



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



**ZONIFICACIÓN GEOMETALÚRGICA DE LOS SECTORES  
PRODUCTIVOS QUE ALIMENTAN A LÍNEA CONVENCIONAL  
DE DIVISIÓN EL TENIENTE, PARA IDENTIFICAR  
POTENCIALES DE RECUPERACIÓN Cu-Mo, LEY DE  
CONCENTRADO Cu Y SU APLICACIÓN EN PLANIFICACIÓN  
CORTO PLAZO**

**Memoria para optar al Título de Geólogo**

**Valentina Amaya Toledo Arriagada**

**Profesor Patrocinante:** Dr. Oscar Jerez Riveros  
**Profesional Guía:** MSc (c). María Olivia Mejías González  
**Profesores Comisión:** MSc. Abraham González Martínez  
Dr. Marcos Pincheira Nuñez

**Concepción, 2018**



A Dios en primer lugar, y a mis padres y hermano que siempre me apoyaron.

# ÍNDICE

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b> .....	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. GENERALIDADES</b> .....	1
1.1.1. ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA (ÁREA DE TRABAJO) .....	4
<b>1.2. OBJETIVOS</b> .....	6
1.2.1. OBJETIVO GENERAL .....	6
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	7
<b>1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS</b> .....	7
<b>1.4. FISIOGRAFÍA</b> .....	8
<b>1.5. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	9
1.5.1. EAPA DE GABINETE .....	9
1.5.2. ETAPA TERRENO .....	9
1.5.3. EAPA DE GABINETE II .....	9
<b>1.6. TRABAJOS ANTERIORES</b> .....	9
<b>1.7. AGRADECIMIENTOS</b> .....	13
<b>2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS</b> .....	15
<b>2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	15
2.1.1. ROCAS ESTRATIFICADAS .....	16
2.1.2. ROCAS INTRUSIVAS .....	20
2.1.3. ESTRUCTURAS .....	22
<b>2.2. MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL</b> .....	23
2.2.1. LITOLOGÍA .....	24
2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO .....	30
2.2.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN .....	33
<b>3. GEOLOGÍA Y METALURGIA</b> .....	37
<b>3.1. CONCEPTOS BÁSICOS</b> .....	37
<b>4. SECTORES PRODUCTIVOS EN ESTUDIO</b> .....	40
<b>4.1. ANTECEDENTES GEOMINEROMETALÚRGICOS DE SECTORES QUE ALIMENTAN LA LÍNEA CONVENCIONAL</b> .....	40
4.1.1. ANTECEDENTES DEL MODELO DE BLOQUES .....	41
4.1.2. ANTECEDENTES DE CARACTERIZACIÓN DE ZONAS GEOMETALÚRGICAS EN SECTORES DR, PS Y DT .....	42
<b>5. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA</b> .....	43
<b>5.1. METODOLOGÍA DEL MAPEO DE CUTTING</b> .....	43
<b>5.2. RESULTADOS DEL MAPEO DE CUTTINGS</b> .....	45
5.2.1. MAPAS Y PROPUESTA DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS .	46

<b>5.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS</b> .....	57
<b>5.3.1. SECTOR DIABLO REGIMIENTO</b> .....	57
5.3.1.1. DR F4 (Zona E-Mo) .....	57
5.3.1.2. DR F4 (Zona E) .....	58
5.3.1.3. DR F3+F5 (Zona E) .....	59
5.3.1.4. DR F3 (Zona MD) .....	60
<b>5.3.2. SECTOR DACITA</b> .....	61
5.3.2.1. DT (Zona E) .....	61
5.3.2.2. DT (Zona F) .....	61
5.3.2.3. DT (Zona MD) .....	61
<b>5.3.3. SECTOR PACÍFICO SUPERIOR</b> .....	61
5.3.3.1. PS (Zona E-Mo) .....	61
5.3.3.2. PS (Zona E) .....	62
5.3.3.3. PS (Zona MD) .....	63
5.3.3.4. Mezcla T-3 .....	63
<b>6. MUESTREO Y ETAPA DE LABORATORIO</b> .....	66
<b>6.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS POR ZONA GEOMETALÚRGICA</b> .....	66
<b>6.2. TRATAMIENTO DE MUESTRA EN LABORATORIO METALÚRGICO</b> .....	70
<b>7. CARACTERIZACIÓN GEOMETALÚRGICA</b> .....	71
<b>7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA</b> .....	71
<b>7.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MINERALOGÍA AUTOMATIZADA QEMSCAN</b> .....	73
<b>7.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLOTACIÓN</b> .....	77
<b>7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MOLIENDABILIDAD</b> .....	82
<b>8. CÁLCULO DE POTENCIALES DE RECUPERACIÓN Cu-Mo Y LEY DE CONCENTRADO DE Cu</b> .....	83
<b>8.1. POTENCIAL DE RECUPERACIÓN Cu-Mo Y LEY DE CONCENTRADO DE Cu EN PLANES DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b> .....	83
<b>9. CONCLUSIONES</b> .....	85
<b>REFERENCIAS</b> .....	87
<b>Anexo A</b> .....	
<b>Anexo B</b> .....	
<b>Anexo C</b> .....	
<b>Anexo D</b> .....	

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. 1. Esquema general de proceso mina – planta .....	2
1. 2. Esquema sectores productivos de la mina subterránea (DET) .....	3
1. 3. Mapa de Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea SAG, del mes de Agosto del 2018 .....	5
1. 4. Box Plot de recuperación Cu-Mo y ley de concentrado de Cu de Zonas Geometalúrgicas Línea SAG .....	6
1. 5. Ubicación de Mina El Teniente .....	7
1. 6. Mapa con tramos de Carretera del Cobre, desde Rancagua a la mina El Teniente .....	8
2. 1. Mapa Geológico Regional .....	15
2. 2. Distribución regional de grupos de plutones Neógenos según Kurtz y otros (1997) .....	21
2. 3. Modelo de estructuras tipo Riedel para una zona de transcurrencia sinistral de rumbo N50°W que coincide con la zona de falla Río Blanco – Codegua .....	23
2. 4. Vista aérea, mapa geológico y sectores productivos de mina El Teniente .....	24
2. 5. Distribución Regional Zona Falla Teniente. Tendencia tabular descrita por la Tonalita en sus dos variedades petrográficas y su relación con ZFT .....	31
2. 6. Zona de Falla El Teniente (ZFT) .....	32
3. 1. A: Modelo de Flujo Gravitacional .....	38
B: Sector en Proceso de extracción Regular .....	38
4. 1. Mapa en planta del yacimiento El Teniente. Sectores que alimentan a la Línea Convencional enmarcados en rojo (SGL-GRMD, 2018) .....	40
4. 2. Diagrama mina El Teniente año 2018, circuito del mineral en interior mina .....	41
4. 3. Zonificación geo-metalúrgica simplificada de sectores que alimentan a Línea Convencional en el mes de Septiembre del 2018 (previo a caracterización según las 4 Zonas actualmente definidas) .....	42
5. 1. Esquema de las etapas necesarias para la propuesta de Zonas .....	43
5. 2. Mapas de Puntos Mapeados en 21 días hábiles, entre el 27 de Junio 2018 y el 9 de Agosto del 2018. Sectores DR, PS y DT, de izquierda a derecha .....	47
5. 3. Mapas de porcentajes de calcopirita en sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings .....	48
5. 4. Mapas de porcentajes de bornita en sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings .....	49
5. 5. Mapas de porcentajes de pirita en los sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings .....	50
5. 6. Mapas de Zonas Geometalúrgicas de los sectores DR, PS y DT a partir netamente de la descripción de cuttings .....	51
5. 7. Mapas de las distribuciones de la dilución en el sector DR, PS y DT, obtenidas a partir de levantamiento en terreno de los analistas .....	52
5. 8. Mapa de porcentajes de CuT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos .....	53
5. 9. Mapa de porcentajes de FeT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos .....	54

<b>5.10.</b>	Mapa de porcentajes de MoT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos .....	55
<b>5.11.</b>	Mapas Finales para la Propuesta de Zonas Geometalúrgicas. A partir de descripción de cuttings, de base de datos y terreno .....	57
<b>6. 1.</b>	Mapa de Zonas del sector DR con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída .....	66
<b>6. 2.</b>	Mapa de Zonas del sector DT con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída .....	67
<b>6. 3.</b>	Mapa de Zonas del sector DT con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída .....	68
<b>6. 4.</b>	Mapa de Zonas del sector RENO con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída .....	69
<b>6. 5.</b>	Mapa de Zonas del sector ES B1 con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída .....	69
<b>6. 6.</b>	Mapa de Zonas del sector ES B2 con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída .....	70
<b>7. 1.</b>	% CuT vs. K Cu de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	71
<b>7. 2.</b>	% MoT vs. K Mo de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	72
<b>7. 3.</b>	% FeT vs. % S de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	73
<b>7. 4.</b>	Porcentaje relativo mineralógico por Zona Geometalúrgica, según QEMSCAN.	74
<b>7. 5.</b>	Asociación de Sulfuros de Cu, según QEMSCAN .....	74
<b>7. 6.</b>	Asociación de Molibdenita, según QEMSCAN .....	75
<b>7. 7.</b>	Mapa de partícula para la asociación de molibdenita en las Zonas E-Mo, según QEMSCAN .....	75
<b>7. 8.</b>	Grado de Liberación de Sulfuros de Cu, según QEMSCAN .....	76
<b>7. 9.</b>	Grado de Liberación de Molibdenita, según QEMSCAN .....	76
<b>7.10.</b>	Granulometría de sulfuros de Cu, según QEMSCAN .....	77
<b>7.11.</b>	Granulometría de molibdenita, según QEMSCAN .....	77
<b>7.12.</b>	% Ley Cabeza de Cu vs. % Ley Concentrado de Cu, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	78
<b>7.13.</b>	% Ley de Cu en Cola vs. % Recuperación Rougher de Cu, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	79
<b>7.14.</b>	% Ley de Mo en Cola vs. % Recuperación Rougher Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	80
<b>7.15.</b>	% Ley Cabeza de Mo vs. % Ley Concentrado de Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	81

<b>7.16.</b>	Consumo de Cal (kg/ton) vs. % K Cu/K Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3.....	81
<b>7.17.</b>	Recuperaciones Rougher de Cu y Mo versus Ley de Cu en el Concentrado.....	82
<b>7.18.</b>	Test de Moliendabilidad (Wi), de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 .....	82
<b>9. 1.</b>	A: Box Plot de recuperación Cu-Mo de Zonas propuestas .....	86
	B: Box Plot de ley de concentrado de Cu de Zonas propuestas .....	86

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>	
<b>1. 1.</b>	Datos metalúrgicos para línea SAG y Convencional, de Noviembre del 2018....	3
<b>2. 1.</b>	Cuadro resumen de las Formaciones de los Andes de Chile Central .....	20
<b>2. 2.</b>	Clasificación de estructuras según su continuidad .....	33
<b>3. 1.</b>	Clasificación de Zonas Geometalúrgicas en División El Teniente .....	39
<b>4. 1.</b>	Antecedentes de Recuperaciones y Moliendabilidad, según modelo de bloques (SGL-GRMD, 2018) .....	41
<b>5. 1.</b>	Tabla comparativa de puntos en área abierta (entre DT, PS y DR), cuttings realizados y representados .....	46
<b>5. 2.</b>	Zonas antiguas y propuesta de Zonas Geometalúrgicas nuevas, para sectores DR, PS y DT.....	56
<b>8. 1.</b>	Potenciales geometalúrgicos con Zonas nuevas y antiguas para el mes de Octubre del 2018. Las variables cuentan sólo con factor porcentaje sólido, factor de enriquecimiento y limpieza .....	83
<b>9. 1.</b>	Resumen de las Zonas Geometalúrgicas propuestas .....	86

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía</b>	<b>Página</b>	
<b>5. 1.</b>	A: recepción de rechazo .....	44
	B: verter el rechazo en el colador .....	44
	C: lavar el rechazo .....	44
	D: poner el rechazo en un plato, para ser observado con la lupa binocular .....	44
<b>5. 2.</b>	A: observación y descripción de rechazo con lupa binocular .....	45
	B: vista de un rechazo en la lupa binocular .....	45
<b>5. 3.</b>	A: Rechazo de DR21 44F, observado en lupa binocular .....	58
	B: Litología de brecha de turmalina en DR F4 (Zona E-Mo) .....	58
<b>5. 4.</b>	Rechazo de DR17 35F, observado en lupa binocular .....	59
<b>5. 5.</b>	Rechazo de DR07 13F, observado en lupa binocular .....	59
<b>5. 6.</b>	Rechazo de DR11 15H, observado en lupa binocular .....	60
<b>5. 7.</b>	Rechazo de DT22 21H, observado en lupa binocular .....	61
<b>5. 8.</b>	Rechazo de DT23 08F, observado en lupa binocular .....	62
<b>5. 9.</b>	Rechazo de DT20 10H, observado en lupa binocular .....	62
<b>5.10.</b>	Rechazo de PS02 02N, observado en lupa binocular .....	63

5.11.	Rechazo de PS05 07N, observado en lupa binocular .....	64
5.12.	Rechazo de PS03 05S, observado en lupa binocular .....	64

## ÍNDICE DE MICROFOTOGRAFÍAS

<b>Microfotografía</b>	<b>Página</b>	
5. 1.	Briqueta pulido-transparente DR F4 (Zona E-Mo) .....	58
5. 2.	Briqueta pulido-transparente DR F4 (Zona E) .....	59
5. 3.	Briqueta pulido-transparente DR F3+F5 (Zona E) .....	59
5. 4.	Briqueta pulido-transparente DR F3 (Zona MD) .....	60
5. 5.	Briqueta pulido-transparente DT (Zona E) .....	61
5. 6.	Briqueta pulido-transparente DT (Zona F) .....	62
5. 7.	Briqueta pulido-transparente DT (Zona MD) .....	62
5. 8.	Briqueta pulido-transparente PS (Zona E-Mo) .....	63
5. 9.	Briqueta pulido-transparente PS (Zona E) .....	64
5.10.	Briqueta pulido-transparente PS (Zona MD) .....	64
5.11.	Briqueta pulido-transparente Mezcla T-3 .....	65



## RESUMEN

La mina subterránea El Teniente se explota a través del método Panel Caving, el cual genera una fragmentación progresiva del macizo rocoso, por lo que a medida que avanza el hundimiento, ocurre una conexión entre la roca fragmentada in-situ y el material remanente de minas abandonadas en cotas superiores. Esta mezcla mineral es extraída diariamente desde los Puntos de Extracción (PEX) de los sectores productivos, por lo que, se hace necesario realizar un seguimiento continuo de los PEX a través de inspecciones en terreno y muestreos para el control de la evolución geo-minero-metalúrgica.

Es por esto, que la Superintendencia de Gestión Producción, de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo de División El Teniente CODELCO, propone una metodología basada en zonificar los sectores productivos en función de características geometalúrgicas, permitiendo incluir potenciales geometalúrgicos de corto plazo en el Plan de Actividades Mensuales (PAM).

Dicha metodología es implementada, en primera instancia, para los sectores productivos que alimentan a la línea de procesamiento SAG, lo que permitió sustentar las metas de planificación metalúrgica definidas en el PAM, siendo necesario extrapolar dicha metodología a los sectores productivos que alimentan a la línea de procesamiento Convencional; y así lograr un control a nivel global de las características y potenciales geometalúrgicos del material programado y alimentado a planta.

Este estudio, tiene como objetivo llevar a cabo la zonificación de los sectores Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento que alimentan a la línea de procesamiento Convencional, y calcular su potencial de recuperación Cu-Mo y ley de concentrado de Cu con esta nueva metodología. Esto, a partir de la caracterización geológica e identificación de dominios geometalúrgicos, mediante inspecciones en terreno, muestreo y mapeo de PEX, análisis químicos, pruebas metalúrgicas, microscopía óptica y análisis de mineralogía automatizada (QEMSCAN) a las cabezas de los dominios propuestos.

Como resultado se incluye una nueva Zona Geometalúrgica exclusiva de molibdenita, derivando 4 Zonas en total: Zona Estándar (con predominio de calcopirita), Zona Favorable (alta en bornita), Zona Muy Desfavorable (con alto contenido de “dilución” o “material quebrado”) y la Zona Estándar Molibdenita (con predominio de calcopirita y molibdenita). Esto permitió mejorar la representatividad geometalúrgica del mineral enviado a la línea de procesamiento Convencional, concluyendo en nuevas metas en el PAM, reflejado principalmente en +4% en la recuperación colectiva de Mo, +1% en la recuperación de Cu y -2% en la ley de concentrado de Cu, en comparación con los potenciales calculados a partir de las zonas antiguas.

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. GENERALIDADES

El yacimiento El Teniente, de la CORPORACIÓN NACIONAL DE COBRE DE CHILE (CODELCO-CHILE), corresponde a una mina de Cu-Mo de tipo mixta, por lo que consta de explotación subterránea y rajo abierto, con producciones de 140.000 tpd y 18.000 tpd, respectivamente. Además cabe mencionar que posee más de 4.000 km de túneles subterráneos, clasificándose como una mina “Súper Gigante”, y la mina subterránea de cobre más grande del mundo.

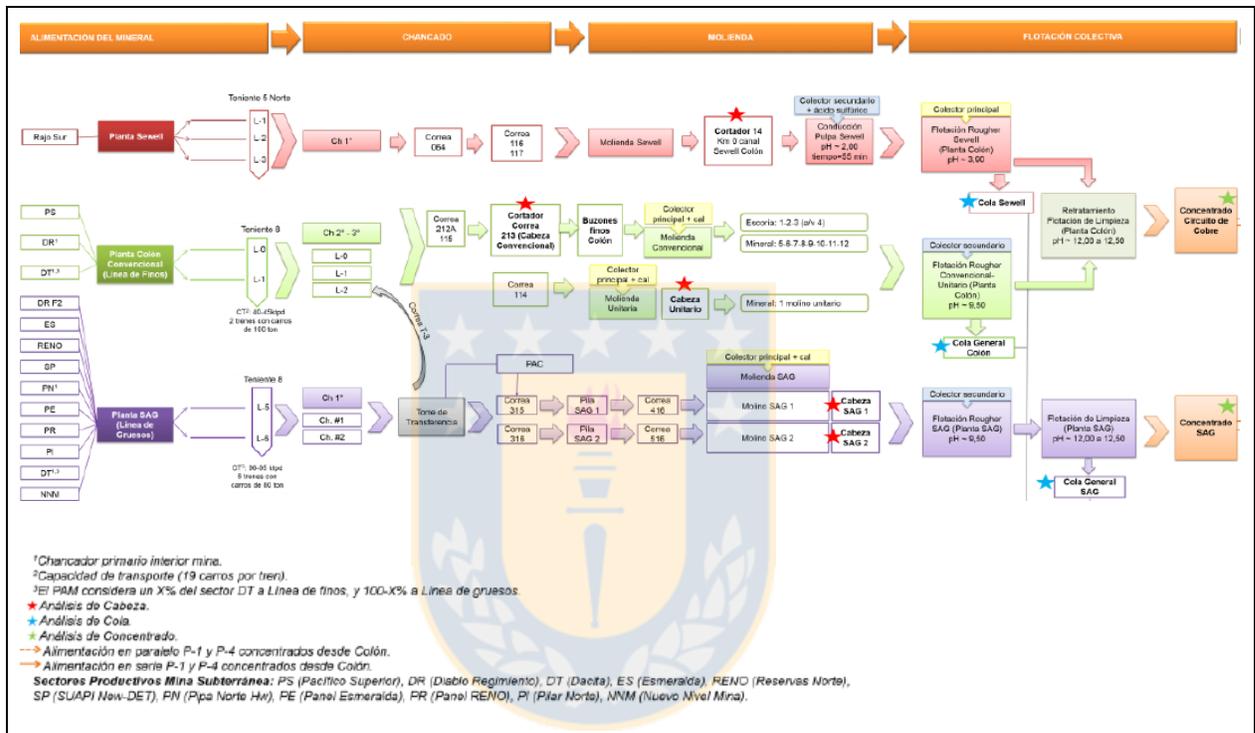
El Teniente, junto con el pórfido Río Blanco-Los Bronces, forman parte del arco magmático del Mioceno-Plioceno, el cual se encuentra ubicado en el sector norte de la Zona Volcánica Sur Andina (ZVS) (Maksaev y otros, 2001). Este yacimiento, posee una cantidad significativa de Cu hipógeno alojado en pipas de brechas magmáticas-hidrotermales (Skewes y Stern, 1994, 1995). La principal mineralización de cobre explotada corresponde a calcopirita y bornita (Maksaev y otros, 2004).

La división consta de 3 líneas de procesamiento mineral. El material proveniente del rajo alimenta a la Línea Sewell, mientras que el material de la mina subterránea es procesado en la Planta SAG (Semi-autógena) y en la Convencional (Figura 1.1.). La Línea SAG, es alimentada por los sectores productivos Esmeralda (ES), Reservas Norte (NN), Pipa Norte (PN), Sur Andes Pipa (SP), Pilar Norte (PI), Panel Reno (PR) y Panel Esmeralda (PE), los cuales, al no poseer chancador en interior mina, generan como producto material grueso para el proceso de Planta. Mientras que, la Línea de proceso de mineral Convencional, recibe el material proveniente de los sectores productivos Diablo Regimiento (DR), Dacita (DT) y Pacífico Superior (PS), los cuales, poseen un chancador primario en interior mina, que les permite generar como producto mineral fino antes de llegar a la Línea de Planta.

Los sectores productivos de la mina se encuentran emplazados alrededor de la Pipa Brecha Braden, incluyendo los actuales niveles productivos, así como el Nuevo Nivel Mina (NNM), que se encuentra en etapa de implementación (Figura 1.2.).

El Teniente comenzó a ser explotado en el año 1905, y hasta el año 2000 el método de explotación utilizado fue el método Hundimiento Gravitacional de Bloques (Block Caving). Posterior a eso, y

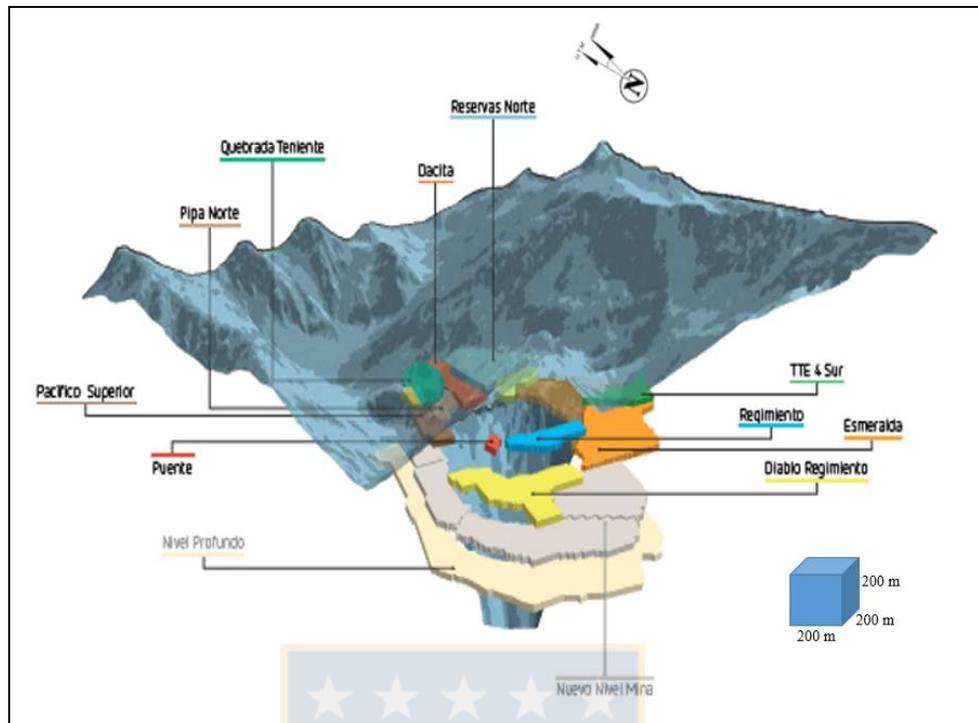
hasta la fecha, la metodología utilizada corresponde al Hundimiento y Derrumbe de Paneles (Panel Caving) (Rojas y otros, 2001), que consiste en utilizar el peso que ejerce el cerro para facilitar el quiebre y posterior hundimiento del techo, provocando así una estructura de colapso en la superficie, la cual es denominada “Cavidad Teniente”. Esta modificación en el método de explotación se debe a la migración de los avances en la explotación de la roca secundaria a primaria, que se encuentra a mayor profundidad y posee una mayor dureza.



**Figura 1.1.** Esquema general de proceso mina-planta (Mejías, 2013).

La producción del año 2017 fue de 464.328 tn de cobre, dispuesto como concentrado de Cu, cátodos y ánodos. Como resultado del procesamiento, desde el mineral también se obtiene 6.683 tn métricas de molibdeno (CODELCO, 2017). Se suman además del proyecto Nuevo Nivel Mina, con 2.020 millones de toneladas métricas de reservas, con una ley media de cobre de 0,86% y de molibdeno de 0,022%.

En la mina subterránea el CuT corresponde a 0,90-1,00% y 0,020-0,030% de MoT, mientras en el rajo los valores de CuT se encuentran cerca del 0,50% y 0,007% de MoT. Lo que respecta a las recuperaciones de Cu-Mo y ley de concentrado calculadas en el PAM y obtenidas en planta se expresan en la Tabla 1.1.



**Figura 1.2.** Esquema sectores productivos de la mina subterránea (DET) (CODELCO, 2011).

**Tabla 1.1.** Datos metalúrgicos para línea SAG y Convencional, de Noviembre del 2018. (Mejías, 2018; SGP, 2018).

<b>PAM (Noviembre 2018)</b>	<b>Recuperación Global de Cu (%)</b>	<b>Recuperación colectiva de Mo (%)</b>	<b>Ley de Concentrado de Cu (%)</b>
<b>SAG</b>	88,3	73,2	31,2 (global)
<b>Convencional</b>	90,1	74,4	15,1 (1ª limpieza)
<b>Planta (Noviembre 2018)</b>	<b>Recuperación Global de Cu (%)</b>	<b>Recuperación colectiva de Mo (%)</b>	<b>Ley de Concentrado de Cu (%)</b>
<b>SAG</b>	88,5	75,1	31,3 (global)
<b>Convencional</b>	89,5	77,4	15,5 (1ª limpieza)

Actualmente, la explotación de un yacimiento con diferentes sectores productivos tiene que contar con distintos tipos de estudios, que cumplan con las expectativas para la optimización de recuperación del material de interés. Además, con la disminución de la ley de cobre de los principales yacimientos de cobre del país, ha sido necesario llevar a cabo estudios minuciosos de las pruebas metalúrgicas que hoy en día se aplican, ya que estas juegan un rol importante para dicho objetivo y están dirigidas a generar una mayor información para la fase de concentración y recuperación del recurso.

A partir de la necesidad de realizar los planes mensuales con información geometalúrgica de corto plazo, es que se lleva a cabo este trabajo. Esto, a partir principalmente de la zonificación geometalúrgica de los sectores productivos que alimentan a la Línea de procesamiento mineral de Planta Convencional, correspondientes a Diablo Regimiento (DR), Dacita (DT) y Pacífico Superior (PS). Seguida de la interpretación de los análisis en laboratorio de dichas Zonas, buscando entregar propuestas más precisas que las que se utilizan actualmente (estadística planta), optimizando los recursos del yacimiento.

Con respecto al trabajo de las Zonas Geometalúrgicas, cabe mencionar que el año 2014 se comenzó a implementar para finalidades de planificación, la caracterización del mineral que alimenta a la Línea SAG (Figura 1.3. y Figura 1.4.), puesto que esta planta es más fácil de trazar, en esa oportunidad se definieron 4 Zonas: MD (Muy Desfavorable), D (Desfavorable), E (Estándar) y F (Favorable). Pero ahora, se hace necesario aplicar este método con el resto de la mina subterránea, es decir, con los sectores que proveen el mineral a la Línea Convencional, la cual es más compleja de trazar debido a que recibe una transferencia de material desde la Línea SAG a través de la correa T-3, la cual debe ser bien representada.

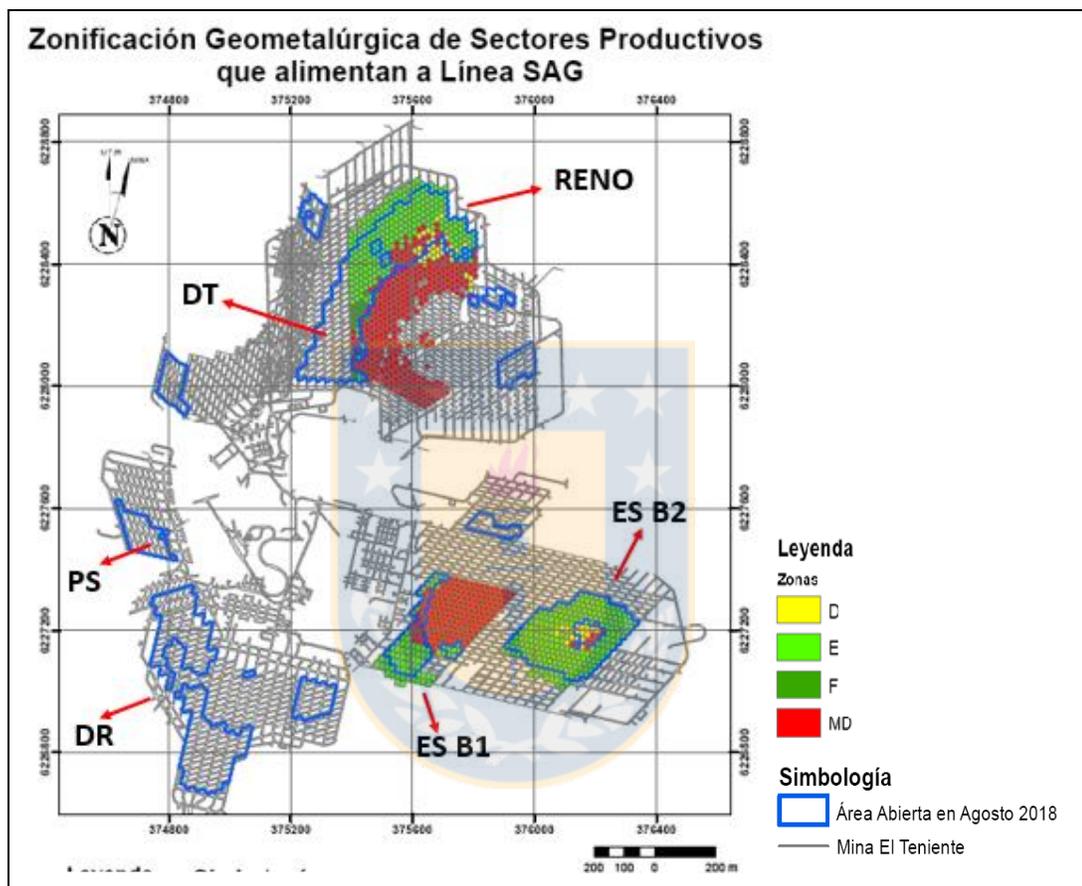
Debido a que la idea de este proyecto es implementar la caracterización geometalúrgica del material que alimenta a la Línea Convencional de manera mensual, para aplicarlo de manera constante en el PAM (Programa de Actividad Mensual), es que se propone iniciarlo durante el mes de Agosto del 2018, para que el muestreo y sus análisis de resultados sean realizados durante el mes Septiembre del 2018, de tal manera que pueda ser implementado en el PAM de Octubre del 2018.

#### **1.1.1. ORGANIZACIÓN ADMINISTRATIVA (ÁREA DE TRABAJO)**

La Gerencia Planta (GPTA) en División El Teniente, se constituye por 8 superintendencias: Nuevos Negocios y Proyectos, Productos Comerciales, Proceso SAG, Proceso Convencional, Proceso Sewell, Relaves, Ingeniería Proceso, y Mantenimiento. Dicha gerencia es la encargada del procesamiento y calidad del mineral, el cual, es planificado en conjunto con la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD), Gerencia de Fundición (GFUN), Gerencia Minas (GMIN), Gerencia Servicios y Suministros (GSYS) y Gerencia Rajo Sewel (GRS).

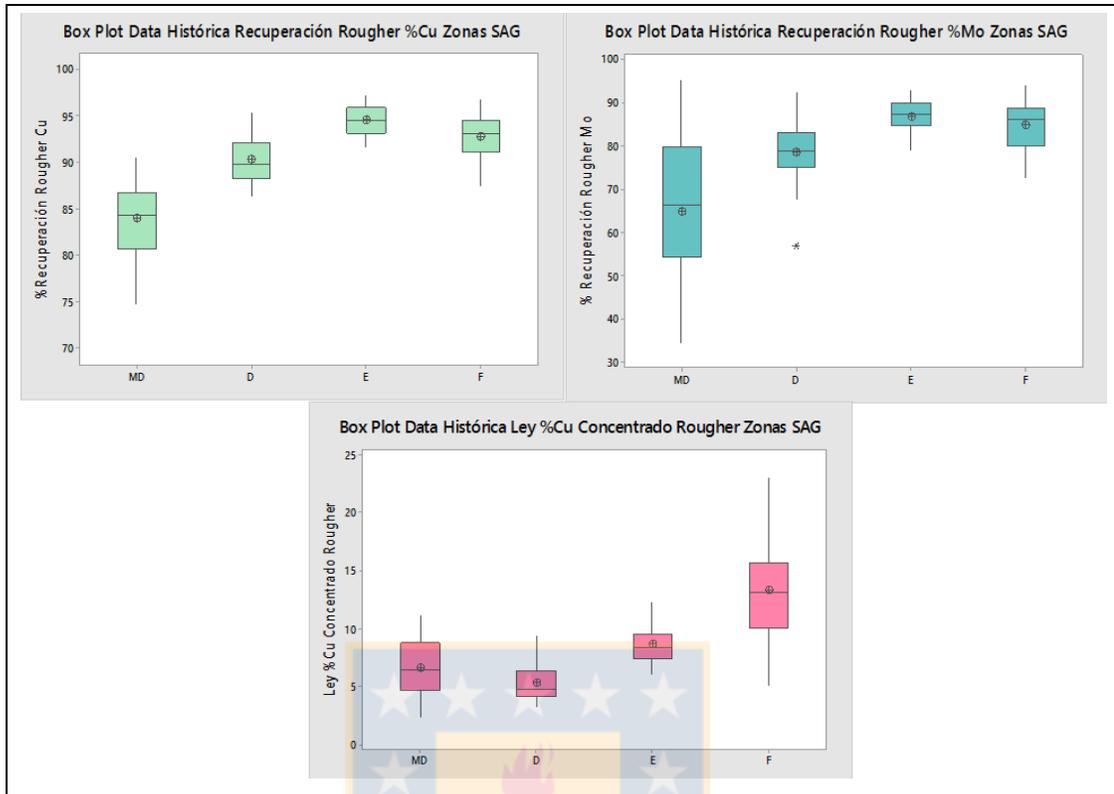
La Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD) se compone de distintas áreas técnicas, dentro de las cuales se encuentra la Superintendencia Gestión Producción (SGP), ubicada en Colón

Alto. Cuya misión es gestionar el desarrollo y explotación de los recursos mineros en forma sustentable, maximizando el valor del negocio de la Corporación. A su vez, es la encargada de planificar la producción de cobre a corto plazo, en donde se realiza el presupuesto de las proyecciones y aspiraciones de producción, entre otros. Esta área es la encargada de supervisar desde que se extrae el cobre hasta su comercialización.



**Figura 1.3.** Mapa de Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea SAG, del mes de Agosto del 2018.

Para llevar esto a cabo, se realiza un trabajo mina-planta, ya sea desde la cantidad de mineral que se extrae de los diferentes sectores de la mina, mediante una suma de variables, como son sus leyes, dilución y tipo de roca, entre otros, la cual es realizada por la Planificación Mina. Una vez planificada la mina, es llevado el mineral a la Planta para su procesamiento, donde se toma en consideración las producciones que alcanzan los equipos de concentración y fundición, como las mantenciones programadas o eventos que puedan ocurrir en el trayecto, entre otras, por lo que una buena planificación es primordial para la maximización de los ingresos y cumplimientos de ventas y producción.



**Figura 1.4.** Box Plot de recuperación Cu-Mo y ley de concentrado de Cu de Zonas Geometalúrgicas Línea SAG (Mejías, 2018c).

Para que esto sea posible, se desarrolla una Plan de Actividad Mensual (PAM), el cual sirve de guía para la planificación antes mencionada.

## 1.2. OBJETIVOS

### 1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Cálculo de potencial de recuperación Cu-Mo y potencial de ley de concentrado Cu a partir de la caracterización geológica e identificación de dominios geometalúrgicos del mineral de los sectores productivos Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento, que alimentan a Línea Convencional en la División El Teniente.

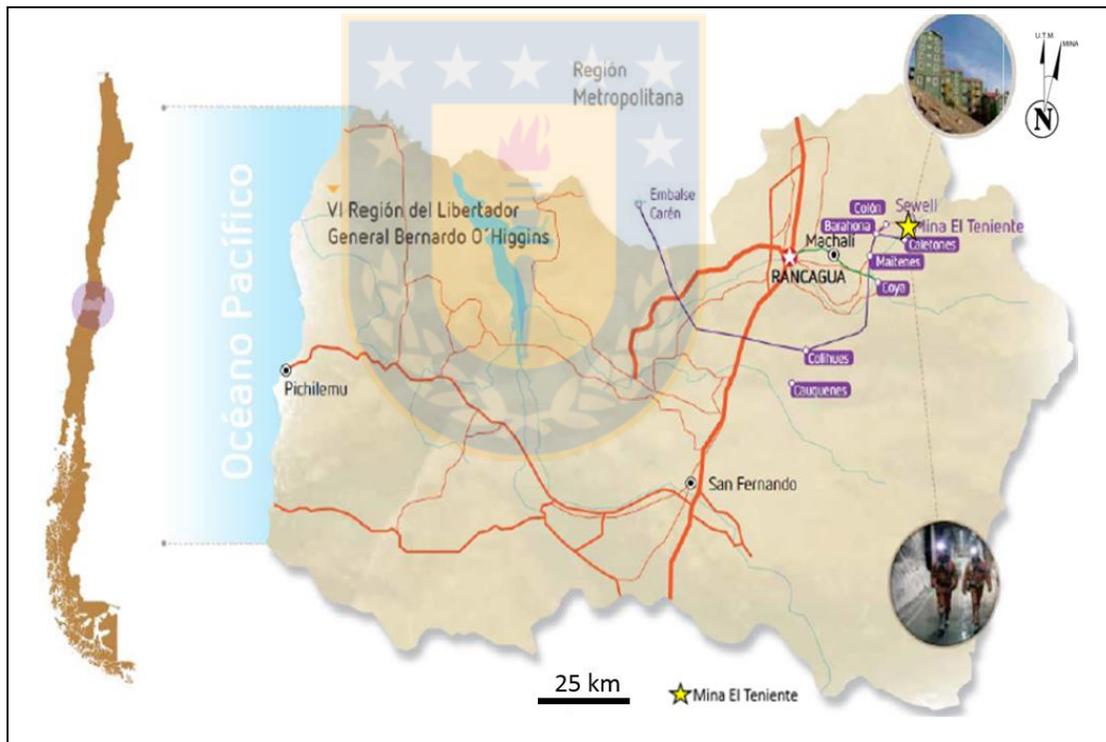
### 1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterización geológica del mineral de los sectores productivos Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento, abarcando como mínimo el 60% del área abierta disponible de cada sector productivo.

- Análisis estadísticos de los resultados metalúrgicos y mineralógicos (QEMSCAN).
- Identificación de dominios geometalúrgicos (Zonas) en cada sector productivo.
- Implementación de Zonas Geometalúrgicas en el Plan de Actividad Mensual.

### 1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS

El yacimiento El Teniente, se encuentra ubicado en el flanco poniente de la Cordillera de los Andes de Chile Central. Entre las coordenadas U.T.M 6.230.064-6.220.582 N y 373.651-377.597 E, VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins en la Provincia de Cachapoal, aproximadamente a cotas de 2.000 y 3.200 m s.n.m., a modo de referencia a unos 40 km al NE de la ciudad de Rancagua, a 72 km al SE de la ciudad de Santiago y a 3 km del campamento minero Sewell (Figura 1.5.).

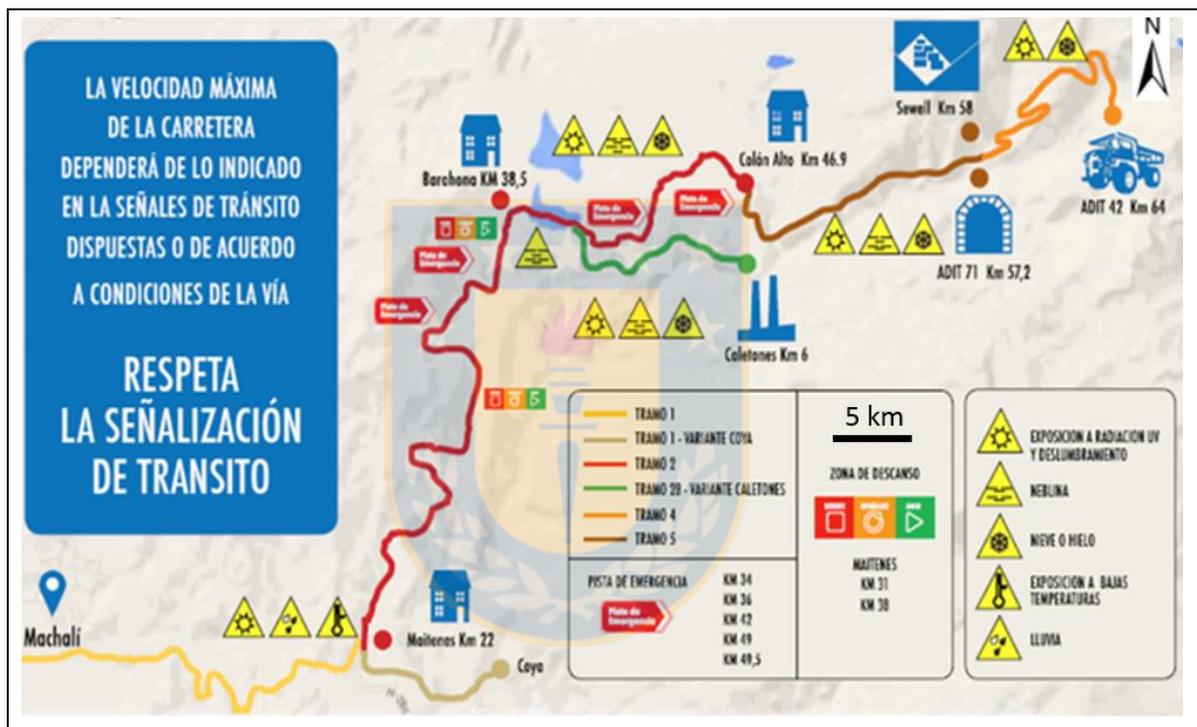


**Figura 1.5.** Ubicación de Mina El Teniente (Modificado de CODELCO, 2011).

Para acceder a la mina se debe entrar desde la ciudad de Rancagua a través de la Avenida Monseñor Escrivá de Balaguer, hasta llegar a una carretera asfaltada con una longitud de 60 km llamada “Carretera del Cobre Eduardo Frei Montalva” (ex carretera del Cobre, H-25), la que une la ciudad de Rancagua con la localidad de Colón Alto en el kilómetro 58.

La carretera está dividida en 5 tramos, hasta llegar a la entrada de la mina El Teniente. El primer tramo es de uso público hasta el control de acceso al yacimiento (Barrera Maitenes). Los tramos siguientes son caminos privados y su circulación está restringida.

El acceso desde la superficie a las instalaciones de producción y a los distintos niveles de la mina se lleva a cabo a través de un túnel llamado “Adit 71” (Figura 1.6.). Mientras que las rampas, chimeneas y el pique C, permiten el tránsito de vehículos motorizados a los diferentes frentes de producción.



**Figura 1.6.** Tramos de Carretera del Cobre, desde Rancagua a la mina El Teniente (CODELCO, 2018b).

## 1.4. FISIOGRAFÍA

Entre los 34°00' y 34°50' latitud Sur, Chile Central presenta tres unidades geomorfológicas claramente distinguibles: Depresión Central, Precordillera y Cordillera de los Andes (Fuenzalida, 1967).

La Depresión Central, es la Unidad más occidental de este segmento y corresponde a un valle elongado de dirección NS, siendo el resultado del relleno de una cuenca tectónica por parte de

sedimentos cenozoicos. La Precordillera se alza suavemente a partir del valle central alcanzando alturas no mayores a los 1.200 m s.n.m. para dar paso a la Cordillera Principal, cuyas alturas sobrepasan los 5.000 m s.n.m.

## **1.5. MÉTODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **1.5.1. ETAPA DE GABINETE I**

Revisión de trabajos anteriores, y conocimiento de los procedimientos de seguridad y técnicos necesarios para realizar la caracterización geológica de cutting y salida a terreno en mina subterránea.

### **1.5.2. ETAPA DE TERRENO**

Caracterización geológica de cutting de puntos de extracción, y complementar con salidas a terreno a los sectores productivos Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento.

### **1.5.3. ETAPA DE GABINETE II**

Creación de planos geológicos, identificación de dominios geometalúrgicos (Zonas). Planificación y selección de puntos de extracción para muestreo geometalúrgico. Análisis de resultados e interpretación de las pruebas metalúrgicas y mineralógicas (QEMSCAN) para el cálculo referencial del potencial de recuperación Cu-Mo y ley de concentrado Cu.

Visita técnica al laboratorio metalúrgico y químico, en el cual se preparan y analizan las muestras de las Zonas Geometalúrgicas.

## **1.6. TRABAJOS ANTERIORES**

Numerosos estudios han sido realizados en el yacimiento El Teniente, mencionando en este trabajo sólo alguno de los más relevantes. Los primeros antecedentes geológicos del pórfido cuprífero El Teniente fueron aportados por Yeatman (1911), éste realizó el primer cálculo de reservas, indicando una ley media de 2,85% de Cu y 10.500.000 toneladas de mineral.

**LINGREN Y BASTIN (1922)** realizan la primera interpretación geológica del yacimiento El Teniente. Establecen una teoría acerca de la formación del Complejo de Brecha Braden, la que se

habría originado por una gran explosión causada por el alzamiento progresivo de un cuerpo de roca parcialmente fundida que se habría encontrado bajo el actual conducto.

**HOWELL Y MOLLOY (1960)** estos autores proponen un nuevo modelo geológico reconociendo al menos cinco etapas paragenéticas de mineralización metálica y de ganga; la primera es la depositación de cuarzo y pirita en falla con rumbo NE. La segunda etapa corresponde a la principal y se asocia a la depositación de calcopirita y bornita en una ganga de cuarzo-anhidrita. La tercera y cuarta etapa están caracterizadas por turmalina y pirita con una disminución importante de sulfuros de cobre, la quinta y última etapa depositó principalmente tetrahedrita-tenantita, galena y blenda en cantidades poco relevantes en una ganga de cuarzo-carbonatos. También realizaron una caracterización de la mineralización hipógena, de las zonas de oxidación y de enriquecimiento secundario.

**OSSANDÓN (1974)** definió dos variedades texturales para el pórfido El Teniente mediante un estudio detallado petrográfico, geoquímico y de alteración, dividiendo dicha unidad en variedades texturales: Pórfido Dacítico Idiomorfo y Pórfido Dacítico Hipidiomorfo rico en feldespatos potásicos. Además, reconoció la distribución zonal de los minerales de alteración y sulfuros hipógenos en este cuerpo.

**CAMUS (1974)** genera la actualización de la geología del yacimiento y describe la mineralogía de alteración en las vetillas reconociendo tres fases de alteración hipógena y una de carácter supérgena. Además, actualiza el conocimiento al modelo de pórfido cuprífero de la época.

**VILLALOBOS (1975)** se concentra en el estudio de la alteración y mineralización de las andesitas en el sector Este del yacimiento, definiendo zonas de alteración relacionadas con el Pórfido Dacítico, Chimenea Braden y apófisis de diorita.

**ZUÑIGA (1982)** estudia la alteración y mineralización hipógena, características de las etapas tardimagmática, hidrotermal principal e hidrotermal tardía en el sector Oeste del yacimiento. Concluye que las etapas tardimagmáticas e hidrotermal principal, tienen un control genético ejercido por el emplazamiento del Pórfido Teniente y que la etapa hidrotermal tardía estaría directamente relacionada con el emplazamiento de las brechas marginales. Finalmente, propone un modelo sobre la evolución geológica de la mineralización y la alteración.

**CUADRA (1986)** realiza dataciones radiométricas en el interior de la mina como en los alrededores, determina que el evento principal de alteración, relacionado al Pórfido Dacítico, tiene una edad de 4.6 a 4.7 Ma duraría hasta los 3.8 Ma.

**GARRIDO (1992)** estableció un nuevo modelo geológico estructural y geotécnico del yacimiento. Este autor propuso que el yacimiento se encuentra emplazado en una compleja zona de fallas de carácter distrital.

**SKEWES Y ARÉVALO (1997)** sugieren un origen subvolcánico para las rocas del depósito, por la ausencia de estratificación, el aspecto masivo con mineralización de cobre y el alto contenido de plagioclasas gruesas. Estas rocas constituyen más bien una brecha porfídica de biotita, en la cual los clastos corresponden a cristales gruesos o cúmulos policristalinos de plagioclasas redondeados por una matriz con abundante biotita, sulfuros de cobre, anhidrita y magnetita.

**SKEWES Y ARÉVALO (2000)** determinan que la roca caja corresponde a un complejo de gabros, diabasas y pórfidos basálticos caracterizados por la fuerte alteración biotítica, la cual está asociada a altas leyes de cobre. Las brechas son especialmente difíciles de reconocer cuando la roca de caja y los clastos son de color oscuro, como es el caso de los gabros.

**BURGOS (2002)** reconoce que las andesitas corresponden a un complejo de diabasas, conformando un cuerpo subvolcánico, distinguiendo variaciones texturales, donde las texturas más finas corresponden al borde del intrusivo y las más gruesas a las partes centrales, siendo intruídas por diques basálticos de textura fina y gruesa. Estas rocas presentan patrones similares de tierras raras corroborando el origen a partir de la misma fuente, con afinidad calcoalcalina.

**BRZOVIC Y BENADO (2003)** estos autores realizan un estudio sistemático en donde proponen una clasificación de vetas y vetillas según mineralogía de mena, ganga, composición/aparición de halos y relaciones de contacto entre ellas, asociando cada una de éstas a las principales etapas hidrotermales con el objetivo de caracterizar el macizo rocoso.

**MEJÍAS, SALAZAR Y DIEZ (2014)** caracterizan preliminarmente las 4 Zonas Geometalúrgicas de División El Teniente: Zona 1 (Muy Desfavorable), Zona 2 (Estándar), Zona 3 (Favorable) y Zona 4 (Desfavorable). Esto, con el objetivo de conocer y clasificar la calidad del mineral de los puntos de extracción. Para luego aplicarlo en el plan mensual de la mina, y generar beneficios en

los procesos planta. A partir de esto, comienza a enviarse a planificación planta la proyección mensual de las diferentes Zonas, con el fin de tener antecedentes del comportamiento mineral. Esta herramienta pretendía, en una primera instancia, apoyar al mejoramiento de la planificación mina-planta, pero además ser utilizada para relacionar la evolución de estas Zonas con parámetros minero-metalúrgicos tales como la recuperación de Cu, ley de concentrado de Cu, entrada del material de cavidad, comportamiento de leyes de Cu y CuNS, y a la adherencia del plan mensual, entre otros.

**BURGOS (2015)** identifica y establece las variables que pueden afectar a la recuperación rougher de cobre en el yacimiento El Teniente, identifica que las variables que influyen positivamente en la recuperación corresponden a contenidos de calcopirita, cantidades de sulfuros de Cu totales y porcentaje de sulfuros de Cu libres y liberados. Por otro lado las variables que impactan de manera negativa en la recuperación corresponden a proporciones elevadas de pirita, presencia de arcillas, cloritas y óxidos de Fe y contenidos de calcosina-covelina-digenita.

**NAVIA (2015)** analiza la aparición de agua-barro en el sector Diablo Regimiento de División El Teniente de Codelco, con el fin de comprender la importancia de las estrategias de planificación y de operación, y para determinar si existe o no relación de distintas variables operacionales con el problema. Por otro lado, realiza un análisis de la aparición de agua-barro en el sector según secuencia y altura de aparición de agua-barro, evolución temporal de perfiles de alturas extraídas, tasas de extracción aplicada y la evolución de la uniformidad de la extracción. Concluye que la aparición inicial de agua-barro en el nivel de producción ocurrió a alturas similares a las alturas in situ por lo que reafirma el concepto de niveles superiores antiguamente explotados como acumuladores de agua-barro. Entre otras cosas propone caracterizar el agua y el fino en el barro presente en los puntos de extracción con el fin de conocer la composición de este.

**LARA (2015)** caracteriza el ingreso de agua-barro, a partir de un estudio de la data histórica de variables asociadas al fenómeno. Para ello, se utiliza como sector de aplicación la mina Reservas Norte (RENO) de División El Teniente, Codelco. Incorpora un análisis general del ingreso de material saturado al sector, análisis de eventos históricos de bombeos y escurrimientos. Concluye que el origen del ingreso de barro proviene de la conexión con labores antiguas que concentran barros históricos. Con su investigación llega a la conclusión de que el origen del barro proviene de la conexión con labores antiguas concentradoras de barro histórico, es más, los primeros puntos

afectados se ubican en la zona donde se dio inicio al caving. Luego, la propagación es en dirección del avance de la frente de hundimiento, en donde al cerrarse uno o más puntos de la vecindad se generan planos preferenciales de flujo y al encontrarse los elipsoides traslapados el material saturado diluye a través de los intersticios de la columna quebrada en movimiento, ocurriendo el efecto émbolo expuesto por Jakubec (2012), en que al cerrarse el punto, éste se confina y el diluyente comienza a fluir lateralmente hacia planos preferenciales.

**MEJÍAS, DIEZ Y SALAZAR (2015)** evalúan el material de sobrecarga de Reservas Norte, sector productivo de la mina subterránea El Teniente. Que se caracteriza por presentar un alto grado de oxidación, cantidad importante de sulfuros secundarios de Cu-Fe, y presencia de filosilicatos en la fracción arcilla, factores que conllevan a efectos desfavorables para la recuperación de Cu con valores menores a 90%, rango crítico para el circuito SAG de la División. Otras características como el dominio de la fracción granulométrica operacional menor a 25 cm y su relación directa con la entrada de humedad provocan estados de alerta al ser un material con potencial de generar eventos acuosos no deseados, tema relevante por el abandono de puntos de extracción lo que puede conllevar a pérdidas de reservas.

**ZÚÑIGA (2018)** caracteriza la distribución y ocurrencia de la molibdenita y su influencia en la recuperación de este mineral en el yacimiento El Teniente.

## **1.7. AGRADECIMIENTOS**

Aparte de agradecer a mis padres y hermano, que me apoyaron durante toda mi carrera, quiero también agradecer a mi pololo, quien ha sido un apoyo fundamental durante mi memoria de título. Además agradezco a mis compañeros, con los quienes he pasado por momentos de alegría, ocio, angustia, tristeza y celebración durante estos seis años de carrera. Al profesor Osvaldo Rabbia, por confiar en mi al momento de abrirse esta oportunidad de memoria en El Teniente, a mi profesor patrocinante Oscar Jerez y a los profesores de mi comisión, Marcos Pincheira y Abraham González, que se comprometieron conmigo al momento de yo necesitar una pronta revisión de la memoria. También debo darle las gracias a mis profesores, que me formaron como geólogo.

No puedo dejar de agradecer a mi tutora Olivia Mejías, que se dedicó pacientemente a enseñarme, explicarme, entregarme los conocimientos (desde lo más básico) y ayudarme en todo lo necesario para que pudiera finalizar mi memoria lo más pronto posible, junto con Eduardo Diez, quien fue

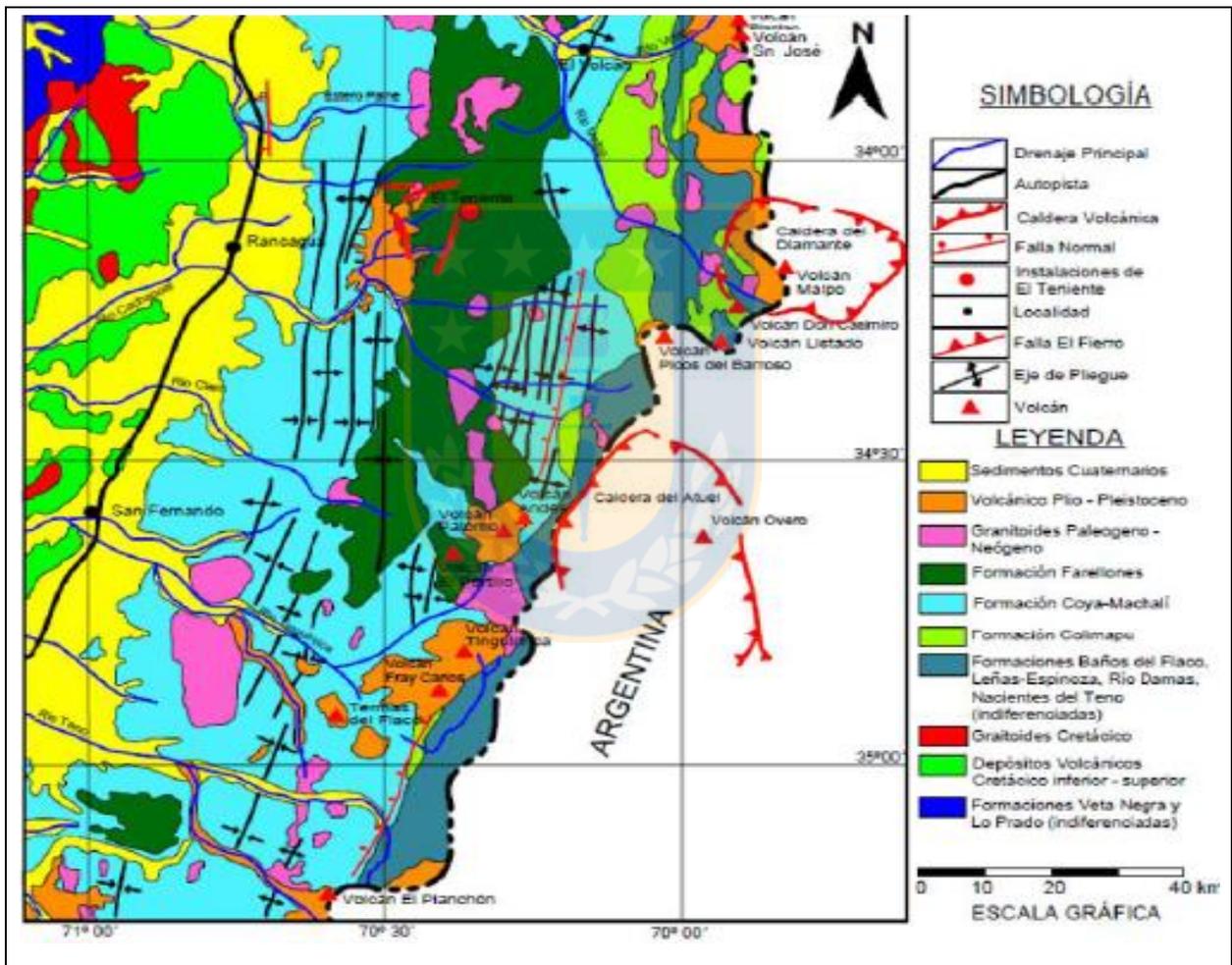
una gran ayuda, sobre todo con la utilización del Software ArcGIS. A Simón que tuvo la mejor disposición realizando los cortes para este estudio. Además, quiero agradecer a todas las personas que componen el gran equipo de la Superintendencia de Gestión Producción, quienes me recibieron de la mejor manera, y de los cuales aprendí muchísimo en estos cortos pero intensos 6 meses, dentro de ellos al jefe Patricio Miranda, Sergio Urbina, Ramón Valdivia, don Osvaldo Dieguez, Felipe Robles, Christian Salazar, a los muestreros y analistas, en especial a don Aldo Cavieres. Por todo el apoyo y enseñanzas que me han brindado, agradezco enormemente a cada una de las personas mencionadas y a quienes no mencioné pero que sin duda han sido fundamentales en mi formación.



## 2. ANTECEDENTES GEOLÓGICOS

### 2.1. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

A escala regional, las rocas que afloran corresponden a potentes secuencias de rocas volcánicas estratificadas, intercaladas con secuencias de menor potencia sedimentarias marinas y continentales. Éstas rocas fueron intruídas por cuerpos plutónicos, de composición ácida a intermedia, y cuerpos hipabisales, de edad Cenozoica, como batolitos, stocks, brechas hidrotermales y en menor cantidad, por diques y apófisis (Figura 2.1.).



**Figura 2.1.** Mapa Geológico Regional (Modificado de Charrier y otros, 1996). Cordillera de la Costa: (1) Formaciones Veta Negra y Lo Prado. Depósitos de cuenca intra-arco volcánico (dominio volcánico) y marino sedimentarios (Jurásico Superior a Cretácico Inferior). (2) Depósitos volcánicos continentales (Cretácico Inferior a Superior). (3) Granitoides (Intrusivos, Cretácico). Cordillera Principal: (4) Formaciones Baños del Flaco, Leñas-Espinoza, Río Damas, Nacientes del Teno (indiferenciadas, marino y continental, Jurásico). (5) Formación Farellones (Neógeno). (8) Granitoides (Paleógeno-Neógeno). (9) Depósitos Volcánicos (Plioceno-Pleistoceno). (10) Depósitos Cuaternarios.

### **2.1.1. ROCAS ESTRATIFICADAS**

Formación Nacientes de Teno (Bajociano-Kimmeridgiano Inferior): Corresponden a rocas sedimentarias de textura clástica ubicadas en la zona este de la región (Charrier, 1973). Esta formación se encuentra definida por Klöhn (1960). Subyace de manera concordante a la Formación Río Damas (Figura 2.1.). Se define como un conjunto de rocas sedimentarias clásticas, orogénicas y químicas intercaladas con material piroclástico. Según Davidson y Vicente (1973), se definen 2 miembros los cuales constituyen a esta formación: el miembro superior Santa Elena Evaporítico (yeso y anhidrita), con una potencia de 500 a 600 m que disminuye paulatinamente hacia el este; y el Miembro Inferior Detrítico y Calcáreo, que corresponde al Miembro Rinconada y Estratos Inferiores del Valle Villagra y Quebrada La Zorra definido por Klöhn (1960), que presenta una potencia de 100 a 200 m, su edad es asignada en base a su contenido fosilífero (Charrier, 1973).

Formación Río Damas (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior): Esta formación fue reconocida por primera vez por Klöhn (1960), en el valle del río homónimo. Se encuentra constituida por rocas sedimentarias clásticas de origen continental con potentes intercalaciones depósitos de origen volcánico (efusivos y piroclásticos) y en menor medida estratos de rocas sedimentarias de origen químico. Esta secuencia representa el término del ciclo regresivo originado por el sollevamiento tectónico del borde occidental sudamericano, evidenciado por rocas sedimentarias clásticas continentales y depósitos volcánicos de granulometría gruesa, de gran potencia, de tipo efusivo y piroclástico, depositados entre el Kimmeridgiano Superior y Titoniano Inferior, dispuestos en una franja N-S al este de la región (Figura 2.1.). Su mayor desarrollo se encuentra en la zona del Río Damas y su espesor promedio es de 3.000 m, Sobreyace de manera concordante a la Formación Nacientes del Teno y subyace concordante y gradualmente a la Formación Baños del Flaco. Se desconoce la relación estratigráfica existente con la Formación Leñas-Espinoza (Charrier, 1981).

Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior): Determinada por Klöhn (1960), y posteriormente redefinida por Charrier (1981). Sus afloramientos son restringidos y ubicados de N a S en el sector oriental.

Corresponde a una secuencia sedimentaria, la que puede ser separada en dos miembros, un miembro inferior de tipo detrítico, y uno superior de tipo calcáreo fosilífero. La potencia promedio de ambos miembros en conjunto es de 1.200 m. Su contacto inferior es desconocido (Charrier, 1981), y subyace a la Formación Coya-Machalí de manera discordante y a la Formación Baños de Flaco con un contacto gradual, también presenta un contacto discordante por medio de una falla con la Formación Río Damas.

Formación Baños del Flaco (Titoniano-Hauteriviano): Definida por Klöhn (1960). Corresponde a una secuencia de rocas sedimentarias calcáreas de carácter marino (principalmente margas y calizas) con intercalaciones de rocas de origen detrítico y volcánico (conglomerados, brechas, areniscas, tobas y lavas), orientadas en dirección N-S y con una potencia variable entre los 1.100 y 2.300 m aproximadamente, la cual, va disminuyendo su espesor hacia el este. En un estudio posterior Charrier (1981) asigna a esta formación los estratos del miembro superior de la Formación Leñas-Espinoza. Se puede reconocer en el sector oriente de la región (Figura 2.1.). La Formación Baños del Flaco sobreyace en un contacto concordante y gradual a las Formaciones Río Damas y Leñas-Espinoza y subyace concordantemente la Formación Colimapu. Se aprecia en algunos sectores que su límite superior se encuentra erosionado, y es sobreyacido de manera discordante por la Formación Coya-Machalí. A una escala regional se vislumbra que esta formación se encuentra intensamente deformada. Su contenido fósil permite asignarle una edad que oscila en el rango Titoniano – Hauteriviano (Corvalán, 1965 y Tavera, 1972 en Charrier, 1981; Charrier, 1983).

Formación Colimapu (Barremiano-Albiano): Ésta fue definida en un principio por Klöhn (1960) y redefinida por Charrier (1981). Corresponde a una secuencia de estratos de roca volcano-sedimentarias dentro de los cuales se encuentran areniscas tobíferas rojizas, lutitas tobíferas y tufitas rojas, estos estratos presentan intercalaciones con conglomerados, brechas, lavas andesíticas, calizas y capas de yeso, lo que señala que el ambiente de deposición fue principalmente continental. La formación presenta dos miembros, un miembro inferior de componentes sedimentarios (areniscas finas y calizas) y un miembro superior de rocas volcánicas (tobas, lapilli e ignimbritas), estos miembros tienen un espesor medio de 1.500 y 1.600 m respectivamente (Charrier, 1981). La potencia mínima de la formación es de 3.000 m. El origen de esta formación estaría relacionado con el segundo ciclo continental asociado al alzamiento que ocurrió durante el

Barremiano-Albiano (Charrier, 1973). Su contacto inferior con la Formación Baños del Flaco es concordante, mientras que su contacto superior presenta una discordancia erosiva con la Formación Coya-Machalí.

Formación Coya-Machalí (Eoceno Superior-Mioceno Inferior): Esta formación fue delimitada por Klöhn en el año 1960 y corresponde a una serie de intercalaciones de rocas volcánicas entre las cuales se encuentran coladas, brechas volcánicas, tobas y riolitas, con rocas sedimentarias que van desde brechas y conglomerados hasta areniscas y limonitas. Se destaca el hecho que toda la secuencia de rocas es de un ambiente continental de arco toleítico (Kay y otros 1999). Mediante dataciones de K-Ar se determinaron edades de los estratos entre los 20,5-23,1 Ma (Charrier y Munizaga, 1979). La Formación Farellones (Charrier y otros, 1994) se divide en dos franjas paralelas a la Formación Coya-Machalí. La franja occidental contiene rocas de tipo volcánicas con texturas afaníticas, porfídicas y microfaneríticas y posee una potencia estimada de 1.900 m, mientras que la franja oriental contiene rocas piroclásticas con intercalaciones de sedimentitas y presenta un espesor de unos 1.300 m. Su contacto inferior es discordante con la Formación Baños del Flaco, Leñas-Espinoza, Río Damas y Nacientes del Teno, ésta se debería a la orogénesis a la que se vio expuesta. En cambio presenta una discordancia angular en su techo con la Formación Farellones. Charrier y otros (2002) plantean que la formación se relaciona a una extensión cortical.

Formación Farellones (Mioceno Superior): Definida por Klöhn (1960), presenta rocas de origen volcánico. Se delimita como una secuencia que aflora en una franja elongada continua de orientación N-S (Figura 2.1.). En su parte inferior contiene estratos que corresponden a grandes depósitos de flujos piroclásticos e intercalaciones de sedimentos lacustres, mientras que en la parte superior se observa la presencia de lavas intermedias a básicas y domos riolíticos (Thiele y otros, 1991). Las rocas volcánicas que la conforman agrupan lavas andesíticas-riolíticas, tobas e ignimbritas con intercalaciones de brechas (Charrier y Munizaga, 1979); éstas se habrían depositado en un ambiente continental con actividad volcánica cuyos depósitos presentan una composición predominantemente intermedia. El centro eruptivo se ubicó probablemente a lo largo de la zona actual de afloramientos de esta formación.

Thiele y otros (1991) postularon que estas secuencias se habrían acumulado en un graben volcánico-tectónico, formado a partir de una serie de colapsos de calderas, basándose en la

presencia de fallas normales que delimitan esta formación, el gran volumen de magma ácido extruido y un gradiente paleotermal alto (de tipo campo geotérmico). Se realizaron dataciones radiométricas K/Ar las cuales indican edades de 4,13-14,3 Ma (Charrier, 1983), asignándola así al Mioceno Medio-Superior. La Formación se dispone con pliegues suaves, con inclinaciones de no mayores a 25° hasta subhorizontales (Charrier, 1983), y sobreyace en discordancia angular sobre estratos de la Formación Coya-Machalí (Klöhn 1960; Charrier, 1973, Thiele y otros, 1991), mientras que su techo coincide con la actual superficie de erosión y en algunos sectores subyace en discordancia a Formación Colón-Coya. Esta formación resulta ser la roca madre donde se aloja el yacimiento El Teniente.

Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno): Identificada primerizamente por Enrione (1972) y posteriormente definida como una formación por Gómez (2001). Esta formación se caracteriza por componerse por un conjunto de lahares de granulometría heterogénea, insertos en una matriz arcillo-cinerítica, con intercalaciones locales de piroclastos, ceniza, lavas andesíticas de poca potencia y gravas fluviales.

La potencia de este depósito varía entre algunos centímetros y 150 m. En el área, sus afloramientos se disponen discordantemente sobre las formaciones Farellones y Coya-Machalí, llegando a abarcar un área de 160 m<sup>2</sup> y rellenando la topografía del valle en tiempos anteriores. El techo de la Formación Colón Coya corresponde a la actual superficie de erosión. Dataciones radiométricas de K-Ar fueron obtenidas por Charrier y Munizaga (1979), éstas coinciden con los resultados que obtuvo Cuadra (1986), los cuales sitúan esta formación en el Plioceno-Pleistoceno (2,3-1,3 Ma). La formación se encuentra ubicada hacia el S-W del yacimiento El Teniente (Figura 2.1.).

Depósitos no consolidados (Cuaternario): Secuencias de sedimentos cuyo periodo de deposición es asignado al Cuaternario. Se les asocia principalmente a las redes de drenajes del área, los cuales corresponden a depósitos fluviales, lacustres y glacio-fluviales y en menor escala a eventos aluviales. Estos depósitos se encuentran rellenando los principales sistemas de drenaje, tales como los valles de los ríos Cachapoal, Maipo, Teno y Blanco (Figura 2.1.).

En el cuadro resumen de las formaciones de los Andes de Chile Central (Tabla 2.1.), la Fase Compresiva del Cretácico Superior, generaría la discordancia de las formaciones mesozoicas de la Formación Farellones con las rocas volcánicas terciarias y cuaternarias. A la segunda fase, algunos

autores le asignan la edad Oligoceno Inferior y otros Mioceno Inferior (Charrier y otros, 1996), y sería la responsable de la depositación de la Formación Coya-Machalí en discordancia sobre la Formación Colimapu. Finalmente, en el Mioceno-Plioceno una fase compresiva daría lugar a un suave plegamiento de la Formación Farellones, depositándose en discordancia la Formación Colón-Coya.

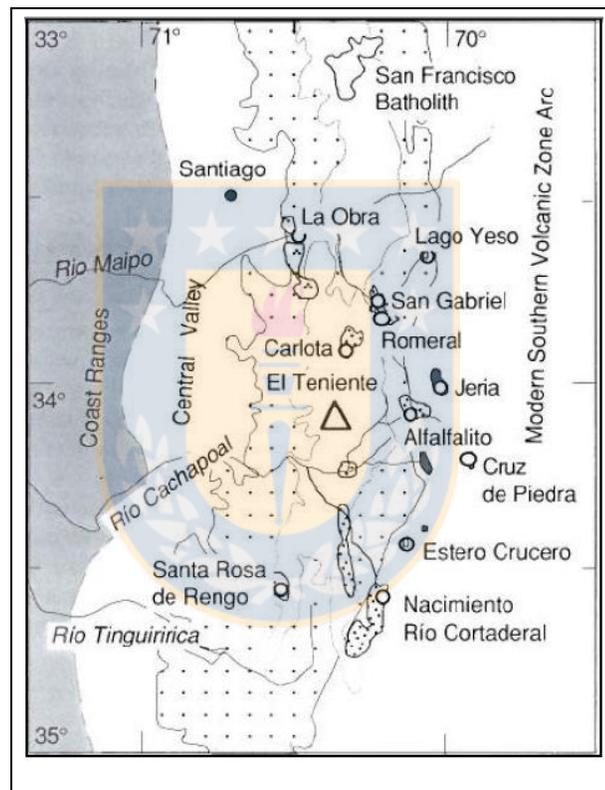
## 2.1.2. ROCAS INTRUSIVAS

Las rocas intrusivas existentes a nivel regional, donde se emplaza el yacimiento El Teniente, se disponen en orientación N-S, intruyendo a las formaciones del Mioceno, tales como, Coya-Machalí y Farellones (Skewes, 2002). Estas rocas, presentan una gran variabilidad de texturas de carácter plutónico e hipabisales como stocks, batolitos, filones y cuerpos menores como diques y apófisis (Charrier, 1981).

**Tabla 2.1.** Cuadro resumen de las Formaciones de los Andes de Chile Central, modificado de Charrier y otros (1996).

Formación	Litología	Espesor	Edad	Autor	
Colón-Coya	Lahares, coladas de lavas andesíticas, dacíticas y piroclastos	150 m	Plioceno Superior-Reciente	Gómez (2001)	
Discordancia de Tercer Plegamiento (F. del Mioceno-Plioceno)					
Farellones	Depósitos continentales, lavas dacíticas y depósitos piroclásticos	2.400 m	Mioceno (27-7 M.a)	Klohn (1960)	
Discordancia del segundo plegamiento (F. del Oligoceno Inferior o del Mioceno Inferior)					
Coya-Machalí	Depósitos volcanoclásticos y depósitos detríticos	3.200 m	Paleógeno-Neógeno Inferior	Klohn (1960)	Correlacionable con Fm. Abanico
Discordancia del primer plegamiento (F. del Cretácico Superior)					
Colimapu	Depósitos sedimentarios rojos y depósitos volcánicos	2.000-3.000 m	Barremiano-Albiano	Klohn (1960)	
Baños del Flaco	Rocas sedimentarias marinas fosilíferas	2.000 m	Titoniano-Neocomiano	Klohn (1960)	Correlacionable con F. Lo Valdés
Leñas-Espinoza	Rocas piroclásticas, depósitos turbidíticos	1.200 m	Kimmeridgiano Superior	Klohn (1960)	Concordante y en contacto por falla
Río Damas	Areniscas rojas continentales, conglomerados y lavas	3.000 m	Kimmeridgiano Superior-Titoniano Inferior	Klohn (1960)	
Nacientes del Teno	Areniscas marinas y calizas. 100-200 m de yeso	600-1.000 m	Bajoniano-Kimmeridgiano Inferior	Klohn (1960)	

También, presentan variadas edades y composiciones siendo los tipos litológicos más comunes; granodioritas de hornblenda y biotita, pórfidos dioríticos-andesíticos, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos. Se reconoce la existencia de al menos cinco franjas de intrusivos agrupados en complejos ígneos del Oligoceno Superior al Mioceno Superior, con edades que varían entre los 34,3 y 5,59 Ma (Falcón y Rivera, 1998). Según las relaciones de contacto observadas con sus rocas de caja se les han asignado una edad relativa posterior a la Formación Farellones (Stewart y Araya, 1972), por otro lado, Godoy (1993) le asigna una edad Mioceno. Kurtz y otros (1997), agrupan estos cuerpos intrusivos en tres unidades de acuerdo a sus edades Ar/Ar (Figura 2.2.):



**Figura 2.2.** Distribución regional de grupos de plutones Neógenos según Kurtz y otros (1997), tomado de Falcón y Rivera (1998).

- **Complejo Plutónico Antiguo (Mioceno Inferior):** Sus edades fluctúan entre  $21,6 \pm 4,9$  y  $16,2 \pm 1,2$  Ma.

- **Complejo Plutónico El Teniente (Mioceno Medio – Mioceno Superior):** Se subdivide en dos sub-unidades, la primera de 12 Ma ( $12,4 \pm 2,5$  y  $11,3 \pm 0,3$  Ma) y el segundo de 8 Ma ( $8,8 \pm 0,1$  y  $7,7 \pm 0,1$  Ma).

- **Complejo Plutónico Joven (Mioceno Superior):** con edades que oscilan entre los  $6,6 \pm 0,1$  y los  $5,5 \pm 0,2$  Ma.

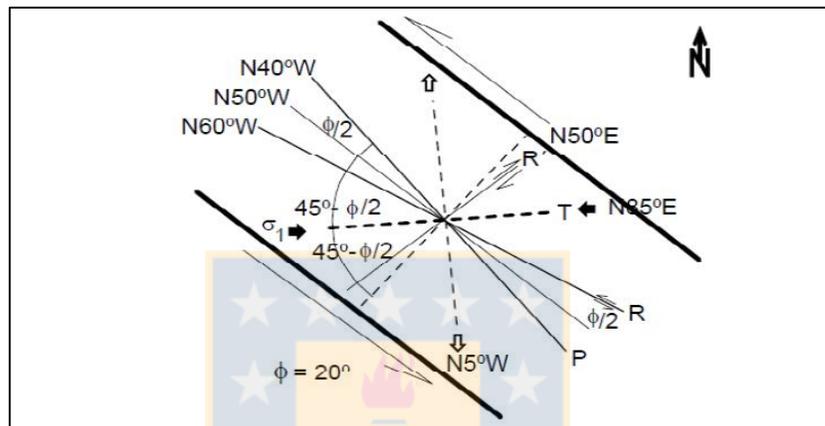
Se propone que la actividad magmática de la zona se extiende desde el Oligoceno Superior al Mioceno Superior, esto coincide con los rangos de las formaciones Abanico y Farellones (Kurtz y otros, 1997; Falcón y Rivera, 1998).

### 2.1.3. ESTRUCTURAS

La geología y geomorfología de Chile Central, entre los 33°S y 39°S, se encuentran en gran parte controlados por estructuras regionales NW-SE a NNW-SSE, las cuales se formaron durante eventos tectónicos y magmáticos entre el Paleozoico y Mesozoico (Godoy, 1993). Dichas estructuras son verdaderas suturas entre segmentos dispuestos oblicuamente a la actual Cordillera de Los Andes. Debido a movimientos laterales de estos límites, se ubican aquí centros volcánicos e intrusivos miocenos (Falcón y Rivera, 1998). Falcón y Rivera (1998) proponen un control regional estructural de transcurrancia sinistral N50°W, que generó fracturas sintéticas sinestrales tipo R, N60°W y antitéticas dextrales, tipo R', N50°, como se muestra a continuación (Figura 2.3.):

Fallas: Según Falcón y Rivera (2000) existen siete zonas de falla que afectan a la Cordillera de la Costa y a la Cordillera de Los Andes (en la depresión intermedia la traza de las estructuras se pierde debido al relleno sedimentario), con un rumbo de N30°W. En sectores cercanos a El Teniente se pueden apreciar las zonas de falla Piuquencillo, ubicada al norte, sistema de falla El Azufre, en el centro y Sistema de falla Juanita hacia el Sur (Rivera y Cembrano, 2000). Estas estructuras serían responsables del truncamiento de los pliegues en la Formación Farellones. Charrier (1981) describe a escala regional una falla de deslizamiento transcurrente sinistral cuya traza es coincidente con el Río Cachapoal y que además esta falla desplaza los ejes de los pliegues de la Formación Coya-Machalí. Describe también capas de roca incompetente en el lado oriental de la Formación Coya-Machalí que son precursoras para el desarrollo de fallas inversas y algunas fallas normales asociadas a la tectónica de bloques (Plio-Cuaternario).

Pliegues: Según Klohn (1960) en el sector existen pliegues anticlinales y sinclinales con una tendencia de sus ejes de plegamiento NS. Además estos se presentan levemente buzantes hacia el Sur (Rivera y Falcón, 2000). La continuidad de los pliegues está acotada por zonas de fallas de rumbo N30°W (Rivera y Falcón, 2000). Específicamente en el área donde se emplaza el yacimiento el estilo de plegamiento, tanto de anticlinales como sinclinales es suave con promedios de inclinación para sus flancos entre 10 y 15°. Estos afectan principalmente a la Formación Farellones.



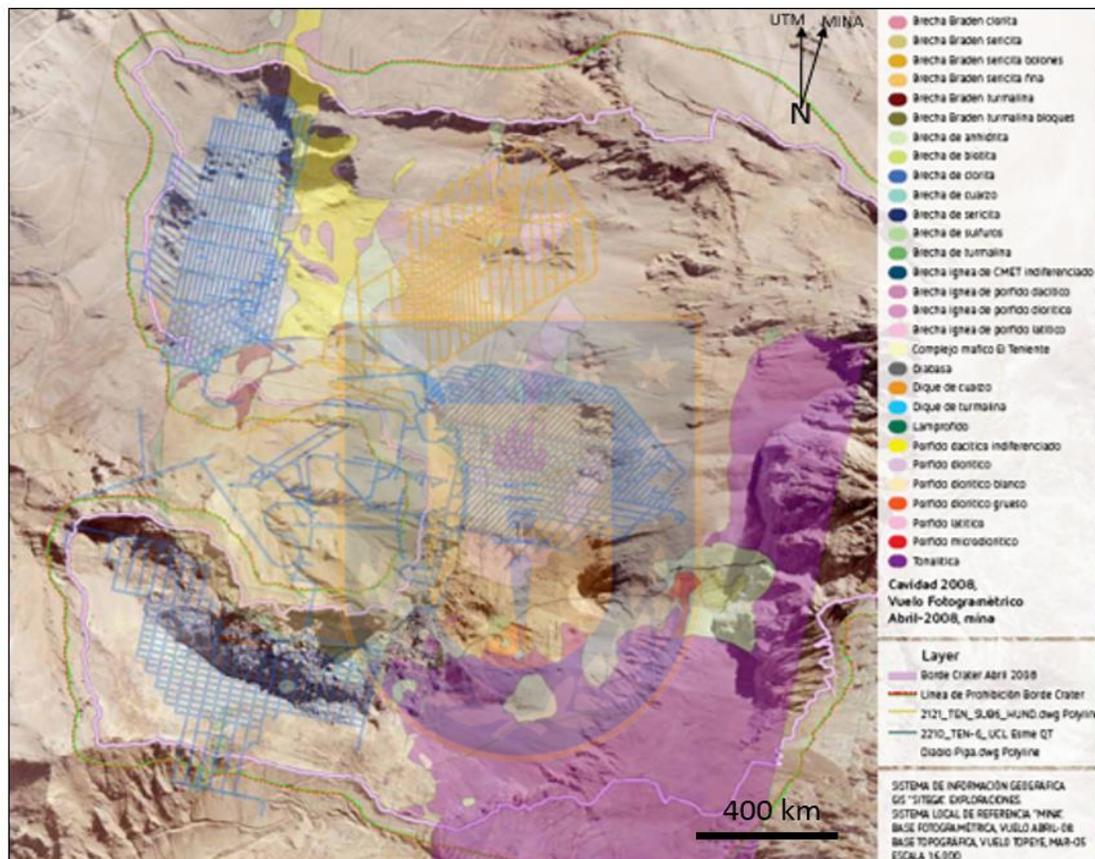
**Figura 2.3.** Modelo de estructuras tipo Riedel para una zona de transcurrancia sinistral de rumbo N50°W que coincide con la zona de falla Río Blanco – Codegua, tomado de Falcón y Rivera (1998).

## 2.2. MARCO GEOLÓGICO DISTRITAL

El yacimiento El Teniente, está conformado principalmente por rocas volcánicas de composición máfica, llamadas Complejo Máfico El Teniente (CMET), las cuales se emplazan en el Miembro Inferior de la Formación Farellones (Howell y Molloy, 1960). Además de estar intruídas por cuerpos félsicos de menor dimensión. En los contactos entre las rocas del CMET y los cuerpos menores, se reconocen brechas ígneas y brechas magmáticas hidrotermales. Todas estas unidades son intruídas por la Brecha Braden (Figura 2.4.) también conocida como pipa (Camus 1975). Por último, existe la presencia de diques de lamprófido que marcan el fin de los eventos de mineralización sulfurada de cobre y molibdeno (Cuadra 1986, Skewes y otros 2002). Los principales minerales de mena en la zona primaria son calcopirita-bornita-pirita y en la zona de enriquecimiento secundario se observa calcosina, covelina, cobre nativo y cuprita (Cuadra, 1986). Las litologías que contienen esta mineralización se ubican alrededor de la Brecha Braden y

presentan alteración hidrotermal del tipo potásica, fílica, propilítica y argílica. En algunos casos estas alteraciones han obliterado completamente la roca original.

La mineralización de cobre-molibdeno se da principalmente en vetillas (70%) como resultado del relleno y sellado de grietas generadas por procesos de deformación y se aloja en su mayoría en rocas subvolcánicas máficas.



**Figura 2.4.** Vista aérea, mapa geológico y sectores productivos de mina El Teniente (CODELCO, 2011).

## 2.2.1. LITOLOGÍA

### Complejo Máfico El Teniente (CMET)

Corresponde a un conjunto de rocas melanocráticas del Mioceno superior las que forman parte de un lacolito de gran escala, el cual intruye a la Formación Farellones (Munizaga y otros, 2002; Charrier y otros, 2002; Skewes, 2000). Estas rocas constituyen la roca caja en la cual se hospeda más del 80% de la mineralización de cobre presente en el depósito (Camus, 1975; Arévalo y Floody, 1995 y Arévalo y otros, 1998) (Figura 2.4.).

Esta unidad es un complejo subvolcánico de composición básica a intermedia color pardo oscuro a negro, que tiene una extensión vertical de más de 2 km de alto, 2,4 km de ancho y 1,2 km de largo (Burgos, 2002).

La textura de las rocas del CMET varía de afanítica a porfídica. La mineralogía original de éstas ha sido obliterada debido a la fuerte alteración y brechización que estas rocas presentan en conjunto con la mineralización que ha ocurrido durante estos procesos, es por esto que las características de las rocas primarias quedan enmascaradas por el intenso “*stockwork*” y por la alteración hidrotermal, principalmente potásica, siendo la biotita secundaria el mineral predominante en esta fase, que además entrega a las rocas el color oscuro característico de esta unidad (Villalobos, 1975). Cannel y otros (2005) describen al CMET como un complejo de sills apilados de composición principal anortita y hornblenda, con una textura que varía de fanerítica a afanítica, que instruyeron flujos de lava andesítica de la Formación Farellones.

Estudios anteriores indicaron que esta unidad, cuyas rocas eran registradas erróneamente como andesitas, correspondían a rocas máficas intrusivas, las cuales incluyen a gabros, diabasas, pórfidos basálticos y pórfidos basálticos andesíticos (Skewes, 1997; Skewes y Arévalo, 1997 y 2000; Skewes, 1999 y Skewes y otros, 2002). Estas rocas estarían conformando sólo una parte del Complejo Máfico El Teniente, el cual correspondería a un complejo intrusivo sub-volcánico con rocas que varían de dioritas a gabros (Skewes 1997; Skewes, 2000 y Skewes y Arévalo, 2000).

Burgos (2002) indica en su estudio que parte del complejo corresponde a una diabasa de textura porfídica que presenta variaciones en el tamaño de los fenocristales de plagioclasa. Las rocas con fenocristales de grano fino se encontrarían en los márgenes del intrusivo y mientras que las de grano grueso se ubican al centro de éste. Como minerales máficos primarios se encuentran relictos de piroxenos y se halla una fuerte alteración biotítica secundaria.

### Complejo Félsico

Está compuesto por una variedad de filones, diques y pórfidos de composición ácida los cuales pueden agruparse en función del tipo de roca y su textura correspondiente.

- Pórfidos Dioríticos: Anteriormente denominados como Diorita Central. Corresponden a una serie de diques y stocks, de gran extensión vertical y orientación con rumbo N30°W. Dentro del yacimiento se encuentran distribuidos en la parte norte y central del mismo. Se generan brechas

hidrotermales con distintas variedades cementos y clastos de pórfidos dioríticos en el contacto de los pórfidos con el Complejo Máfico El Teniente (CMET).

Poseen fenocristales de plagioclasas, biotitas y en menor cantidad cuarzo, que conforman aproximadamente un 60% del total de la roca. Los pórfidos dioríticos se encuentran moderadamente alterados por una sucesión de alteraciones potásica, argílica y fílica (Guzmán, 1991). Según un estudio realizado por Makshev y otros, en el 2004, se determinó mediante dataciones de U/Pb en circones la edad de cristalización, la que sucedió entre  $6,11 \pm 0,13$  Ma y los  $6,28 \pm 0,16$  Ma.

- Tonalita: Corresponde a un gran cuerpo intrusivo, localizado en la parte sureste del yacimiento, y se presenta como un pórfido de tipo stock de 200 m de ancho ubicado al SE de la pipa Braden. Este cuerpo intruye al Complejo Máfico El Teniente.

El cuerpo muestra un color gris oscuro y posee variaciones texturales, en las zonas marginales tiene una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa primaria, biotita y relictos de anfíboles, mientras que hacia el centro del cuerpo la textura es fanerítica. El límite entre ambas texturas es transicional y se puede evidenciar por variaciones en el tamaño de los cristales y porcentaje de masa fundamental (Faunes, 1981). La Tonalita se encuentra afectada por una intensa alteración fílica, caracterizada por la asociación cuarzo-sericita-clorita (Cuadra, 1986). Su composición química es de carácter calcoalcalino, con un contenido de sílice que varía entre 63,6 y 64,2%.

Dataciones radiométricas mediante el método K/Ar le asignó al stock una edad de  $7,1 \pm 1,0$  Ma (Cuadra, 1986), es decir, se le asignó una edad Mioceno Superior, mientras que por el método  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  fue datado en  $5,47 \pm 0,2$  Ma a  $5,63 \pm 0,12$  Ma, que corresponde al Plioceno Inferior (Makshev y otros, 2001).

- Pórfido dacítico (ex Pórfido Teniente): Antiguamente llamado Pórfido Teniente o Dacita Porfídica, fue reconocido originalmente por Ossandón (1974), posteriormente caracterizado por Cuadra (1986), quienes señalan que corresponde a un cuerpo intrusivo con disposición alargada orientado N-S a NNW con un manto subvertical. El pórfido presenta una forma tabular irregular subvertical y está situado en el sector norte del yacimiento. Este pórfido intruye a las rocas máficas y se pueden observar contactos nítidos, pero de diseño irregular o bien transicional. El cuerpo se dispone con 1.500 m de largo y una potencia variable entre 50 m, hacia los niveles más

superficiales, y 300 m hacia los niveles más profundos. El límite sur del cuerpo intrusivo se encuentra cortado por la Chimenea de Brechas Braden, en cuyo contacto se desarrolla una brechización con fragmentos del pórfido y matriz de turmalina.

El Pórfido Dacítico es de color gris claro a blanco y su mineralogía primaria se compone de fenocristales de oligoclasa, biotita y escaso cuarzo (Cuadra, 1986), siendo una roca rica en feldespatos alcalinos y pobre en sílice. Ossandón (1974) distinguió dos variedades texturales: la porfídica idiomorfa, la cual ocurre cerca de la zona de contacto, y la porfídica hipidiomorfa que se da en la parte central del intrusivo.

Este intrusivo ha sido identificado como el responsable del principal evento mineralizador del yacimiento El Teniente (Ojeda y otros, 1980), aunque estudios recientes concluyen que el Pórfido Dacítico jugó un rol importante en la redistribución del cobre en torno a sus márgenes, más no en el origen principal de la mineralización (Skewes, 2000).

Edades U-Pb en circón indican que la cristalización del intrusivo ocurrió hace 5,3 Ma (Maksaev y otros, 2002 y Munizaga y otros, 2002). Las dataciones mediante K-Ar en biotitas indican una edad de alteración y mineralización entre los 4,6 a 4,7 Ma (Cuadra, 1986).

- *Pórfido Microdiorítico*: Antiguamente conocido como “Pórfido A”, corresponde a un intrusivo de composición diorítica de grano fino, con abundante presencia de xenolitos de composición intermedia y textura porfídica, y cúmulos de biotita (Arredondo, 1994), que se ubica en el sector central-este del yacimiento, presentando contactos por intrusión con la Tonalita y el Complejo Máfico El Teniente (Figura 2.3.). Este cuerpo genera un volumen importante de brechas ígneas e hidrotermales en sus márgenes, los que muestran altas leyes de cobre. Edades U/Pb en circón, señalan que la cristalización de este cuerpo ocurrió hace  $6,46 \pm 0,11$  Ma (Maksaev y otros, 2004).

#### Complejo Brecha Braden

Corresponde a una pipa volcánica, cuya génesis está ligada a la expulsión de fluidos que fragmentaron la roca caja, la cual principalmente corresponde al Complejo Máfico El Teniente.

Tiene forma de cono invertido y en planta se manifiesta de manera circular con un diámetro 1.200 m y una profundidad de 3.150 m, su flanco oeste es subvertical mientras que el resto del cuerpo presenta límites de contacto con un manto entre 60 y 70° (Floody, 2000). Se encuentra en la parte

central del yacimiento, y por relaciones de contacto, se estima que su edad corresponde a 4,7 a 4,5 Ma (Cuadra, 1986). La parte central de este complejo está conformada por un conjunto de brechas que, en general, se componen de fragmentos sub-redondeados polimícticos en una matriz de polvo de roca, con cemento de sericita, turmalina, calcita y/o sulfuros (principalmente pirita). En su interior existe una diversidad de unidades definidas por variaciones en el tamaño, selección y abundancia relativa de los cristales, y por el contenido de turmalina en el cemento, estas unidades son clasificadas como Brecha Braden-Sericita, Brecha Braden-Sericita Fina, Brecha Braden-Sericita Bolones, Brecha Braden Clorita, Brecha Braden Turmalina, Brecha Braden Turmalina Bloques. Existen, además, otras unidades de brecha sus bordes (Skewes y otros, 2002).

Dentro del complejo de brechas se pueden definir 2 grandes unidades geológicas, la Unidad Brecha Braden y Unidad Brecha Marginal. La Unidad Brecha Marginal rodea a la Unidad Brecha Braden en casi toda su periferia con un contacto gradacional, que se reconoce por la variación en el porcentaje de turmalina (Ojeda y otros, 1980). Esta unidad se emplazó previamente a la Unidad Brecha Braden, generando fracturas concéntricas producto de la presión de fluidos volátiles y magma resurgente, que superó a la presión litoestática del sistema resultando en una fragmentación explosiva, estas fracturas concéntricas facilitarían el posterior ascenso de la Unidad Brecha Braden (Cannel y otros, 2005).

Por su disposición en el yacimiento y su calidad geotécnica la mayoría de la infraestructura de la mina se encuentra situada en esta unidad.

### Cuerpos de Brechas

Arredondo (1994) reconoció en el sector central este del yacimiento, varios cuerpos de brechas de distinta composición. Las brechas se encuentran clasificadas de acuerdo al mineral dominante contenido en la matriz (Skewes y otros, 2002), entre las cuales destacan las Brechas de anhidrita, Brechas de turmalina, Brechas de biotita y Brechas Ígneas. Los clastos son polimícticos de rocas intrusivas de composición félsica, máfica o de ambas, con matriz de biotita, turmalina, cuarzo, feldespato, clorita, anhidrita, yeso, apatito, calcopirita, bornita, pirita, rutilo y magnetita. La matriz se encuentra cortada por vetillas rellenas de anhidrita, cuarzo, biotita, turmalina, feldespato y sulfuros.

Los Cuerpos de Brecha pueden clasificarse en 2 grandes grupos, las Brechas Ígneas y las Brechas Hidrotermales. Las Brechas Ígneas se formaron producto de la brechización generada por el emplazamiento de los diferentes cuerpos intrusivos del yacimiento, destacan la Brecha ígnea de CMET, Brecha Ígnea de Pórfido Dacítico, Brecha Ígnea de Pórfido Diorítico y la Brecha Ígnea de Tonalita.

Las brechas hidrotermales tuvieron su génesis a raíz de la circulación de fluidos hidrotermales durante eventos de subsidencia de la cámara magmática y resurgimiento del magma. Destacan la Brecha de Anhidrita, Brecha de Cuarzo, Brecha de Sericita, Brecha de Clorita, Brecha de Turmalina y Brecha de Sulfuros.

- Brecha de Anhidrita: Son cuerpos de brecha hacia el NE y SE de la mina. La composición de sus clastos es polimíctica. Su cemento se compone esencialmente de anhidrita + cuarzo, calcopirita, pirita y molibdenita. Se le asocia a la etapa de alteración mineralización tardi-magmática. Se desarrolla de preferencia en los contactos entre pórfidos y CMET.

- Brecha de Turmalina: Brecha de composición variada que presenta como mineral principal en su matriz la turmalina. La matriz también contiene anhidrita, cuarzo, calcopirita, bornita y pirita (Zúñiga, 1982). Según Camus (1974) se encuentran preferentemente en el sector NE del yacimiento.

- Brecha de Biotita: Su característica principal es que presenta fragmentos de rocas máficas y/o félsicas fuertemente biotitizados. El cemento es biotítico y presenta menores cantidades de plagioclasa + cuarzo + bornita-calcopirita + anhidrita + yeso y polvo de roca. Los fragmentos de las rocas se encuentran biotitizados y los minerales máficos fueron reemplazados completamente por biotita. El proceso de biotitización se relaciona con la infiltración de vetillas de biotita (Skewes, 2000).

Esta unidad se presenta de dos formas. La primera es una brecha *in situ* con características pegmatíticas (biotitas de la matriz llegan hasta 5 cm). Es clasto-soportada y monomíctica (fragmentos de la unidad de Tonalita). La otra variedad es reconocible a nivel microscópico, donde se aprecia que la biotita es el mineral que domina en la masa fundamental con clastos monomícticos félsicos o máficos (Skewes y otros, 2002).

- Brechas Ígneas: Se encuentran en los contactos entre el Complejo Máfico El Teniente y los distintos pórfidos que están intruyendo al CMET. Su potencia varía entre algunos centímetros a decenas de metros. Suelen darse como fragmentos de rocas máficas en una matriz de tonalita o pórfido diorítico.

### Intrusivos Menores

Corresponden a unidades de ocurrencia restringida y de menor importancia, volumétricamente menos importantes y de carácter aparentemente estéril. Estos cuerpos intrusivos corresponden a los últimos eventos de actividad magmática reconocidos en el yacimiento.

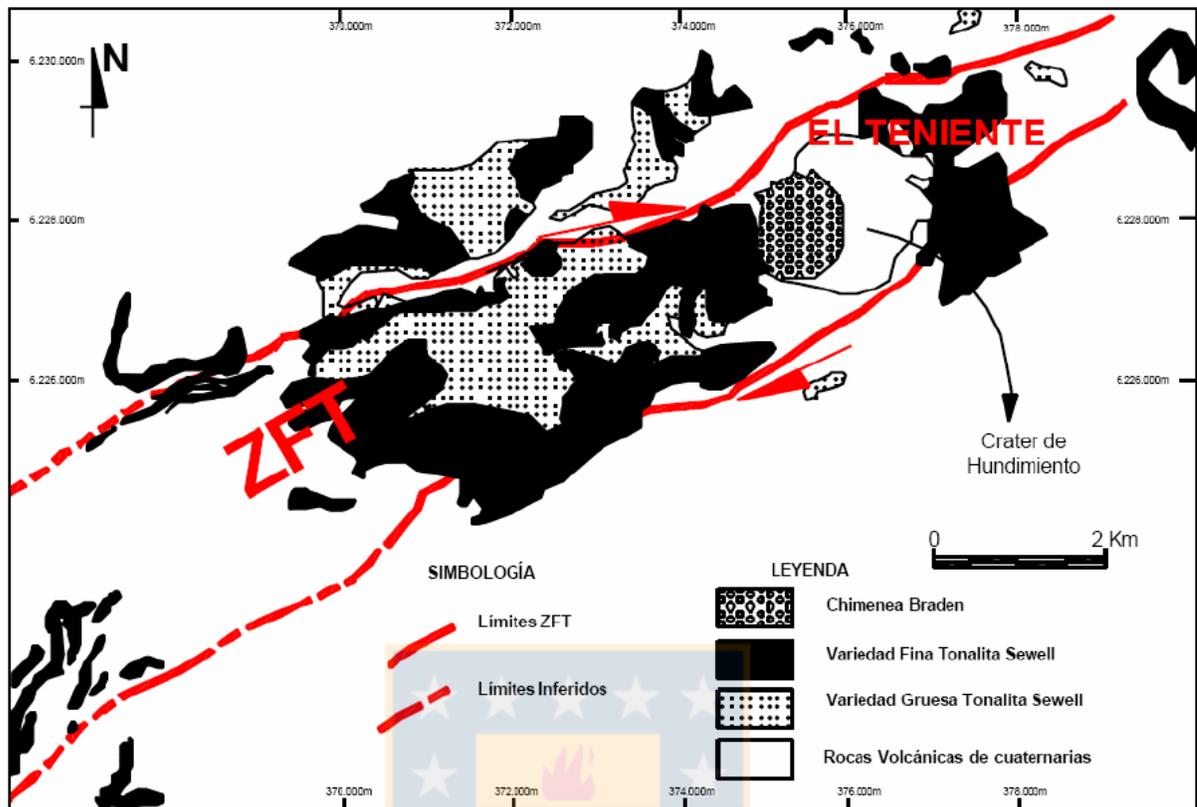
- Pórfido Latítico: Definido por Howell y Molloy (1960) como latita porfídica, corresponde a diques con una potencia que puede variar desde los 2 a los 15 m, éstos se distribuyen de manera concéntrica alrededor de la Brecha Braden (Figura 2.4.). Se reconoce como cuerpos irregulares, discontinuos y auto-brechizados. La roca posee una textura porfídica, con fenocristales de plagioclasa en una proporción mucho mayor que en el Pórfido Dacítico. Contiene además fenocristales de biotita, anfíboles alteradas, “ojos de cuarzo” en una masa fundamental de cuarzo y feldespatos (Skewes y otros, 2002). Edades Pb-U en circón realizadas por indican 4,82±0,09 Ma.

- Dique de andesita: Intruye a la Diorita Sewell en el sector sur de ésta. La roca es de color gris negro y presenta textura porfídica. El cuerpo tiene una forma tabular de 0,52 a 1,0 m de espesor, con rumbo N60°E y un largo de 500 m.

- Lamprófido: Se encuentra localizado al sur de la Brecha Braden. Corresponden a cuerpos tabulares, de potencia variable de 1 a 2 m, de color gris a verdoso. Su textura es porfídica, con fenocristales de hornblenda en una masa fundamental de augita y labradorita. Cortan al CMET, a la Tonalita y a la Brecha Braden. Dataciones de K-Ar indican una edad de 3,8 a 2,9 Ma (Cuadra, 1986 y Godoy, 1993).

## **2.2.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL YACIMIENTO**

A escala distrital, existe zona compleja de cizalle denominado "Zona de Falla El Teniente (ZFT)" con orientación aproximada N65°E, y distribuido en un área de dimensiones reconocidas de 14 km de largo y 3 km de ancho (Figura 2.5.) (Garrido, 1992). Al N choca con la quebrada Teniente y al Sur por la falla de Agua Amarga.

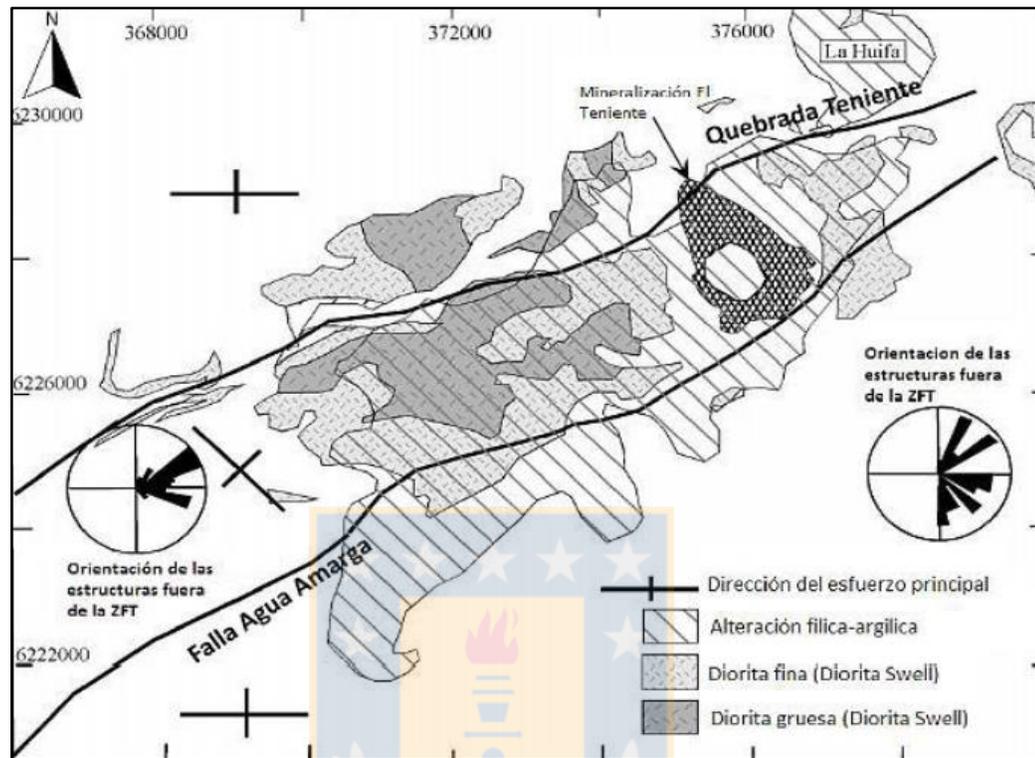


**Figura 2.5.** Distribución Regional Zona Falla Teniente. Tendencia tabular descrita por la Tonalita en sus dos variedades petrográficas y su relación con ZFT (Tomado de Tapia, 2005).

Está compuesto por sistemas estructurales con tres direcciones preferenciales, Dominio  $N46^{\circ}E$  y Dominio  $N64^{\circ}W$ , ambas de manto sub-vertical y un tercer Dominio  $N20^{\circ}E$ , dispuesto en echelón con respecto a los dos anteriores. En estas direcciones preferenciales se alinean diques, fallas, diaclasas y vetillas, siendo interpretados como el producto del tectonismo regional del tipo compresivo-distensivo generados por un eje de esfuerzo máximo de dirección EW, el que origina sistemas de fallas y diaclasas NE y NW. Por relajación elástica, posterior a la compresión, se habrían formado diaclasas de tensión e intrusiones de dirección NS (Reyes, 1979).

Dentro de la zona de falla, el arreglo estructural es totalmente diferente al reconocido en el entorno, independiente de la litología del sector, definiendo un eje de acortamiento de dirección  $N48^{\circ}\pm 11^{\circ}W$  (Garrido, 1995). Estos sistemas estructurales habrían estado activos antes, durante y después de la formación del yacimiento y serían controlados por el emplazamiento de la Pipa Braden (Garrido, 1992). La ZFT controla el emplazamiento del Complejo Tonalítico Sewell (8,9-7,0 Ma; Kay y

Kurts, 1995) y las zonas de alteración del yacimiento. Garrido (1995) nota que el esfuerzo principal regional es de tendencia E-W, siendo rotado a la dirección NW dentro de la ZFT (Figura 2.6.).



**Figura 2.6.** Zona de Falla El Teniente (ZFT), (modificado de Garrido, 1995).

El principal sistema de fallas de dirección NE-SW, agrupa a las estructuras más relevantes que se reconocen en el yacimiento, estas poseen espesores variables desde 5 a 120 cm, con corridas entre 100 y 500 m las que han sido denominadas Falla N, N1, N2, P, P1 y Sursur (Harrison, 2009).

En el yacimiento, las estructuras geológicas se clasifican de acuerdo a la continuidad de la estructura (Tabla 2.2.), y también, de acuerdo al tipo de relleno, donde las estructuras en la mena primaria, se caracterizan por encontrarse selladas y con gran número de estructuras menores, con trazas que alcanzan los 4 metros y conforman un denso enrejado por sobre las estructuras de mayores dimensiones. Mientras que en los minerales de mena supérgenos, ubicados hacia sectores altos del yacimiento, el agua ha lixiviado algunos minerales, generando cambios en las propiedades originales de las estructuras, lo que trae como consecuencia la pérdida de la impermeabilidad natural entregada por el relleno de las estructuras, provocando la circulación de agua.

**Tabla 2.2.** Clasificación de estructuras según su continuidad. (Superintendencia de Geología División El Teniente, SGL-I-123/2003).

<b>TIPO DE ESTRUCTURA</b>	<b>CONTINUIDAD</b>	<b>ESPESOR TÍPICO</b>
Estructuras distritales	Traza > 1 km	>1 m
Estructuras maestras	Traza > 500 m	Entre 5 y 120 m
Estructuras mayores	100 m < traza < 500 m	>7 mm
Estructuras intermedias	4 m < traza < 100 m	<5 mm
Estructuras menores	Traza < 4 m	≤2 mm

### 2.2.3. ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN

Actualmente, se propone que El Teniente se formó por un proceso continuo de alteración y mineralización (Cuadra, 1986), del que se han establecido cuatro etapas hipógenas y una supérgena. Esto, asociado al emplazamiento del Pórfido Dacítico, Pórfido Diorítico y a la formación de la Unidad de Brecha Braden (Howell y Molloy, 1960). La Superintendencia de Geología de El Teniente ha modificado la estructura paragenética del yacimiento, añadiendo una etapa de Pre-mineralización e incorporando la etapa póstuma a la hidrotermal tardía. Estos eventos poseen una edad comprendida entre los 5,3 a 4,7 Ma (Cuadra, 1986; Clark y otros, 1983; Maksaev y otros, 2001; Maksaev y otros, 2004).

#### Etapas Pre-Tardimagmática o de Pre-mineralización

Definida por Cannell y otros (2005), se trata de eventos tempranos de alteración que varían de pervasiva a controlada por vetas y ocurren en asociación con vetillas de magnetita tipo 1a. Llevándose a cabo el desarrollo de alteración magnetita + cuarzo + anhidrita + actinolita + plagioclasa cálcica + epidota, abarcando todo el yacimiento. Esta alteración temprana se preserva en las unidades de andesita del yacimiento, y principalmente, en los márgenes del depósito como vetillas de magnetita. También, de manera adyacente a la Tonalita Sewell, se reconoce una alteración fílica, asociada a turmalina + sericita + clorita + magnetita. Esta etapa de alteración, se encuentra asociada a vetas de cuarzo gruesas, y no presenta mineralización de cobre o molibdeno (Cannell, 2004).

#### Etapas Tardi-magmática (TM)

Corresponde a los primeros eventos de alteración pervasiva del yacimiento, y se caracteriza por la coexistencia en equilibrio de una alteración biotítica pervasiva y la presencia de un intenso enrejado

de vetillas rellenas de anhidrita, albita, clorita, cuarzo, magnetita, sericita y turmalina, las cuales alojan gran parte de la mineralogía metálica de cobre y molibdeno, que consiste en bornita, calcopirita, piritita y molibdenita, con ocurrencia diseminada, y en mayor proporción, en vetillas sin halo de alteración (Zúñiga, 1982). El pórfido dacítico quedó con una zonación de minerales de mena durante esta etapa, con un núcleo rico en bornita, un sector intermedio de calcopirita, y una parte externa con abundante piritita y magnetita.

Al interior del yacimiento, existen evidencias características de esta etapa de alteración en dos sectores. Uno de ellos está en la zona norte, asociada a la intrusión del pórfido dacítico (Arévalo y Floody, 1995), con una gradación desde el centro a la periferia, de alteración potásica, con gran cantidad de biotita secundaria, a una alteración propilítica. Y el otro corresponde al sector sur del yacimiento, donde se observa la misma zonación mineral pero afectada por las alteraciones posteriores. Con respecto al CMET, su textura se ve obliterada por las alteraciones de biotita, albita y cuarzo (Arredondo, 1994).

#### Etapa Hidrotermal Principal

Esta etapa se superpone a la anterior y está asociada a la interacción de los fluidos tardimagmáticos con aguas meteóricas. Su intensidad se encuentra dictada por la frecuencia de vetillas de cuarzo-sericita, anhidrita y sulfuros, las que obliteran la mineralogía preexistente y texturas de la etapa tardimagmática (Ojeda y otros, 1980).

Los minerales de mena corresponden a calcopirita, piritita y molibdenita de manera subordinada, principalmente relleno de vetillas, y escasamente en forma diseminada en los halos de alteración (Zúñiga, 1982). Las vetillas presentan relleno de cuarzo, anhidrita y calcopirita, con moscovita, digenita y molibdenita en menor cantidad. Las vetillas hidrotermales principales (HP) se asocian a esta etapa de alteración.

En la roca de caja, la mineralogía es reemplazada por una asociación de cuarzo-sericita, con anhidrita y clorita en menor proporción. La asociación se desarrolla sobreponiéndose a la biotita tardimagmática y a los feldespatos de las rocas máficas y del Pórfido Teniente respectivamente. En el Pórfido Diorítico y Pórfido Dacítico, el feldespato potásico, plagioclasa y los minerales ferromagnesianos se encuentran alterados en forma similar y la textura original fanerítica y/o porfídica es reemplazada por una textura sacaroidea fina.

### Etapa Hidrotermal Tardía

Se relaciona espacial y genéticamente con la unidad Brecha Marginal (Villalobos, 1975). Se distingue por la alteración fílica de los fragmentos de la brecha, así como por vetas y vetillas rellenas con anhidrita, yeso, turmalina, siderita, cuarzo y con halos de alteración cuarzo-sericita-clorita-calcita. Minerales de mena de cobre, hierro y molibdeno se encuentran relleno de las vetillas (Zúñiga, 1982). Las vetillas se distribuyen en una franja concéntrica al anillo de brechas y además forman el cemento de la brecha hidrotermal de turmalina y como parte de la alteración de sus fragmentos. Arévalo y otros (1998), dividen a esta etapa en dos: una etapa temprana y una tardía propiamente tal asociada a la brecha de turmalina y constituye los valores máximos de penetrabilidad de la etapa tardía original.

### Etapa Póstuma

Se relaciona a la consolidación de la Brecha Braden y se caracteriza por una asociación mineralógica constituida por sericita, calcita y pirita en el cemento de la brecha, y por una alteración sericítica de la fracción clástica. Estructuras planares y cavidades son rellenas con minerales de baja temperatura tales como yeso, siderita, ankerita, baritina, blenda, galena, cuarzo, anhidrita y turmalina (Ojeda y otros, 1980). La mineralización hipógena se presenta en vetas y vetillas de pirita, calcopirita, tennantita-tetraedrita, molibdenita y galena-esfalerita con anhidrita como mineral de ganga predominante, de manera subordinada se encuentran minerales de cuarzo, turmalina, yeso y carbonatos. Como minerales secundarios se encuentran sericita, clorita y calcita junto con diseminaciones de pirita y calcopirita (Floody, 2000).

### Etapa Supérgena

En esta etapa la alteración distribuye con una geometría elíptica de eje mayor NW del yacimiento en un área de 15 km<sup>2</sup> en la parte alta de éste (Ojeda y otros, 1980). La cuenca alcanza una profundidad que varía entre los 100 y 600 m y un ancho que va desde los 100 a los 500 m (Cuadra, 1986). Esta etapa caracteriza por la lixiviación total de la anhidrita y la presencia de sericita y arcillas. La mineralización corresponde a sulfuros supérgenos entre los cuales se encuentran la calcosina gris, calcosina celeste y covelina azul, los cuales fueron generados por el reemplazo total de los sulfuros hipógenos pre-existentes. El reemplazo fue gradual y selectivo para los sulfuros de cobre, primero los minerales de bornita y luego de calcopirita. La pirita durante el proceso de lixiviación no sufrió alteración (Álvarez, 1990). La edad de los eventos de alteración y

mineralización se encuentra comprendida entre los 5,3 a 4,7 Ma (Cuadra, 1986; Makshev y otros, 2001).



## **3. GEOLOGÍA Y METALURGIA**

### **3.1. CONCEPTOS BÁSICOS**

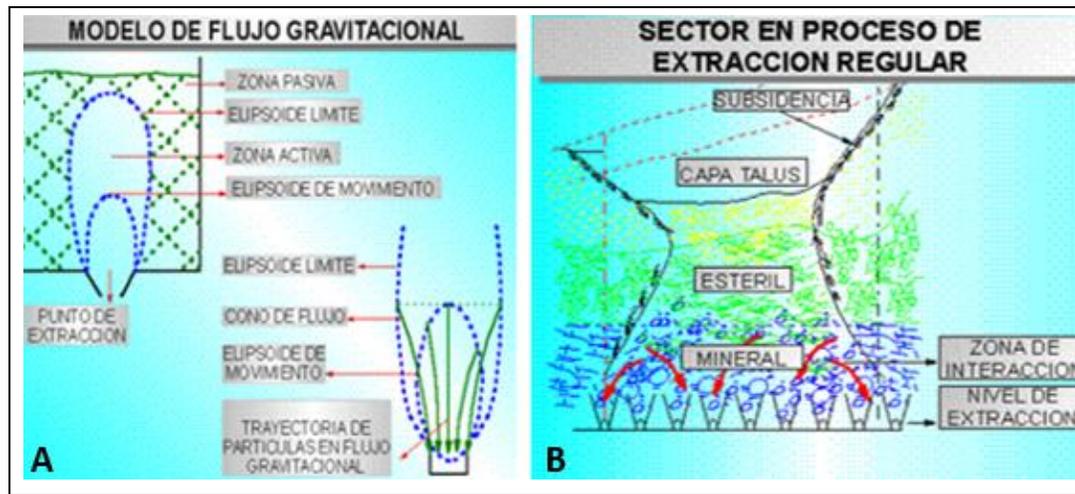
La explotación de un yacimiento minero, basada en un método de extracción por hundimiento, se basa en el concepto de flujo gravitacional de los fragmentos de roca hacia un nivel inferior, por el cual será extraído el mineral. El flujo gravitacional, se refiere al desplazamiento del material quebrado, por efecto de la fuerza de gravedad, en que las partículas describen movimientos verticales y de rotación, hasta llegar a un punto de extracción, que corresponde a la unidad mínima de extracción en un yacimiento con método de extracción por Panel Caving. Para entender el comportamiento que experimentan las partículas durante el flujo hacia un punto de extracción, se utilizan parámetros de diseño que relacionan el espaciamiento de las aberturas con diámetro de la zona de tiraje y la trayectoria de las partículas durante el flujo. De esto se obtiene el “Elipsoide o Envolverte de Tiraje” (Figura 3.1.A.), que corresponde al límite del material quebrado que se ubica sobre un punto de extracción.

El principio que rige la extracción por hundimiento, se basa en crear una abertura que implique una dinámica de desplome constante, que permita extraer el material rocoso a través de una malla de puntos de extracción, ubicada en la base del sector a explotar, conocido como nivel de producción (Figura 3.1.B.). El llevar un tiraje parejo o uniforme en un sector productivo, tiene por objeto controlar el ingreso de la dilución, evitando que material estéril o de baja ley se mezcle prematuramente con el mineral. El efecto que produce esta condición, es una buena recuperación de las reservas y una maximización del beneficio económico del negocio minero.

Dadas las características de la mina El Teniente, en que se tienen mallas de extracción diferentes y en algunos casos irregulares en los distintos sectores de la mina, la estimación de reservas se ha hecho en forma independiente de la infraestructura de la mina, originándose así el "Inventario de Reservas In Situ (IRIS)", que consiste en un archivo computacional que representa una malla tridimensional de bloques, orientados según las coordenadas mina, cada uno de los cuales constituye una "Unidad Básica de Cubicación (UBC)". También se le denomina modelo de bloques.

Las unidades básicas de cubicación, del modelo de bloques, representan una fracción de volumen en el espacio, cuyas dimensiones son 20x20x20 m, que contienen información cuantificable en ley,

densidad, tonelaje, tipo de roca y otras características que permiten estimar la situación inicial de las columnas de mineral antes del proceso de mezcla.

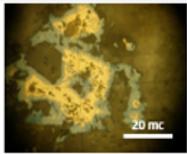
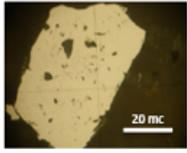
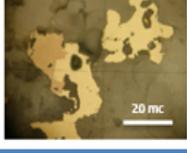
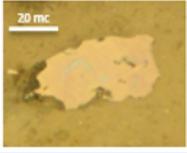


**Figura 3.1.** A: Modelo de Flujo Gravitacional  
B: Sector en Proceso de extracción Regular  
(CODELCO, 2004).

Actualmente en la mina, para estimar las reservas extraíbles, es decir, la ley y el tonelaje a obtener en un punto de extracción y establecer los planes mineros de mediano y largo plazo (considerando los efectos de la dilución propios de los métodos de explotación por hundimiento), se utiliza el “Modelo de dilución”. Éste, corresponde a un modelamiento del mecanismo de mezcla de los materiales producto del hundimiento, el cual, reasigna leyes a las unidades básicas de cubicación (UBC) pertenecientes a una columna de extracción, considerando la ley in situ de las UBC’s de esa misma columna y el punto de entrada de la dilución. Sin embargo, este modelo de mezcla, no es preciso, ya que, muchas veces el material que sale de los puntos de extracción no coincide con el propuesto por el modelo de mezcla, debido a que a medida que avanza la extracción, el mineral que va llegando al nivel de producción se comporta de manera más dinámica, ya sea en términos de su humedad, granulometría, litología, leyes y mineralogía. Lo que hace necesario realizar un levantamiento, muestreo y mapeo sistemático de la información de los puntos de extracción que permita una información más representativa y exacta del material que se está extrayendo. Es por esto, que este estudio se inicia con los sectores que alimentan a la Línea SAG en el año 2014, y ahora debe ser llevado a cabo con el resto de los sectores productivos, es decir, los que alimentan a la Línea Convencional: Diablo Regimiento, Pacífico Superior y Dacita. Los cuales, en primer

lugar, son zonificados de acuerdo a Unidades Geometalúrgicas previamente definidas según su contenido de Cu-Fe (Tabla 3.1.). Posteriormente, se analizan e identifican las diferentes variables mineralógicas que inciden en las leyes y recuperación rougher de cobre. Este método permite tener un mejor control de dichos parámetros en los 3 sectores productivos. Cabe mencionar que la Línea Convencional también se ve alimentada por el material transportado a través de la correa T-3, desde la torre de transferencia de la Línea SAG, aportando el 20% del material procesado en esta línea, del cual, el 49% corresponde a aportes de Reservas Norte (RENO) y el 51% a Esmeralda (ES), aproximadamente. Por lo tanto, este material también será considerado dentro del estudio.

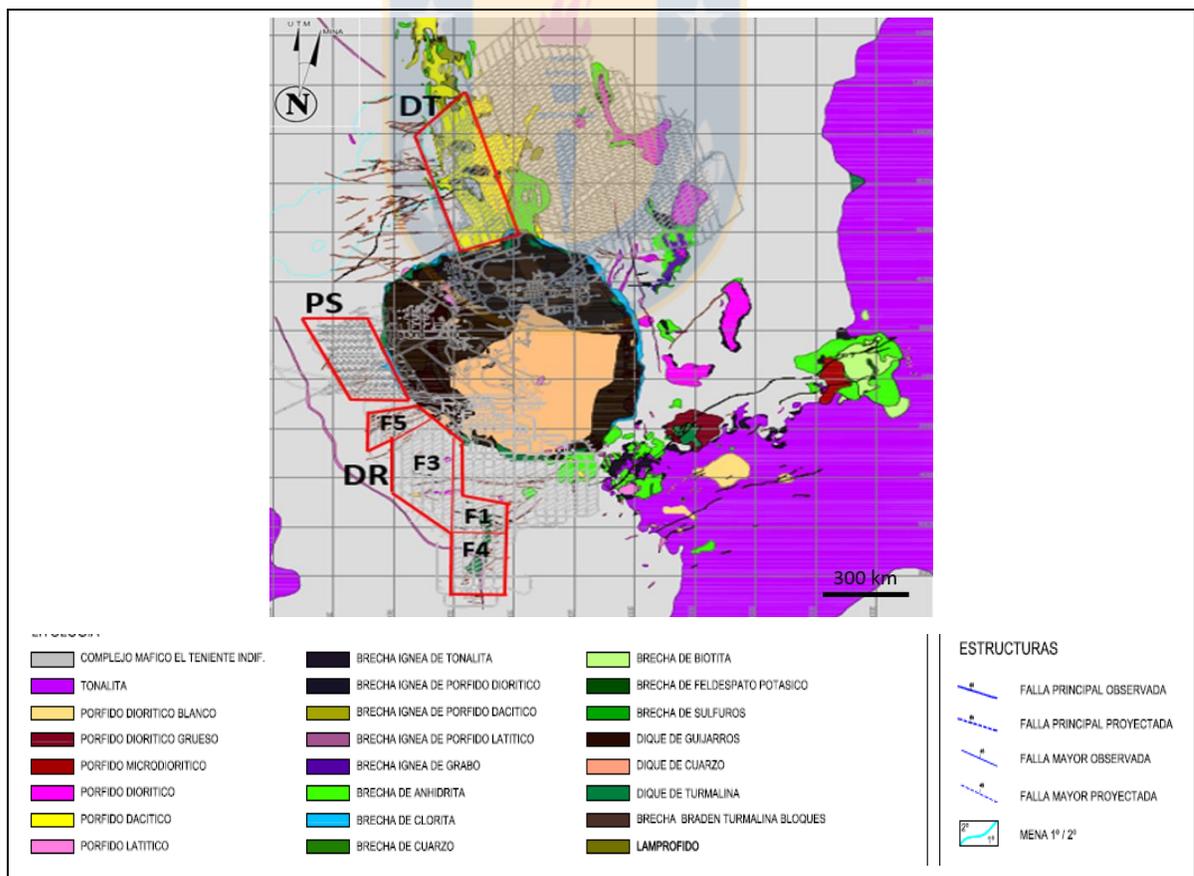
**Tabla 3.1.** Clasificación de Zonas Geometalúrgicas en División El Teniente (Mejías, 2018).

Zonas	Característica Geológica Macroscópica	Característica Metalúrgica	Microfotografía
<b>MD (Muy Desfavorable)</b>	Material Quebrado (Dilución) $\geq 35\%$	Baja recuperación Cu-Mo, alta pérdida de CuT en relave, muy alto consumo de cal.	
<b>D (Desfavorable)</b>	$\geq 2,3\%$ de Pirita en Base Mineral, $> 6,5\%$ FeT	Baja ley de concentrado de Cu, alto FeT.	
<b>E (Estándar)</b>	$\geq 1,6\%$ de Calcopirita en Base Mineral	Muy alta recuperación Cu-Mo, moderada ley de concentrado de Cu.	
<b>F (Favorable)</b>	$\geq 0,7\%$ de Bornita en Base Mineral	Alta recuperación Cu-Mo, muy alta ley de concentrado de Cu.	

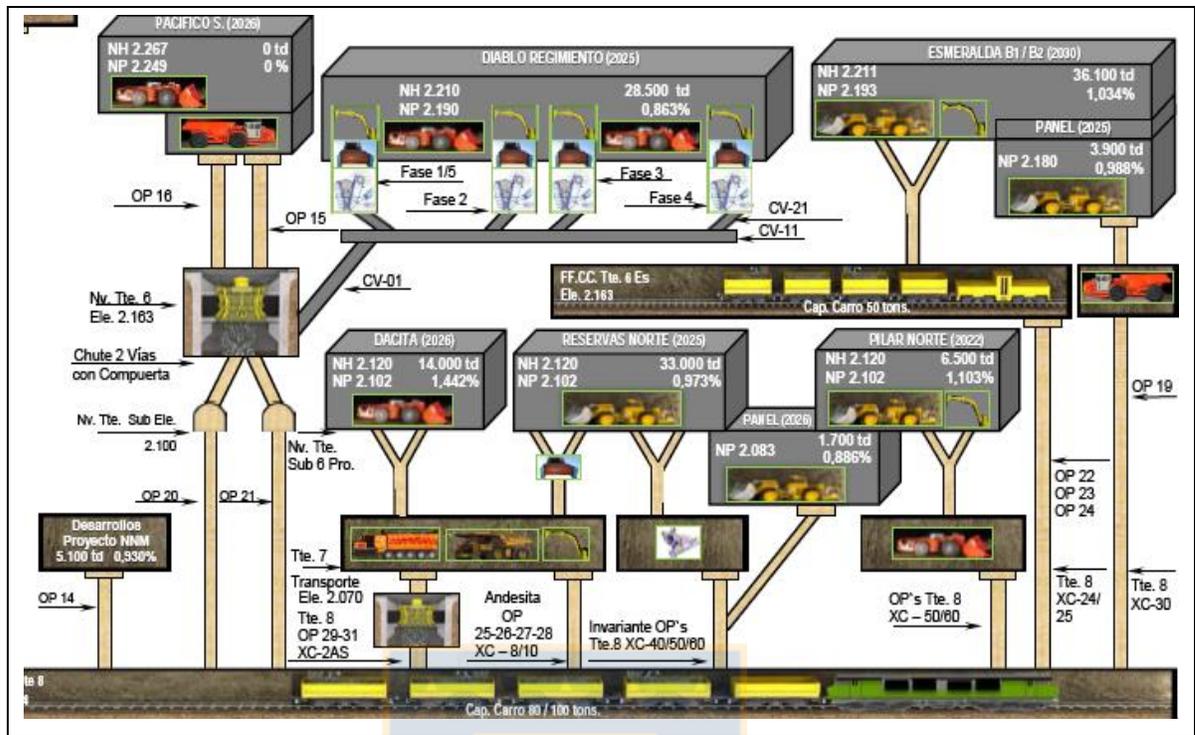
## 4. SECTORES PRODUCTIVOS EN ESTUDIO

### 4.1. ANTECEDENTES GEOMINEROMETALÚRGICOS DE LOS SECTORES QUE ALIMENTAN A LA LÍNEA CONVENCIONAL

Con respecto a la distribución espacial de los 3 sectores productivos que alimentan a la Línea Convencional: El sector Dacita (DT) está ubicado en el Nivel Sub-6 (2.102 m s.n.m.), entre las coordenadas mina 500N-1150N y 300E-600E, mientras que el sector Pacífico Superior (PS), forma parte del Nivel Sub-5 (2.247 m s.n.m.), entre las coordenadas 100S-250N y 50E-300E. 57 metros más abajo (2.190 m s.n.m.), pero formando parte del mismo Nivel Sub-5, está el sector Diablo Regimiento (DR), con coordenadas mina 900S-280S y 100E-550E (Figura 4.1. y 4.2.). Cabe mencionar que las coordenadas utilizadas para DR, corresponden a los límites de las Fases 1, 3, 4 y 5, puesto que son estas 4 fases las que aportan mineral a la Planta de procesamiento Convencional, no así la Fase 2 de este mismo sector.



**Figura 4.1.** Mapa en planta del yacimiento El Teniente. Sectores que alimentan a la Línea Convencional enmarcados en rojo (SGL-GRMD, 2018).



**Figura 4.2.** Diagrama mina El Teniente año 2018, circuito del mineral en interior mina (modificado de SIM, 2018).

Con respecto a la litología, el sector DT lo compone principalmente el pórfido dacítico y en menor proporción el CMET, la brecha de anhidrita y una brecha ígnea de pórfido dacítico. Por su lado, el sector PS está conformado en su mayoría por CMET y en forma subordinada por brecha de clorita. DR corresponde en su mayoría a CMET, mientras que en la Fase 4, se dispone un cuerpo de brecha hidrotermal de turmalina en orientación NS.

#### 4.1.1. ANTECEDENTES DEL MODELO DE BLOQUES

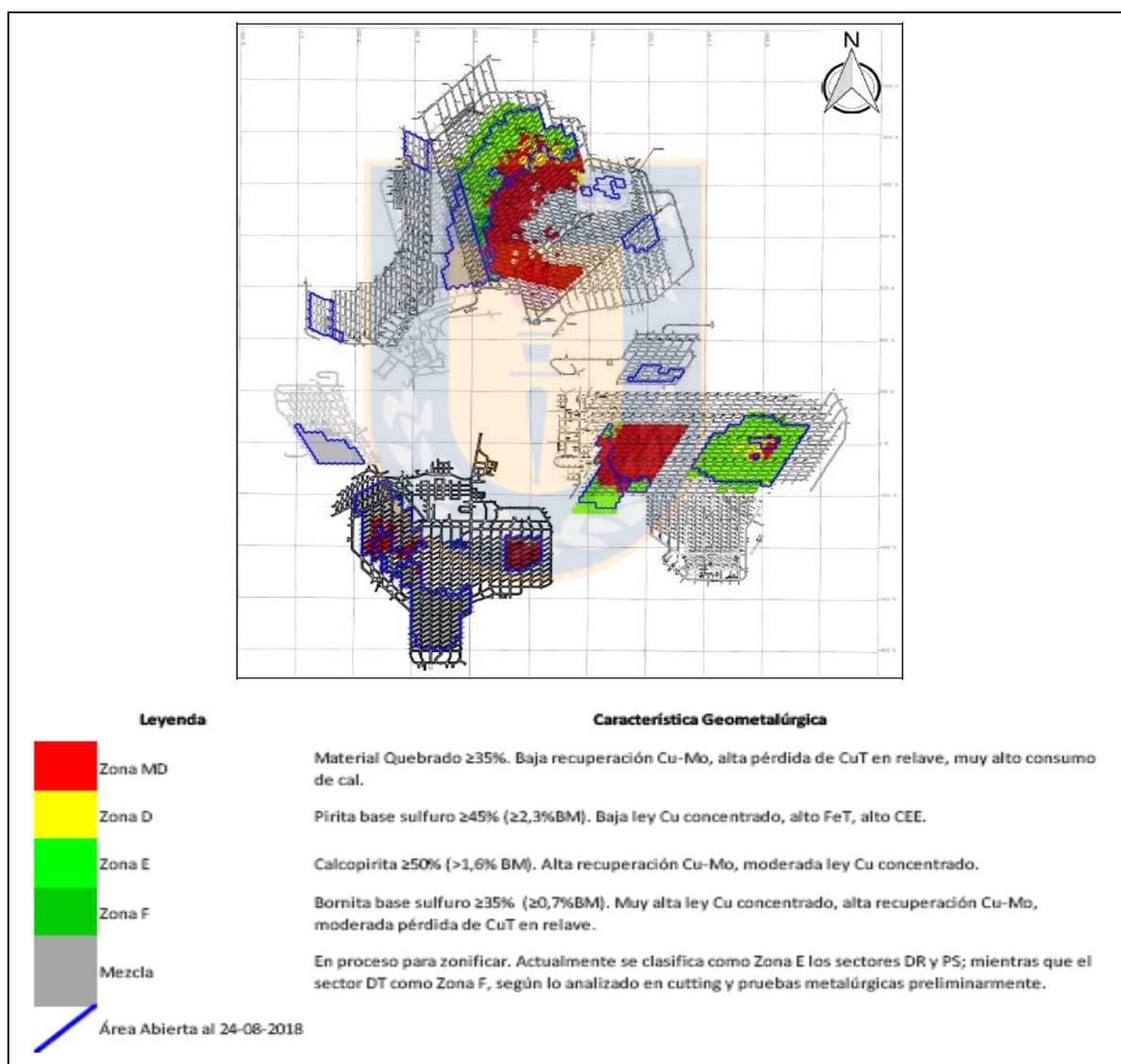
Este corresponde a un modelo in situ a distintas cotas, conformado por bloques de 20x20 m, donde cada bloque tiene sus propias características Geometalúrgicas. El cuadro resumen de a continuación entrega mayor detalle para cada sector involucrado en la alimentación de material a la Línea Convencional (Tabla 4.1.).

**Tabla 4.1.** Antecedentes de Recuperaciones y Moliendabilidad, según modelo de bloques (SGL-GRMD, 2018).

Sector	DR				PS	DT
	F1	F3	F4	F5		
Recuperación Rougher de Cu (%)	93-98	93-98	90-96	90-96	90-96	96-98
Recuperación Rougher de Mo (%)	<70	<75	<75	<80	<80	<80
Wi o Índice de Bond (kWh/tc)	19-21	17-21	21-23	15-21	19-22	13-15

#### 4.1.2. ANTECEDENTES DE CARACTERIZACIÓN DE ZONAS GEOMETALÚRGICAS EN SECTORES DR, PS Y DT

Pese a que anteriormente no se ha implementado las Zonas Geometalúrgicas en los sectores que alimentan a la Línea Convencional con tanto detalle como con los sectores que alimentan a la Línea SAG, lo que sí se utiliza es una especie de caracterización pero más sencilla, dividida en dos Zonas: Zona MD y Zona Mezcla, que se refiere a todo el material que no sea dilución (Figura 4.3.). Esto, con la finalidad de tener bien definida la Zona MD, la cual tiene consecuencias más desfavorables en la metalurgia que el resto de las Zonas.

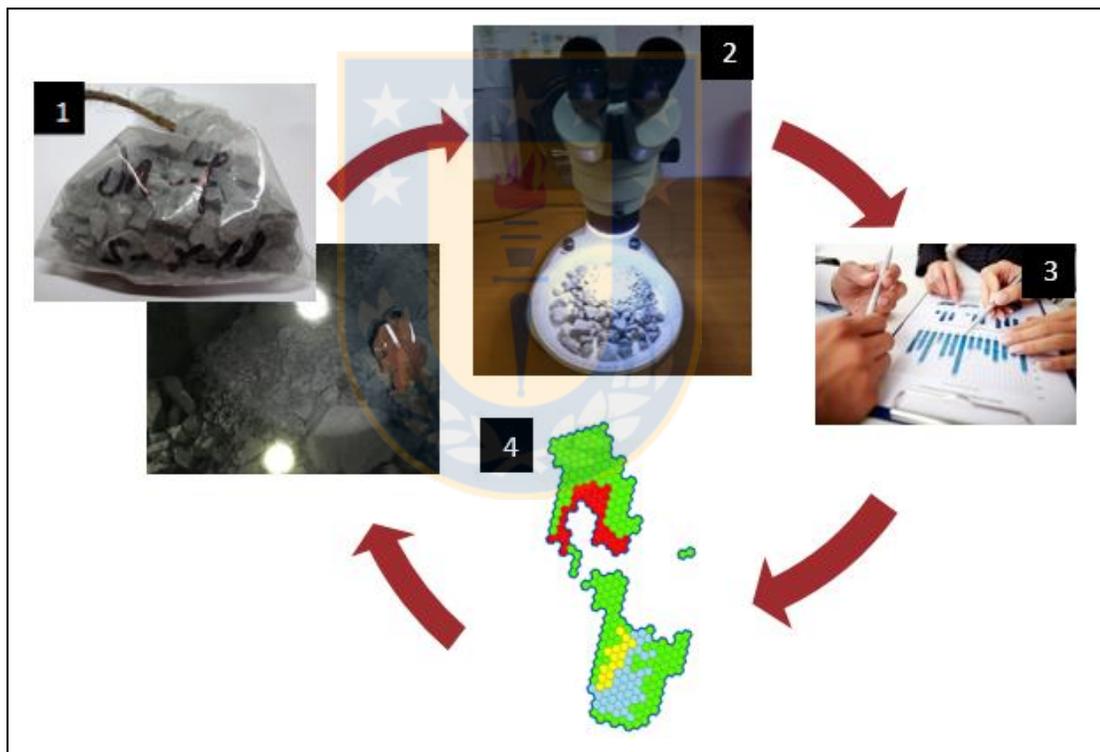


**Figura 4.3.** Zonificación geo-metalúrgica simplificada de sectores que alimentan a Línea Convencional en el mes de Septiembre del 2018 (previo a caracterización según las 4 Zonas actualmente definidas) (Mejías, 2018a).

## 5. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Para generar la propuesta de Zonas de los tres sectores productivos (DR, DT y PS) del mes de Agosto del 2018, de acuerdo a las cuatro unidades Geometalúrgicas ya mencionadas (Tabla 3.1.), a grandes rasgos es necesario lo siguiente (Figura 5.1.):

- 1) Inspección de puntos de extracción, muestreo y solicitud de rechazos al laboratorio.
- 2) Mapeo macroscópico del rechazo de los puntos de extracción.
- 3) Integración de resultados de mapeo cutting con base de datos (dilución, CuT, MoT y FeT).
- 4) Elaboración de mapas de Zonas utilizando programa ArcGIS.



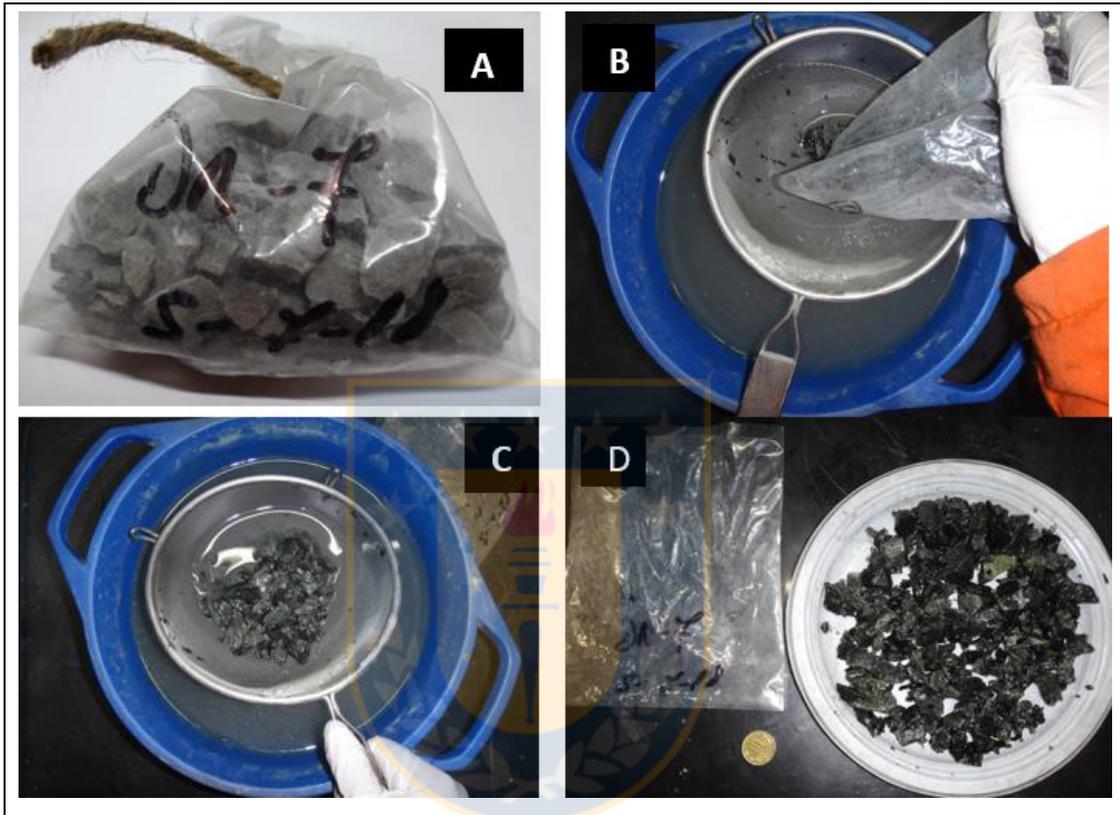
**Figura 5.1.** Esquema de las etapas necesarias para la propuesta de Zonas.

### 5.1. METODOLOGÍA DEL MAPEO DE CUTTING

1º) Diariamente se acude a la plataforma “CPM CODELCO”, donde aparecen automáticamente los puntos que han cumplido su frecuencia de extracción de tonelaje (preestablecida para cada uno de los sectores del yacimiento), para ser muestreados. De esta lista, se solicita al laboratorio los

rechazos de los puntos que pertenezcan a los sectores que alimentan a la Línea de Planta Convencional: Diablo Regimiento, Dacita y Pacífico Superior.

2°) Una vez recepcionados los cuttings, uno a uno se vierten en un colador para ser lavados con agua (Fotografía 5.1.).

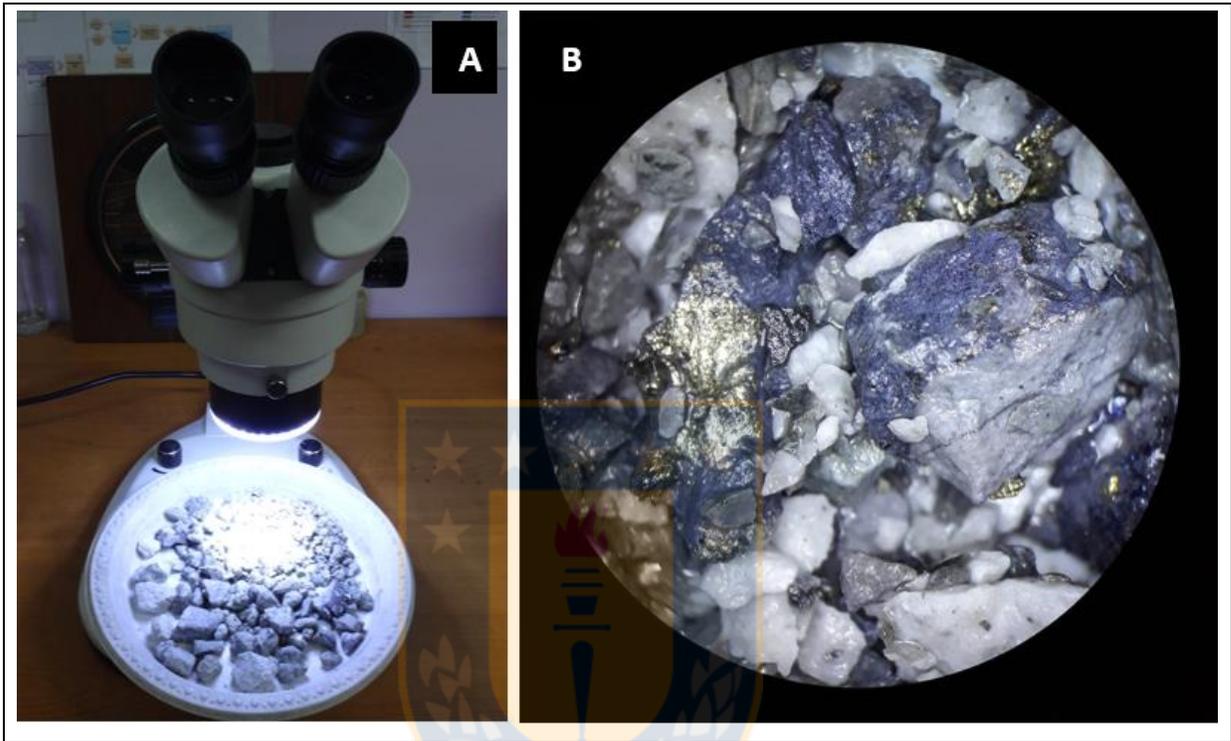


**Fotografía 5.1.** A: recepción de rechazo.  
B: verter el rechazo en el colador.  
C: lavar el rechazo.  
D: poner el rechazo en un plato, para ser observado con la lupa binocular.

3°) Ubicar el punto de extracción (indicado en la bolsa del rechazo) correspondiente al rechazo o cutting en el plano de los sectores productivos de la mina.

4°) Identificar con lupa estereoscópica binocular, rayador, ácido e imán la mineralogía y litología del rechazo, en especial el mineral de mena predominante (Fotografía 5.2.), siendo esta la primera etapa de la caracterización geometalúrgica (utilizando la tabla de porcentajes de minerales de mena de las cuatro Unidades Geometalúrgicas).

5°) Ingresar la información litológica y mineralógica a planilla Excel (Anexo A), la cual, contiene los resultados del laboratorio de fluorescencia de rayos X (FRX) (CuT, MoT y FeT) de las muestras homólogas a cada uno de los rechazos a describir. A partir de esta tabla se corrobora la ley visual, identificada en el mapeo y descripción de los rechazos, con la ley entregada por el laboratorio.



**Fotografía 5.2.** A: observación y descripción de rechazo con lupa binocular.  
B: vista de un rechazo en la lupa binocular.

6°) Registrar otras observaciones geológicas en la misma planilla Excel, tales como: litología predominante, litologías secundarias, porcentaje de sulfuro Cu-Fe en base mineral, porcentaje de cada mineral de mena de cobre en base sulfuro, presencia o ausencia de molibdenita, sulfosal de Cu, calcosina o covelina y oxidados de Cu, propuesta de Zona Geometalúrgica y otras observaciones del rechazo.

7°) Desechar el cutting mapeado.

## **5.2. RESULTADOS DEL MAPEO DE CUTTINGS**

En un plazo de 20 días hábiles, entre el 27 de Junio y el 9 de Agosto del 2018, se logran mapear 369 cuttings, que representan a 318 puntos de extracción, de un total de 496 puntos en área abierta entre Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento. Cabe mencionar, que algunos de los rechazos

descritos corresponden a duplicados, a modo de corroborar la información de ciertos puntos. Por lo que, de los 496 puntos en área abierta sólo el 59,3% se encuentra en condición apta para ser muestreado, es decir, abocado (Tabla 5.1.).

**Tabla 5.1.** Tabla comparativa de puntos en área abierta (entre DT, PS y DR), cuttings realizados y representados. \*Considera la descripción de la T-3.

SECTOR	N° de Puntos de extracción en Área Abierta (al 20 Julio 2018)	N° de Cuttings Realizados (hasta el 9 de Agosto 2018)	N° de Puntos de Extracción Representados / porcentaje respecto a los puntos en Área Abierta
<b>DT</b>	171	110	103 (60%)
<b>PS</b>	66	70	48 (73%)
<b>DR</b>	259	188	167 (66%)
<b>TOTAL</b>	<b>496</b>	<b>369*</b>	<b>318 (65%)</b>

Dentro de los 369 rechazos descritos, se considera también el cutting de la muestra T-3, que corresponde al aporte desde la Torre de Transferencia de la Línea SAG a la Línea Convencional, a través de la correa T-3. El aporte de esta, equivale al 20% del material que es procesado en la Línea Convencional, y se encuentra conformada en un 49% por el mineral del sector Reservas Norte y en un 51% por el mineral del sector Esmeralda. Es por esto, que el cálculo de los potenciales para la Línea Convencional se hace un poco más complejo que para la Línea SAG (ya que, esta última no recibe aportes de otras Líneas productivas), sin embargo, es un trabajo necesario de hacer para tener valores más cercanos a la realidad.

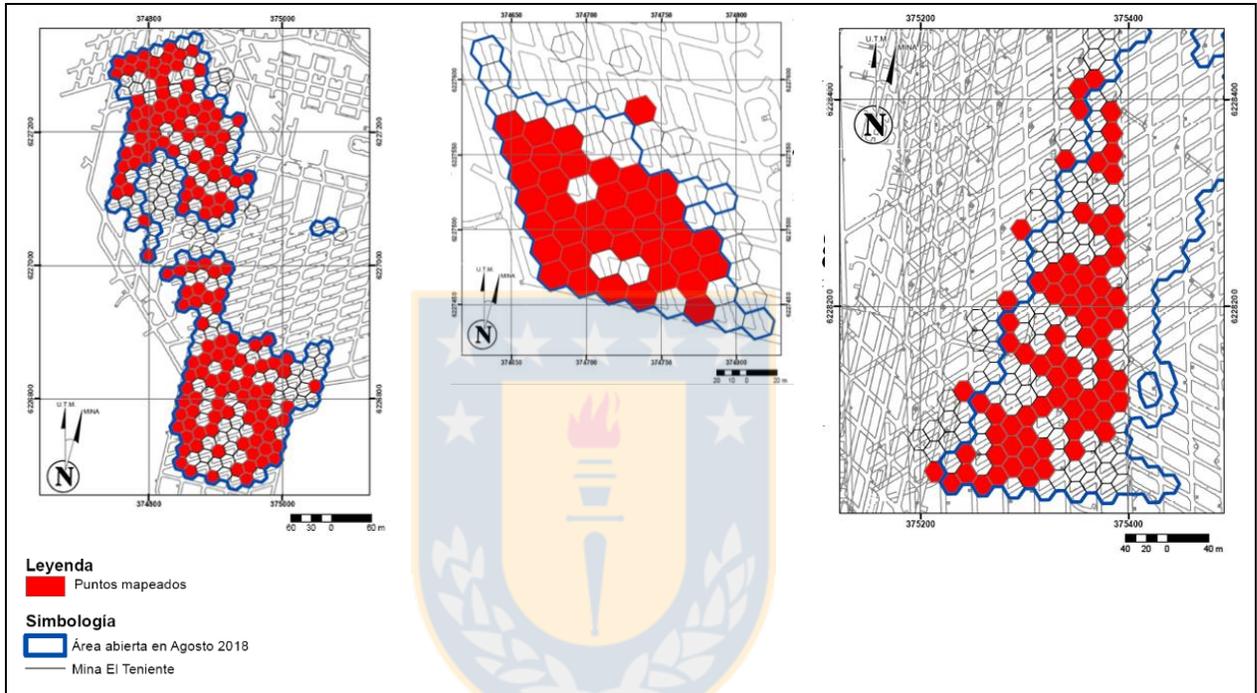
### 5.2.1. MAPAS Y PROPUESTA DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS

En la Figura 5.2., se aprecian los 318 puntos de extracción en área abierta (o próximos a estar en área abierta), mapeados a partir de la descripción de cuttings.

A partir de la descripción de cuttings, son identificados los porcentajes de minerales de mena utilizados para la clasificación de las Zonas Geometalúrgicas (calcopirita, pirita y bornita) (Tabla 3.1.), de tal manera que la ley visual calce con la ley entregada por el laboratorio (Figura 5.3.-5.5.).

Al finalizar el mapeo de cuttings se asocia cada punto de extracción con una Zona Geometalúrgica, solamente a partir de la mineralización de sulfuro predominante observada durante el mapeo (Figura 5.6.). Es decir: si predomina calcopirita, es asociado a la Zona Estándar; si predomina

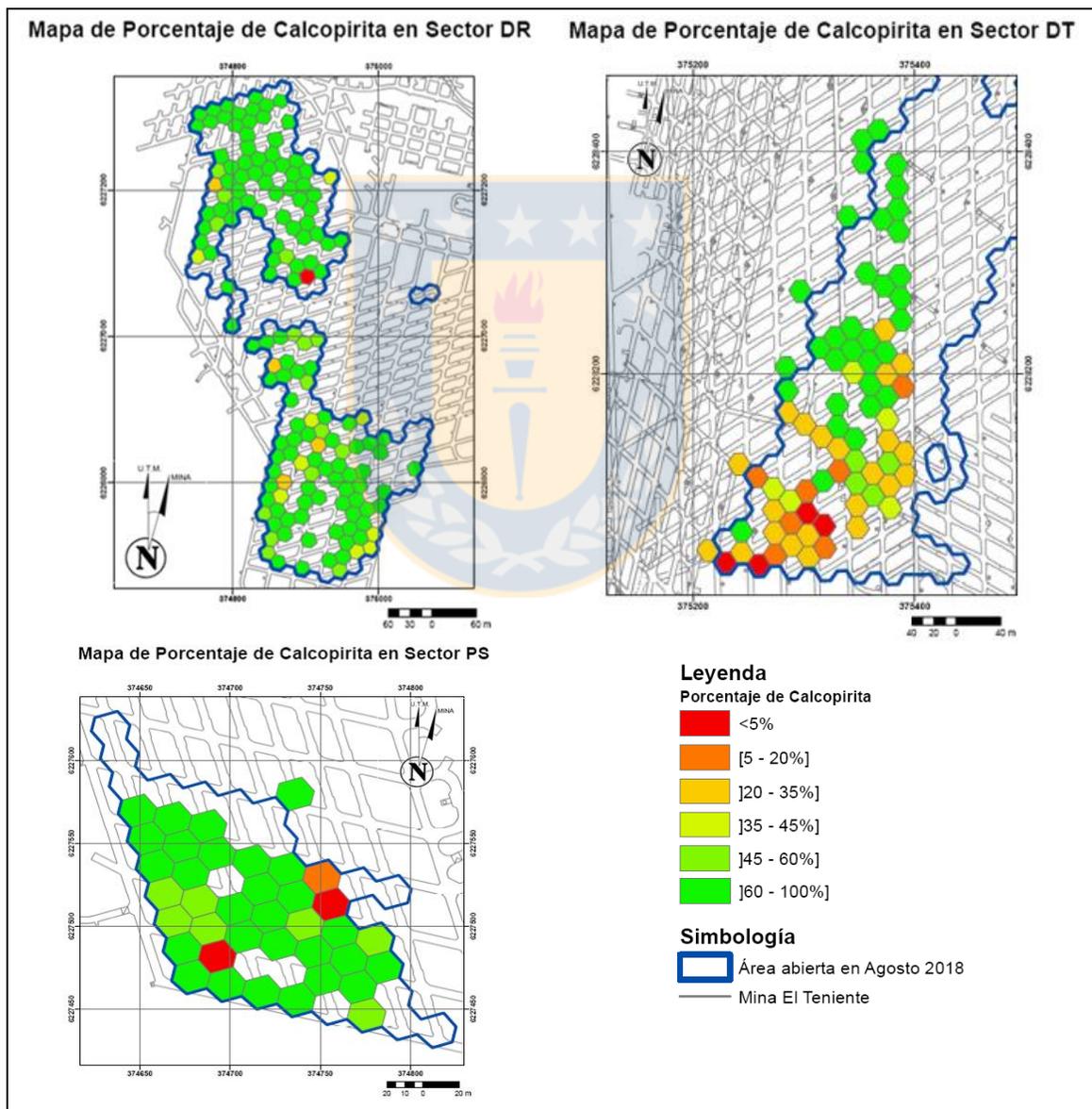
bornita, es asociado a la Zona Favorable; y si predomina pirita, el punto de extracción es asociado a la Zona Desfavorable; además si el cutting se observa con una dilución superior a 35%, independiente de cuál sea el sulfuro predominante, el punto es caracterizado como Zona Muy Desfavorable. Esto, con el fin de tener una idea preliminar de la distribución que podrían tener las Zonas que finalmente serán propuestas, luego de integrarlas con la base de datos y las observaciones en terreno.



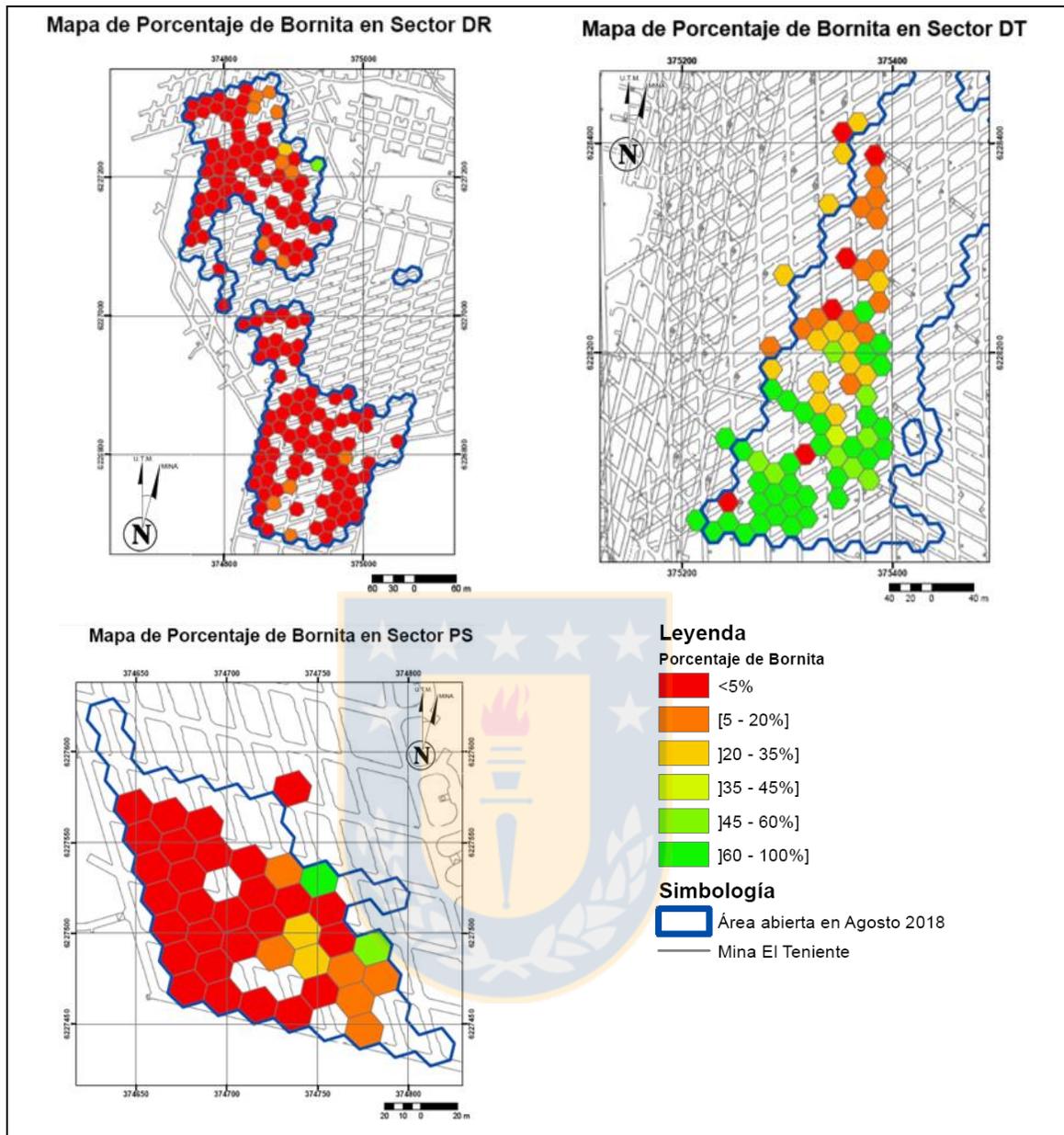
**Figura 5.2.** Mapas de Puntos Mapeados en 21 días hábiles, entre el 27 de Junio y el 9 de Agosto del 2018. Sectores DR, PS y DT, de izquierda a derecha.

En general, tanto en el sector Diablo Regimiento como en Pacífico Superior, se distinguen altas cantidades de calcopirita en el mapeo de rechazos (>45%). Mientras que en el sector Dacita, pese a que se identifican mayores variaciones en los porcentajes de calcopirita entre los puntos, con la Figura 5.3. es más fácil apreciar que los porcentajes más altos se distribuyen al norte (>60%), y los menores al sur (<35%). De lo anterior se puede deducir preliminarmente, que los valores altos de calcopirita representan una Zona Estándar (E), y que los menores valores de calcopirita es menos probable que reflejen esta Zona Geometalúrgica. Sin embargo, es necesario analizar el comportamiento de los otros dos sulfuros que caracterizan las Zonas (bornita y pirita), para que la propuesta inicial de las Zonas, netamente a partir de la descripción de cuttings, tenga mayor consistencia.

Lo que respecta a la bornita, en todos los puntos mapeados a partir de cuttings del sector Diablo Regimiento, se encuentra prácticamente ausente (Figura 5.4.). Este mismo fenómeno es identificado al oeste de Pacífico Superior, mientras que hacia el este aumentan los porcentajes del sulfuro, hasta llegar a valores superiores a 60% en los puntos de extracción mapeados. Ya para el sector Dacita, es claramente visible que los altos valores de bornita predominan, pero hacia el norte es notoria su disminución, hasta prácticamente ausentarse. Entonces, teniendo esta distribución de la bornita en los tres sectores, es factible proponer que sus altos valores, tanto al centro-sur de Dacita, como al este de Pacífico Superior, representen una Zona Favorable (F).



**Figura 5.3.** Mapas de porcentajes de calcopirita en sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings.

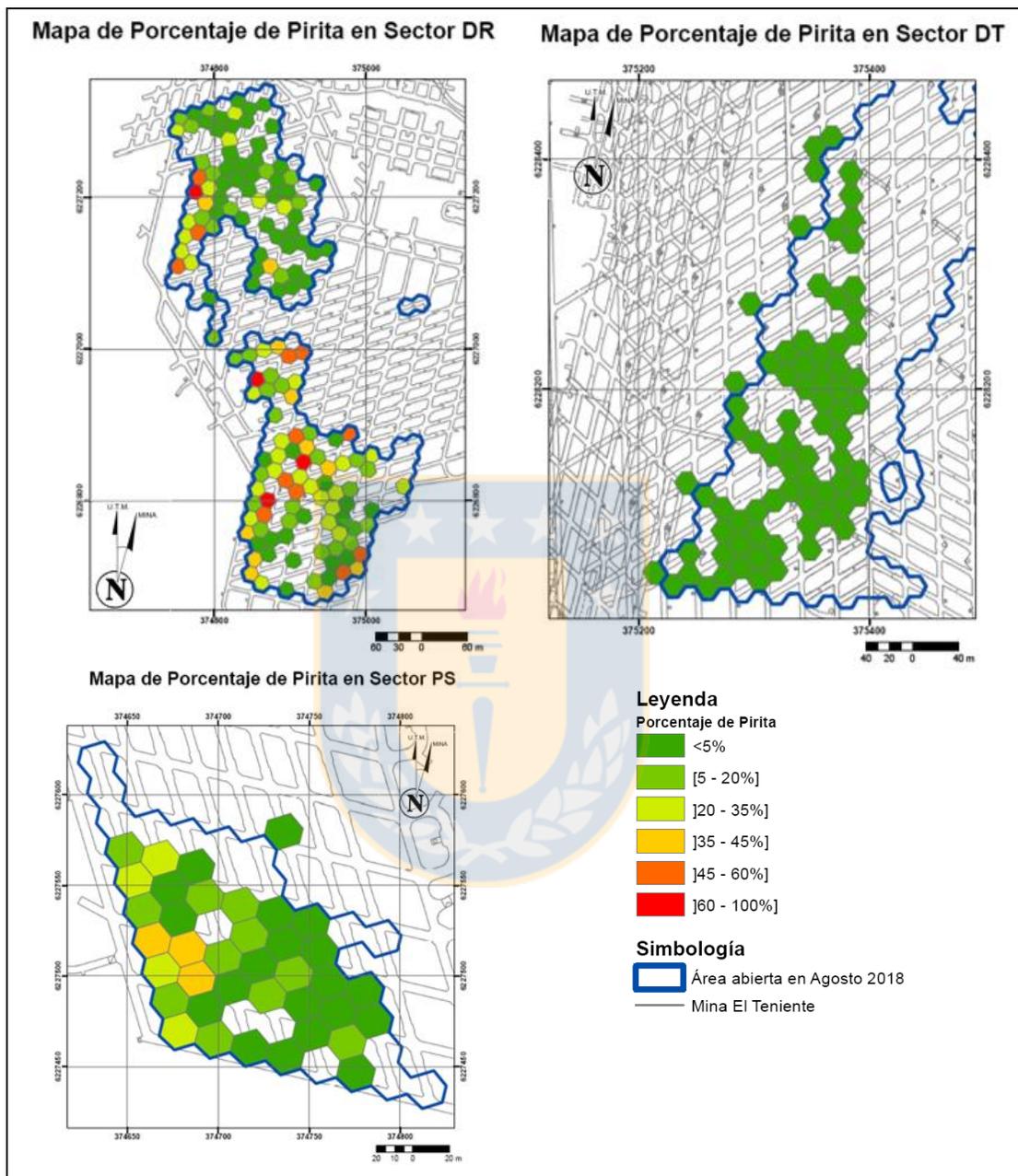


**Figura 5.4.** Mapas de porcentajes de bornita en sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings.

Puesto que la bornita es indicadora netamente de la Zona F, no es posible asociar el resto de los sectores (con bajas cantidades bornita) a una Zona Geometalúrgica específica a partir de la distribución de este sulfuro.

Con la distribución de pirita en el mapeo de cuttings (Figura 5.5.), se tiene que en general en los tres sectores productivos los porcentajes de pirita no superan el 35%, a excepción de algunos

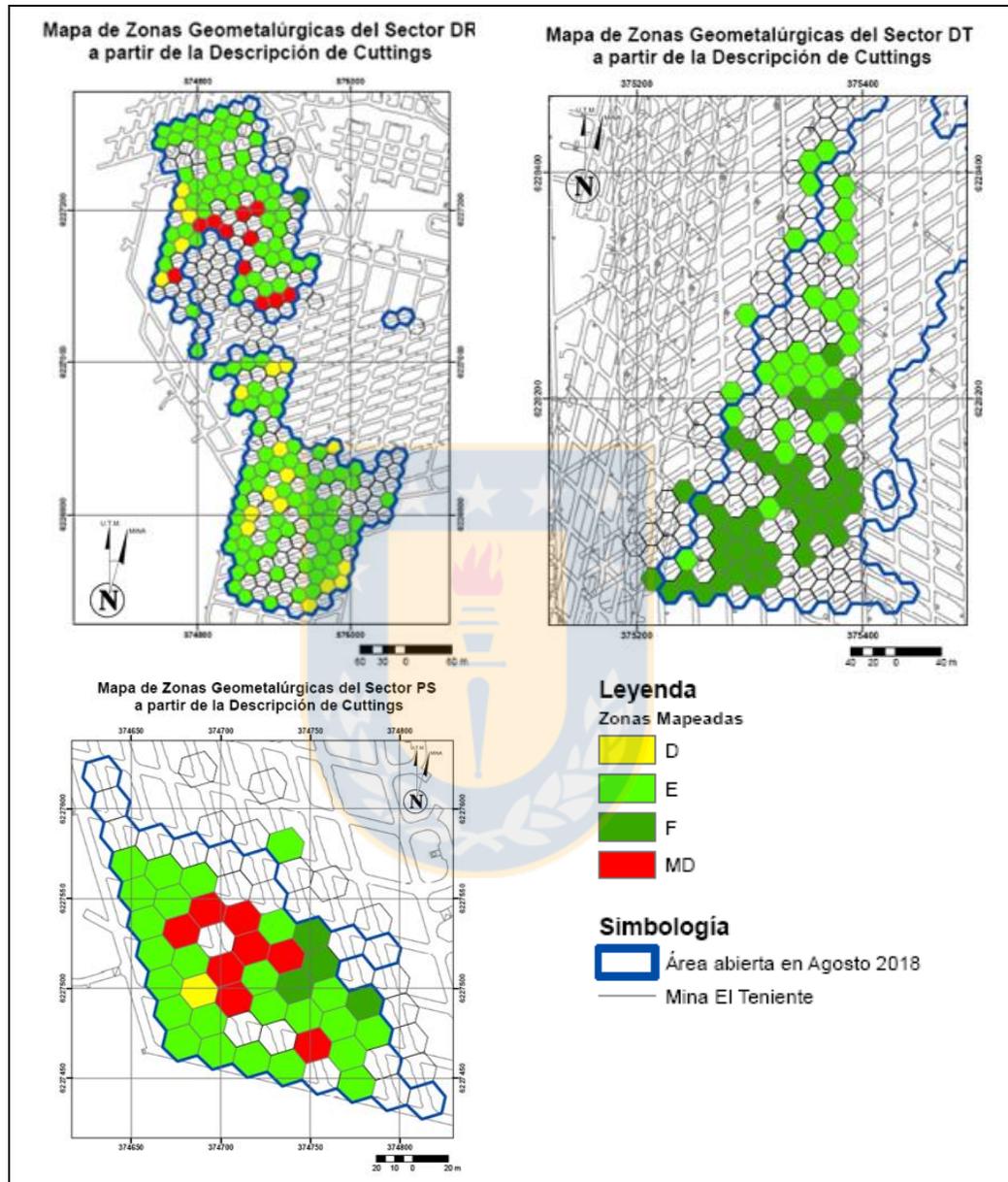
cuttings con pirita superior al 60%, específicamente en el sector Diablo Regimiento, por lo que se podrían asociar preliminarmente a una Zona Desfavorable.



**Figura 5.5.** Mapas de porcentajes de pirita en los sectores DR, PS y DT, de los puntos mapeados a partir de cuttings.

Teniendo la distribución en porcentaje de los tres sulfuros que clasifican a las Zonas Geometalúrgicas y el material quebrado, se realiza un mapa preliminar asociando cada punto a una Zona (Figura 5.6.). Es importante aclarar que en esta etapa se está evaluando y asociando el

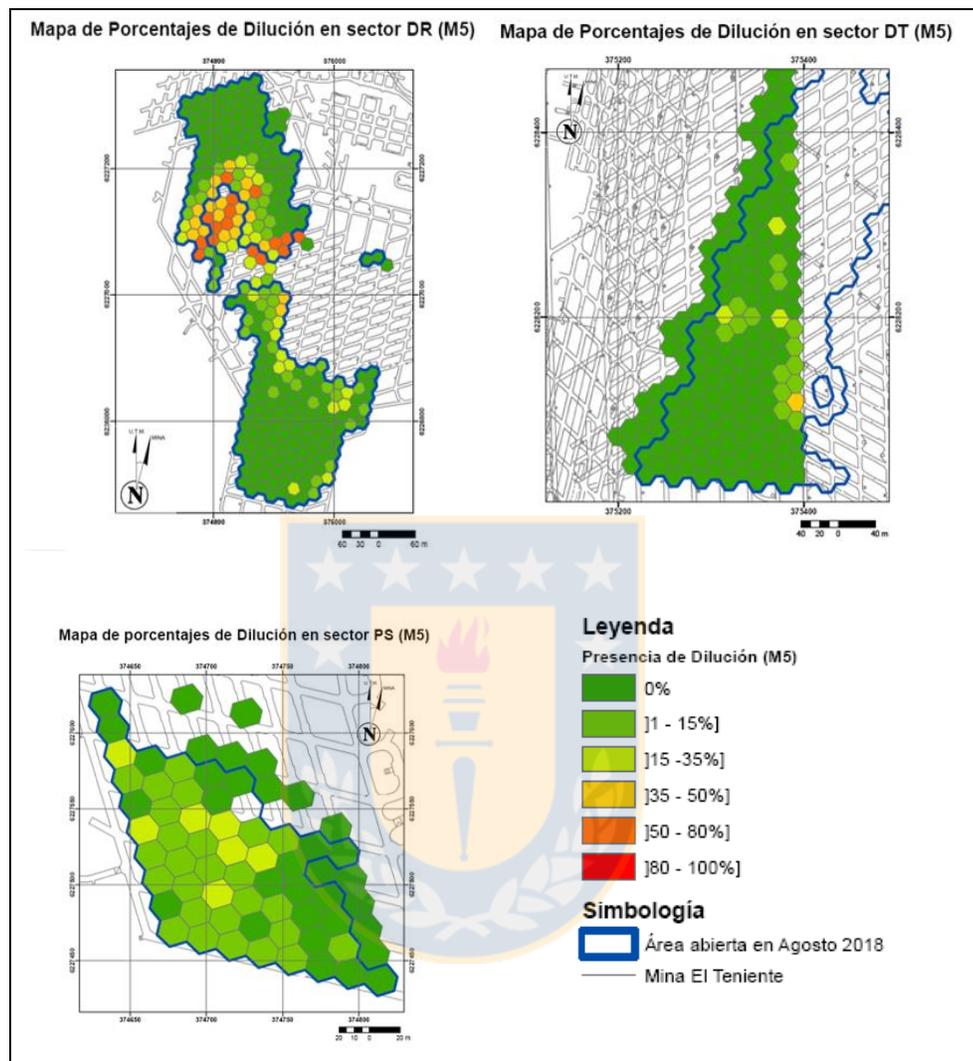
comportamiento independiente de cada punto de extracción a las Zonas Geometalúrgicas, a partir netamente de la descripción de cuttings, y que no se evalúa aún el comportamiento de estos como clusters.



**Figura 5.6.** Mapas de Zonas Geometalúrgicas de los sectores DR, PS y DT a partir netamente de la descripción de cuttings.

Para definir aún mejor las Zonas Geometalúrgicas, y dejarlas definidas como clusters, se integran los resultados del mapeo punto a punto de los cuttings con la información de la dilución (promedio de los últimos 5 datos por punto) levantada en terreno por los analistas (Figura 5.7.), y la base de

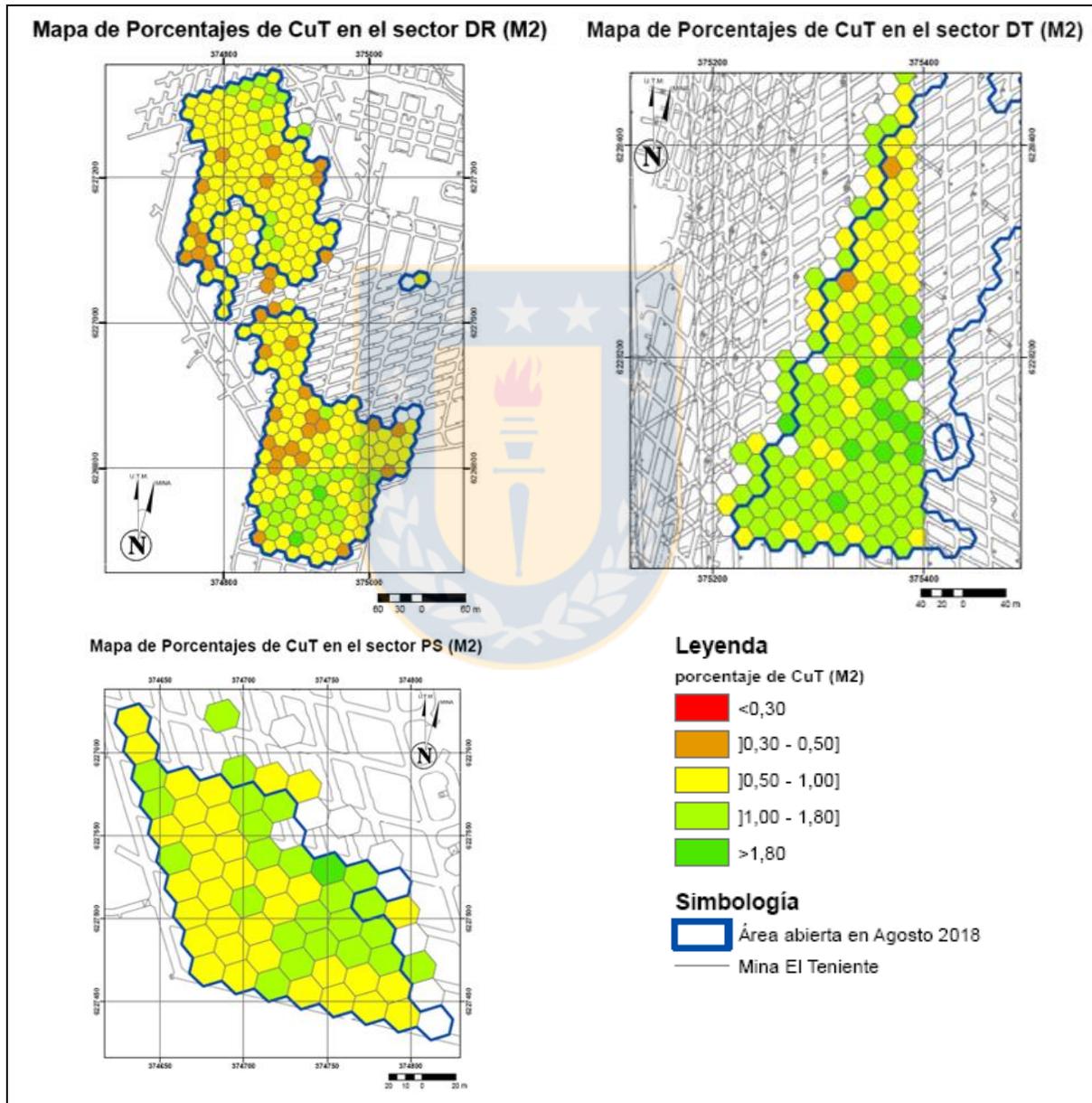
datos de CuT, MoT y FeT (como promedio de los últimos 2 datos por punto), ilustradas en las Figuras 5.8.-5.10.



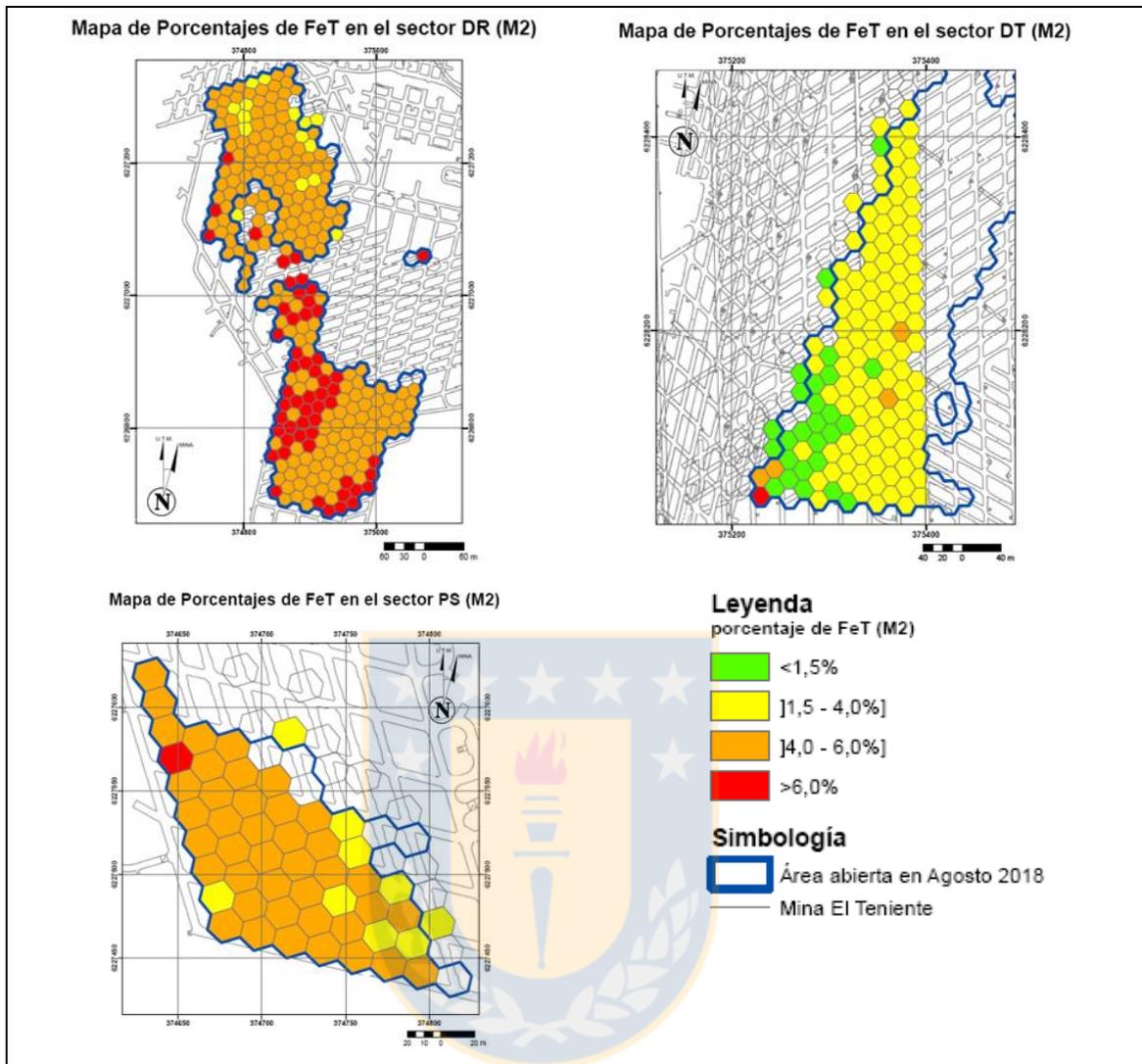
**Figura 5.7.** Mapas de las distribuciones de la dilución en el sector DR, PS y DT, obtenidas a partir de levantamiento en terreno de los analistas. \*M5: últimos 5 datos levantados por punto).

Con la distribución de la dilución en los tres sectores (Figura 5.7.), se ratifica la información observada en el mapeo de cutting de los puntos clasificados como Muy Desfavorable (MD) en la Fase 3 del sector Diablo Regimiento (Figura 5.6.), ya que, coinciden con los puntos de mayor dilución (>35%). Sin embargo, para asegurarse de que realmente estos puntos correspondan a Zona MD en el mes de Agosto del 2018, se recurre a su observación en terreno.

Al comparar los mapas de la Figura 5.8. con los del mapeo de cuttings (Figura 5.6.), se confirma que los puntos con más alto CuT (>1,00%), coinciden con los puntos mapeados como Favorable, es decir, con predominio de bornita (Figura 5.4.), específicamente en el sector sur de Dacita y al oeste del Pacífico Superior. Además, los puntos con CuT entre 0,50 y 1,00%, en los tres sectores, calzan con los puntos de extracción propuestos como Zona Estándar (Figura 5.6.), es decir, con predominio de calcopirita (Figura 5.3.).



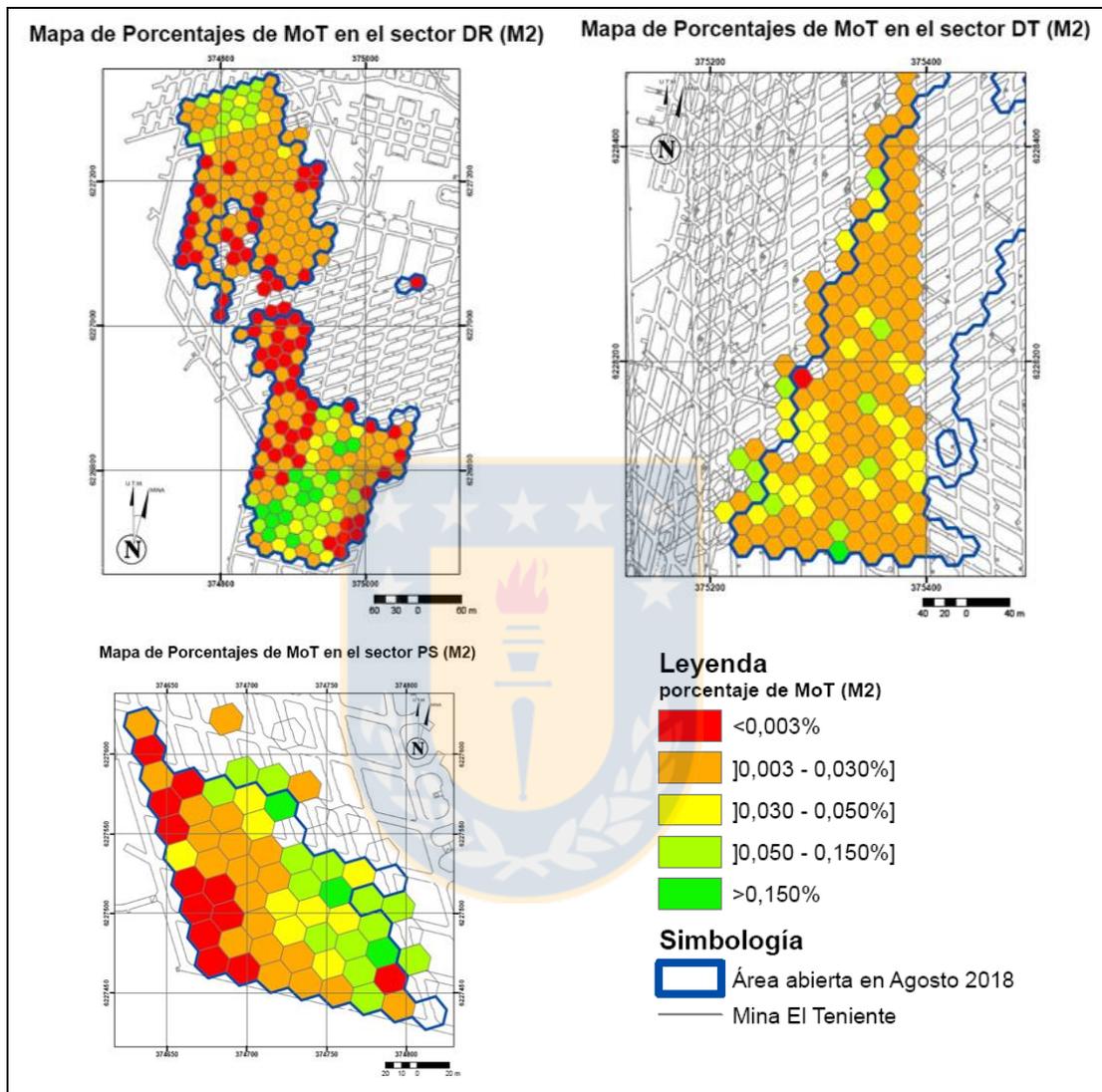
**Figura 5.8.** Mapa de porcentajes de CuT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos. \*M2: promedio de los últimos 2 datos levantados en terreno.



**Figura 5.9.** Mapa de porcentajes de FeT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos. \*M2: promedio de los últimos 2 datos levantados en terreno.

Por otro lado, los puntos propuestos como Zona Desfavorable del sector Diablo Regimiento (Figura 5.4.), se justifican con sus altas cantidades de FeT (Figura 5.9.), es decir, superiores a 6,00%. Sin embargo, puesto que estos corresponden a puntos aislados con pirita superior al 60% (Figura 5.4.), se decide no considerarlos como Zona D en la propuesta final de Zonas Geometalúrgicas, puesto que los puntos no se encuentran cercanos entre ellos, y por lo tanto, no alcanzan a comportarse como cluster. Este criterio es importante de considerar al momento de la propuesta de Zonas Geometalúrgicas, ya que la finalidad de este trabajo es facilitar y simplificar la información de los sectores productivos a partir del comportamiento de Zonas, y no de puntos de extracción independientes entre ellos, lo cual complejizaría más la información. Por lo tanto, pese a que

preliminarmente estos cuttings con pirita superior al 60% son asociados a la Zona Desfavorable, luego es necesario incorporarlos dentro de un cluster, cuyo comportamiento estará determinado por el característica geometalúrgica que presenten la mayoría de los puntos que lo rodean.



**Figura 5.10.** Mapa de porcentajes de MoT en los sectores DR, PS y DT, obtenidos de la base de datos. \*M2: promedio de los últimos 2 datos levantados en terreno.

A partir de la base de datos del porcentaje de MoT de los 3 sectores y de su posterior ilustración (Figura 5.10.), se tiene que tanto en la Fase 4 de Diablo Regimiento, como en el sector oriental de Pacífico Superior, el elemento se encuentra en porcentajes superiores al 0,03%, llegando a valores superiores a los 0,15%, lo que resulta ser considerablemente superior al promedio normal de molibdeno producido por la mina (0,02%). Esto, complementado con el mapeo de los cuttings, en

donde también se identifican altos contenidos de molibdeno en los sectores mencionados, genera la idea de proponer una nueva Zona Geometalúrgica denominada “Zona E-Mo”. Sin embargo, cabe mencionar que esta es sólo una propuesta tentativa, ya que es necesario corroborar que esta Zona no sólo tiene un comportamiento geológico característico, sino también, un comportamiento metalúrgico que lo diferencia de las otras 4 Zonas ya establecidas.

Luego de integrar el mapeo de cuttings con la base de datos y el terreno, se realiza la propuesta oficial de las Zonas Geometalúrgicas (Figura 5.11.). Como se mencionó anteriormente, la idea de esta propuesta de Zonas para los sectores que alimentan la Línea Convencional, es tener una caracterización geometalúrgica un poco más detallada por sector, pero que a su vez no sea compleja de manejar, de manera que pueda ser implementada mensualmente en los planes de corto plazo, tanto en Interior Mina como en la Planta. Es por esto, que para definir las Zonas, se trabaja con el concepto de clusters, es decir, la caracterización de un grupo significativo de puntos de extracción que se encuentren aledaños entre sí, y que en términos geometalúrgicos se comporten de manera similar.

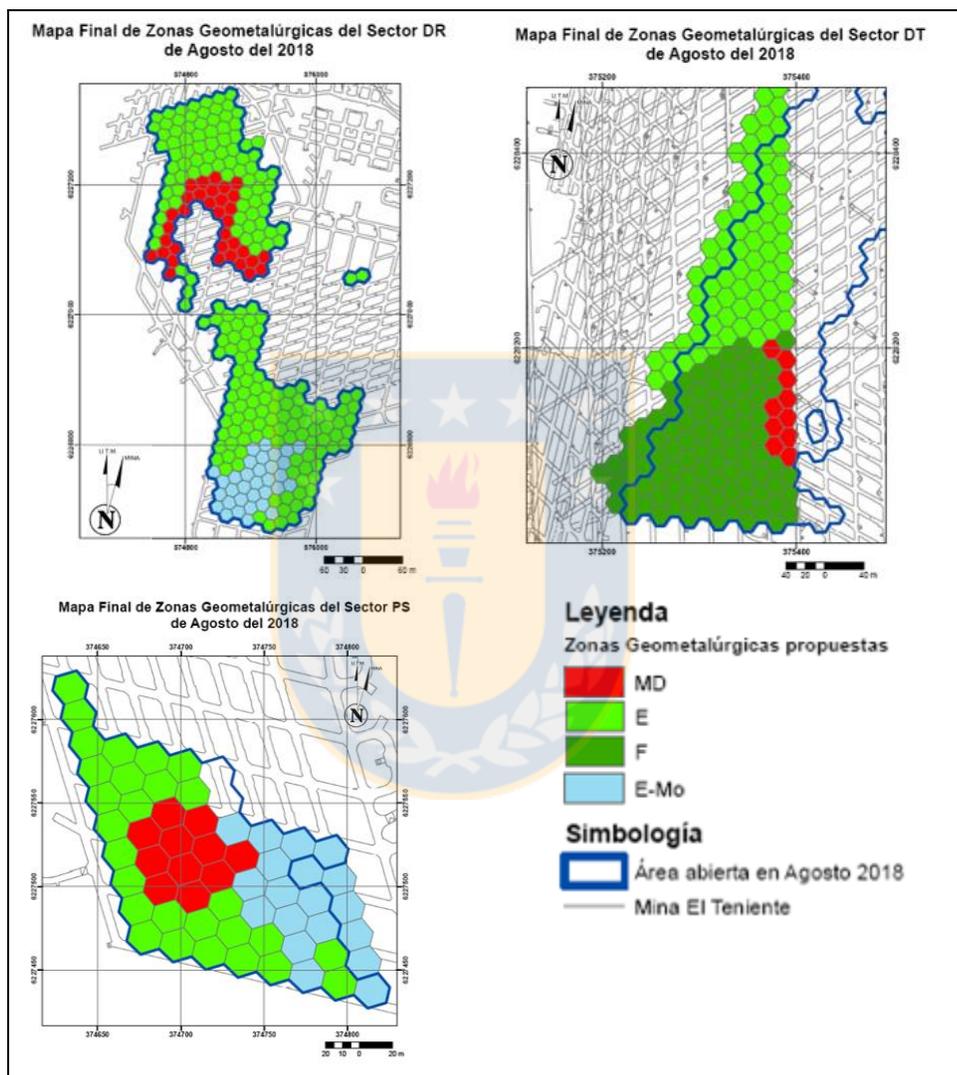
Además, los puntos de extracción aislados con un comportamiento geometalúrgico diferente a los de su alrededor, pasan a considerarse como parte del cluster predominante. Es por este motivo, que los puntos de extracción preliminarmente asociados a la Zona D, quedan finalmente caracterizados a la Zona del cluster E que los rodea.

Así, se proponen 4 Zonas Geometalúrgicas: MD, E, F y E-Mo, divididas dentro de los sectores que alimentan a la Línea Convencional, las cuales son mencionadas en la Tabla 5.2.:

**Tabla 5.2.** Zonas antiguas y propuesta de Zonas Geometalúrgicas nuevas, para sectores DR, PS y DT.

SECTOR	ANTES	PROPUESTA
<b>DR</b>	- 1 muestra F3 MD - 1 muestra F3 - 1 muestra F5 - 1 muestra F4	- Zona MD para F3 - Zona E para F3+F5 - Zona E para F4 - Zona E-Mo para F4
<b>PS</b>	- 1 muestra	- Zona MD - Zona E - Zona E-Mo
<b>DT</b>	- 1 muestra	- Zona E - Zona F - Zona MD

Esta propuesta se lleva a cabo en el mes de Agosto del 2018, de tal manera que las nuevas Zonas Geometalúrgicas puedan ser muestreadas durante el mes de Septiembre del 2018. De ser coherentes sus resultados geometalúrgicos (QEMSCAN, metalurgia, análisis de absorción atómica y test de Bond), será factible utilizar estas nuevas Zonas en el PAM, idealmente desde el mes de Septiembre del 2018.



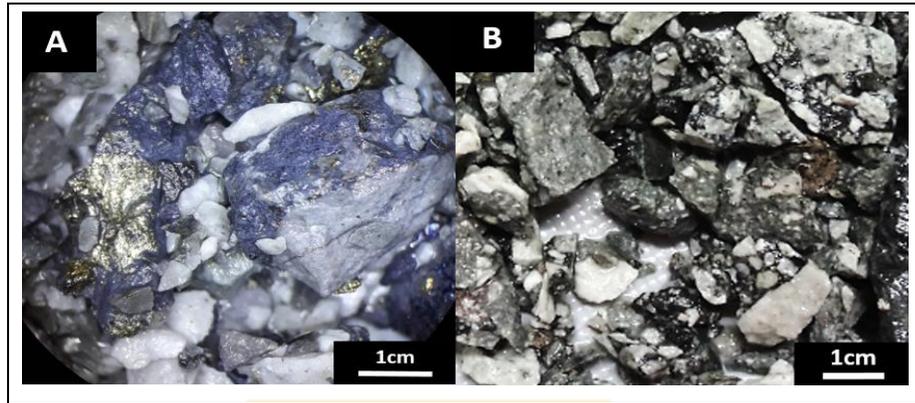
**Figura 5.11.** Mapas Finales para la Propuesta de Zonas Geometalúrgicas. A partir de descripción de cuttings, de base de datos y terreno.

### 5.3. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LAS ZONAS GEOMETALÚRGICAS

#### 5.3.1. SECTOR DIABLO REGIMIENTO:

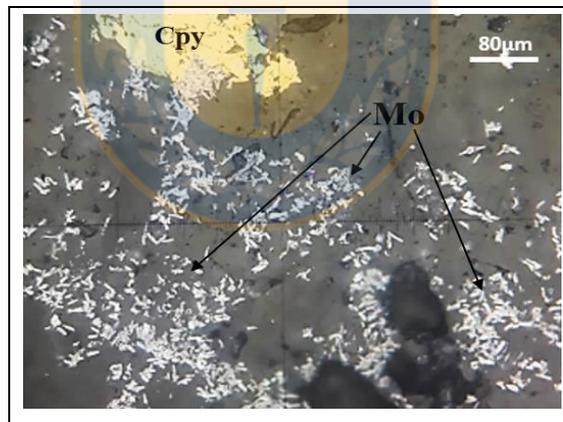
5.3.1.1. DR F4 (Zona E-Mo): Macroscópicamente se identifica a simple vista el predominio de molibdenita y en menor proporción de calcopirita (Fotografía 5.3.). Dicha mineralización se

encuentra restringida espacialmente a la brecha de turmalina ubicada con orientación NS en la porción central de la Fase 4. En vista microscópica se caracteriza por presentar molibdenita diseminada y en cúmulos, asociada a una considerable presencia de calcopirita, pirita y en menores proporciones magnetita y rutilo (Anexo D y Microfotografía 5.1.).



**Fotografía 5.3.**

A: Rechazo de DR21 44F, observado en lupa binocular.  
 B: Litología de brecha de turmalina en DR F4 (Zona E-Mo).

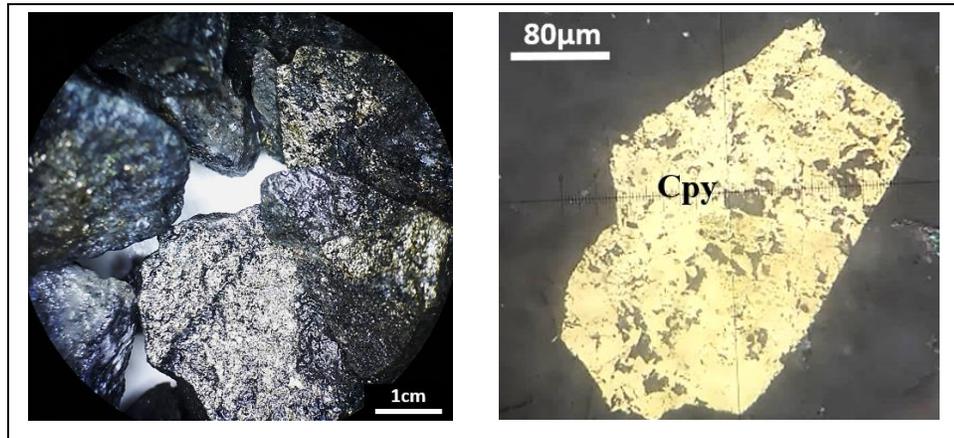


**Microfotografía 5.1.**

Briqueta pulido-transparente DR F4 (Zona E-Mo), descrita en Anexo D.

5.3.1.2. DR F4 (Zona E): Macroscópicamente la mineralización predominante es calcopirita, mientras que el resto de las menas se encuentran prácticamente ausentes. La litología principal corresponde a CMET (Fotografía 5.4.). Microscópicamente se observa principalmente cristales

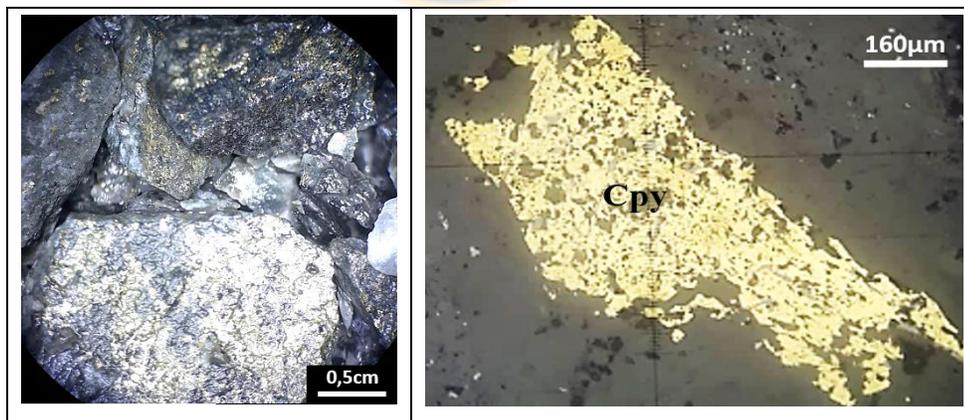
subhedrales de calcopirita, acompañados de pirita, magnetita y rutilo (Anexo D y Microfotografía 5.2.).



**Fotografía 5.4.** Rechazo de DR17 35F, observado en lupa binocular.

**Microfotografía 5.2.** Briqueta pulido-transparente DR F4 (Zona E), descrita en Anexo D.

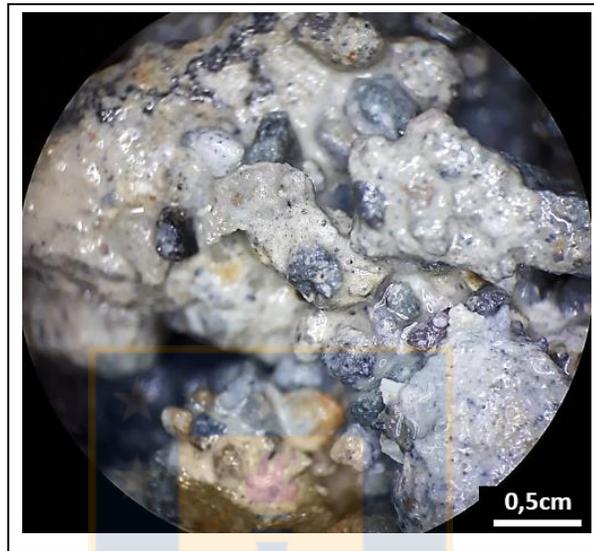
5.3.1.3. DR F3+F5 (Zona E): Observada en lupa binocular se identifica que la mineralización predominante corresponde a calcopirita, y la litología principal es el complejo CMET (Fotografía 5.5.). La briqueta pulido-transparente manifiesta la alta presencia de calcopirita seguida por una alta presencia de pirita, y en menores proporciones magnetita, rutilo y bornita (Anexo D y Microfotografía 5.3.).



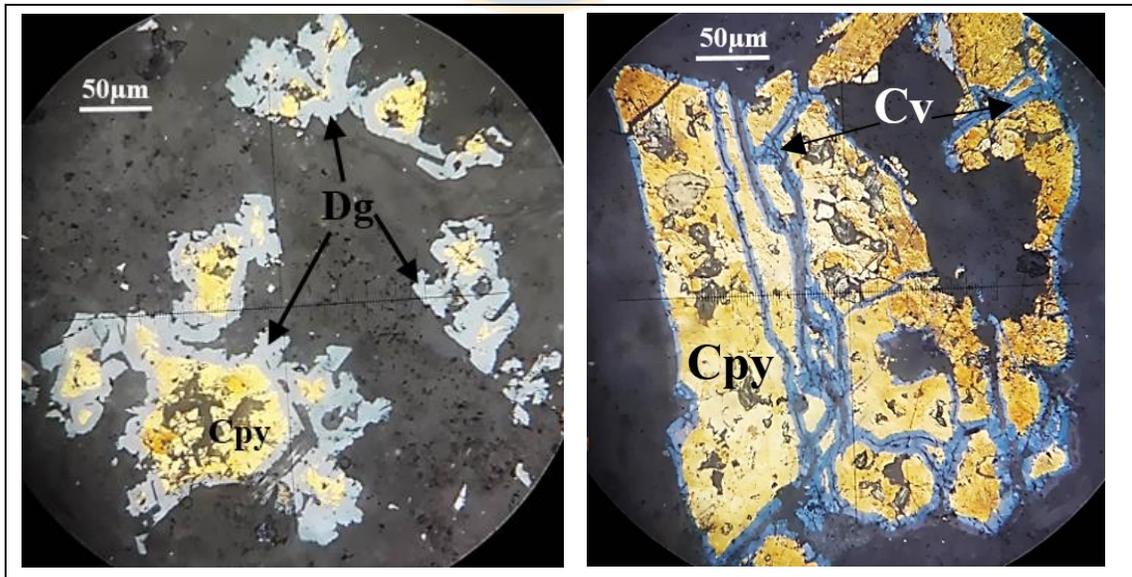
**Fotografía 5.5.** Rechazo de DR07 13F, observado en lupa binocular.

**Microfotografía 5.3.** Briqueta pulido-transparente DR F3+F5 (Zona E), descrita en Anexo D.

5.3.1.4. DR F3 (Zona MD): En lupa binocular se observa fácilmente la presencia de “material quebrado” de color grisáceo, con ciertas tonalidades pardas (Fotografía 5.6). Microscópicamente se distinguen principalmente calcopiritas, siendo reemplazadas por sulfuros secundarios como digenita y covelina, en menores proporciones se identifican pirita, rutilo, magnetita y limonitas (Anexo D y Microfotografía 5.4.).



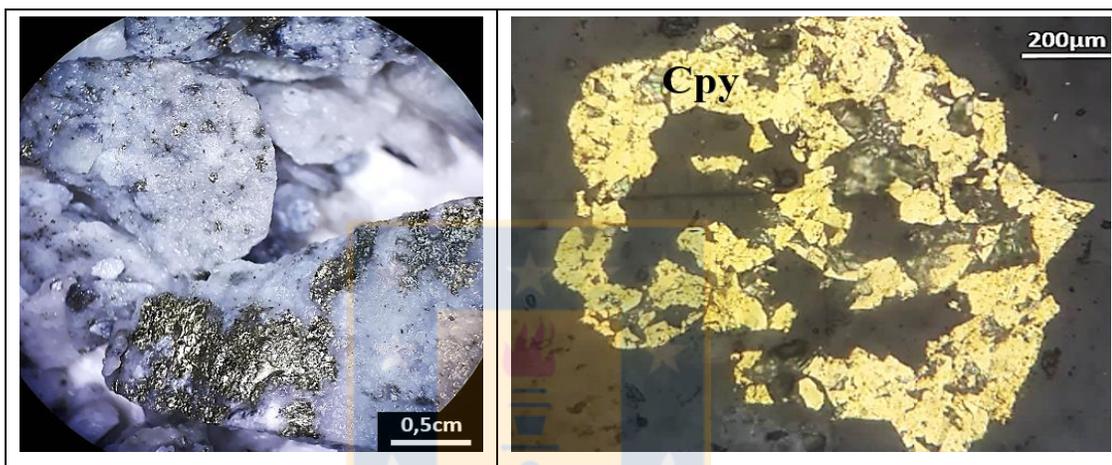
**Fotografía 5.6.** Rechazo de DR11 15H, observado en lupa binocular.



**Microfotografía 5.4.** Briqueta pulido-transparente DR F3 (Zona MD), descrita en Anexo D.

### 5.3.2. SECTOR DACITA:

5.3.2.1. DT (Zona E): Macroscópicamente la litología predominante corresponde a pórfido dacítico con fenocristales tabulares de biotita y la mineralización predominante corresponde a calcopirita, de manera muy subordinada se identifica bornita (Fotografía 5.7.). Con respecto a la microscopía, se corrobora la información anterior con respecto a la mineralización, predominando la presencia de calcopirita subhedral a anhedral, y en menores proporciones bornita, magnetita y rutilo (Anexo D y Microfotografía 5.5.).



**Fotografía 5.7.** Rechazo de DT22 21H, observado en lupa binocular.

**Microfotografía 5.5.** Briqueta pulido-transparente DT (Zona E), descrita en Anexo D.

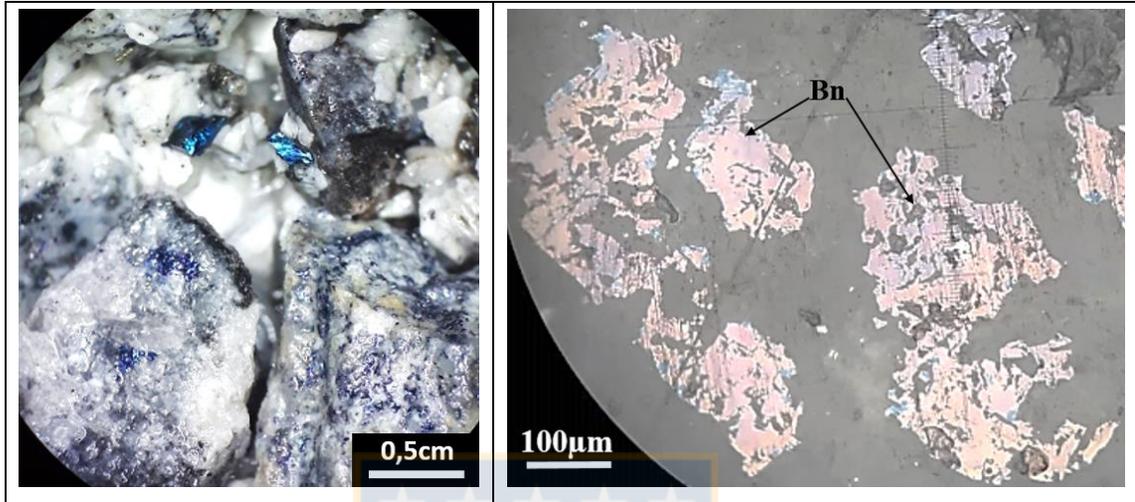
5.3.2.2. DT (Zona F): En lupa binocular es identificada bornita como mineralización predominante y pórfido dacítico como litología predominante (Fotografía 5.8.). Mientras que al microscopio no sólo se observa el predominio de bornita, sino que también la mineralización de calcopirita, rutilos y minerales subordinados (Anexo D y Microfotografía 5.6.).

5.3.2.3. DT (Zona MD): Macroscópicamente se observa la litología CMET, acompañada de un “material quebrado” de color ocre (Fotografía 5.9.). Sin embargo, al microscopio es posible distinguir mineralogía, en donde predominan bornitas y calcopiritas alteradas en sus bordes a covelina y digenita (Anexo D y Microfotografía 5.7.).

### 5.3.3. SECTOR PACÍFICO SUPERIOR:

5.3.3.1. PS (Zona E-Mo): Con la lupa binocular se identifica que la litología predominante corresponde a Brecha Braden, y respecto a la mineralización, predomina molibdenita y calcopirita

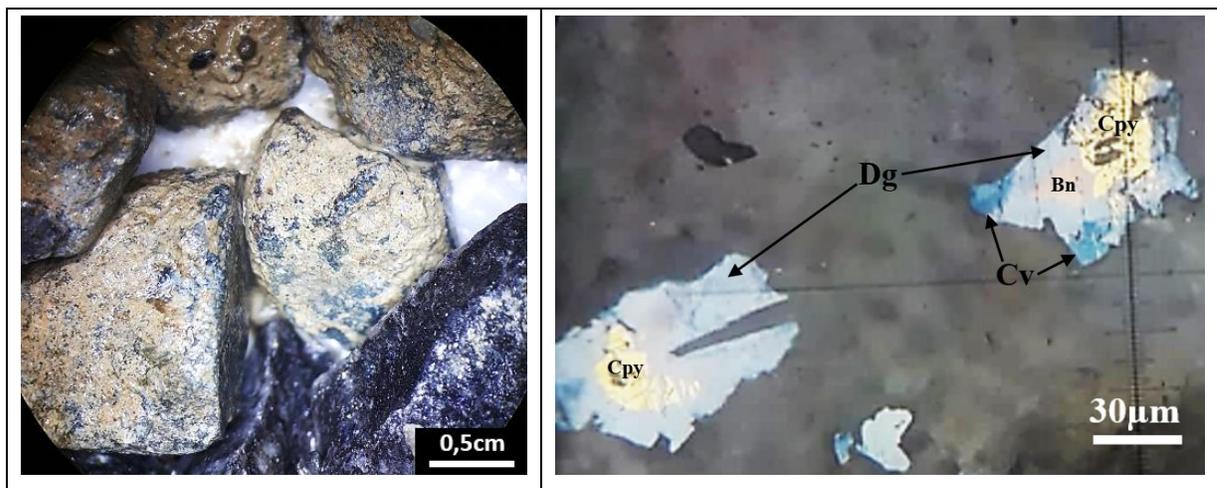
(Fotografía 5.10.). Al microscopio la molibdenita se observa en cúmulos y a diferencia de lo identificado macroscópicamente, en proporciones mayores a la molibdenita se encuentran bornita, calcopirita y rutilo (Anexo D y Microfotografía 5.8.).



**Fotografía 5.8.** Rechazo de DT23 08F, observado en lupa binocular.

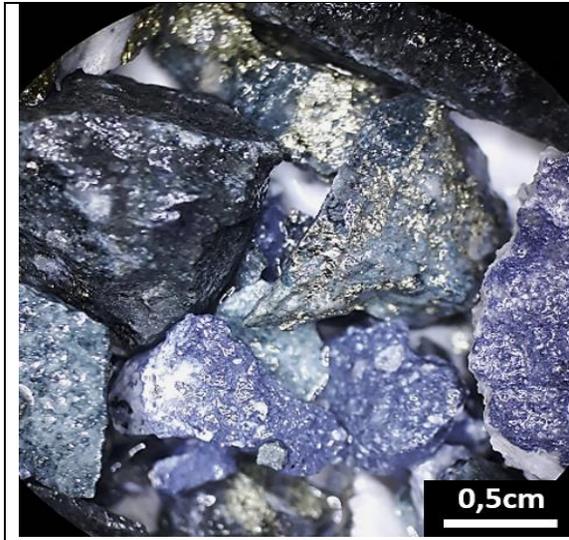
**Microfotografía 5.6.** Briqueta pulido-transparente DT (Zona F), descrita en Anexo D.

5.3.3.2. PS (Zona E): Macroscópicamente se distingue calcopirita como mineralización predominante y pirita en pequeñas proporciones (Fotografía 5.11.). Microscópicamente se corrobora información anterior, visualizando principalmente cristales de calcopirita, acompañado en menores proporciones por pirita, magnetita y rutilo (Anexo D y Microfotografía 5.9.).

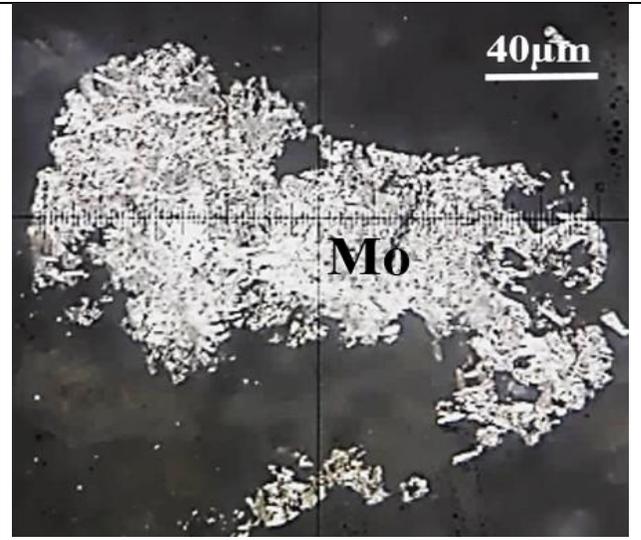


**Fotografía 5.9.** Rechazo de DT20 10H, observado en lupa binocular.

**Microfotografía 5.7.** Briqueta pulido-transparente DT (Zona MD), descrita en Anexo D.



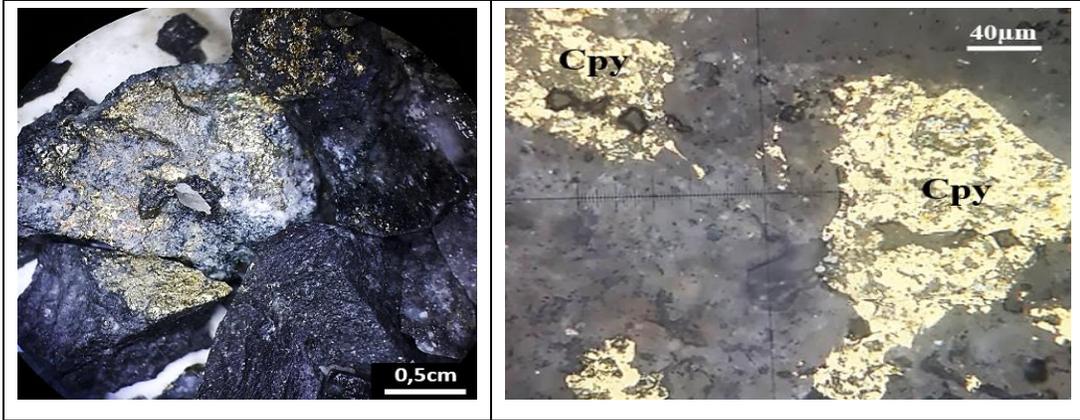
**Fotografía 5.10.** Rechazo de PS02 02N, observado en lupa binocular.



**Microfotografía 5.8.** Briqueta pulido-transparente PS (Zona E-Mo), descrita en Anexo D.

5.3.3.3. **PS (Zona MD):** Al observar el rechazo de esta Zona en la lupa binocular, se distingue principalmente litología CMET, acompañada y en ciertas ocasiones afectada por la dilución y presencia de “material quebrado” (Fotografía 5.12.). Al microscopio, se identifica gran presencia de calcopiritas alteradas en sus bordes por minerales de enriquecimiento secundarios, tales como digenita y covelina, mientras que la pirita también se encuentra en grandes cantidades, seguida de rutilo, magnetita y limonitas (Anexo D y Microfotografía 5.10.).

5.3.4. **Mezcla T-3:** Como esta muestra corresponde a un aporte desde la Línea SAG, es necesario crear una muestra que represente dicho aporte como mezcla entre las Zonas que alimentan a la Línea SAG. Es por esto, que no se describe un rechazo macroscópico, ya que, estos corresponden a puntos específicos de sus respectivos sectores. Sin embargo, se realiza una briqueta pulido-transparente de la muestra de dicha mezcla para estudiarla microscópicamente, en la cual se identifica un predominio de calcopirita y bornita, y de manera subordinada magnetita y rutilo (Microfotografía 5.11.).

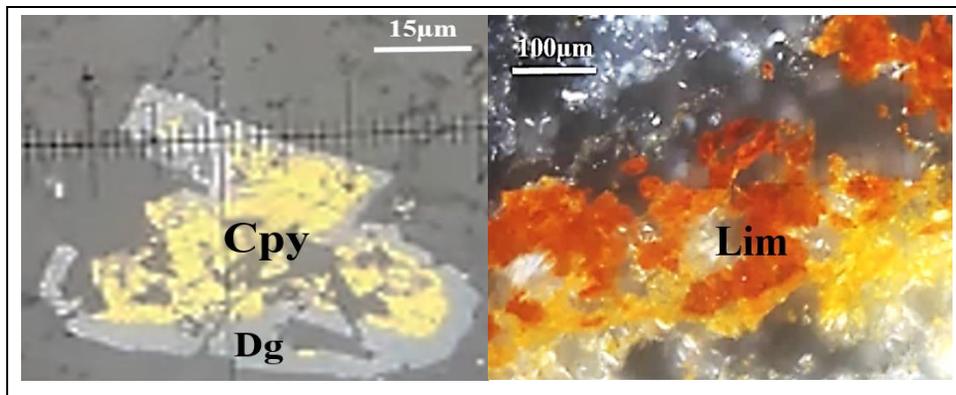


**Fotografía 5.11.** Rechazo de PS05 07N, observado en lupa binocular.

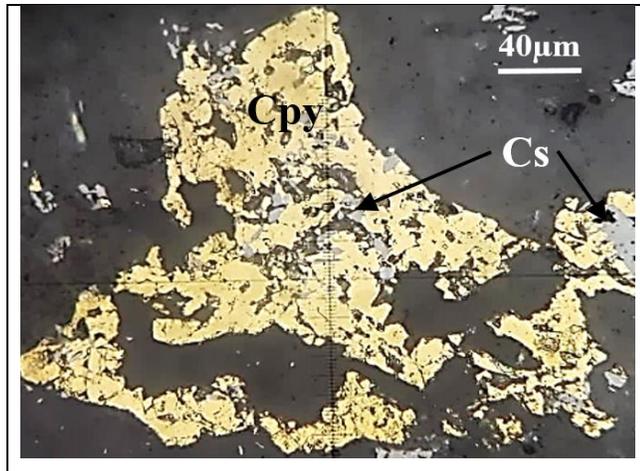
**Microfotografía 5.9.** Briqueta pulido-transparente PS (Zona E), descrita en Anexo D.



**Fotografía 5.12.** Rechazo de PS03 05S, observado en lupa binocular.



**Microfotografía 5.10.** Briqueta pulido-transparente PS (Zona MD), descrita en Anexo D.



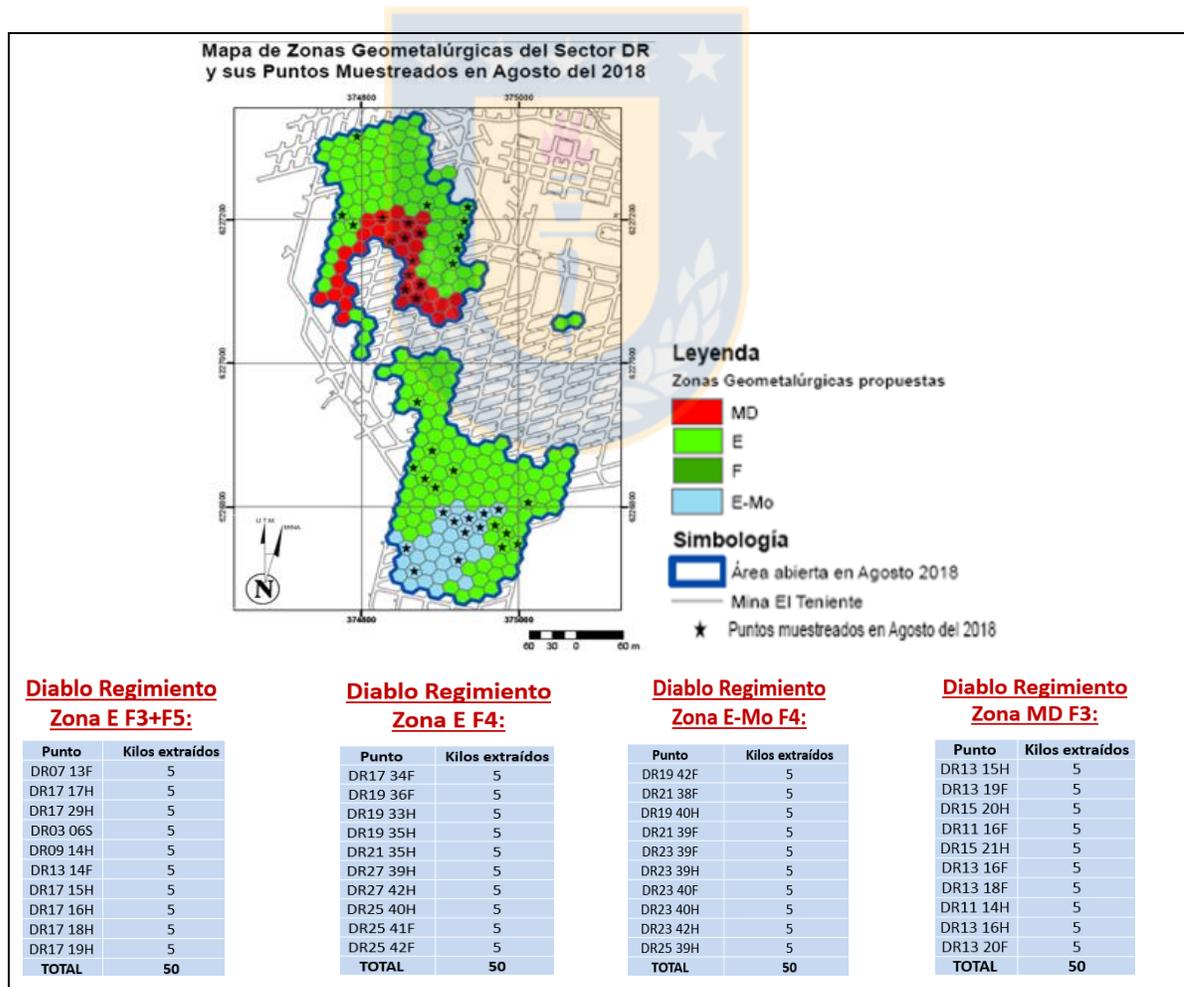
**Microfotografía 5.11.** Briqueta pulido-transparente Mezcla T-3, descrita en Anexo D.



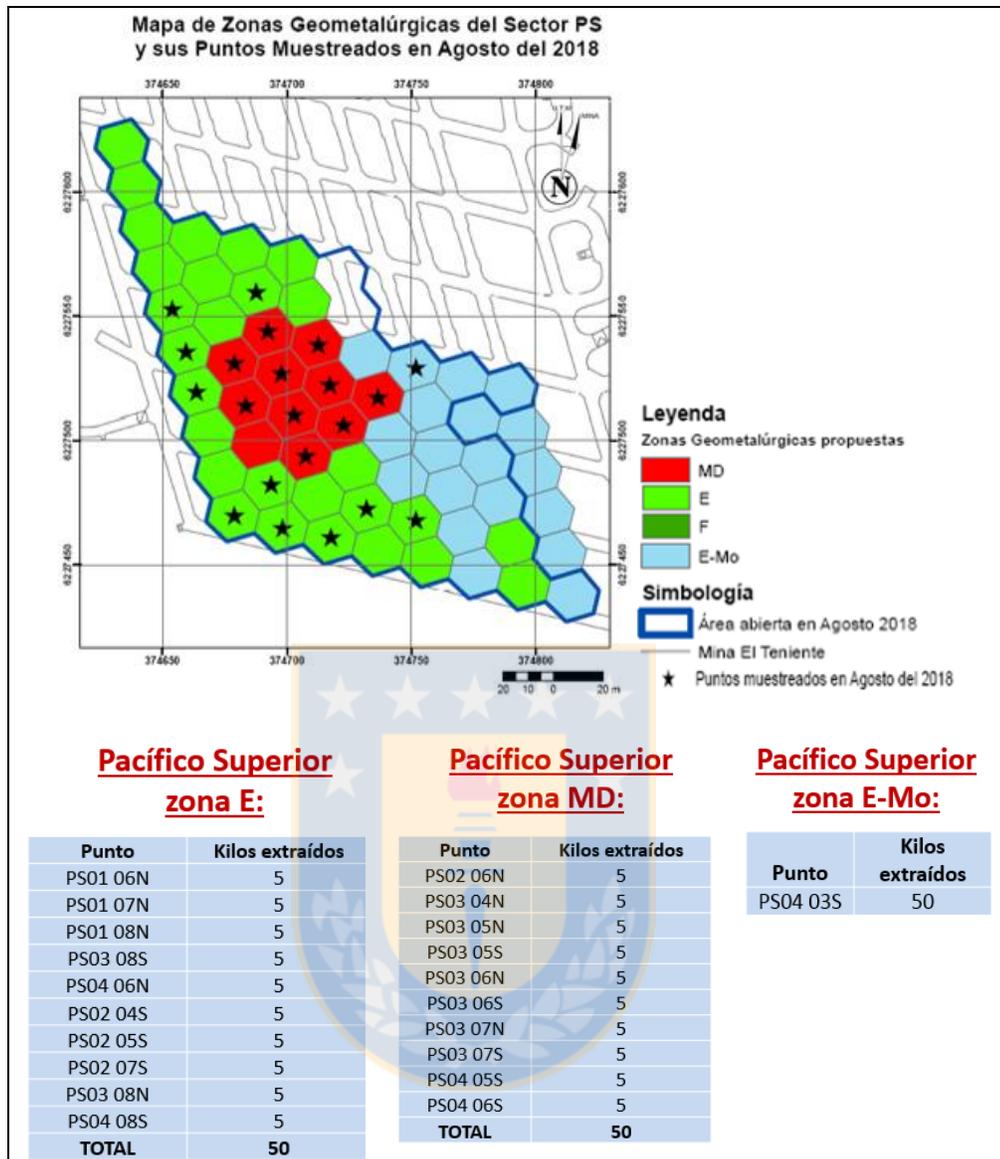
## 6. MUESTREO Y ETAPA DE LABORATORIO

### 6.1. SELECCIÓN DE MUESTRAS POR ZONA GEOMETALÚRGICA

Una vez realizada la propuesta de las Zonas Geometalúrgicas de cada uno de los sectores que alimentan a la Línea Convencional, se muestrean 50 kg representativos de cada una de ellas en el mes de Agosto del 2018. Para que se cumpla dicha representatividad, se identifican los 10 puntos que aportan mayor tonelaje a la Zona y son muestreados 5 kg de cada uno, obteniéndose finalmente una sola muestra de 50 kg (Figura 6.1.-6.3.). De no encontrarse en condición abocada alguno de esos 10 puntos, se elige el siguiente punto de la Zona que aporte mayor tonelaje. Cabe mencionar, que algunas Zonas (como la Zona E-Mo del sector PS y la Zona MD del sector DT) poseen menos de 10 puntos en condiciones de ser muestreados, por lo que se redistribuyen los 50 kg entre los puntos que están en condición abocada (aptos para muestreo).



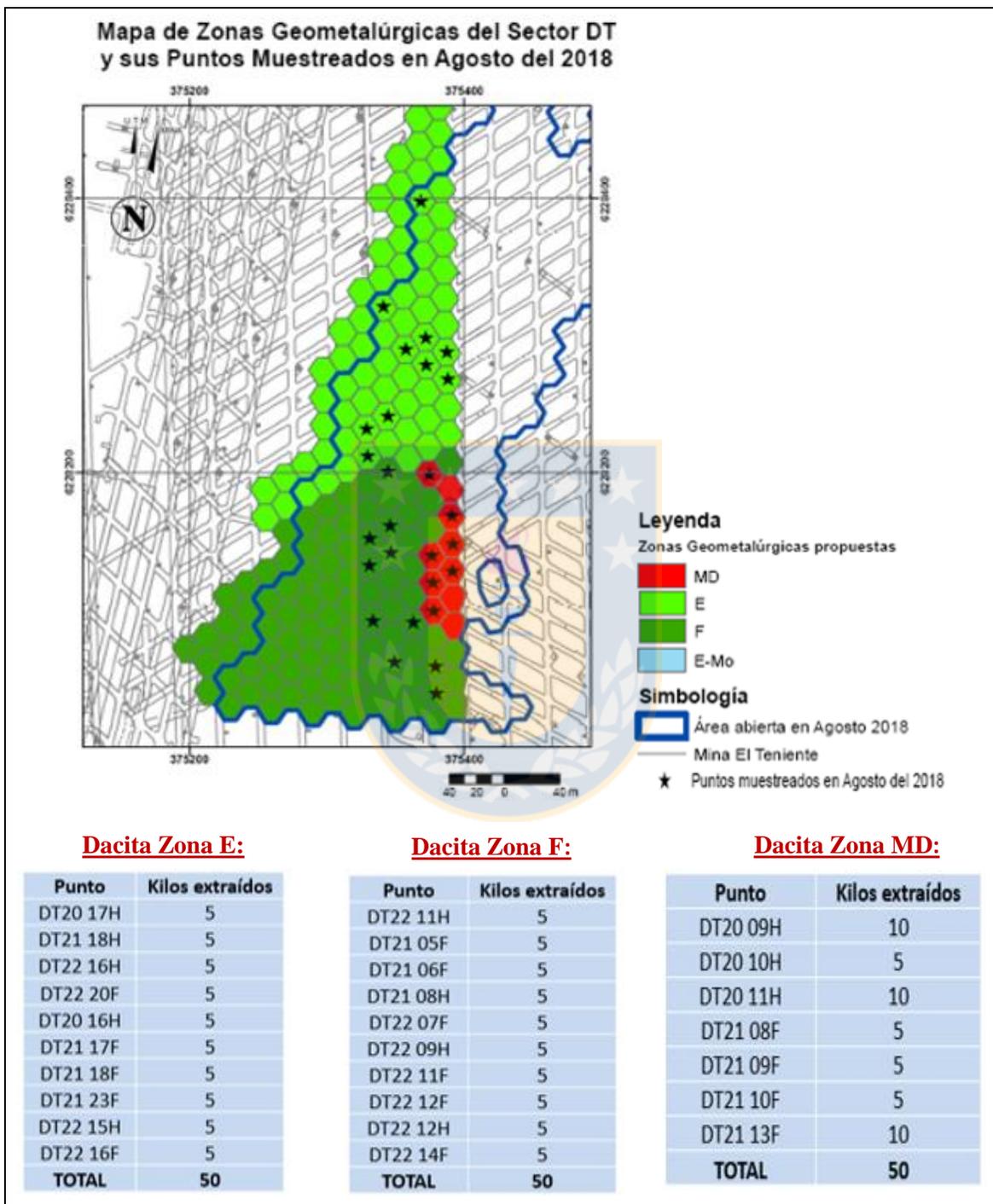
**Figura 6.1.** Mapa de Zonas del sector DR con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída.



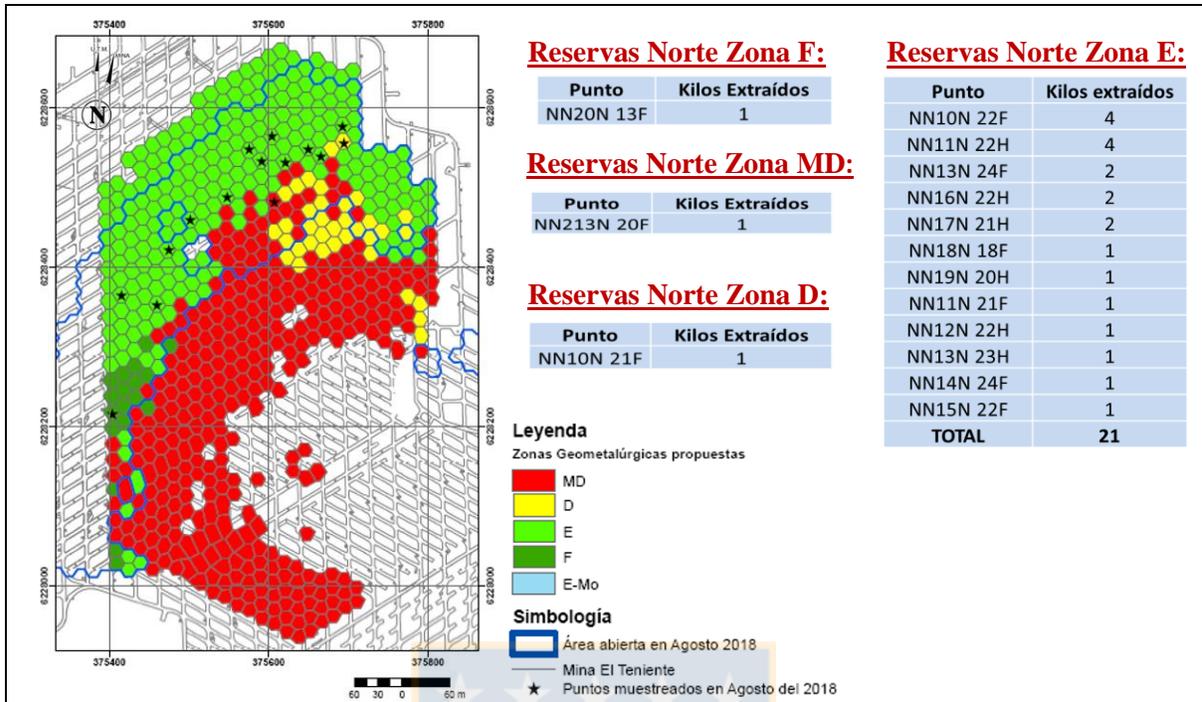
**Figura 6.2.** Mapa de Zonas del sector DT con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída.

Cabe recordar que el aporte desde la Línea SAG (de un 20%), a través de la correa T-3, también debe ser considerada dentro del material que es procesado en la Línea Convencional y por lo tanto, debe ser muestreada de la misma manera que el resto de las Zonas (Figura 6.5.-6.7.). Por este motivo, se toman 50 kg de los 10 puntos que aportan mayor tonelaje en los sectores Reservas Norte y Esmeralda, con un 49% y 51% de mineral respectivamente, resultando una sola muestra que se envía al laboratorio junto con las otras 10 muestras de 50 kg de cada Zona Geometalúrgica

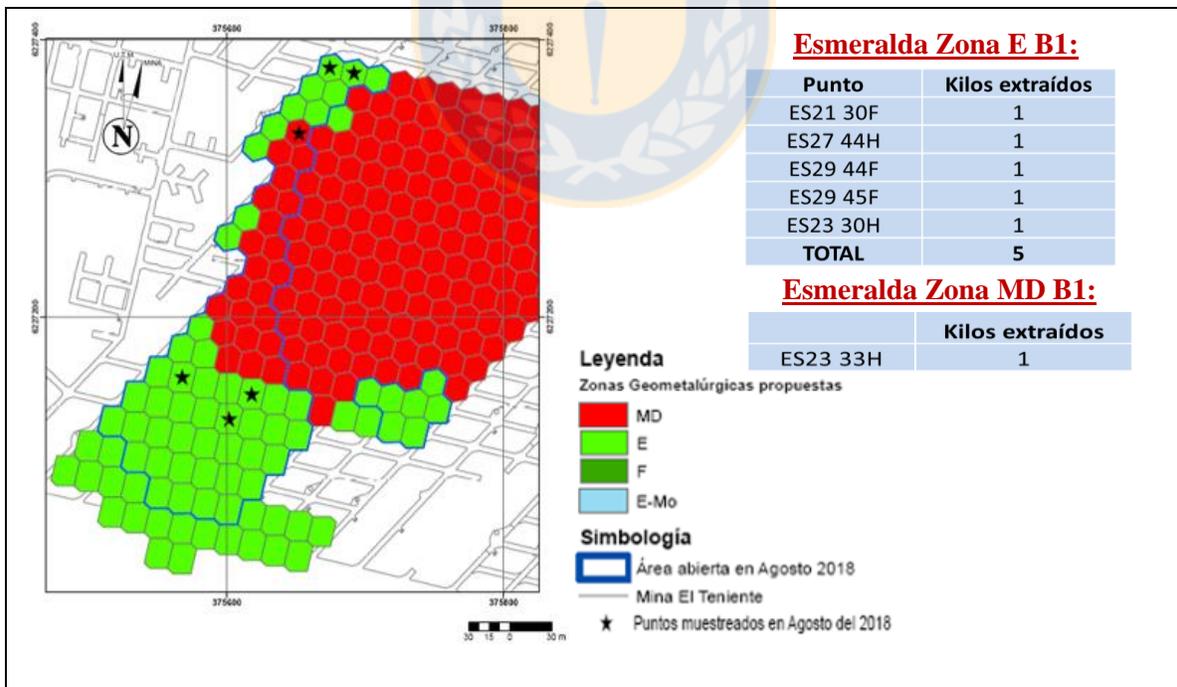
propuesta, de las cuales se obtendrán resultados de absorción atómica, QEMSCAN, Test de Bond (Wi) y pruebas metalúrgicas.



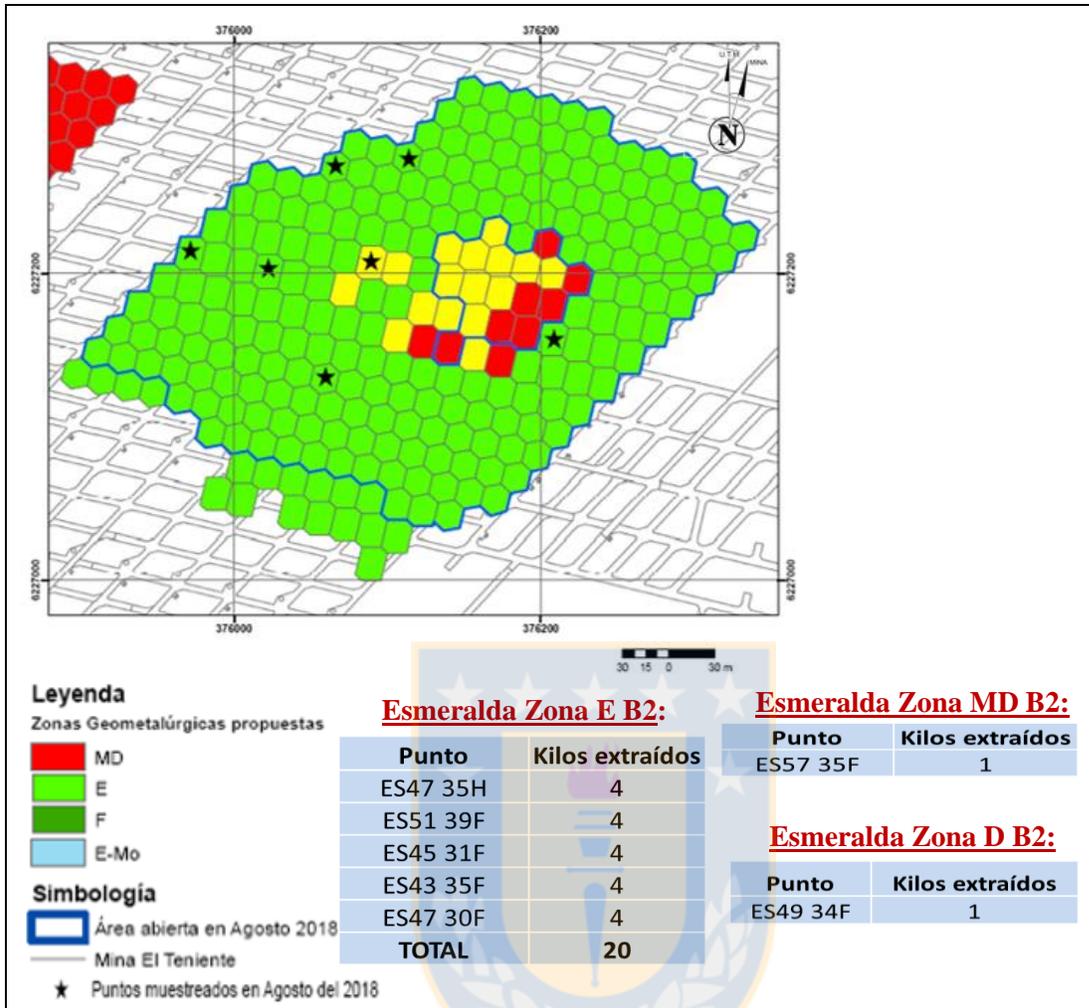
**Figura 6.3.** Mapa de Zonas del sector DT con sus respectivos puntos muestreados, indicados en detalle en las tablas inferiores, con su respectiva masa extraída.



**Figura 6.4.** Mapa de Zonas del sector RENO con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída.



**Figura 6.5.** Mapa de Zonas del sector ES B1 con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída.



**Figura 6.6.** Mapa de Zonas del sector ES B2 con sus respectivos puntos muestreados para muestra de Mezcla T-3, indicados en detalle en las tablas, con su respectiva masa extraída.

## 6.2. TRATAMIENTO DE MUESTRAS EN LABORATORIO METALÚRGICO

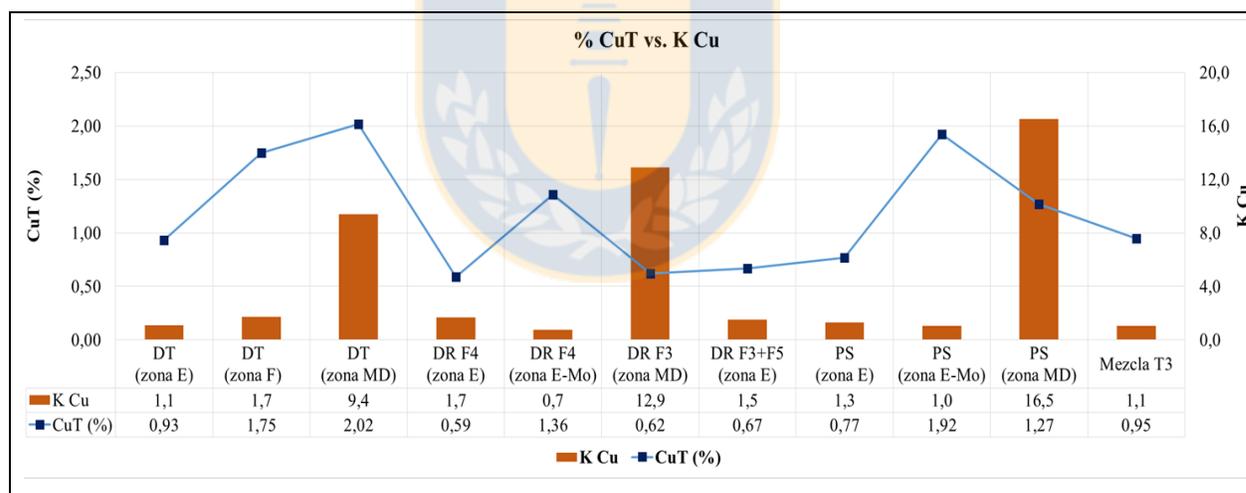
Debido a que los resultados analíticos de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas juegan un rol determinante en los planes de corto plazo (PAM), es que se acude a la observación del procedimiento real y continuo al cual se someten dichas muestras, tanto de la Línea Convencional como de la Línea SAG, efectuado en el laboratorio metalúrgico (ubicado en Colón Bajo) (Anexo E) Así, ésta información queda transparentada y abierta al conocimiento en la Superintendencia Gestión Producción.

## 7. CARACTERIZACIÓN GEOMETALÚRGICA

Es necesario realizar un análisis detallado de los resultados químicos (EAA), metalúrgicos (flotación) y mineralógicos (QEMSCAN), para identificar y caracterizar el comportamiento geometalúrgico de cada Zona propuesta en el mes de Agosto del 2018 para los sectores que alimentan a la Línea Convencional.

### 7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS DE ABSORCIÓN ATÓMICA

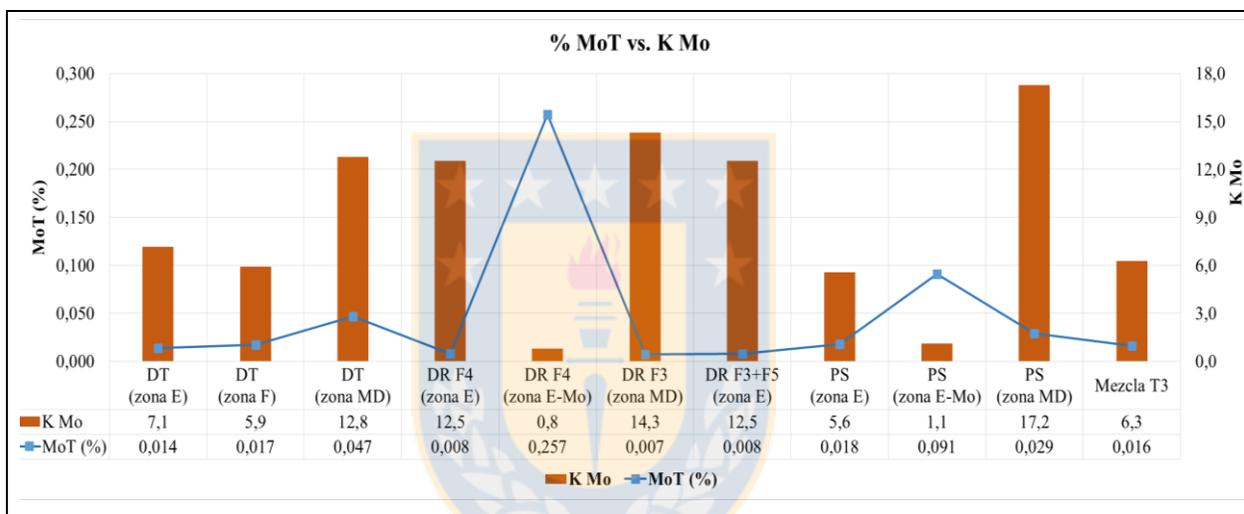
Las cabezas de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, son analizadas por absorción atómica. De esto se obtiene (Figura 7.1.) que los valores promedio de CuT (%) y K Cu en las Zonas E, F y E-Mo son de 1,14% y 1,3 respectivamente. Un comportamiento diferente manifiestan las tres Zonas MD, que poseen en promedio de 1,30% de CuT y 12,9 de K Cu. Y que los mayores valores de CuT corresponden a las Zonas MD, F y E-Mo, con valores que superan al 1,25% (por sobre el promedio de la mina), a excepción de la Zona MD del DR F3.



**Figura 7.1.** % CuT vs. K Cu de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

Cabe mencionar, que en planta se requieren K Cu 2,0 para un buen procesamiento del mineral y para que la flotación tenga un buen resultado. Sin embargo, esta variable se presenta con valores superiores a 9,0 en las tres Zonas MD, por lo que se vuelve sumamente importante tener controlada y considerada esta variable en los programas mensuales.

Del mismo análisis de las cabezas de las Zonas, se obtienen MoT y K Mo, representados en el Figura 7.2. Resultando que ambas variables, en las dos Zonas E-Mo se presentan con valores anómalos respecto al resto de las Zonas, ya que, el promedio de MoT entre ambas es de 0,174% y el K Mo promedio de 0,95, mientras que en el resto de las Zonas los promedios son de 0,018% y 10,5 respectivamente. Es decir, en las Zonas E-Mo el porcentaje de MoT es casi nueve veces mayor que el promedio del resto de las Zonas, y el K Mo es casi 11 veces menor. Esto último es un muy buen indicador, que permite interpretar que las Zonas E-Mo no sólo son ricas en molibdeno (MoT alto), sino que además, un K Mo bajo indica que el elemento se encuentra principalmente en forma no soluble, y por lo tanto debiera poder ser recuperado en la flotación, y no perdido en la cola.

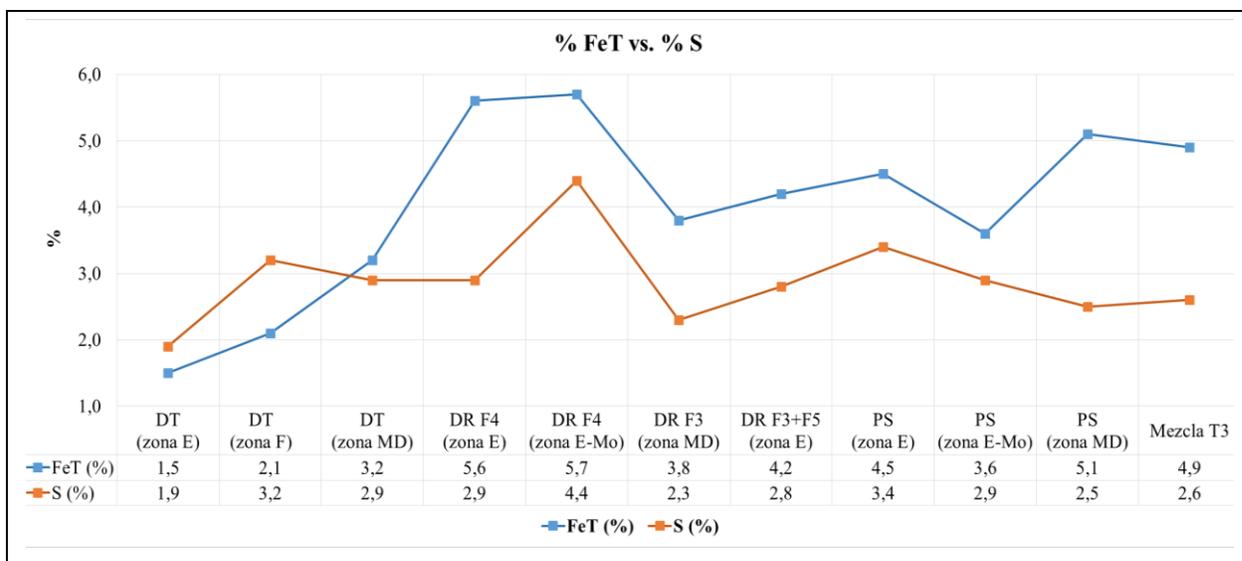


**Figura 7.2.** % MoT vs. K Mo de las muestras de las Zonas Geotérmicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

Para las Zonas E, F y MD, los valores de K Mo varían entre los 5,6 y los 17,2, correspondiendo los más altos a las Zonas MD.

Además, de la absorción atómica de las cabezas de las Zonas se obtienen los porcentajes de Fe y de S. Al llevar ambas variables a un gráfico (Figura 7.3.), se obtiene que su comportamiento es directamente proporcional.

Con respecto al FeT, este es menor en las tres Zonas del sector DT que en el resto de las Zonas (Figura 7.3.). Lo que podría estar asociado a su litología más ácida con respecto a los otros sectores de litología básica (CMET o brecha), es decir, con menor contenido de máficos (entre ellos Fe).

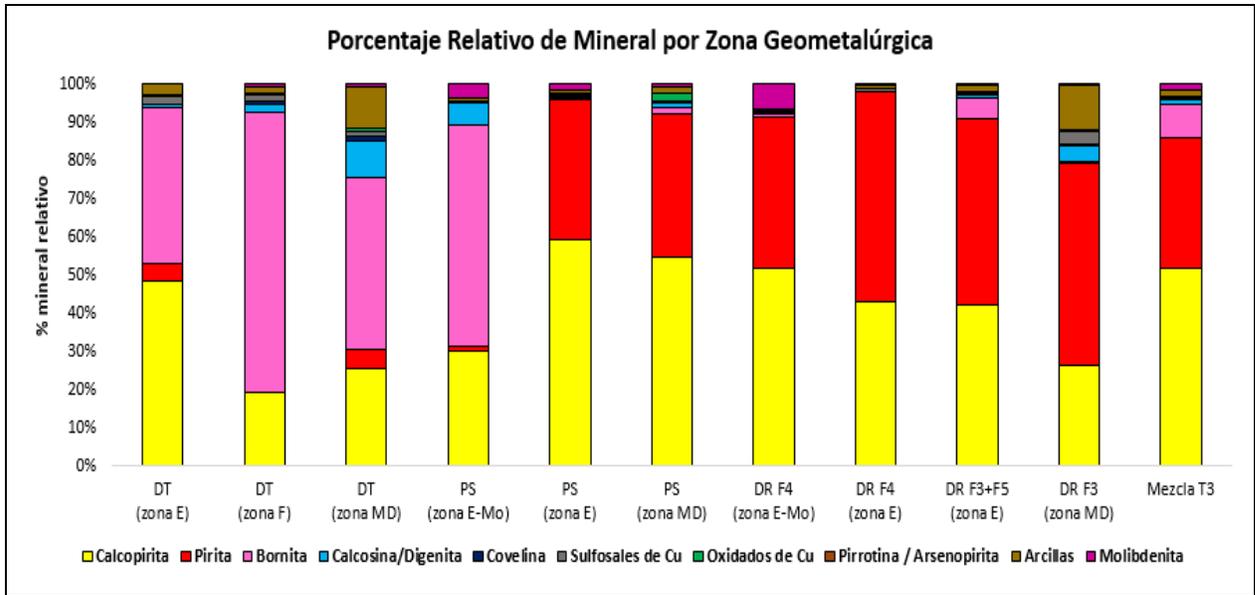


**Figura 7.3.** % FeT vs. % S de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

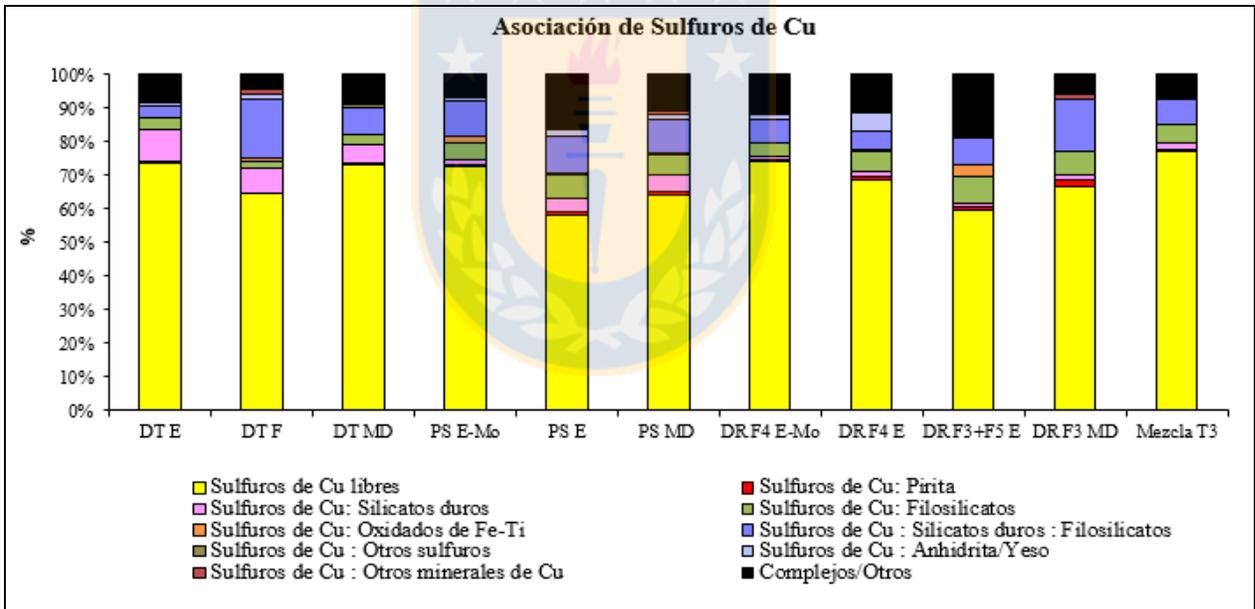
## 7.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MINERALOGÍA AUTOMATIZADA QEMSCAN

Dominios mineralógicos: La calcopirita predomina en las Zonas E y E-Mo; los porcentajes de bornita son considerablemente mayores y los de pirita casi nulos en el sector DT, específicamente en la Zona F; en la Zona MD son frecuentes los sulfuros secundarios, oxidados de cobre y arcillas, teniendo estas últimas (en especial las esmectitas) el potencial de afectar significativamente en el procesamiento de minerales (Ndlovu y otros, 2014). Específicamente el mecanismo de slime coating (recubrimiento), ha sido sugerido en las investigaciones de Holuszko y otros (2008), Peng y Zhao (2011), Zhao y Peng (2012), y Uribe y otros (2016) para explicar los efectos adversos de los minerales arcillosos en la flotación; y la molibdenita predomina en las Zonas E-Mo (Figura 7.4.).

Asociación Mineral: Los sulfuros de Cu se encuentran principalmente libres, con una baja proporción asociados a silicatos duros/filosilicatos, y a fases minerales complejas (Figura 7.5.), es decir, asociación del sulfuro con más de dos minerales simultáneamente. Por su lado, la molibdenita presenta una proporción libre, así como también, asociación a fases minerales complejas (Figura 7.6.), en este caso, el mapa de partícula (Figura 7.7.) exhibe silicatos duros, filosilicatos, anhidrita/yeso, sulfuros, entre otros silicatos y sulfatos.

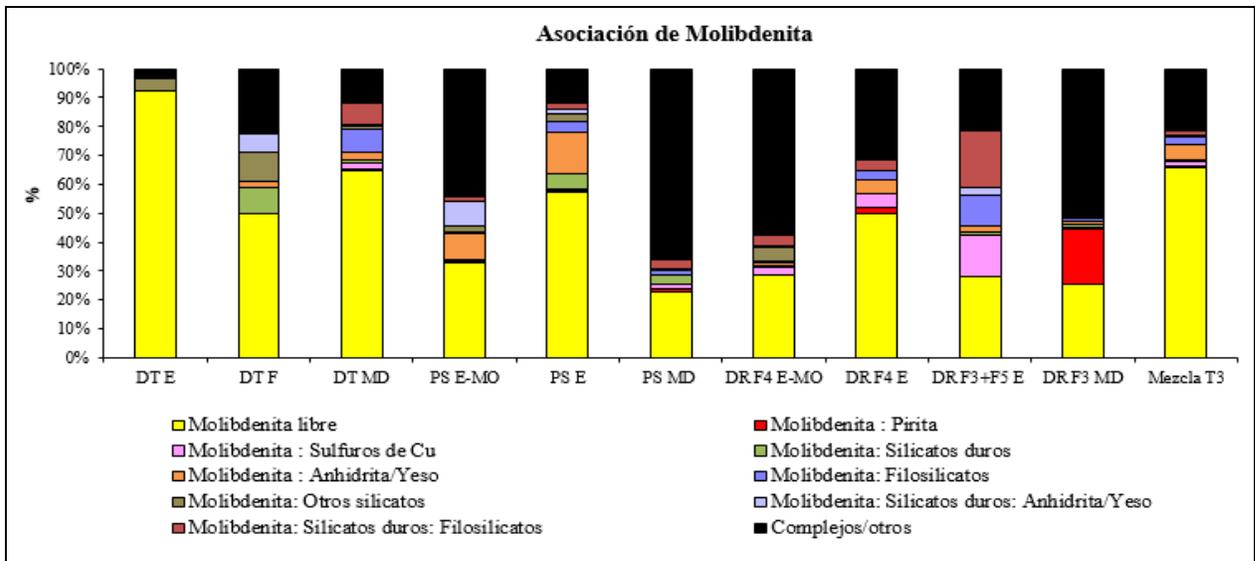


**Figura 7.4.** Porcentaje relativo mineralógico por Zona Geometalúrgica, según QEMSCAN.

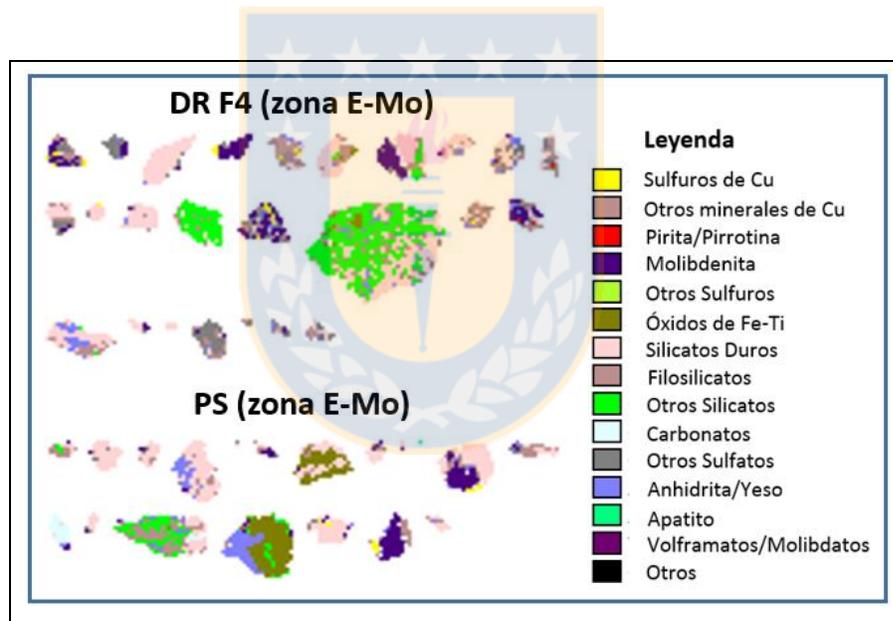


**Figura 7.5.** Asociación de Sulfuros de Cu, según QEMSCAN.

Grado de Liberación: En todas las Zonas los sulfuros de Cu se encuentran principalmente libres y liberados, y en menor proporción están ocluidos y parcialmente ocluidos (Figura 7.8.). La molibdenita por su lado, se presenta más ocluida y parcialmente ocluida que los sulfuros de Cu (Figura 7.9.).

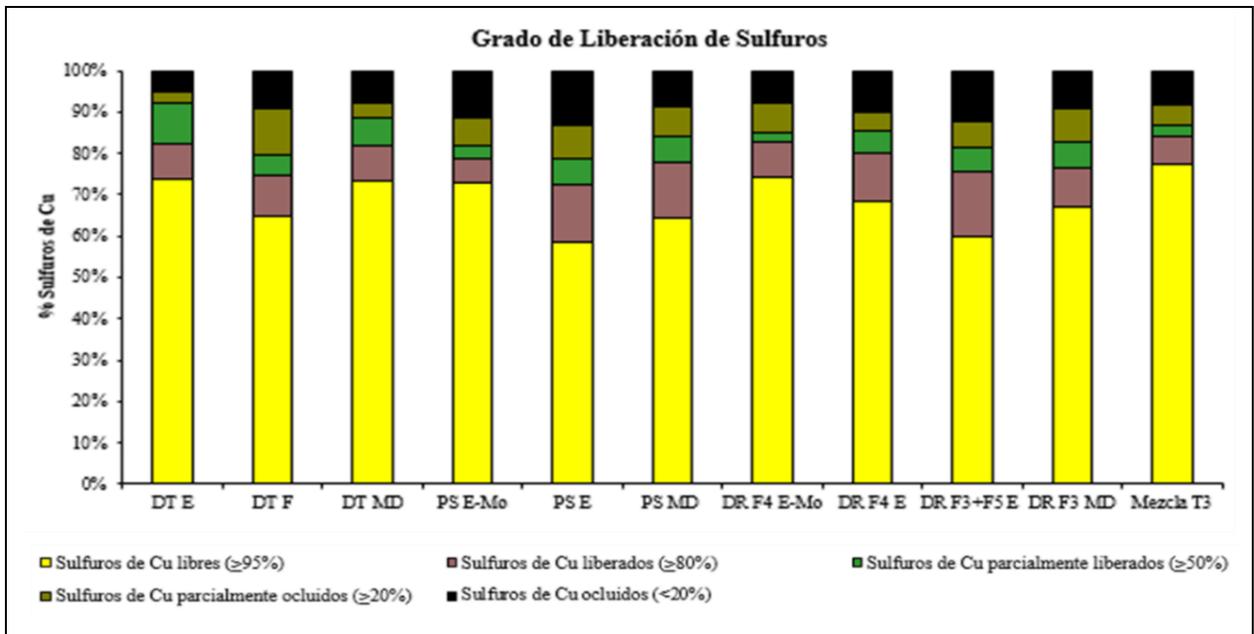


**Figura 7.6.** Asociación de Molibdenita, según QEMSCAN.

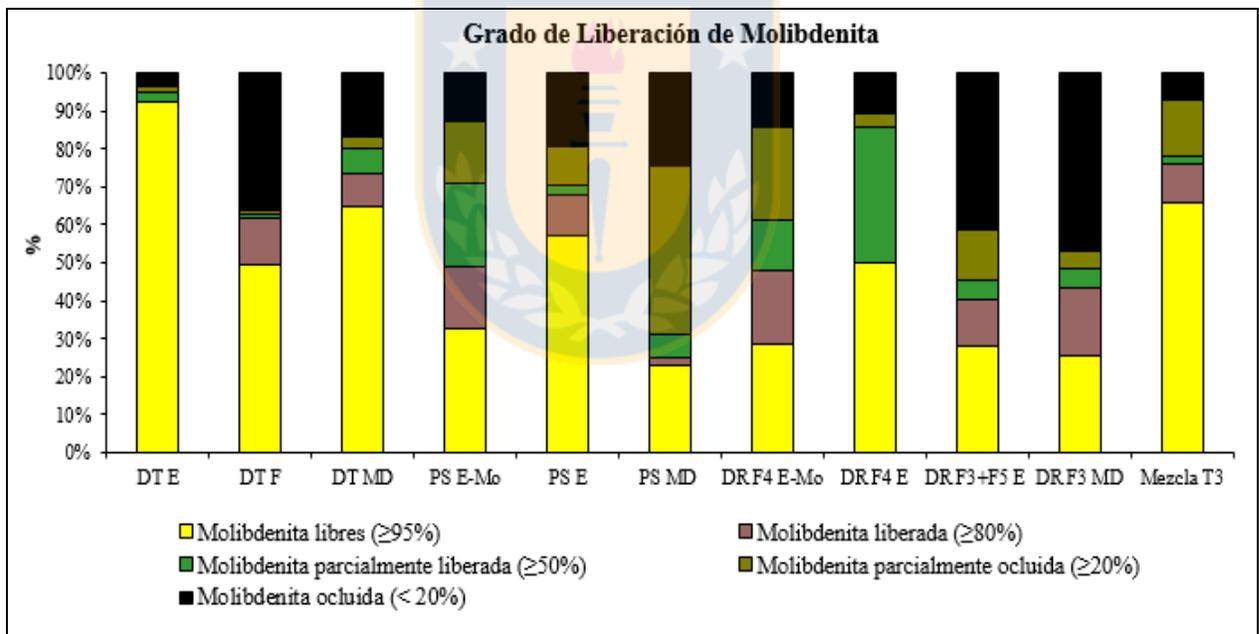


**Figura 7.7.** Mapa de partícula para la asociación de molibdenita en las Zonas E-Mo, según QEMSCAN.

Granulometría: Los sulfuros de Cu manifiestan un patrón granulométrico entre una Zona y otra (Figura 7.10.), y se encuentran principalmente en el rango medio-grueso ([38-150[ $\mu\text{m}$ ), seguida de granulometría media-fina ([10-25[ $\mu\text{m}$ ). La poca, pero existente presencia de granos muy finos (<10  $\mu\text{m}$ ) de sulfuros de cobre, significará una menor probabilidad de alcanzar una interacción partícula-burbuja, haciéndolos más lentos para flotar y en consecuencia, reduciendo la posibilidad de su recuperación (Cropp y otros, 2013).



**Figura 7.8.** Grado de Liberación de Sulfuros de Cu, según QEMSCAN.



**Figura 7.9.** Grado de Liberación de Molibdenita, según QEMSCAN.

A diferencia de los sulfuros de Cu, la molibdenita no presenta un patrón granulométrico entre las Zonas (Figura 7.11.), más bien muestran gran variabilidad, ausentándose casi por completo en las granulometrías muy gruesas ( $\geq 150 \mu\text{m}$ ). Además, se pre-supone que podría haber una mayor pérdida de este mineral, puesto que por literatura (Castro y otros, 2016), se sabe que las granulometrías  $< 10 \mu\text{m}$  son perdidas en la cola, las cuales se encuentran en cantidades

considerables en la mayoría de las Zonas. Además, Sivamohan (1990) en Zhou (2010), menciona que para partículas finas, la baja recuperación se debe a la baja eficiencia de la colisión partícula-burbuja, mientras que la disrupción de la unión partícula-burbuja en la Zona turbulenta es la principal razón para una baja recuperación de partículas gruesas.

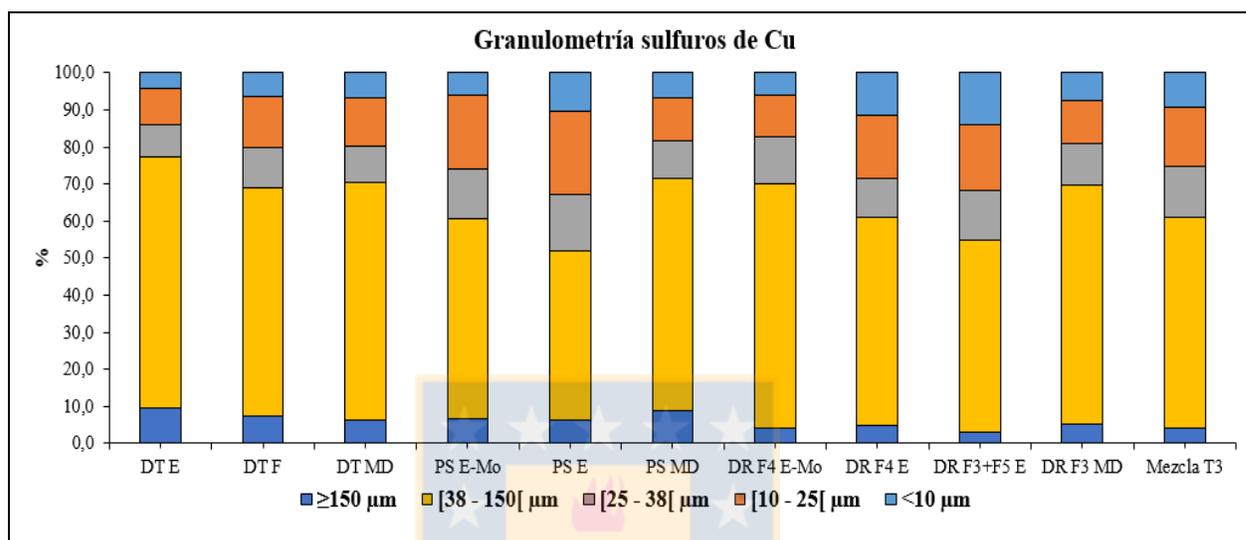


Figura 7.10. Granulometría de sulfuros de Cu, según QEMSCAN.

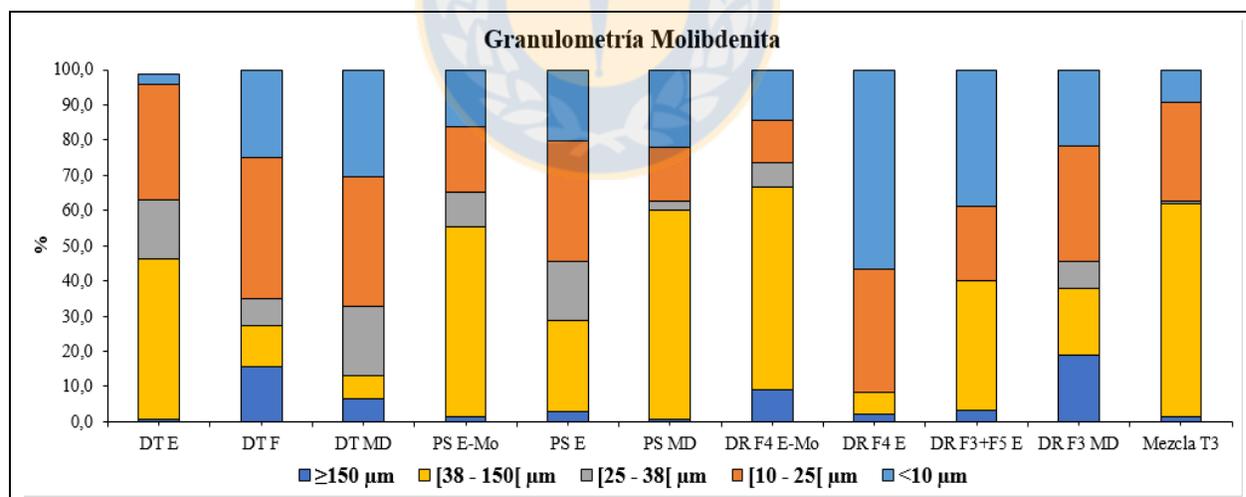


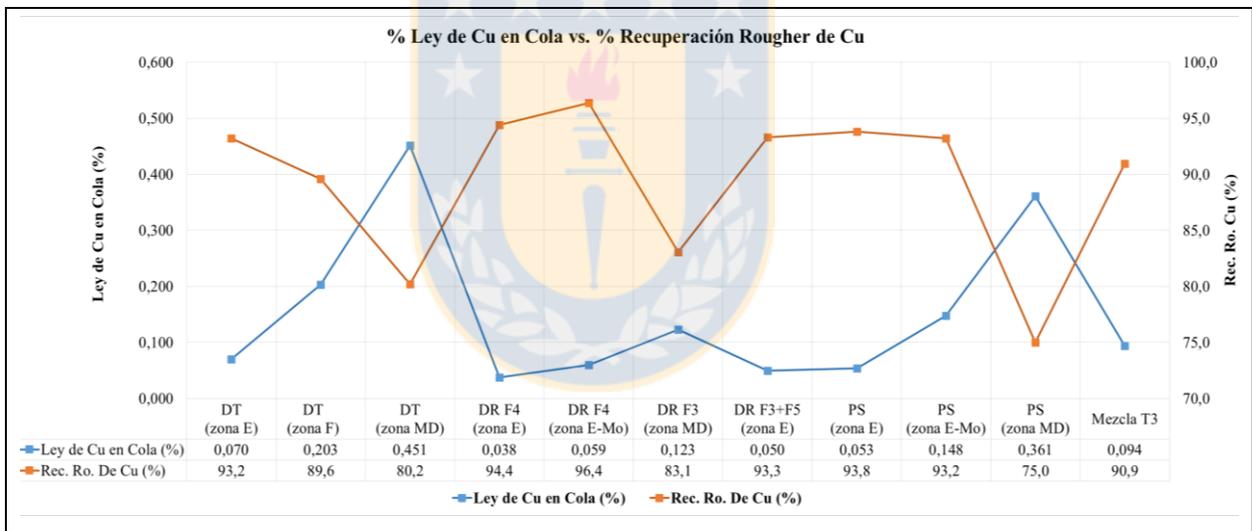
Figura 7.11. Granulometría de molibdenita, según QEMSCAN.

### 7.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLOTACIÓN

Las muestras de las Zonas Geometalúrgicas también se someten a un análisis de flotación en el laboratorio metalúrgico, cuyos procedimientos aparecen de manera detallada en el Anexo E.

Obteniéndose resultados para las Zonas de: Ley de Cu y Mo en concentrado, ley de Cu y Mo en Cola, recuperaciones rougher de Cu y Mo, y consumo de Cal, entre otras.

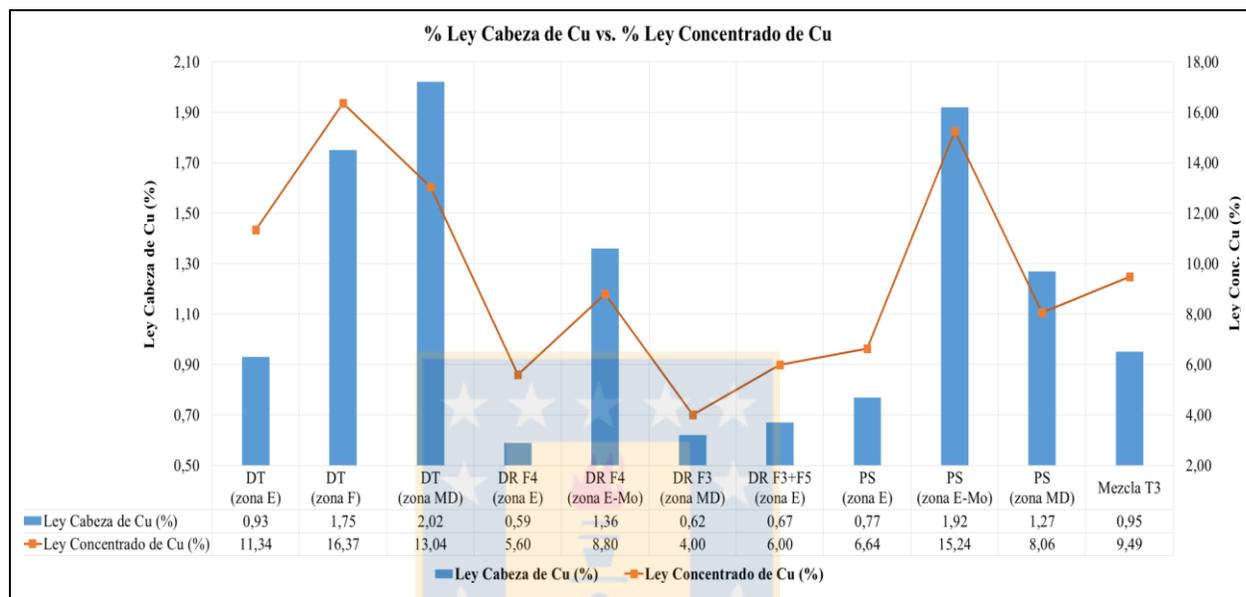
Al llevar a un gráfico la ley de Cu en cola y la recuperación rougher de Cu (Figura 7.12.), se obtiene que ambas variables se comportan de manera inversamente proporcional. Por un lado, las recuperaciones de Cu se mantienen por sobre el 90%, a excepción de las Zonas MD donde bajan hasta un 75%, en el sector Pacífico Superior. Mientras que las mejores recuperaciones están por sobre el 93%, específicamente en las Zonas E y E-Mo. Lo anterior tiene directa relación con los valores de las leyes en la cola, puesto que si las Zonas poseen menor ley en la cola significa que sus recuperaciones de cobre han sido mejores, manteniéndose la mayoría del Cu en el concentrado. Lo contrario ocurre con las Zonas que poseen mayores leyes en la cola, como lo son las Zonas MD, con valores por sobre los 0,36%, seguido de la Zona F con un 0,20%, siendo que lo esperable en la planta es que el cobre en la cola se mantenga inferior al 0,10%.



**Figura 7.12.** % Ley de Cu en Cola vs. % Recuperación Rougher de Cu, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

Las bajas recuperaciones de Cu en las Zonas MD podrían estar relacionadas con sus altos valores de K Cu. Esto debido a que un alto K Cu indica que existe una alta relación CuNS/CuT, por lo que gran parte del CuT se manifiesta durante la flotación como mineral soluble, el cual no logra adherirse a los colectores y por lo tanto precipita, quedando como pérdida en la cola.

Al comparar la ley cabeza de Cu con la ley concentrado de Cu en el Figura 7.13., se tiene que la relación entre ambas variables es directamente proporcional, donde los valores más altos se presentan en las Zonas MD, E-Mo y F, superando los 1,30% en la ley cabeza y los 8,50% en la ley concentrado; y los más bajos en las Zonas E y MD del sector DR, llegando hasta los 0,59% en la ley cabeza y 4,00% en el concentrado.

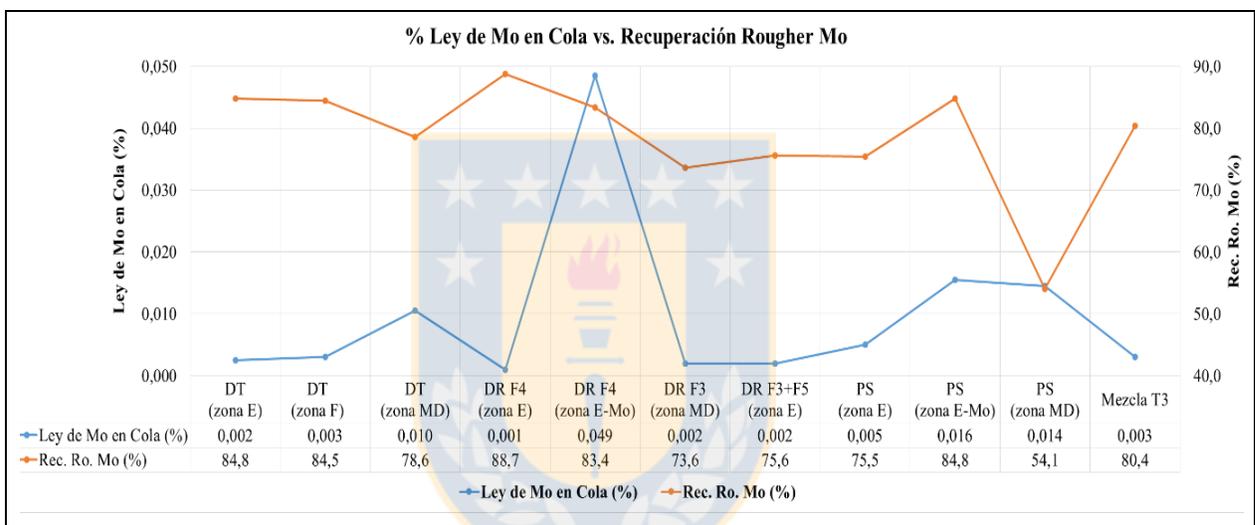


**Figura 7.13.** % Ley Cabeza de Cu vs. % Ley Concentrado de Cu, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

Del gráfico ley de Mo en la cola vs. Recuperación rougher de Mo (Figura 7.14.), se obtiene que la relación entre ambas variables tiene una tendencia inversamente proporcional, donde en general las recuperaciones de Mo están por sobre el 70,0%, a excepción de la Zona MD del PS, donde este parámetro alcanza un 54,1%. Las leyes de Mo se mantienen bajo el 0,010%, sin embargo, en ambas Zonas E-Mo ocurre algo diferente, ya que, pese a que sus recuperaciones se mantienen por sobre el 80,0%, las leyes de Mo en la cola se manifiestan con valores que sobresalen del resto, desde los 0,016 a 0,049%, lo que se asocia a una gran pérdida de Mo. Este fenómeno podría deberse a que los valores de leyes de Mo en cabeza, para las Zonas E-Mo, ya son bastante superiores al resto de las Zonas, lo cual también se verá reflejado en la cola, pese a que su recuperación sea buena.

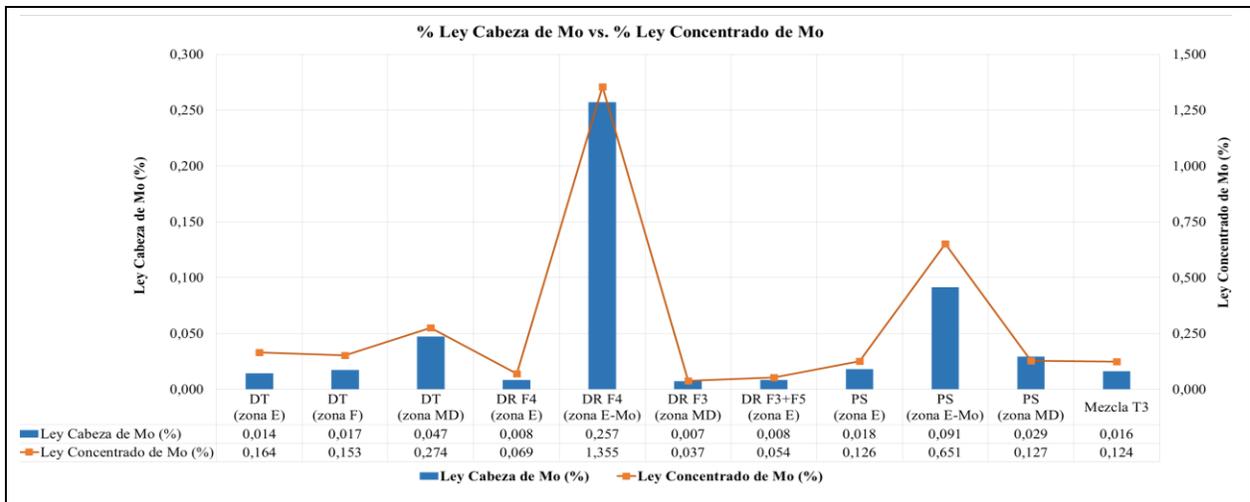
Al igual que con el Cu (Figura 7.13.), el gráfico de ley cabeza de Mo vs. Ley de Mo en el concentrado (Figura 7.15.), muestra que existe una relación directamente proporcional entre ambas

variables. Donde el promedio entre las Zonas E y F de ley cabeza de Mo es de 0,013%, y ley de Cu en el concentrado de 0,113%. Por su parte, la Zona MD llega a superar el doble de estos valores en el sector PS y DT, llegando hasta los 0,047% en la cabeza y 0,274% en el concentrado específicamente en el sector DT, no así en DR F3 donde se comporta similar a las Zonas E y F. Pero la anomalía más evidente es observada en las Zonas E-Mo, que en el sector PS se presenta con leyes de Cu en el concentrado y en la cabeza seis veces mayores que las Zonas E y F, y en el sector DR F4 es más evidente este comportamiento de la Zona E-Mo con respecto a las otras Zonas, llegando a alcanzar valores de ley cabeza de Cu 18 veces mayores a las Zonas E y F, y 11 veces su ley de concentrado Cu.

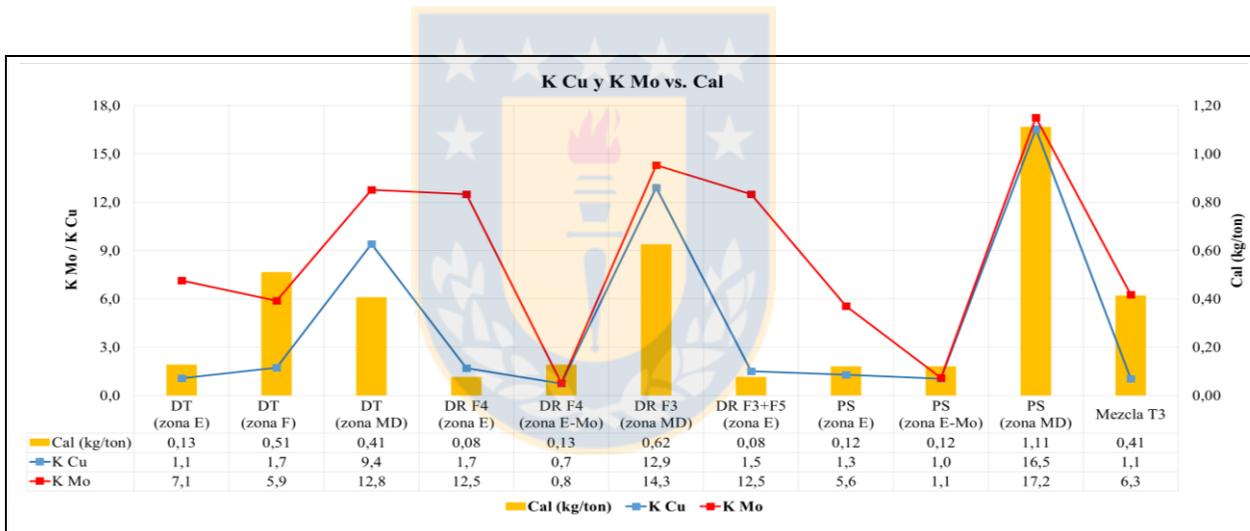


**Figura 7.14.** % Ley de Mo en Cola vs. % Recuperación Rougher Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

Al llevar a un gráfico del consumo de Cal con el K Cu y el K Mo (Figura 7.16.), se puede identificar que ambos K tienen una relación directamente proporcional al consumo de Cal. Lo que indicaría que al haber mayor cantidad de minerales arcillosos en la pulpa, es necesario aplicar más Cal. Sin embargo, el consumo de Cal muestra una mayor relación directa con el K Cu que con el K Mo, puesto que este último en algunas Zonas como las Zonas E principalmente, pareciera tener un comportamiento independiente. Además, las Zonas que requieren de mayor consumo de Cal son las tres Zonas MD, con un promedio de consumo de Cal de 0,71(kg/ton), seguidas de la Zona F con 0,51(kg/ton) y la Mezcla T-3 con 0,41(kg/ton), siendo que el promedio de consumo de Cal entre las otras Zonas es de 0,11(kg/ton).

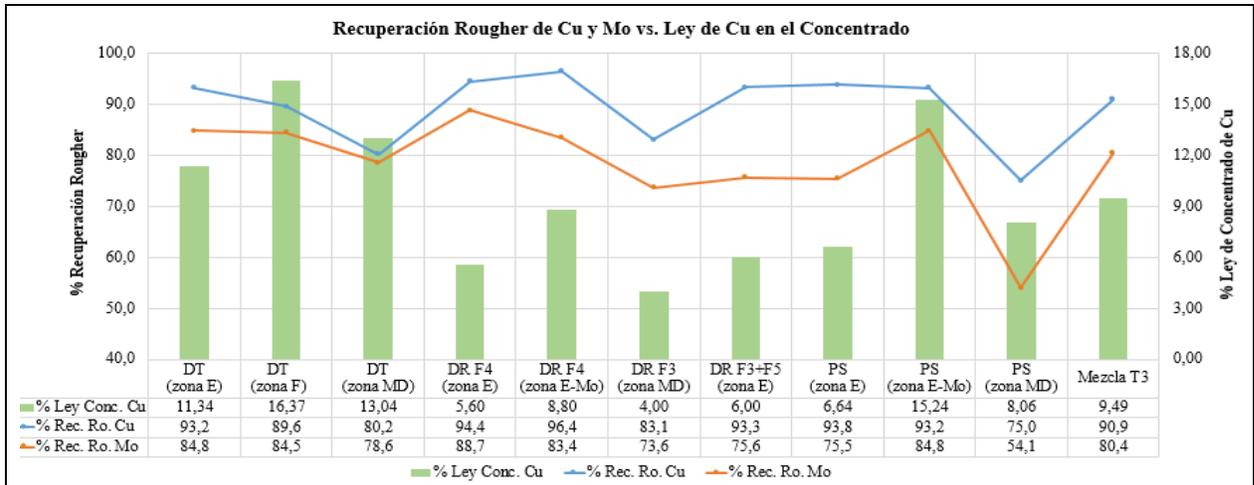


**Figura 7.15.** % Ley Cabeza de Mo vs. % Ley Concentrado de Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).



**Figura 7.16.** Consumo de Cal (kg/ton) vs. % K Cu/K Mo, de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

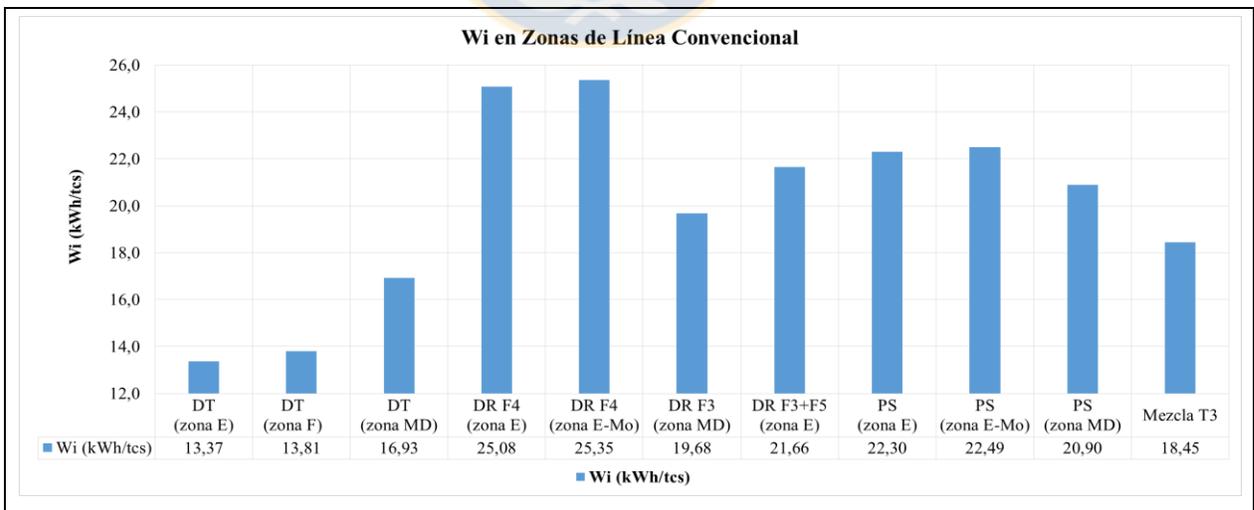
Analizando la Figura 7.17., las recuperaciones rougher de Cu y Mo se comportan de manera directamente proporcional a la calidad de la Zona, manifestando valores críticos en las Zonas MD con recuperaciones rougher de Cu menores a 83,1% y recuperaciones rougher de Mo de 54% en PS MD. Los valores más altos en recuperación rougher de Cu y Mo se observa para las Zonas E (y E-Mo) para los 3 sectores productivos, con un máximo de 96,4% en DR F4 E-Mo y 88,9% en DR F4 E respectivamente. Con respecto a la ley de Cu en el concentrado, las mejores leyes son aportadas por la Zona F del sector DT y para la Zona E-Mo de DR F4.



**Figura 7.17.** Recuperaciones Rougher de Cu y Mo versus Ley de Cu en el Concentrado.

## 7.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MOLIENDABILIDAD

Según el Test de moliendabilidad ( $W_i$ ), aplicado a las 11 muestras de las Zonas Geometalúrgicas, incluyendo la Mezcla T-3 (Figura 7.18.), los menores valores corresponden a las tres Zonas del sector DT con un promedio de 14,70 (kWh/tcs), mientras que el resto de las Zonas reflejan un mayor  $W_i$ , con un promedio de 22,99 (kWh/tcs), dentro de las que destacan las dos Zonas del sector DR F4 (Zona E y Zona E-Mo) con un promedio de 25,22 (kWh/tcs). Por lo que se concluye que el  $W_i$  podría estar relacionado a la litología de cada sector.



**Figura 7.18.** Test de Moliendabilidad ( $W_i$ ), de las muestras de las Zonas Geometalúrgicas que alimentan a Línea Convencional, incluyendo la Mezcla T-3 (muestreo Zonas Agosto 2018).

## 8. CÁLCULO DE POTENCIALES DE RECUPERACIÓN Cu-Mo Y LEY DE CONCENTRADO DE Cu

El objetivo principal con el que se realiza esta caracterización geometalúrgica de los sectores productivos que alimentan a la Línea Convencional, es utilizar información más detallada de cada sector, para obtener resultados más cercanos a la realidad (valores de la planta), y más confiables de las 35 variables (mineralógicas, metalúrgicas y leyes), entre los que destacan los potenciales de recuperación de Cu y Mo, y la ley de concentrado de Cu, calculadas en el PAM que se realiza a principio de cada mes.

### 8.1. POTENCIAL DE RECUPERACIÓN Cu-Mo Y LEY DE CONCENTRADO DE Cu EN PLANES DE PRODUCCIÓN MENSUAL

Basándose en lo anterior, es que se comparan los resultados del cálculo del PAM de las Zonas antiguas (mezcla y MD), con los resultados de las Zonas nuevas (Zona F, E, MD y E-Mo) para el mes de Octubre del año 2018. Esto, utilizando el método de cálculo estandarizado que más se ajusta a los resultados de la planta, cuya fórmula es la siguiente: 50% año móvil (M2) + 30% año móvil (restante) + 20% histórico fuera de año móvil (ANEXO B). Obteniéndose de ambos cálculos los siguientes resultados de los tres potenciales (Tabla 8.1.).

**Tabla 8.1.** Potenciales geometalúrgicos con Zonas nuevas y antiguas para el mes de Octubre del 2018. Las variables cuentan sólo con factor porcentaje sólido, factor de enriquecimiento y limpieza.

Variable Metalúrgica	Potencial de Zonas Geometalúrgicas	
	Antiguas	Nuevas
Ley de concentrado de Cu	15,5%	13,4%
Recuperación Rougher de Cu	89,6%	90,5%
Recuperación Rougher de Mo	70,2%	74,6%

Al utilizar las Zonas para el cálculo de los potenciales en el PAM, se consigue una mayor confiabilidad en los datos, puesto que la información utilizada es mucho más detallada que la implementada en los PAM anteriores (basada solamente en Zonas “MD” y “Mezcla”), por lo cual, es posible decir que el potencial de la ley de concentrado tiene una mejora en su precisión de -2,1%, mientras que las recuperaciones rougher de Cu y Mo manifiestan una precisión de +0,9% y +4,4% respectivamente.

Además, cabe mencionar que dichos potenciales ya fueron implementados en el PAM de Octubre del 2018, el cual se ajustó de mejor manera a los resultados obtenidos en planta.



## 9. CONCLUSIONES

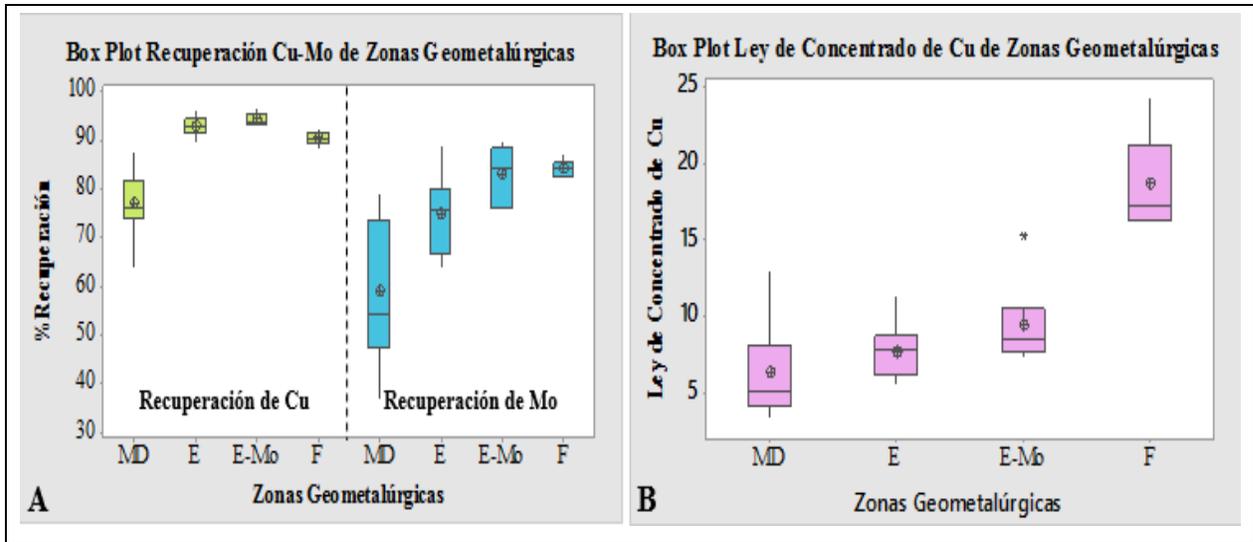
De acuerdo al trabajo desarrollado para calcular de potencial de recuperación Cu-Mo y potencial de ley de concentrado Cu a partir de la caracterización geológica e identificación de dominios geometalúrgicos del mineral de los sectores productivos Dacita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento, podemos mencionar lo siguiente:

Respecto a la caracterización geológica del mineral de los tres sectores productivos que alimentan a la línea Convencional, el principal aporte de bornita viene del sector DT (porción sur de este), la calcopirita y piritita del sector DR y de la porción norte del sector DT, mientras que la molibdenita proviene de los sectores PS y DR, la cual se encuentra asociada principalmente a fases minerales complejas como silicatos duros, filosilicatos, anhidrita/yeso, sulfuros, entre otros silicatos y sulfatos, no así los sulfuros de Cu que en todas las Zonas se encuentra predominantemente libre.

Se logró la definición de 4 Zonas Geometalúrgicas en total para los 3 sectores: Favorable (F), Estándar (E), Muy Desfavorable (MD) y E-Mo (Estándar Molibdenita), siendo esta última una Zona nueva alta en molibdenita. Dichas Zonas manifiestan un comportamiento distintivo para la recuperación de Cu, recuperación de Mo y ley de concentrado de Cu (Figura 9.1.), permitiendo oficializar estas 4 Zonas Geometalúrgicas (Tabla 9.1.) para su uso en el PAM.

La recuperación Cu-Mo, ley de concentrado de Cu y las mineralogías relativas de las Zonas MD, E y F definidas, son consistentes con las Zonas Geometalúrgicas propuestas para línea de procesamiento SAG, siendo sólo la Zona E-Mo exclusiva para línea Convencional, por lo tanto, esta metodología es aplicable a todos los sectores productivos como una herramienta de corto plazo.

La implementación de estas 10 Zonas en el PAM de Noviembre del 2018, permitió mejorar la representatividad geometalúrgica del mineral enviado al circuito de procesamiento Convencional, concluyendo en nuevas metas, las cuales se reflejaron principalmente en el aumento de un 4% en la recuperación colectiva de Mo, y de un 1% en la recuperación de Cu, mientras que en la ley de concentrado disminuye en un 2%. Por lo cual, la SGP decide seguir implementándolas en los siguientes Programas de Actividad Mensual.



**Figura 9.1.** A: Box Plot de recuperación Cu-Mo de Zonas propuestas.  
 B: Box Plot de ley de concentrado de Cu de Zonas propuestas.

**Tabla 9.1.** Resumen de las Zonas Geometalúrgicas propuestas (modificado de Mejías, 2018).

Zonas	Característica Geológica Macroscópica	Característica Metalúrgica	Microfotografía
<b>MD</b> (Muy Desfavorable)	Material Quebrado (Dilución) $\geq 35\%$	Baja recuperación Cu-Mo, baja ley de concentrado de Cu, alta pérdida de CuT en relave, y muy alto consumo de cal	75µm
<b>E</b> (Estándar)	$\geq 1,6\%$ de Calcopirita en Base Mineral	Muy alta recuperación Cu, moderada recuperación de Mo, moderada ley de concentrado de Cu	50µm
<b>F</b> (Favorable)	$\geq 0,9\%$ de Bornita en Base Mineral	Moderada recuperación Cu, muy alta recuperación de Mo, muy alta ley de concentrado de Cu	50µm
<b>E-Mo</b> (Estándar-Molibdenita)	$\geq 0,15\%$ de Molibdenita en Base Mineral, $> 0,09\%$ MoT	Alta recuperación de Cu, alta a muy alta recuperación de Mo, moderada ley de concentrado de Cu y muy alta ley de MoT	50µm

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Sector Productivo:** Es un sector que puede estar abandonado o en desarrollo, y que presenta obras mineras, las cuales, generan las condiciones adecuadas para iniciar la producción del sector mismo, en este caso, en el yacimiento El Teniente, este debe cumplir con: obras en UCL (Under Cut Level o Nivel de Hundimiento), que faciliten el hundimiento; obras en producción que faciliten la extracción segura (calles, zanjas, fortificaciones terminadas, etc.); desarrollo de un sistema de ventilación, ya sea por un subnivel de ventilación o un sistema apropiado para este; desarrollo de obras para el proceso mismo de extracción y agotamiento del mineral; y finalmente todo lo que sea relacionado con barrio cívico. Para el caso de El Teniente, existen actualmente 10 sectores productivos, que tienen un potencial mineral económico, actualmente trabajados por un proceso de extracción por panel caving, excepto el Rajo Sur que es explotado en superficie.

**Línea Convencional:** Corresponde al tratamiento que se le da al material fino que es extraído en la mina. Dentro de esta línea se trabaja el mineral de los sectores Pacífico Superior (PS), Diablo Regimiento (DR) y Dacita (DT), los cuales tienen su propio chancador primario. Cabe mencionar que en la etapa de chancado se suma al proceso convencional el material transportado por la correa T-3 desde la línea SAG.

**Línea SAG:** Corresponde al tratamiento que se le da al material grueso que es extraído de la mina. Dentro de esta línea se trabaja el mineral de los sectores productivos Reservas Norte (NN), Esmeralda (ES), SUAPI (SP), Pipa Norte (PN), Panel Reno (PR), Pilar Norte (PI) y Panel Esmeralda (PE).

**Línea Sewell:** Corresponde al tratamiento que se le da al material extraído del Rajo Sur, que cuenta con su propio chancador primario, molienda y flotación.

**PAM:** Programa de actividades mensuales, en base a las mantenciones mina/planta, y al potencial geometalúrgico de cada sector productivo (recuperaciones, leyes de concentrado, mineralogía, entre otros). A partir de estos criterios se le pide que produzcan cierto tonelaje a los distintos sectores productivos.

**PPM:** Programa Producción Mensual. Corresponde a un programa que se realiza a fin de mes, donde se indica la moda de tonelaje diario que se espera cumplir en cada punto de extracción de

un sector productivo determinado, para el mes entrante. Esto en base a distintos parámetros como humedad, leyes y estrategias de espaciamento entre puntos (comportamiento de clusters).

**tpd:** Toneladas extraídas por día. Ya sea a nivel de punto de extracción, de sector productivo, o a nivel de la División.

**Punto de extracción (PEX):** Es la unidad mínima de extracción en el panel caving. Sobre este punto se encuentra la columna de material fragmentado, que por gravedad llega al nivel de producción.

**Talud del Punto de Extracción:** Pendiente generada por el mineral que desemboca en el punto de extracción.

**Condición de Talud Semi-abocado:** Existe un espacio menor sin mineral entre el último marco de seguridad y el talud de mineral en un punto de extracción.

**Condición de Talud No Abocado:** Existe un espacio considerable sin mineral en un punto de extracción (>50% de la superficie), en el plano que define el último marco de seguridad.

**Condición de Talud Colgado:** Las rocas forman un arco resistente en un punto de extracción, por lo que no hay formación de talud de mineral que llegue hasta el plano que define el último marco de seguridad. Se observa un gran espacio vacío.

**Muestra:** Parte o porción extraída de un sector de un depósito mineral por métodos que permiten considerarla como representativa de él.

**Rechazo o Cutting:** Corresponde una porción de la muestra tomada en un punto, que es apartada durante el proceso de preparación mecánica. Corresponde a 1 capacho (vaso) del segundo divisor rotatorio, de aproximadamente 250 gramos.

**Material quebrado o dilución:** Corresponde a todo el material que se encuentra sobre la columna in situ del punto de extracción, generalmente de fragmentación fina, con color ocre o gris. Este material quebrado tiene gran incidencia en la recuperación metalúrgica, provocando la disminución de esta.

**Punto de Entrada de la Dilución (PED):** Define un punto de mezcla y corresponde al momento en que material estéril o de baja ley, aparece por primera vez en los puntos de extracción. En este

momento comienza la dilución de un punto de extracción o sector productivo, iniciándose el proceso irreversible de pérdida de fino y disminución de la recuperación de reservas.

**Altura de extracción:** Es la altura de la columna de roca por sobre el punto de extracción que se quiere extraer o que ya se ha extraído.

**Uniformidad:** Concepto utilizado en minería subterránea para referirse a la extracción de un punto y sus vecinos en función del tiempo, de modo que se logre la interacción y se define como la razón entre la diferencia de tonelaje extraído entre un punto de extracción y la media de sus vecinos, en un período determinado, con la media de sus vecinos.

$$U = \frac{[\text{TON. EXTRAÍDO PUNTO} - \text{TON. MEDIO EXTRAÍDO VECINOS}]}{\text{TON.MEDIO EXTRAÍDO VECINOS}}$$

**Geometalurgia:** Corresponde a la información metalúrgica, geológica, geoestadística y minera que busca reducir el riesgo técnico y operacional de un proyecto minero, a través de la creación de un modelo predictivo para plantas de procesamiento mineral, basado en el muestro sistemático de un depósito mineral para la realización de pruebas metalúrgicas.

**Zona F:** Corresponde a un área determinada del sector productivo, que a partir de mapeo geológico de cuttings y pruebas metalúrgicas, es definida como “Favorable”. Esto debido a que presenta un alto porcentaje de bornita (mayor o igual a 35% en base sulfuro), el cual provoca una alta recuperación de Cu-Mo, y muy alta ley de concentrado de Cu.

**Zona E:** Corresponde a un área determinada del sector productivo, que a partir de mapeo geológico de cuttings y pruebas metalúrgicas, es definida como “Estándar”. Esto debido a que presenta un alto porcentaje de calcopirita (mayor o igual a 50%), el cual provoca una muy alta recuperación de Cu-Mo, y una alta ley de concentrado de Cu.

**Zona D:** Corresponde a un área determinada del sector productivo, que a partir de mapeo geológico de cuttings y pruebas metalúrgicas, es definida como “Desfavorable”. Esto debido a que presenta un alto porcentaje de pirita (mayor o igual a 45% base sulfuro), el cual provoca una baja ley de concentrado de Cu y una baja recuperación de Cu-Mo.

**Zona MD:** Corresponde a un área determinada del sector productivo, que a partir de observación de los PEX terreno, mapeo geológico de cuttings y pruebas metalúrgicas, es definida como “Muy

Desfavorable”. Esto debido a que presenta un gran porcentaje de material quebrado o de dilución (mayor o igual a 35%), el cual provoca una baja recuperación de Cu-Mo en el proceso de flotación, asociada a un aumento del “factor K”, además de una gran pérdida de CuT en relave, y un muy alto consumo de cal.

#### **Estados de los Puntos de Extracción:**

<b>ESTADO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
Operativo	O	Punto que se encuentra en condiciones aptas para producir.
Limitado	L	Punto en que se ha restringido la extracción a un tonelaje máximo para un período determinado de tiempo.
Reabierto	S	Punto que pasa de un estado L o C a operativo.
Cerrado	C	Punto en que se detiene temporalmente la extracción por baja ley de Cu o impurezas.
Reparación	R	Punto que están fuera de producción por arreglo de su estructura.
Colgado	T	Punto en que el flujo de mineral es interrumpido, formando un arco natural de soporte, ya sea por planchones, colpas de gran tamaño o humedad.
Barrera	M	Punto que controla el ingreso de la dilución lateral desde zonas explotadas.
Razón Operacional	W	Punto que permanece fuera de producción por trabajos especiales y temporales, tales como: sondajes en cruzado de acceso o vías de tráfico, desarrollo de labores cercanas y/o transito temporal de suministros.
Hundido	H	Punto que ha sufrido quiebre del pilar y hundimiento del cerro.
Cortado	A	Puntos en que se termina definitivamente la extracción por agotamiento o abandono. En el caso de agotamiento, la extracción del punto es igual o mayor que el 100% y presentan ley inferior a la ley de cierre.

**Condición de Talud Abocado:** El talud del mineral en este punto de extracción, cubre completamente la superficie del punto de extracción. Y por lo tanto, está permitido muestrear dicho punto.

**Test de Bond:** Test que se realiza en laboratorio metalúrgico, donde se mide el tiempo que demora el molino en reducir el tamaño de una muestra hasta llegar a cierta granulometría esperada.

**QEMSCAN:** Es el acrónimo inglés de Evaluación Cuantitativa de Materiales mediante Microscopio Electrónico de Barrido, está configurado para medir la variabilidad mineralógica basándose en la química a escala micrométrica. Los datos generados por este instrumento pueden

ayudar a tomar decisiones estratégicas en los niveles de adquisición, exploración, viabilidad y plantas. Proporcionando: mapas de partículas, análisis de textura ocluida y liberada, ensayo químico por tamaños y minerales y búsqueda de trazas de mineral.

**Recuperación de Cu:** Es la cantidad, expresada en porcentaje, de la especie de interés que se obtiene en el concentrado de una prueba o proceso de flotación, respecto de la misma especie contenida en su propia alimentación. El ideal en División El Teniente es que este porcentaje sea mayor a 88%.

**Ley de concentrado de Cu:** corresponde al porcentaje de Cu que tiene el producto final de la flotación, es decir del concentrado.

**Recuperación colectiva de Cu-Mo:** es el porcentaje de Cu y Mo que se recuperó luego de la flotación rougher.

**Recuperación selectiva de Mo:** Es el porcentaje de Mo que se recuperó luego de la flotación scavenger, o de la flotación selectiva de Mo (una vez ya separado del Cu).

**CuT:** Corresponde al Cu total de la muestra expresado en porcentaje.

**MoT:** Corresponde al Molibdeno total de la muestra, expresado en porcentaje.

**CuNS:** Cantidad de cobre de una muestra que es disuelta por la acción de un agente lixivante (un ácido u otros), en una prueba especialmente diseñada para tal fin. Por lo tanto corresponde al Cu no soluble en el proceso de flotación, el cual es inversamente proporcional a la recuperación de Cu.

**MoOX:** Cantidad de molibdeno de una muestra que es disuelta por la acción de un agente lixivante (un ácido u otros), en una prueba especialmente diseñada para tal fin. Por lo tanto, corresponde al Mo no soluble en el proceso de flotación, el cual es inversamente proporcional a la recuperación de Mo.

**Factor K de Cu:** Es la relación entre CuNS y CuT, multiplicada por 100 ( $[\text{CuNS}/\text{CuT}] \times 100$ ).

**Factor K de Mo:** Es la relación entre MoOx y MoT, multiplicada por 100 ( $[\text{MoOx}/\text{MoT}] \times 100$ ).

## REFERENCIAS

**ARÉVALO, A. Y FLOODY, R. 1995.** Modelo global de alteración y mineralización. Estudio geometalúrgico del mineral a explotar a mediano y largo plazo. Codelco Chile, División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 158 pp., Rancagua.

**ARÉVALO, A.; FLOODY, R. Y OLIVARES, A. 1998.** Modelo geometalúrgico. Estudio geometalúrgico del mineral a explotar a mediano y largo plazo (GL-133/98). CODELCO, División El Teniente, GRMD, Superintendencia Geología (Inédito): 76 pp., Rancagua.

**ARREDONDO, C. 1994.** Distribución, caracterización y génesis de los cuerpos de brecha ubicados en el sector central este del yacimiento El Teniente. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 99 pp., Santiago.

**BURGOS, L. 2002.** Petrografía y geoquímica de la diabasa y diques basálticos que constituyen las “andesitas de la mina” en el yacimiento El Teniente. VI Región, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra (Inédito): 108 pp., Concepción.

**CANNELL, J. 2004.** El Teniente porphyry copper-molybdenum deposit, central Chile: Unpublished Ph.D. thesis, Hobart, Australia, University of Tasmania, 299 p.

**CANNELL, J.; COOKE, D.R.; WALSH, J.L. Y STEIN, H. 2005.** Geology, mineralization, alteration, and structural evolution of the El Teniente porphyry Cu-Mo deposit: *Economic Geology*, v. 100, p. 979–1003.

**CASTRO, R.L. Y PAREDES, P.S. 2014.** Empirical observations of dilution in panel caving. *The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. Vol. 114. 455-462.

**CASTRO, S.; LÓPEZ-VALDIVIESO, A. Y LASKOWSKI, J.S. 2016.** Review of the flotation of molybdenite. Part I: Surface properties and floatability. *International Journal of Mineral Processing*. 148, 48-58.

**CHARRIER, R. 1973.** Geología regional de la provincia de O'Higgins y Colchagua, Vol. 7, 1-69 pp. Santiago, Chile.

**CHARRIER R., 1981.** Geologie de chilenischen haupt-kordillere zwischen 34° und ihre tektonische, magmatische und paläo-geographische entwicklung. Berliner geowissenschaft abhandlung, 456-471 pp. Berlín, Alemania.

**CHARRIER, R., 1983.** Carta geológica de Chile. Escala 1:250.000. Hoja El Teniente. Universidad de Chile. Departamento de Geología. Santiago, Chile.

**CHARRIER, R. Y MUNIZAGA, F. 1979.** Edades K-Ar de volcanitas cenozoicas del sector cordillerano del Río Cachapoal, Chile (34°15' L.S.). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 7: 41-51.

**CHARRIER R.; WYSS A.; FLYNN J.; SWISHER C.; SPIGHIGER S. Y ZAPATTA F. 1994.** Nuevos antecedentes estratigráficos y estructurales para las formaciones Coya-machalí y abanico, entre 33° 50' y 35°, Cordillera Principal chilena. VII Congreso Geológico Chileno, Vol. 2. 1316-1319 pp. Santiago, Chile.

**CHARRIER, R.; HÉRAIL, G.; FLYNN, J.J; RIQUELME, R.; GARCIA, M.; CROFT, D. Y WYSS, A.R. 1999.** Opposite thrust-vergencies in the precordillera and western cordillera in northern Chile and structurally linked cenozoic paleoenvironmental evolution. proceedings of the fourth international symposium on andean geodynamics (ISAG), göeting, Germany, editions IRD, 155-158 pp.

**CHARRIER, R.; WYSS, A.; FLYNN, J.; SWISHER III, C.; MARK, N.; ZAPATTA, F.; MACKENNA, M. Y NOVACEK, N. 1996.** New evidence for late mesozoic-early cenozoic evolution of the Chilean Andes in the upper Tinguiririca Valley (35° S, Central Chile). *Journal of South American Earth Sciences*, N° 5/6, Vol. 9: 393-422.

**CHARRIER, R.; BAEZA, O.; ELGUETA, S.; FLYNN, J.; GANS, P.; KAY, S.; MUÑOZ, N.; WYSS, A. Y ZURITA, E. 2002.** Evidence for cenozoic extensional basin development and tectonic inversión south of the flat slab segment, Southern Central Andes, Chile (33°-36° L.S.). *South American Earth Sciences*, 23 pp.

**CLARK, A.; FARRAR, E.; CAMUS, F. Y QUIRT, G. 1983.** K-Ar age data for the El Teniente porphyry copper deposit, central Chile. *Economic Geology*, Vol. 78, 1.003- 1.006 pp.

**CROPP, A.F.; GOODALL, W.R. Y BRADSHAW, D.J. 2013.** The influence of textural variation and gangue mineralogy on recovery of copper by flotation from porphyry ore-A review. The Second AUSIMM International Geometallurgy Conference. Brisbane. 279-291.

**CODELCO. 2004.** “Manual de Tiraje, Mina El Teniente”. Superintendencia General Planificación Minco, Control Producción Mina.

**CODELCO. 2007.** Plano de ubicación del cráter año 2007. División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito).

**CODELCO. 2011.** El Teniente, pasado, presente y futuro. Dirección de Comunicaciones. Gerencia de Sustentabilidad y Asuntos Externos, Codelco, División El Teniente.

**CODELCO. 2017.** Memoria Anual 2017. 328p.

**CODELCO. 2018a.** Reporte de flujo Octubre del 2018. Reporte interno no publicado.

**CODELCO. 2018b.** Carretera el Cobre, Tu seguridad primero. Reporte interno no publicado. Superintendencia de Transportes, Gerencia de Servicios, El Teniente.

**CORVALAN J.; AGUIRRE L. Y RUIZ, C. 1965.** Geografía económica de Chile, CORFO, Vol. 2, 263 pp.

**CUADRA, P. 1986.** Geocronología K-Ar del yacimiento El Teniente y áreas adyacentes. *Revista Geológica de Chile*, N°27: 3-26.

**DAVIDSON, J. Y VICENTE, J.C. 1973.** Características paleogeográficas y estructurales del área fronteriza de las nacientes del Teno (Chile) y Santa Elena (Argentina) (Cordillera Principal, 35° a 35° 15' latitud S). V Congreso Geológico Argentino, Buenos Aires, Vol. 5, 11-55 pp.

**ENRIONE, A. 1972.** Estabilidad de los terrenos del área de Alto Colón. CODELCO, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito): 10 pp., Rancagua.

**FALCÓN, M. Y RIVERA, O. 1998.** Estudio geológico distrital de la División El Teniente de Codelco-Chile, escala 1:25.000. CODELCO, Vicepresidencia de Exploraciones y Asociaciones Mineras, Corporación Nacional del Cobre Codelco-Chile (Inédito): 108 pp., Santiago.

**FALCÓN, F. Y RIVERA, O. 2000.** Secuencias de relleno de cuencas volcano-tectónicas transversales Oligoceno-Miocenas en los alrededores del Yacimiento El Teniente (33°45''-34° 30'' S). IX Congreso Geológico Chileno, Puerto Varas, v.1, pp. 819-823.

**FAUNES, A. 1981.** Caracterización de la mineralogía metálica y de alteración en un sector del stock tonalítico del yacimiento El Teniente. Memoria de Título. Universidad de Chile, Departamento de Geología, 175 pp. Santiago, Chile.

**FLOODY, R. 2000.** Estudio de vulnerabilidad geológica-geotécnica de la Chimenea de Brechas Braden. Fase 1, Geología de Brechas Braden (GL-044/00). Codelco Chile, División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 90 pp., Rancagua.

**GARRIDO, I. 1992.** Resumen nuevo modelo geológico-estructural y geotécnico yacimiento El Teniente. CODELCO, División El Teniente, Departamento de Geología. 99-151 pp. Rancagua, Chile.

**GODOY, E. 1993.** Geología del Área entre los ríos Claro del Maipo y Cachapoal. Proyecto Codelco-Chile y Servicio Nacional de Geología y Minería (inédito): Vol. 1: 78 pp., Santiago.

**GÓMEZ, R. 2001.** Geología de las unidades volcanogénicas cenozoicas del área industrial de la mina El Teniente, entre Colón y Coya, Cordillera Principal de Rancagua, VI Región. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito): 143 pp., Santiago.

**GUZMÁN, C. 1991.** Alteración y mineralización de los pórfidos dioríticos del sector central, yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 145 pp., Santiago.

**HARRISON, D. 2009.** Caracterización estructural bajo el nivel teniente 8, mediante el análisis de sondajes ortogonales orientados, para el proyecto nuevo nivel mina, yacimiento El Teniente, VI región, Chile. Memoria de Título. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra. 127 pp. Concepción, Chile.

**HOLUSZKO, M.E.; FRANZIDIS, J.P.; MANLAPIG, E.V.; HAMPTON, M.A.; DONOSE, B.C. Y NGUYEN, A.V. 2008.** The effect of surface treatment and slime coatings on ZnS hydrophobicity. *Minerals Engineering* 21. 958-966.

**HOWELL, F. Y MOLLOY, J. 1960.** Geology of the Braden Orebody, Chile. *Economic Geology*, Vol. 55, p. 863-905.

**KAY, S. Y KURTZ, A. 1995.** Magmatic and tectonic characterization of the El Teniente region. CODELCO, División El Teniente, Departamento de Geología. 180 pp. Rancagua, Chile.

**KLÖHN, C. 1960.** Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central, provincias de Santiago, O'Higgins, Colchagua y Curicó. Instituto de Investigaciones Geológicas, Vol. 8, 95 pp. Santiago, Chile.

**KURTZ, A.; KAY, S.; CHARRIER, R. Y FARRAR, E. 1997.** Geochronology of Miocene plutons and exhumation history of the El Teniente region, Central Chile (34°-35°). *Revista Geológica de Chile*, Vol. 16: 145-162.

**LETELIER, M. 2017.** Inventario anual de recursos 2016, yacimiento El Teniente (GRMD-SGL-INF-004/2017). Codelco Chile, División El Teniente, Superintendencia de Geología: 28 pp., Rancagua.

**MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MCWILLIAMS, M.; FANNING, M.; MATHUR, R.; RUIZ, J. Y ZENTILLI, M. 2004.** New chronology for El Teniente, Chilean Andes, from U-Pb, 40Ar/39Ar, Re-Os, and fission-track dating: implications for the evolution of a supergiant porphyry Cu-Mo deposit. *Society of Economic Geologists*, Vol. 11, 15-54 pp.

**MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MC WILLIAMS.; THIELE, K.; ARÉVALO, A.; ZUÑIGA, P. Y FLOODY, R. 2001.** 40Ar/39Ar geochronology of the El Teniente porphyry copper deposit. III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Vol. 1, 496-499 pp. Pucón, Chile.

**MEJÍAS, M.O. 2013.** Informe de pasantía planta Sewell – Colón. Informe interno no publicado. Superintendencia de Gestión Producción. 47 pp.

**MEJÍAS, M.O.; SALAZAR, M. Y DIEZ, E. 2014.** Geological characterization of drawpoints in the El Teniente mine: An improvement tool for short-term mine-plant planning. 2nd International Seminar on Geometallurgy. GEOMET. Santiago, Chile.

**MEJÍAS, M.O.; DIEZ, E. Y SALAZAR, M. 2015.** Características y efectos geo-minero-metalúrgicos del material de sobrecarga del sector productivo Reservas Norte. División El Teniente, Codelco-Chile. XIV Congreso Geológico Chileno. La Serena, Chile.

**MEJÍAS, M.O. 2018a.** Informe interno División El Teniente no publicado. GRMD-SGP-NI-0065-2018. Informe de Potencial Geometalúrgico Mineral Mina Subterránea, PAM Septiembre 2018. Superintendencia Gestión Producción.

**MEJÍAS, M.O. 2018b.** Informe interno División El Teniente no publicado. GRMD-SGP-NI-0082-2018. Informe de Potencial Geometalúrgico Mineral Mina Subterránea, PAM Noviembre 2018. Superintendencia Gestión Producción.

**MEJÍAS, M.O. 2018c.** Informe interno División El Teniente no publicado. Antecedentes geometalúrgicos del material quebrado. Superintendencia Gestión Producción.

**MUNIZAGA, F.; MAKSAEV, V.; MATHUR, R.; RUÍZ, J.; MCWILLIAMS, M. Y THIELE, K. 2002.** Understanding molybdenite Re-Os ages from the El Teniente porphyry copper deposit, Chile. 2002 Denver Annual Meeting. Paper N°152-5, 1 pp.

**MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MC WILLIAMS, M.; FANNING, M.; MATHUR, R.; RUÍZ, J. Y ZENTILLI, M. 2004.** New Chronology for El Teniente, Chilean Andes, from UPb,  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ , Re-Os, and Fission-Track Dating: Implications for the Evolution of a Supergiant Porphyry Cu-Mo Deposit. Society of Economic Geologists, Special Publication 11, pp.15-54.

**MAKSAEV, V.; MUNIZAGA, F.; MC WILLIAMS, M.; THIELE, K.; ARÉVALO, A.; ZÚÑIGA, P. Y FLOODY, R. 2001.**  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  geochronology of the El Teniente Porphyry Copper Deposit. III Simposio Sudamericano de Geología Isotópica, Pucón, Chile. Extended Abstracts (CD-ROM): p. 496-499.

**NDLOVU, B.; FORBES, E.; FARROKHPAY, S.; BECKER, M.; BRADSHAW, D. Y DEGLON, D. 2014.** A preliminary rheological classification of phyllosilicate group minerals. *Minerals Engineering* 55. 190-200.

**OJEDA, J.; HERNÁNDEZ, E.; OSSANDÓN, G.; ENRIONE, A. Y MESTRE, A. 1980.** El pórfido cuprífero El Teniente. Codelco Chile, Departamento de Geología, División El Teniente, Superintendencia de Geología (Inédito). 66 pp., Rancagua.

**OSSANDÓN, G. 1974.** Petrografía y alteración del pórfido dacítico, yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito). 189 pp., Santiago.

**PENG, Y. Y ZHAO, S. 2011.** The effect of surface oxidation of copper sulfide minerals on clay slime coating in flotation. *Minerals Engineering* 24, 1687-1693.

**REYES, F. 1979.** Estudio geológico-estructural del yacimiento el teniente. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 196 pp.

**RIVERA, O. Y CEMBRANO, J. 2000.** Modelo de formación de cuencas volcanotectónicas en zonas de transferencia oblicuas a la cadena andina: El caso de las cuencas Oligo-Miocenas de Chile Central y su relación con estructuras NNW-NW (33° 00'-34° 30'S). Congreso Geológico Chileno N° IX. Vol. 1: 631-636. Puerto Varas.

**RÍOS, C. 2016.** Estudio del impacto de las variables mineralógico-texturales en el proceso de flotación de la mezcla de minerales del sector productivo Reservas Norte, División El Teniente. VI Región Libertador Bernardo O'Higgins, CODELCO-Chile. Memoria para optar al título de Geólogo. Departamento Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Concepción, Chile.

**SIM. 2018.** Manejo de Materiales Procesos Principales Mina. Informe no publicado. Superintendencia Ingeniería Mina.

**TOBAR, G. 2016.** Estudio del blending en molienda húmeda, flotación y sedimentación, para minerales de cobre. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Metalúrgico. Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción, Chile.

**ROJAS, E.; MOLINA, R. Y CAVIERES, P. 2001.** Preundercut caving in El Teniente mine, Cole. En Hustrulid, W. R. y Bullok, R. (Eds.) *Underground Mining Methods; engineering fundamental and international case studies*. Colorado, SME.

**SGL-GRMD. 2018.** Mapa general en planta, mina el Teniente. Reporte interno.

**SGP. 2018.** Reporte datos diarios planta. Reporte interno no publicado. Superintendencia de Gestión Producción (SGP).

**SKEWES, M. 1999.** Notas petrográficas sobre algunas brechas de El Teniente. Codelco Chile División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 34 pp., Rancagua.

**SKEWES, M. 2000.** Rocas ígneas del depósito de cobre El Teniente, Chile. Codelco-Chile, División El Teniente, Superintendencia Geología (Inédito): 94 pp., Rancagua.

**SKEWES, M. Y ARÉVALO, A. 1997.** Andesitas de la mina El Teniente. Actas del VIII Congreso Geológico Chileno, Vol. 2, pp. 1.162-1.164. Antofagasta.

**SKEWES, M. Y ARÉVALO, A. 2000.** El complejo de gabros y diabasas que hospeda a las brechas mineralizadas del depósito de cobre El Teniente, Chile Central. Actas del IX Congreso Geológico Chileno, Vol. 1, pp. 380-384. Puerto Varas.

**SKEWES, M.; ARÉVALO, A.; FLOODY, R.; ZÚÑIGA, P. Y STERN, C.H. 2002.** The giant El Teniente breccia deposit: Hypogene copper distribution and emplacement. *Society of Economic Geologist, Special Publication 9, Chapter 14*, pp. 299-332.

**SKEWES, M. Y STERN, CH. 1995.** Genesis of the Giant Late Miocene to Pliocene copper deposits of Central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution. *International Geology review*, Vol. 37, p. 893-909.

**STEWART, J. Y ARAYA, R. 1972.** Programa de exploración minera SOMEX-IIG en la alta Cordillera de los Andes entre los paralelos 34°10' y 35°10' latitud sur. Instituto de Investigaciones Geológicas (Informe inédito): 65 p. Santiago.

**URIBE, L.; GUTIERREZ, L. Y JEREZ, O. 2016.** The depressing effect of clay minerals on the flotability of chalcopyrite. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. Vol. 37, No. 4, 227-235.

**VILLALOBOS, J. 1975.** Alteración Hidrotermal en las Andesitas del Yacimiento El Teniente. Tesis de Doctorado. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito). 125 pp., Santiago.

**ZHAO, S. Y PENG, Y. 2012.** The oxidation of copper sulfide minerals during grinding and their interactions with clay particles. *Powder Technology* 230. 112-117.

**ZHOU, L. 2010.** Molybdenite flotation. Thesis submitted for the degree of Doctor of Philosophy: Applied Science. Ian Wark Reserch Institute. ARC Special Research Centre for Particle and Material Interfaces. University of South Australia.

**ZÚÑIGA, P. 1982.** Alteración y mineralización hipógenas en el sector oeste del yacimiento El Teniente. Memoria de Título, Universidad de Chile, Departamento de Geología, 104 pp. Santiago Chile.

