.4- Granodiorita MM .....	17
2.1.4.5- Complejo monzonítico-monzodiorítico Los Picos	17
2.1.4.6- Complejo Granodiorítico Fortuna .....	18
2.1.4.7- Pórfido Quetena.....	18
2.1.4.8- Pórfidos Chuqui .....	18
2.1.5.- Yacimientos.....	18
2.1.5.1- Ministro Hales.....	18
2.1.5.2- Quetena.....	20
2.2.- Geología del Distrito Gabriela Mistral.....	21
2.2.1.- Generalidades .....	21
2.2.2.- Rocas Estratificadas.....	22
2.2.2.1- Formación Agua Dulce.....	22
2.2.2.2- Formación Tonel.....	22

2.2.2.3- Estratos Cerro Casado.....	24
2.2.2.4- Depósitos Salinos .....	24
2.2.2.5- Depósitos aluviales y coluviales modernos .....	24
2.2.3.- Rocas Intrusivas .....	22
2.2.3.1- Granitoides del Carbonífero Superior .....	24
2.2.3.2- Dioritas del Eoceno.....	25
2.2.4.- Yacimiento Gabriela Mistral .....	25
2.2.4.1- Geología del Yacimiento .....	25
<b>3.- MINERALOGÍA PRIMARIA.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.- Mineralogía Óptica.....</b>	<b>27</b>
<b>3.1.1.- Ministro Hales .....</b>	<b>27</b>
3.1.1.1- Etapa 0.....	27
3.1.1.2- Etapa 1.....	27
3.1.1.3- Etapa 2.....	29
3.1.1.4- Etapa 3.....	29
3.1.1.5- Etapa 4.....	30
<b>3.1.2.- Quetena.....</b>	<b>30</b>
3.1.2.1- Etapa 0.....	31
3.1.2.2- Etapa 1.....	31
3.1.2.3- Etapa 2.....	31
3.1.2.4- Etapa 3.....	33
3.1.2.5- Etapa 4.....	33
<b>3.1.3.- Gabriela Mistral .....</b>	<b>34</b>
3.1.3.1- Etapa 0.....	34
3.1.3.2- Etapa 1.....	34
3.1.3.3- Etapa 2.....	35

3.1.3.4- Etapa 3 .....	36
3.1.3.5- Etapa 4 .....	36
3.2.- Microsonda Electrónica.....	36
3.2.1.- Oxi-hidróxidos de Fe.....	37
3.2.2.- Silicatos de Cobre Negro.....	39
3.2.3.- Biotitas/Cloritas.....	40
3.2.4.- Aluminosilicatos.....	42
3.3.- Concentraciones relativas de Si, Cu, Mn y Fe en diagramas ternarios.....	44
3.4.- Leyes de Cu, Fe y Mn, total y soluble .....	46
4.- MINERALOGÍA AUTOMATIZADA DE LAS DISTINTAS ETAPAS DE EXTRACCIÓN SECUENCIAL.....	48
4.1.- QEMSCAN .....	48
4.1.1.- Validación de la información .....	48
4.1.1.1- Ministro Hales.....	48
4.1.1.2- Quetena.....	51
4.1.1.3- Gabriela Mistral .....	53
4.1.2.- Asociaciones mineralógicas .....	55
4.1.2.1- Ministro Hales.....	55
4.1.2.2- Quetena.....	62
4.1.2.3- Gabriela Mistral .....	65
4.1.3.- Grado de liberación.....	72
4.1.3.1- Crisocola .....	72
4.1.3.2- Atacamita .....	73
4.1.3.3- SCNMn-Cu .....	74
4.1.3.4- SCN Fe-Cu.....	75

4.1.3.5- SCN Mn-Fe.....	76
4.1.3.6- Brocantita/Antlerita .....	76
4.1.3.7- Calcosina/Digenita.....	77
<b>5.- DISCUSIÓN.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1.- Desestabilización de la mineralogía de mena y relacionados.....</b>	<b>78</b>
5.1.1.- Distrito Ministro Hales.....	79
5.1.2.- Quetena.....	80
5.1.3.- Gabriela Mistral .....	83
<b>6.- CONCLUSIÓN.....</b>	<b>85</b>
<b>7.- REFERENCIAS.....</b>	<b>85</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

1.1 Mapa ubicación Ministro Hales y Quetena. ....	2
1.2 Mapa ubicación Gabriela Mistral .....	3
1.3 Silicatos de cobre negro observados enmicrosonda electrónica .....	6
2.1 Mapa geológico distrital de los yacimientos Ministro Hales y Quetena .....	12
2.2 Mapa geológico distrital del yacimiento Gabriela Mistral .....	23
3.1 Gráficos torta de porcentajes minerales en DMH.....	28
3.2 Gráficos torta de porcentajes minerales en Quetena.....	32
3.3 Gráficos torta de porcentajes minerales en Gabriela Mistral .....	35
3.4 Oxi-Hidróxidos observados en BSE .....	37
3.5 Química de oxi-hidróxidos de Fe .....	38
3.6 SCN observados en BSE .....	39
3.7 Química de SCN Mn-Cu.....	40
3.8 Biotitas observadas en BS.....	41

3.9 Química de biotitas/cloritas .....	42
3.10 Aluminosilicatos observados en BSE.....	43
3.11 Química de aluminosilicatos .....	43
3.12 Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn muestras DMH.....	45
3.13 Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn muestras Quetena.....	45
3.14 Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn muestras Gabriela Mistral .....	46
4.1 Gráficos torta QEMSCAN en DMH.....	50
4.2 Gráficos torta QEMSCAN en Quetena.....	52
4.3 Gráficos torta QEMSCAN en Gabriela Mistral .....	54
4.4 Diagramas elemento/log% en peso de los distintos yacimientos.....	56
4.5 Asociaciones mineralógicas crisocola en DMH .....	57
4.6 Asociaciones mineralógicas SCN Mn-Cu en DMH.....	58
4.7 Asociaciones mineralógicas SCN Fe-Cu en DMH.....	59
4.8 Asociaciones mineralógicas Cu-Clorita en DMH .....	60
4.9 Asociaciones mineralógicas Cu-moscovita en DMH .....	61
4.10 Asociaciones mineralógicas Cu-biotita en DMH.....	62
4.11 Asociaciones mineralógicas Cu-arcilla en DMH.....	62
4.12 Asociaciones mineralógicas SCN Mn-Cu en Quetena .....	63
4.13 Asociaciones mineralógicas SCN Fe-Cu en Quetena .....	64
4.14 Asociaciones mineralógicas Cu-clorita en Quetena .....	65
4.15 Asociaciones mineralógicas Cu-biotita en Quetena .....	66
4.16 Asociaciones mineralógicas crisocola en Gabriela Mistral .....	67
4.17 Asociaciones mineralógicas SCN Fe-Cu en Gabriela Mistral .....	68
4.18 Asociaciones mineralógicas SCN Mn-Cu en Gabriela Mistral.....	69
4.19 Asociaciones mineralógicas Atacamita en Gabriela Mistral .....	69
4.20 Asociaciones mineralógicas Cu-moscovita en Gabriela Mistral .....	70

4.21 Asociaciones mineralógicas Cu-biotita en Gabriela Mistral.....	71
4.22 Asociaciones mineralógicas Cu-arcilla en Gabriela Mistral.....	71
4.23 Asociaciones mineralógicas Calcocina/Digenita en Gabriela Mistral.....	72
5.1 Diagrama de Pourbaix Cu-Fe-Mn-H <sub>2</sub> O a 25°C, DMH.....	79
5.2 Diagrama de Pourbaix Cu-Fe-Mn-H <sub>2</sub> O a 25°C, Quetena.....	81
5.3 Diagrama de Pourbaix Cu-Fe-Mn-H <sub>2</sub> O a 25°C, Gabriela Mistral.....	83

## ÍNDICE DE TABLAS

1.1 Resumen definiciones <i>copper wad</i> y <i>pitch</i> . .....	8
3.1 Resultados observación microscópica Ministro Hales .....	27
3.2 Resultados observación microscópica Quetena .....	30
3.3 Resultados observación microscópica Gabriela Mistral.....	34
3.4 Química biotitas/cloritas en primeras etapas .....	41
3.5 Química aluminosilicatos en etapas 0, 1 y 2.....	43
3.6 Resultados observación microscópica Gabriela Mistral.....	46
3.7 Extracción de Cu, Fe y Mn total para las distintas etapas .....	47
4.1 Resultados QEMSCAN® muestras Ministro Hales.....	49
4.2 Resultados QEMSCAN® muestras Quetena .....	51
4.3 Resultados QEMSCAN® muestras Gabriela Mistral.....	49
4.4 Grado de liberación crisocola en Ministro Hales.....	73
4.5 Grado de liberación crisocola en Gabriela Mistral.....	73
4.6 Grado de liberación atacamita en Gabriela Mistral.....	74
4.7 Grado de liberación SCN Mn-Cu .....	74
4.8 Grado de liberación SCN Fe-Cu.....	75
4.9 Grado de liberación SCN Fe-Cu.....	76
4.10 Grado de liberación calcosina/digenita .....	77

<b>5.1 Desestabilización especies minerales .....</b>	<b>78</b>
---	-----------

### ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS

<b>3.1 Silicatos de cobre negro en luz reflejada DMH-0. ....</b>	<b>28</b>
<b>3.2 Silicatos de cobre negro en luz reflejada DMH-1 .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3 Vista general luz polarizada y nicoles cruzados DMH-2 .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Vista general luz polarizada y nicoles cruzados DMH-3 .....</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Silicatos de cobre negro en luz reflejada Q-0 .....</b>	<b>31</b>
<b>3.6 Cúmulo no identificado en luz polarizada y nicoles cruzados Q-2 .....</b>	<b>32</b>
<b>3.7 Silicatos de cobre negro en luz polarizada y nicoles cruzados Q-3.....</b>	<b>33</b>
<b>5.1 Minerales no identificados en luz polarizada Q-2 .....</b>	<b>49</b>



## RESUMEN

Gran parte de los yacimientos tipo pórfido cuprífero de nuestro país presentan, asociados a ellos, depósitos de tipo exóticos, los cuales tienen concentraciones de elementos de interés económico. Este tipo de depósitos tiene una mineralogía particular, caracterizándose por la presencia de *copper wad* y *copper pitch*, mineraloides que presentan dificultades al momento de caracterizarlos y comprender su respuesta a los procesos metalúrgicos. Se realizó una concentración de minerales de este tipo de depósito (correspondientes a tres yacimientos distintos) para posteriormente aplicar un método de extracción secuencial en cinco etapas, desarrollado en el Instituto de Geología Económica Aplicada de la Universidad de Concepción, con el fin de ver el comportamiento de estas especies y otros minerales presentes frente a estos ataques químicos, para así estudiar su refractariedad y ver si de alguna manera, este método puede ser aplicado en el procesamiento de estos. Las muestras resultantes de las distintas etapas de este protocolo fueron analizadas por microscopía óptica, para generar una cuantificación inicial del contenido mineralógico, que luego fue caracterizado mediante el uso de microsonda electrónica. Posteriormente se estudiaron las distintas etapas mediante QEMSCAN®, para así tener comprensión de los cambios mineralógicos ocurridos en respuesta a cada ataque químico. Se concluyó que estos métodos de análisis fueron suficientes para poder categorizar y estudiar los resultados obtenidos, que indican la desestabilización de especies minerales en etapas particulares del proceso, pudiendo así identificar las fases de comportamiento más refractario y proyectar los reactivos necesarios para extraer alguna fase en particular.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Generalidades

El presente trabajo tiene como finalidad, estudiar y lograr una mayor comprensión de las especies llamadas *copper pitch* y *copper wad* y de otros minerales asociados a estos, presentes en los yacimientos Distrito Ministro Hales, Quetana y Gabriela Mistral. El estudio se centra en aplicar un proceso de extracción secuencial a muestras con estos minerales y ver su comportamiento a lo largo de este proceso, concentrándose además en otros minerales portadores de cobre que puedan encontrarse en estas muestras.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivos Generales

Caracterizar la mineralogía y texturas de cabezas y ripios generados en 5 etapas de extracción secuencial, con el propósito de comprender su comportamiento y refractariedad frente a este proceso y optimizar la lixiviación de las especies estudiadas.

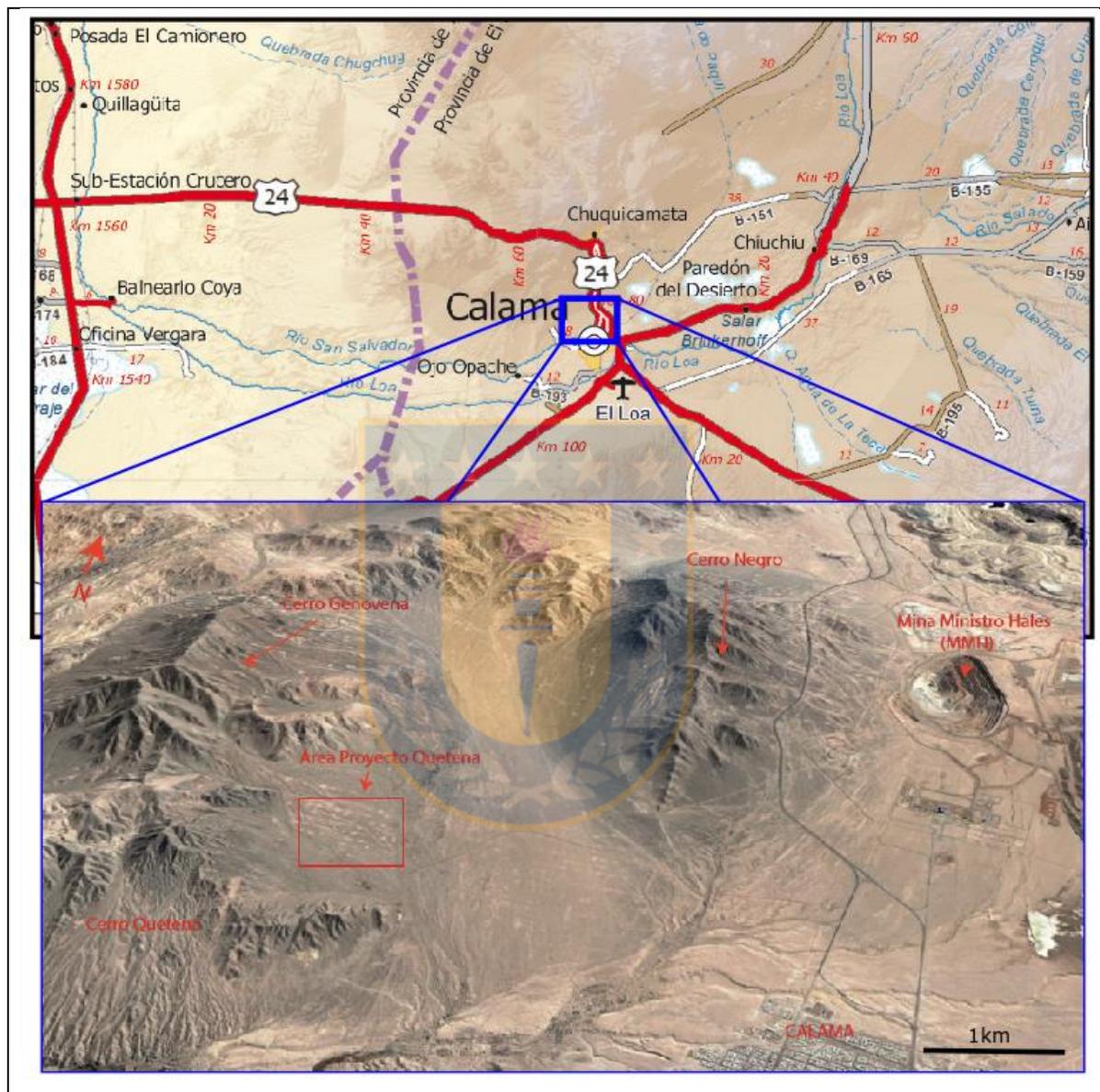
### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar la mineralogía de mena y ganga generada en las distintas etapas de extracción secuencial.
- Caracterizar la microquímica de muestras seleccionadas de las fases de cobre negro y ganga asociada mediante microsonda electrónica.
- Comparar la textura de fases de cobre negro (Mn y Fe) entre la cabeza y las etapas de extracción secuencial de una determinada muestra.
- Contrastar la microquímica de fases de cobre negro (Mn y Fe) entre la cabeza y las etapas de extracción secuencial en una determinada muestra, empleando diagramas multielementales.

## 1.3 Ubicación y Accesos

El proyecto Quetana y Ministro Hales se encuentran dentro del distrito minero Chuquicamata, Segunda Región de Antofagasta. El primero, está a 6 km al NW de Calama, entre las coordenadas 22°24'00'' – 22°25'20'' de latitud Sur y 68°58'00'' – 68°56'45'' de longitud oeste (Figura 1.1).

Su acceso se realiza por un camino de tierra que nace en el borde occidental de la ciudad de Calama, al término de la calle Alemania. Por este camino se avanza por la parte central del sector hasta alcanzar las instalaciones del campamento Toki.



**Figura 1.1:** Mapa ubicación Ministro Hales y Quetena (Carta red vial 2016, Gobierno de Chile)

Mientras que la Mina Ministro Hales, está a 6 km al NNE de la ciudad de Calama, entre las coordenadas  $22^{\circ}22'00''$  –  $22^{\circ}23'20''$  de latitud Sur y  $68^{\circ}54'20''$  –  $68^{\circ}55'10''$  de longitud oeste (Figura 1.1). El acceso se realiza saliendo por la ruta 24 por el norte de Calama por 1,5 km., para luego, en la bifurcación seguir por un camino de acceso a la mina por 1,3 km. en dirección al Norte.



mediante la utilización de lupa y pinza, además de la aplicación de un imán para retirar los minerales magnéticos.

El resultado de esto fue un concentrado de 30 gramos por yacimiento con los cuales se realizó el estudio. De estos, 1 gramo fue separado en un comienzo para realizar una determinación de su Cu, Fe y Mn, total y soluble.

En el caso de los elementos solubles, esta medición fue realizada tomando 0,5 g de muestra y puesta en contacto con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (20%) por 30 minutos en agitación. Después, se extrajo la solución y se filtró para asegurarse que no quedaron elementos sólidos. Finalizando, se midieron los elementos por absorción atómica. El objetivo de esta parte fue ver el porcentaje fácilmente extraíble de cada elemento.

Para medir el Cu, Fe y Mn total, se toman otros 0,5 g de muestra en un vaso y se agrega  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  y  $\text{HCl}$  y se deja reposar hasta que el residuo quede blanco. Para posteriormente, realizar la medición, al igual que el paso anterior, por absorción atómica.

#### **1.4.2 Extracción secuencial (ES)**

Este proceso consiste en atacar la muestra con una serie de reactivos que se encargan de desequilibrar distintas fases minerales presentes en cada etapa del procedimiento.

Se realizaron cinco etapas en este trabajo, en todas las cuales se sigue el mismo procedimiento. Este consiste en tomar 1 g de muestra en un matraz de Erlenmeyer junto a un compuesto químico determinado por la etapa de la extracción secuencial que se esté aplicando. Luego se agita por dos horas, para posteriormente decantar y centrifugar la muestra en un matraz aforado, con el objetivo de separar la solución del sólido. Al terminar la separación, en cada etapa, se analiza la solución por AAS y una fracción del residuo sólido por microscopía, microsonda y QEMSCAN®. El residuo no utilizado es atacado químicamente en la siguiente etapa.

Las distintas etapas aplicadas secuencialmente, son:

1.- Extracción de elementos solubles mediante un primer ataque con acetato de amonio [ $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ], 1,0 M y pH 4,5.

- 2.- Extracción de óxidos de Mn al aplicar clorhidrato de hidroxilamina [ $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ ], 0,1 M y pH 2,0.
- 3.- Extracción de fases correspondientes a óxidos de Fe amorfo utilizando oxalato de amonio [ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$ ], 0,175 M y pH 3,3.
- 4.- Similar a la etapa anterior, pero esta vez, a 50°C, el objetivo son las fases de Fe cristalino al atacar de nuevo con oxalato de amonio.
- 5.- La etapa final, consiste en la extracción del residuo mediante una mezcla de ácidos: clorhídrico (HCl), nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) y fluorhídrico (HF).

Para cada yacimiento, se obtuvieron 5 muestras distintas, que recibieron sus nombres según su lugar de origen y la etapa a la que corresponden, correspondiendo “0” a la etapa inicial (antes de los ataques químicos) y del 1-4 correspondiente a cada etapa (ejemplo etapa 1: DMH-1; Q-1 y G-1, para Ministro Hales, Quetena y Gabriela Mistral respectivamente). La etapa 5 consiste en un ataque químico final que disuelve todo el residuo, por lo que no hay muestras en las que trabajar. Con estos resultados se realizaron briquetas y pulidos transparentes para realizar los posteriores análisis.

### **1.4.3 Análisis de las distintas etapas de extracción secuencial**

#### 1.4.3.1 Mineralogía

Se estudió con un microscopio Nikon® Optiphot2-POL, mientras que las fotografías fueron obtenidas mediante una cámara modelo 590CU CCD, junto al *software* Micrometrics SE Premium, ambos de la empresa Micrometrics®.

Consistió en una descripción de los distintos pulidos transparentes, para estudiar la mineralogía presente en cada una de las distintas etapas.

#### 1.4.3.2 Microsonda Electrónica (EPMA)

Técnica no destructiva que permite realizar análisis elementales cualitativos y cuantitativos puntuales en la superficie de materiales sólidos a escala micrométrica, con resolución de hasta

nivel de ppm. Esto se logra al bombardear una muestra objetivo con un haz de electrones (entre 15-25 keV), para luego detectar y medir los rayos X y electrones retrodispersados.

Para estas mediciones, utiliza dos tipos de espectrómetros de rayos X, el de longitud de onda dispersiva (WDS) y el de energía dispersiva (EDS) que presentan diferencias en la exactitud de las mediciones tomadas.

Además de los análisis composicionales, entrega como resultado imágenes, que pueden ser de electrones secundarios (ES) o de electrones retrodispersados (BSE), de las cuales, solamente las segundas fueron utilizadas en este estudio (Figura 1.3).



**Figura 1.3:** Silicatos de cobre negro observados en microsonda electrónica (BSE).

Se utilizó este método con el fin de poder caracterizar microquímicamente a los minerales de interés a lo largo de las distintas etapas de extracción secuencial y cuantificar de esta manera, su reacción frente a estos ataques químicos.

#### 1.4.3.3 QEMSCAN®

Su nombre corresponde a un acrónimo de *Quantitative Evaluation of Materials by Scanning Electron Microscopy*. Consiste en un sistema de evaluación de minerales, rocas y materiales sintéticos, que realiza análisis cuantitativos. Todo esto se realiza de manera automatizada, por lo que el *input* del especialista se hace esencial en su utilización.

Existen tres tipos de medición:

*Bulk mineral analysis* (BMA): Metodología de análisis unidimensional. Se realiza por un método de intercepción lineal, en el cual el rayo de electrones es proyectado a lo largo de varias líneas paralelas sobre la superficie de la muestra. Cada bloque se analiza en el eje X, con un interlineado en el eje Y, que se configura de acuerdo al tamaño de grano de la muestra de manera que cada partícula se cortada aproximadamente una vez. Este análisis, estudia la sección pulida en su totalidad, entregando abundante información estadística para la identificación, especiación, distribución y cuantificación mineral.

*Particle mineral analysis* (PMA): Análisis bidimensional en el que se analiza cada partícula por completo. Produce imágenes de partículas y determina la mineralogía cuantitativa o mineralogía modal, estima el tamaño de los granos, determina la asociación mineral y el grado de liberación-oclusión.

*Field scan*: Captura una imagen completa de cada bloque en la superficie de la muestra. Luego de analizada la muestra, entrega una colección de imágenes, las cuales se pueden unir para así formar una imagen compuesta en la cual se aprecia toda la superficie de la muestra y como se distribuyen las especies minerales presentes. Utilizado para estudiar la composición modal y la textura de la roca.

El modo operacional utilizado en este estudio fue el PMA, pues permite observar las distintas especies minerales presentes en las muestras y en qué porcentaje se encuentran, para así realizar una validación de la información obtenida con el microscopio óptico y EPMA. Además, entrega el grado de liberación de las partículas y las asociaciones minerales entre las distintas especies presentes.

## **1.5 Marco Teórico**

### **1.5.1 Procesos Supérgenos**

Los procesos supérgenos son muy importantes en la formación de yacimientos de alta ley. Los factores que controlan la alteración supérgena son: la oxidación de sulfuros hipógenos (lixiviación) y la erosión (que implica que depósitos minerales de origen hidrotermal son sometidos a condiciones oxidantes cercanas a la superficie terrestre). Además es de vital importancia el transporte de elementos de interés económicos que produce el enriquecimiento

secundario y la formación de depósitos exóticos. Estos últimos, se encuentran en las cercanías de sistemas porfíricos de los Andes centrales. Se generan por una dispersión lateral de elementos metálicos que son luego redepositados a no gran distancia de su origen. Se caracterizan por una mineralogía de óxidos de Cu (silicatos, cloruros, óxidos y carbonatos), depositados en gravas y en la roca de caja subyacente. (Münchmeyer, 1996).

### 1.5.2 Silicatos de cobre negro

Un mineraloide característico de los depósitos exóticos corresponde a los llamados *copper pitch* y *copper wad*, que corresponden a un silicato hidratado de manganeso y hierro rico en cobre, de color negro, que ocurre en masas botroidales, compacto o terroso, que se presenta como relleno de fracturas y también como cemento en gravas y sedimentos poco consolidados. Cuando presenta un aspecto terroso se le llama “*copper wad*”, mientras que si se encuentra con crisocola, se apoda “*copper pitch*” o crisocola negra, (Pincheira y otros, 2003b).

Generalmente, los recursos asociados con los silicatos de cobre negro, presentan dificultades al momento de caracterizarlos y comprender su respuesta a los procesos metalúrgicos. Debido a la creciente demanda y precio por el Cu en el mundo, descartes con estos mineraloides y minerales exóticos asociados, representan una fuente extra de Cu que podría ser recuperado, incrementando y/o extendiendo la actividad productiva (Hernández y otros, 2011).

La dificultad en su procesamiento radica en que no presentan una estructura cristalina definida, por lo que su clasificación se ha hecho difícil a lo largo del tiempo. Intentos de darle una composición se resumen en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1:** Resumen definiciones *copper wad* y *pitch*.

<b>Definición <i>copper wad</i></b>	<b>Definición <i>copper pitch</i></b>	<b>Fuente</b>
Óxidos de Mn con Cu	Óxidos de Fe con Cu	Chávez (2000)
$\text{CuMnO}_2\text{Fe}$	$\text{CuMn}_8\text{FeSiO}_2$	Domic (2001)
$2\text{CuO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	-	García y otros (2007)
$\text{CuO} \cdot \text{MnO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$(\text{MnO}(\text{OH})\text{CuSiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O})$	Hernández y otros (2011)

*Copper pitch* y *wad* son nombres informales, según Pincheira y otros (2003a), no existen mayores diferencias entre ellos, es por ello que en este trabajo se consideran todos como “silicatos de cobre negro” (abreviado a SCN). Además, estos mineraloides se caracterizan por

tener una composición muy variable, específicamente rangos de Cu entre 1-55% sumado a Si, Mn, Fe y Al, y finalmente trazas de Ca, Na, K, Mg, S, P, Cl, Mo, Co, Ni, As, Zn, Pb, U y V (Hernández y otros, 2011). Estos cambios composicionales se observan en EPMA, en el que un punto de medición puede tener valores muy distintos a otro que se encuentre a micrones de distancia.

En este trabajo se utilizará una clasificación desarrollada en el instituto GEA, que identifica tres variedades distintas según su composición (observable en EPMA) y texturales (microscopio):

- 1.-SCN Mn-Cu: Con los mayores contenidos de Cu, generalmente bandeados y opacos.
- 2.-SCN Mn-Fe-Cu: Masas compactas fibrosa y rara vez bandeados.
- 3.-SCN Fe-Cu: “Limonitas” con Cu, transparentes y de color rojo en nicols cruzados.

Características compartidas por las tres variedades son una baja reflectividad (cercana a la ganga), habito coliforme y presencia de partes más reflectivas que otras, probablemente debido a la variación de su contenido de Mn y Fe.

## 1.6 Trabajos anteriores

**Münchmeyer, 1996:** Describe las características principales y el origen de los depósitos exóticos de Chile, separándolos en grupos según su morfología.

**Mote y otros, 2001:** Caracterizan y datan el *copper wad* y alunita supérgena que se encuentra en el yacimiento El Salvador.

**Pincheira y otros, 2003a:** Realizan una caracterización metalúrgica de muestras del depósito de cobre exótico “Extensión Mina Sur” en Chuquicamata, utilizando microscopía óptica, difracción de rayos X (DRX), TEM y EPMA-EDAX.

**Pincheira y otros, 2003b:** Entregan nuevos antecedentes texturales, morfológicos y composicionales de las fases de cobre negro.

**Hartley y Rice, 2005:** Recopilación y discusión de los factores que afectan el enriquecimiento supérgeno en los depósitos porfídicos en los Andes Centrales.

**Münchmeyer, 2006:** Entrega un completo resumen de los depósitos exóticos en Chile, incluyendo las características generales, además de otras específicas para cada yacimiento.

**García, 2007:** Realiza un estudio sobre el efecto sinérgico del tratamiento de mezclas de minerales con *copper wad* y sulfuros secundarios.

**Hernandez y otros, 2011:** Evalúan los efectos de diferentes métodos de lixiviación de cobre desde muestras con *copper wad* y *copper pitch*. La clasificación de las muestras la realizan mediante análisis químicos (ICP), DRX, SEM y QEMSCAN.

**Pinget y otros, 2012:** Realizan nuevos estudios en la mineralogía exótica de Chuquicamata, aplicando DRX, fluorescencia de rayos X y microfluorescencia.



## **2. MARCO GEOLÓGICO**

### **2.1. Geología del Distrito Chuquicamata**

#### **2.1.1 Generalidades**

Los yacimientos Ministro Hales y Quetena, se encuentran en el Distrito de Chuquicamata, ubicado al norte de la ciudad de Calama. Las principales rocas en esta área corresponden a rocas estratificadas con edades desde el Carbonífero en adelante. Además existe una variedad de rocas intrusivas repartidas a lo largo de este sector (Figura 2.1).

#### **2.1.2 Rocas Metamórficas**

##### **2.1.2.1 Complejo metamórfico Limón Verde**

Consiste en una serie metamórfica compuesta por esquistos micáceos y anfibolitas, junto a cantidades subordinadas de cuarcitas (Baeza, 1984) que afloran hacia el lado oeste de la Sierra de Limón Verde en la región de Antofagasta (Godoy, 1983 en Soto, 2013).

Hervé (1985) determinó la edad del metamorfismo de este complejo usando distintos métodos: Rb-Sr en roca entera ( $309 \pm 11\text{Ma}$ ) y K-Ar en muscovita (270-280 Ma). Soto (2013) realizó estudios en este complejo metamórfico y obtuvo edades que van desde los 295 -325 Ma (U-Pb en zircones). Estos resultados permiten asignar a esta unidad al Carbonífero.

#### **2.1.3 Rocas Estratificadas**

##### **2.1.3.1 Estratos de Quetena**

Sucesión de metasedimentitas siliciclásticas de granulometría fina a gruesa (Lira, 1989), expuesta al este del cerro Quetena, en el borde occidental de la Sierra Limón Verde y al suroeste de los Cerros San Lorenzo. Se puede correlacionar con unidades que afloran en la Cordillera de la Costa y en la Alta Cordillera de Antofagasta, específicamente con las formaciones el Toco y Lila.

Según Lira (1989), la edad tentativa de esta unidad sería Devónico – Carbonífero, pero Tomlinson y Blanco (2008, en Reyes, 2010), las describen como sedimentitas finas de edad Carbonífero Superior. Se encuentran discordantemente sobre el Complejo Metamórfico Limón Verde e infrayacen, en discordancia angular, a conglomerados rojos asignados al Triásico superior, por lo que su edad tentativa sería Carbonífero - Pérmico (Zambrano, 2005).



### 2.1.3.2 Grupo Caracoles

Secuencia sedimentaria marina, altamente deformada, del Jurásico inferior (Mpodozis y otros., 1993). Consiste principalmente en calizas, areniscas, lutitas y conglomerados depositados en un periodo transgresivo que afecto al área.

Aflora en la parte este de la Sierra de Moreno y en los alrededores de Cerritos Bayos y Sierra de Limón Verde. Según Mpodozis y otros (1993) se encuentra suavemente plegada, cubriendo a conglomerados y brechas volcanosedimentarias paleozoicas de los Estratos El Bordo y cubierta en discordancia por andesitas de la Formación Cinchado.

### 2.1.3.3 Formación Cerritos Bayos

Secuencia sedimentaria continental, compuesta principalmente por rocas carbonatadas de facies detríticas y psefíticas en las que se distinguen calizas, areniscas, lutitas, margas y subordinadamente evaporitas. Agrupa a los miembros Moctezuma inferior y Campamento superior. Se asocia a un periodo transgresivo registrado en la zona que ocurrió en el Jurásico superior – Cretácico inferior (Mpodozis, 1993).

Sus principales afloramientos en la zona se observan en los Cerros de San Lorenzo, Cerritos Bayos, Ríos Loa y San Salvador, flanco occidental de Sierra Limón Verde y Sierra de Moreno. En su base, la formación Agua Dulce pasa gradualmente a las facies marinas de esta formación, contacto similar al que presenta en el techo con la formación San Salvador.

### 2.1.3.4 Formación San Salvador

Definidas como una secuencia de rocas calcáreas y siliciclásticas compuesta de tres miembros: Miembro Estación (inferior), constituido por areniscas cuarcíferas y calcáreas de grano fino, lutitas y areniscas; Miembro Salvador (medio), en el que se distinguen mayoritariamente areniscas con abundantes estructuras sedimentarias que se alternan con esporádicos bancos de caliza arenosa gris amarillenta; Miembro el Morro (superior), compuesto por areniscas finas y gruesas y conglomerados (Lira, 1989). En su base se presenta un contacto gradual con la formación Cerritos Bayos, mientras que hacia el techo, corresponde a una discordancia angular con la formación Cerro Empexa (Cretácico superior).

En el Distrito Chuquicamata se extiende ampliamente en sentido Norte-Sur por varias decenas de kilómetros desde el sector de Cerritos Bayos al sur, hasta la Sierra Moreno en el norte

#### 2.1.3.5 Formación Cerro Empexa

Descrita como una sucesión continental de brechas, conglomerados, areniscas finas, fangolitas y traquitas (Galli, 1957). Sobreyace, en discordancia angular, a la Formación San Salvador e infrayace, en discordancia angular también, a gravas de la Formación Calama. Se encuentra intruída además por el Complejo intrusivo de Montecristo. Dataciones realizadas con el método U/Pb en zircones magmáticos entregan edades en el rango 79-65 Ma, sin embargo, la edad más joven no corresponde al techo de esta unidad, así es que no se descarta una edad mínima paleocena temprana (Blanco y otros., 2012).

Esta formación representa un evento depositacional asociado al emplazamiento del arco magmático durante el Cretácico superior (Calisto, 2013). Se reconoce en el área de estudio, al este de Cerros de Montecristo, un conjunto de rocas volcánicas mayoritariamente andesíticas que son asignadas a esta unidad.

#### 2.1.3.6 Formación Tolar

Secuencia siliciclástica continental, constituida por conglomerados y areniscas rojas con intercalaciones subordinadas de flujos volcánicos (Maksaev, 1978). Se caracterizan por un abundante contenido fosilífero. Su dispone sobre rocas calcáreas de la Formación Cerritos Bayos en discordancia erosiva, mientras que hacia su techo, se observa un paso gradual con andesitas el Eoceno. Esto permite asignarle una edad Cretácico superior – Paleoceno.

En el Distrito Chuquicamata se distribuye en el núcleo anticlinal Sierra San Lorenzo, a lo largo de la Quebrada Honda, al noroeste de Cerros de Chuquicamata y al sur de Cerro Chintoraste.

#### 2.1.3.7 Formación Icanche

Definida por la rocas volcánicas que afloran en la Quebrada Icanche. Litológicamente estas corresponden a andesitas porfídicas, aglomerados y tobas dacíticas parcialmente silicificadas (Maksaev, 1978).

Sobreyace concordantemente a sedimentitas rojas de edad Paleocena asignadas a la Formación Tolar e infrayace, en discordancia angular, a gravas del Mioceno; se encuentra además, cortada por el Complejo Los Picos (Eoceno superior). Dataciones K/Ar entregaron resultados que van desde los 42.7 hasta los 50.6 Ma (Maksaev, 1978). Esta información permite acotar su edad al Eoceno.

En el sector estudiado se reconoce como una franja Norte-Sur cercana a la traza de la Falla Oeste, que se extiende desde Cerros de San Lorenzo por el Norte, hasta el Cerro Chintoraste por el sur.

#### 2.1.3.8 Formación Calama

Descritas originalmente por Naranjo y Paskoff (1981, en Blanco y otros, 2003) en el Cerro Calama, tres kilómetros al este de la ciudad del mismo nombre; corresponde a una acumulación de gravas de origen torrencial, compuestas por clastos de diversas composiciones y tamaños, de matriz soportada y con escaso desarrollo de estratificación (Blanco y otros., 2003).

La base de esta formación está discordante sobre diversos basamentos pre-Oligoceno (Triásico a Cretácico principalmente), mientras que hacia su techo, presenta una inconformidad con formaciones pertenecientes al grupo Loa (Formación Lasana y Jalquinche) (May y otros, 2005). Se le asigna una edad Eocena en función de información estratigráfica y geocronológica de niveles de volcanitas intercaladas con su miembro inferior (Blanco y otros, 2003 y Blanco, 2005).

#### 2.1.3.9 Grupo El Loa

Conocida anteriormente como la Formación Calizas de El Loa, haciendo alusión a depósitos Miocenos que se encontraban a lo largo del curso del río Loa. Actualmente, está considerada como “Grupo Loa”, subdividido en las formaciones Jalquinche, Lasana, Chiquinaputo y Opache. (May y otros, 2005). Blanco (2008), propone una redefinición de este grupo, incluyendo dos formaciones nuevas: la Formación Yalqui (bloque anteriormente considerado parte de la Formación Calama) y la Formación el Yeso, antiguamente la parte basal de la formación Lasana. Es así, que el Grupo Loa, según Blanco (2008), queda constituido por la Fm. Yalqui, Fm. El Yeso, Fm. Jalquinche, Fm. Lasana, Fm. Chiquinaputo y Fm. Opache, que poseen edades que van desde el Oligoceno al Plioceno Superior.

Todas ellas, consisten, a grandes rasgos, en lutitas, areniscas de finas a gruesas calcáreas silíceas, calizas, conglomerados y brechas sedimentarias,

#### **2.1.4 Rocas Intrusivas**

Las rocas intrusivas presentes en el distrito Chiquicamata se pueden separar en dos ambientes tectónicos al considerar la traza principal de la Falla Oeste. En el bloque oriental se representa por granitoides del Paleozoico Superior mientras que el bloque occidental, se caracteriza por una serie de intrusivos que van desde el Cretácico Superior hasta el Terciario Inferior, donde estos últimos se relacionan genéticamente con los yacimientos de cobre de tipo porfídico (Pardo y otros, 2004).

##### **2.1.4.1 Complejo Intrusivo Chuquicamata**

Serie de rocas intrusivas mayoritariamente básicas, representadas por gabro-dioritas, dioritas y tonalitas, de textura equigranular de grano fino a medio (Pardo y Rivera, 1999). Se distribuye en el flanco oriental de los Cerros de Chuquicamata a través de una faja de varios kilómetros de largo y de dirección NE.

Se encuentra cortado por el Granito Mesa (Carbonífero superior – Pérmico) y por la Granodiorita Este (Pérmico - Triásico). Estos antecedentes permiten asignarle una edad mínima Carbonífera (Pardo y Rivera, 1999).

##### **2.1.4.2 Granito Mesa**

Conjunto de cuerpos intrusivos de composición granítica, que se encuentran expuestos en el flanco oriental de los Cerros de Chuquicamata, a lo largo de una franja NE-SW (Renzenti, 1957).

Fue datado por el método Pb- $\alpha$  en zircones, dando una edad de  $292 \pm 30$  Ma (Marinovic y Lahsen, 1984). Sin embargo, sus características petrológicas son similares a las del granito del Cerro Moctezuma en Sierra Limón Verde, de edad  $305 \pm 4$  Ma, datado por el método K/Ar en Biotitas (Pardo y Rivera, 1999). La edad del Granito Mesa va desde el Carbonífero superior al Pérmico.

#### 2.1.4.3 Granodiorita Este

Renzetti (1957) otorga este nombre a una faja de rocas intrusivas distribuidas en el borde oriental de la mina Chuquicamata. La constituyen granodioritas y monzonitas de hornblenda y, subordinadamente, monzonitas cuarcíferas (Pardo y otros, 2004).

Se ha obtenido una edad mínima K/Ar en biotita de  $238 \pm 6$  Ma (Maksaev y otros, 1994).

#### 2.1.4.4 Granodiorita MM

Corresponde a un *stock* granodiorítico, reconocido en sub superficie en las campañas de sondajes realizadas en el sector de Mina Ministro Hales. Está adosada al occidente de la Falla Oeste y se extiende por varios kilómetros en sentido N-S. Hacia el oeste, se dispone en contacto por falla inversa con rocas de la formación Icanche; además, se encuentra cortada por un conjunto de filones dacíticos (Ribera, 1995, en Pardo y otros, 2004)

Dataciones U-Pb realizadas en esta unidad, entregaron un rango de edad que va desde los 237 – 222 Ma, correspondiente al Triásico (Tobey, 2005 en Boric y otros, 2009).

#### 2.1.4.5 Complejo monzonítico-monzodiorítico Los Picos

Consiste en una serie de monzodioritas cuarcíferas con piroxenos y biotitas, monzodioritas y monzonitas cuarcíferas. Dataciones radiométricas U/Pb entregaron edades de 45 a 42 Ma (Campbell y otros, 2006). Se divide en la Monzodiorita cuarcífera Aralar y la Monzonita cuarcífera Genoveva. (Tomlinson y Blanco, 2008)

#### 2.1.4.6 Complejo Granodiorítico Fortuna

Se subdivide en: Granodiorita Antena (intrusión temprana de gran tamaño), Granodiorita Fiesta (más joven) e intrusiones porfídicas, en las que se incluyen el Pórfido Tetera y Pórfido San Lorenzo; a grandes rasgos se compone principalmente de granodioritas de hornblenda y biotita (Dilles y otros, 2011). Las diferencias entre los distintos miembros son de carácter textural y variaciones leves composicionales.

Su edad va del Eoceno superior al Oligoceno inferior ((Pardo y Rivera, 1999). Se distingue en las cercanías de la ciudad de Calama, limitado en su parte oriental por la Falla Oeste.

#### 2.1.4.7 Pórfido Quetena

Se describe como un pórfido dacítico-granodiorítico que aflora como pequeños cuerpos aislados en el flanco oriental de la faja Quetena-Genoveva (Pardo y otros, 2004).

Intruye a las volcanitas de la Formación Quebrada Mala, a rocas sedimentarias de la Formación San Salvador y al Complejo Los Picos (Escobar, 2005). Se relacionaría con las facies porfídicas del complejo Intrusivo Fortuna, por lo que se considera que su edad va del Eoceno superior al Oligoceno inferior (Pardo y otros, 2004).

#### 2.1.4.8 Pórfidos Chuqui

Complejo ígneo compuesto por tres unidades con diferencias texturales principalmente, pues con respecto a su mineralogía, todos corresponden a granitos y monzogranitos. Estos cuerpos son: Pórfido Este (la intrusión más antigua y de mayor tamaño), Pórfido Oeste y Pórfido Banco. Ellos hospedan casi la totalidad del cuerpo mineralizado del yacimiento Chuquicamata (Ossandón y otros, 2001).

Dataciones U/Pb en zircones dieron como resultado edades que van desde los 35 a los 32 Ma (Campbell y otros, 2006).

### 2.1.5 Yacimientos

#### 2.1.5.1 Ministro Hales

Previamente conocida como Mansa Mina, paso a llamarse Ministro Hales en el año 2004. Se encuentra a 7 km al sur de Chuquicamata y 7 km al norte de Calama, a 2400 m.s.n.m.

Consiste en un depósito del tipo pórfido cuprífero con mineralización de Cu-Mo, que evolucionó a un sistema epitermal de alta sulfidización con la formación de brechas hidrotermales con mineralización de Cu, Ag e impurezas de As (Díaz, 2010).

Contiene depósitos estimados en 1,310 Mt de sulfuros de Cu con ley 0,96% y 26 Mt de óxidos (supérgenos y exóticos) de Cu con ley 0,54%. Lo que da un total de 12,6 Mt de Cu para este yacimiento (Boric y otros, 2009).

## Geología del Yacimiento

Las unidades observadas en el yacimiento, según Boric y otros (2009) son:

a.- Formación Collahuasi: Corresponde a un conjunto de rocas volcánicas e intrusivos subvolcánicos félsicos del Paleozoico Superior – Triásico que afloran en las inmediaciones de la localidad homónima en el norte de Chile. Se correlaciona con otras formaciones de la Cordillera Andina, como las del Grupo Choiyoi (Munizaga y otros, 2006). En terreno, flujos andesíticos y brechas con clorita, epidota y pirita observados en terreno, fueron asignados a esta formación. Dataciones U/Pb en zircons entregaron una edad de 304 Ma (Tomilson y Blanco 2008).

b.- Granodiorita MM: De edad Triásica según dataciones U/Pb en zircons. Se considera equivalente a la Granodiorita Este de Chuquicamata, que presenta plagioclasas, feldespato potásico micropertítico, cuarzo, biotita y hornblenda (Ossandón y otros, 2001).

c.- Pórfido MM: Se encuentra en las profundidades del depósito, adyacente al sistema de falla Oeste. Su edad U/Pb en zircons es de 38,9 +/- 0,4 Ma. Posee una matriz aplítica y escasos ojos de cuarzo. Se observa una alteración con feldespato potásico, biotitas y sericita, cortada por vetillas de cuarzo tipo A. Este pórfido se encuentra cortado por tempranas vetillas tipo B (con molibdenita y calcopirita axial). Su mineralización económica comprende bornita-calcopirita-(digenita).

d.- Pórfido Cuarzófero: Se encuentra en la parte más profunda del depósito. Edad U/Pb corresponde a 35.5 +/- 0,6 Ma. Se caracteriza por una abundancia de ojos de cuarzo y por estar afectado por una alteración potásica con sericita, feldespato potásico y anhidrita. También se observan bornita y calcopirita en finos stockworks.

e.- Diques dacíticos: Se distinguen diques de distintas generaciones, algunas de edad triásica. Se encuentran intruyendo a todas las unidades anteriores y están cortadas por brechas hidrotermales. Son afaníticas con cristales de hornblenda, plagioclasa y cuarzo.

f.- Brechas Hidrotermales: Consisten en fragmentos dacíticos dentro de una matriz de sulfuros (calcosina, enargita y pirita), fragmentos finos de roca, sílice y alunita. Alteración argílica avanzada presente en estos cuerpos, con sílice, alunita, pirofilita, sericita y dickita. Posee las mayores leyes de Cu, además de altos valores de As y Ag. A mayores profundidades se

caracteriza por tener una asociación de bornita-calcosina-pirita, mientras que a profundidad media, calcopirita-tennantita-pirita y cercano a la superficie, calcosina-enargita.pirita-(bornita)-(covelita). Representa la transición entre un típico pórfido Cu-Mo y un depósito epitermal de alta sulfidación.

g.- Pebble dikes: Diques post mineralización de hasta 30 metros de espesor. Posee clastos angulares a redondeados dentro de una matriz clástica, sin mineralización. Se interpretan como productos de la liberación de vapor a alta presión.

h.- Rocas sedimentarias y depósitos exóticos: Gravas del Eoceno que se ubican al este de la Falla Oeste. Manto de 10 a 50 metros de espesor con mineralización exótica de cobre en la unidad de gravas de mayor profundidad. Contiene crisocola, criptomelano, malaquita, azurita, conicalcita y arcilla.

### Edad Mineralización

El sistema mineralizado de este yacimiento se formó en varios episodios, siendo el primero de estos la intrusión del Pórfido MM a los 39 Ma y el Pórfido Cuarcífero a los 36 Ma. Se reconocieron tres fases de mineralización hipógena: (1) pórfido Cu-(Mo) con alteración potásica, que formó un núcleo de bornita-calcopirita y un halo de calcopirita-pirita; (2) alteración fílica con sericita y abundante pirita; y (3) una etapa tardía de alta-sulfuración Cu (Ag-As) con alteración argílica avanzada y la introducción de brechas hidrotermales (Boric y otros, 2009).

Dataciones mediante el método Re/Os aplicado en molibdenitas asociadas a sulfuros de Cu, entregan edades que van desde los 37,3 Ma hasta los 34,7 Ma. Esto se traduce en que la mineralización es más joven que el Pórfido MM (relacionada al Pórfido Cuarcífero?), ocurrió en varios pulsos o la acción de eventos termales afectó al sistema, que entrega una edad más joven de la que posee. La etapa de alta sulfuración posee una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  que va de los 32,2 hasta 31,4 Ma (Boric y otros, 2009).

#### 2.1.5.2 Quetena

En el año 2002, como resultado de exploraciones realizadas por CODELCO dentro del Cluster Toki, ocurrió el hallazgo del yacimiento Quetena. Se ubica 500 m al noroeste del yacimiento Toki y 5 km al noroeste de la ciudad de Calama.

Corresponde a un sistema de pórfido cuprífero con mineralización de oxidados y sulfuros primarios. Se encuentra cubierto bajo una capa de gravas post-mineralización de 100 m de espesor promedio.

Los recursos inferidos de este cuerpo mineralizado se encuentran sobre los 0,3% de CuT, un total de 856 Mt con ley de 0,42% de Cu, que representan 3,63 Mt de Cu fino, de los cuales, 237 Mt de ley 0,44% corresponden a recursos potencialmente lixiviables.

### Geología del Yacimiento

Las principales unidades observadas en el yacimiento corresponden a una roca caja tonalítica de grano grueso, con cristales de plagioclasa, cuarzo, hornblenda y biotita (correspondiente al Complejo Fortuna), que a su vez, es intruida por un pórfido tonalítico, descrito como un intrusivo porfírico cuarzo-feldespático de grano grueso, con fenocristales de plagioclasa y cuarzo. Este pórfido presenta dos fases, siendo la primera, ubicada más al centro, más productiva, con abundantes vetillas de cuarzo tempranas y relacionada a un núcleo de calcopirita – bornita. La oxidación in-situ de este núcleo correspondería a la mejor mineralización de óxidos verdes observada. La segunda, se encuentra hacia los bordes de la intrusión, es más tardía y se asocia a la distribución de óxidos negros y a los halos de calcopirita-pirita y pirita.

La alteración dominante en el yacimiento es potásica, observada en la roca caja y en el pórfido tonalítico; también se identifica un desarrollo menor de alteración sericítica, restringida a halos de vetas tardías.

## **2.2 Geología del Distrito Gabriela Mistral**

### **2.2.1 Generalidades**

Las unidades expuestas en la zona abarcan desde el Paleozoico hasta el Cuaternario. No se observan rocas Jurásicas en el sector. Gran parte del área y el yacimiento están cubiertos por extensos depósitos subhorizontales de gravas acumulados durante el Mioceno – Plioceno, los que alcanzan espesores reconocidos de hasta 330 metros (Figura 2.2).

## 2.2.2 Rocas Estratificadas

### 2.2.2.1 Formación Agua Dulce

Corresponde a una secuencia de lavas riolíticas con intercalaciones de niveles sedimentarios continentales cuarcíferos y conglomerádicos (García, 1967). Dentro de esta unidad se distingue una secuencia de areniscas, tobas de mica y traquitas a la que se le asignó una edad Triásica (Biese, 1961). Se dispone en discordancia angular y erosiva sobre los Estratos de Quetena, mientras que hacia el techo, pasa gradualmente a las facies marinas de la formación Cerritos Bayos (Jurásico inferior). Esta información permite acotar su edad al Triásico-Jurásico inferior (Jorquera, 2007). Pero en la Carta Cerro Quimal (Basso y Mpodozis, 2012) acotan su edad al Paleozoico.

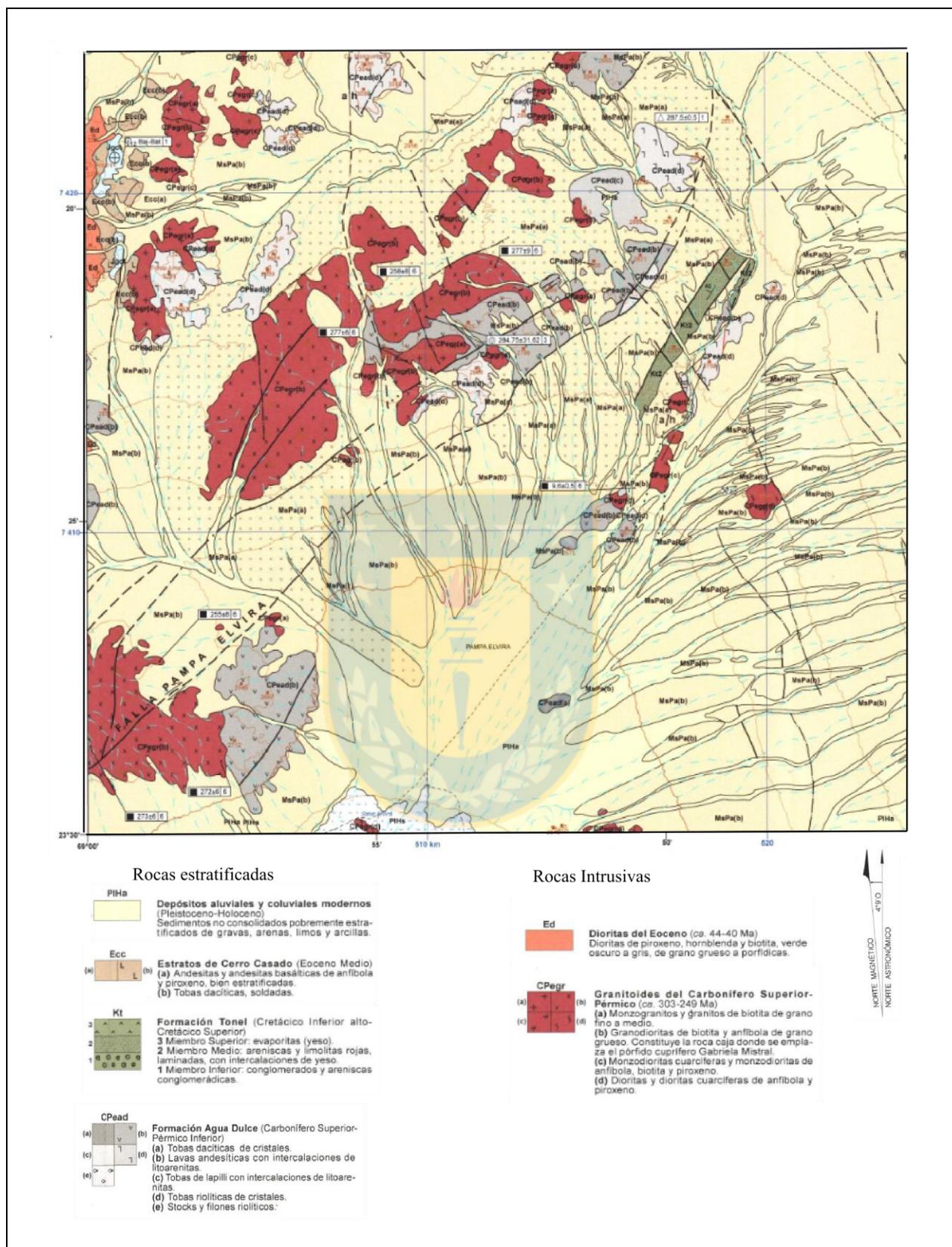
Se distribuyen de preferencia en la parte oriental del distrito, específicamente, al noreste del yacimiento Radomiro Tomic, al sur de los Cerros de Paqui, en el borde occidental y noroccidental de la Sierra de Limón Verde y al oeste de la Pampa Grande.

### 2.2.2.2 Formación Tonel

Secuencia estratigráfica compuesta por areniscas rojas y evaporitas dispuestas en inconformidad angular sobre rocas volcánicas y sedimentarias descrita en las cercanías del Cerro Quimal. Se conforma de 3 miembros (Mpodozis y otros, 2005): (1) un miembro inferior de brechas y conglomerados de clastos andesíticos y riolíticos provenientes del basamento y sedimentarios; (2) su miembro intermedio, consiste en areniscas rojizas finamente estratificadas con intercalaciones de yeso en algunas de estas; (3) el miembro superior, contiene depósitos deformados evaporíticos, principalmente anhidrita (Hartley y otros, 1992a en Mpodozis y otros, 2005).

Debido a la ausencia de material fosilífero y de niveles volcánicos y/o tobáceos posibles de datar por métodos radiométricos, solo las relaciones estratigráficas permiten asignarle un intervalo de edad, comprendido entre el Triásico Superior y el Cretácico Superior (Basso y Mpodozis, 2012).

En el área de estudio se distinguió únicamente el miembro intermedio muy localmente al norte de Pampa Elvira.



### 2.2.2.3 Estratos Cerro Casado

Corresponden a una secuencia estratificada de lavas y tobas que afloran en el cerro del mismo nombre (Marinovic y García, 1999). Previamente fueron descritas informalmente bajo el nombre de Volcánico-Subvolcánico de Cerro Casado, quienes la explicaron como una asociación de domos extrusivos, pórfidos riolíticos, dioritas y tobas (Mpodozis y otros, 1993 en Marinovic y García, 1999).

Marinovic y García (1999) acotan la edad de estos estratos al Eoceno Medio. Afloran hacia el sector más oeste del área.

### 2.2.2.4 Depósitos Salinos

Limos salinos con alto contenido de halita y yeso. Constituyen parte del relleno sedimentario de la cuenca del salar de Atacama y del salar Elvira. Consisten en cubiertas evaporíticas o costras de pocos centímetros (Basso y Mpodozis, 2012).

### 2.2.2.5 Depósitos aluviales y coluviales modernos

Sedimentos no consolidados, principalmente gravas, arenas, limos y arcillas, de color pardo claro. Son depósitos pobremente estratificados, que constituyen el relleno de los sistemas de drenaje actuales. Considerando que los procesos que los originan aún están activos, se les asigna al Pleistoceno-Holoceno (Basso y Mpodozis, 2012).

## 2.2.3 Rocas Intrusivas

### 2.2.3.1 Granitoides del Carbonífero Superior

Conjunto de plutones, descrito originalmente por Mpodozis y otros (1993), con una composición que va desde granitos a dioritas, las cuales intruyen a la Formación Agua Dulce, y afloran formando una franja discontinua, orientada en dirección NE-SW, desde la Pampa Elvira, por el sur, hasta la zona ubicada al oeste del cerro Químal, por el Norte. Según Basso y Mpodozis (2012), sumando dataciones realizadas por ellos, más datos anteriores, la edad de estos granitoides estaría entre los 303 y 249 Ma.

### 2.2.3.2 Dioritas del Eoceno

Conjunto de *stocks* de pequeñas dimensiones, afloran en las cercanías del cerro Punta Amarilla y en el Cerro Alacrán. Corresponden a dioritas de piroxeno, hornblenda y biotita. (Basso y Mpodozis, 2012). Mpodozis y otros (1993) informan edades para estos cuerpos correspondientes al Eoceno Medio.

### 2.2.4 Yacimiento Gabriela Mistral

Antiguamente conocido como Gaby Sur. Fue descubierto por Codelco en el año 1996, se encuentra a una altitud de 2660 m de altura a 43 km al este del depósito Spence y 120 km al SE de Calama, en la región de Antofagasta, distrito de Sierra Gorda. Entró en producción el año 2008, con una vida útil de 15 años.

Contiene 584 Mt de óxidos con una ley de 0,41% de Cu (Cameron y otros, 2007). La zona en la que se encuentran estos óxidos tiene en promedio 180 m de espesor y está compuesta principalmente por crisocola, con cantidades menores de neotocita, atacamita y malaquita. Ellos, se presentan en fracturas y remplazando feldespatos; hacia los márgenes de esta zona oxidada, se desarrolla una zona de lixiviación con goethita y cantidades menores de jarosita (Aguilar, 2000 y Camus, 2001 en Camus 2003).

#### 2.2.4.1 Geología del Yacimiento

Según Camus (2001 en Camus, 2003) en Gabriela Mistral se distinguen tres unidades litológicas:

A.- Secuencia sedimentaria-volcánica: Conjunto de rocas estratificadas constituidas por areniscas finas, tobas y andesitas, todas afectadas por metamorfismo de bajo grado. De rumbo N-S y manteo aproximadamente 45° al W, se encuentran en la parte occidental del yacimiento. La parte sedimentaria se correlaciona con Estratos de Quebrada Escondida mientras que la parte volcánica, lo hace con los Estratos del Bordo.

B.- Complejo Intrusivo Pampa Elvira: Compuesto por granodiorita y tonalita que se encuentran cortados por filones máficos. Es la unidad de mayor distribución areal en el yacimiento e intruye a la secuencia sedimentaria-volcánica.

C.- Complejo Intrusivo Gaby: Se divide en tres partes:

- Brecha Intrusiva: Esta denominación se refiere a cuerpos de brecha formados por fragmentos polimícticos (granodiorita predominante) que se encuentran dentro de una matriz de grano fino, compuesta por biotita y cuarzo. Forma cuerpos irregulares que se disponen en el sector central oeste del depósito. Se asocia a la etapa tardimagmática del sistema, en base al contenido abundante de biotita secundaria, feldespatos potásico, cuarzo y sulfuros de cobre.
- Pórfido tonalítico: Cuerpos irregulares, en parte filonianos, que se disponen en el área central del yacimiento, donde intruyen la granodiorita del Complejo Intrusivo Pampa Elvira y la secuencia sedimentaria-volcánica. Presenta una textura inequigranular porfírica, con un 50% de fenocristales en una matriz fanerítica gruesa.
- Pórfido Gaby: Se define así a un conjunto de cuerpos filonianos de composición diorítica, textura porfírica, con fenocristales de feldespato y minerales máficos en una matriz de cuarzo y biotita. Se reconoce en la parte central e intruye a todas las unidades presentes.

Todas las unidades descritas anteriormente están completamente cubiertas por gravas aluviales de fragmentos subangulosos, polimícticos, incluidos en una matriz que va de arenosa a arcillosa. En la base de esta cubierta, se observa una grava compuesta por fragmentos de rocas correspondientes a detritos derivados de la formación Purilactis, los que se encuentran inmersos en una matriz rojiza, cementada con sulfatos y carbonatos.

### 3. MINERALOGÍA PRIMARIA

#### 3.1 Mineralogía Óptica

Las tablas 3.1, 3.2 y 3.3 resumen los resultados de la descripción microscópica realizada a los cortes transparentes de las distintas etapas de la extracción secuencial.

##### 3.1.1 Ministro Hales (Muestras DMH)

**Tabla 3.1:** Resultados observación microscópica de muestras Ministro Hales (% en volumen).

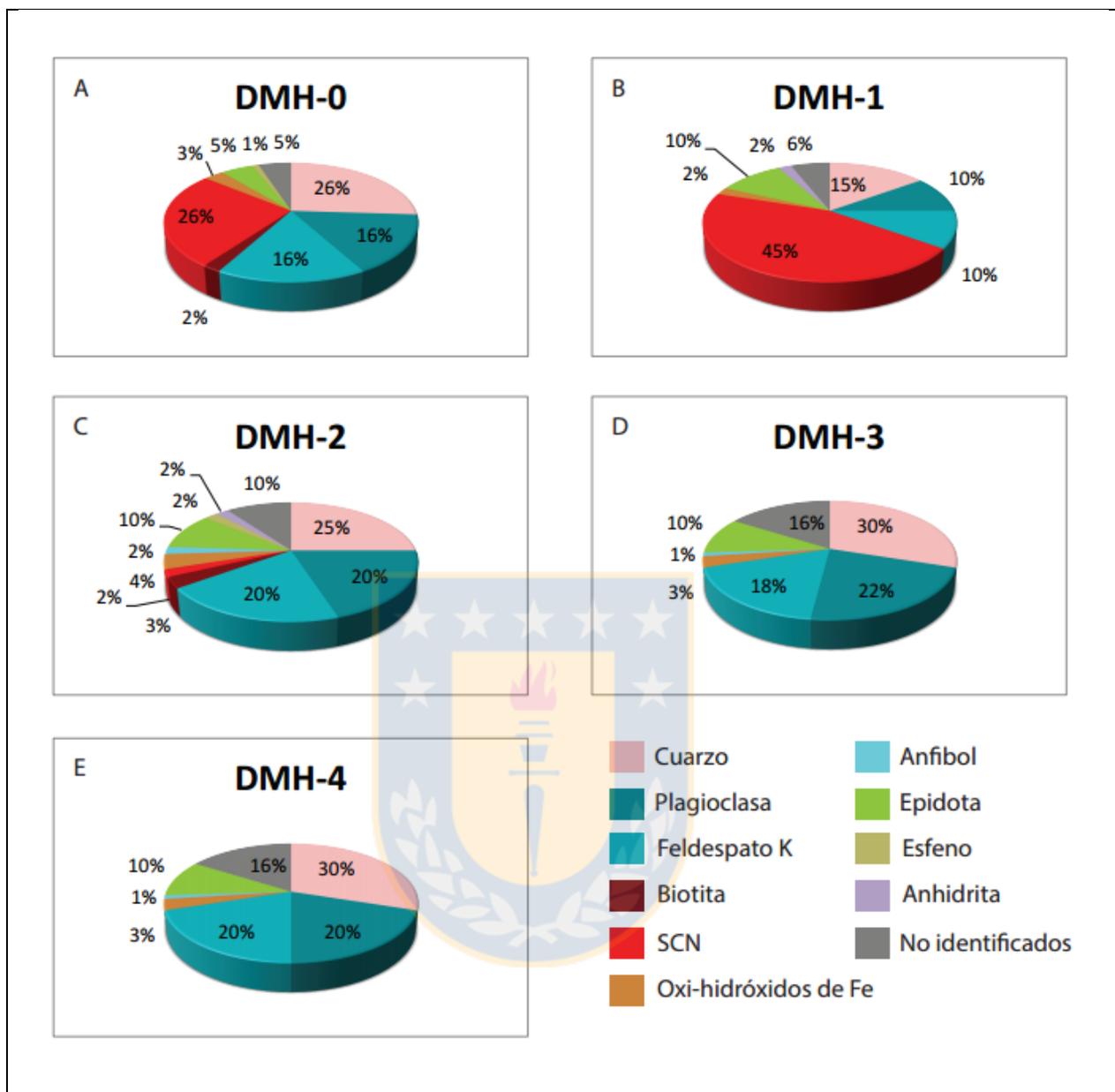
Minerales	DMH-0 (%)	DMH-1 (%)	DMH-2 (%)	DMH-3 (%)	DMH-4 (%)
<b>Cuarzo</b>	26	15	25	30	30
<b>Plagioclasa</b>	16	10	20	22	20
<b>Feldespatos K</b>	16	10	20	18	20
<b>Epidota</b>	5	10	10	10	10
<b>Biotita</b>	2	0	3	0	0
<b>Esfeno</b>	1	0	2	0	0
<b>Anhidrita</b>	0	2	2	0	0
<b>Anfíboles</b>	0	0	2	1	1
<b>SCN</b>	26	45	2	0	0
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	3	2	4	3	3
<b>No identificados</b>	5	6	10	16	16

##### 3.1.1.1 Etapa 0 (Figura 3.1A)

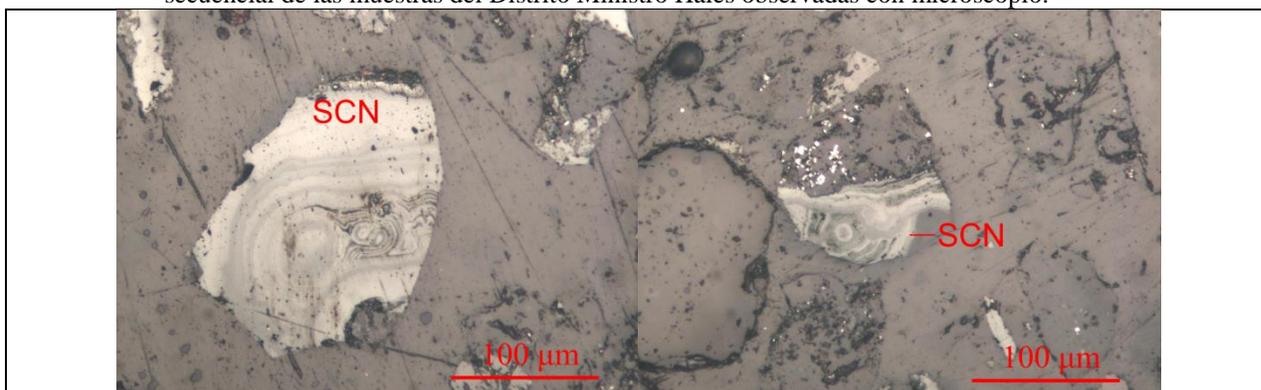
La mineralogía observada inicialmente, corresponde a: cuarzo (26%), plagioclasa (16%) con alteración sericítica que va de pervasiva a incipiente y feldespato potásico (16%) con alteración a arcillas. Existe cantidad importante de silicatos de cobre negro (26%), que presentan características correspondientes a los de Mn-Cu principalmente (Microfotografía 3.1). En menores cantidades, se encuentran epidotas (5%), biotitas (2%) y oxi-hidróxidos de Fe (3%).

##### 3.1.1.2 Etapa 1 (Figura 3.1B)

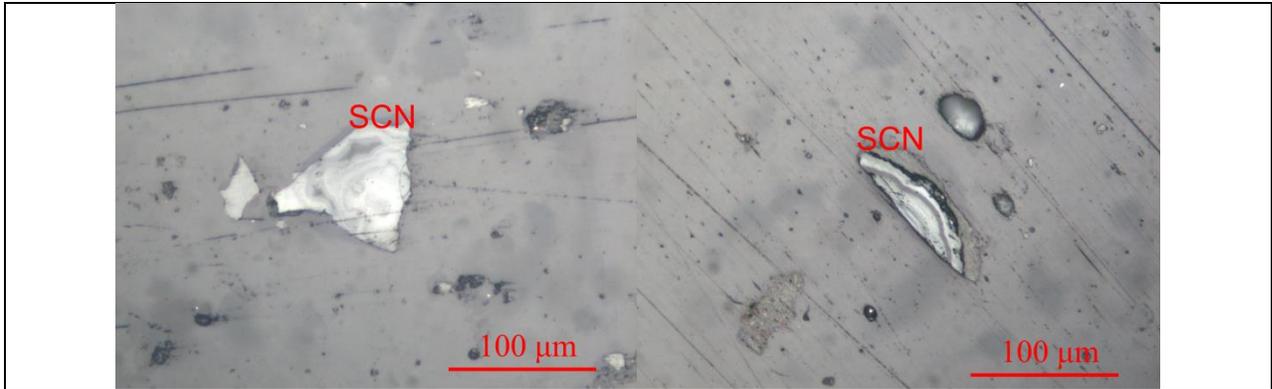
En esta etapa, aún se distingue cuarzo (15%), plagioclasa (10%), feldespato potásico (10%) y epidota (10%). Se destaca también una cantidad importante de SCN (microfotografía 3.2), llegando a un total del 45% de la muestra; en comparación con los SCN de la etapa 0, poseen un



**Figura 3.1:** A-E, etapas 0-4 respectivamente. Porcentajes minerales en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras del Distrito Ministro Hales observadas con microscopio.



**Microfotografía 3.1:** Silicatos de cobre negro en luz reflejada, DMH-0 aumento 20x. Ministro Hales.

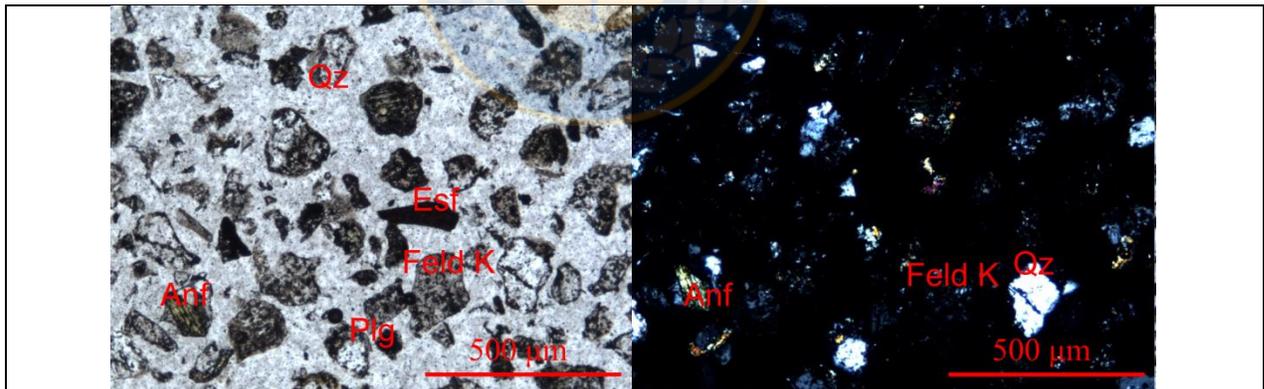


**Microfotografía 3.2:** Silicatos de cobre negro en DMH-1. Luz reflejada, Aumento 20x. Ministro Hales.

menor tamaño (50-100 µm). Predomina la variedad Mn-Cu. Además, se distinguieron, en pequeñas cantidades, anhidrita (2%) y oxi-hidróxidos de Fe (2%).

### 3.1.1.3 Etapa 2 (Figura 3.1D)

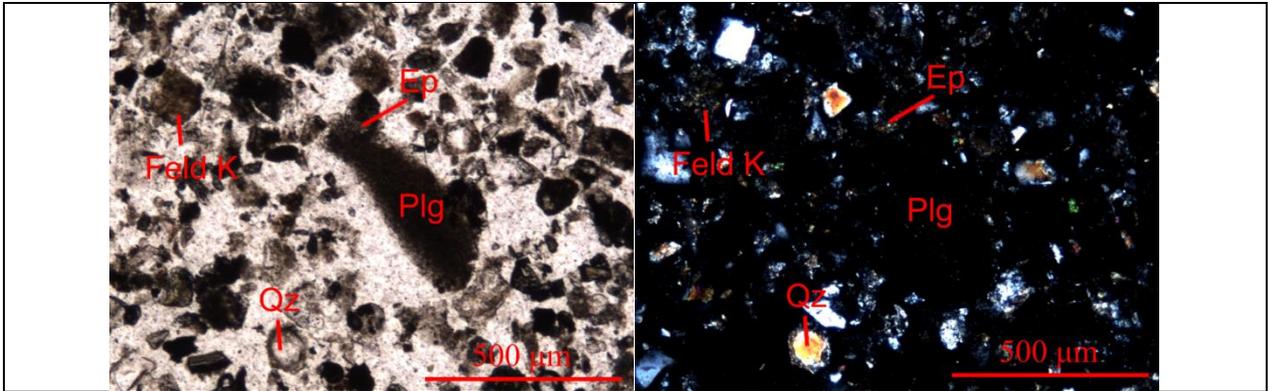
En esta etapa, la muestra consiste principalmente de cuarzo (25%), plagioclasas (20%) con alteración pervasiva a sericita y arcillas, y feldespato potásico (20%) alterado a arcillas. Existe presencia de epidota también, componiendo un 10% de la muestra. En cantidades menores se encuentran biotita (2%), esfeno (2%), anhidrita (2%), anfíbol (2%), SCN (2%) y oxi-hidróxidos de Fe (3%) (Microfotografía 3.3). Se destaca la poca presencia del SCN.



**Microfotografía 3.3:** Vista general DMH-2. Luz polarizada (izquierda) y nicoles cruzados (derecha). Aumento 5x. Ministro Hales.

### 3.1.1.4 Etapa 3 (Figura 3.1D)

Ya avanzada la extracción secuencial, solo se identificó bajo el microscopio: cuarzo (30%), plagioclasa (22%), feldespato potásico (18%) y epidota (10%). Las plagioclasas y el feldespato presentan una alteración pervasiva a arcillas (microfotografía 3.4). Presentes en pequeñas cantidades se encuentran oxi-hidróxidos de Fe (3%).



**Microfotografía 3.4:** Vista general DMH-3. Luz polarizada (izquierda) y nicoles cruzados (derecha). Aumento 5x. Ministro Hales.

### 3.1.1.5 Etapa 4 (Figura 3.1E)

Esta etapa presenta un contenido mineralógico similar a la etapa anterior. Predominan el cuarzo (30%), plagioclasa (20%), feldespato potásico (20%) y epidota (10%). Plagioclasas y feldespatos potásicos se encuentran muy alterados a arcillas en gran parte de los granos observados. También se distinguen en una proporción menor oxi-hidróxidos de Fe (3%). En la etapa 3 y 4 aumenta la cantidad de especies no identificadas, esto se debe principalmente al avanzado ataque químico a que han sido sometidas las muestras.

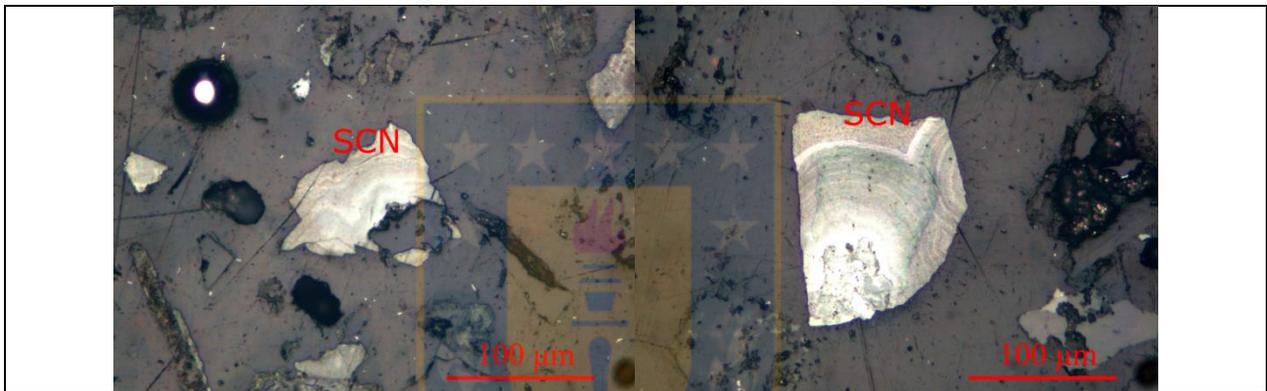
### 3.1.2 Quetena (Muestras Q)

**Tabla 3.2:** Resultados observación microscópica de muestras Quetena (% en volumen).

Minerales	Q-0 (%)	Q-1 (%)	Q-2 (%)	Q-3 (%)	Q-4 (%)
<b>Cuarzo</b>	20	22	17	25	28
<b>Plagioclasa</b>	25	16	15	16	11
<b>Feldespato K</b>	12	12	10	12	12
<b>Biotita</b>	13	8	5	4	2
<b>Moscovita</b>	5	5	0	0	0
<b>Anfíboles</b>	1	0	1	1	1
<b>SCN</b>	15	20	2	1	0
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	5	7	5	6	6
<b>No identificados</b>	4	10	45	35	40

### 3.1.2.1 Etapa 0 (Figura 3.2A)

En su estado inicial, la muestra presenta, en su observación al microscopio, principalmente cuarzo y plagioclasas (20 y 25% respectivamente). Las plagioclasas presentan una alteración incipiente a epidota y sericítica pervasiva. Se distinguen también feldespatos potásicos (12%) alterados a arcillas en su mayoría. Existe además una familia de micas, predominando las biotitas (13%) y en menor cantidad las moscovitas (5%); en las primeras, existe una alteración incipiente a clorita. Con respecto a minerales metálicos, se observan silicatos de cobre negro (15%) con características de la variedad Mn-Cu principalmente (Microfotografía 3.5) y oxi-hidróxidos de Fe (5%).



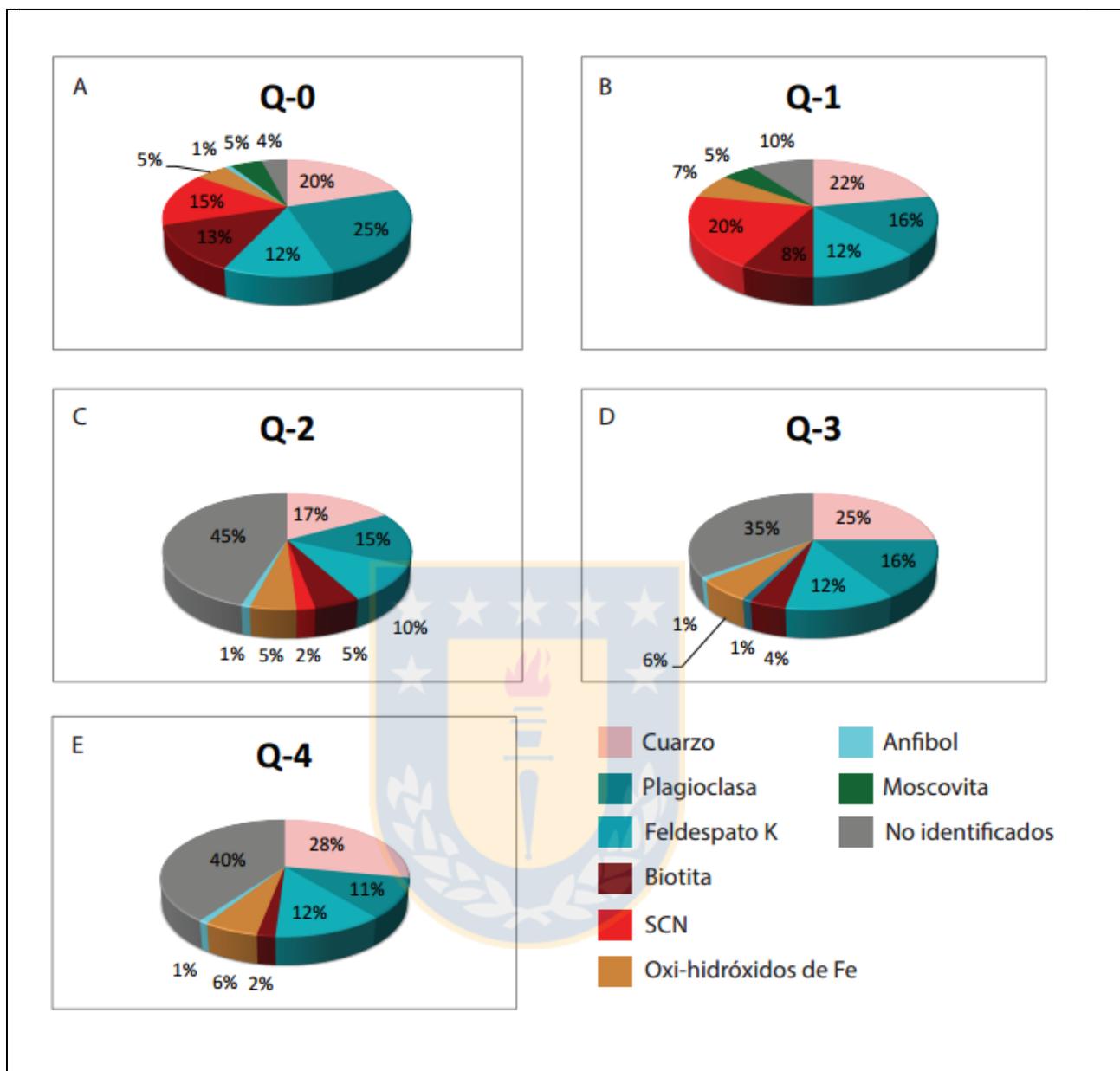
**Microfotografía 3.5:** Silicatos de cobre negro observados en Q-0. Luz reflejada, Aumento: 20x. Quetena.

### 3.1.2.2 Etapa 1 (Figura 3.2B)

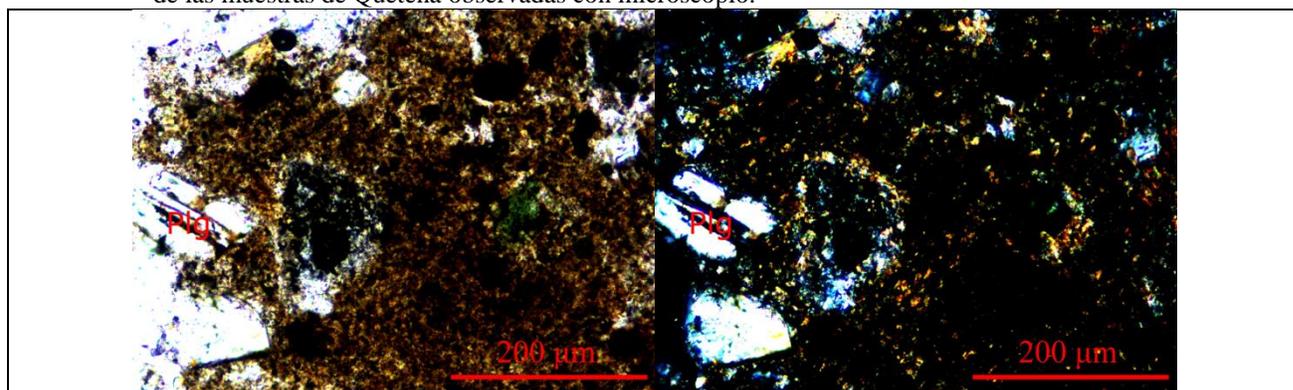
En esta etapa, dentro de los minerales no metálicos, se encuentra el cuarzo (22%), la plagioclasa (16%) y el feldespato potásico (12%), en las plagioclasas destaca una alteración sericítica que va de pervasiva a incipiente, mientras que en el feldespato potásico, una alteración a arcillas. Se distinguen también biotitas (8%) (alteración incipiente a clorita) y moscovitas (5%). El contenido de metálicos consiste en silicatos de cobre negro (20%) de Mn-Cu y oxi-hidróxidos de Fe (7%).

### 3.1.2.3 Etapa 2 (Figura 3.2C)

Se presenta cuarzo (17%) sin alteración, plagioclasa (15%) levemente alterada a sericita, feldespato potásico (10%) fuertemente alterado a arcillas y biotitas (5%) con una leve alteración a clorita. Los silicatos de cobre negro disminuyeron su contenido de un 20% a un 2%, mientras que los oxi-hidróxidos de Fe se encuentran presentes con un 5% del total de la muestra. Se destaca la



**Figura 3.2:** A-E, etapas 0-4 respectivamente. Porcentajes minerales en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras de Quetena observadas con microscopio.

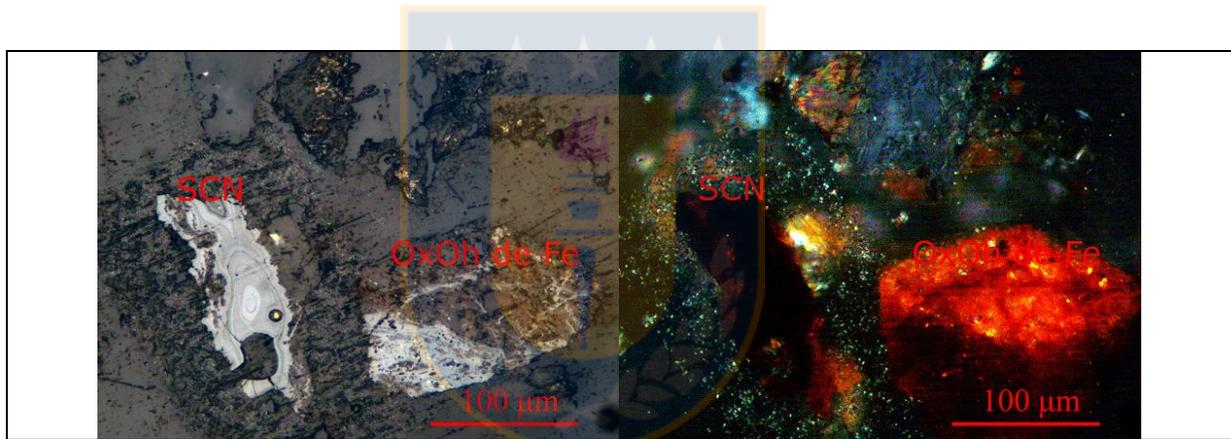


**Microfotografía 3.6:** Cúmulo no identificado en Q-2. LPP (izquierda) y NC (derecha). Aumento: 10x. Quetena.

gran cantidad de no identificados, que consisten en un 45% de la muestra, presentan un color café con tintes oscuros; parecieran ser un agregado criptocristalino aglomerado debido a que tienen un tamaño de grano mayor a cualquiera observado en las etapas anteriores (microfotografía 3.6).

#### 3.1.2.4 Etapa 3 (Figura 3.2D)

Se observó un contenido mineralógico similar a la etapa anterior, incluyendo una gran cantidad de minerales no identificados (35%) que dificultan observar variaciones entre las etapas. Fuera de este grupo, se reconoció cuarzo (25%), plagioclasas (16%) con alteración incipiente a sericitas y arcillas, feldespato potásico (12%) alterado a arcillas, biotitas (4%) alteradas incipientemente a clorita y anfíbol (1%). Los minerales metálicos observados corresponden a oxi-hidróxidos de Fe (4%) además de un grano con las características de silicato de cobre negro (microfotografía 3.7), de la variedad Fe-Cu.



**Microfotografía 3.7:** Silicatos de cobre negro y oxi-hidróxidos de Fe en Q-3. Luz reflejada (izquierda) y luz reflejada con nicols cruzados (derecha). Aumento 20x. Quetena.

#### 3.1.2.5 Etapa 4 (Figura 3.2E)

En la etapa final, las especies no identificadas (40%) componen la mayoría de la muestra, poseen características similares a las descritas en las dos etapas previas a esta. El resto de los minerales corresponde a cuarzo (28%), plagioclasas (11%) con alteración incipiente a arcillas, feldespato potásico (12%) también con alteración a arcillas, biotita (2%) con alteración incipiente a clorita y anfíbol (1%). Considerando los minerales metálicos solo se observan oxi-hidróxidos de Fe (6%).

Se debe señalar la alteración de los minerales debido al intenso ataque químico en esta etapa final, que hace difícil su identificación por medio del microscopio

### 3.1.3 Gabriela Mistral (Muestras G)

**Tabla 3.3** Resultados observación microscópica de muestras Gabriela Mistral (% en volumen).

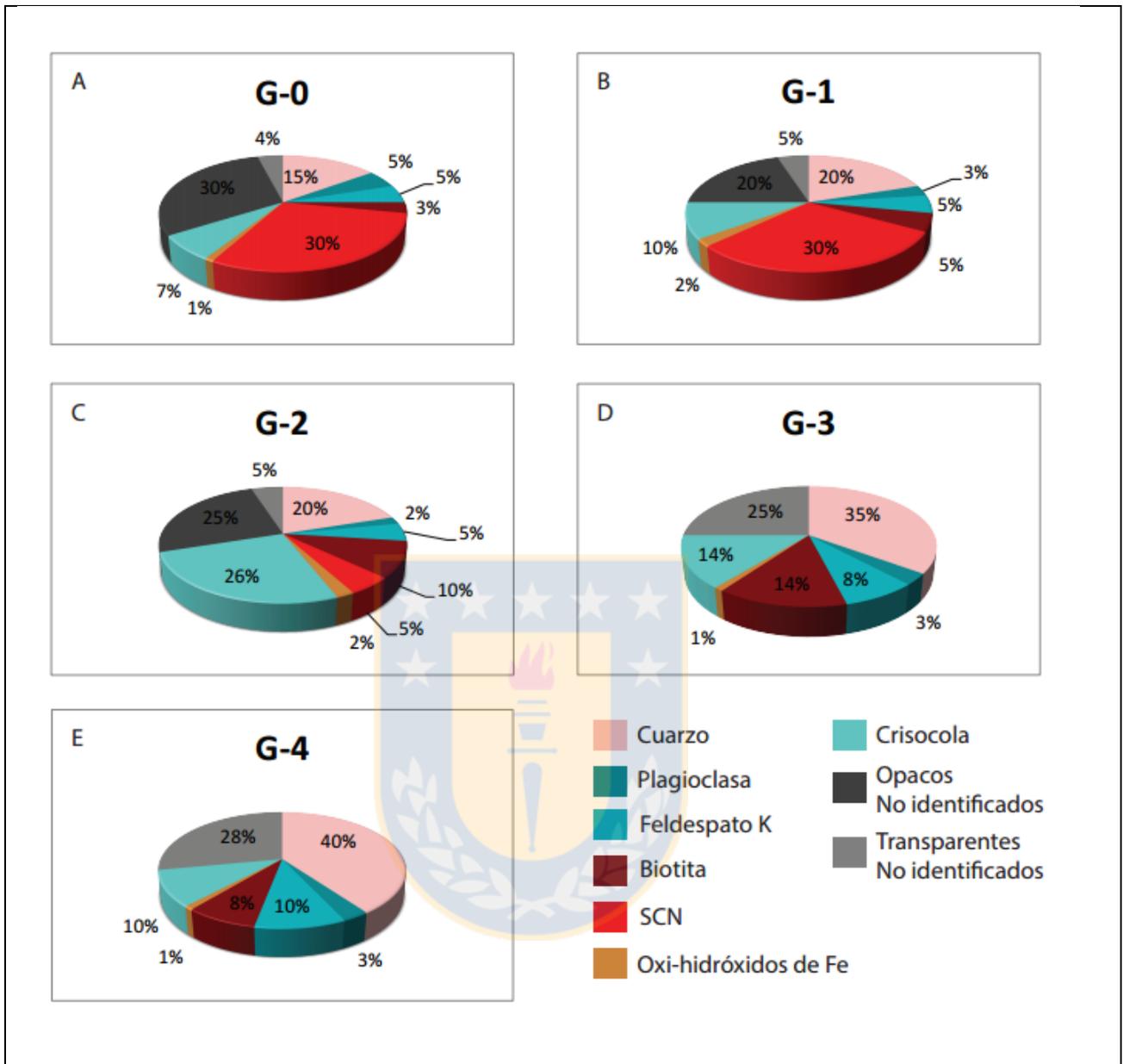
Minerales	G-0 (%)	G-1 (%)	G-2 (%)	G-3 (%)	G-4 (%)
<b>Cuarzo</b>	15	20	20	35	40
<b>Plagioclasa</b>	5	3	2	3	3
<b>Feldespato K</b>	5	5	5	8	10
<b>Crisocola</b>	7	10	26	14	10
<b>Biotita</b>	3	5	10	14	8
<b>SCN</b>	30	30	5	0	0
<b>Oxi-hidróxidos de Fe</b>	1	2	2	1	1
<b>Opacos no identificados</b>	30	20	25	0	0
<b>Transparentes no identificados</b>	4	5	5	25	28

#### 3.1.3.1 Etapa 0 (Figura 3.3A)

La muestra presenta una mineralogía formada por: cuarzo (15%), crisocola (7%), plagioclasa (5%) alterada a arcillas, feldespato potásico (5%), también alterado a arcillas y biotita (3%). Con respecto a la mineralogía metálica, se compone principalmente de silicatos de cobre negro (30%), predominando los de Mn-Cu frente a los de Mn-Fe. Una gran cantidad de la mineralogía opaca no pudo ser identificada (30%), debido a que no presentaban características observables en luz reflejada, se realizará una comparación con los resultados obtenidos por medio del QEMSCAN®. Lo último se aplica para esta y las dos etapas subsiguientes.

#### 3.1.3.2 Etapa 1 (Figura 3.3B)

No se observan grandes diferencias con respecto a la fase anterior. El cuarzo se encuentra presente en un 20% sin mostrar alteración observable de algún tipo, la crisocola (10%) tampoco tiene mayores variaciones. La plagioclasa (3%) y el feldespato potásico (5%) presentan alteración a arcillas. En algunos casos la biotita (5%) muestra una leve alteración clorítica. Los metálicos se componen principalmente de silicatos de cobre negro (30%) de Mn-Cu mayoritariamente y de Mn-Fe. Los opacos no identificados en este caso ascienden a un 20% del total de la muestra.



**Figura 3.3:** A-E, etapas 0-4 respectivamente. Porcentajes minerales en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras de Gabriela Mistral observadas con microscopio.

### 3.1.3.3 Etapa 2 (Figura 3.3C)

Similar a la etapa 1, con la diferencia que el silicato de cobre negro (5%) ahora representa una fracción mucho menor, mientras que la crisocola compone gran parte de la muestra (30%), algunas crisocolas presentan colores de interferencia menores a los típicos, cercanos del primer orden. El resto de la mineralogía consiste en cuarzo (20%), biotita (10%), feldespato potásico (5%), plagioclasa (2%) y oxihidróxidos de Fe (1%). Los opacos no identificados corresponden a un 25% del total.

#### 3.1.3.4 Etapa 3 (Figura 3.3D)

Se caracteriza por tener un contenido de silicatos igual a: cuarzo (35%), plagioclasa (3%) y feldespato potásico (8%), con estos últimos, ambos alterados a arcillas. La crisocola (14%) se observa en tonos celestes en luz transmitida y en nicoles cruzados con colores de interferencia bajos, poco característico de este mineral. La biotita (14%) presenta alteración leve a clorita. Con respecto a la mineralogía metálica, solo unos cuantos granos de oxihidróxidos de Fe fueron distinguidos. Existe un grupo de minerales no identificados (25%) similares a los descritos en la etapa 2 de Quetena. Se definen como unos cúmulos de color café, siendo difícil distinguir que especies los componen, debido al pequeño tamaño de grano que presentan.

#### 3.1.3.5 Etapa 4 (Figura 3.3E)

De características muy similares a la etapa 3. El cuarzo (40%) es el mineral dominante, sin presentar alteraciones, plagioclasa (3%) y feldespato potásico (10%) se encuentran alterados a arcillas. La crisocola (10%) sigue presentando colores de birrefringencia menor a los estándares. La biotita (8%) está en menor cantidad, mientras que los cúmulos no identificados siguen componiendo casi un cuarto de la muestra (28%).

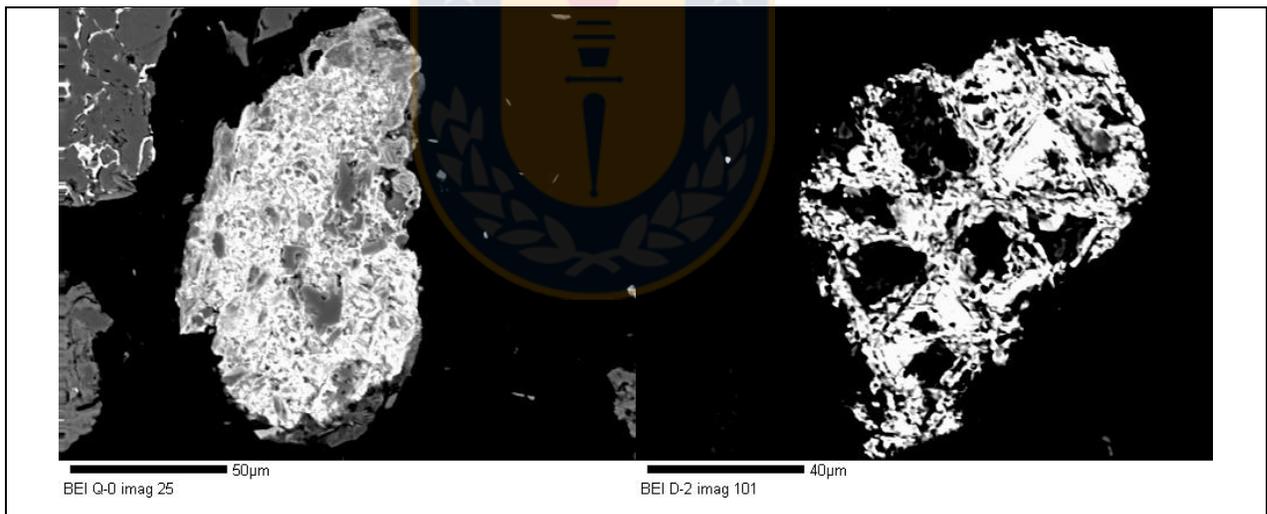
### 3.2 Microsonda Electrónica

Se realizaron mediciones con EPMA en 146 puntos a lo largo de las 15 muestras correspondientes a los 3 yacimientos y sus etapas de extracción secuencial. De estos, 22 no fueron considerados debido a errores detectados en los resultados. Estos incluyen casos en que la suma de los porcentajes era superior al 100% o menor al 50% y ocasiones en que se detectó cantidades anómalas de algún elemento (25% de Ti). Los datos obtenidos fueron clasificados en 4 categorías según la textura presentada por el mineral y por su composición, estas son: oxihidróxidos de Fe, biotitas/cloritas, aluminosilicatos y silicatos de cobre negro (Mn-Cu, Mn-Fe y Cu-Fe). Se realizó un análisis con respecto a los valores máximos y mínimos presentes en cada especie de los elementos: Cu, Mn, Fe, Si, Al, Zn, P, Mg, Ti, Na, K, Ca, Cl, S y O. Cuando fue posible, se construyeron diagramas de caja y bigotes, que permiten ver la distribución real de estos elementos, al distinguir cuando tenemos datos anómalos que salen de lo común. Además de la confección de diagramas ternarios de Cu-Fe-Mn y Cu-Si-Mn para ver los contenidos relativos de estos elementos en las distintas especies estudiadas.

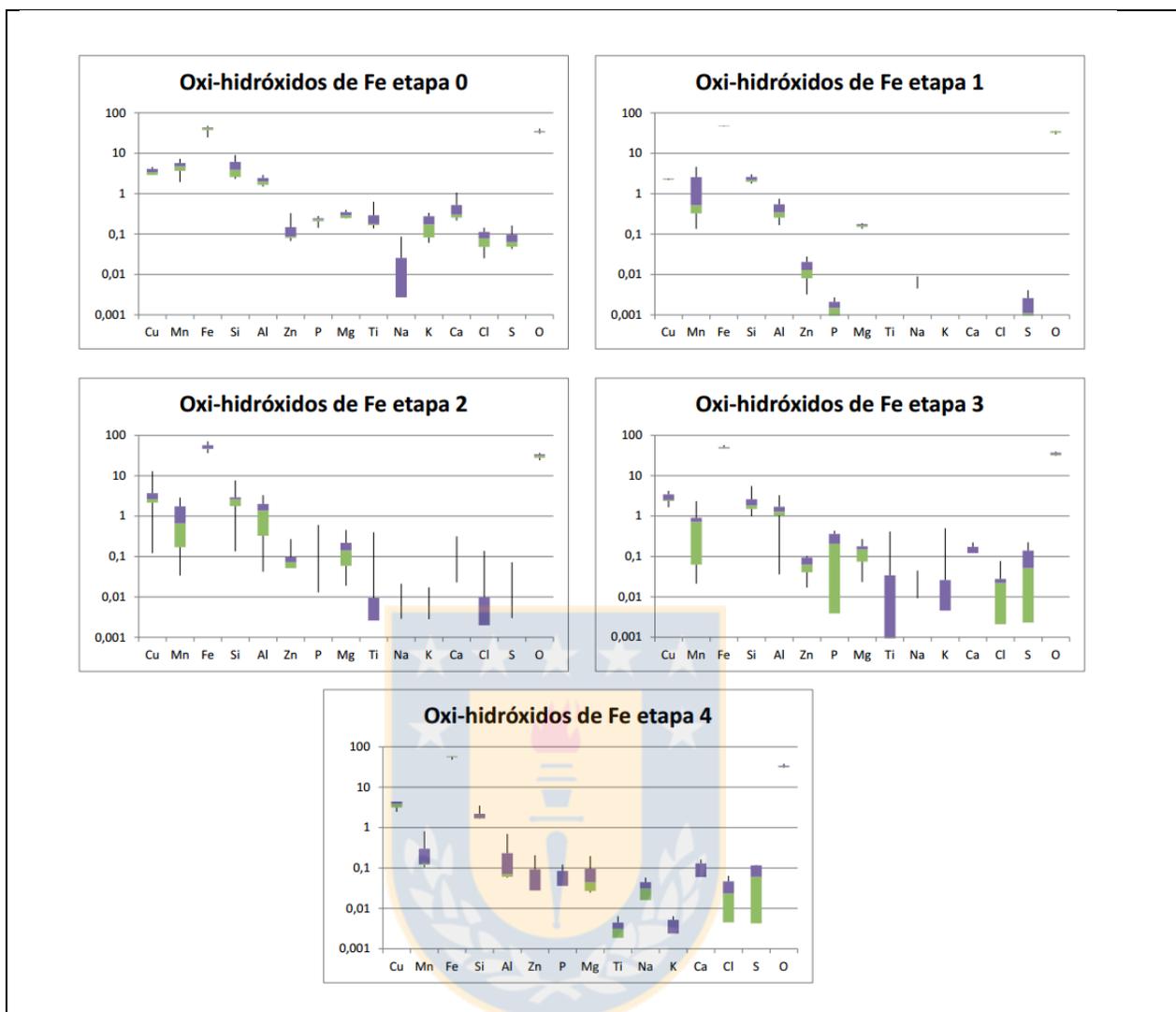
### 3.2.1 Oxi-hidróxidos de Fe

Se hicieron mediciones de estos minerales en todas las etapas (0 a 4), de las cuales se obtuvieron 34 puntos. Estos minerales se caracterizan por tener un alto contenido de Fe (sobre 25%, generalmente entre 40 y 50%), con contenidos menores de Cu y Mn, y textura fibrosa (Figura 3.4), además de diferenciarse de los SCN Mn-Fe por su mayor contenido en Fe y menor contenido de Si. No se observan grandes diferencias en la composición entre los tres yacimientos de este estudio.

En la Figura 3.5 se muestran resultados de la química de esta especie en las distintas etapas del estudio. Analizándolos, podemos ver que el contenido de Cu es bastante estable a lo largo del estudio, encontrándose la mayoría de los valores entre 2 y 4%, estabilidad compartida también por el Fe, que se compone generalmente entre el 40 y 50% de esta especie. El Mn por otro lado, de presentar entre un 2 a 7% en las etapas 0 y 1, disminuye a porcentajes menores a 3% en la etapa 2 y menores a 1% en las 3 y 4.



**Figura 3.4:** Oxi-hidróxidos de Fe observados en BSE, etapa-0, Quetena (izq.) y etapa 2, Ministro Hales (der.)



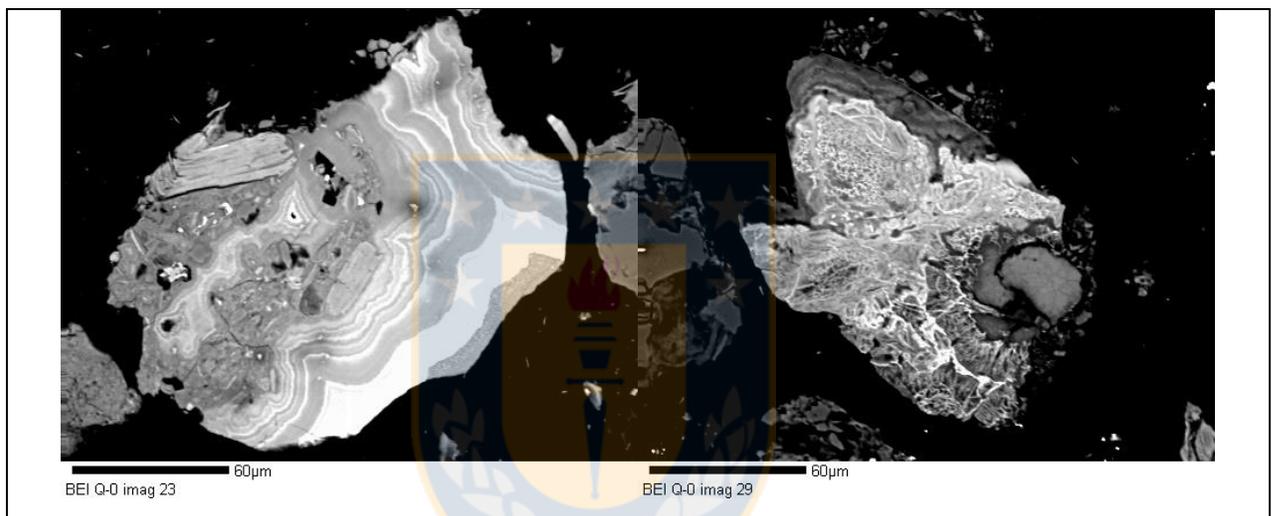
**Figura 3.5:** Química de oxi-hidróxidos de Fe en las distintas etapas del estudio

El Si se encuentra entre 1 y 3% en todas las etapas, estando excepcionalmente algunos datos fuera de este rango (mínimo: 0,1% y máximo 9,0%). El Al está en porcentajes entre 0,5% y 3% en las etapas 0 a 3, solo en la etapa 4 se observa una predominancia de valores menores a 0,7%, acercándose a 0%, predominantemente. Por otro lado, el oxígeno tiene valores que oscilan entre los 30 a 40%, no se observa una variación relacionada a las distintas etapas de la extracción secuencial.

Podemos ver que el resto de los elementos está en cantidades traza (menores a 0,1%). En estos elementos tampoco se observa algún patrón relacionado a las distintas etapas de este estudio.

### 3.2.2 Silicatos de Cobre Negro

Los SCN, como se mencionó anteriormente, se clasifican en tres categorías según su composición y textura (Figura 3.6). Mediciones con microsonda fueron realizadas principalmente en las etapas 0 y 1, correspondiendo en su mayoría a SCN Mn-Cu, solo 5 puntos fueron medidos de la variedad Mn-Fe (todos en el yacimiento Gabriela Mistral, etapas 0 y 1) y 3 puntos de la variedad SCN Fe-Cu en las etapas 2 (Gabriela Mistral) y 3 (Quetena). Considerando la poca información, debida a la baja concentración de este mineraloide desde la etapa 2 en adelante, solo se realizó un análisis composicional para las etapas 0 y 1.

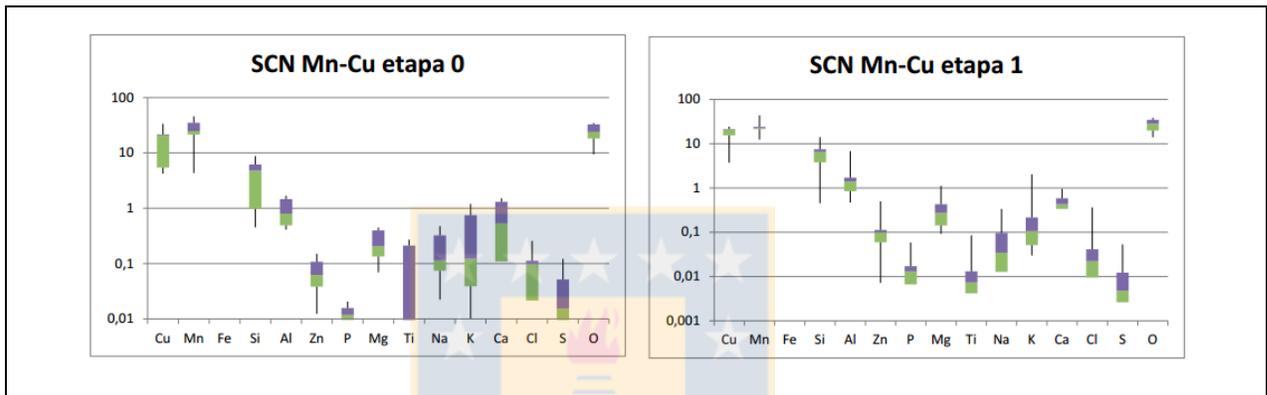


**Figura 3.6:** Diferencias texturales de SCN observados en BSE, variedad Mn-Cu, etapa-0, Quetena (izq.) y variedad Mn-Fe etapa 1, Gabriela Mistral (der.)

Los resultados obtenidos con microsonda indican que los SCN están compuestos principalmente por Cu, Mn, Si y O, con cantidades menores de Fe (en la variedad Mn-Fe) y Al, además de presentar trazas de Zn, P, Mg, Ti, Na, K, Ca, Cl y S. Al comparar los SCN Mn-Cu de los tres yacimientos, se observaron algunas diferencias composicionales. Las muestras de Gabriela Mistral y Ministro Hales resultaron ser similares en su contenido de Cu, Mn y Si, que oscila entre los 18-25%, 17-25% y 3-8% respectivamente, mientras que los SCN Mn-Cu descritos en Quetena, tienen valores de Cu entre 3-6%, Mn 33-45% y Si menor a 1,5% (Anexo N°1). Esta comparación no se pudo realizar para los SCN Mn-Fe al solo tener mediciones en Gabriela Mistral.

El menor contenido de Cu en las muestras de Quetena explica por qué QEMSCAN identificó gran parte de este mineraloide como criptomelano, caso que ocurrió de manera marcada en las muestras de este yacimiento.

La Figura 3.7 permite hacer una comparación entre el estado composicional del SCN Mn-Cu entre la etapa 0 y 1. En ella, observamos que los valores de los elementos se encuentran dentro de rangos similares en ambas etapas, por lo que no habría una variación en su composición en la primera etapa de extracción secuencial.

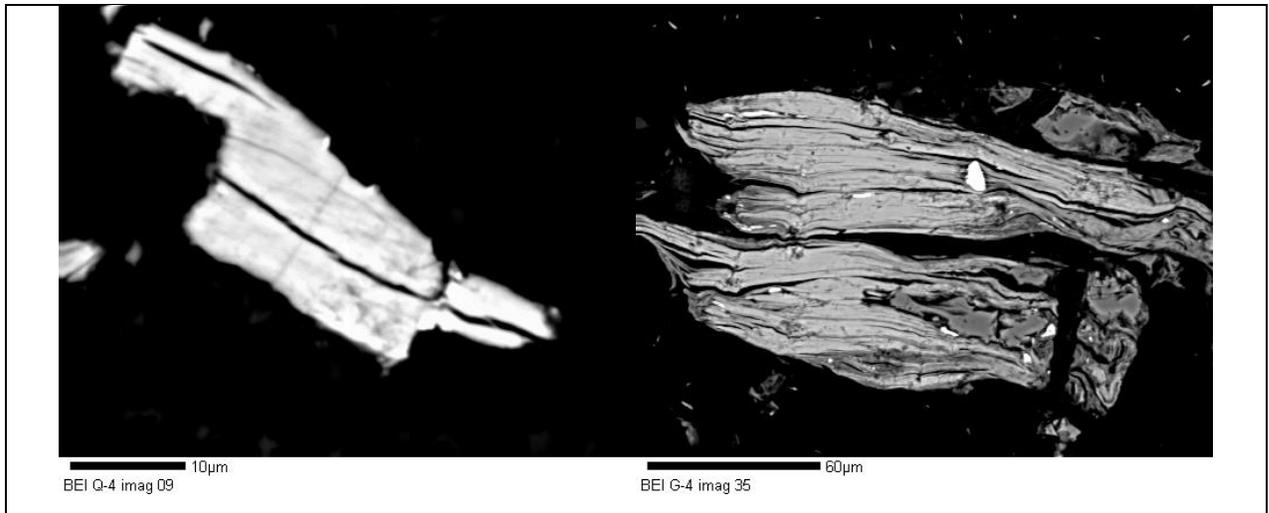


**Figura 3.7:** Química SCN Mn-Cu en etapas 0 y 1.

### 3.2.3 Biotitas/cloritas

Las biotitas medidas con microsonda son de los yacimientos Gabriela Mistral (11 puntos) y Quetena (8 puntos). La mayoría de las biotitas al ser observadas con microscopio presentaban una cloritización de pervasiva a incipiente (Figura 3.8). Es por eso que en esta parte del trabajo, se consideran ambos minerales juntos.

En las etapas 0 y 1 debido a la falta de datos no se construyó un gráfico de caja y bigotes, en la Tabla 3.4 se presentan los datos sobre la composición de las muestras identificadas como biotitas/cloritas. Se distinguen diferencias en el porcentaje de Al y Mg en las distintas etapas, aunque podría deberse también a diferencias mineralógicas en los distintos yacimientos, pero se recomienda una mayor cantidad de datos en el futuro para poder determinar el origen de estos cambios.



**Figura 3.8:** Biotitas observadas en BSE, etapa 4, Quetena (izq.) y Gabriela Mistral (der.)

**Tabla 3.4:** Química biotitas/cloritas en primeras etapas

	Cu	Mn	Fe	Si	Al	Zn	Mg	Ca	O
<b>Q-0 pto 38</b>	6,4	3,5	6,9	14,4	6,3	0,3	6,9	0,2	38,3
<b>Q-0 pto 41</b>	2,6	0,2	9,3	17,0	6,3	0,3	8,2	0,1	41,0
<b>G-1 pto 47</b>	1,3	0,8	2,2	20,2	15,1	0,1	0,8	0,1	44,2
<b>G-1 pto 48</b>	2,3	0,2	1,7	21,6	15,3	0,1	0,7	0,1	41,7

La química de las etapas siguientes está resumida en la Figura 3.9, donde vemos que el contenido de los componentes mayoritarios es similar en las etapas 2 y 3. En la etapa 4, podemos identificar un aumento en el rango de los valores de Cu, que van desde 1 a 8% aproximadamente.

Por otro lado, los elementos con porcentajes menores a un 1%, tienen variaciones entre etapas, pero al estar en tan pequeñas cantidades, solo son observables al proyectarlas en un gráfico logarítmico.

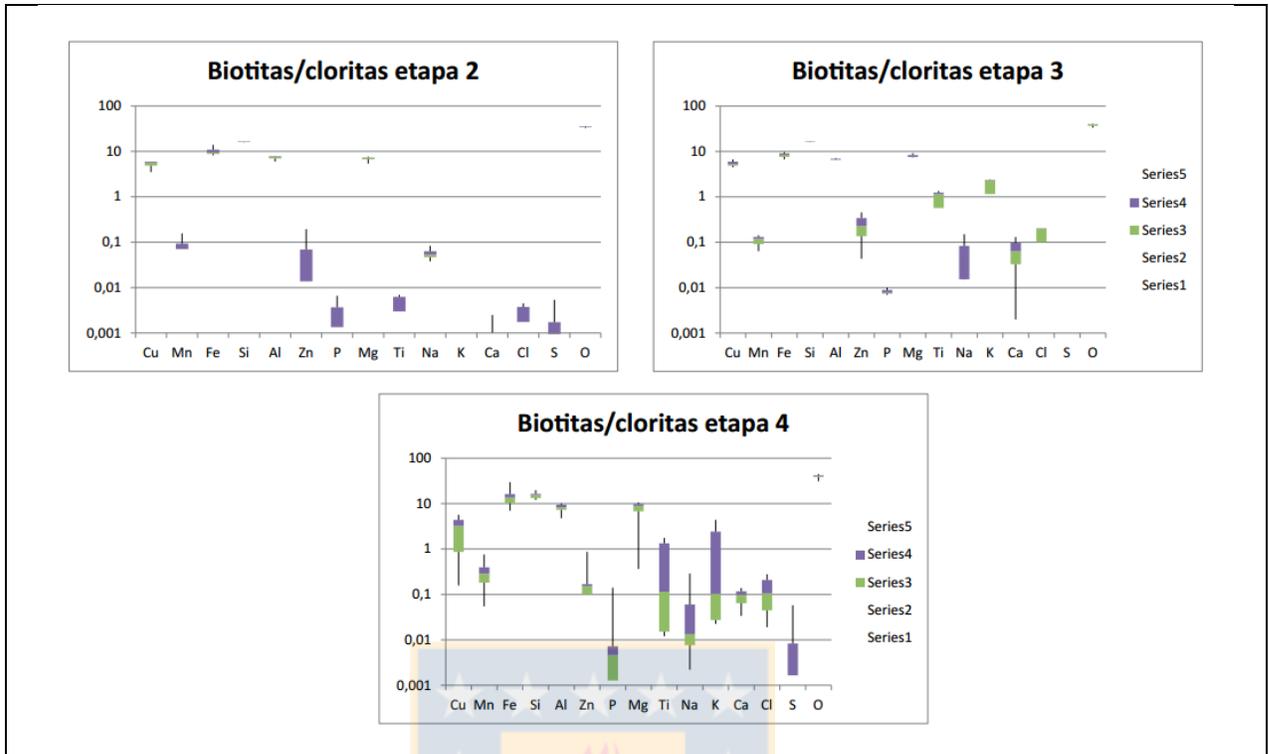
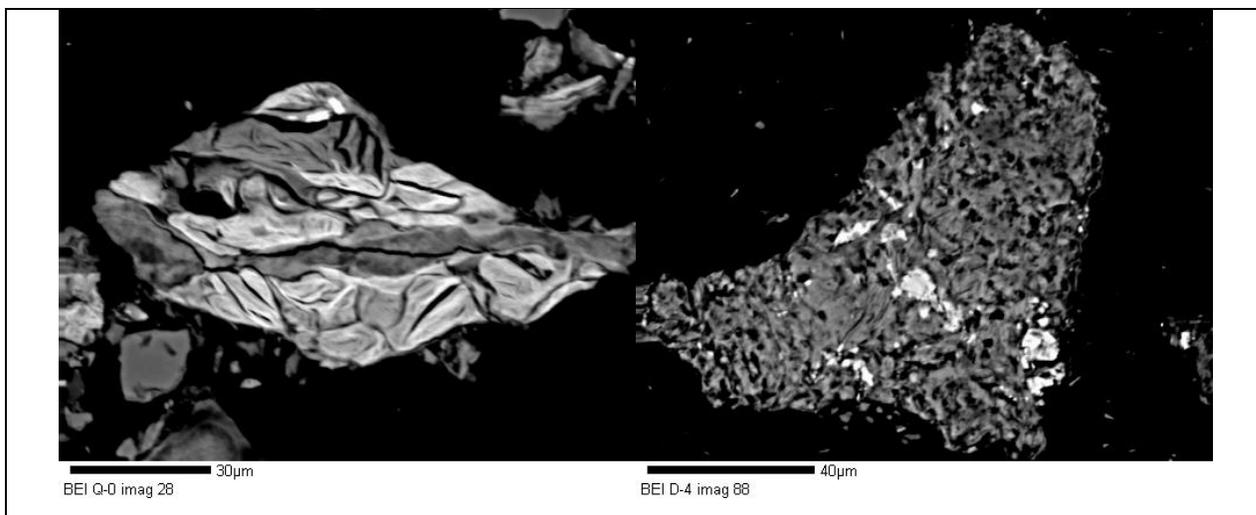


Figura 3.9: Química biotitas/cloritas en etapas 2, 3 y 4.

### 3.2.4 Aluminosilicatos

Se consideró como aluminosilicatos a minerales compuesto principalmente por Al, Si, Fe y Mg, que en luz transmitida correspondían a los llamados “cúmulos” de minerales, de color café a oscuro, con características difíciles de determinar (debido al carácter criptocristalino de los minerales) y otras veces, de forma similar a una mica, pero sin poder determinar si correspondían a biotitas, cloritas o moscovitas (Figura 3.10), debido al pequeño tamaño de los cristales.

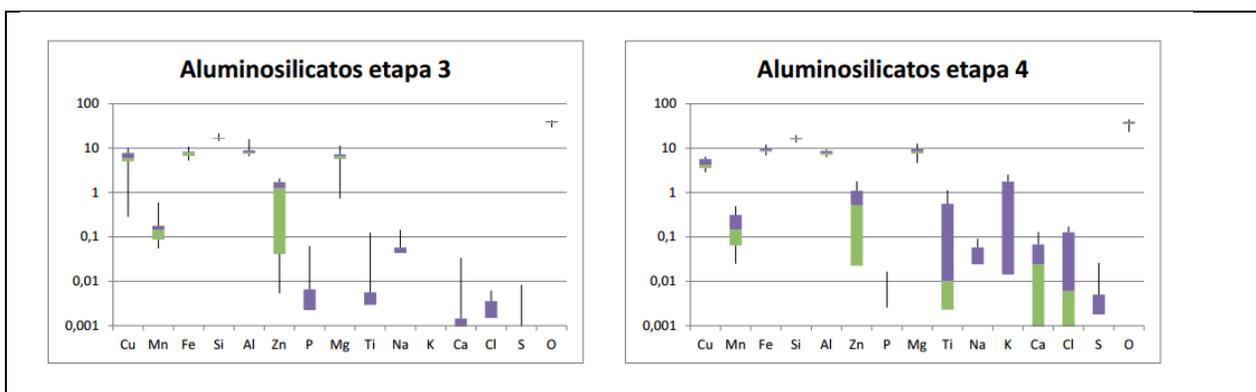
De esta categoría de minerales se tienen solo 2 puntos en la etapa inicial, 1 punto en la etapa 1 y 2 puntos en la etapa 2, por lo que no se realizó gráfico de caja y bigotes para estas etapas, pero sí para las subsiguientes. Con respecto a los 5 datos de las primeras etapas (Tabla 3.5), 4 de ellos son de Ministro Hales y 1 de Gabriela Mistral, vemos que todos poseen Cu en su estructura con concentraciones entre 5-13%, Mn entre 0,3-16%, Fe 3-12%, Si 10-14%, Al 4-10%, Zn 0,1-1,6%, Mg 0,3-10%, Ca 0,1-1,2% y O 32%-43%. Existen marcados extremos en Mn, Fe y Mg, aunque los demás elementos tienen diferencias, no son tan extremas como en estos tres.



**Figura 3.10:** Aluminosilicatos observados en BSE, etapa 1, Gabriela Mistral (izq.) y etapa 4, Ministro Hales (der.)

**Tabla 3.5:** Química aluminosilicatos en etapas 0, 1 y 2

	Cu	Mn	Fe	Si	Al	Zn	Mg	Ca	O
<b>D-0 pto 135</b>	6,0	0,5	12,5	12,3	8,4	1,3	8,3	0,1	42,2
<b>D-0 pto 136</b>	13,5	16,7	1,1	10,5	5,0	0,1	0,8	1,2	37,1
<b>G-1 pto 44</b>	12,3	12,2	3,5	11,9	4,2	0,1	0,3	1,2	32,6
<b>D-2 pto 120</b>	5,4	0,3	10,2	13,4	9,9	1,6	9,2	0,1	40,8
<b>D-2 pto 121</b>	6,7	0,4	8,3	12,7	8,5	1,4	10,2	0,1	42,8



**Figura 3.11:** Química aluminosilicatos en etapas 3 y 4.

En las etapas 3 y 4, donde se observa un aumento de minerales catalogados de esta manera, se realizaron 24 medidas (Figura 3.11).

En la etapa 3 y 4 los aluminosilicatos presentan composición similar a los puntos medidos en las etapas anteriores, con la diferencia que el Mn se encuentra en toda ocasión cercano a 0,1%.

### **3.3 Concentraciones relativas de Si, Cu, Mn y Fe en diagramas ternarios**

Los diagrama ternarios Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn agrupan los elementos principales de los minerales identificados (Figuras 3.12, 3.13 y 3.14). Además se integra información que entrega la etapa a la que corresponde la medición: etapa 0 (azul), etapa 1 (verde), etapa 2 (rojo), etapa 3 (morado) y etapa 4 (negro).

Se muestran campos acotados para los SCN en Ministro Hales y Quetena, existiendo una predominancia relativa de Cu-Mn sobre Si y Fe en el primero, y un dominio del Mn en el segundo. Los SCN en Gabriela Mistral se encuentran más dispersos, pero ubicados en una zona que indica también indica una mayoría relativa de Cu-Mn.

Los oxi-hidróxidos de Fe de los tres yacimientos tienen un marcado dominio del Fe en comparación con el Mn y el Cu. Al observar el triángulo Cu-Mn-Si, vemos que en el caso de Quetena, el campo de estos minerales se encuentra mayormente en la parte central, lo que indica que existe un mayor contenido de Mn que para los otros dos casos.

Los aluminosilicatos y las biotitas/cloritas se distribuyen principalmente en las líneas Cu-Fe y Si-Cu, con tendencia a un mayor contenido de Fe (Ministro Hales y Quetena) y Si (los tres yacimientos). El contenido de Mn es bajo en todas las mediciones hechas sobre este mineral.

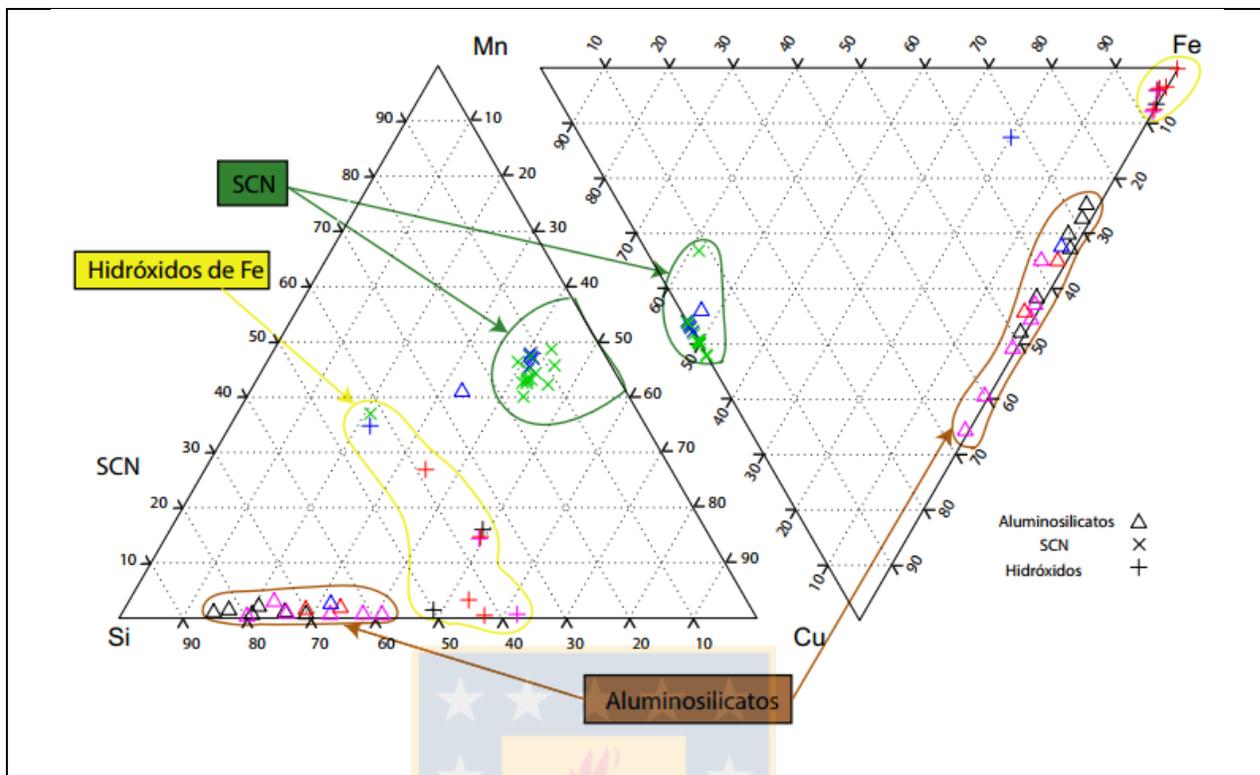


Figura 3.12: Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn para SCN, Oxi-Hidróxidos de Fe y aluminosilicates en Ministro Hales.

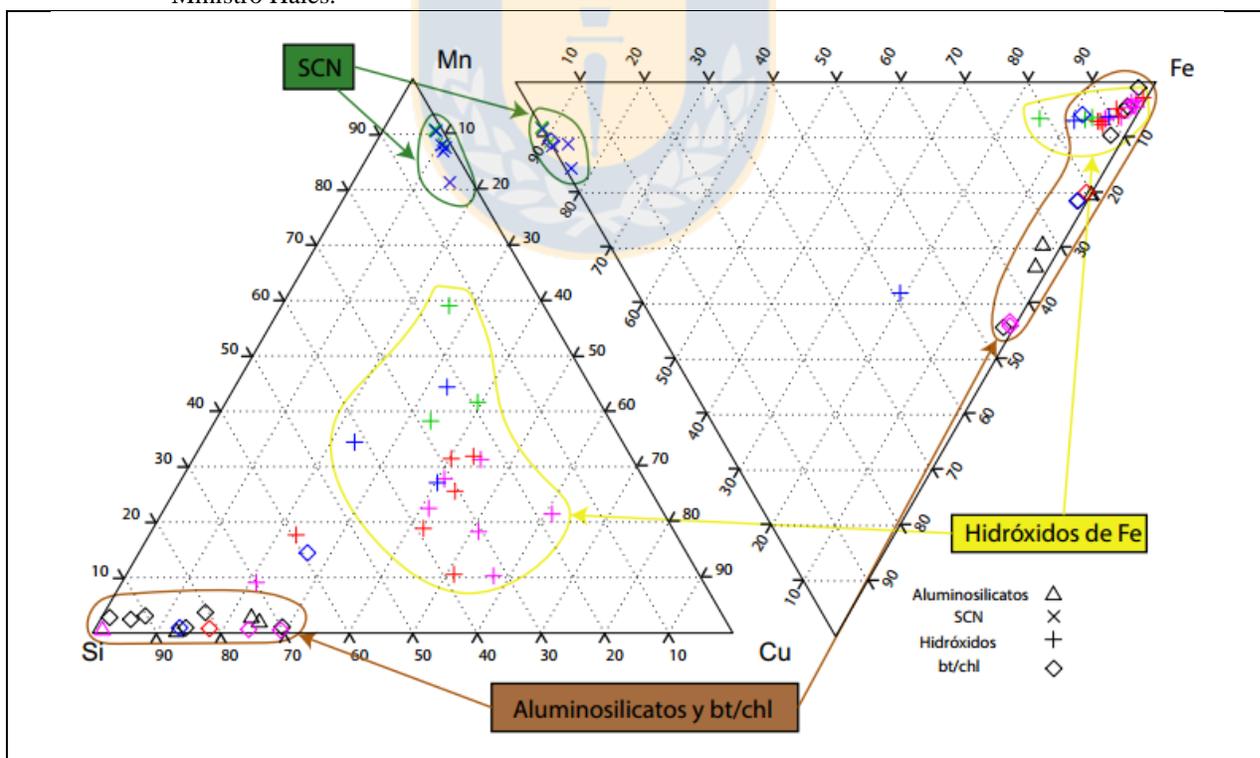
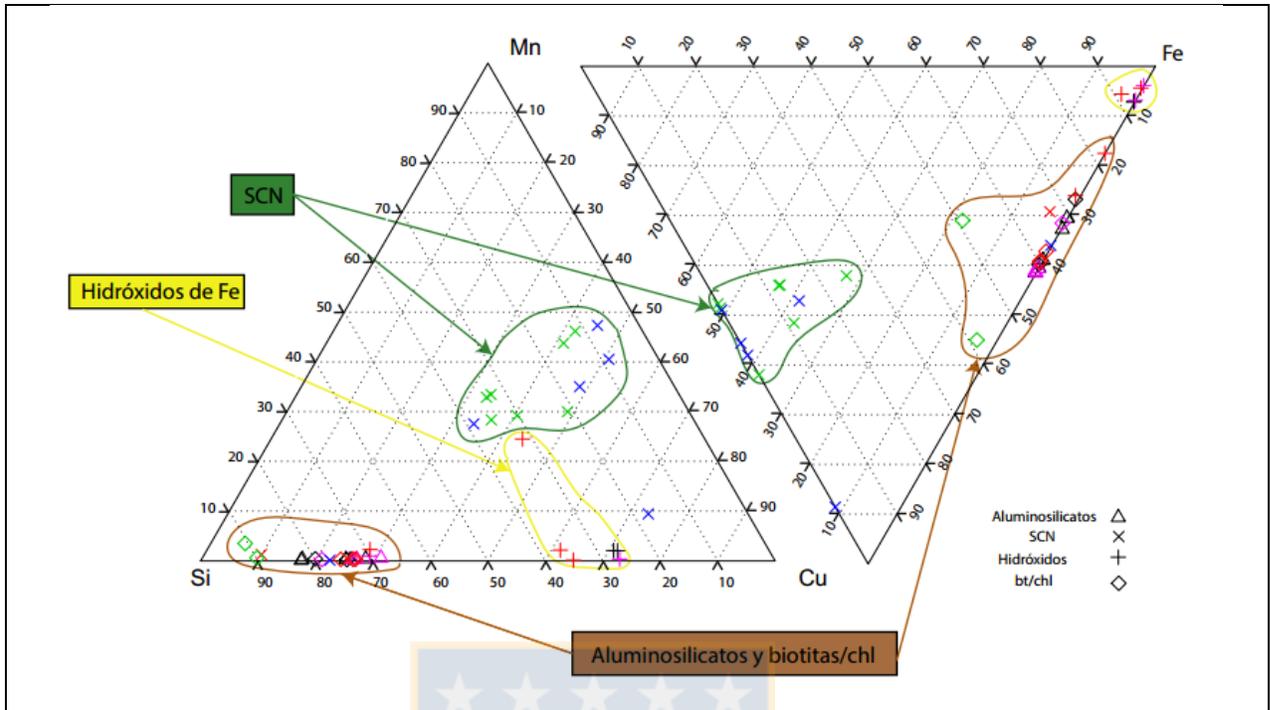


Figura 3.13: Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn para SCN, Oxi-Hidróxidos de Fe, biotitas/cloritas y aluminosilicates en Quetena.



**Figura 3.14:** Diagrama ternario Si-Cu-Mn y Cu-Fe-Mn para SCN, Oxi-Hidróxidos de Fe, biotitas/cloritas y aluminosilicatos en Gabriela Mistral.

### 3.4 Leyes de Cu, Fe y Mn, total y soluble

En la Tabla 3.6 se pueden ver los resultados de Cu, Fe y Mn, total y soluble de los tres yacimientos. Gabriela Mistral presenta el mayor contenido de Cu, seguido por Ministro Hales y Quetena. Se destaca que de los tres elementos medidos, el Cu es el único que tiene un porcentaje soluble cercano al total, mientras que el Fe y Mn, presentan solo una pequeña porción soluble en comparación.

**Tabla 3.6:** Cu, Fe y Mn (total y soluble).

	%Cu(t)	%Cu(s)	%Fe(t)	%Fe(s)	%Mn(t)	%Mn(s)
<b>Ministro Hales</b>	4,52	4,33	3,76	0,13	4,54	0,35
<b>Quetena</b>	1,05	0,43	4,00	0,11	3,81	0,25
<b>Gabriela Mistral</b>	8,29	8,01	1,56	0,13	3,77	0,11

La Tabla 3.7 y la Figura 3.11 muestran los porcentajes de Cu, Fe y Mn extraído en las distintas etapas. En los tres yacimientos se observa un aumento en el Cu recuperado en la etapa 2 en comparación con la 1. En las etapas posteriores, en Ministro Hales y Gabriela Mistral existe una disminución moderada en la etapa 3, que se hace más fuerte en la 4 y luego un posterior aumento en la etapa final. Por otro lado, Quetena tiene porcentajes iniciales de Cu menores a los de los demás yacimientos, pero con variaciones en la recuperación similares a estos. El Cu llega hasta 0,03 y 0,02% en las etapas 3 y 4 respectivamente, para tener un posterior aumento en la etapa 4 donde la extracción llega a valores similares a los que se tenían en la etapa 1.

El Fe y el Mn muestran tendencias similares en los tres casos de estudio, en donde el Fe tiene su recuperación más alta en la etapa 5, mientras que el Mn, lo hace en la etapa 3.

**Tabla 3.7:** Extracción de Cu, Fe y Mn total para las distintas etapas de la extracción secuencial.

Muestra	%Cu	%Fe	%Mn	Muestra	%Cu	%Fe	%Mn	Muestra	%Cu	%Fe	%Mn
<b>DMH-1</b>	0,43	0,00	0,02	<b>Q-1</b>	0,14	0,00	0,01	<b>G-1</b>	1,00	0,00	0,01
<b>DMH-2</b>	2,65	0,06	3,48	<b>Q-2</b>	0,38	0,26	3,06	<b>G-2</b>	2,85	0,10	3,46
<b>DMH-3</b>	0,44	0,03	0,15	<b>Q-3</b>	0,03	0,10	0,14	<b>G-3</b>	1,65	0,03	0,17
<b>DMH-4</b>	0,19	0,31	0,01	<b>Q-4</b>	0,02	0,11	0,01	<b>G-4</b>	0,07	0,03	0,00
<b>DMH-5</b>	0,24	2,96	0,06	<b>Q-5</b>	0,37	3,16	0,04	<b>G-5</b>	0,11	1,33	0,00
<b>Total</b>	<b>3,96</b>	<b>3,36</b>	<b>3,72</b>	<b>Total</b>	<b>0,94</b>	<b>3,64</b>	<b>3,27</b>	<b>Total</b>	<b>5,68</b>	<b>1,48</b>	<b>3,65</b>

## 4. MINERALOGÍA AUTOMATIZADA DE LAS DISTINTAS ETAPAS DE EXTRACCIÓN SECUENCIAL

### 4.1 QEMSCAN®

El modo operacional *Particle Mineral Analysis* (PMA), permite determinar las distintas especies minerales presentes en las muestras y en qué porcentaje en peso se encuentran. Además del grado de liberación de las partículas y las asociaciones minerales entre las distintas especies.

#### 4.1.1 Validación de la información

Comparando los datos obtenidos con QEMSCAN® y las observaciones realizadas con el microscopio, se identifica la presencia de minerales que no fueron descritos anteriormente. La diferencia de exactitud de estos métodos provoca que en algunos casos exista una variación de hasta un 5% en algunos minerales, desigualdad que era esperable considerando las dificultades que se presentaron en la descripción macroscópica debido mal estado de algunas muestras y la precisión del método QEMSCAN®.

Con respecto a los siguientes datos presentados, se debe hacer presente que se trabajó con dos decimales, por lo que en los casos en que se indican porcentajes iguales a cero, no significa exclusivamente que el mineral esté ausente en esa etapa, sino que su concentración es menor a 0,01% en peso.

##### 4.1.1.1 Ministro Hales (Tabla 4.1 y Figura 4.1)

Minerales no observados con microscopía pero si con QEMSCAN® son: crisocola (etapas 0, 1 y 2), criptomelano (etapas 0 y 1), Cu-clorita (todas las etapas), Cu-moscovita (etapa 0,1 y 2), Cu-arcilla (etapas 0,1 y 2), piroxenos (todas las etapas) y fosfatos (todas las etapas). Todos ellos presentes en cantidades menores a 1%.

Con respecto a los SCN, vemos que las tres variedades son identificadas por este método, predominando las de Mn-Fe y las de Mn-Cu sobre la de Fe-Cu. La reacción de estos mineraloides en las distintas etapas de extracción secuencial es variable, las dos primeras variedades disminuyen su concentración de 38,87% (SCN Mn-Cu) y 1,79% (SCN Mn-Fe) en la etapa 1 a un 0,01% en la etapa 2, para llegar a 0% en la etapa 3 y 4. Por otro lado, la variedad de Fe-Cu está

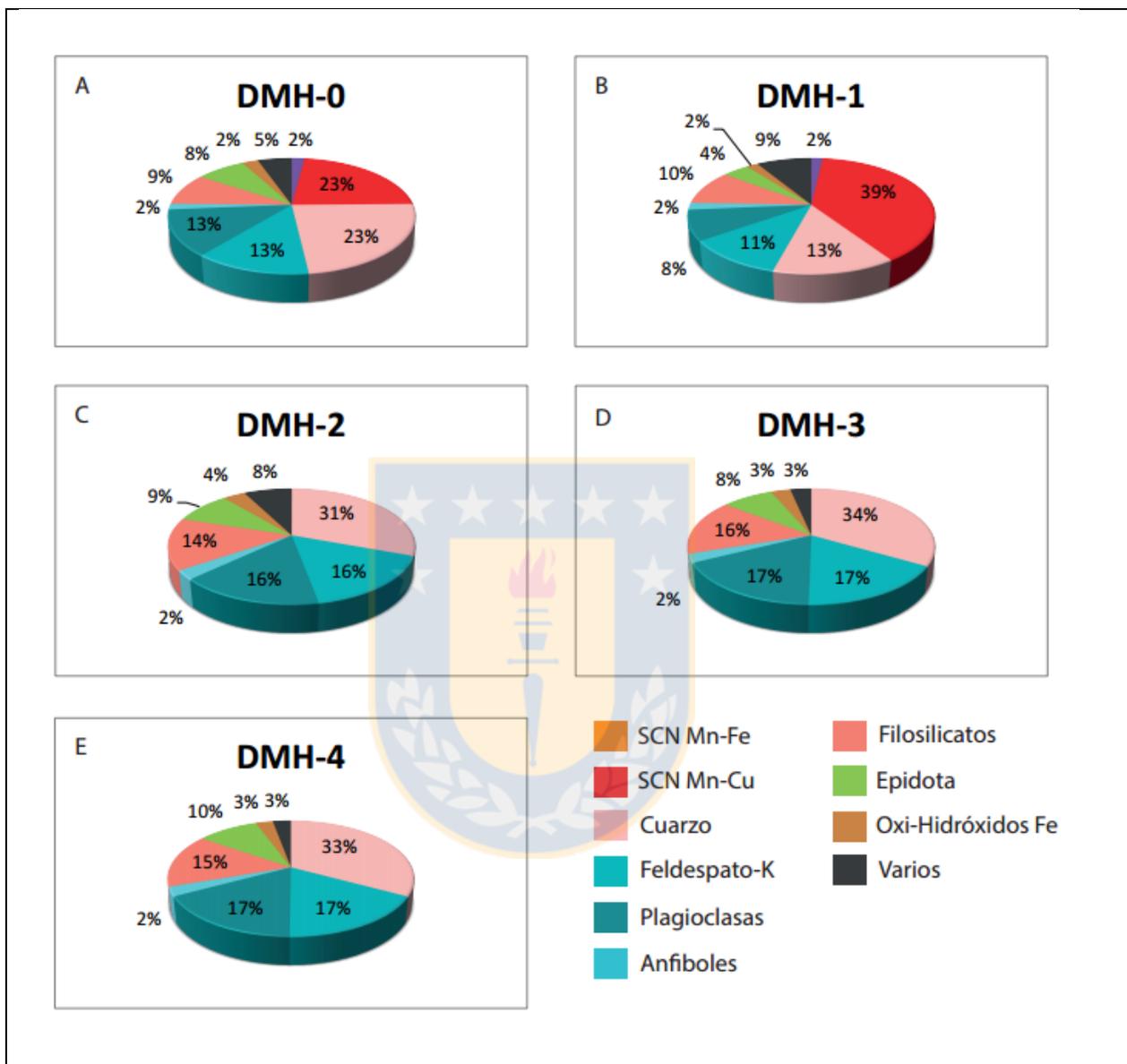
presente en todas las etapas, con un porcentaje en peso menor al 1%. El criptomelano, pasa de un 2,04% en la etapa 1 a un 0,01% para el resto de las etapas (2,3 y 4), similar a lo descrito en las dos variedades de SCN predominantes en las muestras de este yacimiento. Este mineral, corresponde a una fase de hidróxido de Mn, reportada como SCN Mn-Cu al microscopio, pero identificado como criptomelano por QEMSCAN® cuando su contenido de Cu es menor al 3%, debido a que el detector no es capaz de cuantificar valores tan pequeños.

**Tabla 4.1:** Resultados QEMSCAN® muestras Ministro Hales

Mineral	DMH-0 (%)	DMH-1 (%)	DMH-2 (%)	DMH-3 (%)	DMH-4 (%)
<b>Crisocola</b>	0,28	0,54	0,91	< 0,01	< 0,01
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,73	0,55	0,93	0,16	0,06
<b>SCN Mn-Fe</b>	2,04	1,79	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>SCN Mn-Cu</b>	22,70	38,87	0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Criptomelano</b>	0,66	2,04	0,01	0,01	0,01
<b>Cu-Clorita</b>	0,78	0,71	0,98	0,65	0,45
<b>Cu-Moscovita</b>	0,24	0,18	0,36	0,01	0,01
<b>Cu-Biotita</b>	0,75	0,55	1,23	0,54	0,29
<b>Cu-Arcilla</b>	0,55	0,55	1,19	0,01	0,01
<b>Cuarzo</b>	23,43	13,50	30,63	33,42	32,92
<b>Feldespato-K</b>	12,76	11,04	16,44	16,87	17,20
<b>Plagioclasas</b>	12,76	8,43	15,85	17,24	17,01
<b>Piroxenos</b>	0,32	0,26	0,56	0,82	0,88
<b>Anfíboles (hornblenda)</b>	1,62	1,96	2,53	2,42	2,57
<b>Filosilicatos</b>	9,06	9,76	14,48	15,55	15,02
<b>Epidota</b>	7,73	4,16	8,95	8,07	9,68
<b>Esfeno</b>	0,49	0,34	0,63	0,63	0,69
<b>Sulfatos</b>	0,11	1,85	0,26	0,13	0,21
<b>Fosfatos</b>	0,25	0,13	0,23	0,18	0,16
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	2,53	1,81	3,54	3,11	2,73
<b>Otros</b>	0,21	0,98	0,27	0,18	0,10

La crisocola está presente hasta la etapa 2 (0,91%), para luego desaparecer en la etapa 3 y 4. La Cu-moscovita y Cu-arcilla tienen un comportamiento similar, estando en la etapa 2 con un 0,36% y un 1,19% respectivamente, mientras que en las subsiguientes fases solo se detectan en un

0,01%. A diferencia de estas, la Cu-clorita y Cu-biotita no sufren mayores variaciones a lo largo de las distintas etapas, aunque con una pequeña disminución en la etapa 4.



**Figura 4.1:** A-E, etapas 0-4 respectivamente. Porcentajes minerales determinados por QEMSCAN® en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras Ministro Hales.

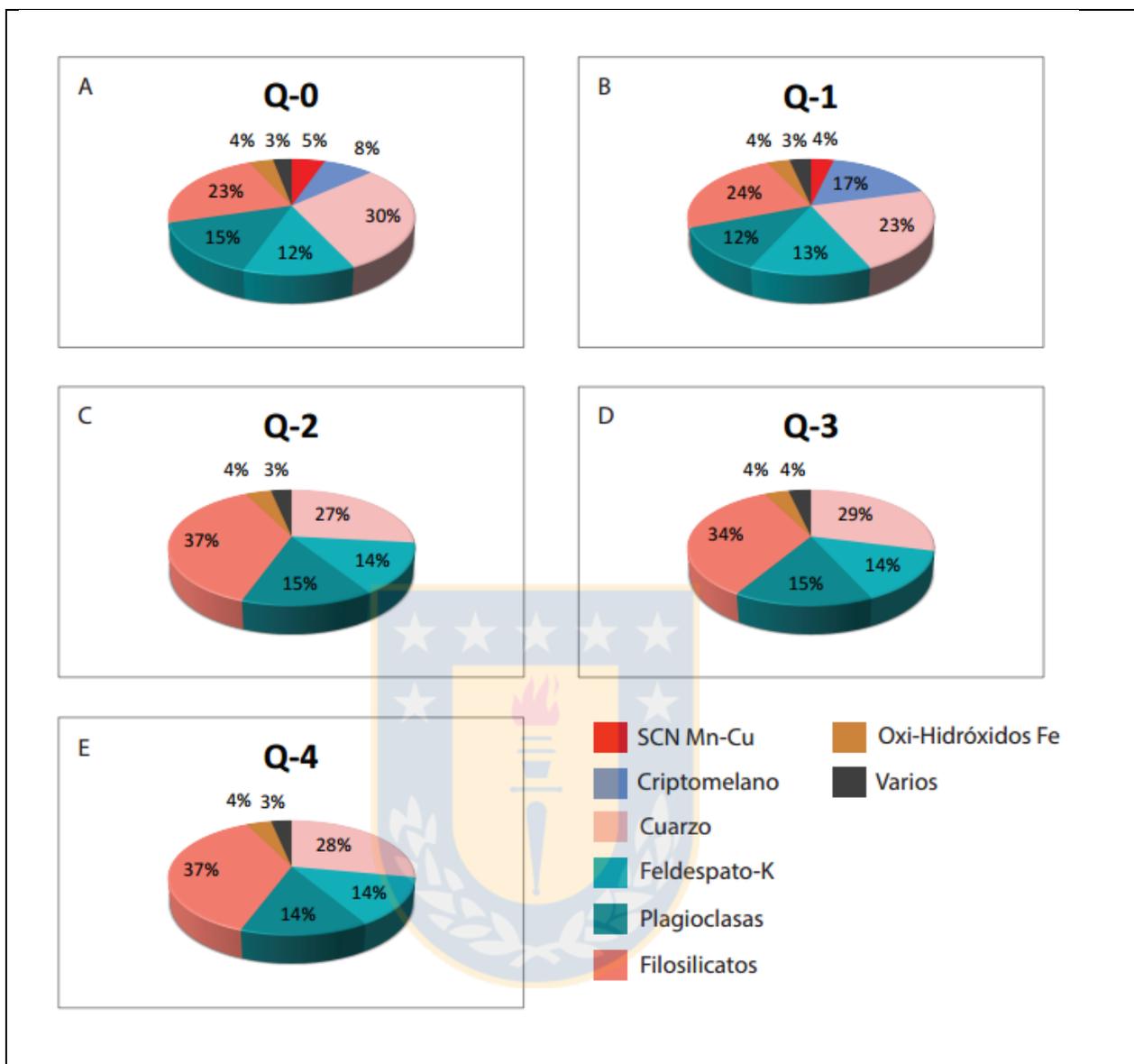
El resto de los minerales no presenta cambios significativos, aumentan su concentración cuando alguna otra especie desaparece, por ejemplo el cuarzo pasa de 13,50% en la etapa 1 a 30,63% en la etapa 2, esto debido a la disminución de los SCN, y a que los valores están referidos en forma porcentual. Aquellas variaciones se observan con mayor claridad en la figura 3.4.

## 4.1.1.2 Quetena (Tabla 4.2 y Figura 4.2)

QEMSCAN® reconoció siete minerales que no fueron descritos en la observación con el microscopio: criptomelano, Cu-clorita, Cu-biotita, piroxenos, epidota, sulfatos y fosfatos (todos presentes en todas las etapas, excepto el criptomelano, detectado únicamente en las etapas 0 y 1). Respecto a los filosilicatos portadores de Cu estos fueron individualizados como sericita, cloritas o biotitas al microscopio.

**Tabla 4.2** Resultados QEMSCAN® muestras Quetena

Mineral	Q-0 (%)	Q-1 (%)	Q-2 (%)	Q-3 (%)	Q-4 (%)
SCN Fe-Cu	0,20	0,16	0,26	0,28	0,14
SCN Mn-Fe	0,20	0,18	< 0,01	< 0,01	0,01
SCN Mn-Cu	5,26	3,61	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Criptomelano	7,96	17,00	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Cu-Clorita	0,24	0,22	0,29	0,26	0,30
Cu-Biotita	0,60	0,43	0,67	0,74	0,53
Cuarzo	29,81	22,76	26,71	28,98	27,95
Feldespatos-K	12,29	13,40	14,28	14,25	13,56
Plagioclasa	14,98	12,19	14,48	15,34	14,10
Piroxenos	0,28	0,25	0,38	0,32	0,33
Anfiboles (hornblenda)	0,19	0,18	0,32	0,36	0,44
Filosilicatos	22,91	24,05	37,10	33,95	37,18
Epidota	0,73	0,73	0,95	0,94	1,02
Sulfatos	0,04	0,68	0,03	0,17	0,04
Fosfatos	0,18	0,16	0,14	0,19	0,08
Oxi-Hidróxidos de Fe	3,85	3,58	4,16	3,91	3,97
Otros	0,28	0,42	0,23	0,31	0,35



**Figura 4.2:** A-E, etapas 0-4 respectivamente. Porcentajes minerales determinados por QEMSCAN® en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras de Quetena.

Los SCN se comportan de manera similar a lo visto en las muestras de Ministro Hales, la variedad de Mn-Cu predomina en la etapa 0 (5,26%) y en la etapa 1 (3,61%), pero de la 2 en adelante ya no se detecta. El SCN de Mn-Fe, de la misma manera, está presente en la etapa 0 (0,20%) y la 1 (0,18%) pero ausente en las restantes. El criptomelano solo se reconoce en la etapa 0 (7,96%) y la 1 (17%). Por otro lado, el SCN de Fe-Cu está presente en todas las fases en pequeñas cantidades, presentando solo variaciones pequeñas en su contenido. Minerales portadores de Cu como la Cu-clorita y Cu-biotita se encuentran en todas las etapas sin mayores diferencias entre

ambas. De igual manera, el resto de los minerales no presenta mayores variaciones, excepto los filosilicatos que pasan de un 22,91% en la etapa inicial a un 37,18% en la etapa final.

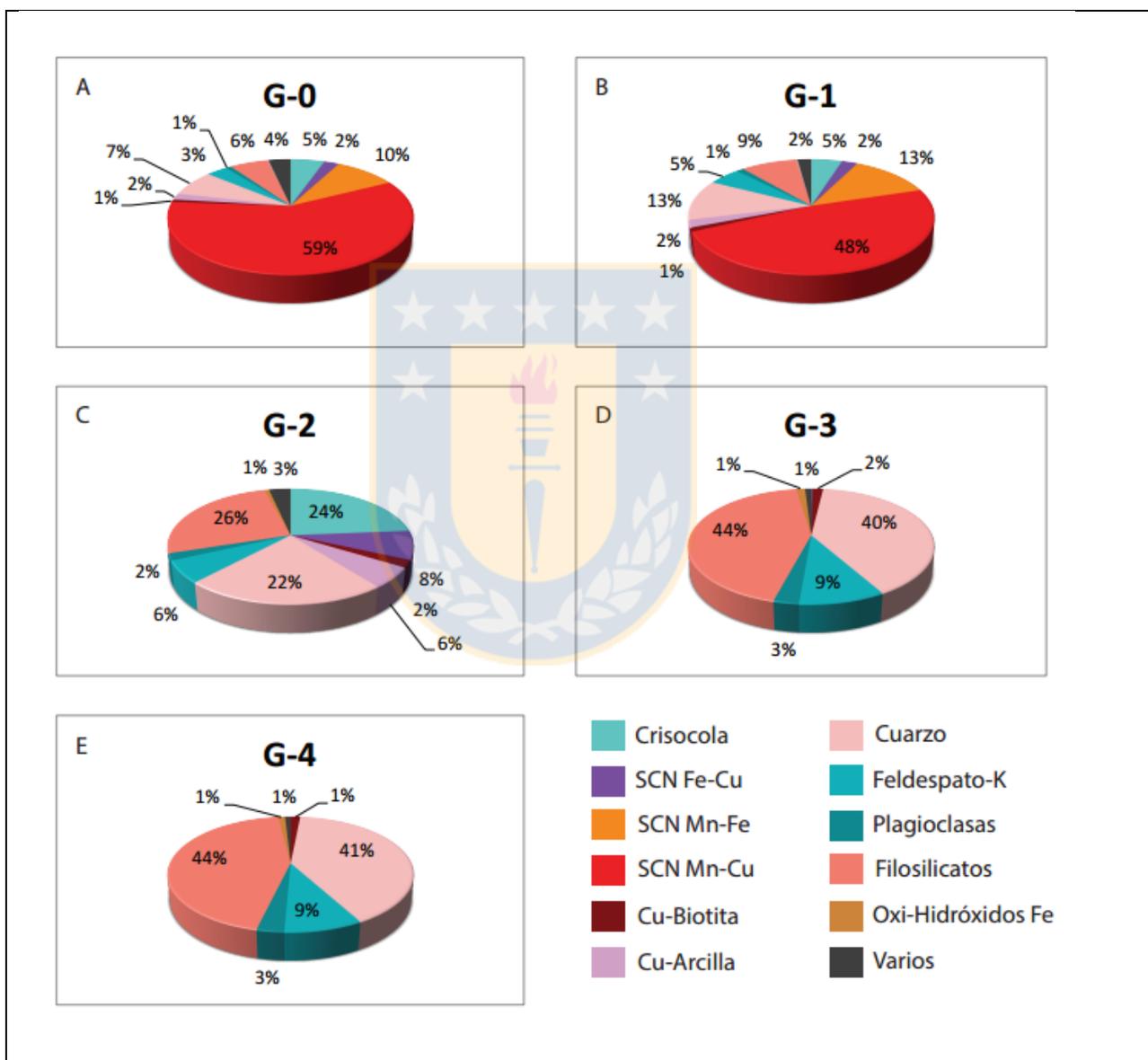
#### 4.1.1.3 Gabriela Mistral (Tabla 4.3 y Figura 4.3)

Hay cinco minerales que fueron identificados por el QEMSCAN® pero no en microscopía: Atacamita (etapa 0,1 y 2), criptomelano (etapas 0 y 1), Cu-biotita (todas las etapas), Cu-arcilla (etapa 0,1 y 2), calcosina-digenita (etapa 0,1 y 2), piroxenos, anfíboles, sulfatos y fosfatos (todas las etapas).

**Tabla 4.3:** Resultados QEMSCAN muestras Gabriela Mistral

Mineral	G-0 (%)	G-1 (%)	G-2 (%)	G-3 (%)	G-4 (%)
<b>Crisocola</b>	5,39	4,91	23,67	0,15	< 0,01
<b>Atacamita</b>	0,16	0,18	1,49	0,00	< 0,01
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,35	2,48	8,05	0,12	0,05
<b>SCN Mn-Fe</b>	9,75	12,79	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>SCN Mn-Cu</b>	58,63	47,81	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Criptomelano</b>	0,09	0,34	< 0,01	< 0,01	< 0,01
<b>Cu-Moscovita</b>	0,69	0,87	1,62	< 0,01	< 0,01
<b>Cu-Biotita</b>	0,71	1,04	2,04	1,61	1,47
<b>Cu-Arcilla</b>	1,82	2,05	5,72	0,01	< 0,01
<b>Calcosina / Digenita</b>	0,89	0,18	0,02	< 0,01	0,01
<b>Cuarzo</b>	7,43	11,50	22,49	39,91	40,49
<b>Feldespato-K</b>	3,31	5,06	6,17	9,52	8,68
<b>Plagioclasas</b>	0,85	1,14	1,90	2,80	3,02
<b>Piroxenos</b>	0,01	0,01	0,04	0,25	0,27
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,10	0,04	0,01	0,34	0,19
<b>Filosilicatos</b>	6,02	8,70	25,82	43,54	44,35
<b>Sulfatos</b>	1,14	0,17	0,02	0,01	0,17
<b>Fosfatos</b>	0,19	0,12	0,11	0,23	0,11
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,23	0,36	0,71	1,37	1,07
<b>Otros</b>	0,24	0,25	0,12	0,14	0,12

De los tres tipos de SCN, predominan los de Mn-Cu (58,63% en etapa 0 y 47,81% en etapa 1) por sobre los de Mn-Fe (9,75% etapa 0 y 12,79% etapa 1), pero ambos están ausentes en las etapas 2, 3 y 4. Los SCN de Fe-Cu se detectan desde la fase 0 (2,35%), en la fase 1 (2,48%) y la fase 2 (8,05%), aunque disminuyen posteriormente (0,12% fase 3 y 0,05% fase 4). El aumento en la fase 2 podría ocurrir por un cambio relativo, considerando la desaparición de las otras dos variedades de SCN.



**Figura 4.3:** Diagrama circular con porcentajes minerales determinados por QEMSCAN® en las distintas etapas de la extracción secuencial de las muestras de Gabriela Mistral.

La Cu-moscovita y Cu-arcilla se distinguen desde la etapa 0 (0,69% y 1,82% respectivamente) a la etapa 2 (1,62% y 5,72%), pero dejan de ser detectadas en la etapa 3. Situación similar a la crisocola, que pasa de un 23,67% en la etapa 2 a 0,15% en la siguiente etapa. La Cu-biotita está presente a lo largo de todo el proceso, sin muchos cambios en su porcentaje total en las distintas muestras (0,71% etapa 0 y 1,47% etapa 4).

Dentro de los minerales correspondientes a la ganga, se destaca un aumento relativo (por la desestabilización de otros minerales) del porcentaje de cuarzo (7,43% etapa 0 hasta 40,49% etapa 4) y filosilicatos (6,02% etapa 0 hasta 44,35% etapa 4). Comportamiento similar, pero no tan marcado, presenta el feldespato K que va desde un 3,31% en la etapa inicial a un 8,68% en la última etapa.

Se podría relacionar gran parte de los filosilicatos identificados en las etapas 3 y 4 a los cúmulos de minerales observados en microscopía óptica (Microfotografía 3.7).

La Figura 4.4, resume las variaciones del porcentaje en peso de los elementos a lo largo de las distintas etapas de extracción.

#### 4.1.2 Asociaciones mineralógicas

Los resultados entregados a continuación corresponden a las asociaciones mineralógicas observadas para los distintos minerales presentes en las muestras de este proyecto, centrándonos en el comportamiento de las especies que tienen Cu en su estructura. Los siguientes datos se refieren la relación entre los minerales, esto se logra midiendo las transiciones que ocurren de uno a otro y entregando el resultado de manera porcentual, redondeado a un número sin decimales. La totalidad de estos datos se encuentran en el Anexo N°2.

##### 4.1.2.1 Ministro Hales

La crisocola (Figura 4.5), en la etapa inicial, se relaciona principalmente con SCN Mn-Cu (23% de las transiciones), cuarzo (16%), filosilicatos (6%), Cu-arcilla (6%), feldespato potásico (5%), y plagioclasas (3%), un 27% de las transiciones son con el *background* o resina epóxica.

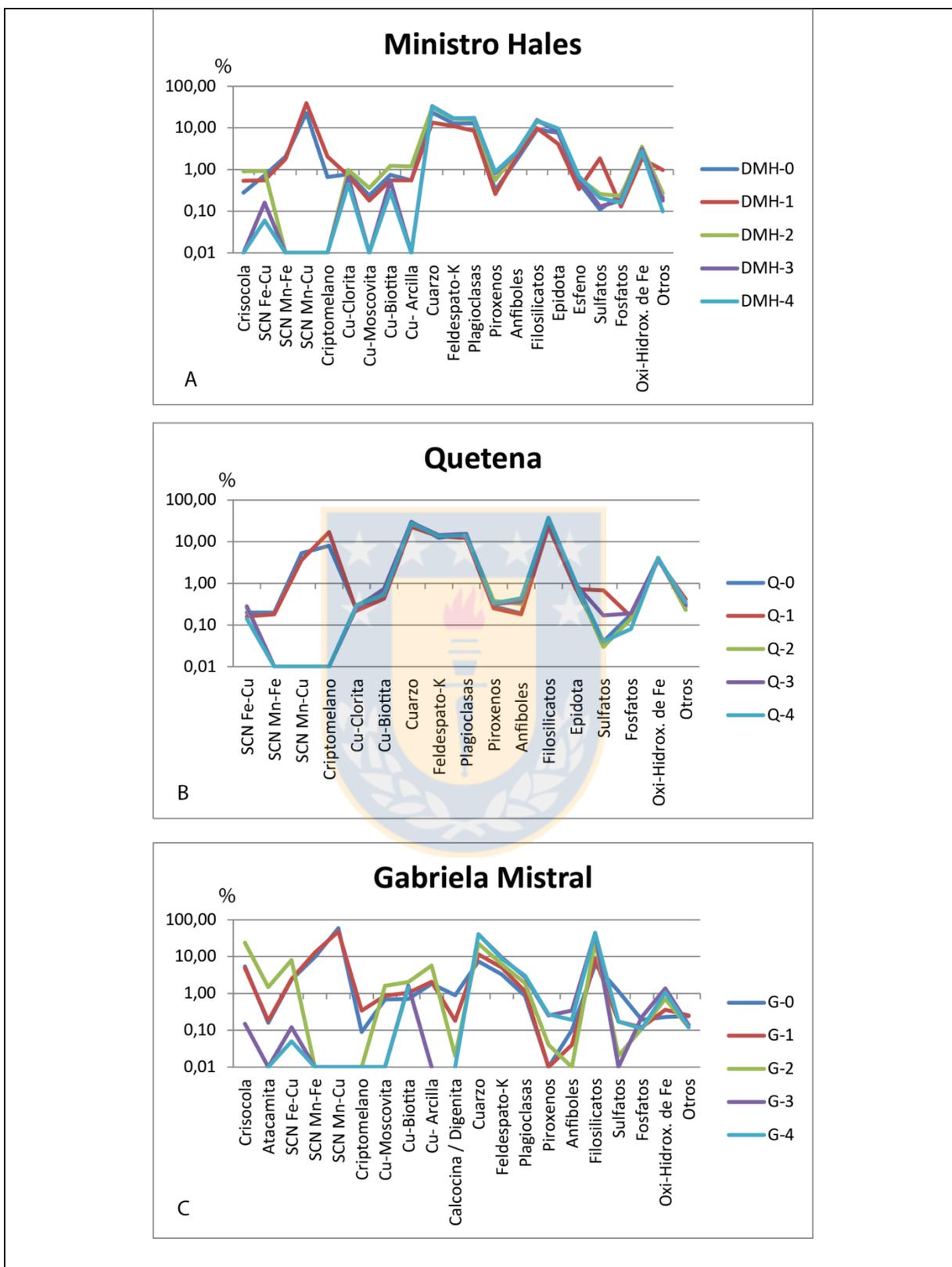
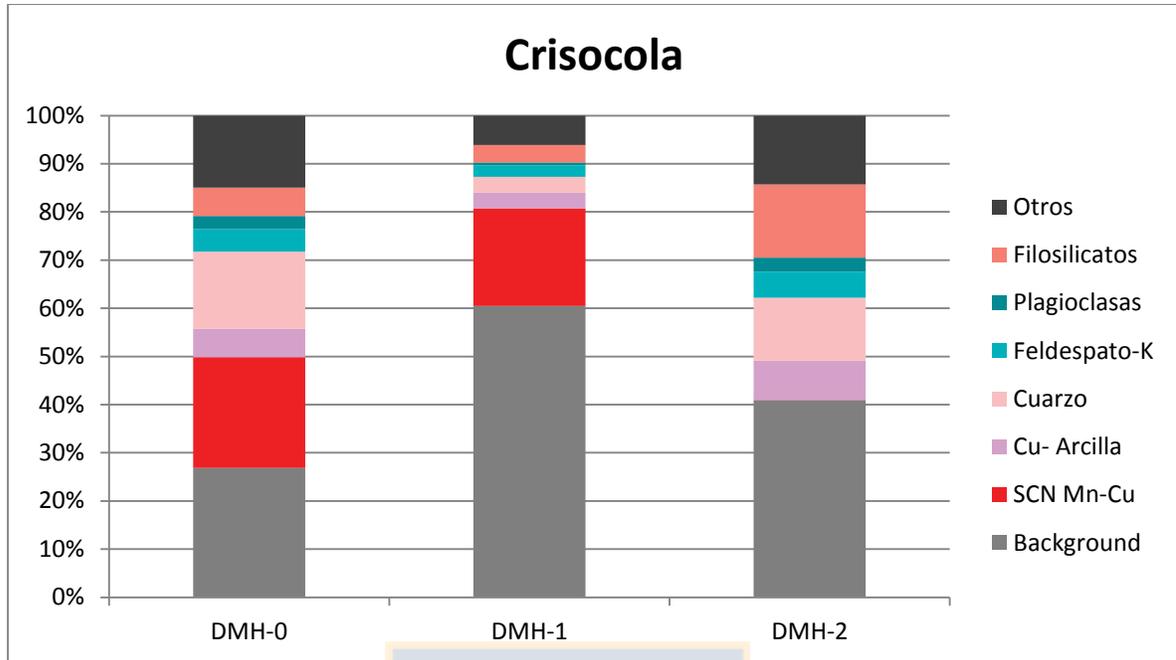


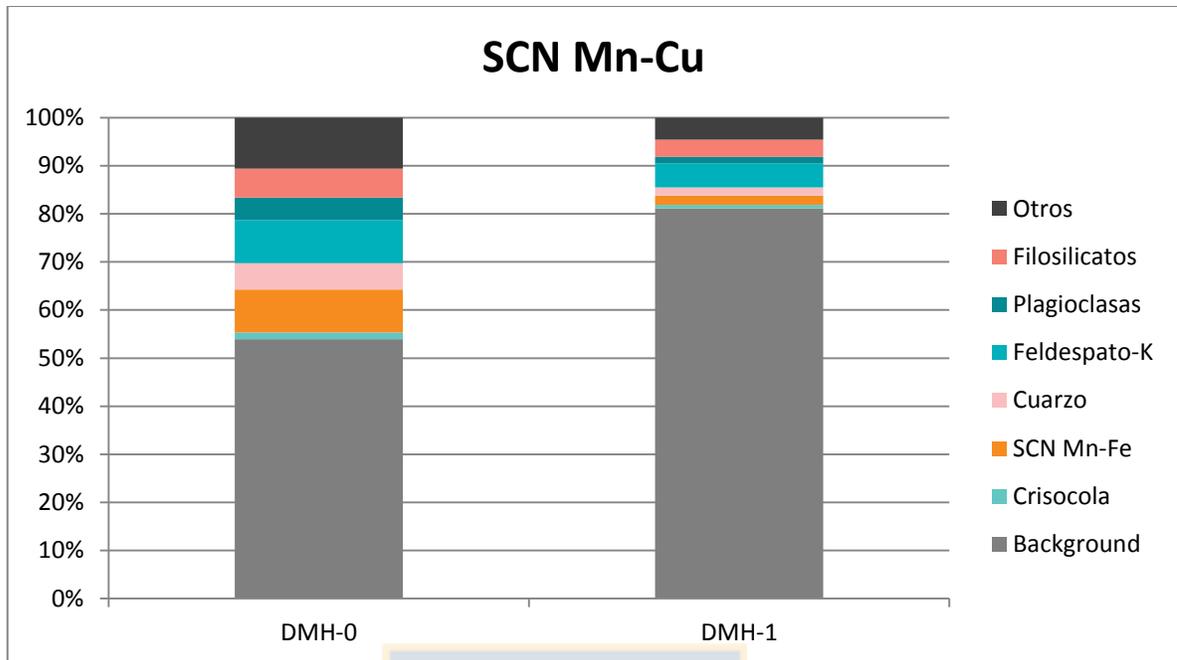
Figura 4.4: Diagramas elemento/log% en peso de los distintos yacimientos.



**Figura 4.5:** Asociaciones mineralógicas de la crisocola en Ministro Hales.

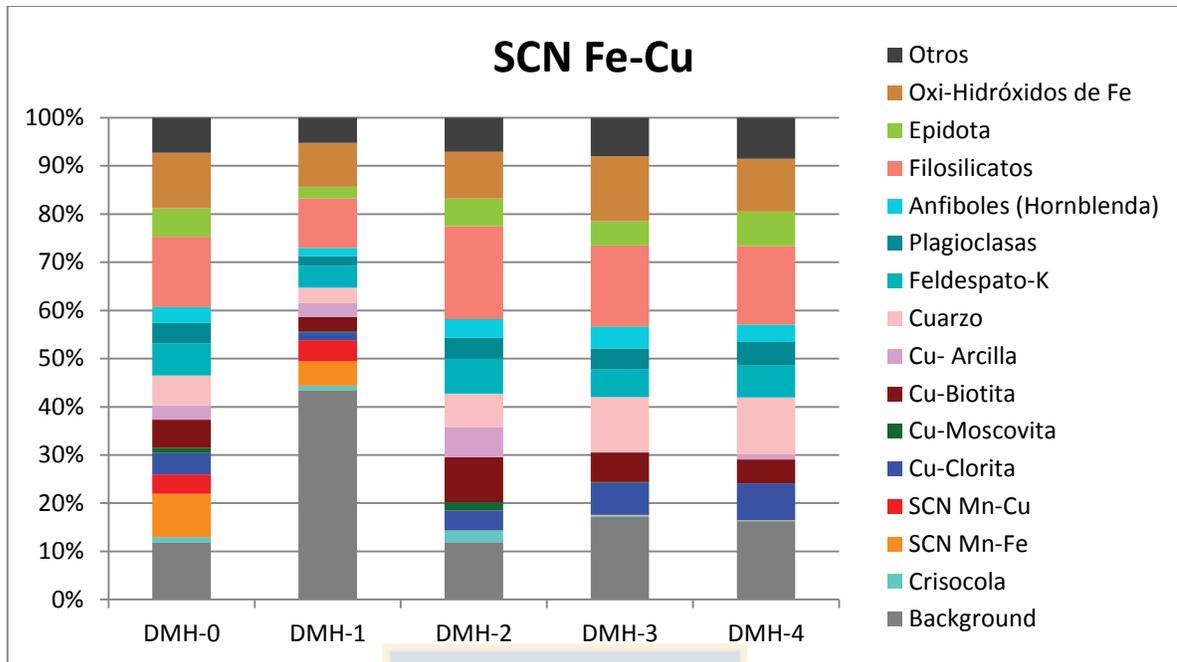
En la etapa 1, estas características cambian, siendo casi un 60% de los contactos correspondientes al *background* y un 20% con SCN de Mn-Cu, el resto de las transiciones en esta etapa son con filosilicatos, Cu-arcillas, cuarzo, feldespato potásico y plagioclasas (todas entre un 3-6%). Y por último en la etapa 2, este mineral se asocia en gran parte con el *background* (41%), filosilicatos (15%), cuarzo (13%), Cu-arcilla (8%), feldespato potásico (5%) y plagioclasas (3%).

Los SCN predominantes en este yacimiento son los de Mn-Cu (Figura 4.6), que en la etapa 0 del estudio, tienen un 54% de sus transiciones con el *background*, con minerales portadores de cobre solamente se observan transiciones con la crisocola (1,5%). Por otro lado, también se observan con SCN Mn-Fe (9%), mientras que el resto corresponde a silicatos: feldespato K (9%), filosilicatos (6%), cuarzo (6%) y plagioclasas (5%). Esto cambia para la etapa 1, el *background* representa ahora un 81% del total, la crisocola un 0,72% y el SCN Mn-Fe un 2%. Los silicatos presentan una disminución en su número de transiciones en esta etapa con respecto a la anterior, aproximadamente de un 3% para cada uno. En las siguientes etapas el SCN Mn-Cu se encuentra en cantidades menores al 0,01% por lo que deja de ser considerado para este análisis.



**Figura 4.6:** Asociaciones mineralógicas de SCN Mn-Cu en Ministro Hales.

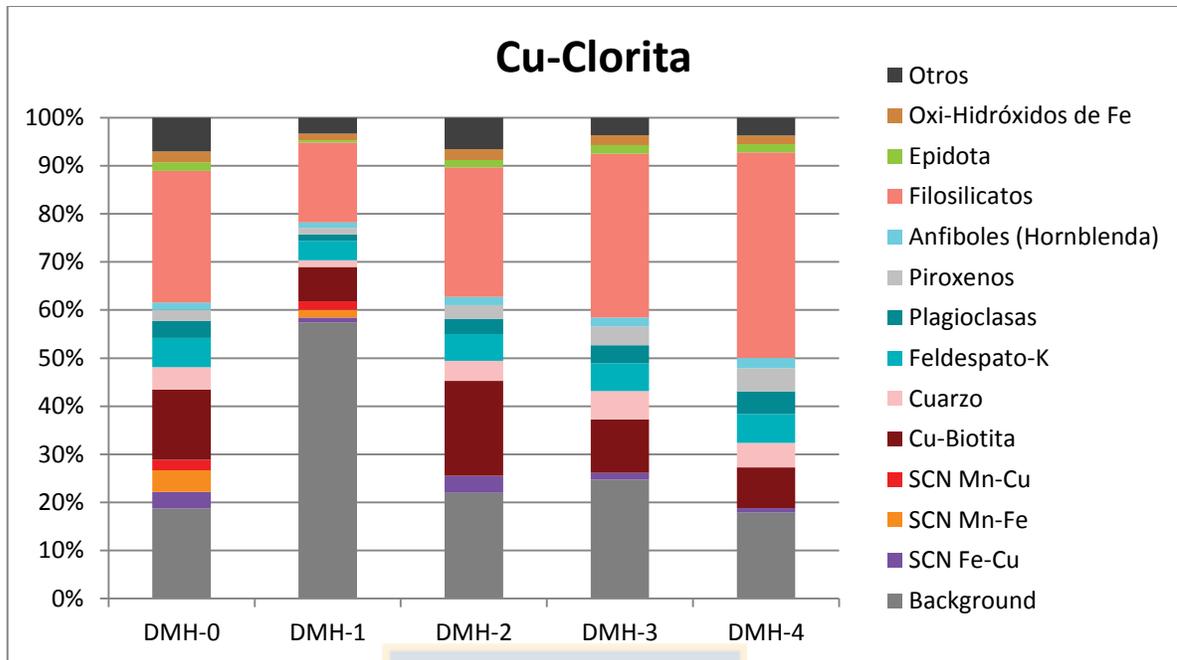
Por otro lado, se observa que las principales relaciones del SCN de Fe-Cu (Figura 4.7), en la muestra DMH-0, son con filosilicatos (15%), oxi-hidróxidos de Fe (12%), SCN Mn-Fe (9%) además de presentar transiciones con la mayoría de los minerales portadores de Cu como Cu-biotita (6%) SCN Mn-Cu (4%), Cu-clorita (4%), Cu-arcillas (3%), Cu-moscovita (1%) y crisocola (1%), además de un 12% de transiciones con el *background*. En la etapa 1, se observa un aumento de esta relación con el *background*, que ahora equivale a un total de un 44%, mientras que el resto de las relaciones mencionadas disminuyen: filosilicatos (10%), oxi-hidróxidos de Fe (9%), SCN Mn-Fe (5%), Cu-biotita (3%), SCN Mn-Cu (4%), Cu-clorita (2%) y Cu-arcillas (3%). Para la etapa 2, las relaciones con el *background* equivalen a un 12%, con los filosilicatos un 10%, y con los oxi-hidróxidos de Fe, un 10%. Para los minerales portadores de Cu estas corresponden a: Cu-biotita (9%), Cu-arcilla (6%), Cu-clorita (4%), Cu-moscovita (2%), crisocola (2%). En la etapa 3, se observan pequeñas variaciones en estos valores, un 17% de las transiciones son con el *background* y 16% con filosilicatos, mientras que para los minerales de Cu solo hay con Cu-clorita (6%) y Cu-biotita (6%). La etapa 4 presenta condiciones similares, solo variaciones pequeñas al compararla con la etapa 3, pero estas no superan el 2%.



**Figura 4.7:** Asociaciones mineralógicas de SCN Fe-Cu en Ministro Hales.

La Cu-clorita (Figura 4.8) tiene en un comienzo transiciones con minerales de ganga equivalentes a: filossilicatos (27%), feldespato potásico (6%), cuarzo (5%) y plagioclasas (4%). En la etapa 1, estos valores presentan una disminución: filossilicatos (17%), feldespato potásico (4%), cuarzo (1%) y plagioclasas (1%), mientras que en de la etapa 2 en adelante, las relaciones estos con la Cu-clorita son similares a las de la etapa 0, con diferencias de un 1% como máximo. La excepción a este comportamiento son los filossilicatos, que presentan un aumento con cada etapa: 27% en la etapa 3, 34% en la 3 y 43% en la 4 (Anexo N°2).

Los minerales portadores de cobre relacionados con la Cu-clorita en la etapa inicial son el SCN Fe-Cu (4%), SCN Mn-Cu (2%) y la Cu-biotita (15%). En la etapa 1 se observa una disminución de todos ellos, SCN Fe-Cu (1%), SCN Mn-Cu (2%) y Cu-biotita (7%). Para la etapa 2 el SCN Mn-Cu ya no se detecta, así que solo hay relaciones con SCN Fe-Cu (4%) y Cu-biotita (20%). En la etapa 3 disminuyen ambos: SCN Fe-Cu (1%) y Cu-biotita (11%); comportamiento que prosigue en la etapa 4: SCN Fe-Cu (1%) y Cu-biotita (8%).

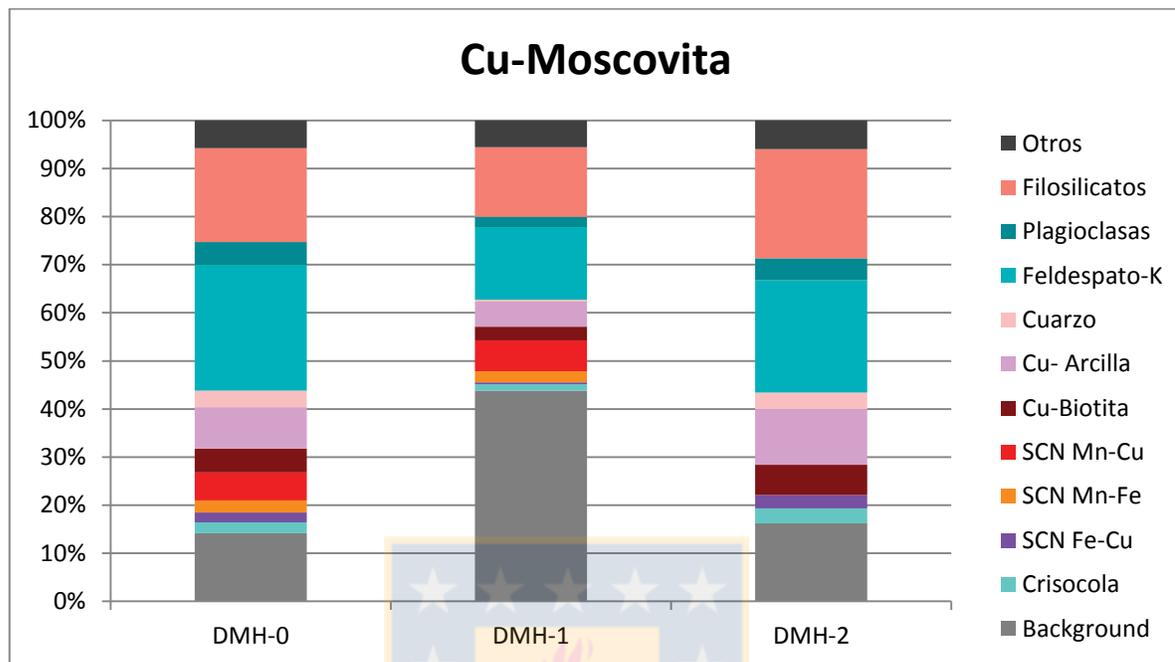


**Figura 4.8:** Asociaciones mineralógicas Cu-Clorita en Ministro Hales.

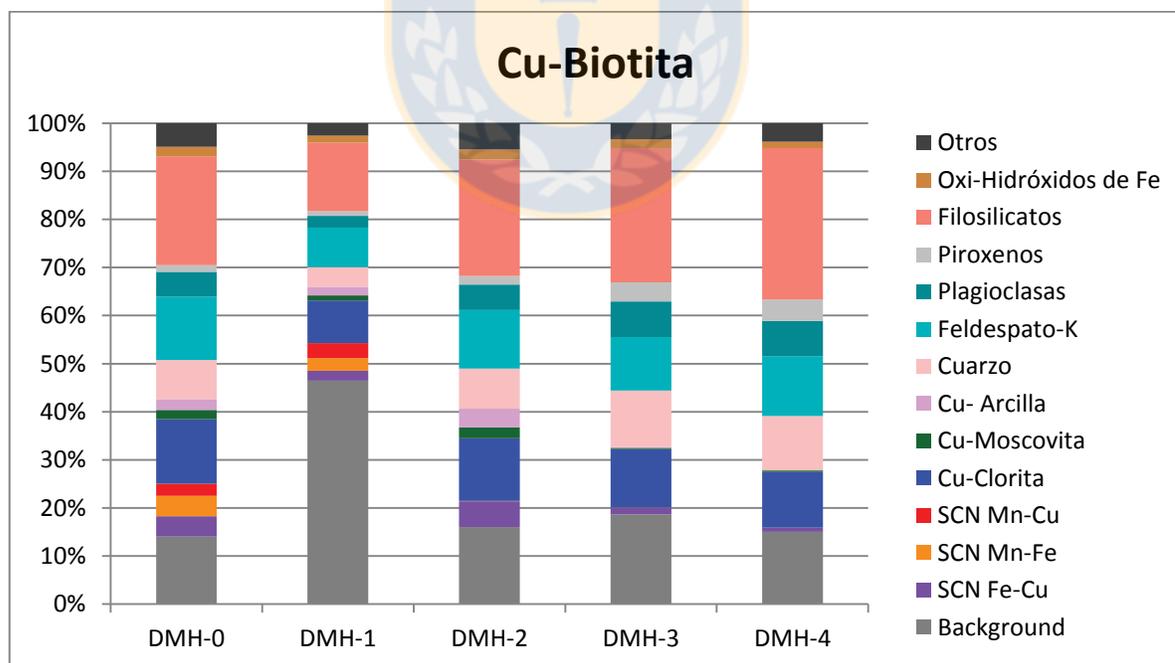
En un comienzo, la Cu-moscovita (Figura 4.9) se encuentra relacionada con minerales de ganga como el feldespato potásico (26%), filossilicatos (19%), plagioclasas (5%) y cuarzo (3%). Para la etapa 1 se destaca una disminución en estas transiciones, que aumentan nuevamente en la etapa 2 a valores cercanos a los iniciales. Con los minerales de mena se observan los siguientes valores en la etapa 0: Cu-arcilla (9%), SCN Mn-Cu (6%), Cu-biotita (5%), SCN Fe-Cu (2%), Cu-clorita (2%). En la etapa 1 estos valores varían a: Cu-arcilla (5%), SCN Mn-Cu (6%), Cu-biotita (3%), SCN Fe-Cu (2%), Cu-clorita (1%), todos presentan pequeñas disminuciones excepto el SCN Mn-Cu. La etapa 2, que es la última con Cu-moscovita en cantidades mayor a 0,01%, las relaciones con los minerales de mena son las siguientes: Cu-arcilla (12%), Cu-biotita (6%), SCN Fe-Cu (3%) y Cu-clorita (1%).

Con respecto a la Cu-biotita (Figura 4.10) y los minerales de ganga, en la etapa 0, tiene transiciones principalmente con filossilicatos (23%), feldespato potásico (13%), cuarzo (8%) y plagioclasas (5%). Ya en la etapa 1, disminuyen a: filossilicatos (14%), feldespato potásico (8%), cuarzo (4%) y plagioclasas (2%). En la etapa 2, estos valores son similares a los de la etapa inicial filossilicatos (24%), feldespato potásico (12%), cuarzo (8%) y plagioclasas (5%); la etapa 3 tiene los siguientes valores: filossilicatos (28%), feldespato potásico (11%), cuarzo (12%) y

plagioclasas (7%). En la etapa 4 solo se observan cambios en los filosilicatos, que tienen un 31% de las transiciones con la Cu-biotita.

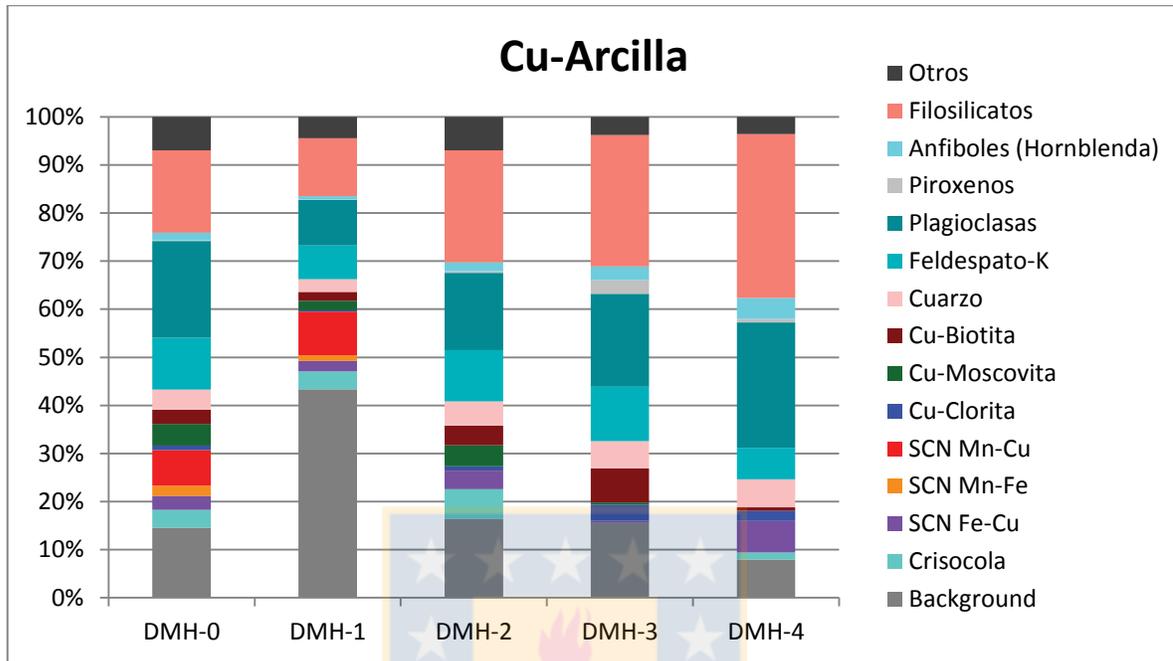


**Figura 4.9:** Asociaciones mineralógicas de Cu-moscovita en Ministro Hales.



**Figura 4.10:** Asociaciones mineralógicas de Cu-biotita en Ministro Hales.

Finalmente, la Cu-arcilla (Figura 4.11) se relaciona con plagioclasas (20%), filosilicatos (17%), feldespato potásico (11%) y cuarzo (4%) en la etapa inicial.



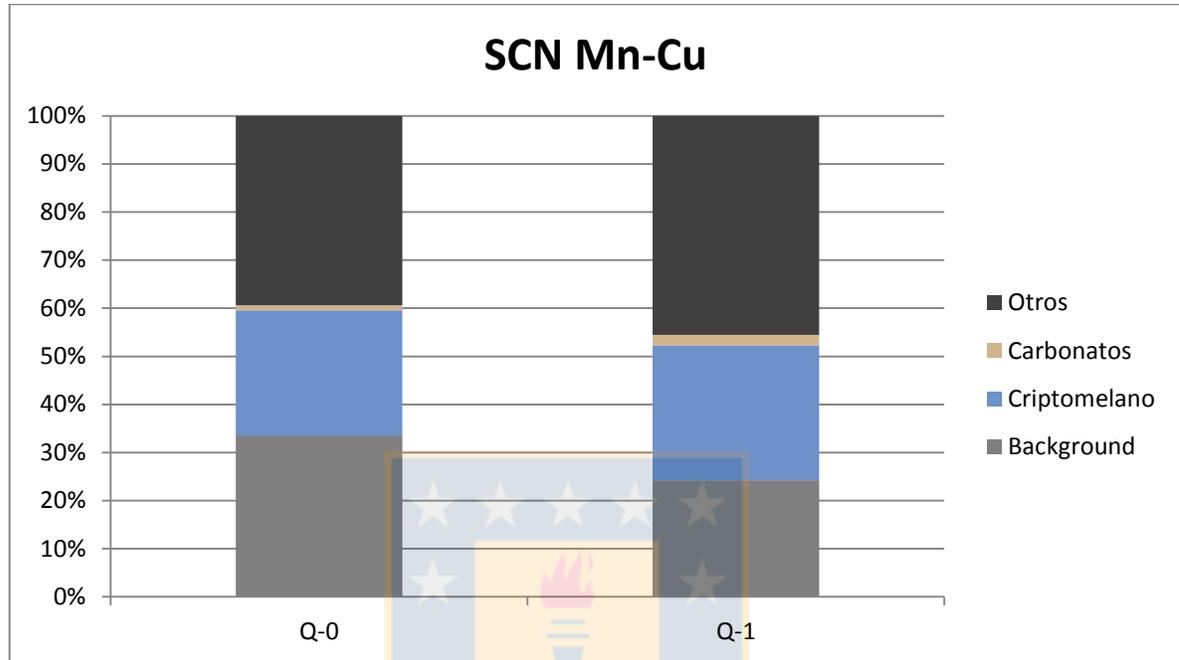
**Figura 4.11:** Asociaciones mineralógicas de Cu-Arcilla en Ministro Hales.

Estas relaciones cambian en las etapas 1 y 2: plagioclasas (10% y 16%), filosilicatos (12% y 23%), feldespato potásico (7% y 11%) y cuarzo (3% y 5%), respectivamente. Mientras que con los minerales de mena, en la etapa 0 está en contacto con SCN Mn-Cu (7%), Cu-moscovita (4%), crisocola (4%), Cu-biotita (3%), SCN Fe-Cu (3%). En la etapa 1 el SCN Mn-Cu tiene un 9% de las transiciones de Cu-arcilla, para llegar a 0% en la etapa 2, debido a su drástica reducción desde ese punto en adelante. El resto de los minerales con cobre, en la etapa 1 y 2 presentan los siguientes valores: Cu-moscovita (2% y 4%), crisocola (4% y 6%), Cu-biotita (2% y 4%) y SCN Fe-Cu (2% y 4%).

#### 4.1.2.2 Quetena

El SCN Mn-Cu (Figura 4.12) sólo está en cantidades detectables (mayor a 0,01%) en las etapas 0 y 1, en ambas etapas, la mayoría de sus transiciones son con el criptomelano (24% y 27% respectivamente), el *background* (32% y 23%) y “otros minerales” (37% y 43%), también tiene relaciones con silicatos (cuarzo, feldespato potásico y filosilicatos) que no superan el 2%. Paralelamente, el criptomelano tiene resultados similares, en las etapas 0 y 1: SCN Mn-Cu (46%

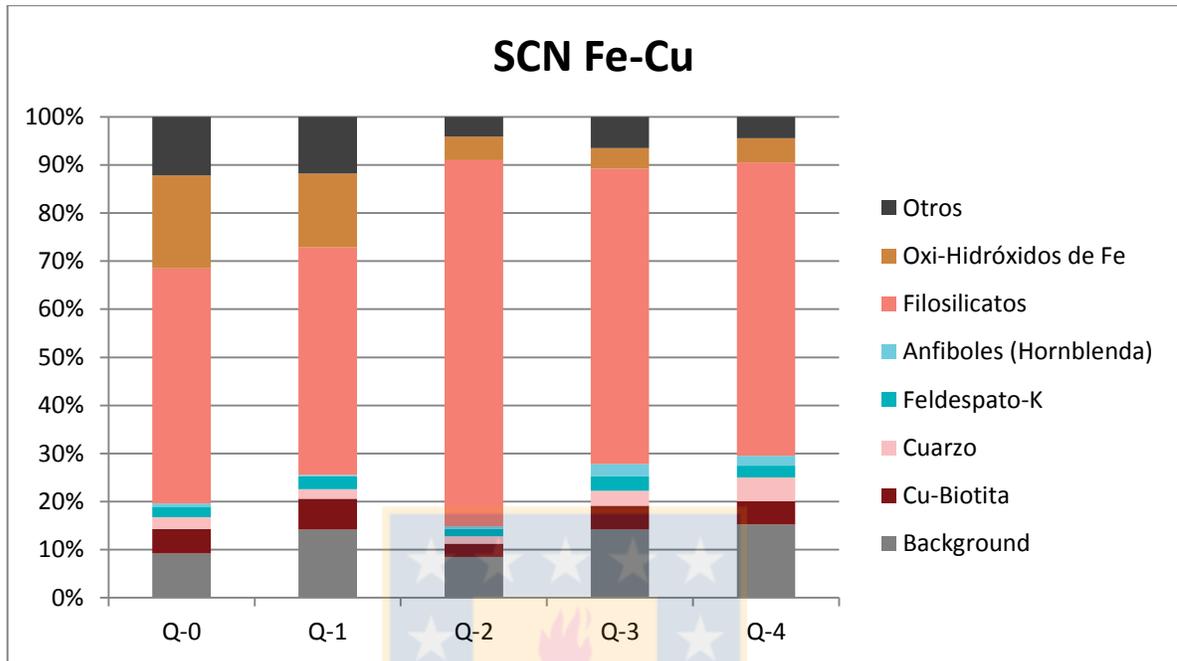
y 33%), *background* (20% y 23%) y “otros minerales” (22% y 33%). Esta conexión entre ambos minerales se debe a que el mineral identificado como criptomelano corresponde a SCN Mn-Cu con menos del 3% de Cu en su estructura, como se mencionó anteriormente.



**Figura 4.12:** Asociaciones mineralógicas de SCN Mn-Cu en Quetena.

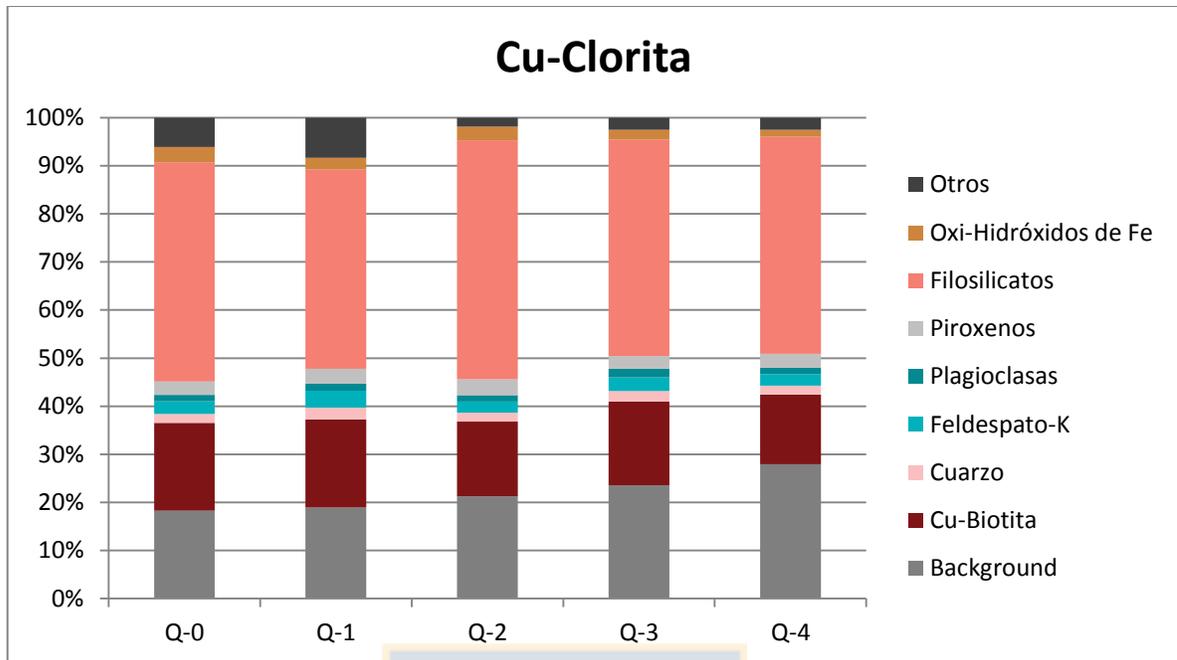
A diferencia de los minerales anteriores, el SCN Fe-Cu (Figura 4.13) fue detectado por el QEMSCAN en todas las etapas del estudio, aunque siempre en porcentajes menores a 1%. En Q-0, casi la mitad de sus transiciones son con los filosilicatos (49%), mientras que el resto corresponde a oxi-hidróxidos de Fe (20%), cuarzo (2%), feldespatos potásicos (2%) y plagioclasas (1%). Los resultados indican que en la etapa 1 estas relaciones no presentan mayor diferencia, solamente los oxi-hidróxidos de Fe cambian y ahora tienen un 15% de las transiciones totales. Este comportamiento se mantiene en la etapa 2, en la cual los oxi-hidróxidos disminuyen a un 5%. Por otro lado, los filosilicatos llegan a un 76%, el resto de los minerales de ganga presenta leves variaciones que no superan el 1%. En la etapa 3 y 4, los oxi-hidróxidos de Fe tienen un 4% y 5% de las transiciones, mientras que los filosilicatos 61% en ambas. Las relaciones del SCN Fe-Cu con otros minerales portadores de cobre se limitan a Cu-biotita, Cu-clorita y Cu-arcilla, los cuales en la etapa 0 equivalen a 5%, 1% y 1% respectivamente. En las etapas posteriores, las transiciones con la Cu-biotita en las etapas 1 y 2 equivalen a 6% y 3%, ya en las etapas 3 y 4,

estos valores vuelven a ser un 5% del total. La Cu-clorita y Cu-arcilla por otro lado no cambian mucho de etapa a etapa con respecto a su relación con el SCN Fe-Cu.



**Figura 4.13:** Asociaciones mineralógicas de SCN Fe-Cu en Quetena.

La Cu-clorita (Figura 4.14) en su primera etapa está relacionada principalmente a filosilicatos (45%), oxi-hidróxidos de Fe (3%) y en menor medida a los silicatos cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y piroxenos (1-3%). En el etapas subsiguientes, los filosilicatos tienen un 41% del total de las transiciones en la etapa 1, un 50% en la 2 y 45% en las etapas 3 y 4; los oxi-hidróxidos disminuyen levemente su relación con la Cu-clorita (2%) en las etapas 1,2, 3 y 4; el cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas y piroxenos se mantienen estables en sus contactos para el resto de las etapas también, identificándose variaciones de a lo más 1% entre distintas etapas. Con respecto a los minerales de Cu en la etapa 0, predomina la Cu-biotita (18%) pero también es identificado el SCN de Fe-Cu (1%), este último, en el resto de las etapas, tiene un 1% de las transiciones en la etapa 1 y valores cercanos al 0,5% en las últimas 3 etapas; la Cu-biotita en cambio, en la etapa 1 sigue teniendo un 18% de las transiciones, valor que disminuye a 16% en la número 2, para aumentar a 17% en la etapa 3 y volver a disminuir en la última (15%).



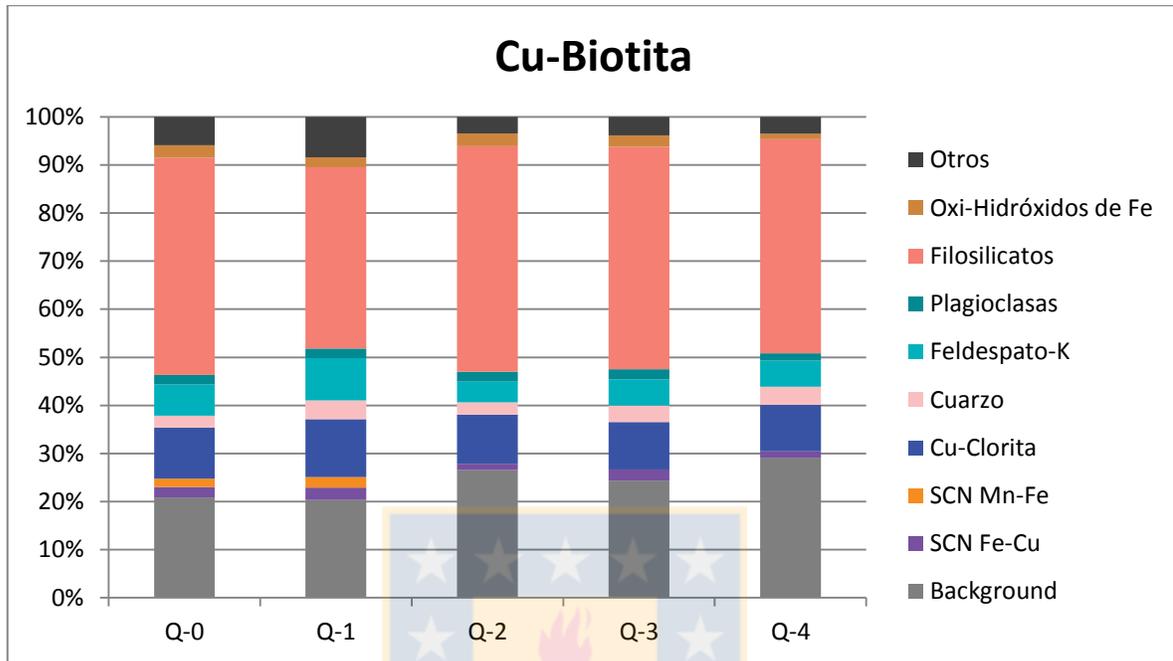
**Figura 4.14:** Asociaciones mineralógicas de Cu-Clorita en Quetena.

La Cu-biotita (Figura 4.15) se comporta de manera muy similar a la Cu-clorita, evidenciando la relación entre ambas. En la etapa 0, se relaciona con filosilicatos (45%), oxi-hidróxidos de Fe (3%), feldespato potásico (6%), cuarzo (2%), plagioclasa (2%) y piroxeno (2%). De estos minerales, no hay mayores diferencias en sus transiciones con la Cu-biotita el resto de las etapas, solo los filosilicatos disminuyen a 38% en la etapa 1, pero para el resto están entre 45-47%, los óxi-hidróxidos se mantienen en valores entre 1-3%, el cuarzo entre 3-4%, la plagioclasa se mantiene en valores cercanos al 2%, al igual que el piroxeno. Los minerales portadores de Cu que tienen transiciones con la Cu-biotita se limitan a la Cu-clorita (11%) y el SCN Fe-Cu (2%) en la etapa inicial, luego, en todos los episodios posteriores, estos dos minerales se mantienen similares en esta relación, con cambios de 1% en promedio.

#### 4.1.2.3 Gabriela Mistral

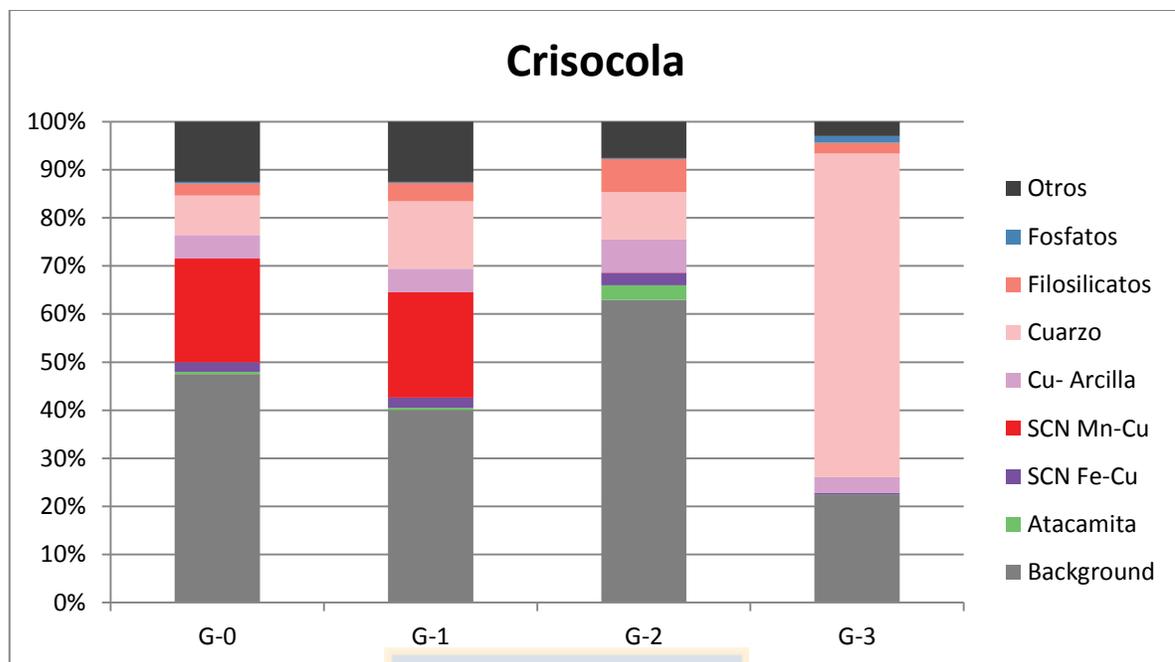
La crisocola (Figura 4.16), reconocida en cantidades importantes en las etapas 0, 1 y 2 (en la etapa 3 solo equivale a un 0,15% del total) se caracteriza por estar en contacto principalmente con minerales de Cu y el *background* (48% en la etapa 0), predomina en un comienzo la relación con el SCN Mn-Cu (22%), seguido por Cu-arcilla (5%), SCN Fe-Cu (2%), Cu-moscovita (1%). En la etapa 1 no se distinguen cambios sustanciales de estos 4 minerales en relación con la crisocola, pero ya en la etapa 2, las condiciones cambian, el SCN Mn-Cu ya no está presente, la Cu-arcilla

llega a un 7% de las transiciones, mientras que el SCN Fe-Cu a un 3% y la Cu-moscovita a un 2%, se agrega además la atacamita con un 3% en esta última etapa.

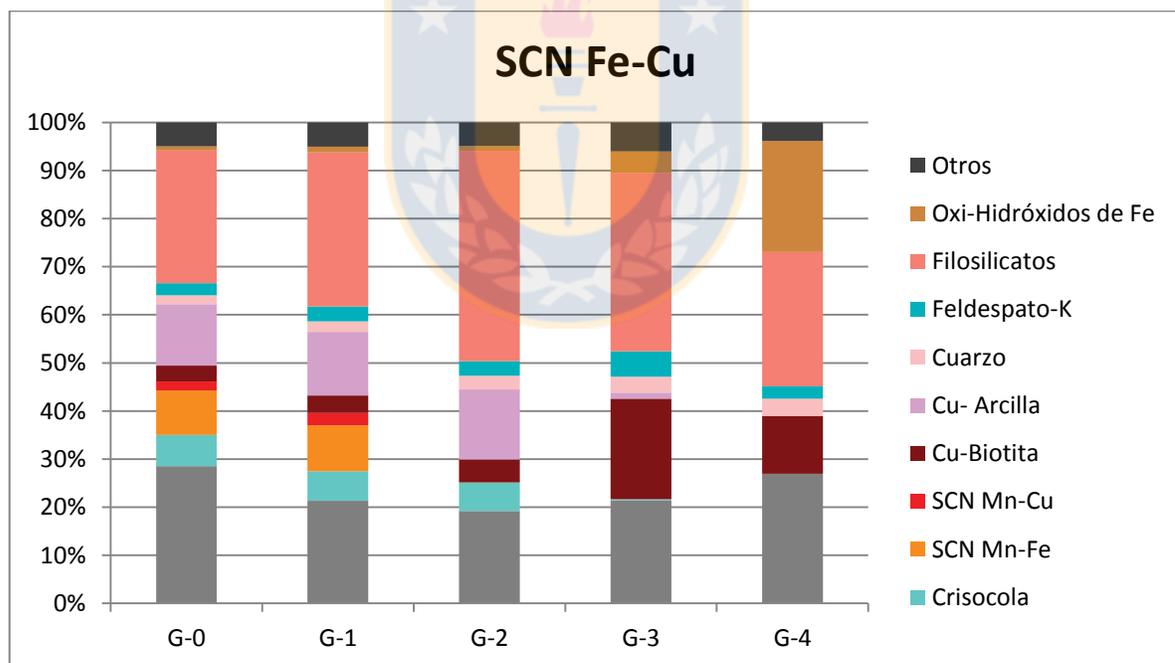


**Figura 4.15:** Asociaciones mineralógicas de Cu-biotita en Quetena.

El SCN Fe-Cu (Figura 4.17) en la etapa 0 está ligado a otros minerales de cobre como la Cu-arcilla (13%), la crisocola (6%), Cu-biotita (3%), Cu-moscovita (2%) y SCN Mn-Cu (2%). En la etapa 1, de estos minerales, solo la Cu-moscovita y el SCN Mn-Cu tienen valores levemente distintos a la etapa 0 (3% en ambos casos). Ya en la etapa 2, la crisocola sigue presentando un 6% de las transiciones, pero el SCN Mn-Cu ahora tiene un 0%, la Cu-biotita 5%, Cu-arcilla 15%, Cu-moscovita (2%) y la atacamita 1%. En la etapa 3 por otro lado, estos valores disminuyen: crisocola (menor a 1%), atacamita (0%), Cu-moscovita (menor a 1%) y Cu-arcilla (1%), con excepción de la Cu-biotita, que aumenta a 21%. El SCN Fe-Cu en la etapa 4 solo presenta transiciones con dos minerales de Cu, la Cu-biotita (12%) y la Cu-clorita (menos de 1%).



**Figura 4.16:** Asociaciones mineralógicas de Crisocola en Gabriela Mistral.



**Figura 4.17:** Asociaciones mineralógicas de SCN Fe-Cu en Gabriela Mistral.

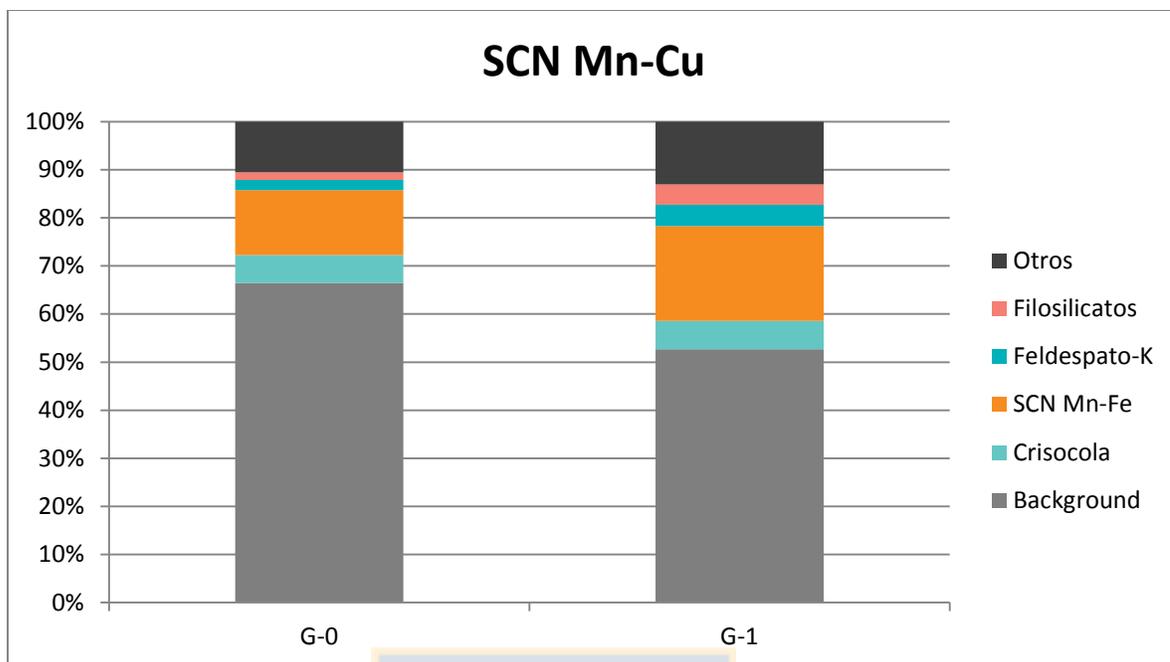
Con respecto a los minerales de ganga, el SCN Fe-Cu está relacionado principalmente con filosilicatos (28%), feldespato potásico (3%) y cuarzo (2%), los cuales mantienen estos valores relativamente estables dentro de todas las etapas (el filosilicato sube a 44% en la etapa 2, pero después disminuye nuevamente), también se observa en la etapa 0, 1 y 2 un 1% de transiciones

con oxi-hidróxidos de Fe, que en la etapa 3 equivalen a un 4% y ya en la etapa final, un 23%. El SCN Mn-Cu (Figura 4.18) es el mineral más abundante en las etapas 0 y 1, en las cuales está en contacto con SCN Mn-Fe (14% y 20% respectivamente), crisocola (6% en ambas etapas), calcosina/digenita (1% en etapa 0 y 0,3% en etapa 1), feldespato potásico (2% y 4%), filosilicatos (2% y 4%) y cuarzo (1% y 2%). La mayoría de sus transiciones son con el *background* (55% y 53%).

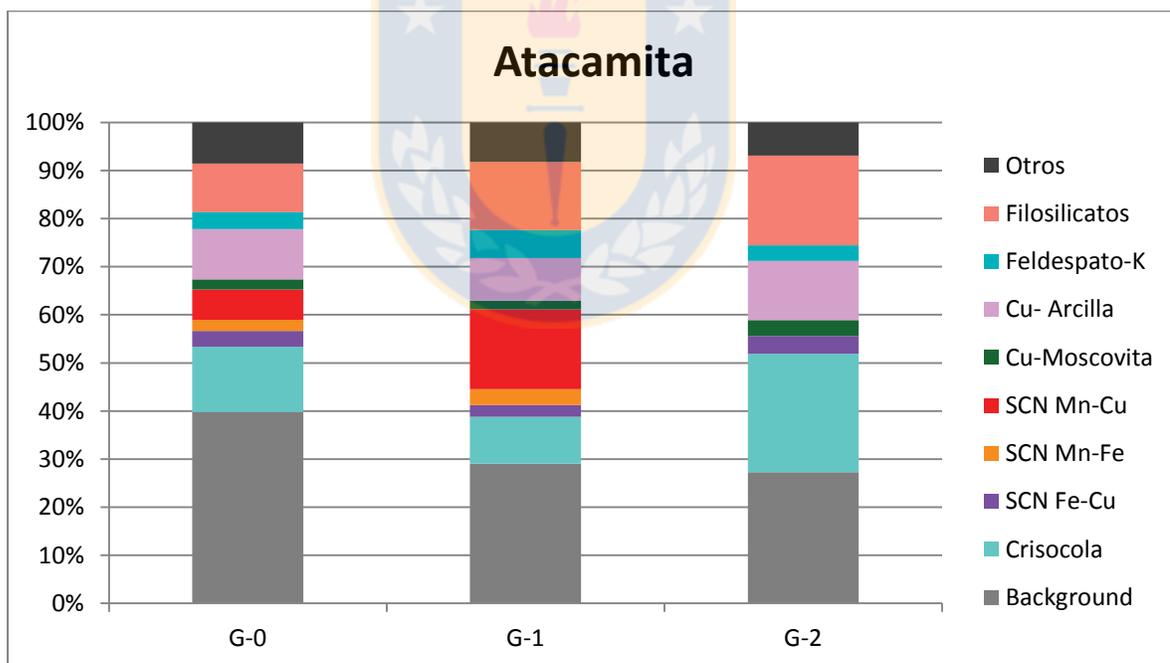
La atacamita (Figura 4.19) se relaciona en la etapa 0 con la crisocola (14%), Cu-arcilla (10%), SCN de Mn-Cu (6%), Fe-Cu (3%), Mn-Fe (2%), Cu-moscovita (2%), calcosina/digenita (1%), además de filosilicatos (10%) y feldespato potásico (3%). En la etapa 1 la crisocola disminuye a un 10%, el SCN Fe-Cu a 2%, la Cu-arcilla a 9% y la calcosina/digenita a valores cercanos al 0%, mientras que aumentan el SCN Mn-Fe a 3%, SCN Mn-Cu a 17%, filosilicatos a 14% y feldespato potásico a 6%. Ya en la etapa 2, aumenta la crisocola a 25%, los filosilicatos a 19%, Cu-arcilla a 12%, Cu-moscovita (3%) y disminuye el feldespato potásico a 3% y los SCN de Mn-Fe y Mn-Cu a 0%.

La Cu-moscovita (Figura 4.20) tiene transiciones con Cu-arcilla (9%), crisocola (6%), SCN Mn-Cu (8%), Mn-Fe (5%), Fe-Cu (3%), además de filosilicatos (20%) y feldespato potásico (14%). Estas condiciones no cambian mucho en la etapa 1, solo aumentan los filosilicatos a 24%, el feldespato potásico a 16% y el SCN Mn-Cu a 10%, el resto se mantiene casi igual. En cambio en la etapa 2, la crisocola aumenta a 10%, el SCN Fe-Cu a 5% y los filosilicatos a 32%, disminuyen los SCN Mn-Fe y Mn-Cu a 0% y el feldespato potásico a 10%.

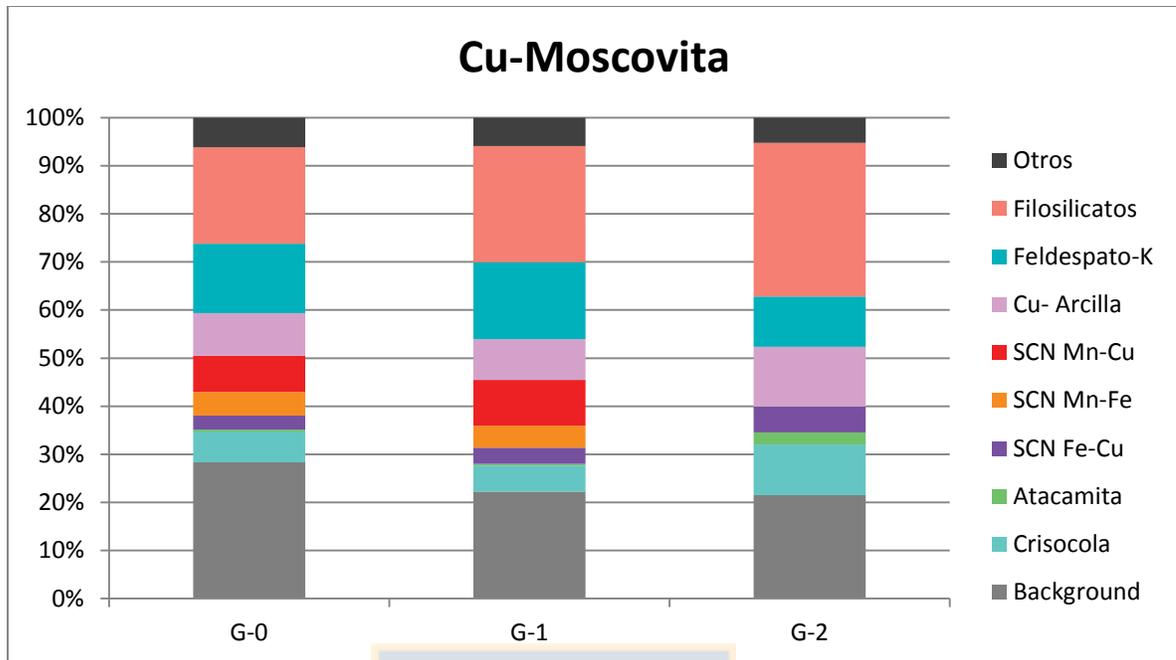
En la etapa 0, la Cu-biotita (Figura 4.21) presenta transiciones con SCN Mn-Fe (15%), Fe-Cu (10%), Mn-Cu (2%), Cu-arcilla (3%), Cu-clorita (3%), crisocola (2%), Cu-moscovita (2%), además de filosilicatos (11%), feldespato potásico (4%) y cuarzo (1%). Esta situación se mantiene similar en la mayoría de estos minerales en la etapa 1, solamente se observan cambios sustanciales en el SCN Mn-Fe (19%) y los filosilicatos (16%). Ya en la etapa 2, el SCN de Fe-Cu aumenta sus transiciones con la Cu-biotita hasta 23%, mientras que el de Mn-Fe y Mn-Cu llegan a 0, la Cu-arcilla aumenta a 4% y los filosilicatos a 25%, el resto se mantiene muy similar a la etapa anterior.



**Figura 4.18:** Asociaciones mineralógicas de SCN Mn-Cu en Gabriela Mistral.4



**Figura 4.19:** Asociaciones mineralógicas de Atacamita en Gabriela Mistral.

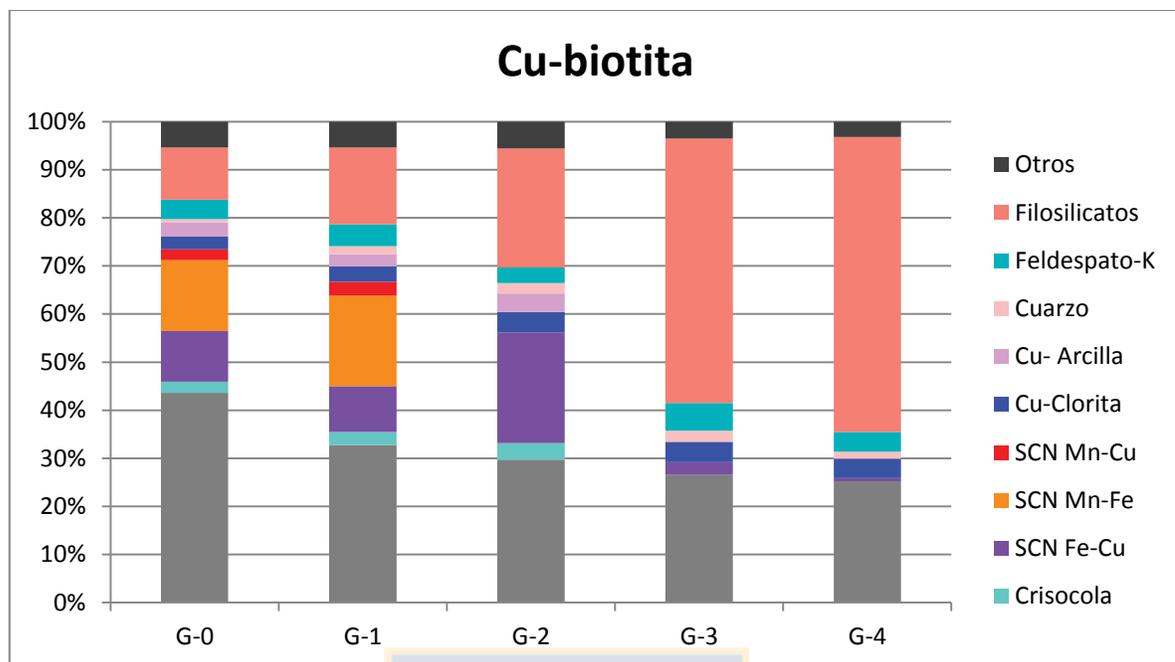


**Figura 4.20:** Asociaciones mineralógicas de Cu-moscovita en Gabriela Mistral.

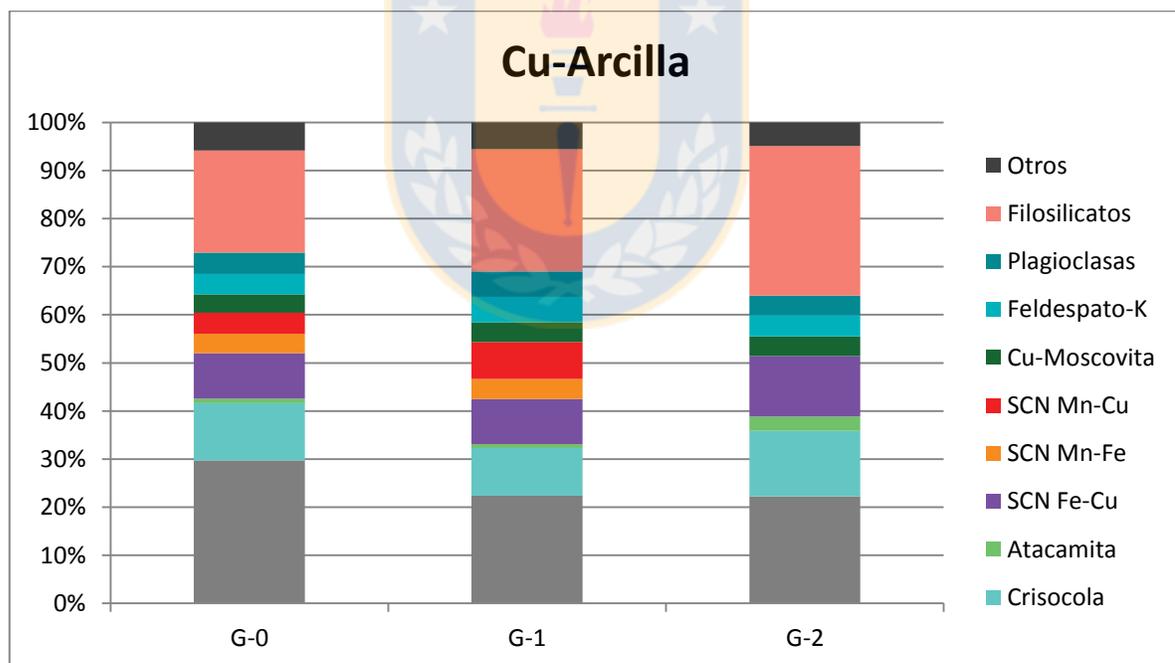
Para la etapa 3, se distingue una disminución del SCN Fe-Cu hasta 3%, de la Cu-moscovita hasta casi 0% y de la Cu-arcilla que llega hasta 0%, mientras que los filosilicatos y el feldespato potásico aumentan a 55% y 6% respectivamente. En la última etapa, el SCN Fe-Cu desciende hasta 1% y el feldespato potásico hasta 4%. Por otro lado, los filosilicatos llegan hasta un 61%. El *background* a lo largo de toda estas etapas va desde un 44% en la etapa 0, a un 33% en la 1, sigue bajando hasta un 30% en la 2, 27% en la 3 y 25% en la 4.

La Cu-arcilla (Figura 4.22) posee transiciones en su etapa inicial con crisocola (12%), SCN Fe-Cu (9%), Mn-Fe (4%), Mn-Cu (4%), Cu-moscovita (4%), además de filosilicatos (21%), feldespato potásico (4%), plagioclasa (4%) y cuarzo (4%). La etapa siguiente no destaca por variaciones muy grandes de estos valores, los filosilicatos y el SCN Mn-Cu aumentan a 25% y 8% respectivamente, mientras que la crisocola disminuye a 10%. En la etapa 2, se ven cambios, en comparación con la etapa anterior, en la crisocola (14%), SCN Fe-Cu (12%), Mn-Fe (0%), Mn-Cu (0%) y filosilicatos (31%).

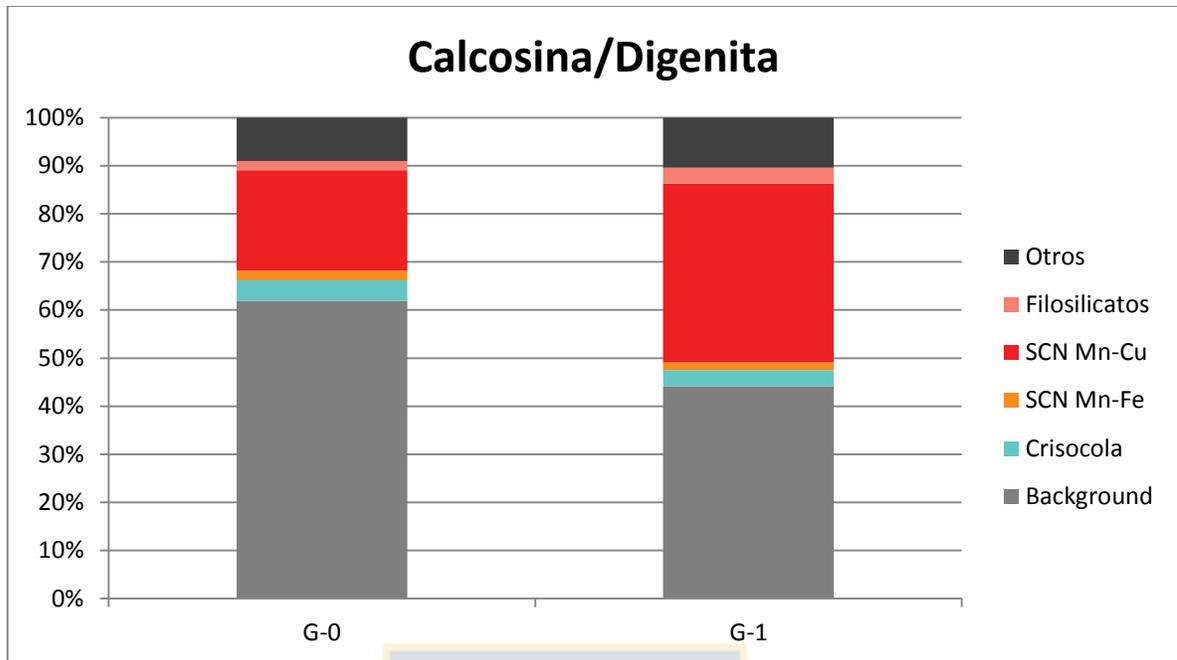
La calcosina/digenita (Figura 4.23) en la etapa 0 está relacionada principalmente a SCN Mn-Cu (21%), crisocola (4%), SCN Mn-Fe (2%), filosilicatos (2%) y cuarzo (1%). Cambios en la etapa 1 los presentan el SCN Mn-Cu (37%), crisocola (3%) y filosilicatos (3%). Ya en la etapa 2, estos valores llegan a crisocola (28%), filosilicatos (5%), SCN Mn-Fe (0%) y Mn-Cu (0%).



**Figura 4.21:** Asociaciones mineralógicas de Cu-biotita en Gabriela Mistral.



**Figura 4.22:** Asociaciones mineralógicas de Cu-arcilla en Gabriela Mistral.



**Figura 4.23:** Asociaciones mineralógicas de calcosina/digenita en Gabriela Mistral.

#### 4.1.3 Grado de liberación

El grado de liberación u oclusión se refiere al porcentaje área ocupado por el mineral en la partícula analizada por el QEMSCAN®. Se considera una fase mineral que ocupa entre el 0% al 30% del área de la partícula como ocluida, entre el 30% y 60% del área, parcialmente liberada y con un área entre el 60% y 80% como mayormente liberado. Si se encuentra sobre el 80% se considera como liberada. QEMSCAN® entrega el porcentaje en peso del mineral en cada categoría de liberación.

Se midió este parámetro para siete minerales, los cuales son: crisocola, atacamita, SCN Mn-Cu, SCN Fe-Cu, SCN Mn-Fe, brocantita/antlerita y calcosina/digenita.

##### 4.1.3.1 Crisocola

La crisocola fue identificada en las muestras de Ministro Hales y Gabriela Mistral. En el primer yacimiento (Tabla 4.4), se encuentra en las tres primeras etapas con un 0,28%, 0,54% y 0,91% del porcentaje en peso del mineral en la muestra. En la etapa 0, la mayoría (0,25%) se encuentra ocluido, mientras que el resto, parcialmente liberado (0,02%) y liberado (0,01%). Ya en la etapa 1, existe un 0,54% de este mineral, del cual un 0,24% esta ocluido, 0,12% parcialmente liberado, 0,06% mayormente liberado y un 0,12% liberado. En la etapa siguiente y la última con crisocola,

tenemos un 0,91% del porcentaje en peso del mineral, del cual un 0,63% se encuentra ocluido, 0,14% parcialmente liberado, 0,05% mayormente liberado y 0,09% liberado.

**Tabla 4.4:** Grado de liberación crisocola en Ministro Hales (valores en % en peso)

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
D-0	0,25	0,02	0,00	0,01	0,28
D-1	0,24	0,12	0,06	0,12	0,54
D-2	0,63	0,14	0,05	0,09	0,91
D-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
D-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

En el caso de Gabriela Mistral (Tabla 4.5), en la etapa 0 la crisocola representa un 5,93% del total, correspondiendo un 1,87% a material ocluido, un 1,33% parcialmente liberado, 0,66% mayormente liberado y un 1,53% liberado. En la fase siguiente, del 4,92% de este mineral presente, solo 0,97% se encuentra liberado, mientras que un 0,64% está mayormente liberado, estando la mayoría ocluido (2,25%) y parcialmente liberado (1,06%). La etapa 2, donde la crisocola es uno de los minerales predominantes (23,67%), vemos que la mayoría de esta especie se encuentra liberada (14,32%) y mayormente liberada (3%), mientras que el resto está ocluido (3,07%) y parcialmente liberado (3,28%).

**Tabla 4.5:** Grado de liberación crisocola en Gabriela Mistral (valores en % en peso)

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
G-0	1,87	1,33	0,66	1,53	5,39
G-1	2,25	1,06	0,64	0,97	4,92
G-2	3,07	3,28	3,00	14,32	23,67
G-3	0,04	0,00	0,07	0,04	0,15
G-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### 4.1.3.2. Atacamita

En las muestras de Ministro Hales, la atacamita se encuentra en muy bajas cantidades: etapa 0 (0,03%), etapa 1(0,02%) y etapa 2 (0,15%). Se encuentra todo ocluido en los tres casos.

En Gabriela Mistral (Tabla 4.6), las dos primeras etapas tienen un bajo contenido de este mineral, donde la totalidad se encuentra ocluida. Ya en la etapa 2, aumenta el porcentaje total de atacamita, pero sigue estando en su mayoría ocluido.

**Tabla 4.6:** Grado de liberación atacamita en Gabriela Mistral (valores en % en peso del mineral)

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
G-0	0,13	0,01	0,00	0,01	0,15
G-1	0,18	0,00	0,00	0,00	0,18
G-2	1,45	0,03	0,00	0,01	1,49
G-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### 4.1.3.3. SCN Mn-Cu

El SCN Mn-Cu (Tabla 4.7.10) está presente en los tres yacimientos estudiados, solamente en las etapas 0 y 1. En Ministro Hales, en la etapa inicial, este mineraloide representa un 22,80% de la muestra, del cual un 7,7% se encuentra liberado, un 3,52% mayormente liberado, 6,04% parcialmente liberado y 5,54% ocluido. En la etapa 1, el SCN Mn-Cu ahora corresponde a un 39,34% del total y la cantidad que se encuentra liberado aumenta considerablemente en comparación con la etapa anterior (26,33%).

**Tabla 4.7:** Grado de liberación SCN Mn-Cu

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
DMH-0	5,54	6,04	3,52	7,70	22,80
DMH-1	3,37	5,42	4,22	26,33	39,34
Q-0	1,50	1,47	1,48	1,15	5,59
Q-1	2,03	1,38	0,60	0,16	4,17
G-0	2,90	6,94	7,89	40,92	58,65
G-1	4,72	11,14	9,59	22,45	47,89

En el caso de Quetena, la cantidad detectada de SCN Mn-Cu es menor, debido a que gran parte fue catalogada como criptomelano, esto hace que los datos estén incompletos y dificulten su análisis.

Para Gabriela Mistral, el SCN Mn-Cu en la etapa 0 esta principalmente liberado (40,92%) y en menor medida mayormente liberado (7,89%), parcialmente liberado (6,94%) y ocluido (2,90%). En la etapa 1, el porcentaje que se encuentra liberado disminuye (22,45%) mientras que el resto de las categorías aumentan levemente.

#### 4.1.3.4. SCN Fe-Cu

El caso del SCN Fe-Cu (Tabla 4.8) es distinto a las otras variedades de este mineraloide, pues se encuentra presente en todas las etapas del estudio.

Para las muestras de Ministro Hales, la mayoría se encuentra ocluido y un menor porcentaje parcialmente liberado. El caso de la etapa 1 es el único en que hay mineral parcialmente liberado (0,05%) y liberado (0,04%). Similar situación se ve en el yacimiento Quetena, donde casi la totalidad de esta especie se encuentra ocluida.

**Tabla 3.11:** Grado de liberación SCN Fe-Cu

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
DMH-0	0,69	0,02	0,01	0,00	0,73
DMH-1	0,39	0,08	0,05	0,04	0,56
DMH-2	0,89	0,04	0,00	0,00	0,93
DMH-3	0,15	0,01	0,00	0,00	0,16
DMH-4	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06
Q-0	0,21	0,00	0,00	0,00	0,21
Q-1	0,18	0,00	0,00	0,00	0,19
Q-2	0,25	0,01	0,00	0,00	0,26
Q-3	0,27	0,00	0,00	0,00	0,28
Q-4	0,14	0,00	0,00	0,00	0,14
G-0	1,43	0,54	0,11	0,27	2,35
G-1	1,81	0,41	0,17	0,10	2,48
G-2	5,99	1,37	0,31	0,38	8,05
G-3	0,10	0,01	0,00	0,00	0,12
G-4	0,04	0,00	0,00	0,00	0,05

Por otro lado, en Gabriela Mistral existe una mayoría de material ocluido por sobre el liberado. En el caso de la etapa 0 por ejemplo, del 2,35% detectado, un 1,43 se encuentra ocluido, un 0,54% parcialmente liberado, mientras que solo un 0,38% entra en las categorías parcialmente liberado y liberado. Estas condiciones se mantienen similares en la etapa 1, pero ya en la etapa 2, se observa un aumento del porcentaje de este mineral en la muestra (8,05%) del cual la mayoría sigue estando ocluido (5,99%). En las etapas 3 y 4 el SCN Fe-Cu disminuye su concentración (0,12% y 0,05%) estando la mayoría ocluido

#### 4.1.3.5. SCN Mn-Fe

El SCN Mn-Fe (Tabla 4.9) fue identificado principalmente en las etapas 0 y 1. En las muestras de Ministro Hales, en la etapa 0, la mayoría se encuentra ocluido (1,37%), estando un menor porcentaje parcialmente liberado (0,10%). Ya en la etapa 1, predomina también el mineral ocluido (1,37%) y una menor cantidad de material parcialmente liberado (0,29%), mayormente liberado (0,04%) y liberado (0,11%).

En el caso de Quetena, la totalidad del mineral presente esta ocluido.

En Gabriela Mistral, la situación no es tan marcada como en los otros dos yacimientos, en la etapa 0, existe un 9,75% de este mineral, del cual un 3,53% esta ocluido, un 4,26% parcialmente liberado, un 1,45% mayormente liberado y un 0,51% liberado. Ya en la etapa 1, aumenta su porcentaje total a 12,81%, estando la mayoría ocluido (5,03%) y parcialmente liberado (5,83%), el resto, está mayormente liberado (1,67%) y liberado (0,28%).

**Tabla 4.9:** Grado de liberación SCN Fe-Cu

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
DMH-0	1,94	0,10	0,01	0,01	2,05
DMH-1	1,37	0,29	0,04	0,11	1,81
Q-0	0,21	0,00	0,00	0,00	0,22
Q-1	0,20	0,00	0,00	0,00	0,21
G-0	3,53	4,26	1,45	0,51	9,75
G-1	5,03	5,83	1,67	0,28	12,81

#### 4.1.3.6. Brocantita/antlerita

La brocantita se encuentra en muy bajas cantidades en las muestras estudiadas, por lo que los resultados obtenidos no son de mucha utilidad.

#### 4.1.3.7. Calcosina/digenita

La calcosina/digenita (Tabla 4.10) se detectó en muestras de Ministro Hales y Gabriela Mistral, pero en el primer caso, esta en cantidades de 0,01% solamente, por lo que no fue considerada para este estudio.

En Gabriela Mistral, del 0,89% que se encuentra en la etapa 0, un 0,54% está ocluido, un 0,16% parcialmente liberado, un 0,17% mayormente liberado y un 0,18% liberado. En la etapa 1, este

mineral se reduce hasta un 0,18%, estando la mayoría ocluido (0,12%) y el resto parcialmente liberado (0,01%), mayormente liberado (0,02%) y liberado (0,18%). En la etapa 2 está presente en muy pequeñas cantidades (0,01%) el cual está todo ocluido.

**Tabla 4.10:** Grado de liberación calcosina/digenita

Muestra	Ocluido	Parcialmente liberado	Mayormente liberado	Liberado	% en peso en la muestra
G-0	0,54	0,16	0,17	0,18	0,89
G-1	0,12	0,01	0,02	0,04	0,18
G-2	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
G-3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
G-4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



## 5. DISCUSIÓN

Los objetivos de este estudio son caracterizar la mineralogía y texturas de cabezas y ripios para entender su refractariedad. Para lograrlo, se debe realizar una integración de los distintos grupos de datos obtenidos, considerando las características de las especies minerales en cada ataque químico de la extracción secuencial (microscopía y QEMSCAN®) y la química de minerales de interés, como son los SCN y otros minerales portadores de cobre.

### 5.1 Desestabilización de la mineralogía de mena y relacionados

En las muestras obtenidas se observa que algunos minerales solo se encuentran hasta ciertas etapas. La Tabla 5.1, indica la última etapa en que se identificaron estos minerales, los casos marcados con un guion (-), se debe a que el mineral no estaba en las muestras de ese yacimiento.

**Tabla 5.1:** Desestabilización especies minerales (número indica última etapa que contiene el mineral).

	DMH	Quetena	Gabriela Mistral
<b>Crisocola</b>	2	-	2 (remanentes en 3)
<b>Atacamita</b>	-	-	2
<b>SCN Fe-Cu</b>	4	4	4
<b>SCN Mn-Fe</b>	1	1	1
<b>SCN Mn-Cu</b>	1	1	1
<b>Criptomelano</b>	1	1	1
<b>Cu-Clorita</b>	4	4	-
<b>Cu-Moscovita</b>	2	-	2
<b>Cu-Biotita</b>	4	4	4
<b>Cu-Arcilla</b>	2	-	2
<b>Calcosina/Digenita</b>	-	-	2

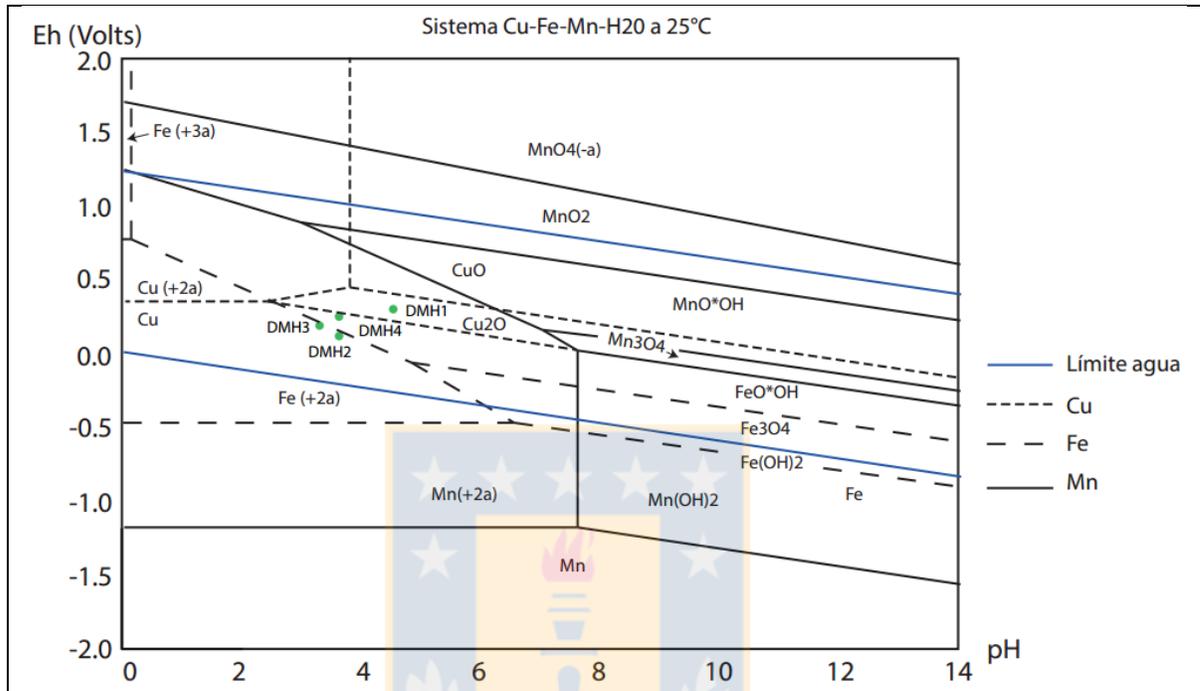
Recordemos que las etapas de la extracción secuencial son las siguientes:

- 0.- Muestra inicial, sin ataques químicos.
- 1.- Extracción de elementos solubles con acetato de amonio (ataque débil).
- 2.- Extracción de óxidos de Mn con clorhidrato de hidroxilamina.
- 3.- Extracción de fases de óxidos de Fe amorfo con oxalato de amonio.
- 4.- Extracción de fases de óxidos de Fe cristalino con oxalato de amonio a 50°C.
- 5.- Extracción del residuo con ácidos: clorhídrico, nítrico y fluorhídrico.

Se realizaron tres diagramas de Pourbaix combinados (uno para cada yacimiento) considerando Cu, Fe y Mn en medio acuoso a 25°C. Las líneas representan los límites entre las fases sólidas y líquidas predominantes y, en el caso particular de este diagrama combinado, según el tipo de

línea se ve a que elemento se refiere. Estos diagramas permiten entender el comportamiento de las especies minerales, a través de las distintas etapas de la extracción.

### 5.1.1 Distrito Ministro Hales



**Figura 5.1:** Diagrama Pourbaix Cu-Fe-Mn-H<sub>2</sub>O a 25°C / 1 M. Distrito Ministro Hales.

La Figura 5.1 muestra gráficamente las zonas donde suceden las reacciones en cada etapa, lo que permitirá observar si cada una de las fases se encuentra en su correspondiente zona de solubilidad. Si bien, aunque se muestre la etapa 4 (DMH-4) en este diagrama, esto no es del todo correcto, ya que la termodinámica indica que las reacciones involucradas son dependientes de la temperatura (50°C en etapa 4), por lo tanto deberían existir pequeñas variaciones en las zonas de estabilidad para esta etapa.

La etapa 1, enfocada en provocar un intercambio de elementos en los minerales presentes mediante acetato de amonio, no genera la desestabilización de ninguno. Todos los minerales identificados en la etapa inicial 0, se encuentran en esta etapa posterior. Al microscopio no se ven cambios en los minerales presentes, lo cual es congruente con el objetivo de esta etapa.

La segunda etapa, cuyo propósito es extraer los óxidos de Mn utilizando clorhidrato de hidroxilamina, genera un cambio en las condiciones de Eh y pH (Figura 5.1). Vemos que se pasa de la zona de estabilidad del Cu<sub>2</sub>O al Cu<sup>0</sup> y del FeO\*OH al límite de la zona de Fe<sup>2+</sup>. Ocurre en

esta etapa una desestabilización de tres especies, en que el Mn es parte importante de la estructura: los SCN de Mn-Fe y Mn-Cu, y el criptomelano (Tabla 5.1). Esto además se evidencia en las asociaciones mineralógicas de los otros minerales, los cuales después de este ataque no presentan contactos con ninguno de estos 3 minerales. Se ve un aumento en la extracción de Cu y Mn con respecto a la etapa 1, posiblemente relacionado a estos cambios mineralógicos (Tabla 3.7).

Al microscopio los feldespatos siguen presentando alteración a sericita y arcillas de incipiente a pervasiva, observada también en la etapa inicial y después del primer ataque (Capítulo 3.1.1).

La tercera etapa, enfocada en atacar las fases de óxidos de Fe amorfo al aplicar oxalato de amonio, tiene como resultado la desaparición de crisocola, Cu-moscovita y Cu-arcilla (Tabla 5.1), observada en los datos entregados por el QEMSCAN®. En el microscopio se detecta un aumento en la alteración de plagioclasas y feldespatos K, ambos con alteración incipiente a arcillas. La extracción de Cu y Mn en esta etapa disminuye con respecto a la etapa anterior y ahora se encuentra en 0,4 y 0,1% (Tabla 3.7). Estos bajos valores se mantendrán similares para las etapas posteriores. En la Figura 5.1 se observa que la reacción en esta etapa ocurrió en condiciones Eh-pH distintas a la etapa anterior, pero no lo suficiente como para encontrarse en un área de estabilidad distinta para alguno de los 3 elementos estudiados.

La cuarta etapa se enfoca en las fases de Fe cristalino, utilizando también oxalato de amonio, pero ahora a 50°C. No ocurren cambios en el contenido mineralógico ni en las alteraciones observadas en esta última etapa al comparar con las muestras del ataque anterior.

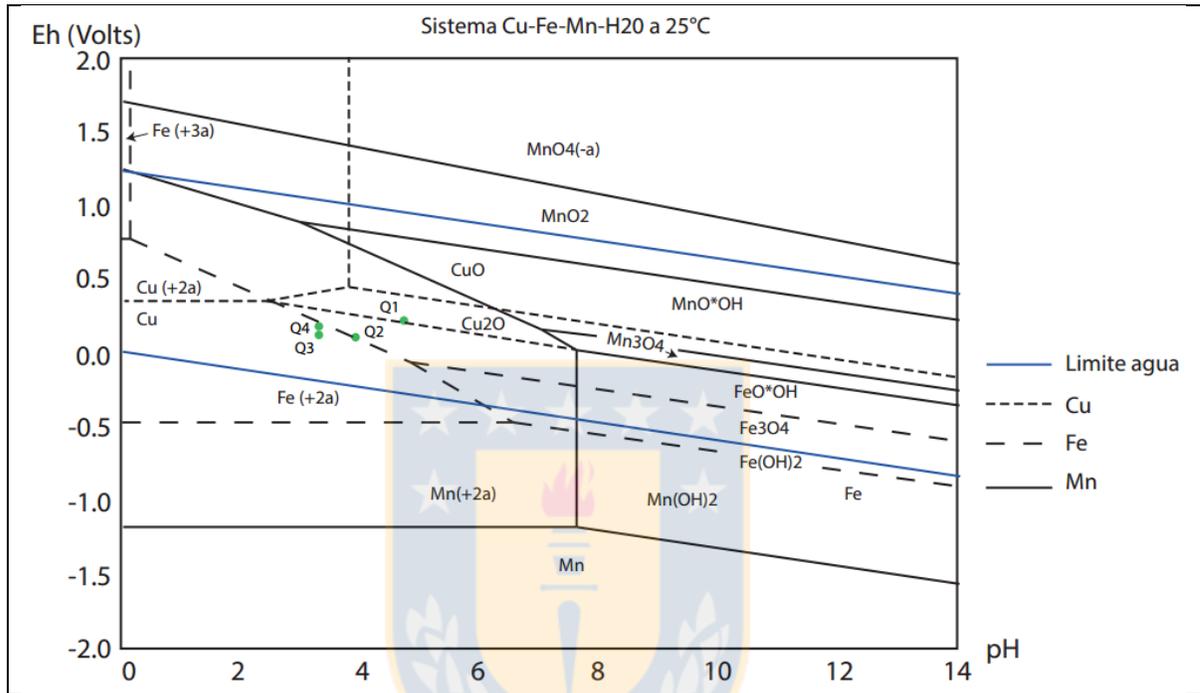
Finalmente, en la etapa 5, enfocada en atacar el residuo, se aprecia el mayor porcentaje de extracción de Fe de todas las etapas (Tabla 3.7).

### **5.1.2 Quetena**

La Figura 5.2 es idéntica a la Figura 5.1, pero tiene los resultados correspondientes al yacimiento Quetena.

La primera etapa, tiene efectos similares a los observados en DMH en la etapa 1, todos los minerales identificados en la etapa 0 se encuentran presentes y al microscopio no se distinguen cambios en el estado de estos, situación que calza con lo esperado en este primer ataque químico.

Se observa un incremento en el porcentaje de criptomelano (Tabla 4.2), que como se mencionó anteriormente, está ligado al SCN Mn-Cu. Este aumento es similar al ocurrido en la primera etapa de Ministro Hales. Lo anterior podría ocurrir por una remoción de fases lábiles en los SCN, que posteriormente pasan a ser leídos como criptomelano por el QEMSCAN®.

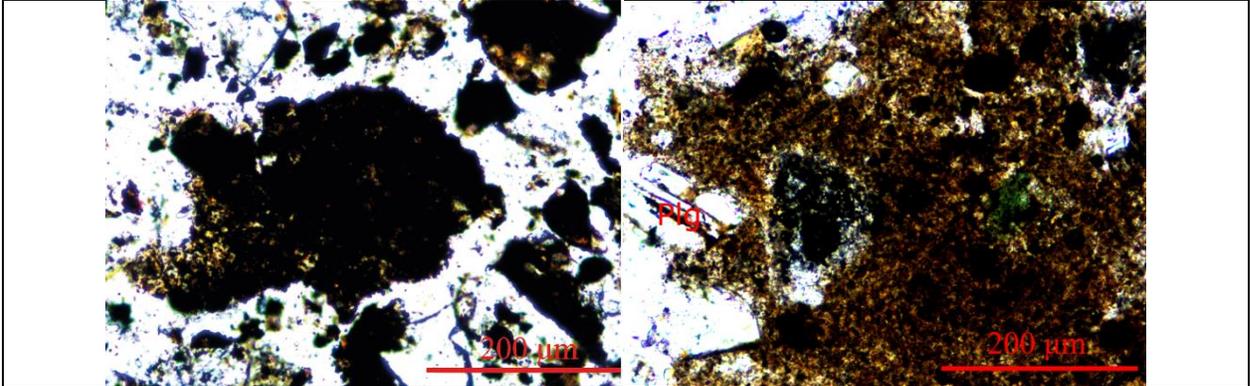


**Figura 5.2:** Diagrama Pourbaix Cu-Fe-Mn-H<sub>2</sub>O a 25°C / 1 M. Quetena.

La segunda etapa, enfocada en atacar los óxidos de Mn, se aplicó en condiciones de Eh y pH distintas a la primera (Figura 5.2), caso análogo al descrito para las muestras de Distrito Ministro Hales. En esta etapa se provoca la desaparición de criptomelano, SCN de Mn-Fe y Mn-Cu, todos portadores de Mn en su estructura. Esto se evidencia en sus asociaciones mineralógicas con otros minerales de Cu, pues de esta etapa en adelante, ya no existen relaciones con ninguno de estos tres minerales.

Si observamos con el microscopio las muestras de esta etapa, destaca la presencia de una gran cantidad de minerales que no pudieron ser identificados por este método debido a posibles alteraciones superficiales que modifican las características ópticas de estos (Microfotografía 5.1). Con ayuda del QEMSCAN® se pudo determinar que corresponden a filosilicatos. A largo de todas estas etapas la plagioclasa se encuentra levemente alterada a arcillas, los feldespatos K fuertemente alterados a arcillas y las biotitas tienen una alteración incipiente a clorita. Ocurre

además un incremento en el porcentaje de extracción de Cu y Mn con respecto a la etapa 1. La extracción de Mn y Cu llega a sus valores más altos en esta etapa (Tabla 3.7), probablemente debido a la desestabilización de los SCN portadores de ambos elementos.



**Microfotografía 5.1:** Minerales no identificados en Q-2. LPP, 10x, Quetena.

La tercera etapa, que tenía como fin desestabilizar las fases de Fe amorfo, ocurre en un ambiente Eh y pH similar a la etapa 2, pero ya más ubicada dentro del área de estabilidad del  $\text{Fe}^{2+}$  (Figura 5.2). En este caso, no existen cambios en el contenido mineralógico al observar los datos entregados por el QEMSCAN®. Al microscopio se reafirma esta similitud entre etapas, se observan las mismas alteraciones ya mencionadas y porcentajes similares de minerales. La extracción de Cu y Mn sufre un descenso en comparación a la etapa anterior y pasa de 0,4 a 0,1% para el Cu y de 3,1 a 0,1% para el Mn (Tabla 3.7).

Para la cuarta etapa, enfocada en las fases de Fe cristalino, si observamos los datos obtenidos con QEMSCAN® y al microscopio, vemos que no hay cambios ni en el contenido de minerales ni en las alteraciones que estos presentan. Se debe mencionar que desde la etapa 2 en adelante los minerales no identificados en el microscopio corresponden a gran parte de la muestra, pero se pueden relacionar al grupo filosilicatos del QEMSCAN®. La extracción de Cu y Fe no varía de los datos obtenidos en la etapa 3, pero la de Mn disminuye en su totalidad.

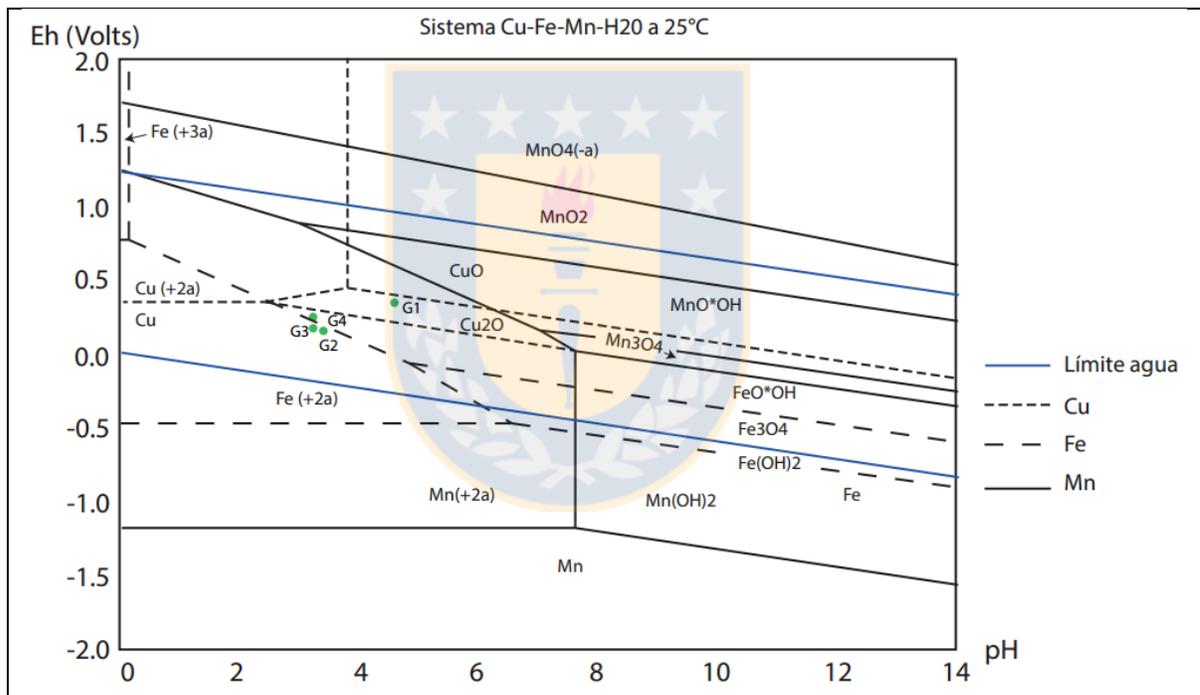
En la etapa 5, se obtiene una recuperación mayor de Cu y Fe a partir del residuo. Se destaca el caso del Fe, en el que gran parte de su extracción se produce en esta etapa final (Tabla 3.7).

### 5.1.3 Gabriela Mistral

La Figura 5.3 es idéntica a las 5.1 y 5.2, pero tiene los resultados correspondientes al yacimiento Gabriela Mistral.

La etapa 1, al igual que ambos casos anteriores, no genera cambios en el contenido mineralógico, además de ocurrir en condiciones Eh y pH similares (Figura 5.3). Todos los minerales observados inicialmente se encuentran en esta etapa y en ambas, el feldespato K y la plagioclasa se encuentran alterados a arcillas.

Los SCN de Mn-Cu y Mn-Fe predominan en la etapa 0 y la 1. En ambos casos, estos SCN se encuentran desde liberados a parcialmente liberados, con pequeñas cantidades ocluidas.



**Figura 5.3:** Diagrama Pourbaix Cu-Fe-Mn-H<sub>2</sub>O a 25°C / 1 M. Gabriela Mistral.

La segunda etapa, enfocada en extraer los óxidos de Mn, tiene como consecuencia la desaparición de los minerales portadores de Mn: criptomelano, SCN Mn-Fe y Mn-Cu. Situación equivalente a la que ocurre en las muestras de Ministro Hales y Quetena, en las cuales la extracción de Cu y Mn aumento en relación a las etapas anteriores. Al microscopio se observó un mayor porcentaje de crisocola en la muestra, que en nicols cruzados tienen colores de interferencia menores a los normales; en su mayoría se encuentran liberadas o mayormente liberadas. Además, con este método, se observó, en la etapa 0, 1 y 2, una cantidad considerable

de minerales “opacos no identificados” (20 a 30%) que fueron probablemente categorizados por el QEMSCAN® como silicatos de cobre negro (Tabla 4.3).

La etapa 3, que apunta a desestabilizar las fases de Fe amorfo, genera, según los datos entregados por QEMSCAN®, la casi desaparición de la crisocola. Pero al microscopio, aún se identifica un 14% de este mineraloide, pero presenta colores de interferencia muy distintos al original y un color celeste muy débil. Esto probablemente es resultado de los distintos ataques químicos que pueden haber provocado pérdida de Cu en su estructura. Además de la crisocola, desaparecen la Cu-moscovita, Cu-arcilla y la atacamita, esto sumado a que al microscopio, los opacos no identificados desaparecen en esta etapa, pero aumenta el contenido de transparentes no identificados en un 20% aproximadamente. Estos, se relacionan a los minerales identificados como filosilicatos por el QEMSCAN®. La extracción de Mn y Cu disminuye en comparación a la etapa 2, la de Cu llega hasta 1,7% y la de Mn se reduce a 0,2%, resultado de la desestabilización previa de los minerales con estos elementos en su estructura (Tabla 3.7).

La etapa 4, enfocada en las fases de Fe cristalino, no provoca cambios en los porcentajes de minerales presentes observables, ni al microscopio óptico, ni al QEMSCAN® (Tablas 3.3 y 4.3). La extracción de Cu y Mn disminuye aún más y se hace cercana a cero (Tabla 3.7)

En la etapa 5, donde se ataca el residuo, existe un aumento en la extracción de Fe, que sube desde un 0,0% hasta 1,3%, este comportamiento fue observado en las muestras de Ministro Hales y Gabriela Mistral (Tabla 3.7). La razón de esta predominante extracción del Fe solo al momento de atacar el residuo, podría explicarse debido a la refractariedad presentada por las fases portadoras de este elemento a lo largo de las distintas extracciones secuenciales.

## 6. CONCLUSIÓN

Luego de revisar los antecedentes mineralógicos asociados a la aplicación de la técnica de extracción secuencial a muestras de tres depósitos de Cu con mineralización de silicatos de cobres negros, es posible concluir lo siguiente:

La etapa 1, en la que se aplicó acetato de amonio para provocar un intercambio de elementos en los minerales presentes, no trajo consigo cambios observables en la mineralogía de mena y ganga. Por otro lado, químicamente, se observó una extracción de Cu, producida probablemente por la remoción de Cu desde fases con capacidad de intercambio catiónico (arcillas), que tenían este elemento en su estructura interlaminar o adsorbida en la superficie.

La etapa 2, en la que se utilizó clorhidrato de hidroxilamina, genera en los tres casos, la desestabilización de los minerales portadores de Mn en su estructura (criptomelano, SCN Mn-Fe y Mn-Cu), lo cual se evidencia en las asociaciones mineralógicas con otros minerales, pues de esta etapa en adelante, no existen relaciones con ninguna de estas tres especies. Desde un punto de vista químico, existe una extracción de Cu y Mn, que podría explicarse por la desestabilización de los minerales portadores de estos elementos. Lo que es congruente con lo esperado para esta etapa.

Además, se genera la formación de agregados minerales, observados de manera más clara en las muestras del yacimiento Quetena. Estos cúmulos corresponden principalmente a filosilicatos, descritos como aluminosilicatos. Su naturaleza multimineral hace difícil una categorización de ellos, pero se debe destacar que al utilizar EPMA, se distingue Cu en su estructura cristalina en la mayoría de los puntos medidos y porcentajes menores de Mn. Si seguimos la evolución de estos aluminosilicatos a lo largo de las extracciones, vemos que ambos elementos no presentan variaciones destacables.

Adicionalmente, en esta etapa, en el caso del yacimiento Gabriela Mistral, donde hay un contenido de crisocola mayor que en los otros yacimientos, tenemos que parte de estas se encuentran liberadas a mayormente liberadas, a diferencia de las etapas 0 y 1.

La etapa 3, en la que se aplicó oxalato de amonio, desestabiliza la crisocola, Cu-moscovita y Cu-arcilla, además de un pequeño porcentaje de atacamita en el caso de Gabriela Mistral. En la

misma muestra, la crisocola no es identificada como tal al QEMSCAN®, pero al microscopio óptico aún se puede distinguir, aunque con diferencias en sus propiedades diagnósticas (menores colores de birrefringencia principalmente). Estas crisocolas “lavadas” probablemente sufrieron pérdida de elementos que provocaron estos cambios en sus características.

Se observa también una tendencia a disminuir la extracción de Cu en comparación con la etapa 2. De los tres yacimientos, es en Gabriela Mistral, donde, desde un ángulo químico, hay una extracción de Cu mayor. Esto podría relacionarse a Cu aportado por las crisocolas, que en este yacimiento representaban un porcentaje mayor de la muestra total, en comparación a los otros yacimientos. Por otro lado, la extracción de Mn, en los tres yacimientos es menor que en la etapa anterior, teniendo valores cercanos a 0,1%.

La etapa 4, en la que se utilizó oxalato de amonio, pero ahora a 50°C, no genera cambios en la mineralogía en ninguno de los casos. Los minerales observados en esta etapa que presentan un carácter refractario, sin considerar los minerales de ganga, son: SCN Fe-Cu, Cu-clorita y Cu-biotita.

La etapa 5, en la que se aplicaron ácidos clorhídrico, nítrico y fluorhídrico, con el fin de extraer el residuo, provoca la desestabilización total de los minerales restantes. Se observa que la mayor parte de la extracción de Fe ocurre en esta etapa, evidenciando la refractariedad de las fases portadores de este elemento.

Finalmente, se concluye que los distintos métodos de análisis utilizados fueron suficientes para poder categorizar y estudiar los resultados obtenidos, luego de la aplicación de la extracción secuencial en las muestras estudiadas, proyectando este protocolo para el uso evaluación de los reactivos necesarios para extraer Cu desde fases particularmente complejas, como los SCN.

## 7.- REFERENCIAS

**Baeza, L. y Venegas, R. 1984.** El basamento cristalino de la Sierra Limón Verde, II Región de Antofagasta: Consideraciones genéticas. *Revista Geológica de Chile*, N° 22: 25-34.

**Basso, M. y Mpodozis, C. 2012.** Carta Cerro Químal. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N°143: 41 pp.

**Blanco, N.; Tomlinson, A.J.; Mpodozis, C.; Pérez de Arce, C. y Matthews, S. 2003.** Formación Calama, Eoceno, II Región de Antofagasta (Chile): Estratigrafía e Implicancias Tectónicas. 10<sup>mo</sup> Congreso Geológico Chileno, Concepción.

**Blanco, N. 2008.** Estratigrafía y Evolución Tectono-Sedimentaria de la Cuenca Cenozoica de Calama (Chile, 22°S). Tesis de Magister de Geología Experimental, Universidad de Barcelona (Inédito): 68pp.

**Blanco, N.; Vásquez, P.; Sepúlveda, F.A.; Tomlinson, A.J.; Quezada, A.; Ladino, M., 2012.** Levantamiento geológico para el fomento de la exploración de recursos minerales e hídricos de la Cordillera de la Costa, Depresión Central y Precordillera de la Región de Tarapacá (20°-21°S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-12-50: 246 pp. 7 mapas escala 1:100.000, Santiago.

**Boric, R.; Díaz, J.; Becerra, H. y Zentilli, M. 2009.** Geology of the Ministro Hales Mine (MMH), Chuquicamata District, Chile. 12<sup>vo</sup> Congreso Geológico Chileno, Santiago.

**Calisto, D. 2013.** Estratigrafía de la formación Cerro Empexa en el área de Camiña (19°20'S), Norte de Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (inédito): 126 pp.

**Cameron, E.; Leybourne, M.; Palacios, C. 2007.** Atacamite in the oxide zone of copper deposits in northern Chile: involvement of deep formation waters?. *Miner Deposita* 42: 205-218.

**Campbell, I.; Ballard, J.; Palin, J.; Allen, C. y Faunes, A. 2006.** U-Pb zircón geochronology of granitic rocks from the Chuquicamata – El Abra porphyry copper belt of northern Chile: Excimer Laser Ablation ICP-MS analysis. *Economic Geology*. Vol. 101: 1327-1344.

- Camus, F. 2003.** Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería. 267 pp. Santiago.
- Chávez, W. 2000.** Supergene oxidation of copper deposits: Zoning and distribution of copper oxide minerals. Society of Economic Geologists, number 41: 9-21.
- Díaz, J. 2010.** Actualización de la Geología del depósito Mina Ministro Hales (MMH). Dirección Geología Distrital y Desarrollo, Codelco Norte. Informe Interno (Inédito): 10 pp.
- Dilles, J.; Tomlinson, A.; García, M. y Alcota, H. 2011.** The Geology of the Fortuna Granodiorite Complex, Chuquicamata District, Northern Chile: Relation to porphyry Copper Deposits.
- Domic, E.** Hidrometalurgia: Fundamentos, procesos y aplicaciones, Andros Impresores Ltda.: 226-264. Santiago.
- Escobar, M. 2005.** Caracterización mineralógica de óxidos negros y limonitas en la sección maestra del proyecto Toki, Cluster Toki, Calama, II Región. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 102 pp.
- García, F. 1967.** Geología del Norte Grande de Chile. *In* Symposium sobre el Geosinclinal Andino N° 3, Sociedad Geológica de Chile: 138 pp.
- García, C.; Garcés, J.; Rojas, C.; Zárate, G. 2007.** Synergetic effect of leaching ore blends or minerals containing copper wad and secondary sulphides. Hydrocopper 2007. Viña del Mar, Chile: 89-94.
- Galli, O. 1957.** Las formaciones geológicas en el borde occidental de la Puna de Atacama, sector de Pica, Tarapacá. Revista Minerale, Vol. 12, N°56: 14-26.
- Hartley, A.J. y Rice, C.M. 2005.** Controls on supergene enrichment of porphyry copper deposits in the Central Andes: A review and discussion. Mineralium Deposita. N°40: 515-525.
- Hernández, M.C.; Benavente, O.; Melo, E.; Nuñez, D. y Zepeda, Y. 2011.** Copper leach from black copper minerals. 6° Seminario Internacional de Hidrometalurgia del Cobre. Actas: 1-10.

**Hervé, F.; Munizaga, F; Marinovic S., Marinovic, N.; Hervé, M.; Kawashita, K.; Brook, M y Snelling, N. 1985.** Geocronología Rb-Sr y K-Ar del basamento cristalino de Sierra Limón Verde, Antofagasta, Chile. 4<sup>to</sup> Congreso Geológico Chileno. Volumen 4: 235-253.

**Jorquera, C. 2007.** Respuesta Geoquímica en una cubierta aluvial sobre un pórfido cuprífero: Quebrada de los Arrieros, Región de Antofagasta, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (inédito): 108 pp.

**Lira, G. 1991.** Geología y paleogeografía mesozoica de la precordillera de Calama, Región de Antofagasta, Chile. 6<sup>to</sup> Congreso Geológico Chileno. Resúmenes expandidos: 645-648.

**Maksaev, V. 1978.** Cuadrángulo Chitigua y sector occidental del cuadrángulo cerro Palpana. Carta Geológica de Chile N°31 (1:50.000), Instituto de Investigaciones Geológicas, Santiago.

**Maksaev, V.; Tomlinson, A. y Blanco, N. 1994.** Estudio geológico de la franja longitudinal comprendida entre Quebrada Blanca y Chuquicamata. Servicio Nacional de Geología y Minería – Corporación Nacional del Cobre, Septiembre 1994. Informe Inédito. Codelco Chile, Casa Matriz. 72 pp.

**Marinovic, N. y Lahsen, A. 1984.** Geología de la Hoja Calama. Escala 1:250.000. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N°58: 140 pp.

**Marinovic, N. y García, M.** Hoja Pampa Unión, Región de Antofagasta, Servicio Nacional de Geología y Minería. Mapas Geológicos N°9. Escala 1:100:000, Santiago.

**May, G.; Hartley, A. J.; Chong, G.; Stuart, F.; Turner, P. y Kape, S. 2005.** Eocene to Pleistocene lithostratigraphy, chronostratigraphy and tectono-sedimentary evolution of the Calama Basin, northern Chile. Revista Geológica de Chile, Vol. 32, N°1: 33-58.

**Mote, T.I.; Becker, T.A.; Reene, P. y Brimhall, G.H. 2001.** Chronology of exotic mineralization at El Salvador, Chile, by <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar dating of Supergene Alunite. Economic Geology. Volumen 96, N° 2: 351-366.

**Mpodozis, C., Marinovic, N., Smoje, I. y Cuitiño, L. 1993.** Estudio Geológico-Estructural de la Cordillera de Domeyko entre Sierra Limón Verde y Sierra mariposas, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado IR.93-04: 181 pp.

**Mpodozis, C., Arriagada, C., Basso, M., Roperch, P., Cobbold, P. y Reich, M. 2005.** Late Mesozoic to Paleogene stratigraphy of the Salar de Atacama Basin, Antofagasta, Northern Chile: Implications for the tectonic evolution of the Central Andes. *Tectonophysics*, 399: 125-154.

**Münchmeyer, C. 1996.** Exotic deposits, products of lateral migration of supergene solutions from porphyry copper deposits, in *Andean Copper Deposits*. Society of Economic Geologists, Special Publication 5: 43-58.

**Münchmeyer, C. 2006.** Depósitos exóticos: productos de migración lateral de soluciones supérgenas asociadas a depósitos tipo pórfidos cupríferos. *Guía Práctica para la Exploración de Depósitos Exóticos*, Marzo 2006. 64 pp.

**Munizaga, F.; Maksaev, V.; Fanning, M.; Giglio, S.; Tassinari, C. 2006.** Collahuasi Formation in northern Chile: Geochronological evidence of magmatic activity on the western border of Gondwana. Short papers In V South American Symposium on Isotope Geology, Punta del Este, Uruguay: 126.

**Muñoz, J.F. y Parraguez, C. 1998.** Estudio Geológico Sector Sierra Gorda, II Región. Informe Complementario I (Inédito). Preparado para Sub Gerencia Propiedad y Desarrollo Minera, SOQUIMICH S.A.: 34 pp.

**Ossandón, G.; Fréaut, R.; Gustafson, L.; Lindsay, D. y Zentilli, M. 2001.** Geology of the Chuquicamata Mine: A Progress Report. *Economic Geology*, Vol. 96: 249-270.

**Pardo, R. y Rivera, S. 1999.** Exploración básica de seguimiento, Distrito Chuquicamata, II Región. Informe de resultados. Informe Interno, Gerencia de Exploraciones Codelco Chile. 77 pp.

**Pardo, R.; Kovacic, P.; Peigna, P.; Faundez, P.; Alcota, H. y Rojo, J. 2004.** Informe de Cierre Exploración Avanzada Cluster Toki, Modelo Integrado Genoveva-Quetena-Toki, CODELCO,

Vicepresidencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Gerencia Corporativa de Exploraciones, Oficina Regional. Informe Interno: 163 pp.

**Pichuante, H. 2014.** Caracterización Geológica y Geotectónica de la cobertura clásica del depósito porfídico Quetena y su influencia en la optimización del diseño minero, Región de Antofagasta, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 128 pp.

**Pincheira, M.; Kelm, U.; Helle, S. y Dagnino, A. 2003a.** Characterization of Copper Wad and Copper Pitch in the samples of Metallurgical Tests from the Deposits of “Extensión Norte Mina Sur” in Chuquicamata. 5<sup>th</sup> international Copper Conference.

**Pincheira, M.; Kelm, U.; Helle, S. y Dagnino, A. 2003b.** Las fases de cobre negro en yacimientos exóticos: nuevos antecedentes mineralógicos, texturales y composicionales. Revista Minerale (Septiembre/Octubre 2003).

**Pinget, M.C.; Dold, B.; Fontboté, L.; Vergara, M. y Rojas, J. 2012.** Mineralogía de la mineralización exótica en Chuquicamata: nuevos avances. Actas 13° Congreso Geológico Chileno, Antofagasta, Chile: 37-39.

**Renzetti, B. 1957.** Geology and petrogenesis at Chuquicamata, Chile. Thesis PhD, Indiana University, USA: 71 pp.

**Reyes, C. 2010,** Caracterización Geológica y Geoquímica de la mineralización Exótica del Cluster Toki, II Región de Antofagasta. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 99 pp.

**Soto, M.F. 2013.** Pressure-Temperature-Time paths of the Limón Verde Metamorphic Complex, Chile. Tesis para optar al Grado de Magister en Ciencias, mención Geología. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Geología (inédito): 125 pp. Santiago.

**Tomlinson, A.J.; Blanco, N. 2008.** Geología de la franja El Abra-Chuquicamata, II Región (21°45'-22°30'S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Informe Registrado IR-08-35: 196 p., 5 mapas escala 1:50.000, Santiago.

**Tomlinson, A.J.; Blanco, N.; Dilles J.H. 2010.** Carta Calama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, N°8. 43 pp. Santiago.



ANEXO 1: MICROSONDA ELECTRÓNICA



A-Puntos Microsonda DMH

Código y punto	Cu	Mn	Fe	Si	Al	Zn	P	Mg	Ti	Na	K	Ca	Cl	S	O	Total	Por observacion al microscopio
D-4 pto 101	4,1	0,1	8,7	15,9	7,4	1,1	0,0	9,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,6	83,66	Aluminosilicato
D-4 pto 102	3,4	0,1	48,1	3,5	0,7	0,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,0	94,19	Hidroxido de Fe con Cu
D-4 pto 103	2,5	0,8	58,3	1,8	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	31,1	94,69	Hidroxido de Fe con Cu
D-4 pto 104	3,7	0,3	8,6	18,5	6,3	1,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,4	77,48	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-4 pto 105	3,8	0,4	11,6	14,0	7,0	0,6	0,0	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,5	86,86	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-4 pto 106	2,9	0,2	7,7	16,9	6,7	1,1	0,0	8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,1	66,89	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-4 pto 107	5,9	0,3	8,3	17,1	8,9	1,2	0,0	12,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,2	89,52	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-4 pto 108	6,5	0,2	7,1	15,7	7,7	1,8	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	83,69	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 109	4,0	0,0	46,7	2,4	1,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	88,46	Hidroxido de Fe con Cu y Al
D-3 pto 110	7,9	0,2	7,7	16,0	8,2	2,1	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,3	78,42	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 111	10,0	0,2	6,9	16,2	6,5	1,8	0,0	7,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	81,38	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 112	6,0	0,2	8,1	17,0	9,0	1,0	0,0	4,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	38,6	84,56	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 113	4,8	0,1	5,8	19,1	9,8	1,7	0,0	6,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,9	84,81	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 114	4,5	0,6	8,1	14,7	8,5	1,5	0,0	11,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	42,2	91,76	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al, Zn y Mg
D-3 pto 115	10,0	0,2	5,3	14,3	7,4	1,7	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,2	83,7	Aluminosilicato de Cu, Fe, Al y Zn
D-3 pto 116	2,5	0,7	55,8	1,8	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6	91,77	Hidroxido de Fe con Cu y Al
D-2 pto 117	3,8	0,0	46,8	2,8	1,4	0,3	0,6	0,2	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,1	36,5	93,05	Hidroxido de Fe con Cu y Al
D-2 pto 118	0,1	0,1	70,6	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	26,9	98,42	Hidroxido de Fe
D-2 pto 119	2,2	0,7	56,7	1,6	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	31,3	93,28	Hidroxido de Fe con Cu
D-2 pto 120	5,4	0,3	10,2	13,4	9,9	1,6	0,0	9,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	40,8	90,91	Aluminosilicato de Cu, Fe y Mg
D-2 pto 121	6,7	0,4	8,3	12,7	8,5	1,4	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	42,8	91,08	Aluminosilicato de Cu, Fe y Mg
D-2 pto 122	2,2	0,1	60,3	1,8	0,2	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	29,3	94,5	Hidroxido de Fe con Cu
D-1 pto 123	19,4	19,5	0,0	3,8	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2	0,7	0,1	0,0	14,1	58,67	SCN Mn - Cu
D-1 pto 124	21,1	21,4	0,0	7,2	1,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0	19,9	72,22	SCN Mn - Cu

<b>D-1 pto 125</b>	22,4	22,4	0,0	7,8	2,0	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	32,5	88,52	SCN Mn - Cu
<b>D-1 pto 126</b>	21,1	23,7	0,0	3,8	0,9	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,6	0,5	0,0	0,0	31,9	82,75	SCN Mn - Cu
<b>D-1 pto 127</b>	21,3	22,9	0,0	6,8	1,7	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	0,0	34,8	88,75	SCN Mn - Cu
<b>D-1 pto 128</b>	13,4	11,7	0,0	4,8	0,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	10,7	42,31	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 138</b>	22,0	22,5	0,0	7,5	1,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	2,0	0,4	0,0	0,0	32,5	89	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 139</b>	22,0	22,6	0,0	6,4	1,4	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	34,6	87,75	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 140</b>	24,0	22,1	0,0	6,1	1,4	0,1	0,0	0,5	0,0	0,1	0,2	1,0	0,0	0,0	34,6	89,95	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 141</b>	20,8	19,2	0,0	7,9	2,1	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,4	0,4	0,0	0,0	38,2	89,51	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 142</b>	21,4	21,8	0,0	7,9	1,9	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	1,0	0,3	0,0	0,0	36,2	90,87	SCN Mn - Cu
<b>D-1.1 pto 143</b>	22,0	22,1	0,0	7,1	1,6	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	0,0	35,9	89,86	SCN Mn - Cu
<b>D-1b pto 144</b>	7,0	12,3	1,7	14,0	6,8	0,1	0,1	1,1	0,1	0,1	0,5	0,7	0,1	0,0	29,8	74,49	SCN Mn - Cu
<b>D-1b pto 145</b>	13,4	23,9	0,0	1,5	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,5	0,3	0,4	0,0	17,4	58,14	?
<b>D-1b pto 146</b>	18,2	21,4	0,0	6,6	1,7	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	0,4	0,4	0,0	25,8	75,06	SCN Mn - Cu
<b>D-1b pto 147</b>	17,1	12,4	0,0	10,4	2,3	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,2	14,0	57,64	SCN Mn - Cu
<b>D-1b pto 148</b>	20,9	24,3	0,0	6,0	1,3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	0,0	27,1	80,67	SCN Mn - Cu
<b>D-1b pto 149</b>	13,4	20,8	0,0	3,1	0,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,5	0,2	0,5	0,1	13,7	52,96	?
<b>D-0 pto 129</b>	20,9	24,4	0,0	6,1	1,5	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	1,4	0,1	0,0	34,7	89,66	SCN Mn - Cu
<b>D-0 pto 130</b>	21,5	25,5	0,0	6,2	1,6	0,2	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	1,5	0,1	0,0	32,5	89,71	SCN Mn - Cu
<b>D-0 pto 131</b>	21,7	24,9	0,0	6,1	1,5	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	1,4	0,1	0,0	32,7	89,14	SCN Mn - Cu
<b>D-0 pto 132</b>	20,9	23,7	0,0	5,8	1,5	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	1,3	0,1	0,0	34,3	88,24	SCN Mn - Cu
<b>D-0 pto 133</b>	21,5	23,6	0,0	6,7	1,7	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,2	1,3	0,1	0,0	34,4	90,08	SCN Mn - Cu
<b>D-0 pto 134</b>	4,6	7,3	24,6	9,0	2,3	0,3	0,2	0,4	0,2	0,1	0,3	1,1	0,1	0,0	30,5	80,93	Hidroxido de Fe con Cu, Mn y Al
<b>D-0 pto 135</b>	6,0	0,5	12,5	12,3	8,4	1,3	0,0	8,3	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	42,2	91,78	Aluminosilicato de Cu, Mg y Zn
<b>D-0 pto 136</b>	13,5	16,7	1,1	10,5	5,0	0,1	0,0	0,8	0,1	0,1	0,7	1,2	0,1	0,0	37,1	86,97	Aluminosilicato de Cu y Mn

B.- Puntos Microsonda Quetena

Código y punto	Cu	Mn	Fe	Si	Al	Zn	P	Mg	Ti	Na	K	Ca	Cl	S	O	Total	Por observacion en microscopio
Q-4 pto 04B	5,3	0,4	10,6	15,5	8,8	1,1	0,0	8,9	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	44,2	95,51	Aluminosilicato de Fe, Al, Mg, Cu y Zn
Q-4 pto 05B	0,9	0,4	16,3	12,1	9,3	0,1	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	44,6	93,62	Biotita/Chl
Q-4 pto 06B	3,2	0,8	29,7	16,5	4,8	0,2	0,1	0,4	0,2	0,0	0,2	0,1	0,3	0,1	37,6	93,97	Aluminosilicato de Fe, Al y Cu
Q-4 pto 07	2,9	0,0	12,1	19,6	9,4	0,4	0,0	4,6	0,4	0,1	1,9	0,1	0,1	0,0	42,7	94,3	Aluminosilicato de Fe, Al, Mg y Cu
Q-4 pto 08	3,2	0,2	11,7	19,6	7,1	0,2	0,0	6,0	1,3	0,1	2,4	0,1	0,1	0,0	39,5	91,4	Biotita/Chl
Q-4 pto 09	0,7	0,4	16,2	14,7	10,1	0,2	0,0	9,6	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	38,5	90,65	Biotita/Chl
Q-4 pto 10	0,2	0,4	15,4	12,0	9,9	0,1	0,0	10,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,9	79,19	Biotita/Chl
Q-4 pto 11	4,2	0,5	10,1	13,4	9,4	0,2	0,0	10,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	44,6	92,77	Aluminosilicato de Fe, Al, Mg y Cu
Q-4 pto 12	62,4	0,0	0,2	0,0	0,0	7,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	4,9	75,44	
Q-4 pto 13	68,9	0,0	0,4	0,1	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	3,8	79,82	
Q-4 pto 14	55,8	0,0	0,4	1,3	0,8	24,9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	4,3	87,99	
Q-4 pto 15	5,7	0,2	6,9	13,6	8,8	0,9	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	42,8	89,57	Biotita/Chl
Q-3 pto 16	3,4	2,3	45,2	1,8	1,1	0,1	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	35,3	90,14	SCN Fe-Cu
Q-3 pto 17	2,0	1,1	53,4	1,8	1,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	30,5	91,04	SCN Fe-Cu
Q-3 pto 18	0,3	0,1	6,6	21,5	15,8	0,0	0,1	0,7	0,1	0,1	4,4	0,0	0,0	0,0	40,8	90,57	Aluminosilicato de Fe
Q-3 pto 19	59,9	0,0	0,7	0,1	0,0	36,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6	100,66	
Q-3 pto 20	62,5	0,0	0,9	0,1	0,0	33,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	99,86	
Q-3 pto 21	6,7	0,1	8,4	16,1	6,6	0,2	0,0	7,5	1,3	0,0	2,4	0,1	0,2	0,0	39,8	89,45	Biotita
Q-3 pto 22	5,2	0,1	6,7	16,3	6,5	0,5	0,0	9,1	1,1	0,0	2,3	0,1	0,2	0,0	40,8	88,98	Biotita
Q-3 pto 23	3,4	1,2	49,1	1,0	1,0	0,1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,2	37,0	93,79	Hidróxido de Fe con Cu y Mn
Q-3 pto 24	2,5	0,9	51,2	1,5	1,4	0,1	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	34,6	93,29	Hidroxidos de Fe con Cu y Al
Q-3 pto 25	3,4	2,3	45,9	2,6	1,7	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	39,2	96,1	Hidroxidos de Fe con Cu, Al y Mn
Q-3 pto 26	1,7	0,7	48,9	5,5	3,3	0,0	0,4	0,3	0,4	0,0	0,5	0,2	0,0	0,1	31,7	93,59	Hidroxidos de Fe con Cu y Al
Q-3 pto 27	2,4	0,4	50,6	1,3	1,3	0,1	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	39,1	95,85	Hidroxidos de Fe con Cu y Al
Q-2 pto 69	3,7	2,9	45,8	2,6	2,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,9	91,3	Hidroxidos de Fe con Cu, Al y Mn
Q-2 pto 70	3,2	1,4	46,9	2,9	1,9	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7	89,27	Hidroxidos de Fe con Cu, Al y Mn
Q-2 pto 71	4,2	2,4	48,0	2,9	0,8	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,1	92,6	Hidroxidos de Fe con Cu y Mn
Q-2 pto 72	3,7	2,7	45,9	2,1	1,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,7	90,44	Hidroxidos de Fe con Cu, Al y Mn
Q-2 pto 73	1,7	0,4	59,5	1,3	0,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,1	95,52	Hidroxidos de Fe con Cu
Q-2 pto 74	3,5	0,2	13,8	15,8	5,9	0,2	0,0	5,4	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	33,8	78,52	Biotita

<b>Q-2 pto 75</b>	2,3	1,7	42,7	5,8	2,9	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,1	80,14	Hidroxidos de Fe con Cu, Al y Mn
<b>Q-1 pto 76</b>	3,3	3,5	44,6	1,6	1,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,6	89,58	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-1 pto 77</b>	3,9	43,7	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	13,9	63,12	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 78</b>	3,7	41,4	0,0	0,5	0,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	19,4	66,23	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 79</b>	3,2	36,7	0,2	0,5	0,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7	52,34	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 80</b>	3,6	26,9	0,1	0,5	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0	52,97	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 81</b>	3,8	42,6	0,0	0,5	0,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	15,8	64,1	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 82</b>	4,8	39,8	0,0	0,5	0,5	0,5	0,0	0,5	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	19,7	66,56	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 83</b>	2,6	37,4	0,0	0,5	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	53,33	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 84</b>	3,7	30,2	0,9	0,4	0,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4	51,64	SCN Mn - Cu
<b>Q-1 pto 85</b>	3,5	8,0	42,1	2,0	2,2	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	28,2	86,14	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-1 pto 86</b>	3,4	3,8	42,9	2,8	1,6	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	33,8	88,64	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-0 pto 28</b>	4,6	35,5	1,1	0,5	0,5	0,1	0,0	0,2	0,3	0,4	0,7	0,5	0,3	0,1	18,0	62,49	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 29</b>	4,8	19,9	0,6	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,3	0,0	12,8	40,19	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 30</b>	0,0	4,6	33,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	22,8	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	30,1	91,93	Ilmenita
<b>Q-0 pto 31</b>	5,0	0,2	54,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	39,7	104,86	
<b>Q-0 pto 32</b>	4,2	45,6	0,0	0,5	0,5	0,1	0,0	0,1	0,2	0,4	1,1	0,4	0,1	0,0	25,3	78,56	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 33</b>	6,3	33,9	0,4	1,5	0,8	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2	0,8	0,5	0,1	0,1	17,8	63	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 34</b>	3,9	5,2	47,3	2,6	1,7	0,1	0,3	0,2	0,2	0,0	0,1	0,3	0,1	0,2	33,4	95,53	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-0 pto 35</b>	5,1	39,4	0,0	0,8	0,8	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	1,1	0,6	0,1	0,1	23,6	72,3	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 36</b>	4,3	34,9	0,0	0,6	0,8	0,0	0,0	0,2	0,2	0,3	0,7	0,5	0,3	0,0	13,3	56,3	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 37</b>	4,9	40,7	0,1	0,7	0,7	0,1	0,0	0,2	0,2	0,5	1,2	0,6	0,1	0,1	24,0	74,07	SCN Mn - Cu
<b>Q-0 pto 38</b>	6,4	3,5	6,9	14,4	6,3	0,3	0,0	6,9	0,8	0,1	1,7	0,2	0,1	0,0	38,3	85,75	Biotita
<b>Q-0 pto 39</b>	2,9	1,9	41,5	2,3	1,5	0,1	0,2	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1	40,4	91,71	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-0 pto 40</b>	2,9	4,2	42,5	5,1	2,9	0,1	0,1	0,3	0,6	0,0	0,3	0,3	0,0	0,1	33,1	92,54	Hidroxidos de Fe con Cu, Mn y Al
<b>Q-0 pto 41</b>	2,6	0,2	9,3	17,0	6,3	0,3	0,0	8,2	2,1	0,2	2,9	0,1	0,2	0,0	41,0	90,46	Biotita

C.- Puntos Microsonda Gabriela Mistral

Código y punto	Cu	Mn	Fe	Si	Al	Zn	P	Mg	Ti	Na	K	Ca	Cl	S	O	Total	Por observacion en microscopio
<b>G-4 pto 52</b>	5,5	0,1	8,2	16,0	7,8	0,0	0,0	8,3	1,4	0,1	2,6	0,1	0,0	0,0	41,3	91,3	Biotita?
<b>G-4 pto 53</b>	3,5	0,1	8,3	16,5	7,7	0,0	0,0	8,2	0,6	0,1	2,1	0,1	0,2	0,0	38,4	85,7	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-4 pto 54</b>	3,2	0,0	6,9	15,3	6,3	0,0	0,0	5,2	0,7	0,1	1,3	0,1	0,1	0,0	33,2	72,4	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-4 pto 55</b>	6,4	0,1	9,3	16,0	7,8	0,0	0,0	7,6	1,1	0,1	2,5	0,1	0,1	0,0	38,7	89,8	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-4 pto 56</b>	5,8	0,1	8,6	16,4	7,7	0,0	0,0	8,1	1,0	0,1	2,4	0,1	0,2	0,0	36,0	86,3	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-4 pto 57</b>	4,4	0,1	57,1	1,6	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	32,6	96,3	Hidróxidos de Fe con Cu
<b>G-4 pto 57(1)</b>	4,4	0,1	58,1	1,7	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	30,1	95,0	Hidróxidos de Fe con Cu
<b>G-4 pto 58</b>	4,0	0,1	10,9	16,2	7,3	0,0	0,0	7,0	1,8	0,3	4,4	0,1	0,2	0,0	39,9	92,2	Biotita?
<b>G-4 pto 59</b>	5,4	0,1	8,7	16,1	8,2	0,0	0,0	7,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	80,1	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-3 pto 87</b>	1,9	0,1	46,1	4,5	2,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,6	85,6	Hidróxidos de Fe con Cu y Al
<b>G-3 pto 88</b>	4,5	0,1	9,7	16,8	7,2	0,0	0,0	7,4	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	33,5	79,3	chl?
<b>G-3 pto 89</b>	7,4	0,1	10,8	16,2	7,6	0,0	0,0	6,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	37,5	85,7	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-3 pto 90</b>	6,0	0,1	8,9	16,0	7,0	0,0	0,0	7,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	41,9	87,3	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-3 pto 91</b>	4,2	0,0	57,1	1,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5	94,4	Hidróxidos de Fe con Cu
<b>G-3 pto 92</b>	5,8	0,1	8,3	16,1	7,4	0,0	0,0	6,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	37,4	81,5	Aluminosilicato de Fe, Mg y Cu
<b>G-2 pto 60</b>	19,5	1,8	0,0	11,2	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,1	38,7	SCN Mn - Cu
<b>G-2 pto 61</b>	5,9	0,1	9,9	16,4	7,8	0,0	0,0	7,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	35,0	82,3	chl?
<b>G-2 pto 62</b>	2,1	0,3	4,9	19,0	8,2	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8	67,8	SCN Mn - Fe
<b>G-2 pto 63</b>	5,3	0,1	8,1	16,4	7,3	0,0	0,0	7,6	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	32,7	77,6	chl?
<b>G-2 pto 64</b>	5,8	0,1	9,0	15,9	7,8	0,0	0,0	7,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	36,0	81,8	chl?
<b>G-2 pto 65</b>	8,2	0,0	38,4	4,4	1,2	9,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,5	87,0	Hidróxidos de Fe con Zn y Cu
<b>G-2 pto 66</b>	2,1	0,2	45,9	5,2	3,3	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	29,6	86,5	Hidróxidos de Fe con Cu
<b>G-2 pto 67</b>	12,9	0,5	36,4	7,6	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,4	84,3	Hidróxidos de Fe con Cu
<b>G-2 pto 68</b>	2,7	1,5	43,4	1,9	2,4	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,7	79,8	Hidróxidos de Fe con Cu

<b>G-1 pto 42</b>	21,3	13,1	0,0	9,2	0,9	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,1	1,1	20,8	67,0	SCN Mn - Cu
<b>G-1 pto 43</b>	13,1	9,9	0,0	6,3	1,3	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,2	0,1	0,4	12,9	44,5	SCN Mn - Cu
<b>G-1 pto 44</b>	12,3	12,2	3,5	11,9	4,2	0,1	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1	1,2	0,0	0,0	32,6	78,4	SCN Mn - Fe
<b>G-1 pto 45</b>	11,7	9,1	7,0	11,3	4,9	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,3	0,0	0,1	34,5	79,4	SCN Mn - Fe
<b>G-1 pto 46</b>	18,6	20,4	0,0	5,2	0,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	24,0	69,6	SCN Mn - Cu
<b>G-1 pto 47</b>	1,3	0,8	2,2	20,2	15,1	0,0	0,0	0,8	0,1	0,2	4,6	0,1	0,0	0,0	44,2	89,7	Biotita?
<b>G-1 pto 48</b>	2,3	0,1	1,7	21,6	15,3	0,0	0,0	0,7	0,2	0,2	4,3	0,0	0,0	0,0	41,7	88,2	Biotita?
<b>G-1 pto 49</b>	15,4	11,1	3,4	11,5	6,4	0,1	0,0	0,4	0,0	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	35,9	84,9	SCN Mn - Fe
<b>G-1 pto 50</b>	21,2	22,5	0,0	7,7	1,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,1	0,4	0,1	0,1	22,1	75,4	SCN Mn - Cu
<b>G-1 pto 51</b>	12,0	11,8	3,5	12,1	5,6	0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,1	0,6	0,0	0,0	35,2	81,7	SCN Mn - Fe
<b>G-0 pto 93</b>	25,7	18,6	0,0	8,8	1,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5	76,0	SCN Mn - Cu
<b>G-0 pto 94</b>	15,5	11,8	0,0	2,6	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,5	45,9	SCN Mn - Cu
<b>G-0 pto 95</b>	19,9	20,7	0,0	3,2	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	18,8	63,4	SCN Mn - Cu
<b>G-0 pto 96</b>	21,8	17,4	0,0	3,7	0,5	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,8	55,4	SCN Mn - Cu
<b>G-0 pto 97</b>	33,5	4,3	0,0	8,0	0,4	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,4	55,8	SCN Mn - Cu
<b>G-0 pto 98</b>	6,1	0,0	10,7	20,9	5,9	0,0	0,0	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	35,5	80,3	SCN Mn - Fe
<b>G-0 pto 99</b>	22,8	0,1	0,7	9,0	0,7	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,5	43,9	
<b>G-0 pto 100</b>	11,1	9,1	3,4	12,7	5,6	0,2	0,0	0,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	34,7	77,4	SCN Mn - Fe



ANEXO 2: ASOCIACIONES MINERALÓGICAS



A.- Asociaciones Minerales Ministro Hales

<b>SCN Fe-Cu</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<i>Background</i>	11,78	43,49	11,93	17,13	16,26
<b>Crisocola</b>	1,16	0,90	2,35	0,30	0,11
<b>Atacamita</b>	0,06	0,00	0,42	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	8,98	5,01	0,07	0,15	0,11
<b>SCN Mn-Cu</b>	4,08	4,41	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	4,39	1,70	4,15	6,63	7,63
<b>Cu-Moscovita</b>	1,11	0,20	1,73	0,15	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	5,81	2,91	9,28	6,14	4,98
<b>Cu- Arcilla</b>	2,96	2,91	6,32	0,05	1,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,10	0,01	0,20	0,11
<b>Pirita</b>	0,07	0,00	0,02	0,05	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,02	0,30	0,03	0,30	0,33
<b>Cuarzo</b>	6,26	3,21	6,90	11,49	11,84
<b>Feldespatos-K</b>	6,64	4,51	7,29	5,79	6,64
<b>Plagioclasas</b>	4,22	2,00	4,25	4,31	4,87
<b>Piroxenos</b>	0,62	0,00	0,86	1,88	1,99
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	3,32	1,70	3,91	4,55	3,65
<b>Filosilicatos</b>	14,61	10,32	19,30	16,83	16,26
<b>Epidota</b>	5,87	2,40	5,71	5,00	7,19
<b>Esfeno</b>	0,54	0,40	0,63	1,04	1,44
<b>Sulfatos</b>	0,15	0,10	0,04	0,10	0,33
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,30	0,00	0,15	0,15	0,11
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	11,54	9,12	9,73	13,47	10,95
<b>Otros</b>	5,45	4,31	4,92	4,31	4,20

SCN Mn-Fe					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<i>Background</i>	15,96	42,19	4,88	45,45	0,00
<b>Crisocola</b>	0,37	0,14	5,49	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,02	0,00	1,22	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	3,09	1,40	8,54	13,64	12,50
<b>SCN Mn-Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	33,31	22,64	14,63	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,19	0,11	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	1,95	0,76	4,27	0,00	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,45	0,34	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	1,99	1,01	10,98	4,55	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	0,75	0,45	0,00	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	4,55	0,00
<b>Cuarzo</b>	4,36	2,22	3,66	9,09	0,00
<b>Feldespato-K</b>	8,95	7,95	13,41	0,00	12,50
<b>Plagioclasas</b>	2,65	2,13	0,00	0,00	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,18	0,25	0,00	0,00	0,00
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	1,26	0,73	0,00	0,00	62,50
<b>Filosilicatos</b>	10,43	9,47	16,46	13,64	0,00
<b>Epidota</b>	3,83	1,52	0,61	4,55	0,00
<b>Esfeno</b>	0,23	0,06	0,61	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	2,70	1,49	0,61	4,55	0,00
<b>Otros</b>	7,16	5,11	14,63	0,00	12,50

<b>SCN Mn-Cu</b>			
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>
<b>Background</b>	53,96	81,10	21,88
<b>Crisocola</b>	1,35	0,72	15,63
<b>Atacamita</b>	0,04	0,02	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,01	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,38	0,11	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	8,92	1,92	25,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,24	0,13	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,25	0,07	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,28	0,08	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,32	0,10	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	0,69	0,29	3,13
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,02	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,01	0,01	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	5,54	1,71	9,38
<b>Feldespato-K</b>	8,89	5,00	12,50
<b>Plagioclasas</b>	4,75	1,36	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,05	0,04	0,00
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,46	0,39	0,00
<b>Filosilicatos</b>	5,96	3,59	1,04
<b>Epidota</b>	0,90	0,21	0,00
<b>Esfeno</b>	0,11	0,03	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,05	0,01	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,16	0,04	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,66	0,31	0,00
<b>Otros</b>	6,02	2,75	11,46

<b>Crisocola</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<i>Background</i>	26,87	60,51	40,90	17,54	11,25
<b>Crisocola</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,47	0,13	1,91	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,08	0,00	0,05	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	1,82	0,60	1,83	5,26	1,25
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,67	0,33	0,04	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	22,99	20,21	0,06	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,65	0,20	0,45	1,75	1,25
<b>Cu-Moscovita</b>	1,81	0,47	1,54	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	1,81	0,47	2,15	2,63	3,75
<b>Cu- Arcilla</b>	5,90	3,28	8,12	0,00	2,50
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,02	0,20	0,06	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,01	0,00	0,00	0,88	0,00
<b>Cuarzo</b>	16,03	3,28	13,11	51,75	66,25
<b>Feldespato-K</b>	4,65	2,41	5,39	6,14	2,50
<b>Plagioclasas</b>	2,69	0,60	2,95	1,75	3,75
<b>Piroxenos</b>	0,07	0,00	0,09	0,00	0,00
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,54	0,33	0,78	3,51	3,75
<b>Filosilicatos</b>	5,91	3,61	15,18	7,89	1,25
<b>Epidota</b>	0,61	0,27	0,50	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,08	0,00	0,09	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,12	0,00	0,04	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,32	0,13	0,37	0,00	1,25
<b>Otros</b>	4,77	2,95	4,36	0,88	1,25

<b>Criptomelano</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<i>Background</i>	25,26	54,28	15,38	37,50	50,00
<b>Crisocola</b>	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,74	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	5,63	1,32	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	26,21	18,42	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	22,84	11,84	73,08	37,50	50,00
<b>Feldespato-K</b>	4,63	3,95	0,00	0,00	0,00
<b>Plagioclasas</b>	1,16	0,66	0,00	0,00	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	1,26	1,64	0,00	0,00	0,00
<b>Filosilicatos</b>	3,32	3,62	0,00	12,50	0,00
<b>Epidota</b>	0,47	0,33	0,00	12,50	0,00
<b>Esfeno</b>	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	1,74	1,32	11,54	0,00	0,00
<b>Otros</b>	4,68	2,63	0,00	0,00	0,00

<b>Cu-Clorita</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<b>Background</b>	18,73	57,46	21,96	24,74	17,90
<b>Crisocola</b>	0,33	0,17	0,50	0,02	0,01
<b>Atacamita</b>	0,01	0,00	0,10	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>SCN Fe-Cu</b>	3,48	0,99	3,60	1,39	0,94
<b>SCN Mn-Fe</b>	4,49	1,57	0,03	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	2,16	1,81	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,66	0,17	0,82	0,08	0,11
<b>Cu-Biotita</b>	14,64	7,11	19,68	11,14	8,46
<b>Cu- Arcilla</b>	0,79	0,17	1,33	0,07	0,04
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,06	0,00	0,00	0,01
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	4,63	1,40	4,17	5,90	5,09
<b>Feldespato-K</b>	6,05	4,02	5,58	5,74	6,02
<b>Plagioclasas</b>	3,52	1,34	3,16	3,80	4,65
<b>Piroxenos</b>	2,33	1,40	2,83	3,90	4,87
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	1,54	1,11	1,73	1,82	2,08
<b>Filosilicatos</b>	27,39	16,61	26,90	34,06	42,72
<b>Epidota</b>	1,79	0,47	1,54	1,81	1,77
<b>Esfeno</b>	0,80	0,64	0,70	1,01	1,03
<b>Sulfatos</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,19	0,06	0,15	0,07	0,12
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	2,24	1,40	2,28	2,04	1,74
<b>Otros</b>	4,21	2,04	2,93	2,36	2,41

<b>Cu-Moscovita</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<i>Background</i>	14,21	43,82	16,21	13,85	10,90
<b>Crisocola</b>	2,20	1,35	3,13	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,33	0,00	0,79	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,11	0,39	2,76	1,01	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	2,50	2,32	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	5,82	6,37	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	1,57	0,58	1,51	2,70	5,13
<b>Cu-Moscovita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	4,93	2,90	6,32	8,45	10,26
<b>Cu- Arcilla</b>	8,63	5,21	11,56	0,34	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	3,43	0,39	3,44	5,41	3,85
<b>Feldespato-K</b>	26,09	15,06	23,36	34,12	39,74
<b>Plagioclasas</b>	4,80	2,12	4,57	4,05	3,21
<b>Piroxenos</b>	0,07	0,19	0,22	1,69	0,64
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,32	0,58	0,83	0,34	0,64
<b>Filosilicatos</b>	19,49	14,48	22,68	26,01	24,36
<b>Epidota</b>	0,14	0,00	0,21	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,09	0,00	0,07	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,05	0,00	0,05	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,70	0,77	0,61	0,68	0,64
<b>Otros</b>	2,38	3,47	1,63	1,35	0,64

<b>Cu-Biotita</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<b>Background</b>	14,05	46,44	16,06	18,68	15,07
<b>Crisocola</b>	0,84	0,51	1,58	0,03	0,06
<b>Atacamita</b>	0,07	0,15	0,22	0,01	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	4,25	2,10	5,33	1,40	0,84
<b>SCN Mn-Fe</b>	4,22	2,61	0,05	0,01	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	2,50	3,12	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	13,47	8,85	13,04	12,12	11,57
<b>Cu-Moscovita</b>	1,89	1,09	2,29	0,28	0,30
<b>Cu-Biotita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	2,26	1,74	3,90	0,17	0,02
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	8,11	4,14	8,29	11,72	11,29
<b>Feldespato-K</b>	13,15	8,20	12,20	11,11	12,45
<b>Plagioclasas</b>	5,20	2,39	5,29	7,46	7,38
<b>Piroxenos</b>	1,39	1,02	1,76	3,94	4,42
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,93	0,58	1,19	1,24	1,54
<b>Filosilicatos</b>	22,60	14,22	24,26	27,91	31,46
<b>Epidota</b>	0,41	0,15	0,44	0,35	0,52
<b>Esfeno</b>	0,25	0,15	0,25	0,25	0,36
<b>Sulfatos</b>	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,07	0,07	0,05	0,03	0,02
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	1,99	1,45	2,12	1,88	1,33
<b>Otros</b>	2,31	1,02	1,67	1,38	1,37

<b>Cu- Arcilla</b>					
	<b>DMH-0</b>	<b>DMH-1</b>	<b>DMH-2</b>	<b>DMH-3</b>	<b>DMH-4</b>
<b>Background</b>	14,60	43,36	16,34	15,57	7,97
<b>Crisocola</b>	3,69	3,70	6,27	0,00	1,45
<b>Atacamita</b>	0,58	0,23	1,54	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,91	2,19	3,80	0,47	6,52
<b>SCN Mn-Fe</b>	2,14	1,21	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	7,37	9,05	0,01	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,98	0,23	0,92	3,30	2,17
<b>Cu-Moscovita</b>	4,44	2,04	4,38	0,47	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	3,03	1,81	4,09	7,08	0,72
<b>Cu- Arcilla</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	4,16	2,64	5,05	5,66	5,80
<b>Feldespato-K</b>	10,77	7,01	10,66	11,32	6,52
<b>Plagioclasas</b>	20,09	9,50	16,05	19,34	26,09
<b>Piroxenos</b>	0,14	0,08	0,31	2,83	0,72
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	1,60	0,68	1,86	2,83	4,35
<b>Filosilicatos</b>	17,13	12,07	23,26	27,36	34,06
<b>Epidota</b>	1,31	0,68	1,27	0,47	0,00
<b>Esfeno</b>	0,32	0,00	0,28	0,47	0,72
<b>Sulfatos</b>	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,41	0,00	0,11	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,59	0,30	0,57	0,47	0,00
<b>Otros</b>	3,72	3,17	3,18	2,36	2,90

B. Asociaciones Minerales Quetena

SCN Fe-Cu					
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>	<b>Q-2</b>	<b>Q-3</b>	<b>Q-4</b>
<i>Background</i>	9,25	14,19	8,50	14,17	15,25
<b>Crisocola</b>	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,00	0,99	0,00	0,10	0,21
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,61	0,33	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	1,40	1,60	0,66	0,77	1,17
<b>Cu-Moscovita</b>	0,09	0,06	0,00	0,03	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	5,06	6,44	2,76	5,00	4,80
<b>Cu- Arcilla</b>	0,55	0,00	0,26	0,23	0,11
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
<b>Pirita</b>	0,02	0,28	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,04	0,06	0,03	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	2,43	1,98	1,54	3,11	5,01
<b>Feldespatos-K</b>	2,20	2,70	1,51	3,01	2,45
<b>Plagioclasas</b>	1,18	1,54	0,53	1,61	0,85
<b>Piroxenos</b>	1,35	0,94	1,12	1,12	0,53
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,66	0,28	0,53	2,53	2,03
<b>Filosilicatos</b>	48,86	47,25	76,13	61,38	60,98
<b>Epidota</b>	0,21	0,11	0,10	0,23	0,00
<b>Esfeno</b>	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,02	0,00	0,07	0,18	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,06	0,00	0,03	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,47	0,55	0,30	0,10	0,11
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	19,34	15,40	4,92	4,31	5,01
<b>Otros</b>	5,16	5,28	0,98	2,02	1,49

<b>SCN Mn-Fe</b>		
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>
<i>Background</i>	14,86	19,75
<b>Crisocola</b>	0,02	0,05
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,92	0,83
<b>SCN Mn-Fe</b>	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	14,41	9,30
<b>Criptomelano</b>	2,59	1,52
<b>Cu-Clorita</b>	1,73	2,72
<b>Cu-Moscovita</b>	0,02	0,09
<b>Cu-Biotita</b>	3,71	4,56
<b>Cu- Arcilla</b>	0,07	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,05
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	1,69	2,67
<b>Feldespato-K</b>	4,89	6,17
<b>Plagioclasas</b>	0,97	1,01
<b>Piroxenos</b>	0,12	0,14
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,00	0,05
<b>Filosilicatos</b>	8,71	9,25
<b>Epidota</b>	0,03	0,05
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,00	0,14
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,09
<b>Fosfatos</b>	0,03	0,05
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	2,40	1,01
<b>Otros</b>	42,83	40,52

<b>SCN Mn-Cu</b>		
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>
<b>Background</b>	31,65	22,92
<b>Crisocola</b>	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,01	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,31	0,76
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	24,44	26,53
<b>Cu-Clorita</b>	0,03	0,03
<b>Cu-Moscovita</b>	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,05	0,03
<b>Cu- Arcilla</b>	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,01	0,02
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	1,08	0,94
<b>Feldespato-K</b>	1,22	1,55
<b>Plagioclasas</b>	0,45	0,28
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,01	0,00
<b>Filosilicatos</b>	1,30	1,56
<b>Epidota</b>	0,08	0,05
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,00	0,06
<b>Carbonatos</b>	1,02	2,06
<b>Fosfatos</b>	0,02	0,01
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,22	0,16
<b>Otros</b>	37,10	43,05

<b>Criptomelano</b>		
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>
<i>Background</i>	20,68	22,66
<b>Crisocola</b>	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,09	0,03
<b>SCN Mn-Fe</b>	0,44	0,15
<b>SCN Mn-Cu</b>	45,51	32,63
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,01	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,03	0,01
<b>Cu- Arcilla</b>	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,03
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	7,37	5,83
<b>Feldespato-K</b>	0,56	1,12
<b>Plagioclasas</b>	0,18	0,18
<b>Piroxenos</b>	0,01	0,01
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,00	0,01
<b>Filosilicatos</b>	0,76	1,36
<b>Epidota</b>	0,05	0,04
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,01	0,04
<b>Carbonatos</b>	1,14	2,27
<b>Fosfatos</b>	0,03	0,02
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,78	0,72
<b>Otros</b>	22,37	32,89

<b>Cu-Clorita</b>					
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>	<b>Q-2</b>	<b>Q-3</b>	<b>Q-4</b>
<b>Background</b>	18,26	18,97	21,24	23,56	27,93
<b>Crisocola</b>	0,04	0,03	0,00	0,02	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	1,02	0,98	0,47	0,63	0,49
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,38	1,99	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,28	0,24	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,11	0,00	0,07	0,04	0,13
<b>Cu-Biotita</b>	18,31	18,30	15,55	17,42	14,52
<b>Cu- Arcilla</b>	0,06	0,00	0,00	0,04	0,04
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	1,82	2,46	1,87	2,14	1,85
<b>Feldespatos-K</b>	2,65	3,47	2,30	2,86	2,34
<b>Plagioclasas</b>	1,34	1,48	1,30	1,83	1,37
<b>Piroxenos</b>	2,76	3,10	3,32	2,63	2,91
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,19	0,07	0,12	0,29	0,13
<b>Filosilicatos</b>	45,54	41,44	49,72	44,96	45,06
<b>Epidota</b>	0,07	0,03	0,05	0,15	0,00
<b>Esfeno</b>	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,06	0,00	0,00	0,08	0,04
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	3,22	2,39	2,84	2,08	1,46
<b>Otros</b>	2,82	4,95	1,14	1,16	1,72

<b>Cu-Biotita</b>					
	<b>Q-0</b>	<b>Q-1</b>	<b>Q-2</b>	<b>Q-3</b>	<b>Q-4</b>
<b>Background</b>	20,89	20,36	26,55	24,36	29,16
<b>Crisocola</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,14	2,59	1,30	2,33	1,32
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,73	2,19	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,26	0,18	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,07	0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	10,64	12,00	10,19	9,85	9,63
<b>Cu-Moscovita</b>	0,24	0,38	0,16	0,33	0,32
<b>Cu-Biotita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	0,26	0,24	0,11	0,08	0,06
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	2,45	3,93	2,61	3,44	3,81
<b>Feldespato-K</b>	6,52	8,75	4,32	5,42	5,42
<b>Plagioclasas</b>	1,94	2,01	2,03	2,11	1,52
<b>Piroxenos</b>	1,83	1,90	1,52	1,46	1,61
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,27	0,20	0,20	0,39	0,18
<b>Filosilicatos</b>	45,18	37,71	46,91	46,21	44,53
<b>Epidota</b>	0,05	0,04	0,05	0,07	0,06
<b>Esfeno</b>	0,02	0,00	0,02	0,01	0,03
<b>Sulfatos</b>	0,01	0,15	0,00	0,04	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,13	0,24	0,09	0,04	0,03
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	2,59	2,06	2,64	2,39	1,11
<b>Otros</b>	2,78	4,93	1,30	1,45	1,23

C.- Asociaciones minerales Gabriela Mistral

SCN Fe-Cu					
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>
<i>Background</i>	28,56	21,33	19,20	21,42	26,92
<b>Crisocola</b>	6,47	6,16	5,98	0,28	0,00
<b>Atacamita</b>	0,38	0,31	1,04	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	9,26	9,50	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	1,82	2,60	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,03	0,06	0,07	0,18	0,77
<b>Cu-Moscovita</b>	1,70	2,29	2,03	0,09	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	3,34	3,63	4,74	20,86	12,05
<b>Cu- Arcilla</b>	12,73	13,24	14,58	1,29	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,01	0,01	0,00	0,00	1,03
<b>Cuarzo</b>	1,86	2,16	2,79	3,31	3,59
<b>Feldespatos-K</b>	2,57	3,15	3,05	5,24	2,56
<b>Plagioclasas</b>	0,43	0,50	0,64	0,18	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,03	0,05	0,09	1,29	0,26
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,26	0,04	0,01	1,19	0,00
<b>Filosilicatos</b>	27,52	32,03	43,74	37,13	27,95
<b>Epidota</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,09	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,90	1,17	0,99	4,41	23,08
<b>Otros</b>	1,83	1,73	0,99	3,13	1,79

SCN Mn-Fe					
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>
<b>Background</b>	30,90	23,76	19,20	21,42	26,92
<b>Crisocola</b>	1,43	1,12	5,98	0,28	0,00
<b>Atacamita</b>	0,06	0,09	1,04	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,26	1,99	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Fe</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	39,89	43,83	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,06	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,04	0,04	0,07	0,18	0,77
<b>Cu-Moscovita</b>	0,70	0,65	2,03	0,09	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	1,15	1,49	4,74	20,86	12,05
<b>Cu- Arcilla</b>	1,32	1,23	14,58	1,29	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,29	0,03	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03
<b>Cuarzo</b>	1,47	2,15	2,79	3,31	3,59
<b>Feldespatos-K</b>	4,91	6,67	3,05	5,24	2,56
<b>Plagioclasas</b>	0,18	0,31	0,64	0,18	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00	0,09	1,29	0,26
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,02	0,00	0,01	1,19	0,00
<b>Filosilicatos</b>	4,51	6,31	43,74	37,13	27,95
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,11	0,31	0,99	4,41	23,08
<b>Otros</b>	10,68	9,92	0,99	3,13	1,79

<b>SCN Mn-Cu</b>		
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>
<i>Background</i>	66,45	52,68
<b>Crisocola</b>	5,81	5,92
<b>Atacamita</b>	0,06	0,20
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,01	0,02
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,15	0,24
<b>SCN Mn-Fe</b>	13,51	19,66
<b>SCN Mn-Cu</b>	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,02	0,04
<b>Cu-Clorita</b>	0,00	0,01
<b>Cu-Moscovita</b>	0,36	0,61
<b>Cu-Biotita</b>	0,06	0,10
<b>Cu- Arcilla</b>	0,48	1,02
<b>Calcosina/Digenita</b>	1,06	0,32
<b>Pirita</b>	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	0,94	1,97
<b>Feldespato-K</b>	2,09	4,44
<b>Plagioclasas</b>	0,21	0,42
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,02	0,01
<b>Filosilicatos</b>	1,58	4,23
<b>Epidota</b>	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,07	0,01
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,22	0,15
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,03	0,11
<b>Otros</b>	6,85	7,83

<b>Crisocola</b>				
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>
<b>Background</b>	47,53	40,08	62,91	22,50
<b>Crisocola</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,47	0,42	3,05	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,02	0,08	0,01	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,01	0,00	0,00	0,13
<b>SCN Fe-Cu</b>	1,98	2,14	2,62	0,38
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,79	1,86	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	21,54	21,91	0,02	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,01	0,02	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	1,14	1,29	1,75	0,25
<b>Cu-Biotita</b>	0,23	0,35	0,31	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	4,89	4,88	6,92	3,25
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,81	0,10	0,05	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	8,24	14,00	9,81	67,25
<b>Feldespato-K</b>	1,03	1,84	1,41	0,88
<b>Plagioclasas</b>	0,32	0,59	0,39	0,00
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,01	0,01	0,00	0,00
<b>Filosilicatos</b>	2,50	3,82	6,91	2,25
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,02	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,33	0,25	0,19	1,38
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,04	0,04	0,06	0,38
<b>Otros</b>	7,07	6,30	3,57	1,38

<b>Atacamita</b>			
	G-0	G-1	G-2
<b>Background</b>	39,76	29,09	27,30
<b>Crisocola</b>	13,58	9,68	24,62
<b>Atacamita</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	3,34	2,46	3,69
<b>SCN Mn-Fe</b>	2,28	3,33	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	6,30	16,60	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Cu-Moscovita</b>	2,12	1,79	3,32
<b>Cu-Biotita</b>	0,23	0,46	0,44
<b>Cu- Arcilla</b>	10,47	8,84	12,25
<b>Calcosina/Digenita</b>	1,29	0,04	0,01
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	0,61	1,12	0,93
<b>Feldespato-K</b>	3,49	5,82	3,23
<b>Plagioclasas</b>	0,91	0,74	0,74
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,08	0,04	0,00
<b>Filosilicatos</b>	10,09	14,18	18,69
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,04	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,15	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,23	0,14	0,08
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,15	0,32	0,15
<b>Otros</b>	4,93	5,33	4,51

<b>Cu-moscovita</b>			
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>
<i>Background</i>	28,35	22,25	21,52
<b>Crisocola</b>	6,39	5,45	10,54
<b>Atacamita</b>	0,41	0,33	2,47
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,01	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	2,91	3,36	5,36
<b>SCN Mn-Fe</b>	4,93	4,56	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	7,52	9,52	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,03	0,02	0,02
<b>Cu-Moscovita</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,91	0,87	0,94
<b>Cu- Arcilla</b>	8,88	8,45	12,47
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,27	0,01	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	1,00	1,04	1,21
<b>Feldespatos-K</b>	14,38	16,03	10,46
<b>Plagioclasas</b>	0,35	0,70	0,79
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00	0,01
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,03	0,00	0,00
<b>Filosilicatos</b>	20,06	24,17	31,96
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,03	0,01	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,03	0,01	0,02
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,27	0,37	0,26
<b>Otros</b>	3,26	2,85	1,96

<b>Cu-Biotita</b>					
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>	<b>G-3</b>	<b>G-4</b>
<b>Background</b>	43,62	32,80	29,72	26,57	25,21
<b>Crisocola</b>	2,33	2,67	3,43	0,00	0,00
<b>Atacamita</b>	0,08	0,15	0,60	0,00	0,00
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	10,49	9,58	23,07	2,63	0,68
<b>SCN Mn-Fe</b>	14,79	18,74	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	2,22	2,94	0,00	0,00	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	2,65	3,15	4,24	4,22	4,01
<b>Cu-Moscovita</b>	1,68	1,56	1,75	0,09	0,03
<b>Cu-Biotita</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu- Arcilla</b>	3,00	2,61	3,80	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,19	0,01	0,01	0,00	0,01
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Cuarzo</b>	0,62	1,60	2,18	2,35	1,50
<b>Feldespató-K</b>	4,08	4,62	3,25	5,76	4,07
<b>Plagioclasas</b>	0,32	0,33	0,45	0,16	0,38
<b>Piroxenos</b>	0,16	0,17	0,63	1,96	1,09
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,00	0,02	0,01	0,39	0,15
<b>Filosilicatos</b>	10,79	15,93	24,74	54,92	61,36
<b>Epidota</b>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,38	0,64	1,09	0,76	0,93
<b>Otros</b>	2,51	2,45	1,03	0,16	0,55

<b>Cu-Arcilla</b>			
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>
<i>Background</i>	29,76	22,38	22,25
<b>Crisocola</b>	11,89	9,94	13,63
<b>Atacamita</b>	0,89	0,79	2,98
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,00	0,01	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	9,48	9,38	12,59
<b>SCN Mn-Fe</b>	4,04	4,16	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	4,37	7,72	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,02	0,01	0,01
<b>Cu-Moscovita</b>	3,86	4,09	4,09
<b>Cu-Biotita</b>	0,71	0,70	0,67
<b>Cu- Arcilla</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,24	0,02	0,00
<b>Pirita</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,01	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	1,08	1,58	1,83
<b>Feldespato-K</b>	4,24	5,29	4,34
<b>Plagioclasas</b>	4,39	5,27	4,12
<b>Piroxenos</b>	0,01	0,02	0,02
<b>Anfíboles (Hornblenda)</b>	0,14	0,02	0,01
<b>Filosilicatos</b>	21,24	25,39	31,10
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,04	0,00	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,09	0,06	0,04
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,10	0,09	0,11
<b>Otros</b>	3,41	3,07	2,22

<b>Calcocina/Digenita</b>			
	<b>G-0</b>	<b>G-1</b>	<b>G-2</b>
<b>Background</b>	61,87	44,17	54,55
<b>Crisocola</b>	4,32	3,30	28,18
<b>Atacamita</b>	0,24	0,05	0,61
<b>Brocantita/Antlerita</b>	0,03	1,65	0,00
<b>Otros Óxidos de Cu</b>	0,00	0,00	0,00
<b>SCN Fe-Cu</b>	0,20	0,15	0,61
<b>SCN Mn-Fe</b>	1,96	1,65	0,00
<b>SCN Mn-Cu</b>	20,92	37,18	0,00
<b>Criptomelano</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu-Clorita</b>	0,01	0,05	0,00
<b>Cu-Moscovita</b>	0,25	0,10	0,00
<b>Cu-Biotita</b>	0,10	0,05	0,61
<b>Cu- Arcilla</b>	0,52	0,24	0,30
<b>Calcosina/Digenita</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Pirita</b>	0,03	0,10	0,00
<b>Otros Sulfuros</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cuarzo</b>	0,28	0,39	0,00
<b>Feldespatos-K</b>	1,10	1,07	0,91
<b>Plagioclasas</b>	0,13	0,00	0,30
<b>Piroxenos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Anfiboles (Hornblenda)</b>	0,01	0,00	0,00
<b>Filosilicatos</b>	1,89	3,30	5,15
<b>Epidota</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Esfeno</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sulfatos</b>	0,39	1,41	0,00
<b>Carbonatos</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Fosfatos</b>	0,04	0,15	0,91
<b>Oxi-Hidróxidos de Fe</b>	0,06	0,05	0,30
<b>Otros</b>	5,66	4,95	7,58