



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

INFLUENCIA DE LA GEOLOGÍA Y GEOTECNIA EN
PARÁMETROS DE CHANCABILIDAD EN YACIMIENTO EL
TENIENTE, VI REGIÓN CHILE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

CRISTÓBAL MANUEL GAETE MARTÍNEZ

PROFESORA GUÍA:
SOFÍA REBOLLEDO LEMUS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
SERGIO SEPÚLVEDA VALENZUELA
LUDOVINA BURGOS RAMÍREZ

SANTIAGO DE CHILE

2020

INFLUENCIA DE LA GEOLOGÍA Y GEOTECNIA EN PARÁMETROS DE CHANCABILIDAD EN YACIMIENTO EL TENIENTE, VI REGIÓN, CHILE

El proceso de chancado representa el 60% del costo energético de una planta de procesamiento, siendo necesaria su optimización. Para ello se ocupan parámetros que miden la chancabilidad de un tipo de roca, como el Chancado LEIT (C_{wi}) o el Índice de Chancado obtenido de SPI (CI), también es necesario controlar el efecto de la abrasión de la roca sobre las piezas del chancador, donde se utiliza el Índice de Abrasión (A_i).

El presente trabajo tuvo como objetivo principal encontrar los parámetros geológicos y/o geotécnicos que influyen en los parámetros de chancado (C_{wi} , CI y A_i) y establecer dominios de control. Para ello se realizó un análisis detallado de las bases de datos de geometalurgia y estudios mineralógicos para determinar los factores que influyen en el proceso de chancado.

A partir de lo anterior, se encontraron las relaciones para los parámetros de chancado, donde C_{wi} se ve controlado por la asociación mineral clorita-muscovita/sericita, relacionado al comportamiento mecánico de estos minerales. Con respecto al CI, este se ve influenciado de forma inversa por la frecuencia de vetillas blandas. Además, A_i posee un fuerte control litológico, siendo el Pórfido Dacítico el que genera un mayor daño a las piezas del chancador. Con la combinación de CI y C_{wi} se generaron dominios que caracterizaron la capacidad de chancado del yacimiento, donde los sectores productivos de la zona Norte corresponden a los que poseen una mayor dificultad de chancado.

*En dedicatoria a mi abuela Hilda
Ravanal y a mi madre Loreto
Martínez. Me formaron y
enseñaron a ser perseverante y seguir
mis sueños.*

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi madre Loreto Martínez por ser mi apoyo y una inspiración para seguir mis sueños. Siempre es has estado ahí incondicionalmente.

También agradecer a mi novia Helena Silva por su compañía y apoyo entregado en estos hermosos años que hemos estado juntos, cumpliendo metas uno al lado del otro, ayudándonos a crecer para ser la mejor versión de nosotros mismos.

Agradecer a mis mejores amigos David, Andrés, Matías, Alejo, Lissy, Cami, Rodri, Cristian, Kevin y Yorch, que me motivaron con los buenos momentos. Ustedes ayudaron a formar una de las etapas más bonitas de mi vida.

Agradecer a mi profesora guía Sofia Rebolledo tanto por la motivación que siempre entregó en el salón de clases, como por los consejos y retroalimentaciones que hicieron que este trabajo tomara forma. También a mi profesora co-guía Ludovina Burgos por confiar en mí y siempre hacerme ver las cosas desde otro punto de vista, ayudándome a crecer como profesional.

Agradecer a las personas de la unidad de geología mina Roberto, Diego, Jack, Pauli, Marcelo y Carlos por entregarme información y consejos para realizar mi estudio. También agradecer en especial a la unidad de geometalurgia, a Alejandra Garrido, Carolina Portilla, Karen Osorio, Susana Fonseca y Carolina Becerra, además de los memoristas Enrique Crisóstomo y Sebastián Marambio y una mención especial para la Mary y la Caro Segovia por todo el apoyo, retroalimentación, grandes consejos y momentos de felicidad. Me ayudaron a crecer y que la estadía en la división fuera maravillosa. Gracias por todo.

TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción	1
1.1	Antecedentes generales Mina El Teniente	1
1.2	Motivaciones y problemática.....	2
1.2.1	Objetivo general.....	5
1.2.2	Objetivos específicos.....	5
1.3	Ubicación y vías de acceso	6
1.4	Trabajos anteriores relacionados	8
1.5	Metodología.....	10
1.5.1	Etapa de recopilación de información relevante.....	10
1.5.2	Etapa de recopilación de bases de datos y modelos dentro del yacimiento.....	11
1.5.3	Determinación de rangos y disposición en el espacio de los datos	14
1.5.4	Estudio de las relaciones entre los parámetros de chancado, geotécnicos y geológicos por sectores	15
1.5.5	Visita técnica a laboratorio externo.....	18
1.5.6	Ensayos utilizados y métodos de muestreo	19
1.5.7	Ensayos Geotécnicos.....	26
1.5.8	Métodos de muestreo.....	29
2	Teoría de conminución y procesos de chancado en división El Teniente	31
2.1	Mecanismos de fractura	32
2.2	Tipos de chancadores.....	35
2.3	Procesos de chancado en División El Teniente.....	38
2.3.1	Proceso de chancado interior mina.....	39
2.3.2	Proceso de planta chancado Sewell.....	40
2.3.3	Proceso de planta chancado Colón	41
3	Marco Geológico	44
3.1	Introducción.....	44
3.2	Marco Geotectónico	44
3.3	Geología	46

3.3.1	Rocas Estratificadas.....	46
3.3.2	Rocas Intrusivas.....	52
3.3.3	Estructuras.....	53
3.4	Geología del yacimiento El Teniente.....	55
3.4.1	Unidades Litológicas.....	57
3.4.2	Geología Estructural.....	61
3.4.3	Alteración y Mineralización.....	63

4 Modelo Geotécnico y modelo de alteración del yacimiento El Teniente..... 66

4.1	Modelo Geotécnico.....	66
4.1.1	Unidades litológicas.....	67
4.1.2	Arreglo Estructural del Macizo Rocoso.....	68
4.1.3	Propiedades físicas de las estructuras geológicas.....	69
4.1.4	Resistencia al Corte de vetillas.....	69
4.1.5	Resistencia a la Tracción de las vetillas.....	71
4.1.6	Frecuencia de vetillas blandas.....	72
4.1.7	Fragmentación.....	73
4.1.8	Parámetros Operacionales.....	74
4.2	Unidades Geotécnicas Relevantes.....	74
4.3	Modelo de alteración.....	78

5 Análisis de resultados..... 80

5.1	Definición de rangos y análisis espacial de datos.....	81
5.1.1	Chancado LEIT (Cwi).....	81
5.1.2	Índice de chancado obtenido para ensayo SPI (CI).....	82
5.1.3	Índice de abrasión (Ai).....	84
5.2	Relación de la geotecnia y geología con los parámetros de chancado (Cwi, CI y Ai) y formación de dominios.....	86
5.2.1	Chancado LEIT (Cwi).....	86
5.2.2	Crushing Index relacionado a SPI (CI).....	99
5.2.3	Índice de Abrasión (Ai).....	106
5.3	Dominios combinados y caracterización de los sectores Oeste y Norte	

6	Discusiones.....	117
6.1	Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en Cwi.....	117
6.2	Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en CI.....	123
6.3	Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en Ai.....	126
6.4	Representatividad del modelo combinado para chancado	127
7	Conclusiones y recomendaciones.....	129
8	Bibliografía.....	134
9	Anexos	142
9.1	Anexo A: Tablas con información detallada de los gráficos de caja para análisis del modelo geotécnico y de alteración.....	142
9.2	Anexo B: Bases de datos de geometalurgia	152
9.3	Anexo C: Resultados de ensayos geotécnicos	164
9.3.1	Resultados para ensayo UCS	164
9.3.2	Resultados para ensayos de módulo de Young dinámico	167

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1	MUESTRAS QUE SE EXTRAJERON DE LA BASE DE DATOS DE CONMINUCIÓN.	12
TABLA 1.2	RECUENTO DE DATOS GEOMETALÚRGICOS DE CHANCADO LEIT (CWI), ÍNDICE DE CHANCADO PREVIO A SPI (CI) E ÍNDICE DE ABRASIÓN (AI).....	13
TABLA 1.3	RECUENTO DE DATOS GEOTÉCNICOS A UTILIZAR EN EL ESTUDIO.	13
TABLA 1.4	MUESTRAS A LAS QUE SE LES REALIZÓ UNA DESCRIPCIÓN PETROGRÁFICA PARA RELACIONARLAS CON SU RESULTADO DE CHANCADO LEIT (CWI).	18
TABLA 1.5	RANGOS PARA PARÁMETRO DE CHANCADO LEIT RELACIONADO CON RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN UNIAXIAL. OBTENIDO DE YOUNG, 2019.	20
TABLA 1.6	RANGOS PARA EL PARÁMETRO DE CHANCADO LEIT (CWI) OBTENIDO DE DATOS GENERALES DEL LABORATORIO EXTERNO.	21
TABLA 1.7	OBTENCIÓN DE RANGOS PARA EL ÍNDICE DE ABRASIÓN PARA DISTINTAS ROCAS, RECOPIADAS POR EL SME. OBTENIDO DE YOUNG, 2019.	24

TABLA 4.1 CLASIFICACIONES USUALES PARA MACIZOS ROCOSOS. NO SE OBSERVA UNA DIFERENCIACIÓN CLARA ENTRE LAS UNIDADES LITOLÓGICA (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).....	67
TABLA 4.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS MEDIANTE PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE LA ROCA (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).....	77
TABLA 4.3 RANGOS ESTABLECIDOS PARA EL MODELO DE ALTERACIÓN DONDE MUESTRA LOS RANGOS DE PORCENTAJE PARA CADA TIPO DE ALTERACIÓN (INFORME INTERNO INÉDITO).	79
TABLA 5.1 RANGOS DE CHANCADO LEIT RELACIONADOS CON LOS DE CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA.	97
TABLA 5.2 DEFINICIÓN DE LOS DOMINIOS POR UNIDADES LITOLÓGICAS DEL ÍNDICE DE ABRASIÓN PARA LITOLOGÍAS DE EL TENIENTE.	113
TABLA 5.3 DOMINIOS COMBINADOS QUE DETERMINAN LA CAPACIDAD DE CHANCADO DE LOS DISTINTOS VOLÚMENES DEL YACIMIENTO.....	114
TABLA 5.4 SE INDICA EL PORCENTAJE QUE EXISTE DE CADA CATEGORÍA PARA LOS SECTORES OESTE.	114
TABLA 5.5 SE INDICA EL PORCENTAJE QUE EXISTE DE CADA CATEGORÍA PARA LOS SECTORES NORTE.	116
TABLA 6.1 CATEGORIZACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL CHANCADO BASADO EN EL ESTUDIO Y LOS PARÁMETROS OBTENIDOS DE YOUNG, 2019.....	122
TABLA 6.2 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS DE EL TENIENTE CON RESPECTO AL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE CHANCADO (CI) Y SUS LAS ZONAS GEOTÉCNICAS CORRESPONDIENTES.	125
TABLA 9.1 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.8 A.	142
TABLA 9.2 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.8 B.	142
TABLA 9.3 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.8 C.....	143
TABLA 9.4 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM PARA EL SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.10.....	143
TABLA 9.5 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS DE ALTERACIÓN HP PARA EL SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.11.....	144
TABLA 9.6 DATOS DE RELACIÓN DE CWI CON ZONAS DE ALTERACIÓN HP PARA EL SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.11.....	144
TABLA 9.7 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS GEOTÉCNICAS PARA EL SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.21 A.....	144

TABLA 9.8 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS GEOTÉCNICAS PARA EL SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.21 B.....	145
TABLA 9.9 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS GEOTÉCNICAS PARA EL SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.21 C.....	145
TABLA 9.10 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM PARA SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.22.....	146
TABLA 9.11 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM PARA SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.22.....	146
TABLA 9.12 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM PARA SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.22.....	147
TABLA 9.13 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.23.....	147
TABLA 9.14 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.23.....	148
TABLA 9.15 DATOS DE RELACIÓN DE CI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.23.....	148
TABLA 9.16 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.29 A.....	149
TABLA 9.17 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.29 B.....	149
TABLA 9.18 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.29 C.....	150
TABLA 9.19 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR OESTE PARA FIGURA 4.31.....	150
TABLA 9.20 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR NORTE PARA FIGURA 4.31.....	151
TABLA 9.21 DATOS DE RELACIÓN DE AI CON ZONAS DE ALTERACIÓN PARA HP SECTOR ESTE PARA FIGURA 4.31.....	151
TABLA 9.22 BASE DE DATOS QUE CONTIENE LOS ENSAYOS GEOMETALÚRGICOS DE CHANCADO LEIT (CWI), ÍNDICE DE CHANCADO DE SPI (CI) E ÍNDICE DE ABRASIÓN (AI), CON SUS RESPECTIVOS DATOS DE SONDAJE.....	152
TABLA 9.23 BASE DE DATOS DE RELACIONES ENTRE PARÁMETROS DE CHANCADO CWI, CI Y AI CON RESPECTO A LA MINERALOGÍA QEMSCAN DE LA ASOCIACIÓN CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA.	157
TABLA 9.24 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR OESTE PARA FIGURA 8.1.	164

TABLA 9.25 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR NORTE PARA FIGURA 8.1.	165
TABLA 9.26 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR ESTE PARA FIGURA 8.1.	165
TABLA 9.27 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS DE ALTERACIÓN HT DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.2.	166
TABLA 9.28 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS DE ALTERACIÓN HP DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.2.	166
TABLA 9.29 DATOS DE RELACIÓN DE UCS CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.2.	166
TABLA 9.30 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR OESTE PARA FIGURA 8.3.	167
TABLA 9.31 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR ESTE PARA FIGURA 8.3.	168
TABLA 9.32 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS GEOTÉCNICAS DEL SECTOR NORTE PARA FIGURA 8.3.	168
TABLA 9.33 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS DE ALTERACIÓN HT DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.4.	169
TABLA 9.34 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS DE ALTERACIÓN HP DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.4.	170
TABLA 9.35 DATOS DE RELACIÓN DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO CON ZONAS DE ALTERACIÓN TM DEL YACIMIENTO PARA FIGURA 8.4.	170

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 GRÁFICO QUE RELACIONA EL PARÁMETRO DE CHANCADO LEIT (CWI) Y DE ÍNDICE DE CHANCADO OBTENIDO DE SPI (CI).	4
FIGURA 1.2 IMAGEN LANDSAT TM DE CHILE CENTRAL ENTRE LOS 33°S-35°S, Y LOS 71°W- 72,5°W. EL TENIENTE RÍO BLANCO LOS BRONCES SON LOCALIZADOS HACIA EL OESTE DE LA CORDILLERA PRINCIPAL (TOMADO DE CANNEL, 2004).	6
FIGURA 1.3 MAPA DE UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO AL YACIMIENTO EL TENIENTE DE CODELCO, REGIÓN DEL LIBERTADOR BERNARDO O’HIGGINS. SE DETALLAN LOS TRAMOS DE ACCESO A LAS DISTINTAS FAENAS DENTRO DEL DISTRITO MINERO (EXTRAÍDO DE LEÓN, 2016).	7
FIGURA 1.4 GRÁFICO QUE RELACIONA LA RESISTENCIA A LA FRACTURA POR TRACCIÓN CON LA ENERGÍA CONSUMIDA POR EL PROCESO DE CHANCADO (BEARMAN ET AL., 1997).	8

FIGURA 1.5 ZONAS DEFINIDAS PARA AGRUPAR ESPACIALMENTE EL YACIMIENTO. EN ROJO SE OBSERVA LA ZONA OESTE CON LOS SECTORES ANDESITA, PACÍFICO SUPERIOR Y DIABLO REGIMIENTO; ZONA NORTE CON RECURSOS NORTE, RESERVAS NORTE, ANDES NORTE, DACITA Y PILAR NORTE; ZONA ESTE CON ESMERALDA Y DIAMANTE.....	16
FIGURA 1.6 CHANCADORES UTILIZADOS PARA REALIZAR LA PREPARACIÓN DEL ENSAYO DE SAG POWER INDEX Y OBTENER EL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE CHANCADO (CI).....	23
FIGURA 1.7 MÁQUINA PARA REALIZAR EL TEST DE ABRASIÓN DE BOND. EN LA MANO DEL OPERADOR SE ENCUENTRA LA PLACA DE UN ACERO QUE SIMULA EL RECUBRIMIENTO DE LOS CHANCADORES.....	25
FIGURA 1.8 DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA METODOLOGÍA QEMSCAN ®.....	26
FIGURA 1.9 DIBUJO ESQUEMÁTICO DE LA CONFIGURACIÓN DE UN ENSAYO UNIAXIAL DE COMPRESIÓN SIMPLE. SE OBSERVA GRACIAS A LAS FLECHAS QUE LOS ESFUERZO SON VERTICALES A LA DIRECCIÓN DE LA PROBETA.....	28
FIGURA 1.10 DIAGRAMA DE LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO PARA OBTENER EL PARÁMETRO DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO.....	29
FIGURA 2.1 MECANISMOS DE FRACTURA. SE OBSERVA QUE CADA MECANISMO PRODUCE UNA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA CARACTERÍSTICA (OBTENIDO DE TORRES, 2017).....	33
FIGURA 2.2 SE OBSERVA QUE LA ZONA DE ATRICCIÓN SE DA EN EL CANTO DE LA PARTÍCULA, GENERANDO DOS PRODUCTOS DE SIMILAR TAMAÑO Y VARIAS MÁS FINAS (OBTENIDO DE TAPIA 2010).....	34
FIGURA 2.3 CHANCADOR DE MANDÍBULAS TIPO BLAKE. EL PUNTO A DENOTA LA ZONA DE ALIMENTACIÓN Y EL P LA SALIDA DEL PRODUCTO (OBTENIDO DE TORRES, 2017).....	35
FIGURA 2.4 CHANCADOR GIRATORIO. EN A SE ENCUENTRA LA ZONA DE ALIMENTADOR Y EN B DONDE EL PRODUCTO SALE (OBTENIDO DE TORRES, 2017).....	36
FIGURA 2.5 CHANCADORES DE CONO. A LA IZQUIERDA SE ENCUENTRA EL ESTÁNDAR QUE FUNCIONA APRA LOS PROCESOS SECUNDARIOS, A LA DERECHA EL DE CABEZA CORTA PARA PROCESOS TERCARIOS (OBTENIDO DE TAPIA, 2010).....	37
FIGURA 2.6 DIAGRAMA DE FLUJO GENERALIZADO DEL TRANSPORTE Y PROCESAMIENTO DE MINERAL REFERENCIAL EN DISTINTOS SECTORES PRODUCTIVOS EN EL AÑO 2011 (MEJÍAS, 2013).....	39
FIGURA 2.7 A LA IZQUIERDA SE OBSERVA LA UBICACIÓN DE LOS CHANCADORES PRIMARIO-ROTATORIOS EN EL NIVEL INTERMEDIO DE ACARREO. A LA DERECHA SE OBSERVA LAS PARTES QUE CONFORMAN EL EQUIPO DE CHANCADO Y LAS ZONAS DE ALIMENTACIÓN (MEJÍAS, 2013).....	40
FIGURA 2.8 PROCESOS DE CHANCADO PLANTA SEWELL. SE PRESENTAN LOS PROCESOS PRIMARIOS, SECUNDARIOS Y TERCARIOS (MEJÍAS, 2013).....	41
FIGURA 2.9 PROCESOS DE LA PLANTA DE CHANCADO COLÓN. EN LA IMAGEN DEL MEDIO SE OBSERVA UNA FOTOGRAFÍA EN PLANTA DEL SECTOR DE LOS PROCESOS. EN LA IMAGEN INFERIOR SE OBSERVA CÓMO SE DISTRIBUYE EL MINERAL AL CHANCADO PRIMARIO, QUE LUEGO PASA POR LA TORRE DE	

TRANSFERENCIA. EN LA SUPERIOR SE OBSERVAN EL CHANCADO PRIMARIO, SECUNDARIO Y TERCARIO CON SUS RESPECTIVOS HARNEROS.....	42
FIGURA 3.1 A: UBICACIÓN DE LA ZONA DE "FLAT SLAB" QUE SEPARA LA ZONA VOLCÁNICA CENTRAL DE LA ZONA VOLCÁNICA SUR. LOS TRIÁNGULOS INDICAN LA UBICACIÓN ACTUAL DEL FRENTE VOLCÁNICO ACTIVO Y LOS CÍRCULOS LA UBICACIÓN DE LOS GRANDES YACIMIENTOS DE PÓRFIDOS DE COBRE DE LA FRANJA DEL MIOCENO TARDÍO Y OTROS DEL TERCARIO MEDIO, UBICADOS AL NORTE DE CHILE. (EXTRAÍDOS DE HITSCHFELD, 2006). B: PERFILES TRANSVERSALES QUE MUESTRAN LA EVOLUCIÓN TECTO-MAGMÁTICA DE LOS ANDES DE CHILE CENTRAL ENTRE EL MIOCENO Y EL PRESENTE. CORRESPONDE A LA LATITUD DE 34°S. (EXTRAÍDO DE SKEWES Y STERN, 1994).	46
FIGURA 3.2 MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE LA FRANJA CORDILLERANA DE CHILE CENTRAL. (MODIFICADO DE CHARRIER ET AL., 1996; EXTRAÍDO DE HARRISON, 2010).	47
FIGURA 3.3 MODELO DE RIEDEL PARA UNA ZONA TRANSCURRENTE SINISTRAL DE RUMBO N50°W RELACIONADA CON LA ZONA DE FALLA RÍO BLANCO-CODEGUA (EXTRAÍDO DE RIVERA Y FALCÓN, 2000).....	53
FIGURA 3.4 GEOLOGÍA SIMPLIFICADA EN EL NIVEL TENIENTE 6 DEL YACIMIENTO EL TENIENTE (DE LOS SANTOS, 2011).	56
FIGURA 3.5 EN LA ZONA SUPERIOR DE LA IMAGEN SE OBSERVAN LAS IMÁGENES A NIVEL MACROSCÓPICO DE LA ROCA Y EN EL INFERIOR LA TEXTURA A NIVEL MICRSOCÓPICO. A: DIABASA CON TEXTURA PORFÍDICA Y FENOCRISTALES DE PLAGIOCLASA MAYORES A 2 MM DE LARGO.; B: GABRO CON TEXTURA EQUIGRANULAR, CON CRISTALES DE PLAGIOCLASA DE 1 MM DE LARGO Y PIROXENOS EN FORMA SUBORDINADA.; C: PÓRFIDO BASÁLTICO CON TEXTURA PORFÍDICA Y GLOMEROPORFÍDICA CON FENOCRISTALES DE PLAGIOCLASA MAYORES A 2 MM DE LARGO (REFERENCIA INTERNA: SGL-I-123/03).	57
FIGURA 3.6 ZONA DE FALLA EL TENIENTE (ZFT). LIMITA AL NORTE CON LA QUEBRADA TENIENTE, Y AL SUR CON LA FALLA AGUA AMARGA (EXTRAÍDO DE VALENZUELA, 2002).....	62
FIGURA 4.1 LITOLOGÍA Y SECTORIZACIÓN POR TIPO DE MENA INTERIOR MINA (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).	68
FIGURA 4.2 SE OBSERVA EL GRÁFICO CON LOS PARÁMETROS DE COHESIÓN PARA ENSAYOS DE CORTE DIRECTO REALIZADOS POR DISTINTOS TRABAJOS DENTRO DE LA DIVISIÓN (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).	70
FIGURA 4.3 GRÁFICO Y TABLA CON LOS PARÁMETROS DE COHESIÓN PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN INDIRECTA REALIZADOS POR DISTINTOS TRABAJOS DENTRO DE LA DIVISIÓN EL TENIENTE (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).....	71

FIGURA 4.4 FRECUENCIA DE VETILLAS BLANDAS CATEGORIZADAS POR LAS ZONAS ELEGIDAS. SE OBSERVA QUE EXISTE UNA GRAN DIFERENCIA ENTRE LAS ZONACIONES, ENTREGANDO UN BUEN INDICADOR PARA LAS DISTINTAS ZONAS (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).....	72
FIGURA 4.5 GRÁFICOS QUE REPRESENTAN LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS IN-SITU PARA LAS DISTINTAS UNIDADES GEOTÉCNICAS DEFINIDAS PARA EL MACIZO ROCOSO DE EL TENIENTE. TAMBIÉN SE INCLUYE LA CURVA GRANULOMÉTRICA PARA EL MATERIAL QUEBRADO (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).	73
FIGURA 4.6 MODELO DE ZONACIÓN GEOTÉCNICA PARA EL YACIMIENTO EL TENIENTE AL NIVEL 2210. (OBTENIDO DE INFORME INTERNO GRMD-SGL-INF-0041-2018).	76
FIGURA 5.1 GRÁFICO CUANTIL TEÓRICO-CUANTIL REAL PARA EL PARÁMETRO DE CHANCADO LEIT. SE OBSERVAN LOS QUIEBRES MARCADOS POR LÍNEAS DE TONOS NARANJOS. ADEMÁS, SE OBSERVA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RANGOS GENERADOS.....	81
FIGURA 5.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DE CHANCADO LEIT ALREDEDOR DEL YACIMIENTO, CONSIDERANDO TODAS LAS MUESTRAS. DR: DIABLO REGIMIENTO; PS: PACÍFICO SUPERIOR; AND: ANDESITA; RN: RECURSOS NORTE; DA: DACITA; RENO: RESERVAS NORTE; AN: ANDES NORTE; PN: PILAR NORTE; EM: ESMERALDA; DI: DIAMANTE.	82
FIGURA 5.3 GRÁFICO CUANTIL TEÓRICO-CUANTIL REAL PARA EL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE CHANCADO (CI). SE OBSERVAN LOS QUIEBRES MARCADOS POR LÍNEAS DE TONOS GRISES. ADEMÁS, SE OBSERVA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RANGOS GENERADOS.	83
FIGURA 5.4 DISTRIBUCIÓN DE LAS MUESTRAS CON DATOS DE ÍNDICE DE CHANCADO (CI), EN BASE A LOS RANGOS OBTENIDOS EN LOS GRÁFICOS DE DISTRIBUCIÓN. DR: DIABLO REGIMIENTO; PS: PACÍFICO SUPERIOR; AND: ANDESITA; RN: RECURSOS NORTE; DA: DACITA; RENO: RESERVAS NORTE; AN: ANDES NORTE; PN: PILAR NORTE; EM: ESMERALDA; DI: DIAMANTE.	84
FIGURA 5.5 GRÁFICO CUANTIL TEÓRICO-CUANTIL REAL PARA EL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE ABRASIÓN (AI). SE OBSERVAN LOS QUIEBRES MARCADOS POR LÍNEAS DE TONOS GRISES. ADEMÁS, SE OBSERVA LA DISTRIBUCIÓN DE LOS RANGOS GENERADOS.	85
FIGURA 5.6 DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DEL ÍNDICE DE ABRASIÓN EN LOS SECTORES PRODUCTIVOS. ESTÁN CATEGORIZADOS EN BASE A LOS RANGOS OBTENIDOS. DR: DIABLO REGIMIENTO; PS: PACÍFICO SUPERIOR; AND: ANDESITA; RN: RECURSOS NORTE; DA: DACITA; RENO: RESERVAS NORTE; AN: ANDES NORTE; PN: PILAR NORTE; EM: ESMERALDA; DI: DIAMANTE.	86
FIGURA 5.7 GRÁFICOS QUE RELACIONAN CWI CON LAS UNIDADES LITOLÓGICAS PRESENTES EN LA DIVISIÓN EL TENIENTE. LAS LÍNEAS PUNTEADAS INDICAN LOS DIFERENTES RANGOS DEFINIDOS ANTERIORMENTE. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET); BRECHA DE ANHIDRITA (BXANH); PÓRFIDO DACÍTICO (PDA); TONALITA (TO); BRECHA ÍGNEA DE TONALITA	

(BXITO); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO DIORÍTICO (BXIPDI). A: ZONA OESTE; B: ZONA NORTE; C: ZONA ESTE.	87
FIGURA 5.8 RELACIÓN ENTRE LAS ZONAS GEOTÉCNICAS (FRECUENCIA DE VETILLAS BLANDAS) Y EL ENSAYO DE CHANCADO LEIT. HACIA LA DERECHA AUMENTA LA FRECUENCIA DE VETILLAS BLANDAS. SE OBSERVA QUE ENTRE LA ZONA 3 Y 4 EXISTE UN AUMENTO DEL CWI EN TODOS LOS SECTORES. A: ZONA OESTE; B: ZONA NORTE; C: ZONA ESTE.....	88
FIGURA 5.9 RELACIONES DE CHANCADO LEIT Y EL GRUPO DE LOS FILOSILICATOS Y MINERALES BLANDOS DEFINIDOS ANTERIORMENTE PARA ZONAS OESTE Y NORTE. SE OBSERVA UNA MEJOR DISPERSIÓN PARA LA ZONA OESTE QUE PARA EL NORTE. CL: CLORITA; BT: BIOTITA; MV/SER: MUSCOVITA/SERICITA; CPY: CALCOPIRITA; ANH: ANHIDRITA; CB: CARBONATOS; MO: MOLIBDENITA.	89
FIGURA 5.10 RESULTADOS PARA LA ALTERACIÓN TARDIMAGMÁTICA (TM) SOLO PARA LOS SECTORES OESTE. SE OBSERVA UNA RELACIÓN PRINCIPALMENTE SOLO CON LA MINERALOGÍA PARA ESTA ZONA.	90
FIGURA 5.11 SE OBSERVAN RELACIONES CON LA ALTERACIÓN HP PARA LAS ZONAS OESTE (ARRIBA) Y NORTE (ABAJO). SE OBSERVA UNA TENDENCIA DE LOS DATOS A AUMENTAR SU VALOR DE CHANCADO LEIT A MEDIDA QUE AUMENTAMOS EL PORCENTAJE DE CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA EN LA MUESTRA.	91
FIGURA 5.12 IMÁGENES MICROSCÓPICAS DE LAS MUESTRAS S1181 Y S1182 QUE POSEEN UN CWI DENTRO DEL RANGO BAJO CON SUS RESPECTIVAS VETILLAS. SE OBSERVA LA MASA FUNDAMENTAL BIOTITIZADA Y FENOCRISTALES DE PLAGIOCLASA.....	92
FIGURA 5.13 IMÁGENES MICROSCÓPICAS DE LAS MUESTRAS S1290 Y S1295 DONDE SE OBSERVA NUEVAMENTE LA PRESENCIA DE BIOTITA EN LA MASA FUNDAMENTAL, PERO CON UN AUMENTO DE LA PRESENCIA DE SERICITA TANTO EN LOS FENOCRISTALES COMO EN LAS VETILLAS.	93
FIGURA 5.14 IMÁGENES MICROSCÓPICAS DE LAS MUESTRAS S1402 Y S1464 QUE REPRESENTAN A LOS RANGOS MÁS ALTOS DE CWI, DONDE SE OBSERVA UNA ALTERACIÓN PERVASIVA DE CLORITA- MUSCOVITA/SERICITA, DONDE YA NO ES RECONOCIBLE LA TEXTURA ORIGINAL DE LA ROCA.....	94
FIGURA 5.15 FOTOGRAFÍA MICROSCÓPICAS DE MUESTRAS S1463, S1410 Y S1415 QUE REPRESENTAN A LAS ROCAS DEL COMPLEJO FÉLSICO.	95
FIGURA 5.16 DISTRIBUCIÓN DE LOS DATOS DE MINERALOGÍA QEMSCAN PARA LA ASOCIACIÓN CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA. SE OBSERVA UNA GRAN REPRESENTATIVIDAD DE LA INFORMACIÓN.	95
FIGURA 5.17 DIAGRAMAS DE DISPERSIÓN PARA SECTORES OESTE Y NORTE CON SUS EJES REPRESENTADOS EN LOGARITMO BASE DOS. SE OBSERVA ADEMÁS LOS AJUSTES DE SU NUBE DE PUNTOS. A) PARA EL SECTOR OESTE Y B) PARA EL SECTOR NORTE.	96

FIGURA 5.18 DOMINIOS PARA CHANCADO LEIT GENERADOS EN BASE A LOS DATOS DE CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA DE LA ZONA OESTE.....	98
FIGURA 5.19 DOMINIOS PARA CHANCADO LEIT GENERADOS EN BASE A LOS DATOS DE CLORITA-MUSCOVITA/SERICITA DE LA ZONA NORTE.	99
FIGURA 5.20 RELACIONES ENTRE UNIDADES LITOLÓGICAS Y EL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE CHANCADO. LAS LÍNEAS PUNTEADAS INDICAN LOS RANGOS DEFINIDOS ANTERIORMENTE. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET); BRECHA DE ANHIDRITA (BXANH); PÓRFIDO DACÍTICO (PDA); TONALITA (TO); BRECHA ÍGNEA DE TONALITA (BXITO); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO DIORÍTICO (BXIPDI); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO BASÁLTICO. A: ZONA OESTE; B: ZONA NORTE; C: ZONA ESTE.	100
FIGURA 5.21 RELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE CHANCADO (CI) Y LAS ZONAS GEOTÉCNICAS (FRECUENCIA DE VETILLAS BLANDAS AUMENTAN HACIA LA DERECHA.) A: ZONA OESTE; B: ZONA NORTE; C: ZONA ESTE.	101
FIGURA 5.22 RELACIONES ENTRE LA ALTERACIÓN TM Y SU MINERALOGÍA QEMSCAN ASOCIADA, CON EL ÍNDICE DE CHANCADO (CI).....	102
FIGURA 5.23 RELACIONES ENTRE LA ALTERACIÓN HP Y SU MINERALOGÍA QEMSCAN ASOCIADA, CON EL ÍNDICE DE CHANCADO (CI).....	103
FIGURA 5.24 DEFINICIÓN DE DOMINIOS EN BASE AL CONTROL DE ZONAS GEOTÉCNICAS SOBRE EL PARÁMETRO DE ÍNDICE DE CHANCADO (CI). SE DEFINE LA ZONA DE ALTA Y MODERADA.....	104
FIGURA 5.25 DOMINIOS EN EL ESPACIO DEL ÍNDICE DE CHANCADO (CI), DONDE SE IDENTIFICA QUE LA ZONA MÁS ALTA (ROJO) SE DELIMITA EN BASE A LOS PÓRFIDOS QUE POSEEN MENOR CANTIDAD DE FRECUENCIA DE VETILLAS, A DIFERENCIA DE LA ZONA MODERADA.	105
FIGURA 5.26 RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE ABRASIÓN Y UNIDADES LITOLÓGICAS PARA TODOS LOS SECTORES. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET); BRECHA DE ANHIDRITA (BXANH); PÓRFIDO DACÍTICO (PDA); PÓRFIDO DIORÍTICO (PDI); TONALITA (TO); BRECHA ÍGNEA DE TONALITA (BXITO); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO DIORÍTICO (BXIPDI); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO BASÁLTICO.	106
FIGURA 5.27 RELACIÓN ENTRE UNIDADES LITOLÓGICAS Y EL ÍNDICE DE ABRASIÓN (IZQUIERDA). SE OBSERVA QUE LOS MAYORES VALORES SE CONCENTRAN EN EL PÓRFIDO DACÍTICO. A LA DERECHA SE ENCUENTRA EL ANÁLISIS ESPACIAL DE CADA ZONA PARA LAS MUESTRAS DE CI. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET); BRECHA DE ANHIDRITA (BXANH); PÓRFIDO DACÍTICO (PDA).....	107
FIGURA 5.28 RELACIÓN ENTRE UNIDADES LITOLÓGICAS E ÍNDICE DE ABRASIÓN PARA EL SECTOR ESTE. SE OBSERVA QUE LOS PÓRFIDOS FÉLSICOS POSEEN VALORES MÁS ALTOS QUE LAS DEMÁS LITOLÓGÍAS. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET); BRECHA DE	

ANHIDRITA (BXANH); PÓRFIDO DIORÍTICO (PDI); TONALITA (TO); BRECHA ÍGNEA DE TONALITA (BXITO); BRECHA ÍGNEA DE PÓRFIDO DIORÍTICO (BXIPDI).	108
FIGURA 5.29 RELACIÓN CON LAS ZONAS GEOTÉCNICAS (AUMENTO DE LA FRECUENCIA DE VETILLAS BLANDAS HACIA LA DERECHA) CON EL ÍNDICE DE ABRASIÓN. SE DIVIDIERON POR LITOLOGÍAS DEBIDO A QUE PRESENTAN DIFERENCIAS IMPORTANTES. CÓDIGOS LITOLÓGICOS: COMPLEJO MÁFICO EL TENIENTE (CMET);); PÓRFIDO DACÍTICO (PDA); PÓRFIDO DIORÍTICO (PDI); TONALITA (TO); A: ZONA OESTE; B: ZONA NORTE; C: ZONA ESTE.....	109
FIGURA 5.30 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN PARA LA ASOCIACIÓN MINERALÓGICA EN QEMSCAN DEL GRUPO DE FILOSILICATOS CON EL ÍNDICE DE ABRASIÓN (AI). SE OBSERVAN RELACIONES PRINCIPALMENTE PARA EL SECTOR ESTE Y NORTE.	111
FIGURA 5.31 RELACIÓN DEL ÍNDICE DE ABRASIÓN CON LOS DISTINTOS VOLÚMENES DE LA ALTERACIÓN DE TIPO HP. ADEMÁS, SE COMPARA CON LA ASOCIACIÓN MINERALÓGICA OBTENIDA EN QEMSCAN, PROPIA DE ESTE TIPO DE EVENTO.	112
FIGURA 5.32 VOLUMEN QUE DEFINE LA CHANCABILIDAD DE LA ROCA PARA LOS SECTORES OESTE. AND: ANDESITA; PS: PACÍFICO SUPERIOR; DR: DIABLO REGIMIENTO.	115
FIGURA 5.33 DOMINIOS COMBINADOS QUE DEFINEN LA CHANCABILIDAD EN BASE A LOS PARÁMETROS DE CWI Y CI. SE OBSERVAN ZONAS CERCANAS A LA PIPA QUE ES DE MEJOR CALIDAD EL CHANCADO, EN CAMBIO LAS ASOCIADAS A PÓRFIDOS FÉLSICOS POSEEN UNA MALA CALIDAD. RN: RECURSOS NORTE; DA: DACITA; RENO: RESERVAS NORTE; AN: ANDES NORTE; PN: PILAR NORTE.....	116
FIGURA 6.1 GRÁFICO QUE RELACIONA EL COMPORTAMIENTO DE CWI CON LA TEXTURA DE ALTERACIÓN DE DISTINTAS MUESTRAS ESTUDIADAS EN MICROSCOPIO PARA LA UNIDAD LITOLÓGICA CMET..	119
FIGURA 6.2 GRÁFICO QUE RELACIONA EL COMPORTAMIENTO DE CWI CON LA TEXTURA DE ALTERACIÓN DE DISTINTAS MUESTRAS ESTUDIADAS EN MICROSCOPIO PARA UNIDADES DE PÓRFIDOS FÉLSICOS.	120
FIGURA 6.3 ATOLLO DEL CHANCADOR GIRATORIO DEL SECTOR PRODUCTIVO DACITA. SE OBSERVA EL MATERIAL FINO COMPACTADO AL INTERIOR DE LA MÁQUINA, DONDE EL MATERIAL GRUESO SE QUEDA ESTANCADO DEBIDO AL CUERPO DE COMPORTAMIENTO PLÁSTICO QUE SE GENERA DENTRO.	122
FIGURA 9.1 RELACIONES ENTRE ENSAYOS UCS Y LAS ZONAS GEOTÉCNICAS. SE OBSERVAN EN GENERAL ALTAS DISPERSIONES EN LOS DIAGRAMAS DE CAJA.	164
FIGURA 9.2 RELACIONES ENTRE ENSAYOS UCS Y LAS ZONAS DE ALTERACIÓN DENTRO DEL YACIMIENTO. SE OBSERVAN EN GENERAL ALTAS DISPERSIONES EN LOS DIAGRAMAS DE CAJA SIN UNA TENDENCIA EN LAS DISTINTAS ZONAS.	165
FIGURA 9.3 RELACIONES ENTRE ENSAYO DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO Y LAS ZONAS GEOTÉCNICAS DEL YACIMIENTO. SE OBSERVAN TENDENCIAS SIMILARES, PERO EN DISTINTOS RANGOS PARA CADA ZONA.	167

FIGURA 9.4 RELACIONES ENTRE ENSAYOS DE MÓDULO DE YOUNG DINÁMICO Y LAS ZONAS DE ALTERACIÓN DENTRO DEL YACIMIENTO. SE OBSERVAN DIFERENTES TENDENCIAS PARA CADA ZONA Y ALTAS DISPERSIONES EN LOS DATOS. 169

1 Introducción

1.1 Antecedentes generales Mina El Teniente

La mina El Teniente es un depósito de cobre-molibdeno propiedad de la Corporación Nacional de Cobre de Chile (CODELCO-Chile) ubicada a 45 Km. al noreste de la ciudad de Rancagua. Posee un área aproximada de 6 km² y una extensión vertical mayor a 1 km (León, 2016), clasificándose de acuerdo con su tamaño como "mega yacimiento".

Se han calculado, según la memoria 2017 de CODELCO, recursos minerales de 4.435 millones de toneladas de mineral con una ley de cobre promedio de 0,8 %, mientras que las reservas minerales estarían bordeando los 750 millones de toneladas. La producción según datos de 2016-2017 es de 464.328 toneladas métricas finas de lingotes refinados a fuego (RAF) y cátodos de cobre.

El yacimiento El Teniente, a la par con el yacimiento Río Blanco-Los Bronces, son parte del arco magmático del Mioceno-Plioceno temprano, el cual se sitúa en el extremo norte de la Zona Volcánica Sur Andina (ZVS), instalado a 260 km al este de la fosa oceánica actual y a 90 km sobre la zona sísmica, donde ocurre la subducción de la placa de Nazca bajo la placa Sudamericana en un ángulo de 30°.

La geología distrital es dominada por rocas de origen volcánico de la Formación Farellones, las cuales se encuentran intruidas por intrusivos de composición intermedia (Kay et al., 1999). El sector de la mina se compone por una secuencia volcánica de composición máfica, conformados por gabros,

dioritas y doleritas, que se encuentra intruidas por pequeños pórfidos félsicos (Skewes, 2000; Skewes, 2002). En el centro del yacimiento se encuentra una estructura de chimenea conocida como pipa brecha Braden con un diámetro mayor a un kilómetro y medio posiblemente relacionado con el emplazamiento de diques latíticos tardíos (Camus, 1975). Dos etapas de post-mineralización relacionadas a diques lamprófidos que se emplazan en las secuencias máficas corresponden al evento más joven dentro del yacimiento, con edades de 3,8 a 2,9 Ma (Cuadra, 1986).

En la Memoria de El Teniente (Baros, 1995) se habla de que en el 1760 se realizaba una extracción a pequeña escala y de forma rudimentaria, siendo conocida como "La Fortuna", que luego pasó a llamarse "El Teniente" debido a que su descubrimiento fue gracias a un teniente del ejército español que huía de la justicia, llegando al lugar de la mina. Luego de varios años de pasar abandonado, en 1905 paso a manos del señor William Braden quién un año más tarde, luego de construcción e instalación de equipos y caminos, comenzó la explotación a una mayor escala. El método utilizado fue el de "Block Caving", el cual fue utilizado hasta el año 2000, donde pasó a ser de tipo "Panel Caving" (Rojas et al., 2000). Esto fue debido a un cambio en la reología de la roca que mostraba mayor dureza a menores cotas. Ambos métodos utilizan el peso que ejerce el cerro y las estructuras del macizo para generar un quiebre y subsidencia del techo, generando una estructura de colapso llamada "Cavidad Teniente" (Valenzuela, 2003).

1.2 Motivaciones y problemática

La mineralización metálica del yacimiento se conforma principalmente por calcopirita, bornita y molibdenita, las cuales se encuentran dentro de vetillas formando un enrejado polidireccional o stockwork. Para la extracción eficiente

del mineral de mena, luego del proceso de tronadura, es necesario separar la mena de la ganga mediante la disminución del tamaño de grano del material que entrará a las plantas de obtención de metales. La reducción del diámetro del grano es llamada proceso de conminución, en el cual está incluido el chancado y la molienda, siendo el primero en el que se enfocará este estudio.

El chancado del material corresponde a uno de los procesos con mayor gasto energético dentro de una planta (Korman et al., 2014 y Torres, 2017), y por lo tanto se requiere buscar un modelo que estime el consumo energético y optimizar el uso del chancador.

Para calcular la energía necesaria para reducir una partícula a un tamaño determinado se utiliza la ecuación de Bond (1951), la cual corresponde a un modelo empírico que puede ser adaptado al proceso de chancado. Dentro de este modelo se destaca el índice de trabajo de Bond (W_i), el cual puede variar dependiendo de los tipos de roca que son ensayadas (Bond, 1961). Para obtener este índice para los procesos de chancado o "Crushing weight index" (C_{wi}) es necesario realizar pruebas de péndulo o "Chancado LEIT", de la cual se obtendrán datos que ayudarán a estimar el consumo de la máquina, como su eficiencia (Torres, 2017). En la división El Teniente esto es fundamental debido a que esta posee varias minas subterráneas con característica litológicas y calidades geotécnicas muy variables.

Algunos datos preliminares de los ensayos de "Chancado Leit" que se realizaron en rocas de distintas minas en la división, dan cuenta de una gran variación en los valores de C_{wi} para una misma unidad, sugiriendo que la litología no sería el factor más importante en los valores de este parámetro. Además de C_{wi} , existe otro ensayo geometalúrgico llamado Sag Power Index

(SPI). Para realizar este ensayo se utiliza una muestra con partículas de tamaño menor a 1/2". El cálculo del SPI considera un índice de chancado (CI) asociado a la preparación de la muestra, donde se utilizan muestras con los tamaños de los sondajes, similar al ensayo de Chancado LEIT.

Esto sugeriría que existe una relación entre estos dos parámetros, ambos asociados a chancado. Sin embargo, como muestra la Figura 1.1, no existe una relación entre ellos.

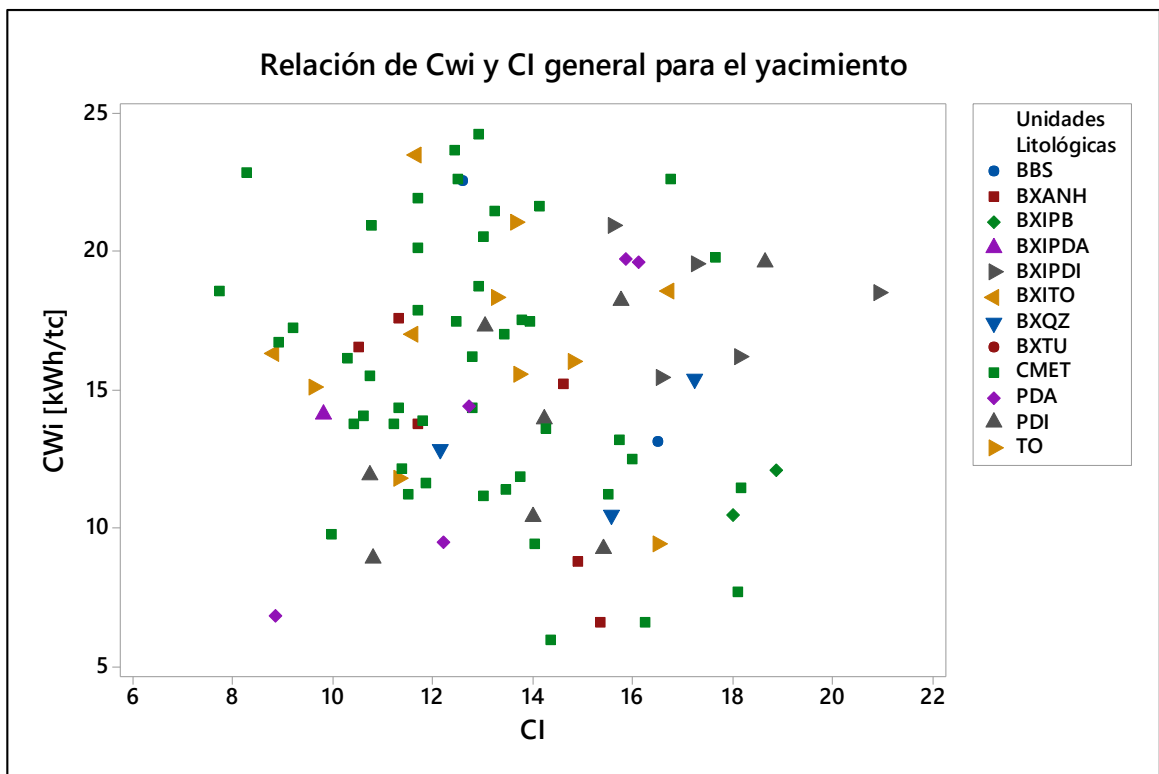


Figura 1.1 Gráfico que relaciona el parámetro de Chancado LEIT (Cwi) y de índice de chancado obtenido de SPI (CI).

Esta discordancia entre ambos parámetros gatilló interrogantes acerca de las propiedades de la roca que controlarían el comportamiento de ambos parámetros, donde posiblemente para cada uno sería distinto.

1.2.1 Objetivo general

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el objetivo principal del estudio es determinar el o los parámetros geológicos y/o geotécnicos que influyen en el proceso de chancado del material proveniente de los actuales sectores productivos de las minas de la división El Teniente.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros de chancabilidad (C_{wi} , CI y A_i) de cada unidad geológica.
- Determinar las variables geológicas que definirían los parámetros de chancabilidad (C_{wi} , CI y A_i).
- Determinar la influencia de las características geotécnicas, como la resistencia a la compresión simple (UCS), módulo de Young dinámico (E) y frecuencia de vetillas blandas, en los parámetros de chancabilidad.
- Definir dominios de chancabilidad en el yacimiento El Teniente.

1.3 Ubicación y vías de acceso

La zona de estudio corresponde al yacimiento El Teniente, el cual está dispuesto en el flanco oriental de la Cordillera Principal (Figura 1.2) a los $34^{\circ}14'$ latitud sur y $70^{\circ}21'$ longitud oeste y entre los 2.000 y 3.200 m.s.n.m., en la VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Provincia del Cachapoal, a 45 Km al noreste de la capital regional, Rancagua.

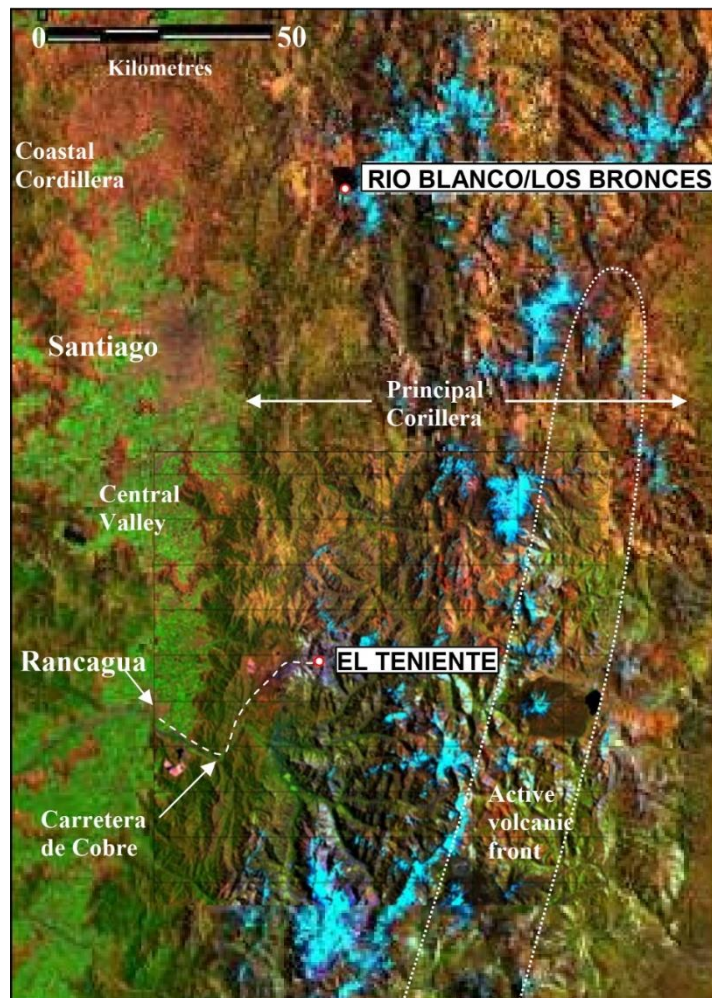


Figura 1.2 Imagen Landsat TM de Chile Central entre los 33°S - 35°S , y los 71°W - $72,5^{\circ}\text{W}$. El Teniente Río Blanco los bronces son localizados hacia el oeste de la Cordillera Principal (Tomado de Cannel, 2004).

El acceso a la mina se realiza desde Rancagua por la carretera pavimentada de 60 Km "Carretera del Cobre Eduardo Frei Montalva", que conecta la ciudad de Rancagua con la localidad de Colón Alto. El camino se divide en tramos (Figura 1.3), donde el primero es público y conecta Rancagua con el control de acceso al yacimiento (Maitenes), los demás son caminos privados y de acceso restringido.

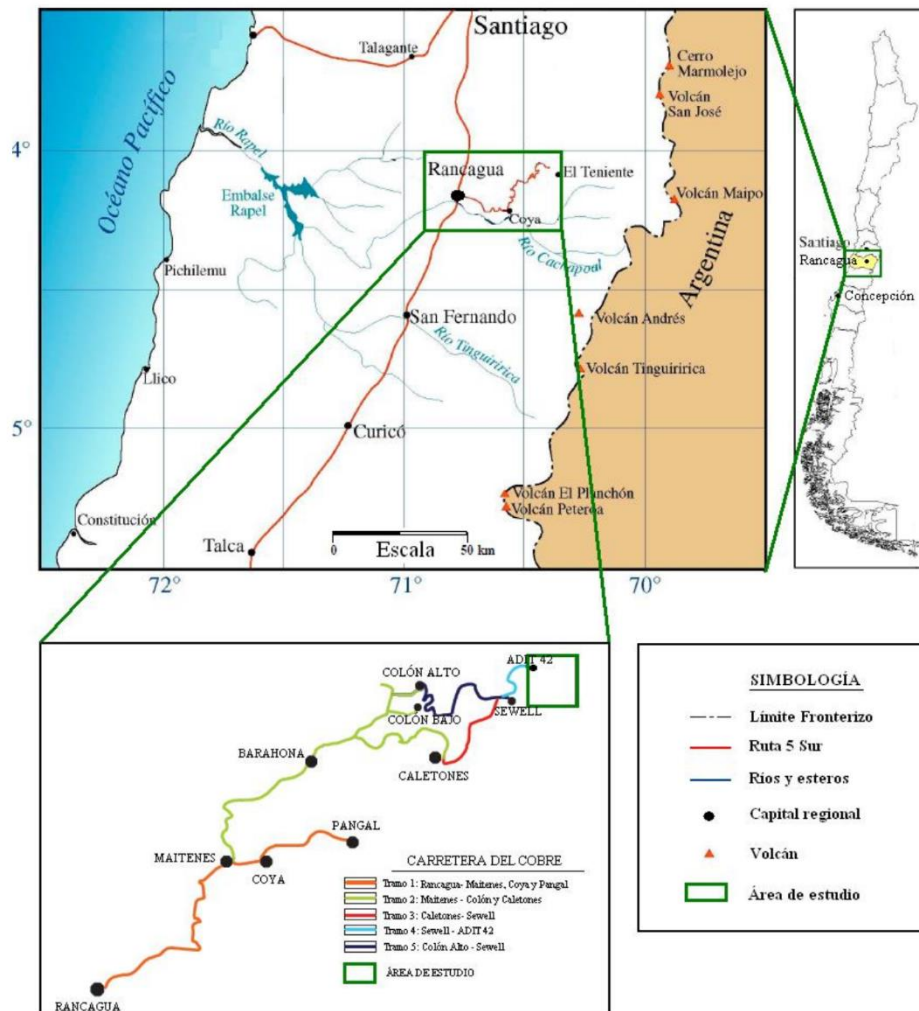


Figura 1.3 Mapa de ubicación y vías de acceso al yacimiento El Teniente de CODELCO, Región del Libertador Bernardo O'Higgins. Se detallan los tramos de acceso a las distintas faenas dentro del distrito minero (Extraído de León, 2016).

1.4 Trabajos anteriores relacionados

Dentro de la división no se han realizado investigaciones relacionadas a la temática de este estudio, sin embargo, se han efectuado investigaciones similares por parte de instituciones externas en otras zonas de interés.

Estos estudios son importantes debido a que proponen metodologías para obtener ciertos factores que podrían afectar a la chancabilidad de la roca y como estos en un principio podrían influir a la conminución mediante los resultado y análisis obtenidos. Algunos de estos artículos son los siguientes:

Bearman et al., 1997: Este estudio relaciona parámetros físicos y mecánicos, obtenidos de distintos ensayos relacionados a la resistencia de la roca, con el consumo energético y la capacidad de disminuir el material a un tamaño específico, llegando al resultado de que las correlaciones más significativas involucran a propiedades tensionales (Ensayo de tracción indirecta), de esta

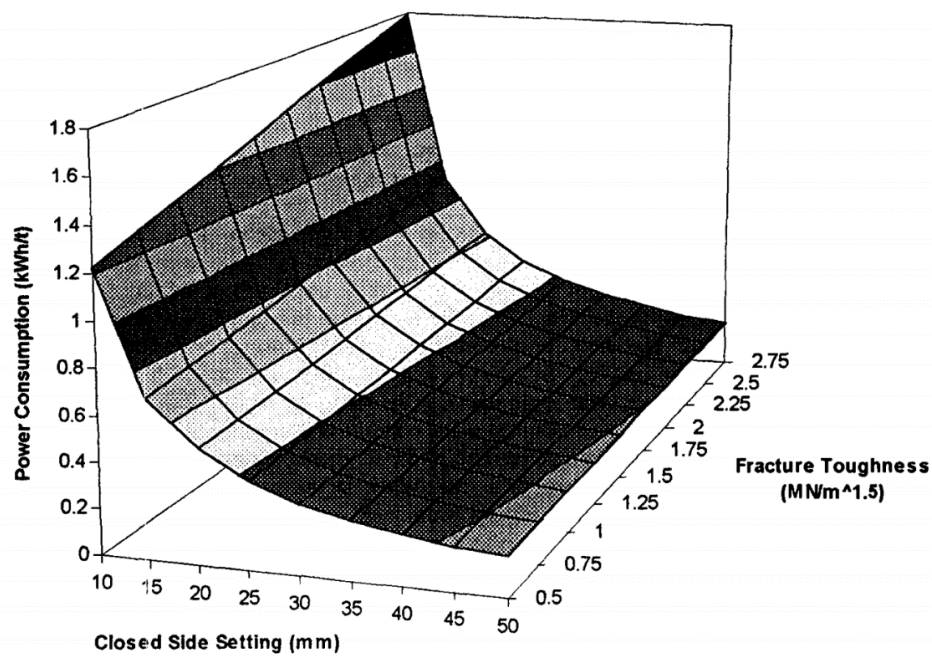


Figura 1.4 Gráfico que relaciona la resistencia a la fractura por tracción con la energía consumida por el proceso de chancado (Bearman et al., 1997).

forma intentando establecer una conexión entre estos factores los cuales correspondían a la resistencia a la fractura y al índice de carga puntual. Se concluyó, que la relación que existe entre el consumo energético y la resistencia de la roca es directamente proporcional (Figura 1.4).

Kekec et al., 2006: Este artículo busca relacionar propiedades texturales de distintos tipos de roca con su chancabilidad y molienda. Para esto considera tanto la forma que poseen los cristales dentro de la roca, como el tamaño de grano promedio. Estos parámetros son comparados estadísticamente con un factor de chancabilidad y molienda obtenidos de ensayos geometalúrgicos. Los resultados se analizaron mediante un índice de correlación, visualizando correlaciones significativas entre la textura, es decir, la forma y tamaños de los cristales, con la chancabilidad final de la roca. Sin embargo, esto solo se obtiene haciendo la correlación entre los mismos tipos de litología, debido a que cuando se realiza este mismo procedimiento sin considerar el tipo de roca no llega a ser significativo el coeficiente. También se concluye que varios factores a parte de la textura podrían influir en el proceso de chancado y que la complejidad de encontrar que tan influyente es cada una de las variables corresponde a la heterogeneidad de las estructuras que afectan a las distintas rocas.

Köken y Özarlan 2018: En este trabajo hace una relación entre propiedades mecánicas y físicas de la roca, dureza relativa de la roca y un valor experimental llamado Compressive crushing value (CCV), este último mide la efectividad de la conminución por fuerzas compresivas, las cuales son las que predominan en el proceso de chancado. Entre los factores mecánicos y físicos que son evaluados se encuentra la fragilidad y el factor AIV que entrega medidas relativas de la roca contra cargas de impacto repetidas. Los resultados arrojaron una relación directa entre la chancabilidad de la roca y la

composición mineralógica, sin embargo, se menciona que el método utilizado funciona solo para chancadores de mandíbulas.

1.5 Metodología

Para determinar los parámetros que podrían influir en el parámetro de chancabilidad se deben considerar ciertos factores para no caer en errores relacionados con la veracidad y representatividad de la información. Entre estos factores nos encontramos con los de tipo operacional principalmente, los cuales cumplen un rol importante en el producto de entrada a los procesos de chancado. Debido a esto se dividió la metodología en distintas etapas, las cuales son descritas a continuación.

1.5.1 Etapa de recopilación de información relevante

Esta etapa se puede subdividir en tres, las cuales tienen enfoques en distintos tipos de información presentes en el yacimiento. La primera corresponde a la investigación bibliográfica de trabajos anteriores relacionados con el tema de chancado y parámetros que podrían afectarlo.

La segunda etapa corresponde a la recopilación de información relacionada a la geología del yacimiento, su distribución espacial y el modelo geotécnico que representa el comportamiento del macizo rocoso. Finalmente, la tercera etapa consiste en obtener información acerca de los procesos mineros que están involucrados al tema de chancado, como las secuencias de transporte del material, tipos y disposición de chancadores, tanto dentro como fuera de la mina, los mecanismos de fractura, su grado relativo de influencia en el chancado y los ensayos metalúrgicos que se utilizan para caracterizar la capacidad de chancado. Para lo último se realizó una visita al laboratorio

externo asociado para visualizar y entender los ensayos de Chancado LEIT, SPI y del índice de abrasión.

La importancia de esta etapa corresponde a la de establecer las escalas a las que se realizan los ensayos de los parámetros geometalúrgicos y geotécnicos, para que de esta forma exista un sustento al momento de establecer relaciones entre estos. Esto será fundamental para establecer, además, las variables que podrían influir en el chancado, ya que este trabaja a un tamaño determinado de roca, por lo que si no se tiene claro los tamaños que se trabajan se podría generar un sesgo en los resultados.

1.5.2 Etapa de recopilación de bases de datos y modelos dentro del yacimiento

Esta fase consiste en recopilar las bases de datos que contienen tramos de sondajes con información relacionada a ensayos geometalúrgicos, ensayos geotécnicos, disposición espacial y litología. En específico, cada ensayo está asociado a un parámetro que podría influir en la eficiencia del chancador. En base al paso anterior se determinaron los datos que, en base a la literatura, podrían influir principalmente en el proceso de conminución, los cuales corresponden al parámetro de Chancado LEIT (CWi), índice de abrasión (Ai) y el índice de chancado obtenido a partir del ensayo SAG Power Index (SPI). Al efectuarse la limpieza de la base de datos de geometalurgia. En primer lugar, se filtraron los datos de muestra que poseían los tres parámetros en blanco, luego se cruzaron las bases de datos donde se encontraba la distribución espacial de cada muestra con sus respectivos valores, finalmente se eliminaron las muestras que correspondían a duplicados, valores de microplanta piloto (MPP) y muestras correspondientes a compósitos (Tabla 1.1) y puntos de

extracción. Lo anterior fue con el propósito de generar datos lo suficientemente representativos para los tipos de roca presentes en la mina

Tabla 1.1 Muestras que se extrajeron de la base de datos de conminución.

NM0278	NM0298_MPP
NM0283_MPP	NM0301_MPP
NM0284_MPP	NM0304_MPP
NM0285	NM0306_MPP
NM0286	NM0308_MPP
NM0288-MPP	NM0309_MPP
NM0289_MPP	NM0310_MPP
NM0290_MPP	NM0316_MPP
NM0294_MPP	NM0321_MPP
NM0295_MPP	NM0324_MPP
NM0296_MPP	S1219
NM0297_MPP	S1223
NM0298_MPP	S1471
S1473	S1473

Con respecto a la base de datos geotécnicas, esta contiene tramos de sondaje con distintos ensayos geotécnicos, litología y su ubicación tanto espacial como por sectores en la mina. El criterio para la elección de los datos para parámetros para considerar fueron la resistencia a la compresión uniaxial (UCS), módulo de Young (Edin) dinámico. Al igual que para la anterior base de datos, se filtraron los tramos de sondajes que no poseían ninguno de los parámetros considerados. Sin embargo, se realizó un filtro en particular para los datos UCS y Edin. Este filtro consiste en no considerar la información relacionada a ensayos con ruptura tipo E, al cual se considera anómala, es decir, que no puede estimarse si su ruptura fue necesariamente por alguno de los mecanismos posibles dentro de la roca. También se filtraron los sondajes que posean las unidades litológicas presentes en los datos de conminución. Esto con el objetivo de que se pudiera homogenizar la base de datos con respecto a la de datos geometalúrgicos y obtener de esta forma un posible

control más representativo de las unidades litológicas presentes en El Teniente.

Después de ordenar y filtrar la información se recopilaron 245 muestras con datos geometalúrgicos y 4869 tramos de sondaje con datos geotécnicos. Esto se puede observar de forma más detallada en las tablas 1.2 y 1.3.

Tabla 1.2 Recuento de datos geometalúrgicos de Chancado LEIT (Cwi), Índice de Chancado previo a SPI (CI) e Índice de Abrasión (Ai).

Parámetros	Cwi [KWh/tc]	SPI CI	Ai
Disponibles	76	121	83
Vacíos	169	133	165

Tabla 1.3 Recuento de datos geotécnicos a utilizar en el estudio.

Parámetros	E Dinámico [GPa]	UCS [MPa]
Disponibles	1270	1706
Vacíos	3599	3163

Los modelos geotécnicos y de alteración fueron facilitados por la Superintendencia de Geología de la división El Teniente. También se obtuvieron los datos de ubicación espacial de 6079 sondajes (COLLAR y SURVEY), donde parte de sus datos eran las coordenadas mina (este, norte y cota), código de sondaje, desviación y azimut.

1.5.3 Determinación de rangos y disposición en el espacio de los datos

Rangos categóricos para parámetros de chancado (Cwi, CI y Ai)

Esta etapa consiste en la determinación de los rangos categóricos para los parámetros de chancado existentes dentro de los ensayos realizados en el yacimiento, los cuales serían los de Chancado LEIT (Cwi), Crushing Index (CI) e Índice de Abrasión (Ai). Es decir, se determinarán intervalos entre los cuales las variables posean comportamientos de distinta magnitud, caracterizándolos de forma cualitativa. La importancia de este paso antes de realizar las relaciones entre las bases de datos y resultados geológicos corresponde al comportamiento de los parámetros que puedan representar un cambio significativo con respecto a la correlación con otro factor de interés para saber el grado de influencia que existe.

Para determinar los rangos categóricos se utilizaron gráficos que relacionan cuantiles en base a valores reales y a los cuantiles teóricos creados para una distribución normal. Cada cambio de pendiente dentro del gráfico corresponde a un rango distinto para la variable a estudiar, luego estos rangos son verificados con un histograma, el cual debe poseer una forma que siga una distribución normal.

Estos rangos de datos deben seguir una distribución normal debido a que luego serán usados dentro de modelos que por protocolo dentro de la división El Teniente deben seguir este tipo de forma en sus datos, de esta forma todos los modelos se pueden comportar estadísticamente similar.

Distribución espacial de los datos (Cwi, CI y Ai)

Para visualizar espacialmente los sondeos con datos de ensayos geometalúrgicos, se ingresó las bases de datos de conminución, con sus respectivos rangos de datos obtenidos anteriormente, dentro del software Leapfrog Geo. Más adelante esta observación nos permitirá establecer agrupaciones dentro del espacio para poder estudiar los distintos sectores que son influenciados por varios factores que difieren entre una zona y otra.

1.5.4 Estudio de las relaciones entre los parámetros de chancado, geotécnicos y geológicos por sectores

División de sectores productivos y proyectos

Parte importante de este estudio corresponde a correlacionar las distintas variables entre ellas para encontrar un comportamiento común en conjunto. Para ello se dividen los distintos sectores productivos y proyectos en grupos espaciales que cumplen ciertas características geológicas y geotécnicas. En primer lugar, estudios internos indican que la unidad litológica Complejo Máfico El Teniente (CMET) posee un comportamiento distinto para los sectores Oeste y Este, donde el primero tiende a poseer una roca más competente en comparación a la segunda. En segundo lugar, tenemos otro factor que corresponde a la influencia de los distintos intrusivos sobre los sectores y proyectos. En base a lo anterior se dividió el yacimiento en los sectores Oeste (Andesita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento), los cuales comprenden sectores que contienen CMET Oeste y está influenciado por el Pórfido Dacítico (PDA), luego se definen los sectores Norte (Recursos Norte, Reservas Norte, Andes Norte, Dacita y Pilar Norte), que comprenden el CMET Este y la influencia del PDA y del Pórfido Diorítico (PDI), finalmente se

agruparon los sectores Este (Esmeralda y Diamante) que posee influencia del CMET Este y la influencia del PDI y la Tonalita (TO) (Figura 1.5).

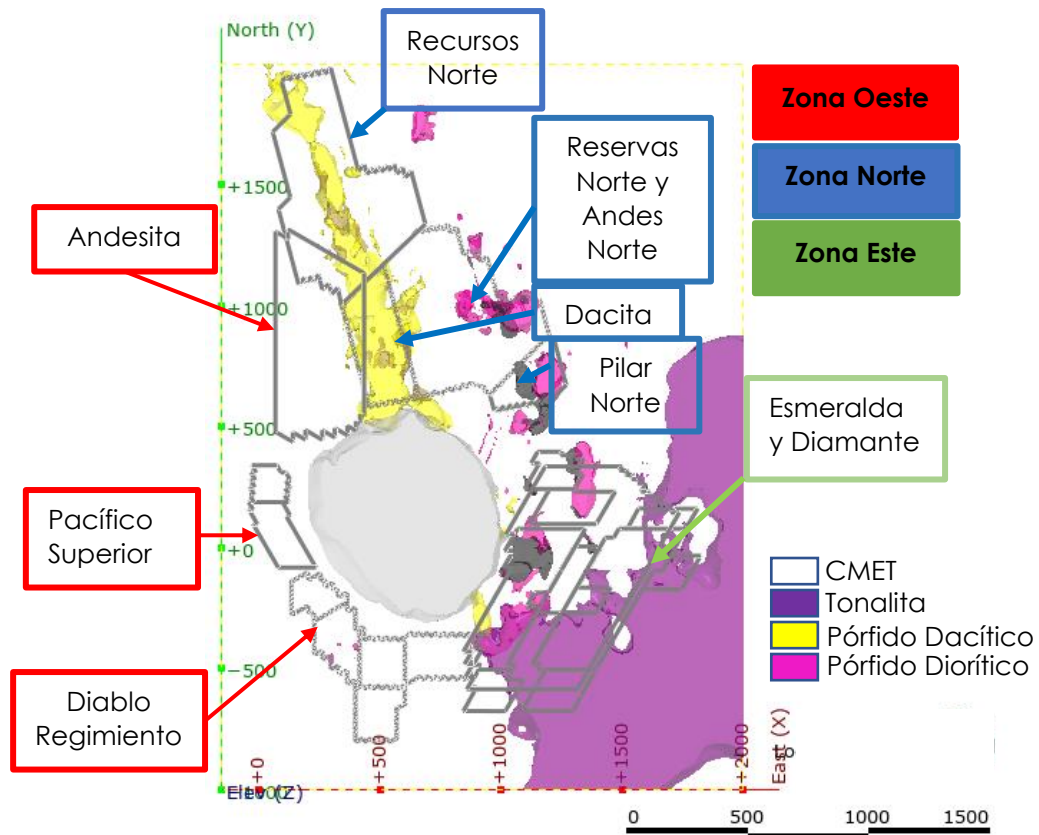


Figura 1.5 Zonas definidas para agrupar espacialmente el yacimiento. En rojo se observa la Zona Oeste con los sectores Andesita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento; Zona Norte con Recursos Norte, Reservas Norte, Andes Norte, Dacita y Pilar Norte; Zona Este con Esmeralda y Diamante.

Relación con parámetros geológicos y geotécnicos

En primer lugar, se busca encontrar una relación entre las muestras de ensayos geometalúrgicos y sus respectivas unidades litológicas disponibles en las bases de datos. Vale mencionar que las comparaciones realizadas en el estudio cobran importancia ya que la obtención de los datos y ensayos se hacen a una misma escala de muestra.

Luego se relacionan los parámetros geometalúrgicos con los modelos geotécnicos y de alteración que se encuentran cargados en el software Leapfrog Geo mediante el “*flaggeo*” de muestras, que consiste en la asignación de información contenida en los volúmenes de los modelos a los tramos de sondajes con información de ensayos geometalúrgicos, de esta forma se puede realizar un cruce de información entre estos dos parámetros. Este paso tiene como objetivo encontrar relaciones principalmente a un nivel más general con respecto a los distintos parámetros que se trabajan dentro del yacimiento.

Para encontrar relaciones más específicas con respecto al proceso de conminución se utilizarán datos más puntuales relativos a los modelos hechos en el yacimiento El Teniente. Las unidades litológicas escogidas para realizar este análisis corresponden al Complejo Máfico El Teniente, Tonalita, Pórfido Dacítico y al Pórfido Diorítico, debido a que estas unidades poseen una mayor representatividad dentro del yacimiento por su abundancia. Por otra parte, además de ser menos representativas, las otras litologías (brechas ígneas y brechas marginales) podrían presentar un comportamiento anisótropo, como el porcentaje de matriz o clastos en la roca. Con respecto al modelo geotécnico se utilizarán los datos de compresión uniaxial (UCS) y módulo de Young dinámico (Edin), pero para poder realizar una comparación con los ensayos de conminución se estudiarán las variables geotécnicas dentro de las mismas zonas donde fueron estudiadas las variables de Cwi, CI y Ai, con el objetivo de encontrar una relación entre estos dos parámetros. Con respecto a las zonas de alteración, se realiza un cruce de datos con la presencia de minerales propios de los distintos tipos de alteraciones que afectan a la roca representada en porcentaje-peso que fueron obtenidos mediante la metodología QEMSCAN. Los minerales de alteración se agruparán primero en grupos con respecto a su dureza en base a la escala de Mohs, los cuales se dividen en duros (cuarzo, albita, magnetita y turmalina) y minerales blandos (calcopirita, anhidrita-yeso, carbonatos y molibdenita), el segundo grupo es

en base a su comportamiento mecánico anisótropo, que corresponden a los filosilicatos (clorita, biotita y muscovita-sericita). Estos grupos se realizan con el objetivo de observar una relación con la dureza y el comportamiento mecánico de los distintos minerales que se pudieran encontrar en la muestra. También se agrupan los minerales a asociaciones de alteración basadas en el estándar de geología de la Superintendencia de Geología, con el objetivo de reforzar la observación de forma más específica de la influencia de la alteración. Finalmente, para complementar el estudio de la mineralogía QEMSCAN y su relación con el parámetro Cwi, se seleccionan nueve cortes transparentes de distintos sectores productivos y proyectos para las muestras que posean valores de Cwi (Tabla 1.4).

Tabla 1.4 Muestras a las que se les realizó una descripción petrográfica para relacionarlas con su resultado de Chancado LEIT (Cwi).

ID de Muestra	Cwi [kWh/tc]	ID de Sondaje	DESDE	HASTA	Unidad Litológica	Proyecto
S1181	13.74792	SG0691	84	96	CMET	Andesita
S1182	11.62273	SG0691	144	156	CMET	Andesita
S1290	15.51668	SG0700	123	135	CMET	Andesita
S1295	16.72665	SG0705	84	96	CMET	Andesita
S1402	21.41891	DDH2809	48	60	CMET	Ext. Sur Esmeralda
S1410	18.18366	PA0728	42	54	PDI	Diamante
S1415	19.56547	PA0739	36	48	PDI	Diamante
S1463	14.37304	PA0828	60	72	PDA	Dacita
S1464	23.6354	PA0688	24	36	CMET	Reservas Norte

1.5.5 Visita técnica a laboratorio externo

Se realizó una visita técnica a un laboratorio externo de ensayos geológicos para observar principalmente los ensayos geometalúrgicos y mineralógicos, tales como:

- Chancado LEIT (Cwi)
- Preparación de muestra para ensayo SPI (CI)
- Ensayo de índice de abrasión (Ai)
- Metodología para obtener mineralogía QEMSCAN

El objetivo de la visita fue la de entender el procedimiento para obtener los parámetros geometalúrgicos y la representatividad de estos con respecto a los procesos que ocurren dentro de las máquinas de chancado.

1.5.6 Ensayos utilizados y métodos de muestreo

Test de impacto de baja energía Bond o Chancado LEIT (Cwi)

Este ensayo determina el índice de trabajo de Impacto de Bond o Índice de Chancado (CWi), que puede usarse con la Tercera Teoría de Conminución de Bond para calcular los requerimientos netos de energía para dimensionar la eficiencia de chancadores. Este se mide en kWh/ton e indica la resistencia de una muestra en la etapa de chancado, usándose para estimar los requerimientos energéticos al realizar un escalamiento en una planta de chancado.

El aparato "Bond Impact Tester" consiste en dos martillos unidos a péndulos, los cuales a su vez se conectan con unas ruedas que miden el ángulo desde el cual se genera un efecto péndulo con los martillos. Entre estos dos martillos se encuentra la muestra que debe cumplir que sus dimensiones estén entre las 2" y las 3" debido a que la prueba busca que se impacte a todas las partículas de la muestra para simular el efecto de atricción. El número de muestras que se deben ensayar son de 20 idealmente que cumplan el requerimiento de tamaño, sin embargo, el ensayo se puede realizar con mínimo 10 muestras en caso de que no cumplan los requisitos. División El

Teniente realiza envíos de muestras de 12 metros que demuestren una representatividad por tramos del sondaje en base a su litología.

El procedimiento del ensayo consiste en primero medir la muestra de sondaje y visualizar el lado que más angosto, cumpliendo también este con el tamaño. Para el caso de los sondajes, estos se impactan 10 verticales y los otros 10 restantes horizontales para generar representatividad. Los impactos se realizan cada 5 grados hasta que la roca se fracture, luego se contabiliza el ángulo de la maquina en el que se rompió, la cantidad de pedazos que se generaron y el ángulo de fractura de la muestra. En base al ángulo, peso específico de la muestra y un factor de la máquina, calcula el Work Index para chancado (Fórmula 1). Estos datos de las 20 muestras se promedian y entregan el parámetro para ese tramo de sondaje. Algunos rangos de datos se observan en las Tablas 1.5 y 1.6, también su relación relativa con la resistencia a la compresión uniaxial.

Tabla 1.5 Rangos para parámetro de Chancado LEIT relacionado con resultados de Resistencia a la compresión uniaxial. Obtenido de Young, 2019.

Resistencia al chancado	Resistencia a la compresión uniaxial [MPa]	Chancado LEIT (Cwi) [kWh/tc]
Mínimo	<5	<2
Muy Bajo	5 a 10	2 a 5
Bajo	11 a 50	6 a 12
Moderado	51 a 150	13 a 18
Alto	151 a 250	19 a 25
Muy Alto	251 a 350	26 a 35
Extremo	>350	>35

$$\frac{\text{Factor } x \text{ Esfuerzo}}{\text{Peso Específico}} = \frac{82(1 - \cos(\alpha))1.3558}{SG}$$

Fórmula 1 Obtención del parámetro de Chancado LEIT (Cwi).

Dentro del laboratorio externo se tiene también una escala donde indica que tan blandos o duros serían los materiales. Siendo las categorías blando, moderadamente duro, duro y muy duro.

Tabla 1.6 Rangos para el parámetro de Chancado LEIT (Cwi) obtenido de datos generales del laboratorio externo.

Característica de la roca	Chancado LEIT (Cwi) [kWh/tc]
Blanda	<8
Moderadamente Dura	8-13.5
Dura	13.5-20
Muy Duro	>20

Índice de Chancado obtenido previo a ensayo SPI (CI)

La prueba de Índice de Potencia SAG (SPI) se utiliza para mostrar perfiles de dureza de un mineral para las minas potenciales o en operación. Se utiliza principalmente para predecir los rendimientos de SAG. La preparación de la muestra para este ensayo consiste en el chancado del material, del cual se obtiene un índice de chancado (Ci) para poder obtener mediante un algoritmo el valor de SPI. La obtención del parámetro Ci comienza con pesar la masa inicial total y el 20% de la muestra enviada por el cliente que corresponderá a un peso objetivo final para el material - ¾' + ½' al finalizar el proceso de chancado del material alimentador de la prueba SPI.

Luego se ocupa una malla 3/4' para clasificar la muestra en + 3/4' y -3/4' de tamaño. Teniendo estas mediciones, se pasa todo el material de forma continua a través de un chancador de mandíbulas dentadas (Figura 1.6), luego de terminar de chancar toda la muestra inicialmente nuevamente se clasifica a través de la malla 3/4'. Luego el material que queda sobre esta malla nuevamente es chancado a través de un chancador secundario de mandíbulas lisas, sin embargo, esta vez el material pasa todo al mismo tiempo. Finalmente, nuevamente se clasifica en las medidas anteriores para obtener el material mayor a 3/4', en caso de que existiera material que quedara sobre esta malla se tritura mediante un mazo intentando dividir las partículas a la mitad, considerándolo luego como material que pasa a través de la malla 3/4". Esta información es utilizada para luego introducirla a la Fórmula 2 que calcula el Crushing Index, la cual consiste en una relación entre el porcentaje con respecto al total que pasa en el primer chancador y entre el segundo proceso de chancado. Cabe mencionar que este no corresponde a un ensayo que se ocupa para medir el chancado en general, sino que es usado para el ensayo SPI en específico, donde muy pocos laboratorios la realizan.

$$Ci = \left(1 - \frac{C}{B}\right) \left(1 - \frac{B}{A}\right) 100$$

Fórmula 2 Fórmula para calcular el índice de chancado para la preparación de muestra de Sag Power Index. CI: Índice de chancado; A: Peso total de la muestra; B: Peso +3/4' después del primer chancado; C: Peso +3/4' después del segundo chancado.

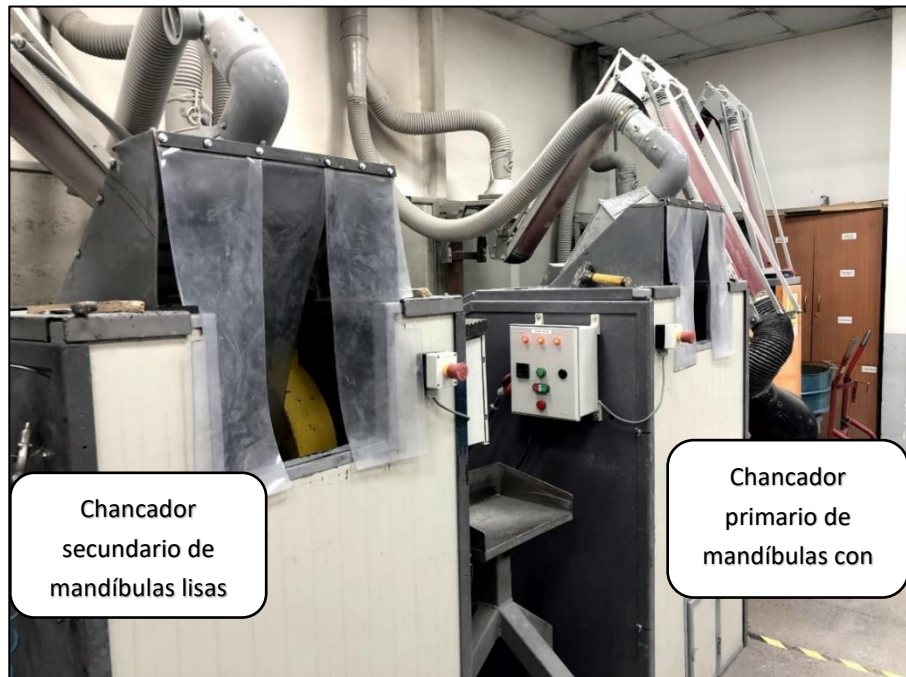


Figura 1.6 Chancadores utilizados para realizar la preparación del ensayo de Sag Power Index y obtener el parámetro de índice de chancado (CI).

Ensayo de índice de abrasión (Ai)

La prueba determina el Índice de Abrasión (Ai) que puede utilizarse para estimar el desgaste de componentes de acero y del revestimiento en chancadores, molinos de barras y molinos de bolas.

El equipo está formado por un tambor rotatorio (Figura 1.7) con una paleta de impacto montada en un eje central que rota a una velocidad mayor que el tambor. Se realiza una carga de 400 g que se hace rotar en el tambor durante 15 minutos y luego es reemplazada por una nueva carga de 400 g y procesada durante otros 15 minutos, repitiendo este proceso cuatro veces.

El Ai se determina a partir de la pérdida de peso de la paleta bajo condiciones de operación estándar.

Hay que tener en cuenta que este ensayo no es un ensayo de dureza como tal, ya que no mide la resistencia de un mineral a la conminución, sino que mide la resistencia a la abrasión del equipo que se utilizará, el cual se puede interpretar en la tabla 1.7.

La muestra requiere 1.6 Kg de material de tamaños entre ½" a ¾". Esto puede ser obtenido al tomar 5 Kg de mineral chancado a menos de ¾" y tamizado a ½".

$$\text{Índice de abrasión} = \frac{\text{masa perdida}}{\text{masa inicial}}$$

Tabla 1.7 Obtención de rangos para el índice de abrasión para distintas rocas, recopiladas por el SME. Obtenido de Young, 2019.

Tipo de muestra	Índice de abrasión de Bond	Clasificación
Bauxita	0.0005 a 0.02	No abrasivo
Mena de hierro pisolítico	0.005 a 0.03	No abrasivo
Dolomita	0.01 a 0.05	No abrasivo
Magnetita	0.1 a 0.3	Levemente abrasivo-abrasivo
Mena de hierro Marra Mamba	0.2 a 0.3	Levemente abrasivo-abrasivo
Basalto	0.2 a 0.4	Levemente abrasivo-abrasivo
Diabasa	0.2 a 0.4	Levemente abrasivo-abrasivo
Gabro	0.4	Levemente abrasivo-abrasivo
Anfibolita	0.2 a 0.45	Levemente abrasivo-abrasivo
Mena de cobre	0.3 a 0.45	Abraviso-Muy abrasivo

Tipo de muestra	Índice de abrasión de Bond	Clasificación
Andesita	0.4 a 0.5	Muy abrasivo
Graywacka	0.3 a 0.6	Muy abrasivo
Lamproíta	0.35 a 0.6	Muy abrasivo
Gneiss	0.4 a 0.6	Muy abrasivo
Granito	0.45 a 0.65	Muy abrasivo-extremadamente abrasivo
Hornfels	0.4 a 0.7	Muy abrasivo-extremadamente abrasivo
Hematita de alto grado	0.8	Abrasivo-extremadamente abrasivo
Diorita	0.4 a 0.8	Muy abrasivo-extremadamente abrasivo
Cuarcita	0.8 a 0.9	Muy abrasivo-extremadamente abrasivo



Figura 1.7 Máquina para realizar el test de abrasión de Bond. En la mano del operador se encuentra la placa de un acero que simula el recubrimiento de los chancadores.

Metodología QEMSCAN para obtener mineralogía

Corresponde a un sistema automatizado que realiza mapas mineralógicos de alta resolución. Funciona gracias a un "Scanning Electron Microscopy" (SEM) y dos espectrómetros de rayos X. Al penetrar el haz de electrones del SEM sobre la muestra se genera un "Backscattered Eelectrons" (BSE) que son medidos en base a su brillo para localizar las partículas individuales dentro de la muestra. Luego se realiza un barrido sobre la superficie en una grilla de espaciamiento con resolución 0,2 y 2,5 μm (Figura 1.8)

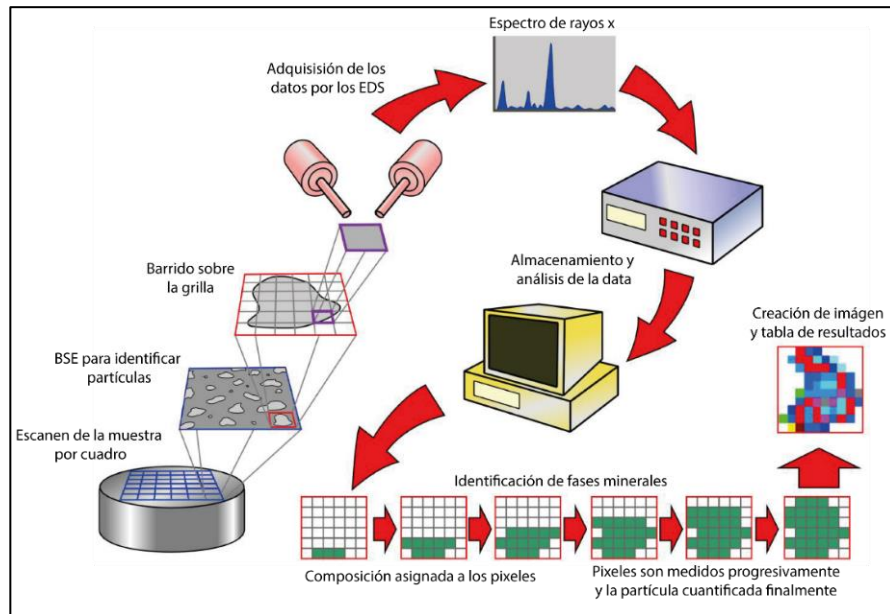


Figura 1.8 Diagrama de funcionamiento de la metodología QEMSCAN®.

1.5.7 Ensayos Geotécnicos

Ensayo uniaxial de compresión simple

Este ensayo sirve para determinar la resistencia a la compresión uniaxial de una probeta cilíndrica de roca de altura el doble y triple del diámetro. Además de otorgar la resistencia de la roca también tiene como finalidad la obtener el módulo de Young y su coeficiente de Poisson.

A pesar de ser normalizado este procedimiento en varios países, los aspectos básicos de las normas existentes son los siguientes:

- Se utilizan probetas cilíndricas de diámetro superior a 50 mm y por lo menos 10 veces mayor que el tamaño de grano o cristal más grande existente en la roca. Su altura debe ser 2.5 veces el diámetro aproximadamente.

- La probeta no debe contener discontinuidades geológicas que la atraviesen.
- Las superficies del testigo que están en contacto con las placas de la prensa deben ser planas, con una precisión de 0.02 mm, y no deben separarse de la perpendicularidad al eje de la muestra en más de 0.001 radianes, o sea, 0.005 mm en 50 mm.
- La carga se debe aplicar a una velocidad constante entre 0.5-1 MPa/s.

El ensayo consiste principalmente en un sondaje que es puesto en una prensa (Figura 1.9), la cual va aplicando presión a una velocidad constante en solo una dirección (en dirección vertical a la probeta) hasta que esta genere un fracturamiento, dando a entender que se llegó a la resistencia máxima que puede soportar la roca antes de fracturarse. Usualmente también se suele medir también las deformaciones axiales y laterales durante el proceso de carga, el cual va asociado a un parámetro de presión en ese momento. En base a estos datos se realiza un gráfico que relaciona las presiones obtenidas con la deformación en una dirección, donde el primer tramo que corresponde al inicio del ensayo hasta el momento de la fractura dará una relación lineal. La pendiente de esta relación lineal corresponde al módulo de Young. Hay que considerar que cuando la probeta posee estructuras y al momento de realizar el ensayo esta se fractura a través de la vetilla, el ensayo queda invalidado debido a que el esfuerzo sería mucho menor y no representativo del macizo rocoso, que es el objetivo principal del ensayo

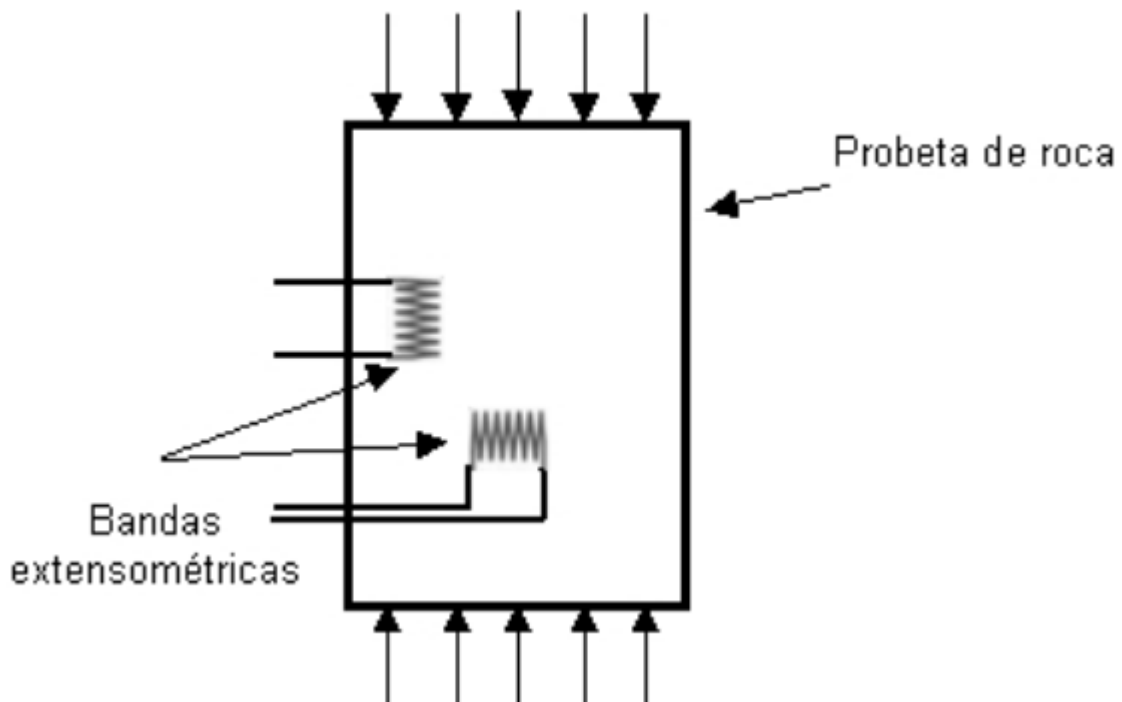


Figura 1.9 Dibujo esquemático de la configuración de un ensayo uniaxial de compresión simple. Se observa gracias a las flechas que los esfuerzos son verticales a la dirección de la probeta.

Ensayo de pulso ultrasónico para obtener módulo de Young dinámico

El ensayo tiene por objetivo obtener el módulo de Young dinámico mediante los resultados de propagación de ondas V_s y V_p a través de un testigo. Este módulo es usualmente más alto que el estático (ensayo uniaxial) y el ensayo consiste en medir el tiempo que se demora un pulso ultrasónico al recorrer la distancia entre un transductor emisor y uno receptor que se encuentran acoplados al testigo a estudiar (Figura 1.10). Luego mediante el conocimiento de la velocidad del pulso, la densidad y el volumen de la muestra, se calcula el módulo de elasticidad dinámico, por medio de una ecuación calibrada propia del laboratorio externo de geotecnia.

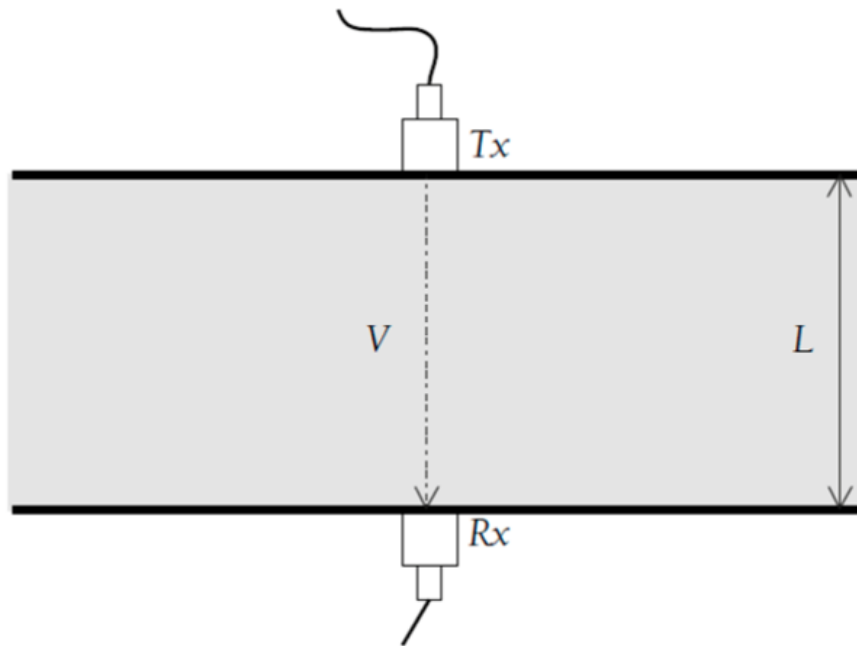


Figura 1.10 Diagrama de la realización del ensayo de pulso ultrasónico para obtener el parámetro de módulo de Young dinámico.

1.5.8 Métodos de muestreo

Muestro de frecuencia de vetillas blandas

Consiste en levantar en los testigos de sondajes de manera detallada de todas las vetillas pertenecientes al stockwork dentro de un tramo de 6 metros de soporte presente en las rocas del yacimiento El Teniente.

La caracterización geológica de cada vetilla comprende su clasificación de acuerdo con su tipo genético (HP, HT, TM), espesor, porcentaje mineralógico de relleno, halo de alteración y espesor de este último. Con respecto al porcentaje mineralógico, corresponde a la proporción de cada mineral visible en la superficie de la vetilla.

Para dividir las vetillas muestreadas entre duras y blandas se calcula la suma del porcentaje de minerales que posean una dureza bajo 4,5 (minerales blandos) en escala de Mohs, donde las que poseen un 60% o más de minerales blandos son categorizadas como estructuras blandas, de lo contrario pasan a categorizarse como vetillas duras.

Finalmente, la frecuencia de vetillas blandas se obtiene mediante la división entre las estructuras blandas definidas dentro de un tramo de 6 metros y el soporte como tal y se mide en 1/m.

Muestreo de tipos de alteración

El porcentaje de alteración corresponde a una medida de la interacción de los fluidos hidrotermales con la roca. La metodología para su obtención utilizada en El Teniente corresponde a la sumatoria de los halos de alteración asociados a las vetillas de cada evento, el cual se resta de la alteración Tardimagmática (TM) considerada como alteración total inicial (100%) (Fórmula 1.3). Esta metodología está determinada solo para muestreo de tramos dentro de la zona hipógena (primaria).

$$\% \text{ 100 Alteración }_{(15m)} = \sum [\% \text{ Pre TM} + \% \text{ TM} + \% \text{ HP} + \% \text{ HT}]_{(15m)}$$

*Fórmula 1.3 Cálculo de del porcentaje de alteración
(Informe interno).*

2 Teoría de conminución y procesos de chancado en división El Teniente

Naturalmente los minerales que son de interés económico se encuentran asociados y atrapados por minerales de ganga, haciendo que la recuperación sea más compleja. Una forma para obtener este mineral de mena es la de disminuir el tamaño de material, de tal forma que las partículas resultantes de este proceso se compongan en su mayoría del mineral de mena. Esto alimentaría luego los procesos correspondientes para la recuperación y obtención del elemento de interés. Los procesos de conminución dentro de una planta de procesamiento mineral corresponden al de chancado y molienda. Estos procesos poseen desde la teoría tres principios fundamentales (Torres, 2017) asociados al comportamiento del material frente al proceso, los cuales serían:

1. Todas las partículas poseen un nivel de energía base que debe ser considerado en el cálculo de la energía total necesaria para fragmentar.
2. El trabajo W necesario para fragmentar es proporcional al largo de las nuevas fracturas producidas.
3. La facilidad para fragmentar un material está relacionada con los planos de debilidad propios del material.

Estos procesos corresponden a los mayores costos dentro de una planta, siendo el costo en recursos energéticos el más importante. Bond (1951) (Fórmula 2.1) calcula mediante un modelo empírico la relación entre el consumo energético y la reducción en el tamaño de partícula, concluyendo que existe una relación directa entre ambos parámetros, necesitando más energía para reducir el material hasta un menor tamaño.

$$W = 10 \times W_i \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right)$$

W: Consumo específico de energía o trabajo necesario para moler de un tamaño F_{80} hasta otro P_{80} .

W_i : Índice de trabajo de Bond

F_{80} : Tamaño bajo el cual se encuentra el 80% de la alimentación.

P_{80} : Tamaño bajo el cual se encuentra el 80% del producto.

Fórmula 2.1 Calcular el consumo específico de energía de un chancador (Bond, 1951).

El modelo empírico involucra el parámetro el índice de trabajo de Bond (W_i), el cual depende de las características mecánicas y mineralógicas de la roca que se esté intentando reducir y del proceso de conminución involucrado. El presente trabajo se enfocará en el proceso de chancado y mecanismos de fractura que están involucrados.

2.1 Mecanismos de fractura

Los minerales son materiales cristalinos que poseen átomos unidos a través de enlaces químicos y a su vez estos cristales poseen fuerzas físicas que los unen. Estas fuerzas son las que se deben superar para realizar una disminución en el tamaño, sin embargo, también debemos tener en cuenta que en la naturaleza la roca fue también están siendo sometidas a esfuerzos compresivos y tensionales, otorgándoles grietas y estructuras en la roca, eso sumándole en algunos casos algunas alteraciones que disminuyen la dureza de la roca, generando probablemente una ventaja al momento de disminuir el tamaño del material.

Debido a lo anterior las rocas tendrán un comportamiento anisótropo con respecto al proceso de chancado, ya que cada una reaccionará diferente a los distintos mecanismos de fractura los cuales serían:

Compresión: Ocurre cuando existen fuerzas compresivas que actúan a baja velocidad sobre el material, produciendo en su mayoría material grueso y en menor cantidad finas. La energía aplicada es suficiente para generar fracturas y generando menos fragmentos (Figura 2.1).

Impacto: Ocurre cuando la fuerza aplicada excede la necesaria para la simple reducción de tamaño, produciendo una gran cantidad de partículas con un rango amplio de tamaños (Figura 2.1).

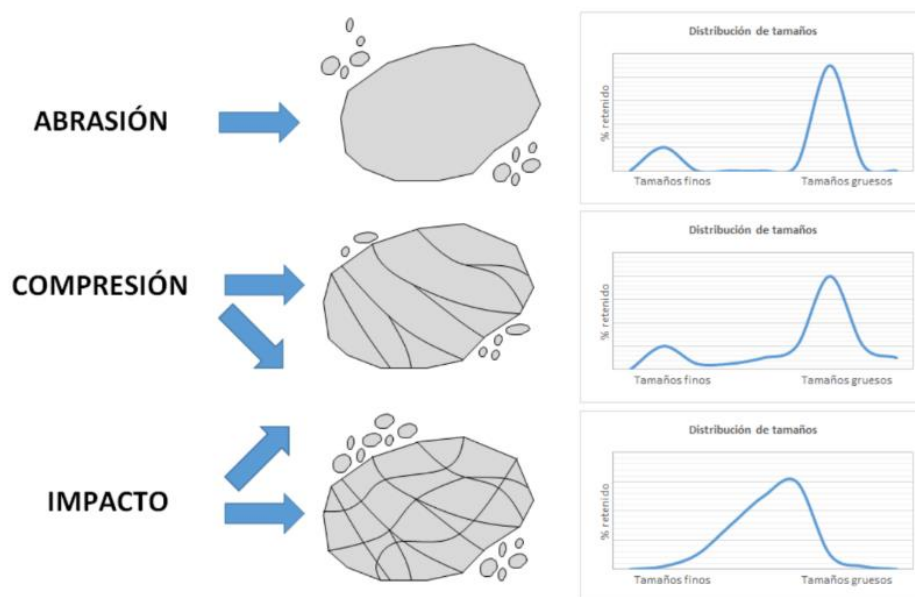


Figura 2.1 Mecanismos de fractura. Se observa que cada mecanismo produce una distribución granulométrica característica (Obtenido de Torres, 2017).

Abrasión: Existen fuerzas cortantes que actúan principalmente sobre la superficie de la partícula, formando dos tamaños de partículas, siendo uno muy cercano a la original y otro muy fino. Este mecanismo tiene mayor importancia en los procesos de molienda (Figura 2.1).

Atricción: Dentro del proceso de chancado, si bien existe la abrasión, pero en menor medida, ocurre un mecanismo similar que generaría la mayor cantidad de partículas finas, este mecanismo sería el de decantillado. Este mecanismo produce el desprendimiento de todas las esquinas y cantos de las partículas, debido a que el chancador aplica esfuerzos tangenciales a la roca que no son suficientes para fracturar la roca completa. La combinación entre el mecanismo de decantillado y el de abrasión se le suele llamar atricción (Figura 2.2).

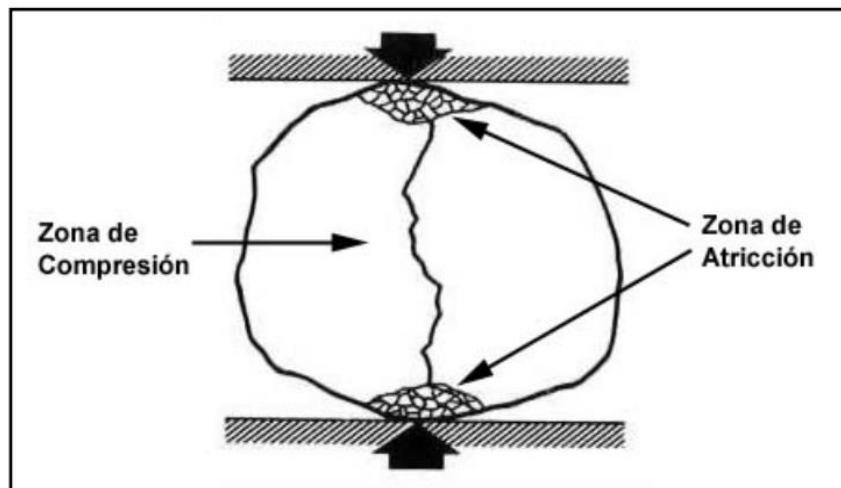


Figura 2.2 Se observa que la zona de atricción se da en el canto de la partícula, generando dos productos de similar tamaño y varias más finas (Obtenido de Tapia 2010).

2.2 Tipos de chancadores

Los chancadores son equipos electromecánicos de grandes dimensiones que trituran la roca mediante movimientos de compresión y atricción. Están contruidos mediante aleaciones especiales de acero de alta resistencia. Estos son alimentados mediante correas transportadoras que pueden venir material proveniente directo de la mina, como desde otro chancador. Una forma de dividir los chancadores corresponde a la función en el grado de reducción de mineral que cumple, estando el primario, secundario, terciario y en algunos casos el cuaternario.

Chancador de mandíbula: Este tipo de chancadores están compuestos por dos placas que forman un ángulo agudo, estas se cierran y abren triturando alternativamente el material para luego de ser liberado descende continuamente hacia la cámara de trituración (Figura 2.3), cayendo finalmente por la abertura de descarga. Las variaciones que pueden tener los

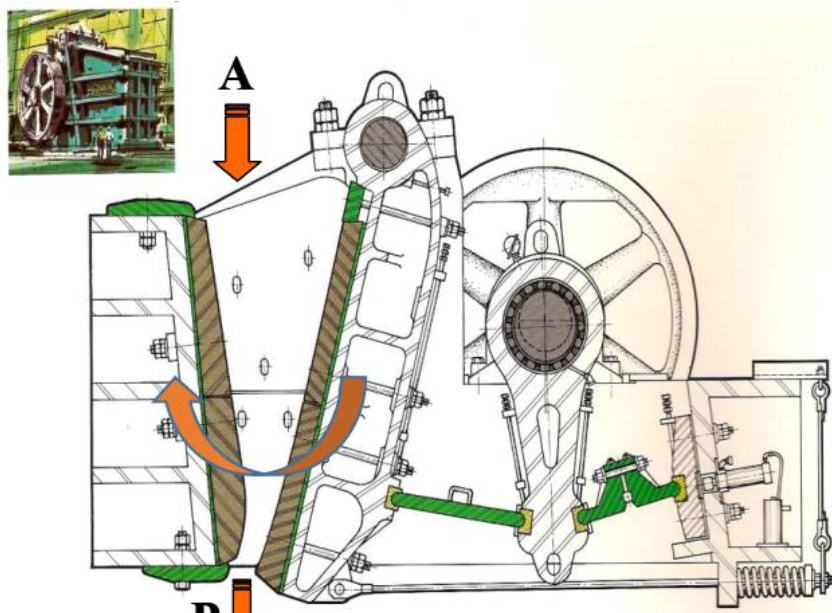


Figura 2.3 Chancador de mandíbulas tipo Blake. El punto A denota la zona de alimentación y el P la salida del producto (Obtenido de Torres, 2017).

chancadores de mandíbulas dependen del método de apoyar la mandíbula móvil. En primer lugar, tenemos el chancador Blake, donde la mandíbula está apoyada en el sector superior, quedando con una alimentación constante y una abertura de descarga variable. Luego tenemos el de tipo Dodge, el cual se fija en la parte inferior quedando con la alimentación variable y una abertura de descarga constante, este tipo de chancador solo se utiliza para trabajos de laboratorio debido a que a grandes cargas se suele obstruir. Finalmente, tenemos el universal, el cual posee un pivote en el medio de la placa móvil, haciendo de la alimentación y la abertura de descarga variables.

Chancador giratorio: Consiste en un objeto en forma de flecha suspendido de una "araña" que gira entre 85 rev/min y 150 rev/min, siguiendo una trayectoria cónica dentro de la cámara de trituración fija (Figura 2.4). El movimiento máximo de se genera cerca de la zona de descarga, siendo menos

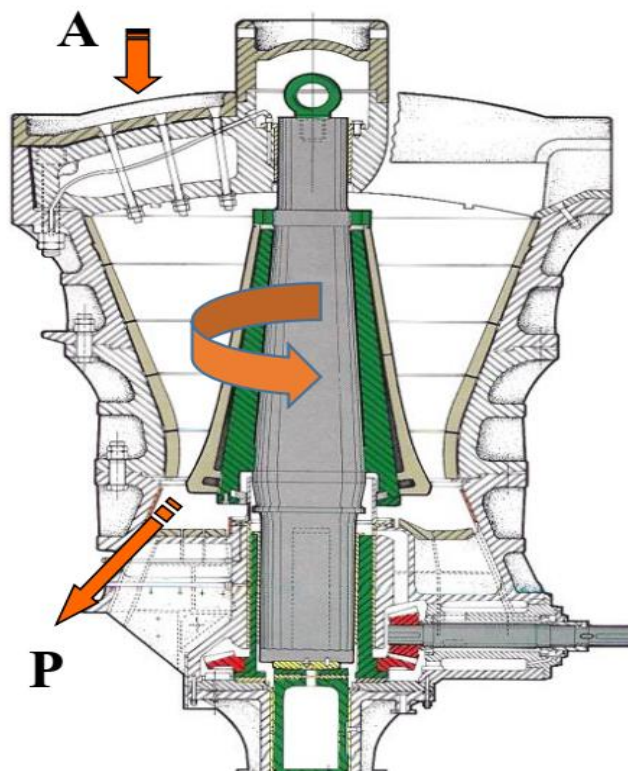


Figura 2.4 Chancador giratorio. En A se encuentra la zona de alimentación y en B donde el producto sale (Obtenido de Torres, 2017).

probable que ocurra una obstrucción. Este objeto que se ubica al centro de la máquina posee un elemento de molienda cónico de acero asentado en un casquillo excéntrico. Debido a sus características mencionadas anteriormente el chancador giratorio tritura durante todo el ciclo, entregándole una mayor rapidez en el proceso de chancado, dado esto es usual que se use este tipo de chancador cuando las plantas manejan producciones muy altas. Este tipo de chancadores usualmente trabajan sin mecanismos de alimentación, sino que directamente por camiones debido a su alta capacidad y su velocidad de chancado.

Chancador de cono: El chancador de cono es similar al giratorio, sin embargo, se diferencian en que el objeto en forma de flecha es más corto y no está en suspensión, sino que está soportado por un cojinete curvo debajo de la cabeza giratoria. Este tipo de equipo opera a velocidades mucho más altas que el giratorio, de esta forma permite a las partículas fluir libremente a través del chancador y el amplio espacio que se genera entre el cono y el tazón cuando está en la posición completamente abierta ayuda a que el material fino triturado sea descargado rápidamente (Figura 2.5).

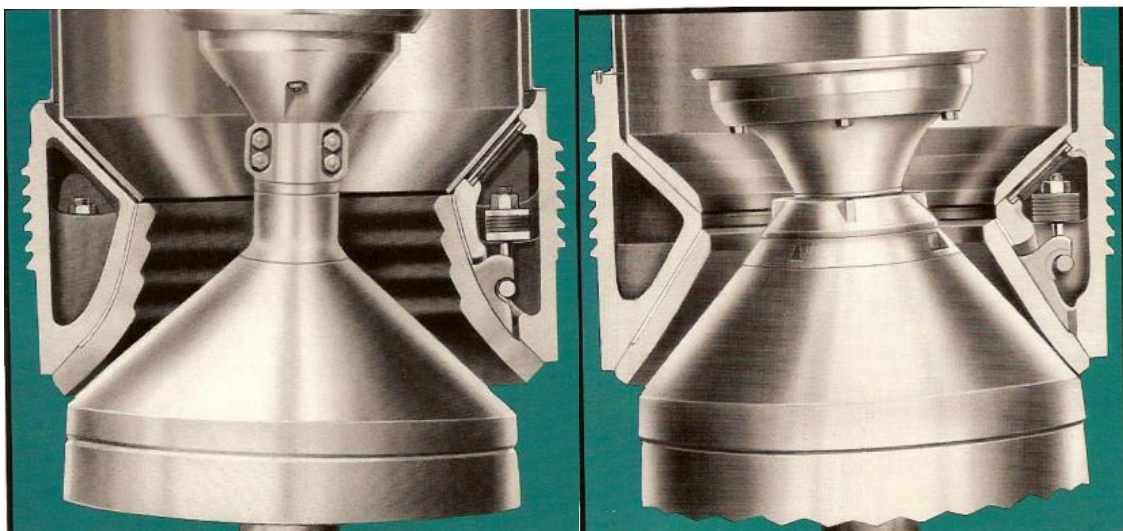


Figura 2.5 Chancadores de cono. A la izquierda se encuentra el estándar que funciona para los procesos secundarios, a la derecha el de cabeza corta para procesos terciarios (Obtenido de Tapia, 2010).

Uno de los chancadores de cono más usado en la industria corresponde al de tipo Symons, subdividiéndose en dos tipos, la estándar utilizada para chancado secundario y el de cabeza corta para trituración terciaria. La estándar tiene revestimientos escalonados, que le permite una alimentación más gruesa. En el de cabeza corta el ángulo formado entre la cabeza y el revestimiento es mayor, ayudando a evitar el atoramamiento con material fino, además de tener un espacio de alimentación más pequeña

2.3 Procesos de chancado en División El Teniente

El material que se procesa en las plantas corresponde a rocas provenientes de la extracción subterránea y del Rajo Sur. El mineral proveniente del interior mina pasa previamente por una etapa de chancado a partir de chancadores instalados en dentro de la mina en sectores de la pipa. Este material corresponde aproximadamente al 88% del total del tonelaje ingresado, el cual es transportado a la Planta Colón. El material restante (12%) corresponde al material del Rajo Sur, el cual se procesa en Planta Sewell. Los procesos convencionales de chancado corresponden a los de chancado primario, secundario y terciario. El primario, como su nombre lo indica, corresponde al primer proceso de chancado a la que se somete el material, el cual viene directo de los puntos de extracción de la mina, aunque en algunos casos los tamaños no son los mismos que los naturales debido a que existen procedimientos operacionales, como el uso de martillos hidráulicos, para disminuir su tamaño. En esta etapa de chancado dura hasta que se llegue a una granulometría promedio de 8 pulgadas, luego el material generado pasa a alimentar a la segunda etapa de chancado que lo reduce hasta 3 pulgadas, finalmente en la última tercera etapa se reduce a 1/2 pulgada.

2.3.1 Proceso de chancado interior mina

Dentro de la mina se encuentran tres chancadores primarios que se ubican en los sectores de Diablo Regimiento, Pilar Norte (Figura 2.6 y Figura 2.7) y Dacita, no obstante, no todo el material obtenido de los puntos de extracción de los sectores productivos pasa por este proceso primario. En el caso del mineral que pasa a través del chancador primario, este pasa a través de un pique que conecta con el nivel de transporte intermedio que se encuentra a la altura de la cota 1808 msnm. En este los buzones entregan el material a camiones que lo transportarán hacia las tolvas de vaciado del chancador primario dentro de la mina, el cual consiste en un chancador giratorio de 60" X 89", con una capacidad de 60 ktpd. Luego de que el material sea procesado el material desciende por la tolva de finos que se encuentra por debajo de los chancadores y es captado por el ferrocarril Teniente 8.

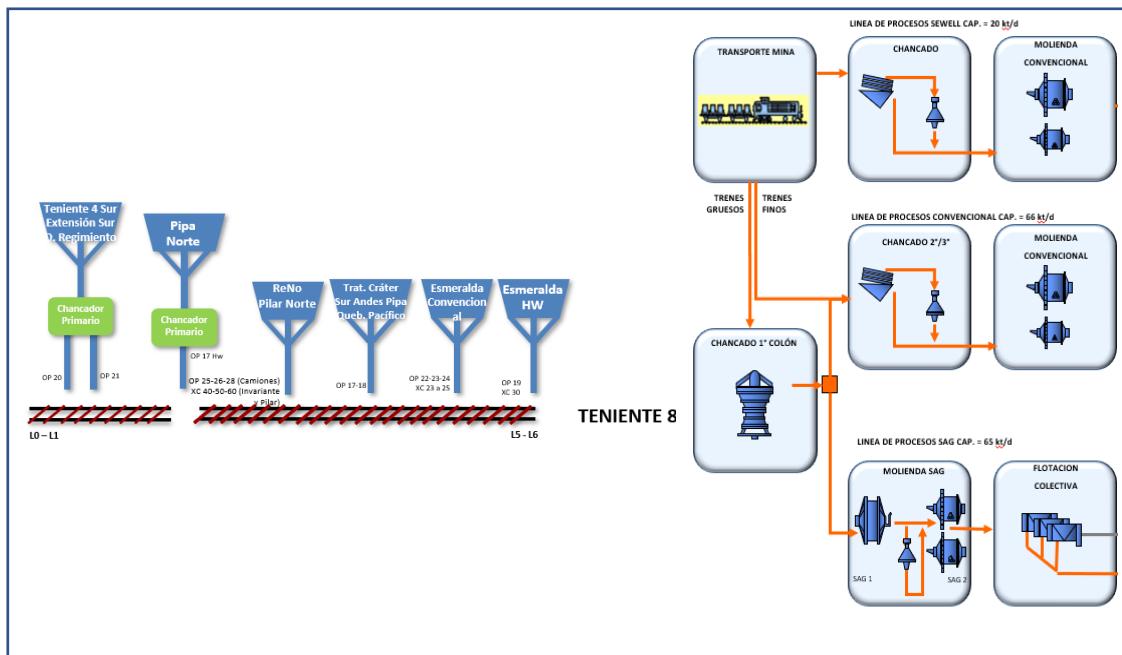


Figura 2.6 Diagrama de flujo generalizado del transporte y procesamiento de mineral referencial en distintos sectores productivos en el año 2011 (Mejías, 2013).

Con respecto al material que no pasa por el proceso de chancado primario dentro de la mina, este es acarreado desde los puntos de extracción a piques con parrillas por donde pasa un determinado tamaño de material. El material que no puede pasar por las parrillas se le somete a un martillo hidráulico en el mismo lugar, de esta forma alcanzando el tamaño debido. Este mineral es canalizado hasta el ferrocarril Teniente 8.

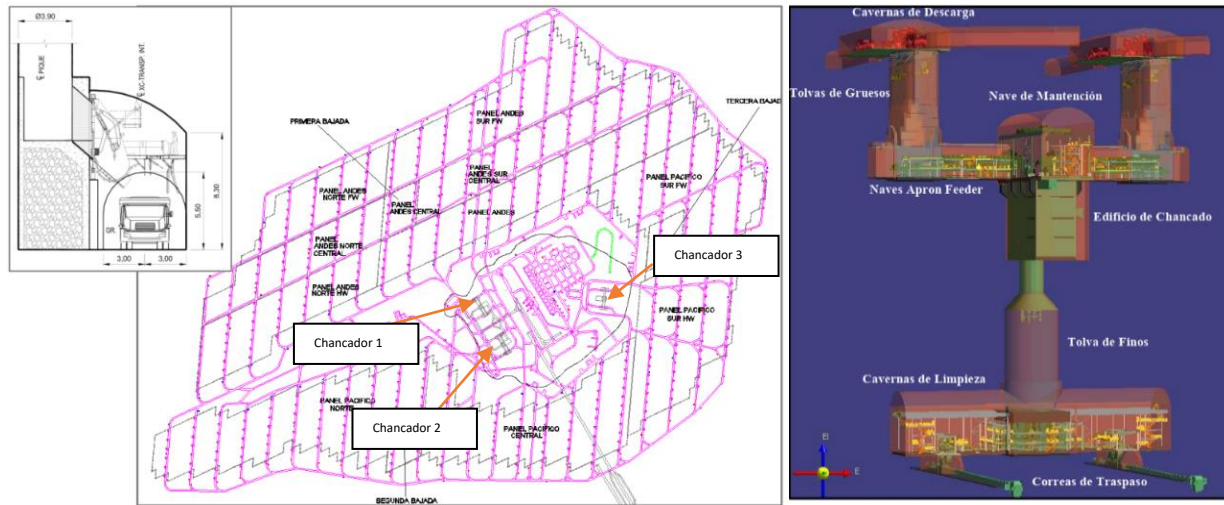


Figura 2.7 A la izquierda se observa la ubicación de los chancadores primario-rotatorios en el nivel intermedio de acarreo. A la derecha se observa las partes que conforman el equipo de chancado y las zonas de alimentación (Mejías, 2013).

2.3.2 Proceso de planta chancado Sewell

Como se mencionó anteriormente, a la planta de chancado de Sewell llega principalmente material proveniente de Rajo Sur, el cual es acarreado por los ferrocarriles Teniente 5 Norte. El mineral pasa a través de un chancador primario de mandíbulas, luego por uno secundario y terciario correspondientes a chancadores giratorios o de cono. Entre cada etapa de chancado existen etapas de clasificación y transporte, las cuales se encargan de seleccionar

productos que ya cumplen la granulometría determinada para continuar su paso al proceso de molienda (Figura 2.8).

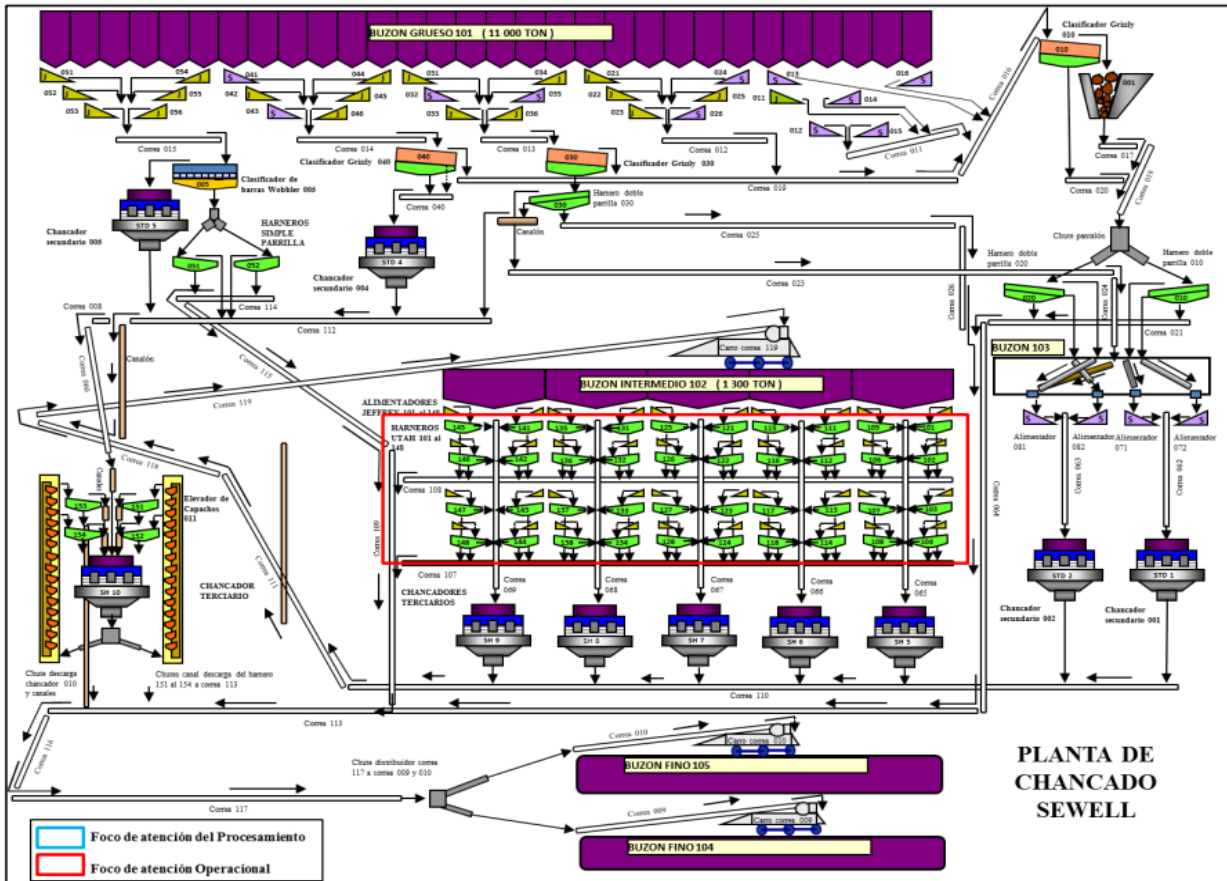


Figura 2.8 Procesos de chancado planta Sewell. Se presentan los procesos primarios, secundarios y terciarios (Mejías, 2013).

Luego el mineral que pasó por los chancadores es clasificado por los harneros Utah del buzón intermedio, alcanzando en general las características necesarias. Estas finalmente son llevadas hasta los buzones de fino de la Planta Molienda Sewell.

2.3.3 Proceso de planta chancado Colón

En la planta de chancado Colón (Figura 2.9) se procesa el mineral acarreado por los ferrocarriles Teniente 8, el cual posee material ya chancado (proveniente de los chancadores interior mina mencionados anteriormente) y

mineral sin un procesamiento previo. Las rocas son descargadas a través de la línea 0 y 1 al buzón de grueso, el cual alimenta a las las correas que llevan el material a harneados que dividen el material en finos y gruesos, llevando los finos hacia el proceso de molienda unitaria y a los gruesos a los chancadores primarios de Colón, los cuales son de tipo giratorio de 54"x74" y de 60"x89". Luego el material fino se dirige a la torre de transferencia, la cual

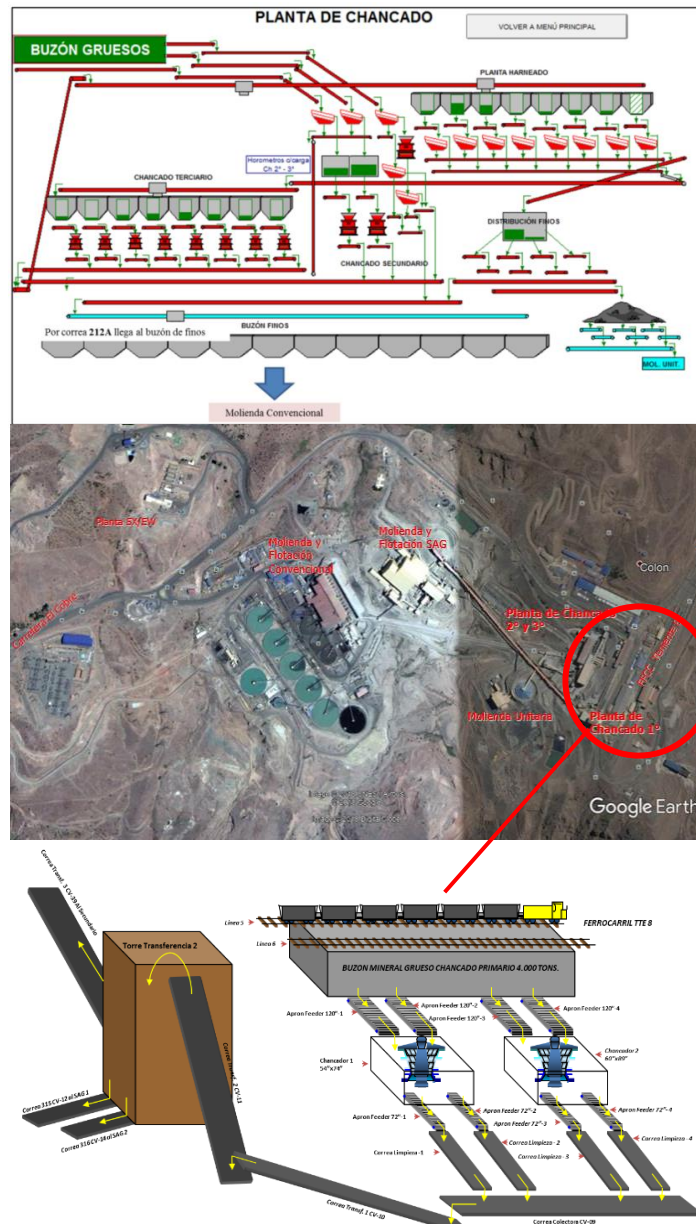


Figura 2.9 Procesos de la planta de chancado Colón. En la imagen del medio se observa una fotografía en planta del sector de los procesos. En la imagen inferior se observa cómo se distribuye el mineral al chancado primario, que luego pasa por la torre de transferencia. En la superior se observan el chancado primario, secundario y terciario con sus respectivos harneros.

clasifica el material en aquel posee el tamaño suficiente para pasar a la etapa de molienda convencional y los que deben pasar por el proceso secundario. En el chancado secundario se encuentran tres chancadores de cono modelo H8800, para luego pasar nuevamente a un proceso de harneado donde se verifica la granulometría, haciendo la división entre los minerales que cumplen el tamaño para el proceso de molienda convencional y los que deben pasar por un proceso terciario. Luego, el material pasa a través de los chancadores terciarios, los cuales son seis chancadores de cono H8800 y dos de cono Symons 7SH, que genera material de suficiente tamaño para ser trasladado al buzón de finos que alimenta la planta de molienda convencional.

3 Marco Geológico

3.1 Introducción

En el flanco occidental de la Cordillera Principal a la altura de la VI región se sitúa el mega-yacimiento de cobre-molibdeno El Teniente, ubicado entre los $33^{\circ}45'$ - $34^{\circ}45'$ latitud sur y los $70^{\circ}00'$ - $71^{\circ}00'$ longitud oeste. Este corresponde a uno de los tres mayores pórfidos cupríferos chilenos, junto a Los Pelambres ($31^{\circ}43'S$) y Río Blanco-Los Bronces ($33^{\circ}08'S$), los cuales pertenecen a la franja Cuprífera del Mioceno Superior-Plioceno, que se extiende entre los 31° y 36° S de los Andes Centrales en dirección norte-sur. (Skewes et al., 2002 y). En este afloran secuencias estratificadas de rocas volcánicas intercaladas con secuencias sedimentarias (marinas y continentales) de origen Triásico Superior. Además, han sido intruidas por cuerpos hipabisales y plutónicos de edad Cenozoicas.

3.2 Marco Geotectónico

El yacimiento El Teniente se ubica al este de la intersección entre la dorsal y la fosa chilena, en el límite entre la Zona Volcánica Sur (ZVS) y el segmento tectónico andino de bajo ángulo "*flat slab*", caracterizando la ausencia de actividad volcánica contemporánea (Kurtz et al., 1997), asociándose con la evolución tectónica del margen continental sudamericano.

En el Mioceno Medio comienza la segmentación del arco andino en Chile Central, debido a la disminución del ángulo de subducción al norte de los 33° S, relacionado con la subducción activa de la Dorsal de Juan Fernández (Pilger, 1981). Esto provocaría un aumento en el grosor del arco magmático y posteriormente la migración del frente volcánico al este en el Mioceno Tardío y el fin de la actividad magmática en el Plioceno (Kay y Kurtz, 1995) (Figura

3.1). Además, el engrosamiento y deformación de la corteza bajo la cadena volcánica se asocia a un alzamiento al norte de los 33°S (Kay et al., 1991).

En la zona más al sur de los 33°S el ángulo de subducción también decrece con el desarrollo del segmento de "*flat slab*", pero en menor magnitud que en el norte, generando la migración al este del frente volcánico a su actual posición en los Andes. Esto también genera un efecto de engrosamiento de la corteza y alzamiento de la cadena volcánica andina (Skewes y Stern, 1994) (Figura 3.1).

El engrosamiento cortical y la progresiva disminución del ángulo de subducción de la Placa de Nazca, en el Mioceno, genera un sollevamiento. Esto provoca un rápido ascenso de los sistemas plutónicos, que gatillan una exsolución de fluidos magmáticos ricos en cobre que dan origen a la mineralización (Skewes y Stern, 1995), emplazando tres de los más grandes e importantes yacimientos de tipo pórfido cuprífero de Chile, El Teniente, Río Blanco-Los Bronces y Los Pelambres.

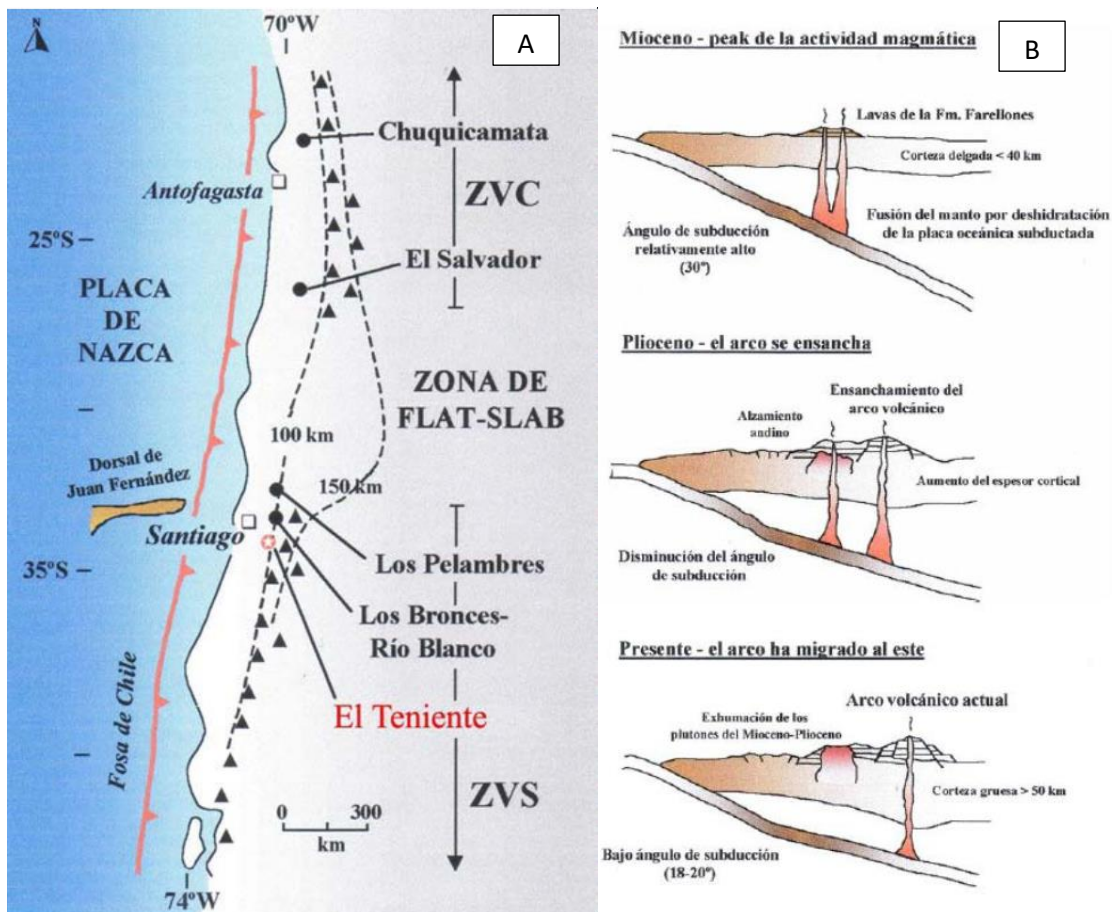


Figura 3.1 A: Ubicación de la zona de "flat slab" que separa la Zona Volcánica Central de la Zona Volcánica Sur. Los triángulos indican la ubicación actual del frente volcánico activo y los círculos la ubicación de los grandes yacimientos de pórfidos de cobre de la franja del Mioceno Tardío y otros del Terciario Medio, ubicados al norte de Chile. (Extraídos de Hitschfeld, 2006). B: Perfiles transversales que muestran la evolución tecto-magmática de los Andes de Chile Central entre el Mioceno y el presente. Corresponde a la latitud de 34°S. (Extraído de Skewes y Stern, 1994).

3.3 Geología

3.3.1 Rocas Estratificadas

En la franja cordillerana de la Región Libertador Bernardo O´Higgins, autores como Klöhn (1960) y Charrier (1973 y 1981) entre otros, han definido las unidades geológicas que se describen a continuación, desde la más antigua hasta la más reciente.

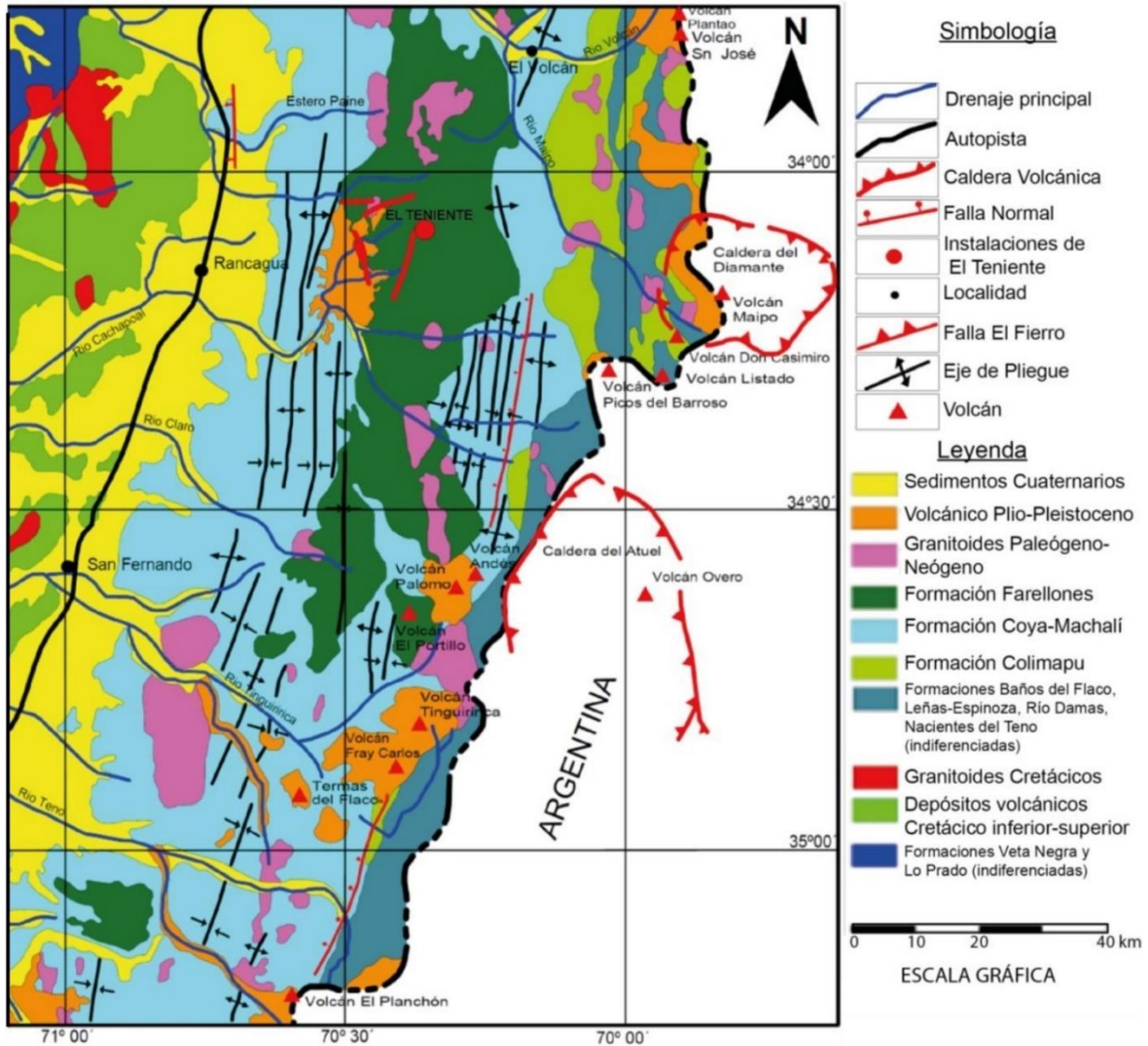


Figura 3.2 Mapa Geológico Regional de la franja cordillerana de Chile Central. (Modificado de Charrier et al., 1996; Extraído de Harrison, 2010).

- Formación Nacientes del Teno (Bajociano-Kimmeridgiano Inferior):** Corresponden a rocas sedimentarias clásticas depositadas durante un ciclo marino (Charrier, 1973) definidas por Klöhn (1960) ubicadas al oriente, en el límite con Argentina (Figura 3.2). Davidson y Vicente (1973) definen dos miembros para esta formación, siendo la inferior el Miembro Rinconada y Estratos Inferiores del Valle Villagra y Quebrada La Zorra (Klöhn, 1960) que corresponden a estratos de 100 a

200 metros detríticos y calcáreos. Con respecto al miembro superior, este corresponde al Miembro Santa Elena (Klöhn, 1960) que corresponden a potencias de 500 a 600 metros de depósitos evaporíticos (yeso y anhidrita), los cuales disminuyen parcialmente hacia el este. La Formación Nacientes del Teno subyace en forma concordante a la Formación Río Damas.

- **Formación Río Damas (Kimmeridgiano Superior – Titoniano Inferior):** Está compuesta por rocas sedimentarias clásticas continentales, gruesos depósitos de origen volcánico (efusivos y piroclásticos) y en menor medida sedimentos químicos (Klöhn, 1960). Las unidades litológicas sedimentarias y volcánicas representan el fin de un ciclo regresivo y la depositación en un ambiente de tipo continental durante el Kimmeridgiano Superior y Titoniano Inferior. Esta se ve representada en el sector como una franja de orientación norte-sur en la zona oriental de la región (Figura 3.2). Se encuentra mejor representada en el sector de Río Damas, presentando un espesor promedio de 3000 metros. La Formación Río Damas subyace en concordancia a la Formación Baños del Flaco y en contacto por falla limita con la Formación Leñas-Espinoza (Charrier, 1973).
- **Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano Superior- Titoniano Inferior):** Esta unidad, definida en un principio por Klöhn (1960) y luego redefinida por Charrier (1981), presenta una secuencia rocas sedimentarias detríticas y calcáreas de 1200 ubicadas en el sector oriental con una orientación norte-sur (Figura 3.2), que representan un evento transgresivo. Su límite inferior es desconocido y de techo existe

una transición gradual a la Formación Baños del Flaco, y en discordancia con la Formación Coya-Machalí.

- **Formación Baños del Flaco (Titoniano-Neocomiana):** Según Klöhn (1960) corresponde a secuencias entre 1.100 y 2.300 metros de rocas sedimentarias marinas (margas y calizas) con intercalaciones detríticas y volcánicas (conglomerados, brechas, areniscas, tobas y lavas) las cuales disminuyen su espesor hacia el este (Charrier, 1981). En la región se encuentra distribuida principalmente en pequeños afloramientos de dirección norte-sur, truncadas por lavas de un complejo volcánico más contemporáneo (Figura 3.2). Los depósitos marinos de esta formación se asocian a un segundo ciclo de transgresión-regresión que se desarrolló en el Kimmeridgiano y el Hauteriviano, cubriendo el margen occidental de la Cordillera Principal. En la Región Metropolitana recibe el nombre de Formación Lo Valdés (Thiele, 1980) y Formación San José en el sector del Río Aconcagua (Aguirre, 1960). Su techo se encuentra erosionado y sobreyacido de forma discordante por la formación Coya-Machalí. Además, Charrier (1981) menciona que esta Formación se encuentra intensamente deformada.
- **Formación Colimapu (Barremiano-Albiano):** La Formación por Klöhn (1960) corresponde a un grupo de rocas estratificadas continentales, la cual se divide en dos miembros. El Miembro Inferior sedimentario está compuesto por areniscas finas epiclásticas y calizas tipo micritas, con una potencia de 1500 metros. El Miembro Superior volcánico se compone de tobas lítico-cristalinas de lapilli e ignimbritas, este miembro posee un espesor de 1600 metros (Charrier, 1981). Su origen se le atribuye a un segundo ciclo sedimentario continental, debido

al alzamiento durante el Barremiano-Albiano, finalizando con una fase plegada de las unidades del Senoniano en la fase Sub-Hernínica (Charrier, 1973). Esta Formación se ubica en la zona oriental de la región, distribuidas como cuerpos discontinuos que siguen un lineamiento norte-sur, la cual subyace en discordancia erosiva a la Formación Coya-Machalí (Klöhn, 1960).

- **Formación Coya-Machalí (Eoceno Superior-Mioceno Inferior):** Fueron definidas como un grupo de rocas volcánicas continentales (efusivas y piroclásticas) de composición ácida, con leves intercalaciones de sedimentos lacustres (Klöhn, 1960). En la región de estudio afloran dos franjas con orientación norte sur (Figura 3.2), una orienta y otra occidental. La franja occidental posee litologías de lavas afaníticas, porfídicas y microfaneríticas de composición andesítica, y la franja oriental posee rocas piroclásticas con intercalaciones de gran potencia (3200 metros) de sedimentitas finas (Charrier et al., 1994).

Se puede correlacionar con la Formación Abanico, sobreyace en discordancia a las Formaciones Baño del Flaco, Leñas Espinoza, Río Damas y Nacientes del Teno y subyace en discordancia angular a la Formación Farellones.

- **Formación Farellones (Mioceno Superior):** Esta formación, definida por Klöhn (1960), posee una gruesa unidad de sedimentitas clásticas terrígenas, lavas andesíticas, riolíticas y basálticas, además con rocas piroclásticas que alternan con sedimentos provenientes de la descomposición de las rocas efusivas y depósitos lagunares (areniscas,

lutitas, tufita y baja potencia de calizas). Estas poseen en general un espesor mayor a 2400 metros, con una distribución norte-sur que se encuentra entre las franjas correspondientes de la Formación Coya-Machalí (Figura 3.2). El depósito se asociaría a una intensa actividad volcánica, predominantemente andesítica (Charrier, 1983). Se disponen levemente plegadas en discordancia angular sobre la Formación Coya-Machalí y en la región se encuentra cubierta por la Formación Colorado-La Parva (Thiele, 1980). En esta Formación se emplaza el yacimiento El Teniente.

- **Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno):** Reconocida en primer lugar por Enrione (1972) y luego definida como Formación por Gómez (2001), se compone de lahares de granulometría heterogénea, insertos en una matriz arcillo-cinerítica, con leves intercalaciones de niveles de ceniza, coladas andesíticas de baja potencia y gravas fluviales de potencias muy variadas, siendo su máximo 150 metros. Sobreyace en disconformidad a las Formaciones Coya-Machalí y Farellones, relleno la paleotopografía del valle. Su techo es el actual nivel de erosión.
- **Depósitos no consolidados (Pliosceno-Pleistosceno):** Corresponden a depósitos aluviales (fluviales, lacustres y glaciofluviales), glaciales, de descombros y derrumbes (Charrier, 1983) Estos depósitos rellenan la cuenca de la región (valles de los ríos Cachapoal, Maipo, Teno y Blanco).

3.3.2 Rocas Intrusivas

Existen al menos cinco franjas de intrusivos agrupados en complejos ígneos intrusivos del Paleógeno-Neógeno (Oligoceno superior al Mioceno) superior) que se emplazan en orientación norte-sur, con edades que varían entre los 34.4 y los 5.59 Ma (Falcón y Rivera, 1998). Los cuerpos corresponden a intrusivos de carácter plutónico e hipabisal como granodioritas de hornblenda y biotita, pórfidos dioríticos y andesíticos, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos intruyendo a las Formaciones Coya-Machalí y Farellones (Skewes, 2002). También existen cuerpos menores reconocidos en el sector correspondientes a stocks, apófisis, diques y filones que se componen de rocas fanerocristalinas y subordinadamente afaníticas, además de brechas. Los tipos de rocas encontradas corresponden a granitos, granodioritas, tonalitas, monzonitas y dioritas cuarcíferas (Charrier, 1981).

Los intrusivos del área fueron diferenciados según las edades obtenidas (Kurtz et al., 1997) de la siguiente forma:

- **Complejo Plutónico Antiguo (Mioceno Inferior):** Datado en 21,6 + 4.9 Ma y 16,2 + 1,2 Ma.
- **Complejo Plutónico Teniente (Mioceno Medio-Mioceno Superior):** con dos sub-unidades, siendo la primera de edad 12,4 + 2,5 Ma y 11,3 + 0.3 Ma, la segunda de 8,8 + 0,1 Ma y 7,7 + 0,1 Ma.
- **Complejo Plutónico Joven (Mioceno Superior):** Datado en 6,6 + 0,1 Ma y 5,5 + 0,2 Ma.

3.3.3 Estructuras

La geología de la zona Central de Chile, entre los 33°S y los 39°S, es controlada por estructuras NW a NNW ocurridas en los eventos tectónico-magmáticos del Paleozoico-Mesozoico (Godoy y Lara ,1994). Estas serían los límites de los segmentos tectónicos que se disponen oblicuamente a la cadena Andina actual, reactivándose reiteradas veces durante el Mesozoico-Cenozoico (Rivera y Cembrano, 2000). Debido a los movimientos laterales, se explicaría la distribución de franjas de centros volcánicos e intrusivos del Mioceno en la región (Falcón y Rivera, 1998).

Los eventos tectónicos, a nivel regional, habrían sido controlados por una zona de transcurrencia sinistral N50°W, generando fracturas sintéticas sinistrales (tipo R) de orientación N60°W y antitéticas dextrales (Tipo R') de orientación N50°E (Falcón y Rivera, 1998) (Figura 3.3).

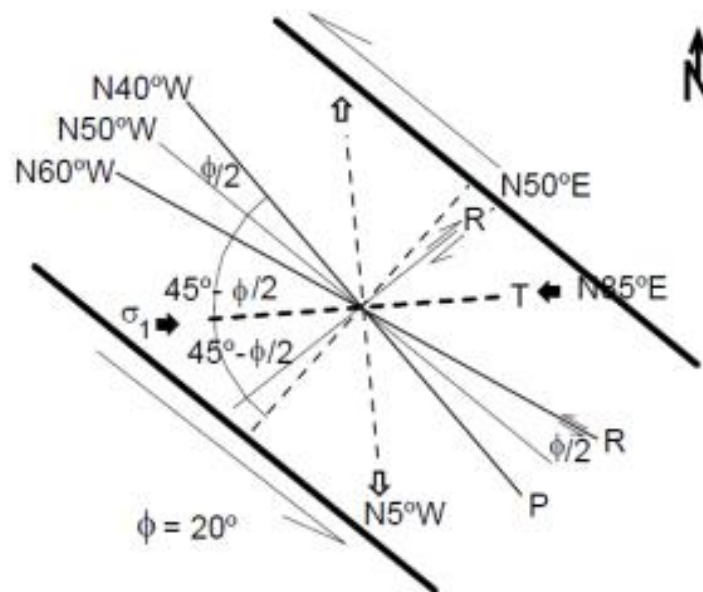


Figura 3.3 Modelo de Riedel para una zona transcurrente sinistral de rumbo N50°W relacionada con la Zona de Falla Río Blanco-Codegua (Extraído de Rivera y Falcón, 2000).

Dentro de los rasgos estructurales a nivel regional se pueden encontrar:

Pliegues: En la zona se observan anticlinales y sinclinales de flancos de menos de 30° de pendiente, plegando rocas de la Formación Farellones con eje en orientación norte-sur (Klöhn, 1960; Charrier et al., 1994), con una vergencia hacia el este (Gómez, 2001). Además, se encuentran inflexiones de rumbo desde N30°W a N30°E. Las estructuras presentan en general una continuidad longitudinal entre los segmentos acotados por el sistema de fallas N30°W (Rivera y Falcón, 2000).

Fallas: Se reconocen siete zonas de falla de orientación N30°W (Rivera y Falcón, 2000), que se encuentran tanto en la Cordillera de la Costa como en la de los Andes. Entorno al yacimiento El Teniente, se destacan las zonas de falla Piuquencillo al norte, en el centro El Azufre y Juanita al sur (Rivera y Cembrano, 2000), que cortan los ejes de los pliegues de la Formación Farellones. También Charrier (1981) identifica fallas inversas en la franja oriental de la Formación Coya-Machalí y fallas normales con desplazamientos verticales asociadas a eventos tectónicos Plio-Cuaternaria resultante del alzamiento andino.

Discordancia: Klöhn (1960) reconoció tres discordancias relacionadas a tres fases compresivas y eventos erosivos. La primera corresponde a la del Cretácico Superior, causando la discordancia entre la Formación Colimapu y rocas volcánicas terciarias y cuaternarias. La segunda corresponde a la responsable de la discordancia entre la Formación Coya-Machalí y Formación Colimapu en el Mioceno Inferior (Charrier et al., 1996). Luego la que genera la discordancia entre la Formación Farellones y la Formación Colón-Coya en el Mioceno-Plioceno.

3.4 Geología del yacimiento El Teniente

El Teniente corresponde a un mega-yacimiento hipógeno de cobre y molibdeno, que posee la mayor concentración de cobre vistas en un solo depósito (Sillitoe y Perelló, 2005). Posee una ley promedio de sus reservas minerales de 0,86 de Cu y alrededor de 1.348 Mt.

Su formación está asociada a sucesivos eventos de deformación, intrusión, mineralización y alteración que ocurren en 5,3 Ma, donde la mineralización se generó en un periodo de 1,2 Ma (Canell et al., 2005). Se propone que su origen fue debido a que la Formación Farellones es intrudida por cuerpos félsicos de menor tamaño (Ossandon, 1974, Skewes, 2000), seguido por episodios de mineralización genéticamente relacionados, generando alteración hidrotermal (Maksaev et al., 2004). No obstante, Skewes et al., (2002) propone que el yacimiento es de tipo mega-brecha, que fue generada por la exsolución de fluidos magmáticos de los plutones en enfriamiento. La superposición de los eventos intrusivos y de brechización en el yacimiento generan una alteración sericítica importante que contribuye con el cobre, pero que además redistribuye la mineralización anteriormente ocurra. Esta posee un estilo de mineralización de tipo *stockwork* (Cuadra, 1986), donde en la parte central del yacimiento se encuentra una mega-estructura denominada Brecha Braden con forma cónica (Figura 3.4).

La mineralización de cobre y molibdeno se da en un 70% en vetillas del *stockwork*, en cambio el restante se concentra en el cemento de diversas brechas magmáticas-hidrotermales de biotita, anhidrita, cuarzo y turmalina, además de estar diseminada en la matriz de los cuerpos intrusivos félsicos. El yacimiento se divide en una zona primaria y secundaria, donde la primera corresponde a la zona de mineralogía de mena hipógena que corresponde a la

asociación calcopirita-bornita-pirita, en cambio la segunda corresponde a la zona de mineralización supérgena, donde es posible encontrar característicamente calcosina y en forma subordinada, covelina, cobre nativo y cuprita (Cuadra, 1986).

En el yacimiento se reconocen tres sistemas estructurales dominantes; el NS, NNW y el NE, que poseen continuidad distrital. Estos se observan por la traza de los contactos entre las unidades de diferentes litologías, fallas, zonas de cizalle y la geometría de las vetas y vetillas en El Teniente.

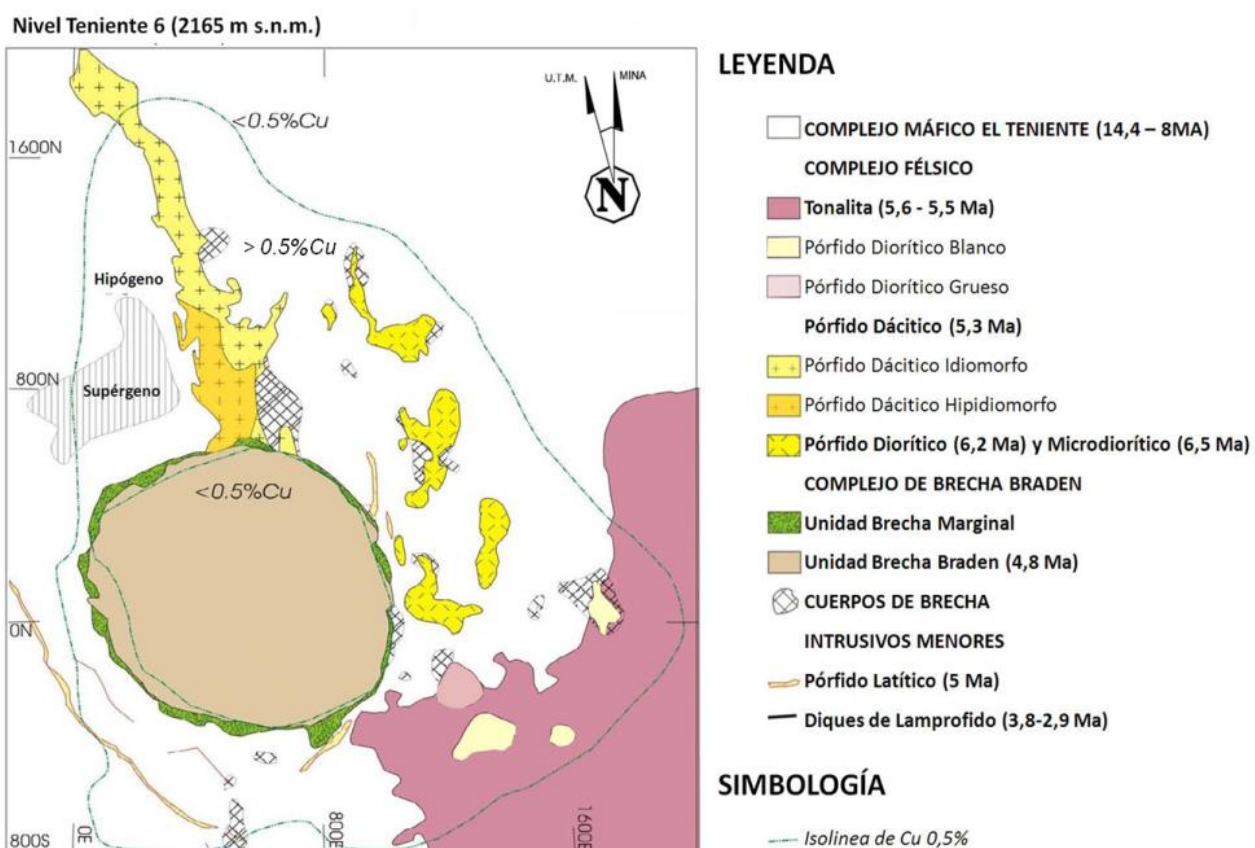


Figura 3.4 Geología simplificada en el nivel Teniente 6 del Yacimiento El Teniente (De los Santos, 2011).

3.4.1 Unidades Litológicas

Complejo máfico El Teniente (CMET)

Corresponden a una agrupación de rocas máficas del Mioceno Superior (Munizaga et al., 2002), pertenecientes a un complejo subvolcánico de composición básica y afinidad toleítica (Skewes, 1997). Las rocas pertenecientes a este grupo corresponden principalmente a diabasas, gabros y pórfidos basálticos (Figura 3.5) que habían sido descritos anteriormente como "andesitas" (Burgos, 2002), Esta unidad litológica posee una extensión vertical de más de 2 kilómetros y corresponde a la roca de más amplia distribución en el yacimiento, alojando el 80% de la mineralización de El Teniente.

La mineralización de cobre-molibdeno y brechización del complejo se observan obliteradas a muestra de mano, haciendo que no sea posible reconocer las características texturales a nivel macroscópico. Los minerales de alteración principales corresponden a biotita, anhidrita, cuarzo, clorita, sericita, actinolita y turmalina (Skewes, 2002).

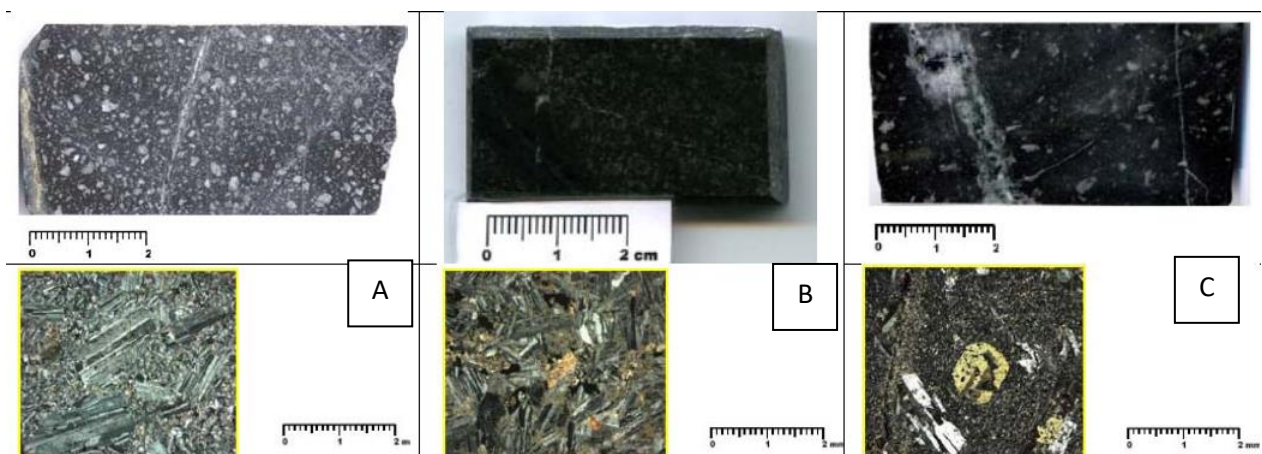


Figura 3.5 En la zona superior de la imagen se observan las imágenes a nivel macroscópico de la roca y en el inferior la textura a nivel microscópico. A: Diabasa con textura porfídica y fenocristales de plagioclasa mayores a 2 mm de largo.; B: Gabro con textura equigranular, con cristales de plagioclasa de 1 mm de largo y piroxenos en forma subordinada.; C: Pórfido Basáltico con textura porfídica y glomeroporfídica con fenocristales de plagioclasa mayores a 2 mm de largo (Referencia interna: SGL-I-123/03).

Los cuerpos máficos correspondientes al CMET fueron emplazados durante el Mioceno, donde la cuenca volcano-tectónica fue generada en el Arco Andino, debido a la extensión provocada por fallas de orientación NNW, cerradas luego en el Mioceno Tardío (Godoy, 1993; Falcón y Rivera, 1998).

Unidades de Pórfidos Félsico

Pórfido Dacítico (PDA): Corresponde a un stock con orientación norte-sur a NNW, un manteo subvertical y una longitud de 1500 metros, ubicado al norte del depósito con una potencia entre 50 a 300 metros, alcanzando la mayor potencia a profundidad. Este cuerpo intruye al CMET, presentando contactos nítidos e irregulares, brechosos o de transición. Además, se ve interrumpido más al sur por la Brecha Braden, al cual incorpora clastos de esta unidad.

Posee color gris claro a blanco y posee textura porfídica idiomórfica y porfídica hipidiomorfa (Ossandon, 1974; Rojas, 2002), presentando cristales de oligoclasa, biotita y cuarzo (Cuadra, 1986). Makshev et al., (2004) determinó edades utilizando U/Pb en circón, indicando que la cristalización del intrusivo ocurrió hace $5,28 \pm 0,10$ Ma.

Tonalita (TO): Corresponde a un cuerpo que se emplaza en la mitad del sur este del yacimiento, intruyendo el CMET. Posee un volumen de 200 m² y presenta un núcleo fanerítico que gradúa a porfídico hacia el exterior del intrusivo (Faunes, 1981). Dataciones de ⁴⁰Ar/³⁹Ar en biotita, indican una edad de $5,47 \pm 0,12$ Ma a $5,63 \pm 0,12$ Ma (Makshev et al., 2004).

Pórfido Diorítico (PDI): Corresponde a una serie de stocks y diques menores con alineación N30°W que presentan una gran extensión en la vertical y

abarcando sectores centrales y norte del yacimiento. En el contacto con el CMET es normal la formación de brechas hidrotermales y/o brechas ígneas. Dataciones radiométricas de U/Pb en circón indican una edad de cristalización de $6,11 \pm 0,13$ Ma a $6,28 \pm 0,6$ Ma (Maksaev et al., 2004).

Pórfido Microdiorítico (PMD): Corresponde a una diorita de grano fino, con fenocristales de plagioclasas y masa fundamental biotitizada y sericitizada. Posee contactos con la Tonalita y con el CMET, además genera un importante volumen de brechas ígneas e hidrotermales que muestran altas leyes de cobre. Se le ha hecho datación en U/Pb en circón, entregando edades de $6,46 \pm 0,11$ Ma (Maksaev et al., 2004).

Unidades de Brechas

Complejo de Brecha Braden: Corresponde a una chimenea volcánica con forma de cono invertido, con su flanco oriental subvertical, mientras el resto posee una inclinación de 60° a 70° hacia el centro del cuerpo (Cuadra, 1986). Posee un diámetro máximo de 1200 metros en la en su zona más somera y una continuidad reconocida de 1800 metros. Este complejo se constituye por dos divisiones, la primera corresponde a la Unidad de Brecha Braden, la cual está compuesta por fragmentos redondeados-subredondeados polimícticos en una matriz de polvo de roca y cemento de sericita, con cantidades menores de turmalina, calcita y sulfuros (pirita). La segunda división correspondería a la Unidad de Brecha Marginal, la cual posee forma de anillo y rodea a la primera con un espesor de 50 metros a 60 metros (Cuadra, 1986). Además, esta posee un contacto gradacional con la Brecha Braden, reconocido por su variación gradual en el porcentaje de turmalina en la roca (Ojeda et al., 1980). Se compone principalmente por fragmentos angulosos-subangulosos provenientes de las distintas litologías presentes en el yacimiento, con

variados grados de alteración cuarzo-sericita-clorita y cantidades menores de anhidrita, yeso, sulfuros y sulfosales de la serie tenantita-tetrahedrita. El cemento de esta segunda unidad corresponde a turmalina y cuarzo, y en menores cantidades anhidrita, yeso, carbonatos, sulfuros y minerales de la serie tenantita-tetrahedrita. La mineralogía de mena presente en la segunda unidad corresponde a calcopirita, bornita, tenantita-tetrahedrita y pirita.

Intrusivos Menores

Pórfido Latítico: Ocurren como filones de poca potencia (2 a 6 metros), aumentando a 15 metros a profundidad. Presenta una textura porfídica con 60% de fenocristales de plagioclasa, biotita, anfíbola alterada y ojos de cuarzo en una masa fundamental de cuarzo y feldespato. La edad K/Ar es de $4,96 \pm 0,25$ Ma, indicando un emplazamiento anterior a la Brecha Braden (Riveros, 1991).

Pórfido Lamprófico: corresponden a cuerpos tabulares al sur de la Brecha Braden, con una potencia que varía entre 1 a 2 metros, rumbo variado y manto subvertical. Presenta una textura porfídica fina, compuesta por fenocristales aciculares de hornblenda, con una masa fundamental microcristalina traquítica compuesta por microlitos de augita y labradorita. Este intrusivo corresponde a la última etapa de la actividad ígnea en la zona e intruyen al CMET, a la Tonalita y a la Brecha Braden, con contactos nítidos y bien definidos. Dataciones de K/Ar en la roca entregaron edades entre 3,8 a 2,9 Ma (Cuadra, 1986 y Godoy, 1993). Se puede definir químicamente al intrusivo lamprófico como una andesita (Skewes, 2000).

3.4.2 Geología Estructural

La zona donde está emplazado el yacimiento El Teniente se encuentra en una zona de cizalle llamada Zona de Falla El Teniente (ZFT), la cual se extiende 14 kilómetros de largo y 3 km de largo (Garrido, 1995; Figura 3.6). Esta limita al norte con la quebrada Teniente y al sur por la falla Agua Amarga. Corresponde a una zona de cizalle de dirección aproximada N65°E que define un eje de acortamiento de dirección N48°W (Garrido, 1995). Asociado a este sistema se encuentra el emplazamiento de la unidad de Tonalita y la principal zona de alteración hidrotermal del yacimiento. Además, Garrido (1995) menciona que el esfuerzo principal regional es de tendencia E-W, siendo rotado a la dirección NW dentro de la ZFT.

Dentro de la división El Teniente las estructuras geológicas se han clasificado en base a su continuidad y tipo de relleno. En base a su continuidad se han clasificado como:

Distritales: traza mayor a 1 kilómetro. Con un espesor típico mayor a 1 metro. Un ejemplo de esta corresponde a la Falla Agua Amarga y la ZFT.

Estructuras Maestras: su traza es mayor a 500 metros y posee un espesor entre 5 a 120 centímetros. Cuadra (1986) y Garrido (1995) las definen en el yacimiento como fracturas subverticales de orientación norte-sur, asociadas a la orientación del PDA.

Estructuras Mayores: traza entre 100 a 500 metros, con un espesor menor a 7 milímetros. En el yacimiento se observan en estructuras con orientes noreste, que incluirían a los diques lamprófidos.

Estructuras Intermedias: traza entre 4 a 100 metros, con un espesor de 5 milímetros.

Estructuras menores: traza menor a 4 metros, y un espesor menor a 2 milímetros. Esta corresponde a la categoría de mayor importancia, debido a que en estas son donde la mayor cantidad de mineralización se concentra. En el yacimiento esta definición se ve reflejada en la presencia de vetillas que forman un stockwork en el macizo primario, estando rellenas por minerales competentes. Este tipo de estructura también se puede observar en la zona supérgena, no obstante, estas han sido lixiviadas debido a la mayor presencia de agua en el sector, modificando algunas propiedades de las estructuras.

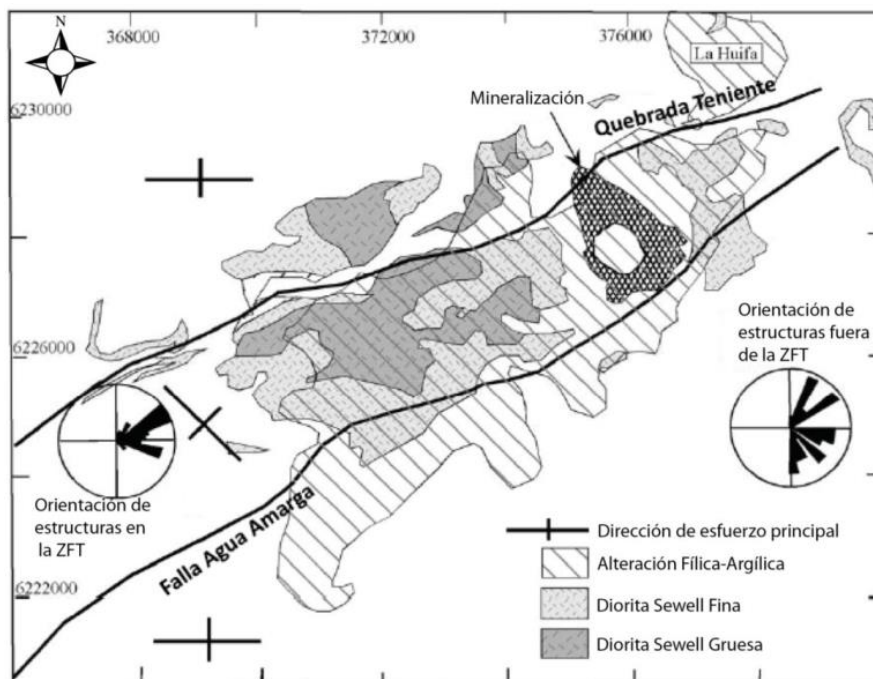


Figura 3.6 Zona de Falla El Teniente (ZFT). Limita al norte con la quebrada Teniente, y al sur con la falla Agua Amarga (Extraído de Valenzuela, 2002).

3.4.3 Alteración y Mineralización

La mineralización en el yacimiento El Teniente se produjo debido a la sobreimposición de distintos eventos intrusivos, de alteración y mineralización. Actualmente para los estándares dentro del yacimiento se han distinguido tres etapas hipógenas, llamadas Tardimagmática, Hidrotermal Principal e Hidrotermal Tardía, además de una etapa Supérgena. El origen de estas alteraciones está relacionado principalmente con el emplazamiento de los Pórfidos Dacítico y Diorítico, Brecha Hidrotermal de turmalina y Brecha Braden (Howell y Molloy, 1960).

Dentro de la etapa hipógena generó una zonación mineralógica que consistía en un núcleo de bornita-calcopirita, con una capa de calcopirita mayor que bornita alrededor y más en el exterior una capa de pirita. Esto también puede ver relacionado con el emplazamiento de los Pórfidos Dioríticos y Microdioríticos, con sus brechas hidrotermales. Luego, el emplazamiento de la Brecha Braden, evento terminal, eliminaría gran parte del núcleo de bornita y lo reemplazaría por pirita.

La etapa supérgena se produce debido a una infiltración de aguas de la superficie que generarían una lixiviación y enriquecimiento secundario en la zona alta de la alteración.

Etapa Tardimagmática (TM): Corresponde al primer evento de alteración-mineralización caracterizada por una alteración potásica pervasiva y un enrejado intenso de vetillas rellenas de cuarzo, anhidrita, bornita, calcopirita, pirita y molibdenita que se encuentran diseminadas en la roca, pero en mayor proporción en vetillas sin halo de alteración (Zúñiga, 1982).

La distribución de esta etapa se ubica en la mitad norte del yacimiento, relacionado con el emplazamiento del pórfido Dacítico (Arévalo y Floody, 1995). Hacia los márgenes del yacimiento existe una gradación desde una alteración potásica a una alteración de tipo propilítica. Otro lugar donde se distribuye este tipo de alteración corresponde al sector sur, sin embargo, esta se encuentra enmascarada por sucesivas etapas posteriores de alteración.

Etapa Hidrotermal Principal (HP): Esta etapa se superpone a la anterior y se relaciona a la reacción de los fluidos magmáticos con aguas meteóricas. Esta alteración se ve reflejada en vetillas con halos de alteración de ancho variable, obliterando la textura y mineralogía Tardimagmática. Esta etapa está relacionada a una alteración de tipo fílica, con mineralogía de cuarzo sericita en la roca caja y con menor proporción de anhidrita y clorita. También afecta a los pórfidos Diorítico y Dacítico, donde el feldespatos potásico, plagioclasas y minerales máficos son alterados de forma similar, haciendo que la textura fanerítica y/o porfídica sea reemplazada por una textura sacaroidal fina. La mineralización de sulfuros está compuesta por calcopirita, pirita y molibdenita, acompañadas por minerales de ganga como el cuarzo, anhidrita y sericita con clorita.

Etapa Hidrotermal Tardía (HT): Se relaciona con el emplazamiento de la brecha hidrotermal de turmalina alrededor de la Brecha Braden (Villalobos, 1975). La mineralogía de alteración está compuesta por la asociación calcopirita-bornita-pirita-molibdenita-tenantita/tetraedrita, desarrollándose a través de halos de vetas y vetillas. Se distribuye en una franja concéntrica al anillo de brechas y además en el cemento de la matriz de la brecha hidrotermal de turmalina y como parte de la alteración de sus fragmentos. También se ha reconocido esta etapa en la zona sur del yacimiento, asociada al pórfido Diorítico.

Etapa Póstuma: Se relaciona con la consolidación de la Brecha Braden. La asociación mineralógica característica para el cemento corresponde a sericita, calcita y pirita, y sus fragmentos poseen alteración sericítica principalmente. Además, existen rellenos de estructuras con minerales de baja temperatura como yeso, siderita, ankerita, baritina, blenda, galena, cuarzo, anhidrita y turmalina (Ojeda et al., 1980).

Etapa Supérgena: Se ubica en la zona alta del yacimiento, con una distribución de geometría elíptica con eje mayor NW y un área de 15 km² (Portigliati y Camus, 1974); Ojeda et al., 1980). Se caracteriza por una lixiviación total de la anhidrita y la presencia de sericita y arcillas. Su mineralización corresponde a calcosina gris y celeste, además de covelina azul. El paso gradual del reemplazo selectivo de los sulfuros de cobre corresponde primero a la bornita y luego a la calcopirita, no obstante, la pirita no sufrió alteración (Alvarez, 1990). Se data que la edad de este evento de alteración corresponde a los 5,3 a 4,7 Ma (Cuadra, 1986 y Makshev et al., 2004).

4 Modelo Geotécnico y modelo de alteración del yacimiento El Teniente

4.1 Modelo Geotécnico

La diferenciación geotécnica se basa en diversas características geológicas presentes en el macizo rocoso. Algunas de ellas corresponden a unidades litológicas principales, tipo de mena, arreglo estructural con relleno blando y distribución mineralógica. También se tomaron en consideración parámetros operacionales, ajustando de esta manera el modelo para un uso principalmente en el proceso de explotación minera.

La zonación de unidades geotécnicas se basó principalmente en el concepto de "vetillas blancas" definido por Brzovic et al. (2007) y como estas se encuentran asociadas con distintos parámetros de la minería de hundimiento, como la resistencia mecánica a nivel de macizo, fragmentación y hundibilidad.

Esta necesidad de realizar una investigación con respecto a la clasificación del macizo rocoso es debido principalmente a que los métodos usuales en la industria (Q' (Grimstad & Barton, 1993), RMR (Bienawski, 1989), IRMR (Laubscher & Jakubec, 2001) y GSI (Hoek, 1994), no representan una diferencia para la diferenciación de zonas dentro de la mina (Tabla 4.1). Estos métodos de clasificación utilizan los "joints", que corresponden a las diaclasas, las cuales son fracturas abiertas y sin cohesión. Sin embargo, este tipo de estructuras se encuentran en la mena secundaria, donde era posible aplicar los parámetros de resistencia a la compresión simple, frecuencia de fractura, condición de fractura y la presencia de agua. En cambio, el día de hoy los sectores productivos vigentes se ubican en la mena primaria, donde las

fracturas están rellenas con minerales que actúan como soldadura, entregándole una cohesión e impermeabilidad a la roca.

Tabla 4.1 Clasificaciones usuales para macizos rocosos. No se observa una diferenciación clara entre las unidades litológica (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

Método de Clasificación	UNIDAD LITOLÓGICA ROCA PRIMARIA					
	Brecha Braden	Pórfido Dacítico	Pórfido Diorítico	Tonalita	CMET Hw	CMET Fw
Q'	329-606 EXCEPCIONALMENTE A EXTREMADAMENTE BUENA	276-524 EXCEPCIONALMENTE A EXTREMADAMENTE BUENA	263-355 EXCEPCIONALMENTE A EXTREMADAMENTE BUENA	227-331 EXTREMADAMENTE BUENA	193-227 EXTREMADAMENTE BUENA	148-197 EXTREMADAMENTE BUENA
RMR (B)	72-76 BUENA	72-75 BUENA	71-72 BUENA	70-72 BUENA	67-71 BUENA	67-70 BUENA
IRMR	63-69 BUENA	58-63 REGULAR - BUENA	59-62 REGULAR - BUENA	59-62 REGULAR - BUENA	55-60 REGULAR - BUENA	52-60 REGULAR
GSI	80-100 (91) MUY BUENA	75-95 (86) BUENA - MUY BUENA	75-95 (83) BUENA - MUY BUENA	75-95 (84) BUENA - MUY BUENA	65-85 (74) BUENA - MUY BUENA	65-85 (74) BUENA - MUY BUENA

El Modelo Geotécnico basado en la frecuencia de vetillas blandas cubre una extensión con las siguientes coordenadas mina:

Este: -500 a 2200E; Norte: -1200 a 2000 N; Cota: 1000 a superficie.

4.1.1 Unidades litológicas

La primera subdivisión para considerar corresponde a la litología debido a que cada una posee características de resistencia, deformabilidad y frecuencia de vetillas blandas que son distintivas en cada una de ellas. Entre los tipos litológicos a considerar estarían: Complejo Máfico El Teniente (CMET este Y CMET oeste), Intrusivos Félsicos (Dioritas, Dacita y Tonalita), Brecha Braden y distintos cuerpos de Brechas Hidrotermales (Brecha Anhidrita y Brecha Turmalina (Figura 4.1).

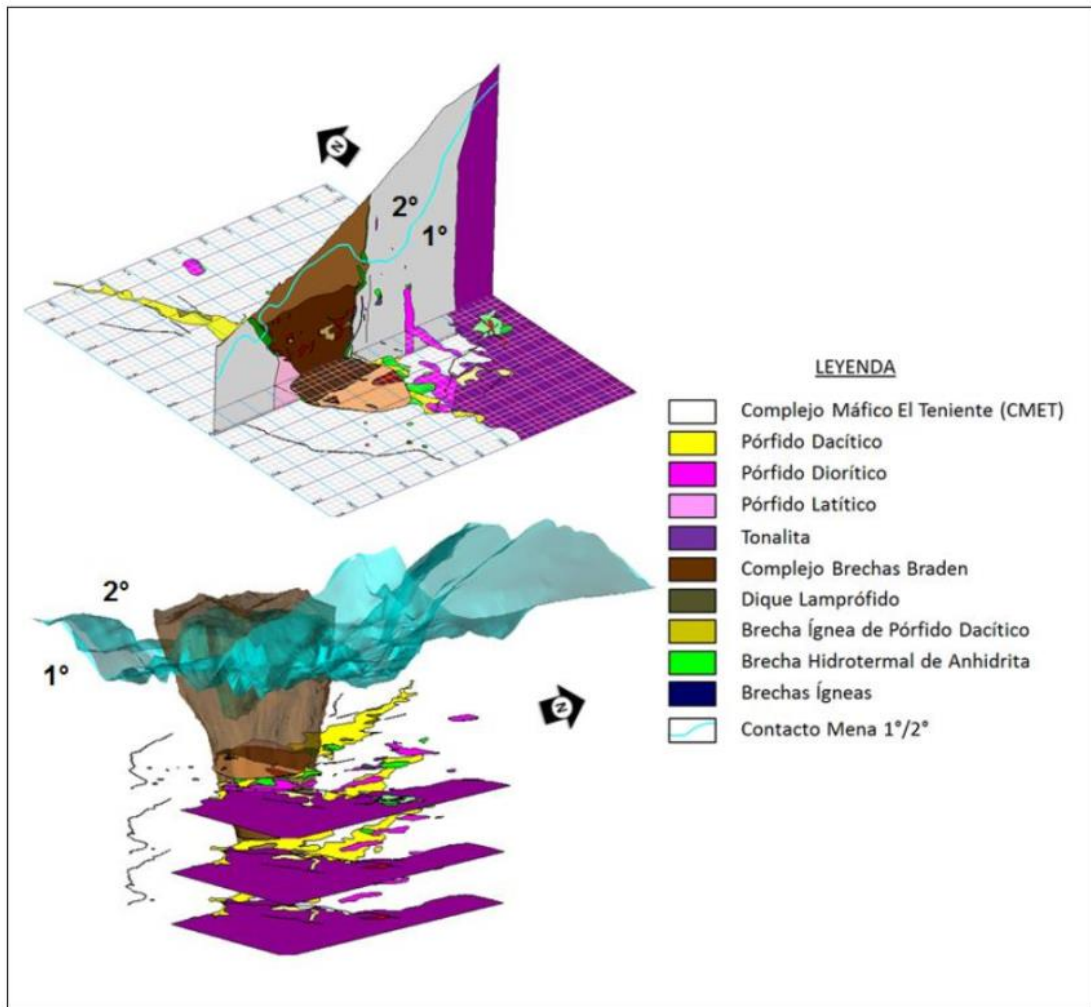


Figura 4.1 Litología y sectorización por tipo de mena interior mina (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

4.1.2 Arreglo Estructural del Macizo Rocoso

Un factor fundamental para considerar para la clasificación geotécnica corresponde a la presencia de estructuras, ya que estas suelen definir superficies finitas que poseen propiedades de resistencia usualmente menores que la roca. El macizo rocoso primario en El Teniente corresponde a una roca competente y con escasas discontinuidades abiertas, no obstante, debido a los procesos hidrotermales de alteración y mineralización, se generó una alta

frecuencia de vetillas soldadas, que poseen una distribución de estilo “stockwork” propio de El Teniente.

Se ha estudiado el impacto que tiene el relleno mineralógico de las estructuras geológicas en el desarme y comportamiento del macizo rocoso, dando como un factor importante de este el concepto de las “vetillas blandas”, las cuales poseen en su relleno una proporción menor a 40% de minerales duros en la escala de Mohs. Se considera minerales duros a los que poseen un valor en la escala de Mohs menor o igual a 4.5, sin embargo, la piritita también se está considerando mineral blando debido a su forma de ruptura.

4.1.3 Propiedades físicas de las estructuras geológicas

El macizo rocoso en El Teniente se caracteriza por poseer un elevado número de discontinuidades geológicas, donde existen en mayor abundancia estructuras de menor persistencia sobre las de mayor traza. Para comprender el comportamiento global del macizo frente a los esfuerzos inducidos por los procesos mineros, también es necesario realizar un estudio de las discontinuidades de la roca a diferentes escalas, considerando desde vetillas cerradas que componen el stockwork hasta el fallamiento de mayor orden. Algunos de los parámetros considerados para estudiar las propiedades de las estructuras son la resistencia al corte, la resistencia a la tracción, la rigidez normal y la de corte.

4.1.4 Resistencia al Corte de vetillas

Esta propiedad hace resistencia a los esfuerzos de corte sobre las estructuras cerradas, la cual toma valores de cohesión mayores a cero.

Dependerá principalmente de la composición de la vetilla, sus características geométricas y los esfuerzos confinantes a los que está expuesta.

Datos relevantes de esta propiedad para este trabajo corresponde al estudio de los valores de cohesión para distintos minerales constituyentes de las estructuras selladas. Estos fueron obtenidos mediante el ensayo de corte directo, el cual mide la resistencia de la vetilla. Se observan en general valores bastante altos para el cuarzo, turmalina y la combinación calcopirita-pirita (Figura 4.2).

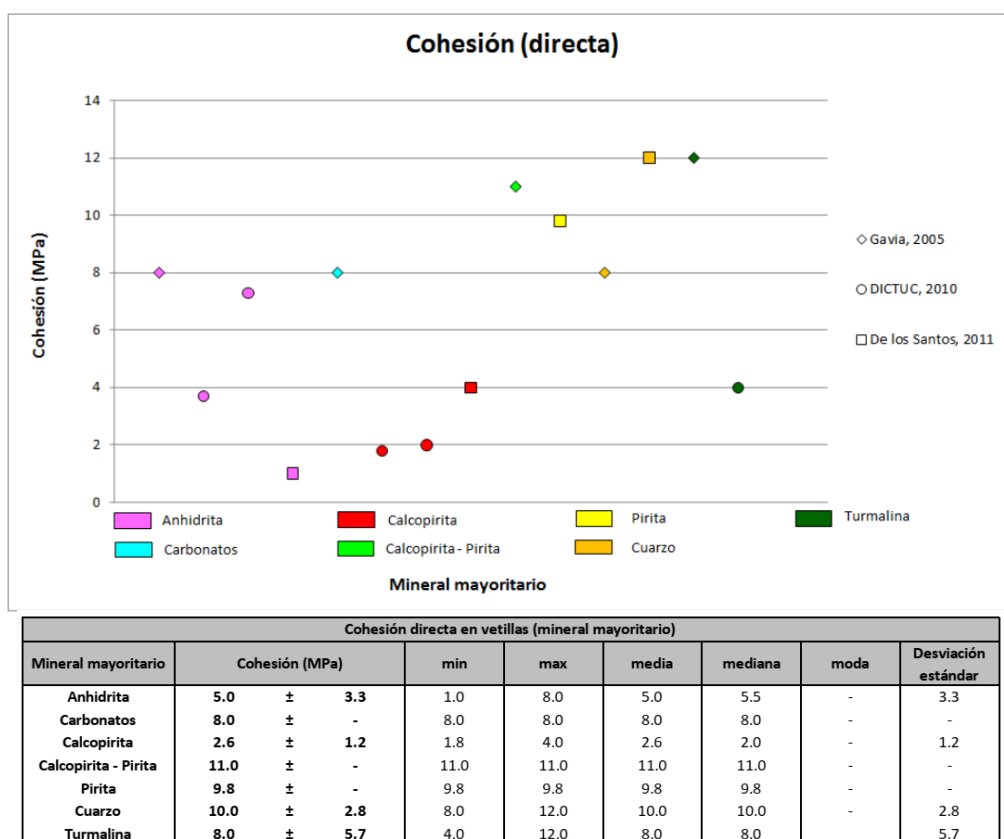


Figura 4.2 Se observa el gráfico con los parámetros de cohesión para ensayos de corte directo realizados por distintos trabajos dentro de la División (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

4.1.5 Resistencia a la Tracción de las vetillas

Este parámetro se relaciona principalmente con los esfuerzos extensionales a los que somete la vetilla, siendo los principales métodos para obtener este parámetro el indirecto (brasileño) y el directo. En este caso el que va a tener importancia en el estudio corresponde al indirecto, debido a las características del ensayo relacionables con los mecanismos de fractura involucrados con el proceso de chancado. Nuevamente el mineral de cuarzo y la calcopirita-pirita poseen valores más altos que el resto en promedio (Figura 4.3).

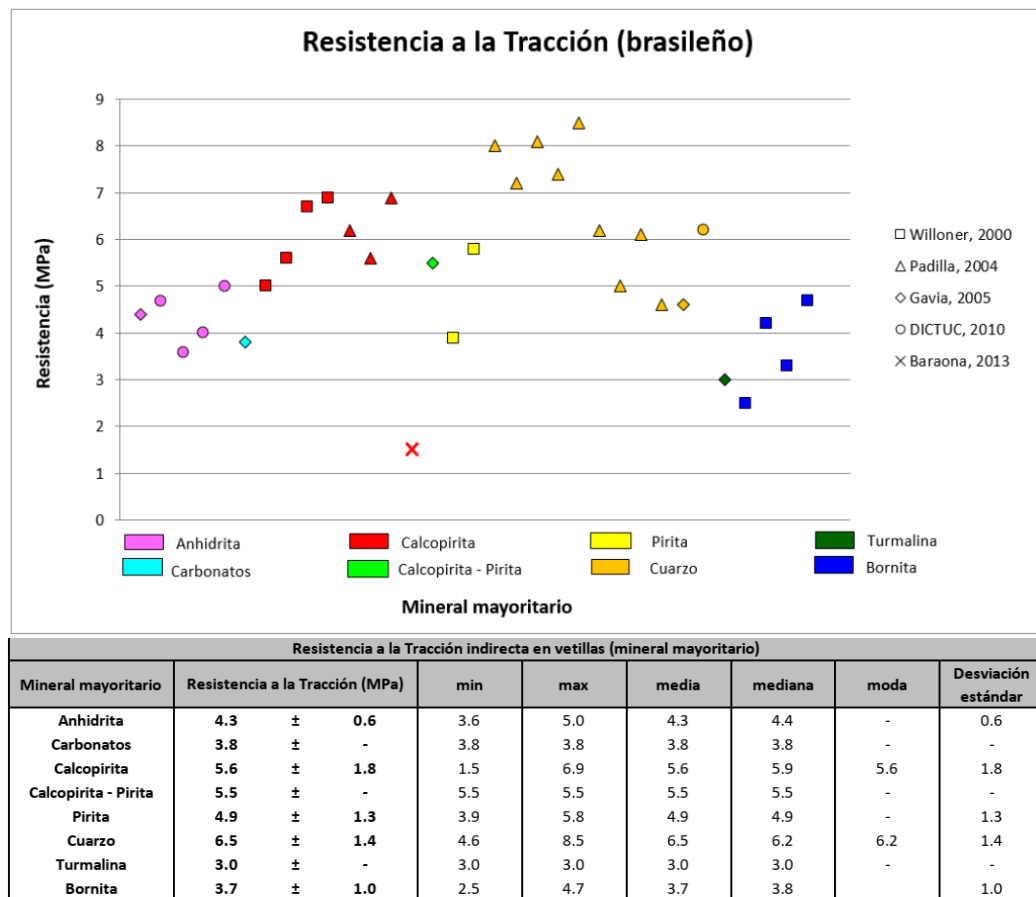
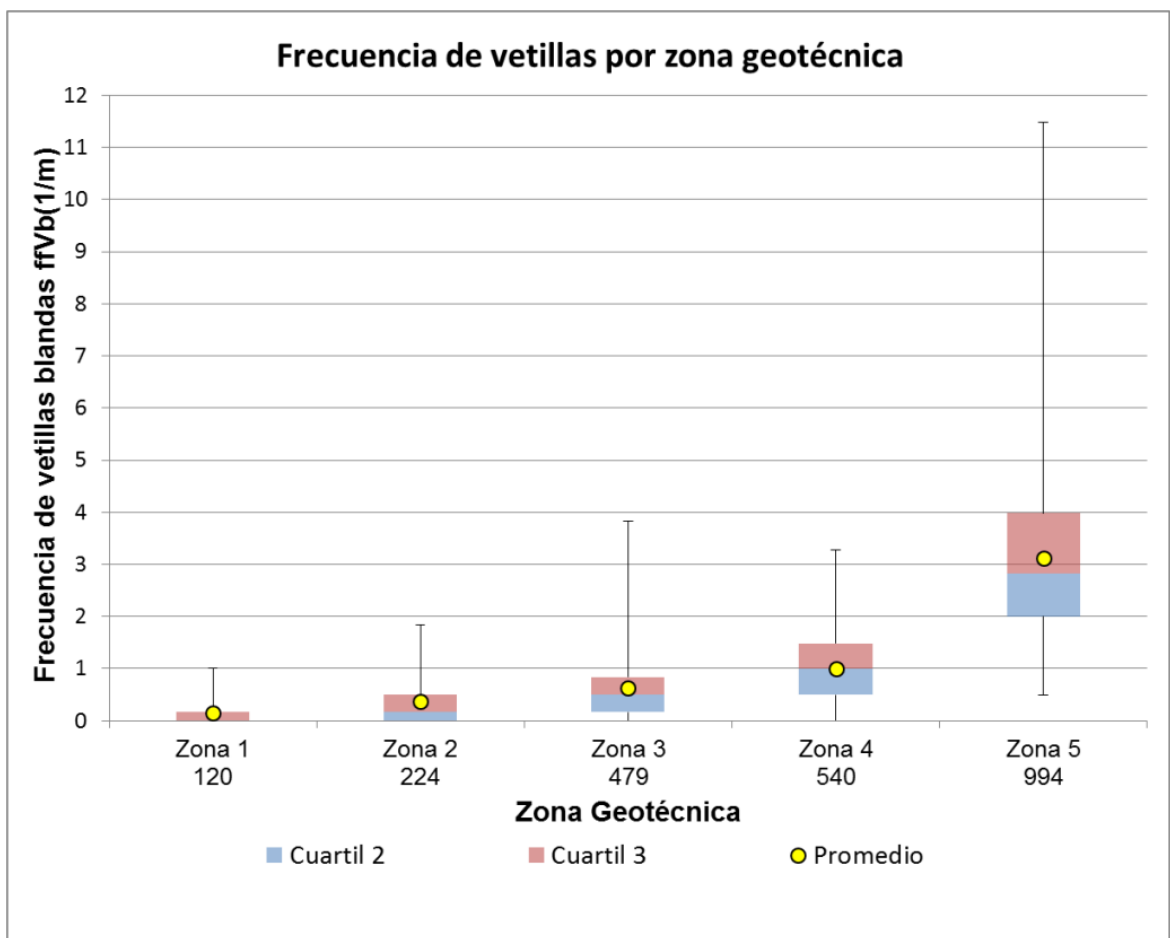


Figura 4.3 Gráfico y tabla con los parámetros de cohesión para ensayos de tracción indirecta realizados por distintos trabajos dentro de la División El Teniente (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

4.1.6 Frecuencia de vetillas blandas

El factor más predominante dentro del modelo geotécnico es el mapeo de vetillas blandas, las cuales se consideran como vetillas que poseen menos de un 40% de relleno duro, como cuarzo o turmalina, en su distribución mineralógica. Como se observa en la Figura 4.4, existe una marcada tendencia en el espacio de estos parámetros, que al agruparlos se pueden establecer fácilmente zonas geotécnicas.



Parámetro	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Frecuencia de vetillas blandas ffVb(1/m)	0.15	0.36	0.67	1.02	3.07
Espaciamiento medio, s (m)	6.67	2.77	1.49	0.98	0.33

Figura 4.4 Frecuencia de vetillas blandas categorizadas por las zonas elegidas. Se observa que existe una gran diferencia entre las zonaciones, entregando un buen indicador para las distintas zonas (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

4.1.7 Fragmentación

Mediante observaciones y estudios dentro de la mina se ha determinado que la mayor parte de los bloques que se forman por el proceso de "panel caving" están limitados por estructuras de rellenos blando. Con esta información se pudo caracterizar diversos tipos litológicos en función de la capacidad de fragmentación de la roca, concluyendo que, para un macizo rocoso masivo, competente y con escasa ocurrencia de estructuras blandas,

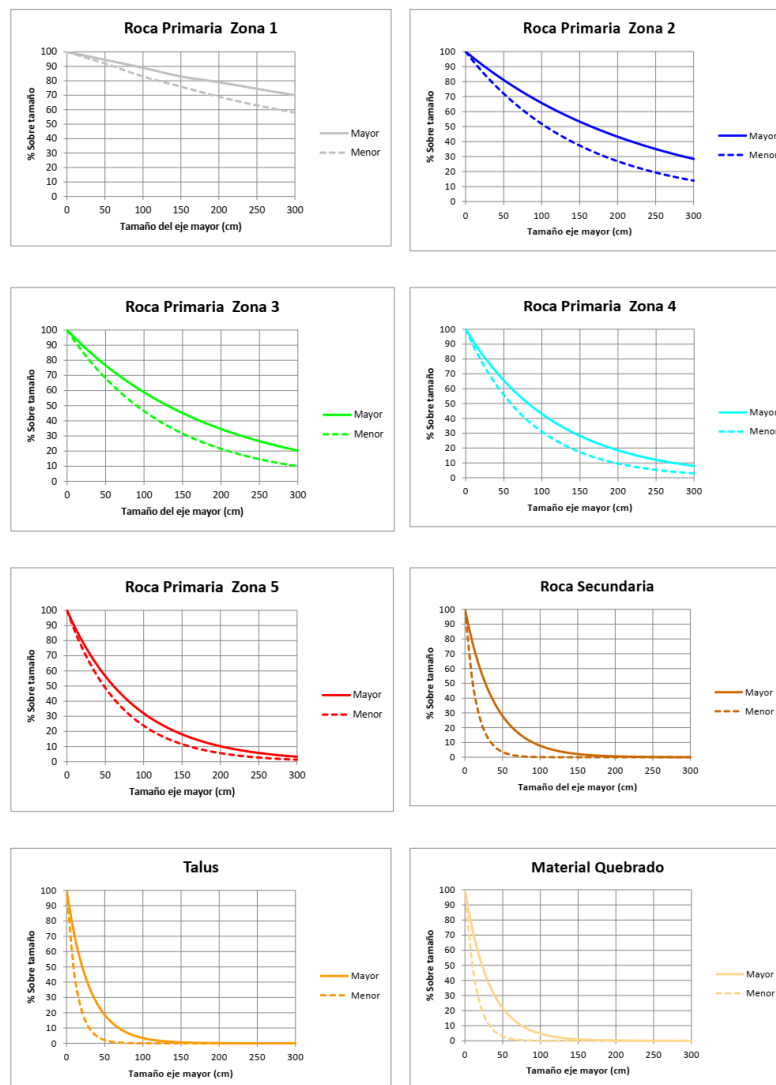


Figura 4.5 Gráficos que representan las curvas granulométricas in-situ para las distintas unidades geotécnicas definidas para el macizo rocoso de El Teniente. También se incluye la curva granulométrica para el material quebrado (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

la granulometría es más gruesa. Las litologías que toman estas características serían los intrusivos félsicos, cuerpos de brechas hidrotermales e ígneas y Complejos de Brechas Braden. Estas características fueron relacionadas con la Zona 1, Zona 2 y la Zona 3. En contraste con lo anterior, las unidades Zona 4 y Zona 5 poseen una mayor intensidad de vetillas blandas, estando compuestas principalmente por rocas del Complejo Máfico El Teniente, presentando una granulometría in-situ gruesa a fina. Esto se refleja en los gráficos de la figura 2, donde se observan las distintas curvas granulométricas con la distribución de los tamaños de roca (Figura 4.5).

4.1.8 Parámetros Operacionales

Como se mencionó anteriormente, los parámetros operacionales para determinar las zonaciones son de suma importancia debido a que se debe relacionar con los procesos operacionales que se realizan dentro de la mina. Para realizar una consideración de este parámetro se realizó un análisis de los registros de colgaduras en puntos de extracción de minas Esmeralda, Reno/Dacita y Diablo Regimiento.

Los fragmentos de roca que exceden en tamaño de las parrillas e impiden el flujo dentro de estas son reducidos mediante martillos picadores, generando una baja en la productividad de los sectores afectados.

4.2 Unidades Geotécnicas Relevantes

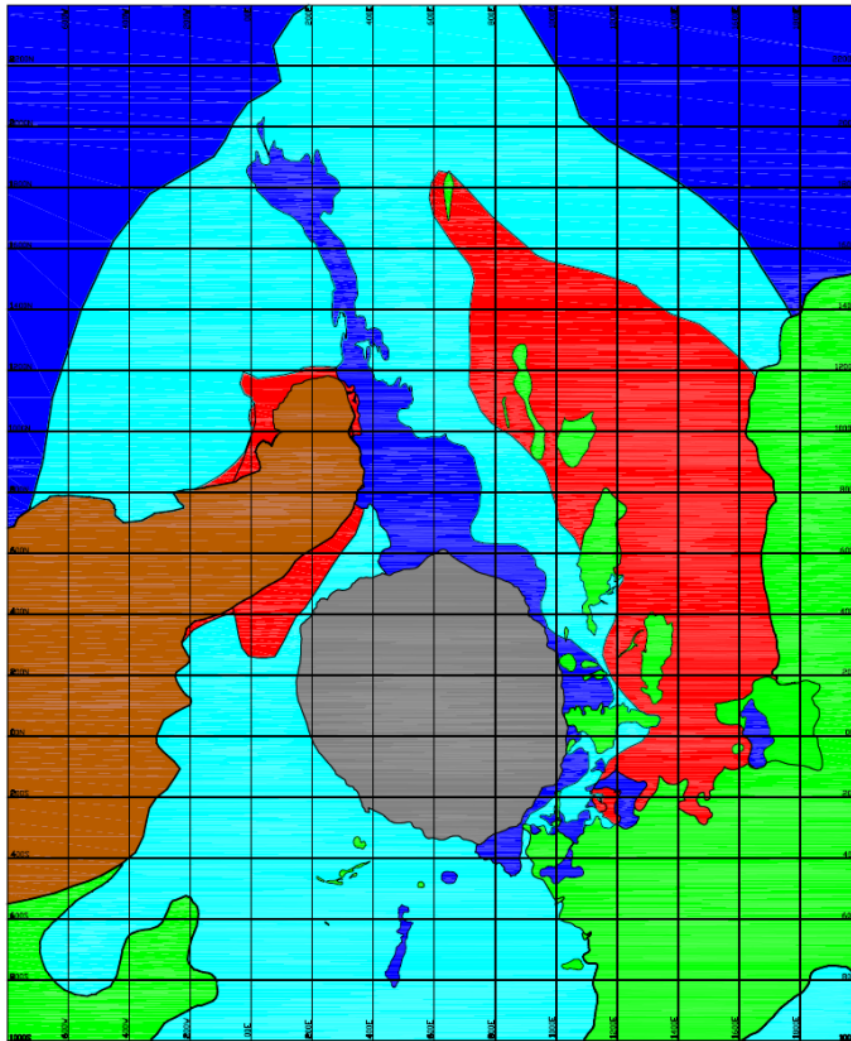
Los parámetros mencionados anteriormente fueron usados para definir las unidades del macizo rocoso de El Teniente, dividiéndolo en 5 unidades geotécnicas para la roca primaria, 1 para la roca secundaria y 1 unidad

geotécnica para el Talus. En el presente trabajo nos vamos a referir principalmente a las primeras 5 unidades, debido a que los sectores productivos se encuentran distribuidos en la zona de primaria. Además, las rocas presentes en la mina pueden ser caracterizadas mediante una serie de propiedades físicas básicas que se obtienen a través de distintos tipos de ensayos. Estas propiedades se dividen en; propiedades índices de la roca, características de resistencia y características de deformabilidad. En el estudio se utilizarán las dos últimas debido al alcance en materia de conminución.

Zona 1: Agrupa rocas pertenecientes al Complejo de Brechas Braden, que se caracteriza por tener una muy baja frecuencia de estructuras blandas, asociándose a una Muy Mala Hundibilidad y una granulometría muy gruesa. Se le considera un macizo de Muy Buena calidad geotécnica. Posee una Resistencia Media y Modulo Relativo Medio, con resistencia a la tracción media a baja (Figura 4.6) (Tabla 4.2).

Zona 2: Unidad con baja frecuencia de estructuras con relleno blando, dándole una caracterización de Mala Hundibilidad y granulometría Gruesa. Posee una Buena a Muy Buena calidad geotécnica. Las litologías asociadas a esta zona corresponden al Pórfido Dacítico, Pórfido Microdiorítico (Pórfido A), Brechas de Turmalina, Brechas de Anhidrita, Brechas de Sulfuros y CMET. Resistencia alta y módulo relativo medio, con una resistencia relativa a la tracción media (Figura 4.6) (Tabla 4.2).

Zona 3: Posee una baja a intermedia frecuencia de estructuras con relleno blando y con ello una Regular Hundibilidad y Granulometría Regular. Posee Buena calidad geotécnica y las litologías que están asociadas a esta corresponden a Tonalita, Pórfido Diorítico y Complejo de Brechas Hidrotermales este. Resistencia alta y modulo relativo medio, con una resistencia relativa a la tracción media (Figura 4.6).



COLOR	UNIDAD GEOTÉCNICA	HUNDIBILIDAD RELATIVA	FRAGMENTACIÓN RELATIVA	CALIDAD GEOTÉCNICA
	Zona 1	Muy Mala	Muy Gruesa	Muy Buena
	Zona 2	Mala	Gruesa	Buena - Muy Buena
	Zona 3	Regular	Regular	Buena
	Zona 4	Regular - Buena	Regular	Regular - Buena
	Zona 5	Buena - Muy Buena	Fina	Regular
	Roca Secundaria	Muy Buena	Muy Fina	Muy Mala

Figura 4.6 Modelo de Zonación Geotécnica para el yacimiento El Teniente al nivel 2210. (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

Zona 4: Presenta una frecuencia de estructuras con relleno blando intermedia (Hundibilidad Regular a Buena y fragmentación Regular) (Tabla 4.2). Se conforma por rocas del CMET oeste que han sido afectadas principalmente por vetillas con rellenos de anhidrita, cuarzo y calcopirita en menor proporción. Tiene una asociación mineralógica dominante de anhidrita-calcopirita y posee una calidad geotécnica Regular a Buena. Resistencia alta y modulo relativo medio, con una resistencia relativa a la tracción media (Figura 4.6).

Zona 5: Se conforma por CMET este. Esta zona también incorpora una zona del macizo primario con alta densidad relativa de vetillas con yeso que se localiza bajo la roca secundaria a través del eje de la Quebrada El Teniente. Posee moderada a alta frecuencia de estructuras blandas con relleno principalmente de calcopirita y se le caracterizó con calidad geotécnica regular.

Tabla 4.2 Caracterización de las Zonas Geotécnicas mediante propiedades geotécnicas de la roca (Obtenido de informe interno GRMD-SGL-INF-0041-2018).

Parámetro Geotécnico	PRIMARIO ZONA 1				PRIMARIO ZONA 2			
	CBB Indif	CBB Ser	CBB CI	CBB Turm	P. Dacítico	P. Microdio	Bx. Turm (DR)	Bx. Anh
γ (ton/m ³)	2.55 ± 0.05	2.49 ± 0.09	2.60 ± 0.00	2.48 ± 0.12	2.62 ± 0.02	2.75 ± 0.05	2.77 ± 0.09	2.71 ± 0.08
η (%)	4.38 ± 2.85	8.54 ± 2.75	5.07 ± 0.12	9.17 ± 2.83	2.04 ± 0.99	0.77 ± 0.27	2.75 ± 1.34	2.30 ± 1.60
UCS (MPa)	77 ± 15	73 ± 22	74 ± 2	87 ± 11	151 ± 18	148 ± 15	92 ± 24	108 ± 17
TI (MPa)	3 ± 2	7 ± 1	5 ± 0	8 ± 1	8 ± 3	15 ± 1	9 ± 5	9 ± 4
E (GPa)	29 ± 3	27 ± 4	27 ± 1	30 ± 5	39 ± 11	45 ± 6	43 ± 16	42 ± 10
ν	0.22 ± 0.04	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.01	0.19 ± 0.02	0.17 ± 0.06	0.34 ± 0.06	0.15 ± 0.05	0.17 ± 0.05
V_p (m/s)	4170 ± 225	4287 ± 260	4510 ± 0	4342 ± 96	4770 ± 429	4936 ± 416	5105 ± 705	4999 ± 158
V_s (m/s)	2343 ± 238	2619 ± 363	2825 ± 0	2591 ± 190	2490 ± 423	2790 ± 199	2628 ± 333	2916 ± 167
E/UCS	377 ± 84	370 ± 138	365 ± 14	345 ± 74	258 ± 81	304 ± 52	460 ± 233	389 ± 116
UCS/TI	26 ± 12	10 ± 4	15 ± 1	11 ± 2	19 ± 8	10 ± 1	10 ± 4	12 ± 5
m_i	25.6	10.3	14.7	10.8	18.6	9.3	9.6	11.9
σ_{ci} (MPa)	79	68	70	81	145	128	81	101
σ_{ti} (MPa)	3	7	5	8	8	14	9	9
c (MPa)	16	16	16	18	25	26	19	21
ϕ (°)	49	40	44	42	50	42	40	44

Parámetro Geotécnico	PRIMARIO ZONA 3		PRIMARIO ZONA 4	PRIMARIO ZONA 5	ZONA SECUNDARIO	
	Tonalita	P. Diorítico	CMET Hw	CMET Fw	CMET 2°	DACITA 2°
γ (ton/m ³)	2.72 ± 0.04	2.70 ± 0.03	2.80 ± 0.04	2.80 ± 0.03	2.56 ± 0.20	2.45 ± 0.16
η (%)	0.71 ± 0.28	2.17 ± 1.79	1.46 ± 1.64	0.72 ± 0.73	1.96 ± 0.00	1.20 ± 0.04
UCS (MPa)	162 ± 29	140 ± 12	135 ± 12	108 ± 10	47 ± 15	67 ± 21
TI (MPa)	13 ± 3	12 ± 4	11 ± 4	13 ± 5	5 ± 3	- ± -
E (GPa)	49 ± 4	48 ± 4	57 ± 11	50 ± 8	40 ± 15	40 ± 6
ν	0.23 ± 0.03	0.21 ± 0.04	0.19 ± 0.06	0.18 ± 0.05	0.18 ± 0.07	0.24 ± 0.04
V_p (m/s)	5078 ± 653	5011 ± 245	5646 ± 428	5747 ± 535	- ± -	4305 ± 400
V_s (m/s)	2936 ± 262	2961 ± 296	3191 ± 365	3221 ± 229	- ± -	2622 ± 267
E/UCS	302 ± 63	343 ± 41	422 ± 91	463 ± 94	889 ± 444	597 ± 263
UCS/TI	12 ± 4	12 ± 4	12 ± 5	8 ± 4	9 ± 4	- ± -
m_i	12.5	12.6	12.0	8.2	8.9	-
σ_{ci} (MPa)	153	130	124	100	42	-
σ_{ti} (MPa)	13	11	11	13	5	-
c (MPa)	30	26	25	23	12	-
ϕ (°)	47	46	46	40	35	-

NOTAS:

E: Módulo de Young; ν : Razón de Poisson; γ : Densidad; η : Porosidad; UCS: Resistencia a la compresión; TI: Resistencia a la tracción indirecta; V_p : Velocidad propagación onda P; V_s : Velocidad propagación onda S; m_i : Parámetro del criterio de falla de Hoek-Brown; σ_{ci} : Resistencia a la compresión según el criterio de falla Hoek-Brown; σ_{ti} : Resistencia a la tracción según el criterio de falla Hoek-Brown; c: Cohesión; ϕ : Angulo de fricción interna.

Resistencia alta y modulo relativo medio, con una resistencia relativa a la tracción alta (Tabla 4.2).

4.3 Modelo de alteración

El modelo de alteración tiene como objetivo entregar espacialmente el grado de los distintos tipos de alteración (Pre-TM, TM, HP y HT) presentes en el yacimiento El Teniente en base al muestreo mencionado anteriormente. La construcción de los volúmenes se realizó mediante modelos numéricos refinados por medio del método Kriging a través del software Leapfrog Geo, los cuales fueron ajustados a rangos obtenidos para cada evento de alteración mediante el análisis exploratorio de la base de datos de porcentaje de alteración.

Los rangos categóricos definidos para cada alteración por separado se dividen en las traza, débil, moderado y alto según un porcentaje relativo a la alteración. Hay que mencionar que para cada alteración se generaron volúmenes independientes, por lo que estos pueden interceptarse entre sí y generar un sesgo en la interpretación de los resultados (Tabla 4.3).

Tabla 4.3 Rangos establecidos para el modelo de alteración donde muestra los rangos de porcentaje para cada tipo de alteración (Osorio, 2019).

ALTERACIÓN	RANGO	IDENTIFICADOR DE DATO NUMÉRICO	CATEGORIZACIÓN	IDENTIFICADOR DE DATO CATEGORIZADO
% Pre TM	<= 1	pc_Pre TM	TRAZA	COD_Pre TM
	(1 - 5]		DÉBIL	
	(5 - 10]		MODERADO	
	> 10		ALTO	
% TM	<= 90	pc_TM	TRAZA	COD_TM
	(90 - 93]		DÉBIL	
	(93 - 96]		MODERADO	
	(96 - 98]		ALTO	
	> 98		MUY ALTO	
% HP	<= 2	pc_HP	TRAZA	COD_HP
	(2 - 10]		DÉBIL	
	(10 - 32]		MODERADO	
	> 32		ALTO	
% HT	<= 3	pc_HT	TRAZA	COD_HT
	(3 - 10]		DÉBIL	
	(10 - 35]		MODERADO	
	> 35		ALTO	

5 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en el estudio espacial y estadístico de las bases de datos de conminución, mineralogía, alteración y vetillas blandas serán presentados mediante gráficos de caja y de dispersión. En general para el estudio de los parámetros de chancado se realizó utilizando rangos propuestos para cada uno mediante el análisis estadístico de estos (Figuras 5.1, 5.3 y 5.5), además se dividió por zonas el yacimiento con respecto a los distintos sectores productivos, donde las zonas corresponderían a la Oeste (Andesita, Pacífico Superior y Diablo Regimiento), Zona Norte (Andes Norte, Dacita, Recursos Norte, Reservas Norte, Pilar Norte) y Zona Este (Diamante, bloques de Esmeralda y Esmeralda Extensión Sur).

También se utilizaron las zonas geotécnicas para realizar comparaciones entre parámetros y lograr observar una correlación de forma indirecta. En primer lugar, se estudiará el control litológico y por sectores de los parámetros de chancabilidad (C_{wi} , C_i y A_i), siguiendo con relación con la frecuencia de vetillas blandas mediante el uso del modelo geotécnico de la mina El Teniente del año 2018, con el objetivo de ocupar estas zonas en modo de comparación para el comportamiento de los parámetros geotécnicos (UCS, E_{din}). Finalmente, se realizará un análisis mineralógico relacionada a los que se encuentran presentes en la roca y en vetillas y se correlacionará con el modelo de alteración. La información más específica de los gráficos de caja es posible observarlos en los en Anexo A, los cuales fundamentan la agrupación de la información mostrada.

5.1 Definición de rangos y análisis espacial de datos

5.1.1 Chancado LEIT (Cwi)

Los rangos obtenidos por el gráfico de acumulación empírica (CDF) entregan algunos quiebres que al ser comparados en un histograma entregan una distribución normal, entregando intervalos entre los cuales Cwi se comportaría a distintos grados dentro del yacimiento. Para este caso se establecen grados bajos a altos (Figura 5.1).

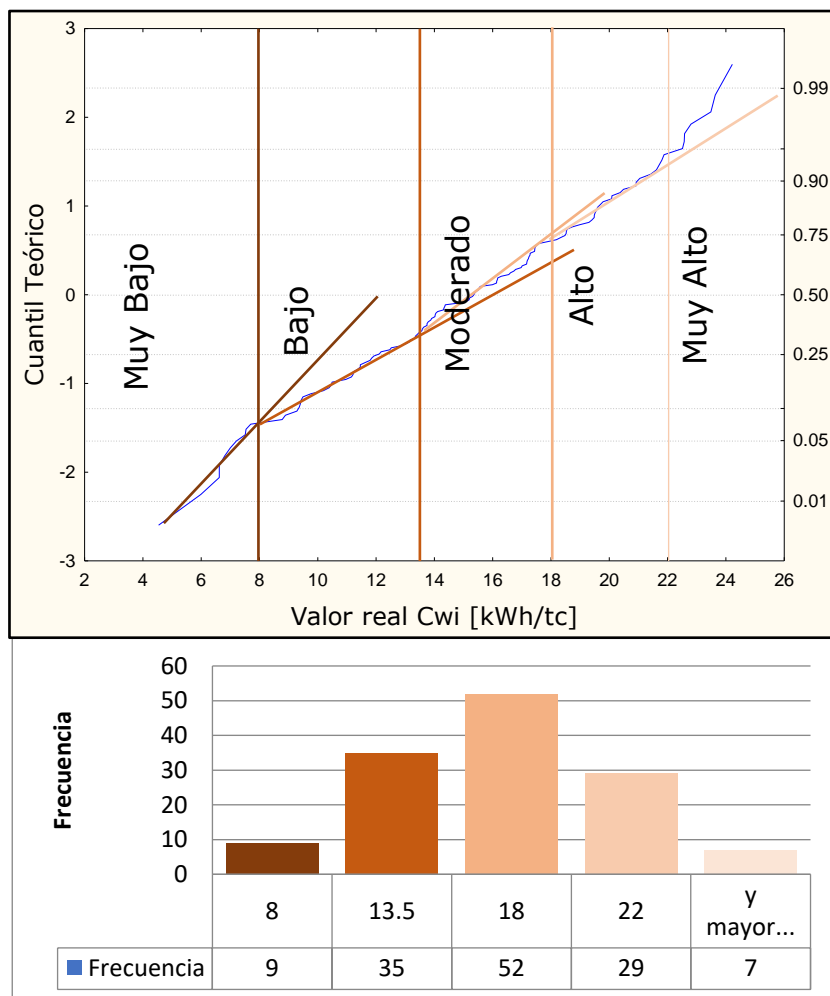


Figura 5.1 Gráfico Cuantil Teórico-Cuantil real para el parámetro de Chancado LEIT. Se observan los quiebres marcados por líneas de tonos naranjos. Además, se observa la distribución de los rangos generados.

Con respecto a su distribución en el espacio, la mayor concentración de muestras se encuentra en los sectores Norte y Este, donde en general los valores fluctúan entre rangos moderado a alto, con sectores localizados (sector sur de Andesita) de rocas con Cwi bajo y otros con Cwi muy alto (sectores Recursos Norte, y Esmeralda) (Figura 5.2).

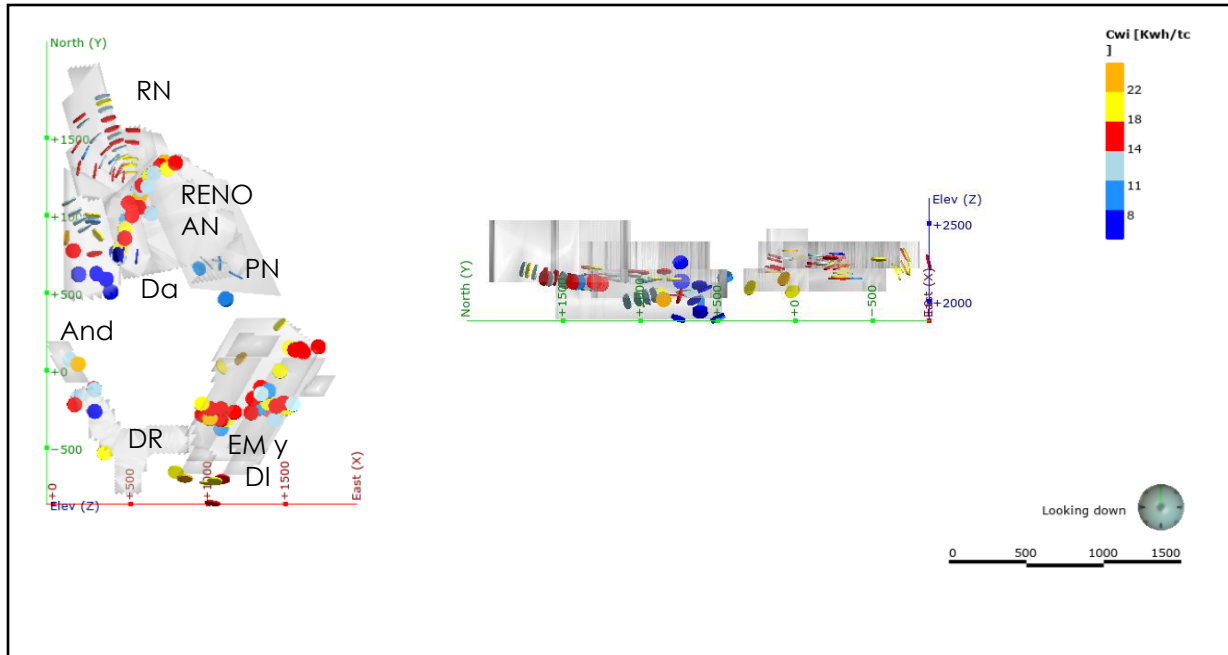


Figura 5.2 Distribución de los datos de Chancado LEIT alrededor del yacimiento, considerando todas las muestras. DR: Diablo Regimiento; PS: Pacífico Superior; And: Andesita; RN: Recursos Norte; Da: Dacita; RENO: Reservas Norte; AN: Andes Norte; PN: Pilar Norte; EM: Esmeralda; DI: Diamante.

5.1.2 Índice de chancado obtenido para ensayo SPI (CI)

El gráfico de cuantil-cuantil normal entrega quiebres en sus datos que indican poblaciones definidas en base a qué tan elevado sería el parámetro. Esto se ve traducido en rangos, los cuales se van a delimitar desde rangos bajos a muy altos como se indica en el Figura 5.3. También se puede observar que, en base a estos intervalos obtenidos, los datos poseen una distribución

normal, la cual es necesaria para el tratamiento estadístico de los datos más adelante.

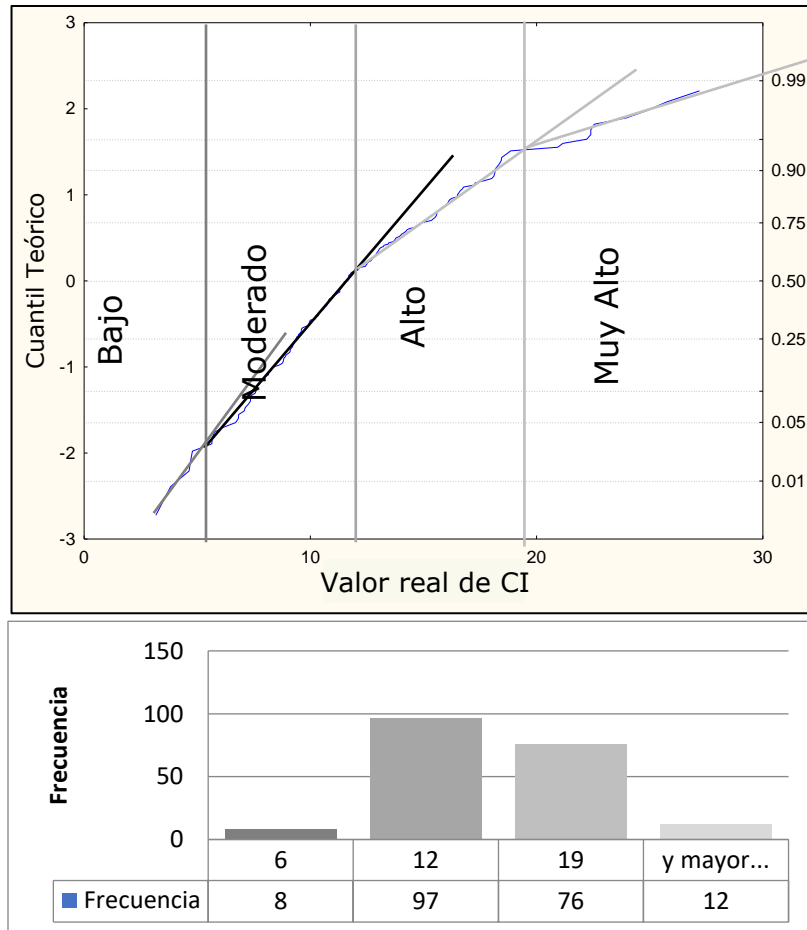


Figura 5.3 Gráfico Cuantil Teórico-Cuantil real para el parámetro de índice de chancado (CI). Se observan los quiebres marcados por líneas de tonos grises. Además, se observa la distribución de los rangos generados.

Espacialmente, en comparación al Cwi, este índice posee una mayor cantidad de datos y su mayor concentración se da principalmente en las zonas Oeste y Este. Los valores más altos están asociados a datos de los sectores Norte y Este del yacimiento (Figura 5.4).

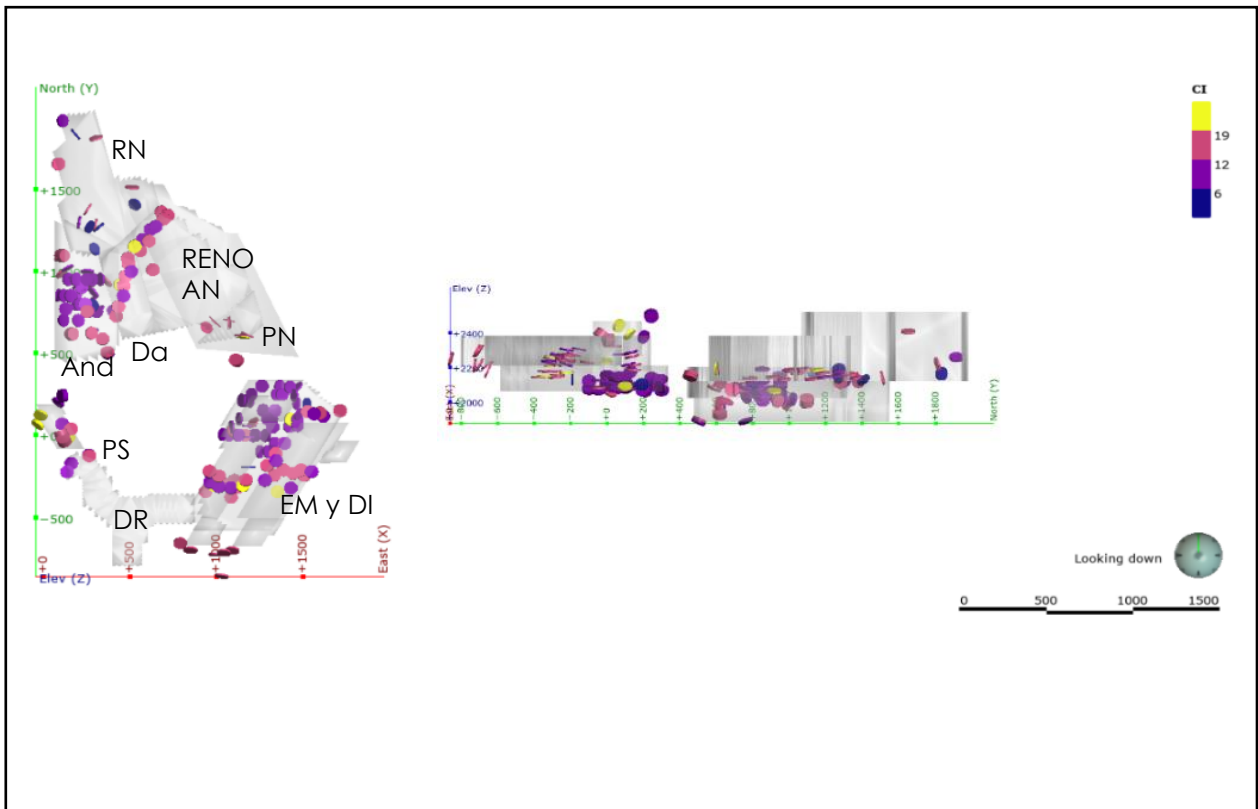


Figura 5.4 Distribución de las muestras con datos de índice de chancado (CI), en base a los rangos obtenidos en los gráficos de distribución. DR: Diablo Regimiento; PS: Pacífico Superior; And: Andesita; RN: Recursos Norte; Da: Dacita; RENO: Reservas Norte; AN: Andes Norte; PN: Pilar Norte; EM: Esmeralda; DI: Diamante.

5.1.3 Índice de abrasión (A_i)

Los intervalos entregados por el gráfico cuantil-cuantil normal muestran una distribución normal de los datos para su uso estadístico más adelante. En base a esto se establecieron los rangos que definirán el nivel de abrasividad que estos poseen (Figura 5.5).

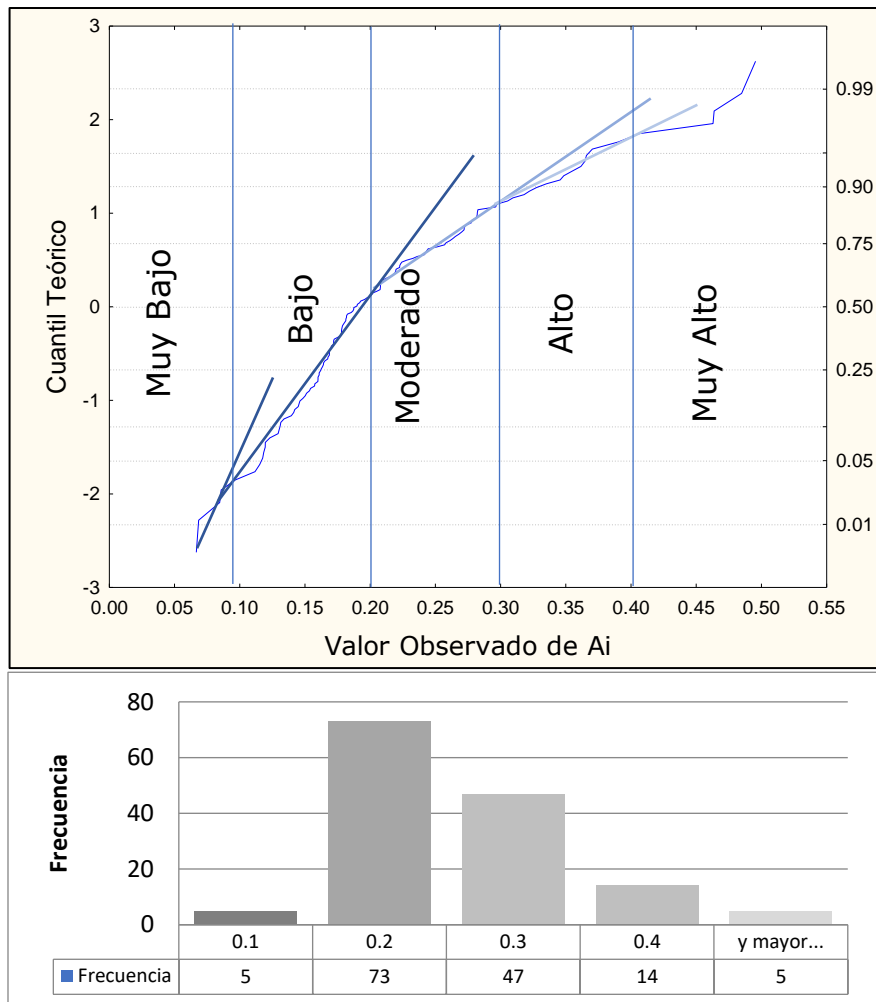


Figura 5.5 Gráfico Cuantil Teórico-Cuantil real para el parámetro de índice de abrasión (A_i). Se observan los quiebres marcados por líneas de tonos grises. Además, se observa la distribución de los rangos generados.

Espacialmente se observa que, en general, las rocas presentan valores entre los rangos bajos a medios, con predominancia de los valores bajos. Los rangos más altos se concentran en su mayoría en la zona Norte y en menor medida en la zona Este. Los valores muy altos se ubican netamente en los sectores más profundos, en la zona oriental del sector Norte (Figura 5.6).

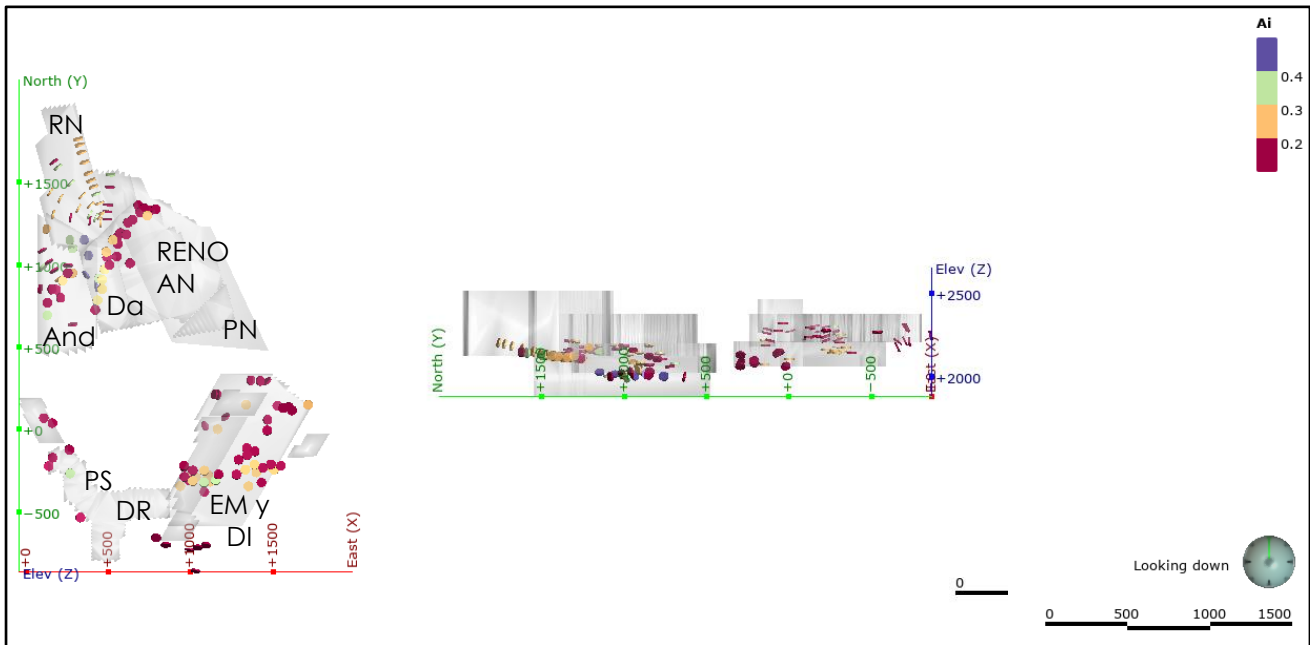


Figura 5.6 Distribución de los datos del índice de abrasión en los sectores productivos. Están categorizados en base a los rangos obtenidos. DR: Diablo Regimiento; PS: Pacífico Superior; And: Andesita; RN: Recursos Norte; Da: Dacita; RENO: Reservas Norte; AN: Andes Norte; PN: Pilar Norte; EM: Esmeralda; DI: Diamante.

5.2 Relación de la geotecnia y geología con los parámetros de chancado (Cwi, CI y Ai) y formación de dominios

5.2.1 Chancado LEIT (Cwi)

Relación de las Unidades Litológicas con Cwi

En general se observa una gran variabilidad en los valores del Cwi para el complejo máfico (CMET). En los sectores de la zona Este el CMET posee un Cwi en general alto, junto a las brechas ígneas, con valores sobre 18 kWh/tc. En los demás sectores el Cwi del CMET es bastante disperso, alcanzando valores bajos (Figura 5.7).

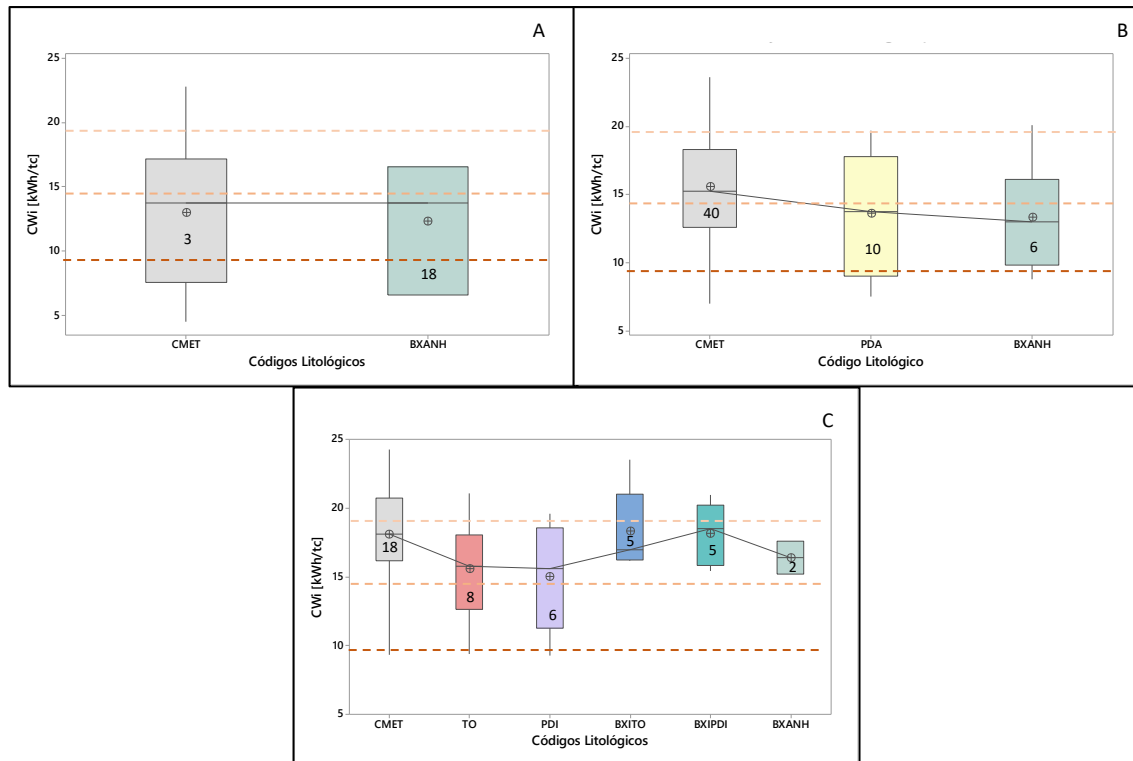


Figura 5.7 Gráficos que relacionan Cwi con las unidades litológicas presentes en la división El Teniente. Las líneas punteadas indican los diferentes rangos definidos anteriormente. Códigos Litológicos: Complejo Máfico El Teniente (CMET); Brecha de Anhidrita (BXANH); Pórfido Dacítico (PDA); Tonalita (TO); Brecha Ígnea de Tonalita (BXITO); Brecha Ígnea de Pórfido Diorítico (BXIPDI). A: Zona Oeste; B: Zona Norte; C: Zona Este.

Relación con zonas del modelo geotécnico (Frecuencia de vetillas blandas)

El parámetro de Chancado LEIT (Cwi) en la zona Oeste presenta un aumento relativamente lineal con respecto al aumento de la frecuencia de vetillas blandas. Además, un comportamiento similar se observa para las zonas restantes, pero este se da solo entre las zonas geotécnicas 3 y 4 de forma más significativa. A pesar de esto, los rangos entre los que fluctúan las distintas zonas geotécnicas son distintos para cada zona (Figura 5.8).

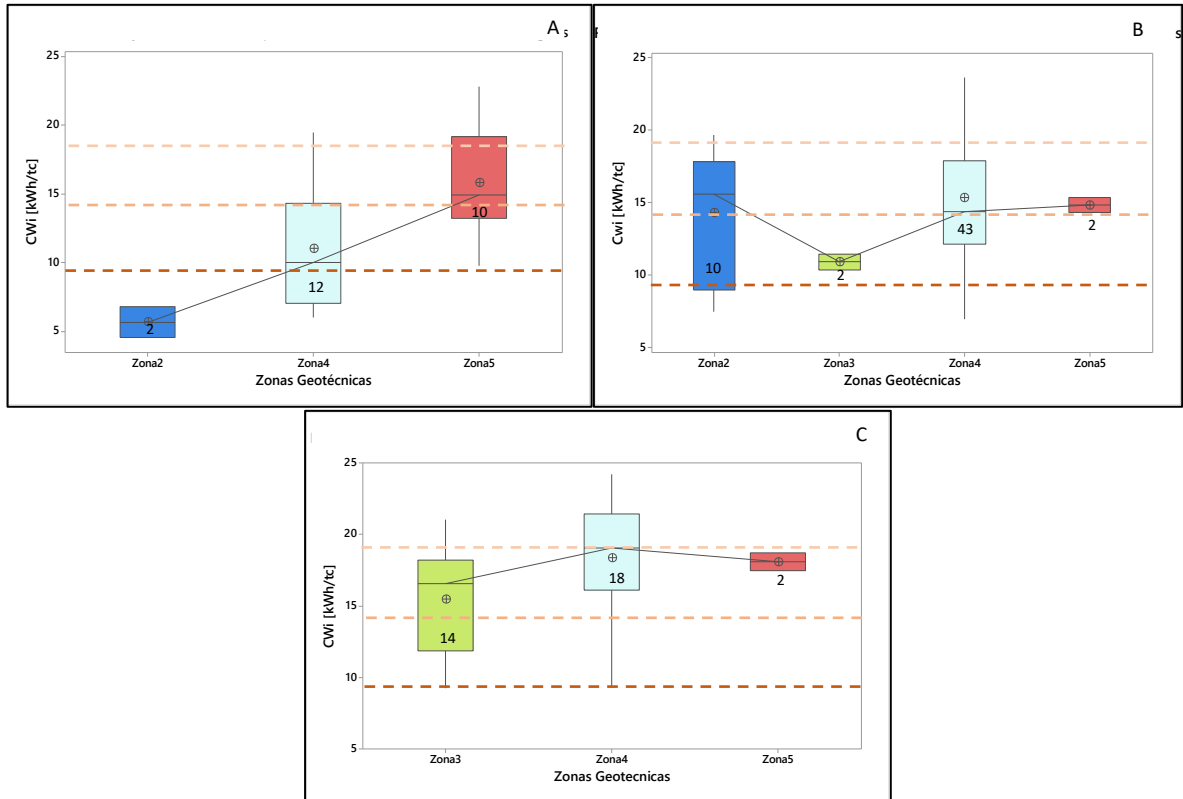


Figura 5.8 Relación entre las zonas geotécnicas (Frecuencia de vetillas blandas) y el ensayo de Chancado LEIT. Hacia la derecha aumenta la frecuencia de vetillas blandas. Se observa que entre la zona 3 y 4 existe un aumento del Cwi en todos los sectores. A: Zona Oeste; B: Zona Norte; C: Zona Este.

Relación con grupos mineralógicos en base a QEMSCAN

Los sectores Oeste y Norte presentan una relación con respecto al grupo de los filosilicatos (clorita, biotita y muscovita/sericita), la cual correspondería a un aumento en el valor de Cwi a medida que aumentamos la presencia de este grupo mineralógico. No obstante, el Oeste posee una mayor representatividad, debido a que la dispersión de los datos de la zona Oeste es bastante menor a la del sector Norte (Figura 5.9).

Con respecto a las relaciones con la mineralogía blanda (calcopirita, anhidrita, carbonatos y molibdenita), no se encontró una relación debido a que para ambos sectores no se observa una tendencia clara, siendo la más dispersa en los sectores Norte.

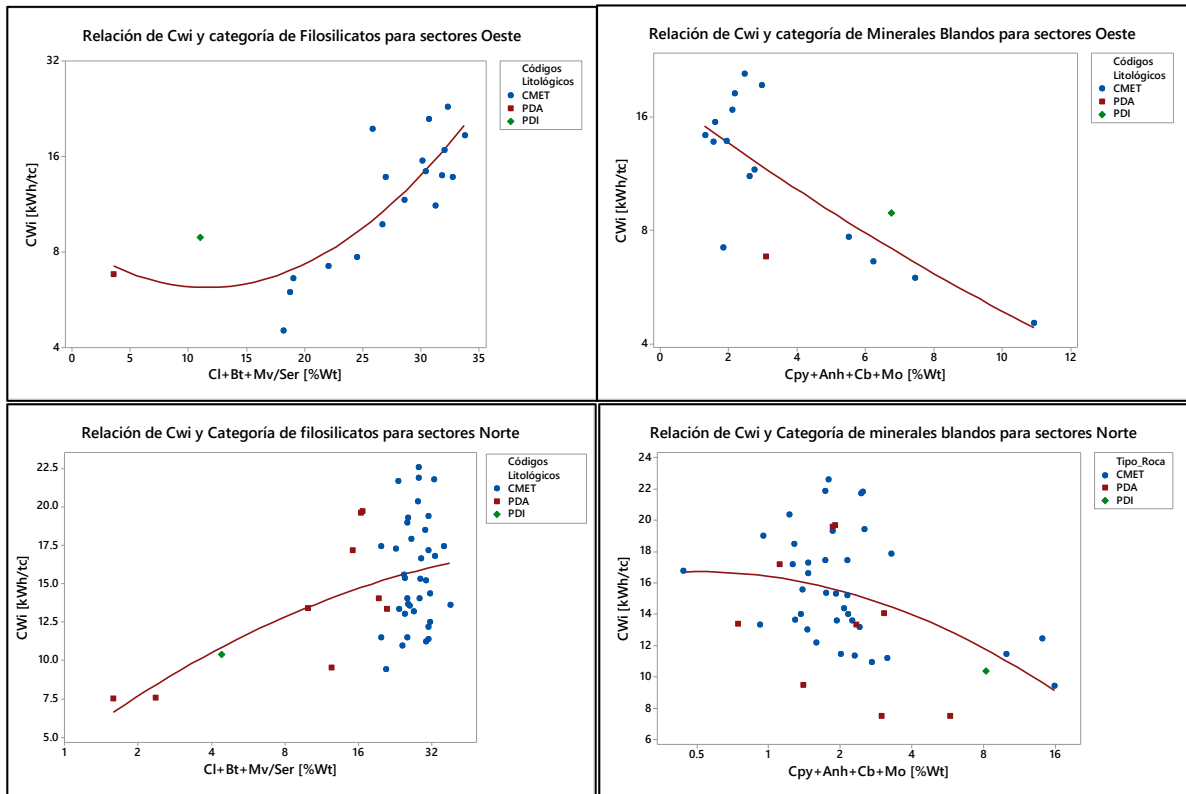


Figura 5.9 Relaciones de Chancado LEIT y el grupo de los filosilicatos y minerales blandos definidos anteriormente para zonas Oeste y Norte. Se observa una mejor dispersión para la zona Oeste que para el Norte. Cl: clorita; Bt: biotita; Mv/Ser: Muscovita/Sericita; Cpy: calcopirita; Anh: anhidrita; Cb: carbonatos; Mo: Molibdenita.

Esto entregaría posiblemente una relación con los sectores Oeste y Norte principalmente con respecto a minerales con categorías de filosilicatos, no obstante, no se podría decir lo mismo para los sectores Este, ya que los datos muestran una alta dispersión sin converger a un lineamiento.

Relación con zonas de alteración y mineralogía QEMSCAN asociada

La alteración Tardimagmática (TM), posee solo relación en la zona Oeste del yacimiento, caracterizada principalmente por la presencia de la asociación de biotita, cuarzo, anhidrita y clorita. Se puede observar que existe cierta correlación entre la asociación mineral y Cwi, pero cuando extraemos la clorita de la asociación, aumenta su dispersión. También vale decir que si bien, se encontraron para correlaciones los sectores Oeste, en general los demás sectores no la presentan, obteniendo datos más dispersos y sin altas variaciones en sus rangos (Figura 5.10).

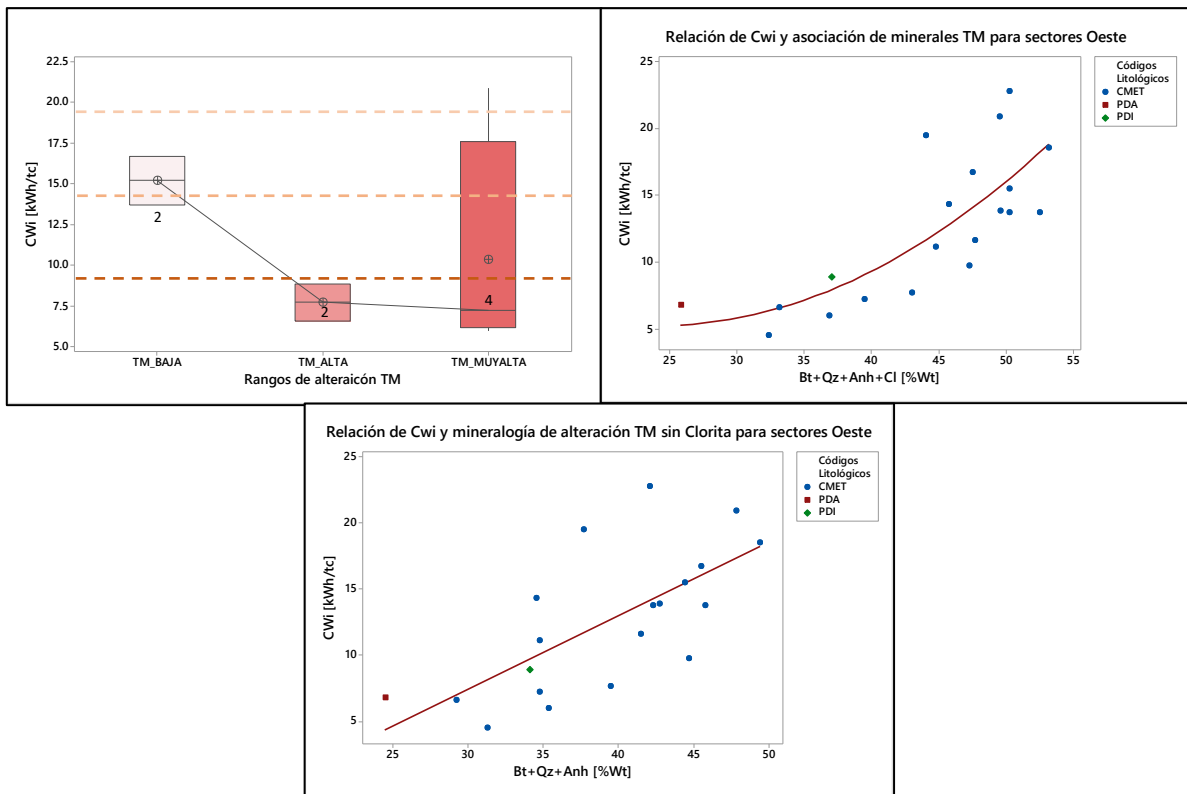


Figura 5.10 Resultados para la alteración Tardimagmática (TM) solo para los sectores Oeste. Se observa una relación principalmente solo con la mineralogía para esta zona.

Luego, los resultados para la alteración Hidrotermal Principal (HP) no se observan resultados significativos para su zonación de alteración, pero si para su asociación mineralógica. Esta en general involucra cuarzo, clorita, anhidrita y muscovita-sericita, no obstante, la tendencia se forma principalmente cuando solo consideramos la suma de los minerales de clorita y muscovita-sericita. Esta relación se observa principalmente en la zona Oeste y Norte, en cambio en la Este posee una alta dispersión de los datos. Los valores para el parámetro de Cwi tienden a aumentar a medida que aumentamos nuestro porcentaje en peso de la asociación mineral clorita y muscovita/sericita (Figura 5.11).

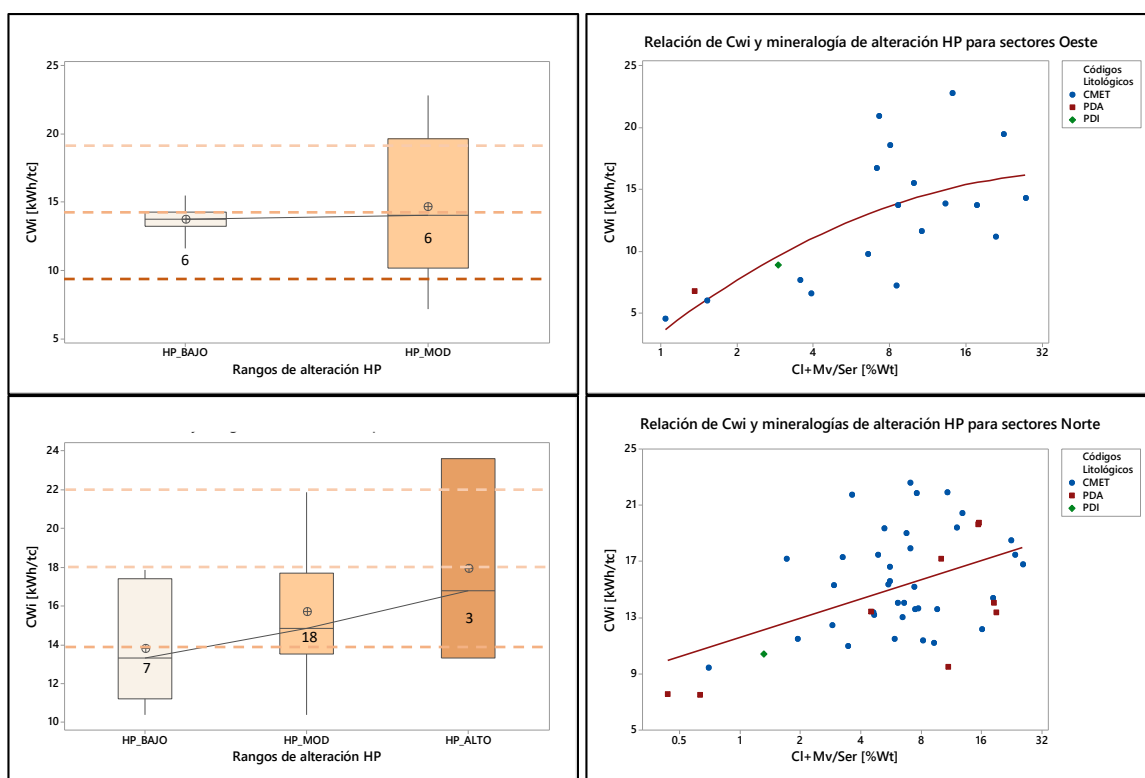


Figura 5.11 Se observan relaciones con la alteración HP para las zonas Oeste (arriba) Y Norte (abajo). Se observa una tendencia de los datos a aumentar su valor de Chancado LEIT a medida que aumentamos el porcentaje de clorita-muscovita/sericita en la muestra.

Estudio petrográfico de muestras con ensayos de Chancado LEIT (Cwi)

En primer lugar, para el CMET se observa que las muestras que poseen valores dentro del rango moderado de Cwi (8-14 kWh/tc) poseen una textura porfídica con fenocristales de plagioclasa y una masa fundamental alterada a biotita y cuarzo. Dentro del corte se pueden observar vetillas con mineralización de sulfuros de mena, cuarzo y clorita dentro de esta y, delgados halos de cristales de muscovita-sericita (Figura 5.12).

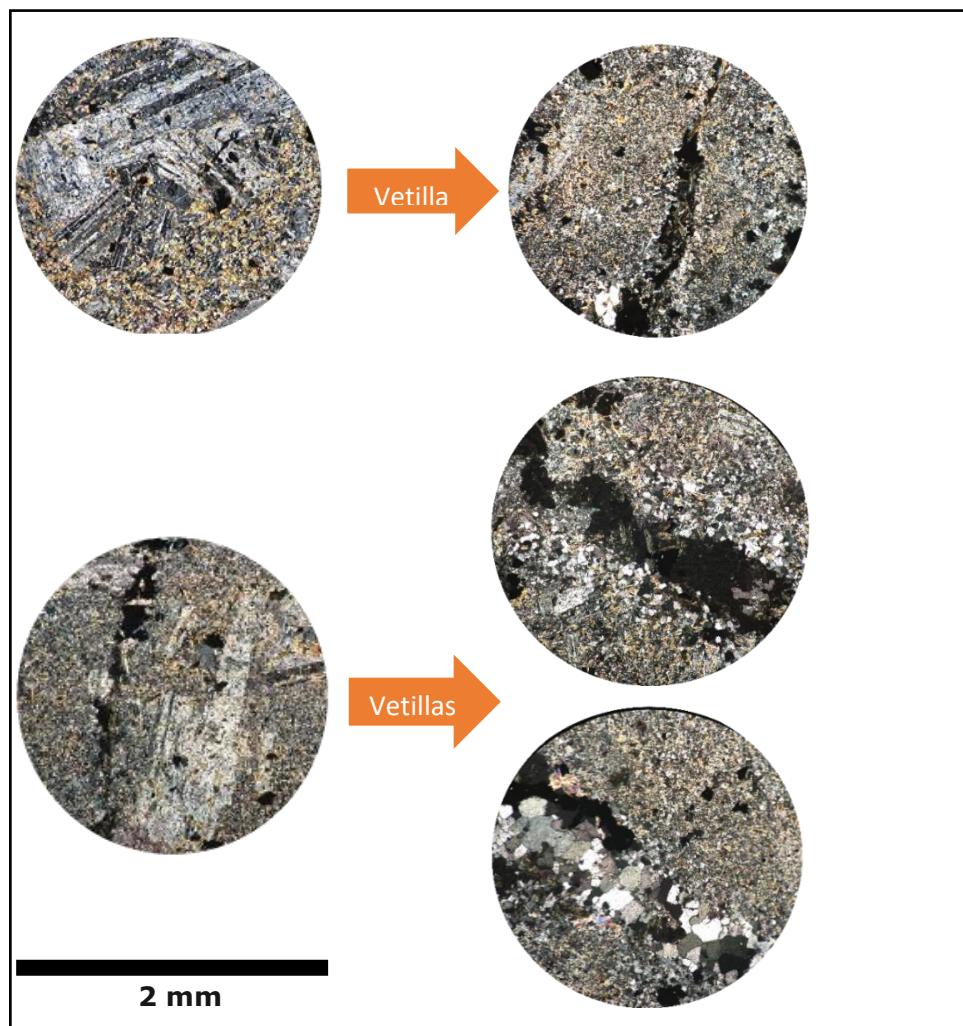


Figura 5.12 Imágenes microscópicas de las muestras S1181 y S1182 que poseen un Cwi dentro del rango bajo con sus respectivas vetillas. Se observa la masa fundamental biotitizada y fenocristales de plagioclasa.

Luego, se observa que las muestras asociadas a un alto Cwi (14-18 kWh/tc) tienen fenocristales de plagioclasa de forma subhedral y presentan una alteración moderada principalmente de muscovita-sericita. Su masa fundamental tiene la misma alteración que en sus fenocristales, pero también se encuentra la clorita asociada. Las vetillas presentes son similares a las encontradas en muestras de rocas con Cwi de rango moderado, pero para estos casos, estas poseen halos de alteración de muscovita-sericita mucho más gruesos (Figura 5.13).

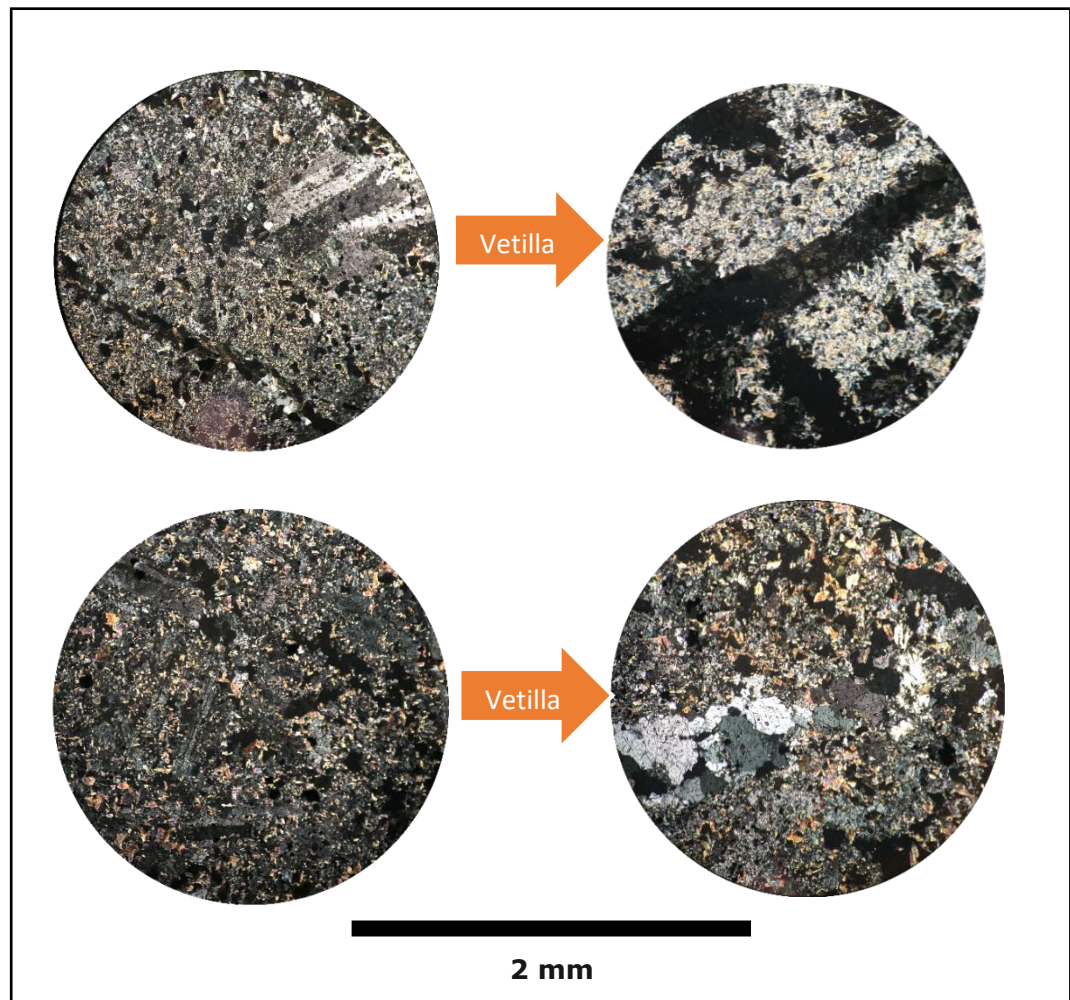


Figura 5.13 Imágenes microscópicas de las muestras S1290 y S1295 donde se observa nuevamente la presencia de biotita en la masa fundamental, pero con un aumento de la presencia de sericita tanto en los fenocristales como en las vetillas.

Finalmente, las muestras que representan rangos muy altos (sobre 18 kWh/tc) de Cwi poseen un grado de obliteración muy alto, donde la textura de la roca ya no es posible de observar, debido a que los fenocristales fueron alterados en su mayoría a muscovita-sericita. También se observa una cloritización pervasiva y recristalización de cuarzo fino en la masa fundamental (Figura 5.14).

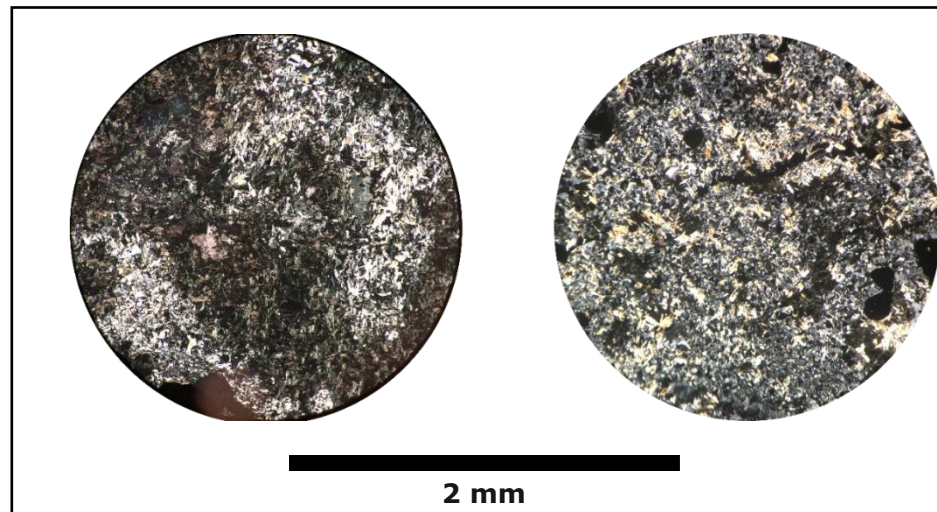


Figura 5.14 Imágenes microscópicas de las muestras S1402 y S1464 que representan a los rangos más altos de Cwi, donde se observa una alteración pervasiva de clorita-muscovita/sericita, donde ya no es reconocible la textura original de la roca.

Los pórfidos félsicos observados se dividen en Pórfido Dacítico (PDA) y Pórfido Diorítico (PDI). Un corte transparente asociado a la primera unidad litológica muestra una textura porfídica con una masa fundamental de cristales de cuarzo redondeados, con fenocristales de plagioclasa y minerales máficos, en su mayoría biotita primaria. Esta muestra posee un Cwi dentro de los límites moderado a alto. Con respecto al PDI, las dos muestras estudiadas entregan una textura en general inequigranular, donde predominan las plagioclasas y en menor medida minerales máficos como la biotita. No obstante, se visualiza un reemplazo pervasivo de clorita y muscovita-sericita (Figura 5.15).

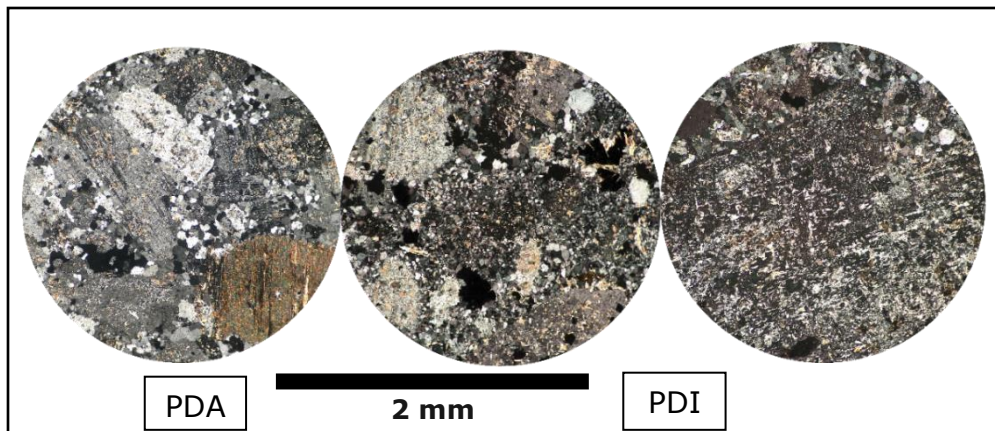


Figura 5.15 Fotografía microscópicas de muestras S1463, S1410 y S1415 que representan a las rocas del complejo félsico.

Creación de dominios para sectores Oeste y Norte de Cwi relacionado a la asociación clorita-muscovita/sericita

La elaboración de dominios requiere de una densidad de datos bastante alta; en este caso se contó con 76 datos de Cwi (76). Para evitar errores se complementó la información con la realización de un estudio que considera la mineralogía.

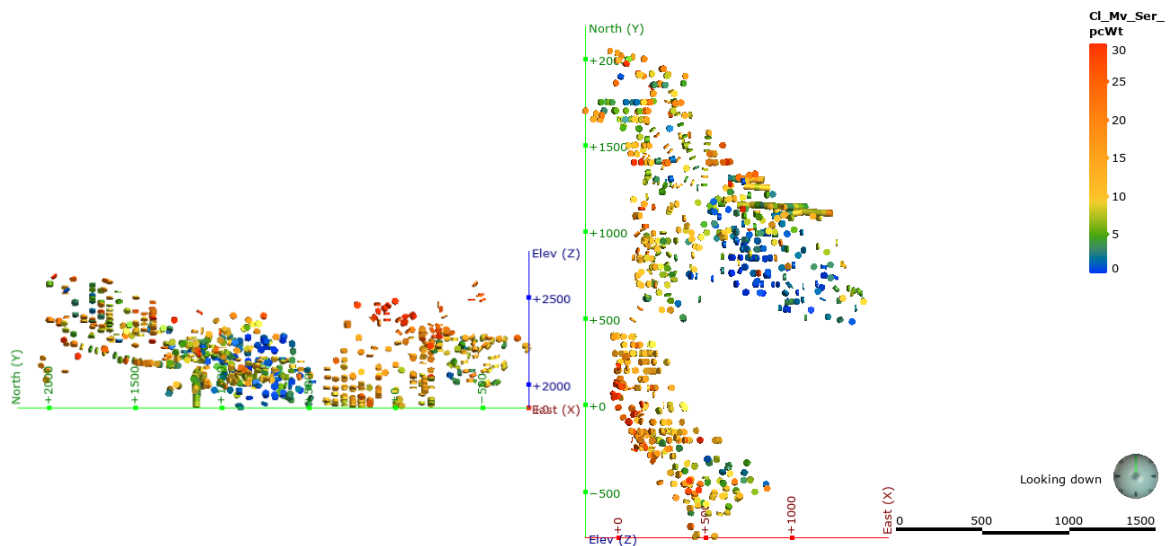
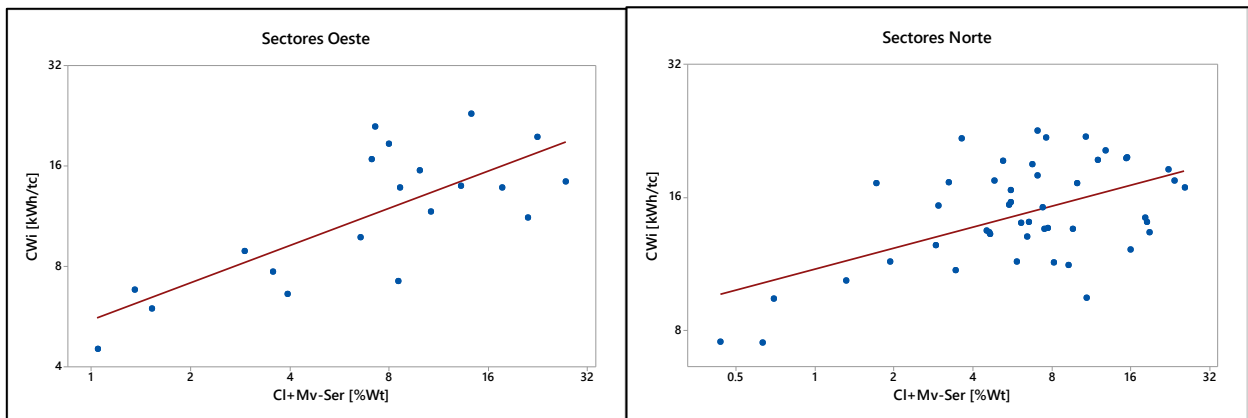


Figura 5.16 Distribución de los datos de mineralogía QEMSCAN para la asociación clorita-muscovita/sericita. Se observa una gran representatividad de la información.

Para ello se relacionó la información de Cwi con el porcentaje en peso de la asociación clorita-muscovita/sericita presente en los sectores Norte y Oeste. De esta forma, mediante la correlación matemática, a través de una regresión lineal se encontraron rangos de clorita-muscovita/sericita relacionados con los anteriormente calculados para Cwi. La información de QEMSCAN de esta asociación mineral posee una densidad de información robusta, capaz de abarcar la mayor parte del sector Noroeste (Figura 5.16).

Utilizando las relaciones obtenidas en la Figura 5.11, se realizaron regresiones lineales de los sectores Oeste y Norte del yacimiento, donde el sector Oeste presentó un menor error cuadrático que el sector Norte. Estos representarían relativamente la cantidad de clorita-muscovita/sericita que existiría en la roca relacionado a un valor de Chancado LEIT (Cwi).



$$a) \text{Log}_2(Cwi) = 2.464 + 0.371\text{Log}_2(\%wt) \text{ y } R^2 = 0.57$$

$$b) \text{Log}_2(Cwi) = 3.464 + 0.1567\text{Log}_2(\%wt) \text{ y } R^2 = 0.291$$

Figura 5.17 Diagramas de dispersión para sectores Oeste y Norte con sus ejes representados en logaritmo base dos. Se observa además los ajustes de su nube de puntos. a) para el sector Oeste y b) para el sector Norte.

En base a lo obtenido en la Figura 5.17 se elaboró la Tabla 5.1 que muestra los rangos de Cwi para cada intervalo obtenido anteriormente. Esta tabla fue dividida en los sectores Oeste y Norte, ya que cada uno posee una dispersión muy distinta (Figura 5.17), siendo mucho mayor para el Norte.

Tabla 5.1 Rangos de Chancado LEIT relacionados con los de clorita-muscovita/sericita.

Clasificación	Rangos Cwi [kWh/tc]	Rangos Cl-Mv/Ser [%Wt] sectores Oeste	Rangos Cl-Mv/Ser [%Wt] sectores Norte
Blanda	0-8	0-2.7	0-0.13
Moderadamente dura	8-14	2.7-12.2	0.13-4.6
Dura	14-18	12.2-24.15	4.6-22.7
Muy Dura	> 18	> 24.15	> 22.7

Con los datos presentados se generó un modelo en Leapfrog (figuras 5.18 y 5.19). En la zona Oeste domina el rango de Cwi moderado en los metros superficiales y bajo en profundidad. Se puede observar que los valores más bajos tienden a estar cerca de la Brecha Braden, es decir, al oriente del Sector Oeste, en cambio los valores más altos se encuentran más lejanos a la diatrema.

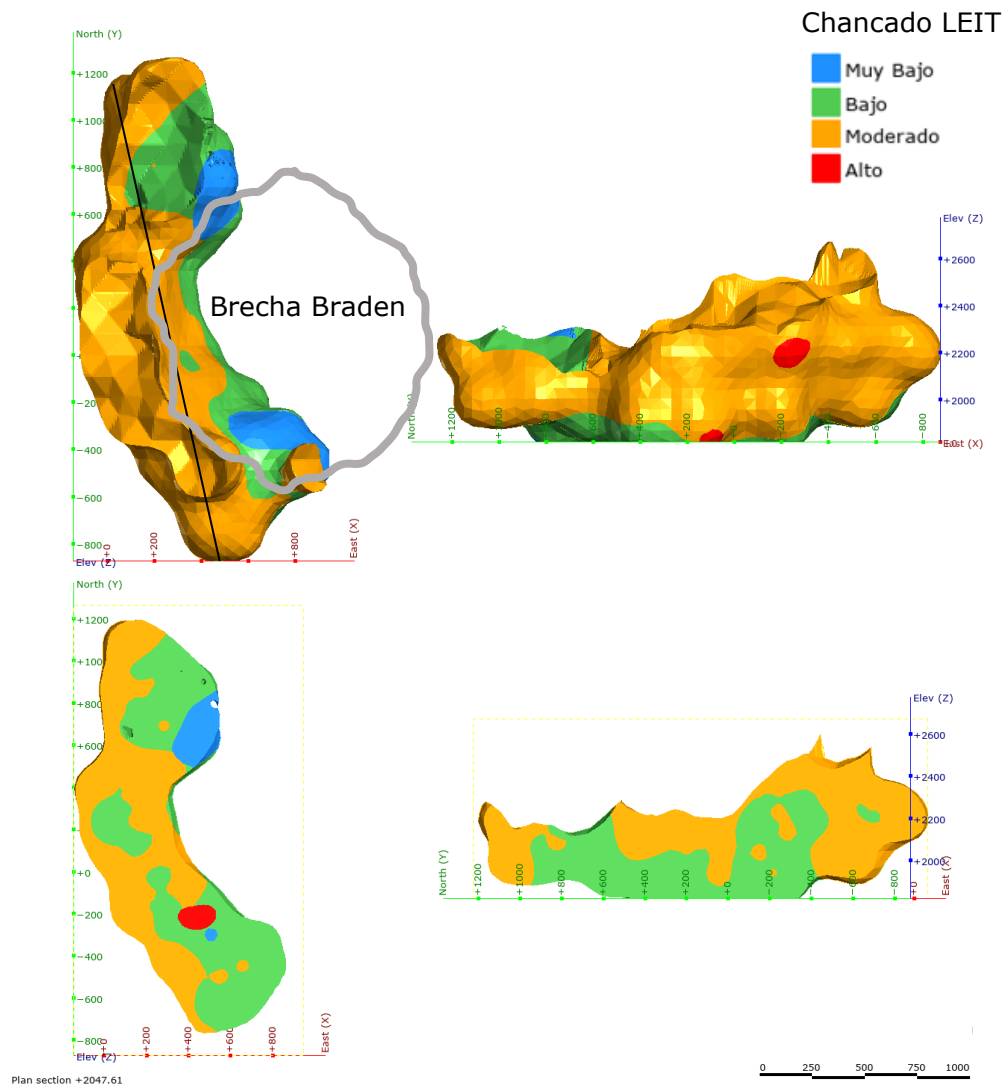


Figura 5.18 Dominios para Chancado LEIT generados en base a los datos de clorita-muscovita/sericita de la zona Oeste.

Para el sector Norte se observa una distribución similar de los rangos bajos y moderados, con una ligera predominancia de los valores bajos. Los intervalos muy bajos y altos se encuentran localizados, en cuerpos más pequeños. También existe una distribución relacionada a la forma de la diatrema, donde en general, los rangos muy bajo y bajo se dan principalmente cerca de esta, en cambio los moderados y altos se encuentran más alejados (Figura 5.19).

Chancado LEIT

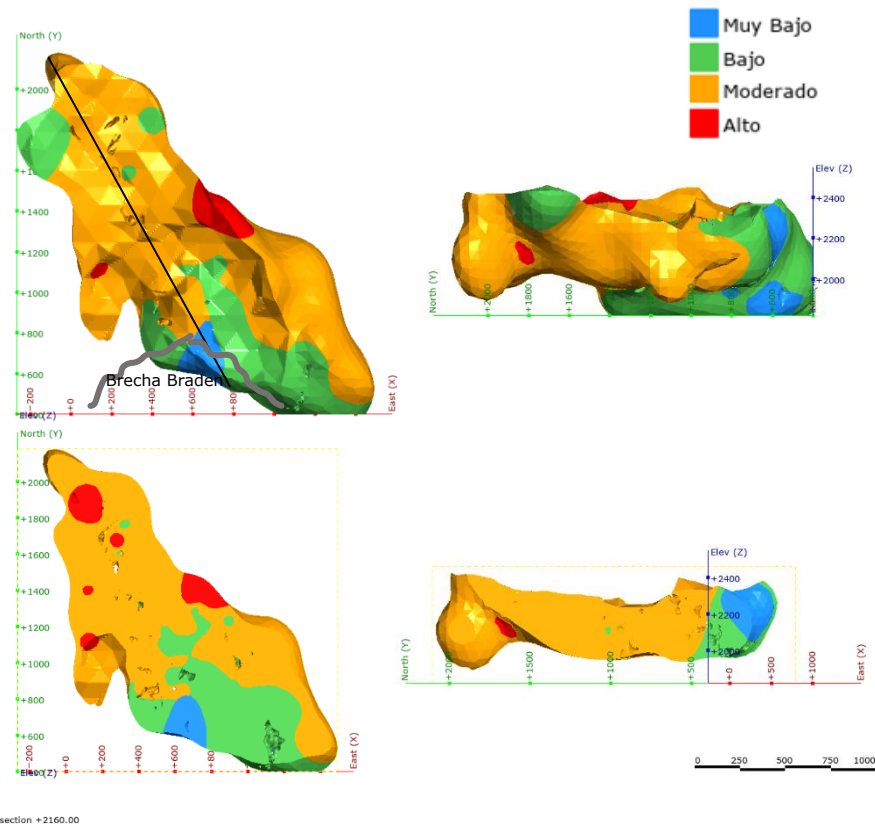
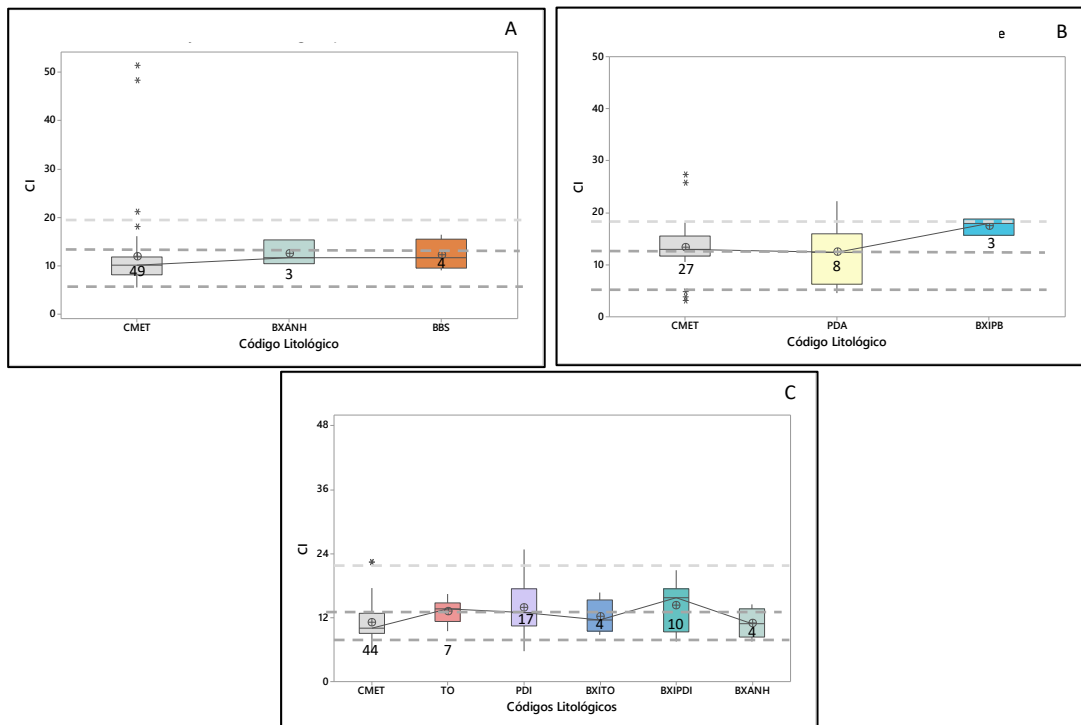


Figura 5.19 Dominios para Chancado LEIT generados en base a los datos de clorita-muscovita/sericita de la zona Norte.

5.2.2 Crushing Index relacionado a SPI (CI)

Relación de las Unidades Litológicas con CI

En general el CI posee un comportamiento bastante constante, con valores en promedio bajos-medios. Los gráficos muestran valores de CI para el CMET muy fuera de rango, con valores de CI de hasta 50. Estos no son considerados para formar los primeros cuantiles, indicando que la mayor variabilidad se va a encontrar dentro de la litología CMET (Figura 5.20).



Relación con zonas del modelo geotécnico (frecuencia de vetillas blandas) y CI

Se observa un comportamiento con respecto a las zonas 3, 4 y 5 en las zonas Norte y Este, donde en general se ve para una frecuencia de vetillas de 0,67 por metro (Zona geotécnica 3) sus valores de índice de chancado (CI) fluctúan dentro de los rangos altos a muy alto (12-19 y mayor que 19), luego zona geotécnica 4 (1,02 vetillas por metro) posee un valores que están acotados dentro de los rangos moderados (6-12) y para la zona norte este tiende a aumentar estando en el límite entre la zona moderada y la alta. Con respecto a la zona 2, los datos obtenidos principalmente se obtuvieron en la zona norte, sin embargo, esta posee un comportamiento dentro de la zona alta. En general, se observa una tendencia a disminuir los valores de CI a

medida que aumentamos la frecuencia de vetillas blandas en la roca que es procesada (Figura 5.21).

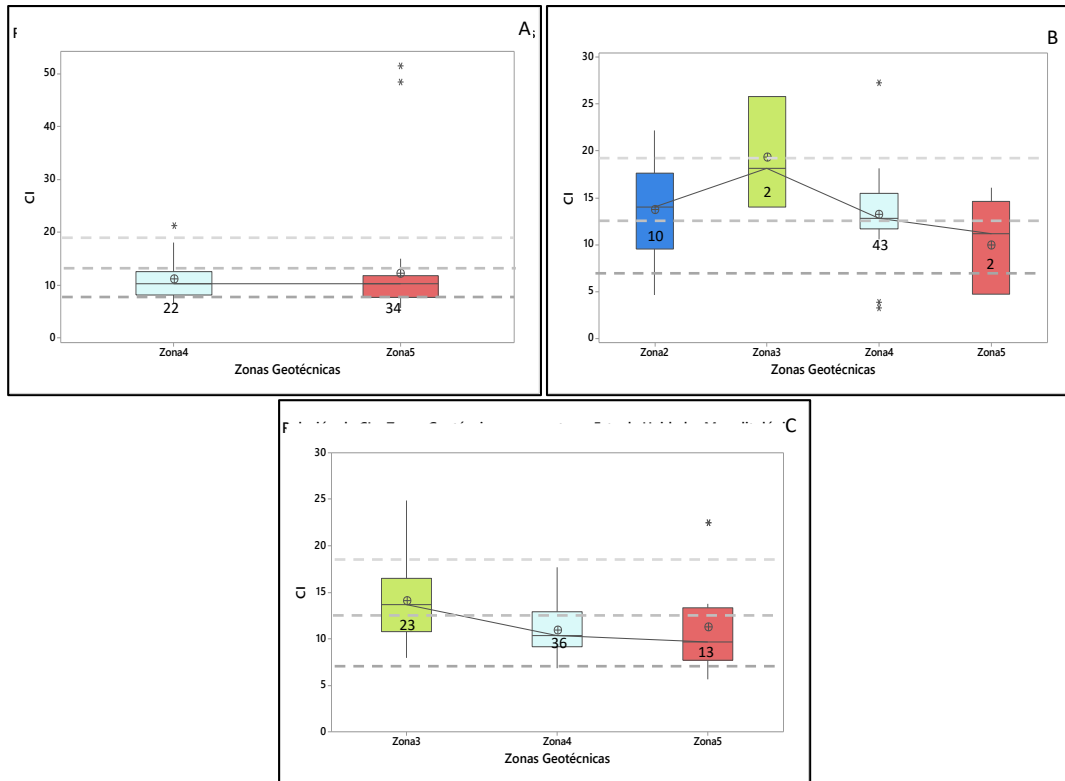


Figura 5.21 Relación entre el índice de chancado (CI) y las zonas geotécnicas (frecuencia de vetillas blandas aumentan hacia la derecha.) A: Zona Oeste; B: Zona Norte; C: Zona Este.

Relación con zona de alteración y mineralogía asociada a QEMSCAN

Para las zonas de alteración HP y TM no se observa una tendencia con respecto al parámetro de índice de chancado (CI), debido a que los cuantiles entre los que se mueven los datos poseen una alta variación (Figura 5.22 y 5.23). Además, también es posible observar que la mineralogía asociada a cada alteración tampoco posee una relación, ya que posee una alta dispersión y en general CI tiende a mantenerse constante a pesar de que el porcentaje- peso de estos materiales aumente o disminuya.

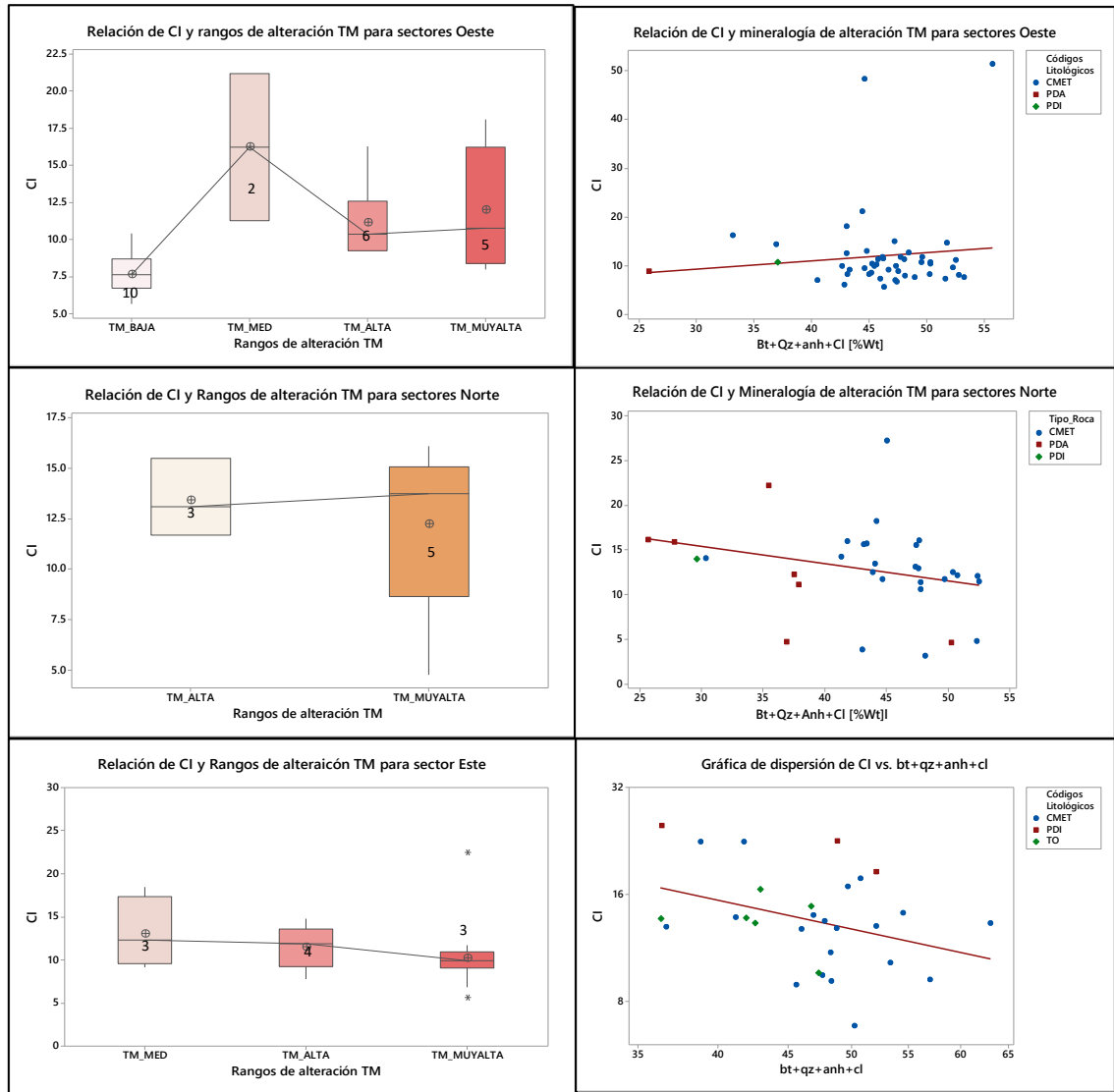


Figura 5.22 Relaciones entre la alteración TM y su mineralogía QEMSCAN asociada, con el índice de chancado (CI).

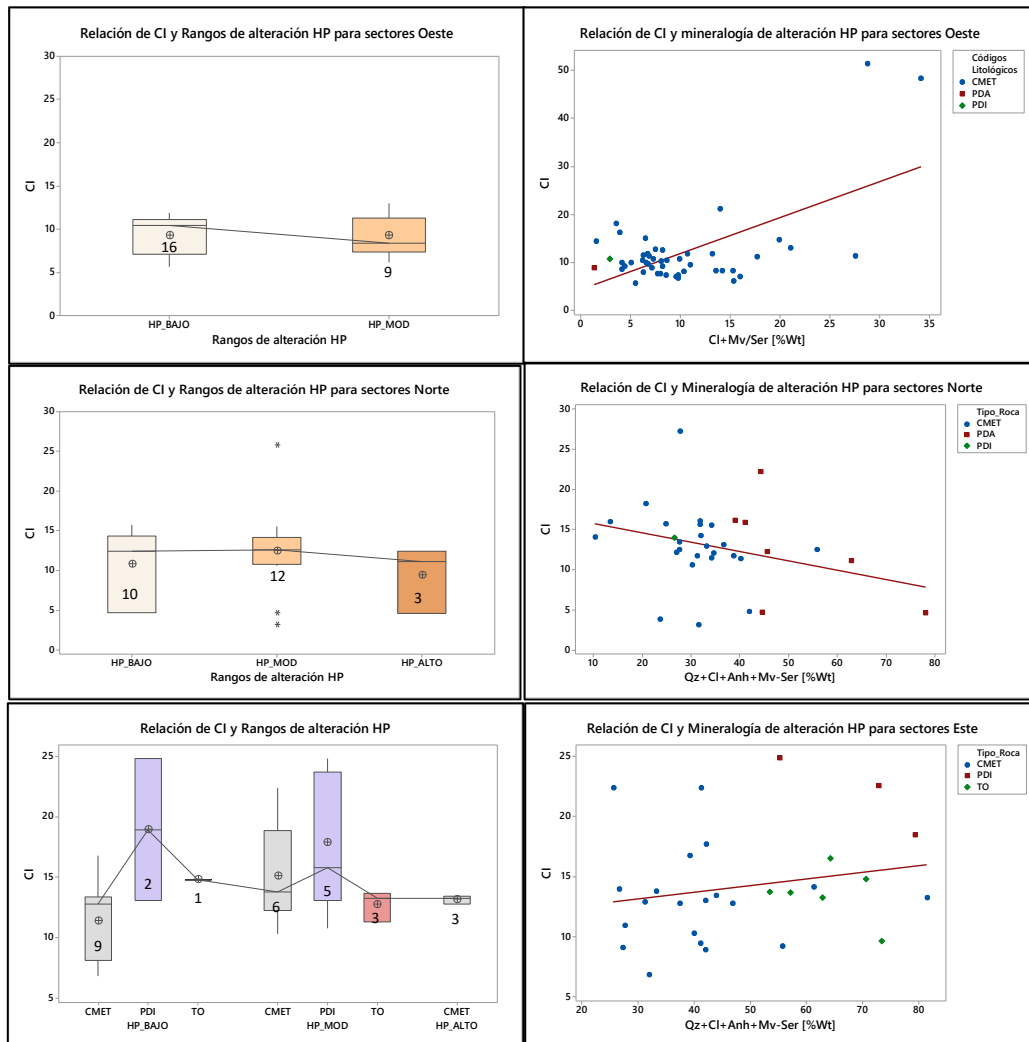


Figura 5.23 Relaciones entre la alteración HP y su mineralogía QEMSCAN asociada, con el índice de chancado (CI).

Dominios de CI relacionados a Unidades Litológicas dentro de las Zonas Geotécnicas

El factor que generó más influencia en el ensayo de CI fue la zonación geotécnica basada en la frecuencia de vetillas blandas dentro del yacimiento, donde a mayor frecuencia existe una disminución del CI y un aumento en la capacidad de chancado (Figura 5.24). Esto implicaría una caracterización de nuestro comportamiento dentro de los chancadores utilizando los cuerpos definidos por el modelo. No obstante, hay que considerar que el modelo posee en sus límites todas las unidades litológicas incluyendo las brechas, en cambio

el análisis que se realizó en el presente estudio fue solo con las unidades de CMET, PDA y PDI. Desde lo anteriormente lo mencionado se definirán las zonas geotécnicas en base a estas litologías y lo dicho en el informe de GRMD-SGL-INF-0041-2018 acerca de la definición de las unidades, donde la Zona 2 corresponderá principalmente al PDA, la zona 3 al PDI y TO, y las zonas 4 y 5 solo CMET. Además, estas también se agruparán en base a su comportamiento general con respecto al CI, donde las zonas 2 y 3 que poseen medianas similares y dentro de un rango de 12-19, con un comportamiento duro asociado a una frecuencia de vetillas menor a 1,02/m. Luego a las zonas 4 y 5 se les asignarán rangos de 6-12, el cual posee un comportamiento moderadamente duro con una frecuencia de vetillas asociada mayor a 1,02/m (Figura 5.25).

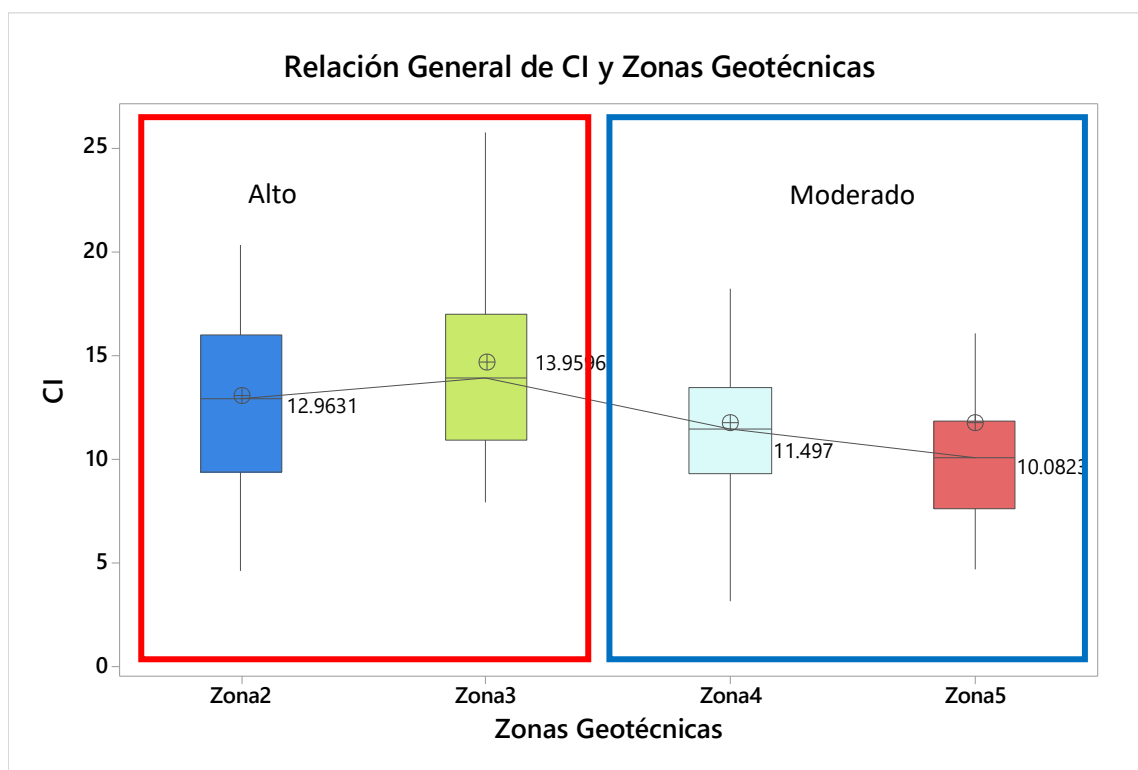


Figura 5.24 Definición de dominios en base al control de Zonas Geotécnicas sobre el parámetro de índice de chancado (CI). Se define la zona de alta y moderada.

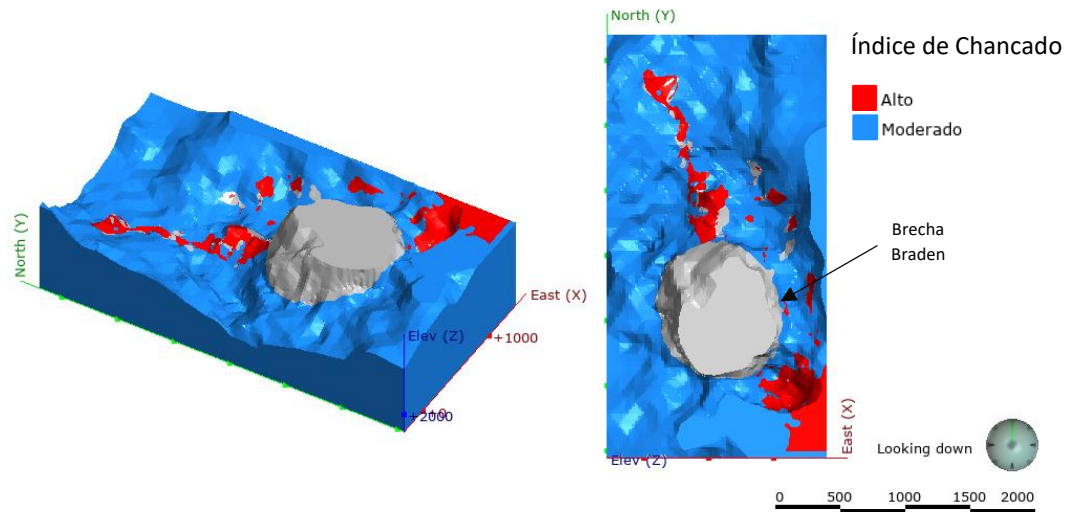


Figura 5.25 Dominios en el espacio del índice de chancado (CI), donde se identifica que la zona más alta (rojo) se delimita en base a los pórfidos que poseen menor cantidad de frecuencia de vetillas, a diferencia de la zona moderada.

En general, con respecto a los resultados obtenidos mediante los parámetros geotécnicos UCS y módulo de Young dinámico (Anexo C), no se obtuvieron resultados relevantes que pudieran ser relacionables con los comportamientos de los parámetros geometalúrgicos de chancado. Es decir, las zonas tanto geotécnicas como las de alteración no entregan un resultado similar a lo obtenido con Cwi y CI. Además, no se pueden observar de forma directa las relaciones, ya que los soportes y sondajes a los que se les han hecho ensayos geotécnicos son distintos a los geometalúrgicos. Sin embargo, hay que considerar que las zonas geotécnicas poseen resultados promedios de ensayos geotécnicos para cada zona. Donde la resistencia a la tracción es menor para las zonas 4 y 5 en general.

5.2.3 Índice de Abrasión (Ai)

Relación de las Unidades Litológicas con Ai

Las unidades litológicas muestran valores que se pueden categorizar dentro de los distintos rangos propuestos para el índice de abrasión, donde en general se observa una diferenciación entre los pórfidos félsicos y las demás litologías. También se observa que el Pórfido Dacítico (PDA) posee valores muy altos, mostrando una alta abrasividad para los chancadores, en cambio el CMET globalmente posee un comportamiento bastante menor, cayendo en rangos levemente abrasivos (menor a 0,2) propiamente tal (Figura 5.26).

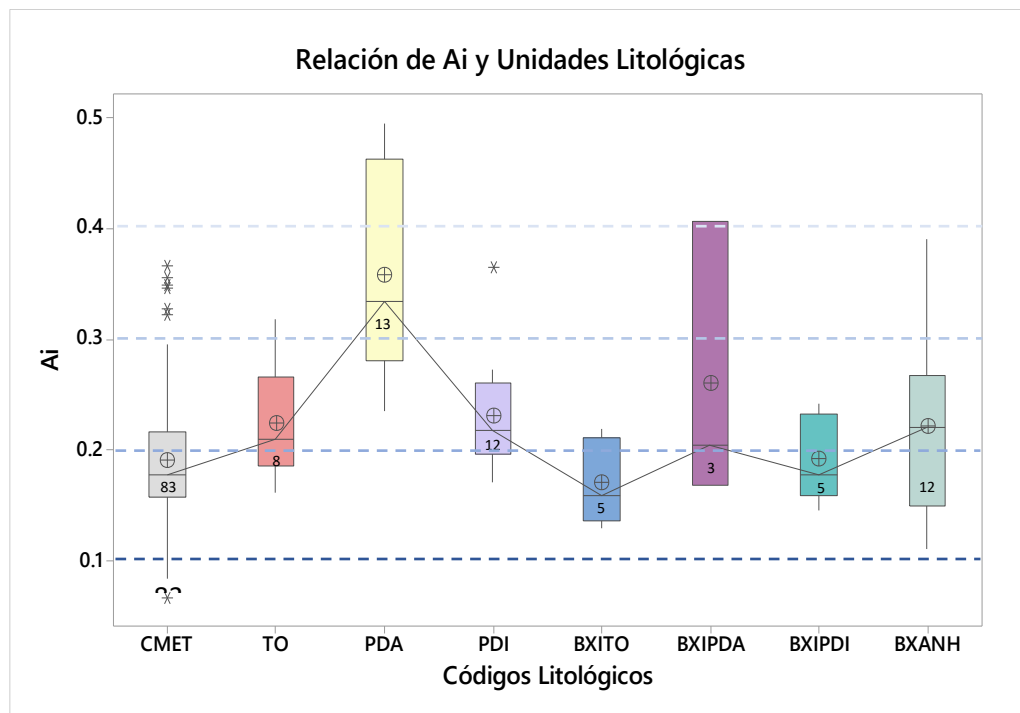


Figura 5.26 Relación entre índice de abrasión y unidades litológicas para todos los sectores. Códigos Litológicos: Complejo Máfico El Teniente (CMET); Brecha de Anhidrita (BXANH); Pórfido Dacítico (PDA); Pórfido Diorítico (PDI); Tonalita (TO); Brecha Ígnea de Tonalita (BXITO); Brecha Ígnea de Pórfido Diorítico (BXIPDI); Brecha Ígnea de Pórfido Basáltico.

Analizando los valores a través de los grupos de sectores definidos anteriormente se entregan algunas tendencias en las unidades litológicas. Para los sectores Oeste se encuentran en general valores característicos para CMET y PDA, donde el primero presenta de forma más representativa valores cercanos o menores a 0,2, indicando un comportamiento levemente abrasivo. Con respecto al PDA se observa un comportamiento muy alto al respecto a los demás, alcanzando rangos mayores a 0,4 siendo categorizado como muy alta abrasividad. Esto espacialmente se condice, ya que tenemos que los datos en el CMET dentro del sector Andesita presentan rangos de valores generales menores a 0,2 con algunos outliers, no obstante, el PDA presenta los valores más altos en los límites oeste del cuerpo intrusivo (Figura 5.27).

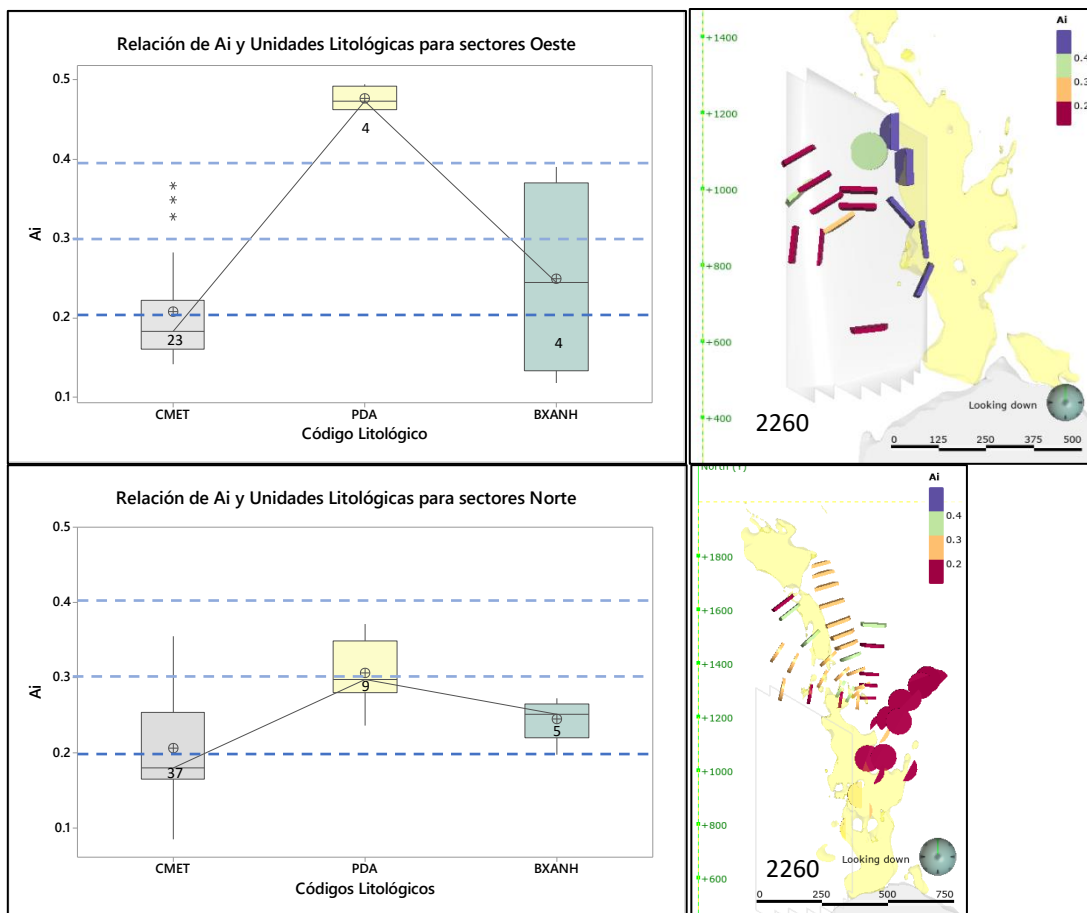


Figura 5.27 Relación entre unidades litológicas y el índice de abrasión (izquierda). Se observa que los mayores valores se concentran en el Pórfido Dacítico. A la derecha se encuentra el análisis espacial de cada zona para las muestras de CI. Códigos Litológicos: Complejo Máfico El Teniente (CMET); Brecha de Anhidrita (BXANH); Pórfido Dacítico (PDA).

Para los sectores Norte se observan comportamientos similares a los Oeste, donde el CMET posee un comportamiento general menor a 0,2, sin embargo, a diferencia de los sectores anteriores, el Norte posee un PDA que se caracteriza por tener una menor abrasión, con rangos entre 0,3 a 0,4. Espacialmente se observa que los datos cercanos al PDA poseen rangos que van entre 0,2 y 0,3, la cual está relacionado al CMET, no obstante, el sector más al Este se encuentran valores muy bajos (Figura 5.27).

Luego para los sectores Este se encuentran nuevamente valores muy bajos para el CMET, en general menores a 0,2, no obstante, en estos sectores los pórfidos félsicos (TO y PDI) poseen un comportamiento que va entre específicamente el rango moderadamente abrasivo principalmente (Figura 5.28).

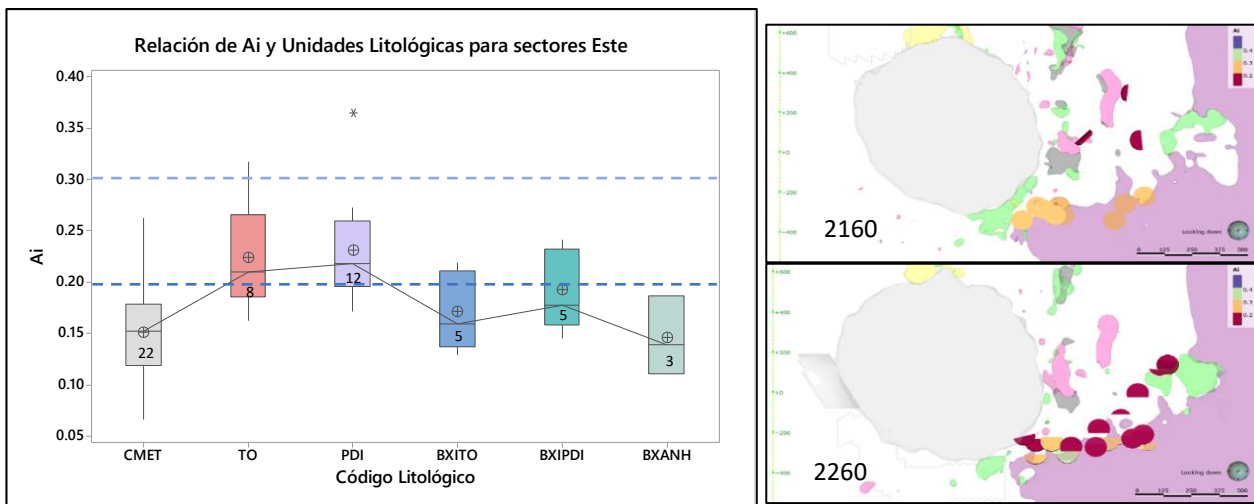


Figura 5.28 Relación entre unidades litológicas e índice de abrasión para el sector Este. Se observa que los pórfidos félsicos poseen valores más altos que las demás litologías. Códigos Litológicos: Complejo Máfico El Teniente (CMET); Brecha de Anhidrita (BXANH); Pórfido Diorítico (PDI); Tonalita (TO); Brecha Ígnea de Tonalita (BXITO); Brecha Ígnea de Pórfido Diorítico (BXIPDI).

Los resultados en general para la relación de los datos de los ensayos del A_i con las unidades litológicas arrojaron un comportamiento general dividido para el CMET y para los pórfidos félsicos. Donde el CMET posee un comportamiento en promedio menor a 0,2 con comportamientos levemente abrasivo, el PDI y TO poseen una abrasividad moderada, y finalmente el PDA posee rangos mucho más altos corresponde en general a una roca abrasiva a muy abrasiva.

Relación de las zonas del Modelo Geotécnico con A_i

Se observa que no existe una tendencia con propia entre las zonas geotécnicas y el índice de abrasión, ya que existe una diferencia entre los valores que se da principalmente por las unidades litológicas, mostrando este comportamiento para los distintos sectores. Se puede ver con respecto al CMET que en general posee valores menores a 0,2 de A_i , el cual no presenta

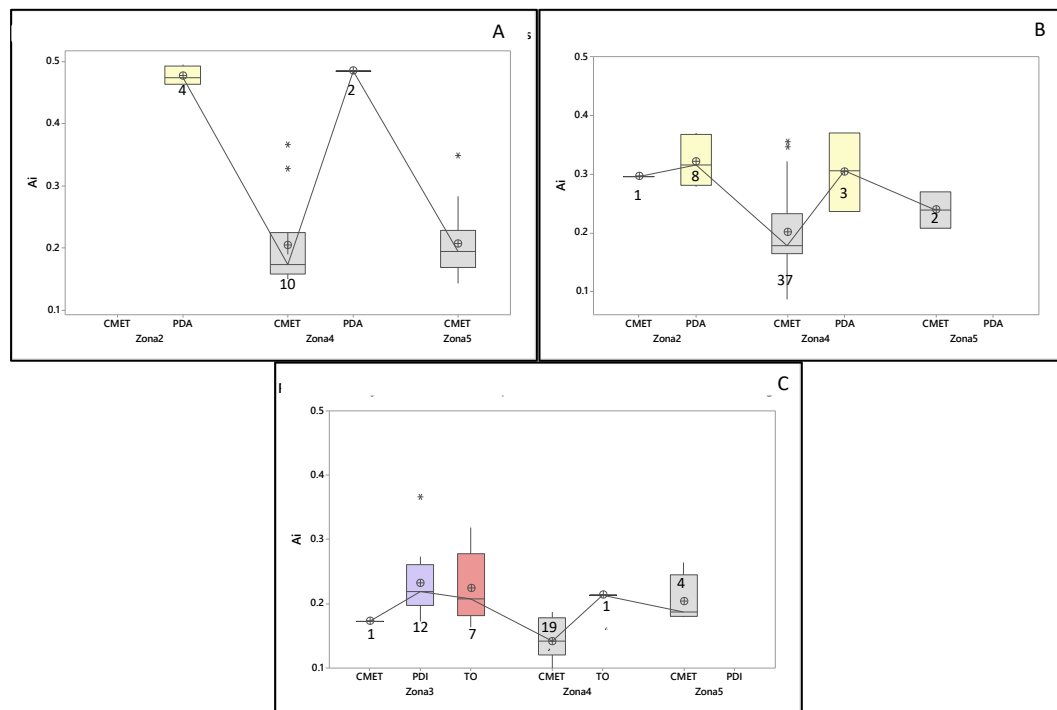


Figura 5.29 Relación con las zonas geotécnicas (aumento de la frecuencia de vetillas blandas hacia la derecha) con el índice de abrasión. Se dividieron por litologías debido a que presentan diferencias importantes. Códigos Litológicos: Complejo Máfico El Teniente (CMET); Pórfido Dacítico (PDA); Pórfido Diorítico (PDI); Tonalita (TO); A: Zona Oeste; B: Zona Norte; C: Zona Este.

una tendencia clara para las distintas zonas geotécnicas. También para los pórfidos félsicos se observa que estos poseen en general valores mayores a 0,2 llegando incluso a rangos muy altos (mayor a 0,4). En este grupo podemos ver que nuevamente el PDA posee un comportamiento en la zona Oeste diferenciado de la zona Norte, donde para la primera esta posee un índice muy abrasivo mayor a 0,4, en cambio en la zona Norte estos valores se encuentran en general entre 0,3 y 0,4, los cuales poseen un comportamiento independiente de la zona geotécnica. Finalmente, con respecto al PDI Y TO se observa que los datos se concentran principalmente en los sectores Este, donde ambas poseen datos que fluctúan entre 0,2 y 0,3 del índice de abrasión, nuevamente independientes de la zona en la que se encuentran (Figura 5.29).

Relación de grupos mineralógicos en base a QEMSCAN

Se encuentra un comportamiento del A_i que se ve influenciado por el grupo mineral de los filosilicatos, donde la abrasión tiende a disminuir a medida que se encuentra una mayor proporción de estos tipos de minerales en la roca, sin embargo, esta tendencia es posible encontrarla principalmente en los sectores Norte y Este. También se observa que los pórfidos félsicos en estos sectores son los que poseen en general rangos más altos de abrasión y se mantienen relativamente constantes dentro de un rango, en cambio existe un comportamiento por parte del CMET donde es más fuerte la pendiente que se forma a medida que aumentamos la cantidad de filosilicatos presentes (Figura 5.30).

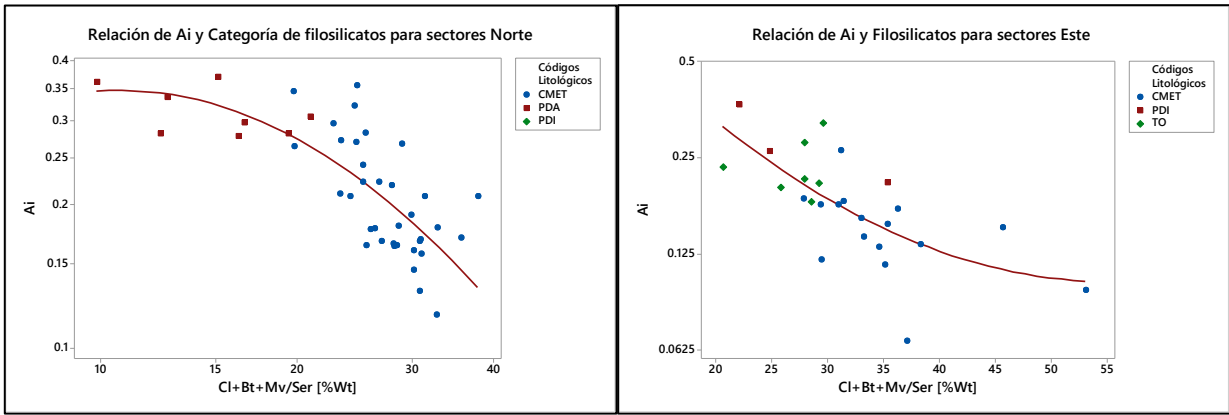


Figura 5.30 Diagrama de dispersión para la asociación mineralógica en QEMSCAN del grupo de filosilicatos con el índice de abrasión (Ai). Se observan relaciones principalmente para el sector Este y Norte.

Relación de zonas de alteración y su mineralogía asociada a QUEMSCAN

La mejor relación se encontró principalmente fue con la alteración fílica o Hidrotermal Principal (HP), relacionada a una alteración fílica, se observa que los sectores Norte y Este en general poseen un comportamiento a disminuir su índice de abrasión a medida que aumentamos la influencia de esta alteración en el CMET, sin embargo, este, aunque disminuye, siempre se mantiene dentro de un rango levemente abrasivo, además en general los valores de PDA poseen valores más altos independientes del grado de alteración. También se puede mencionar que la mineralogía QEMSCAN asociada a esta zona no genera influencia alguna debido a que los datos tampoco presentan una tendencia clara, teniendo una alta dispersión (Figura 5.31).

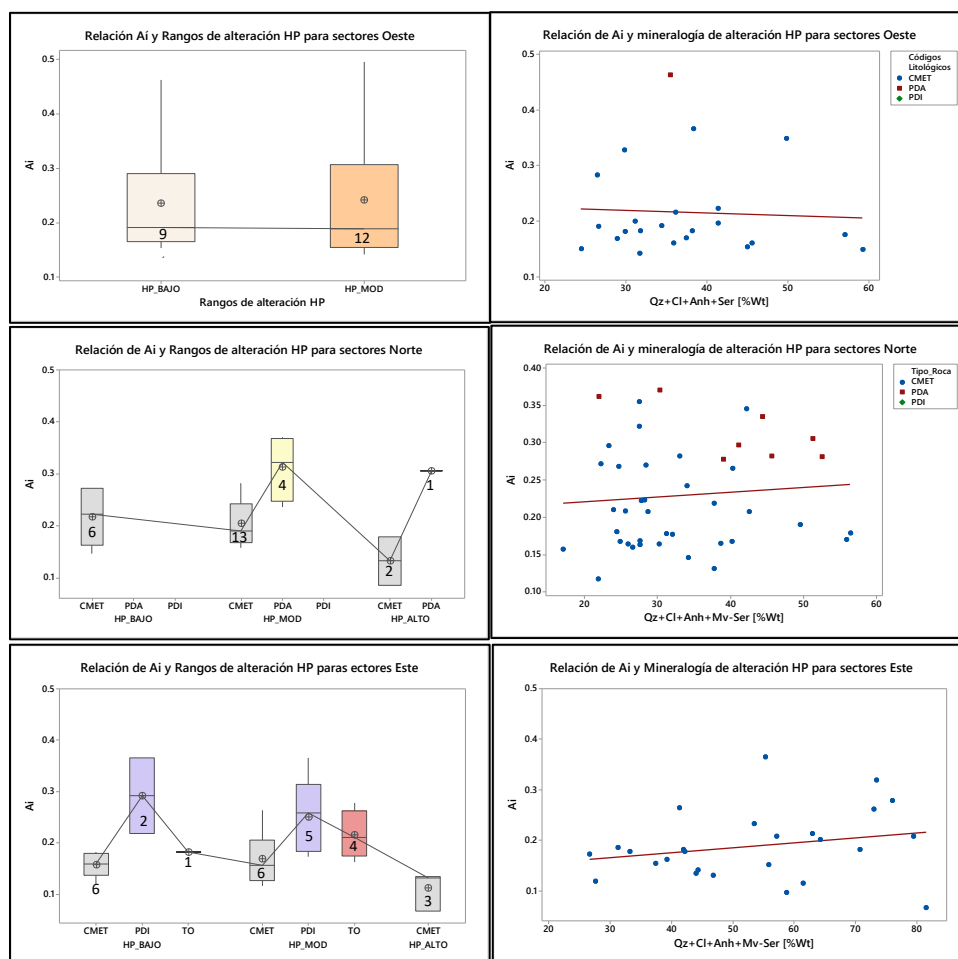


Figura 5.31 Relación del índice de abrasión con los distintos volúmenes de la alteración de tipo HP. Además, se compara con la asociación mineralógica obtenida en QEMSCAN, propia de este tipo de evento.

Dominios de Ai relacionadas a Unidades Litológicas

En general para caracterizar de forma preliminar el yacimiento en base a grado de abrasión se podría decir que el conjunto del CMET corresponde a una roca levemente abrasiva que por lo general posee valores menores a 0,2 en Ai. También existiría un segundo grupo el cual incluiría al Pórfido Diorítico (PDI) y la Tonalita (TO), los cuales poseerían un comportamiento abrasivo con valores que van desde 0,2 hasta 0,3 en general. Finalmente tenemos un tercer grupo que correspondería al PDA que presenta un comportamiento abrasivo a muy abrasivo, ya que alcanza valores mayores a 0,3 (Tabla 5.2).

Tabla 5.2 Definición de los dominios por unidades litológicas del índice de abrasión para litologías de El Teniente.

Dominio	Rangos	Litologías
Levemente Abrasivo	< 0,20	CMET
Abrasivo	0,2-0,3	TO y PDI
Abrasivo-Muy Abrasivo	>0,3	PDA

5.3 Dominios combinados y caracterización de los sectores Oeste y Norte

Según lo discutido en el presente trabajo, los tres parámetros estudiados (Cwi, CI y Ai) miden distintos efectos en el proceso de chancado, los cuales en general podrían disminuir la capacidad de procesar el mineral. La combinación de los dominios generados para cada parámetro de chancado (Tabla 5.3) permite caracterizar de forma espacial los sectores en base a distintos controles que posee la roca y el efecto que estos tendrán sobre el proceso.

Es posible generar una combinación de los dominios de Cwi y CI, donde se determinaron categorías con volúmenes que indicarían la capacidad de chancado que tendría esa zona (Tabla 5.3). El modelo fue creado tanto para el sector Oeste como para el Norte de forma separada, debido a que existían diferencias considerables entre los rangos de clorita-muscovita/sericita determinados para cada dominio.

Tabla 5.3 Dominios combinados que determinan la capacidad de chancado de los distintos volúmenes del yacimiento.

Zonas CI	Descripción	Zonas Cwi	Descripción	Chancabilidad
Moderado	Sectores con mayor facilidad de formar material de menor granulometría	Blanda	Baja probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Alta
		Moderadamente Dura	Moderada probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Moderado-Alta
		Dura	Alta probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Moderado
		Muy Dura	Muy alta probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Baja
Alta	Sectores con dificultad para formar material de menor granulometría	Blanda	Baja probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Moderado
		Moderadamente Dura	Moderada probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Moderado-Baja
		Dura	Alta probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Baja
		Muy Dura	Muy alta probabilidad de formar material fino y adsorción de impacto	Muy Baja

Para el Sector Oeste se observa un comportamiento donde predomina la calidad de chancado moderada principalmente (Figura 5.32). No obstante, el sector Pacífico Superior posee en el total de su volumen la categoría moderado, en cambio para el sector de Andesita y Diablo Regimiento las categorías con mayor porcentaje corresponden a la Moderada-Alta y Moderada (Tabla 5.4).

Tabla 5.4 Se indica el porcentaje que existe de cada categoría para los sectores Oeste.

Sector	% Categorías de Chancado					
	Alta	Moderado-Alta	Moderado	Moderado-Baja	Baja	Muy Baja
Andesita	7.73	43.75	41.71	6.52	0.29	-
Pacífico Superior	-	-	100.00	-	-	-
Diablo Regimiento	6.63	47.22	45.32	0.02	0.82	0.00

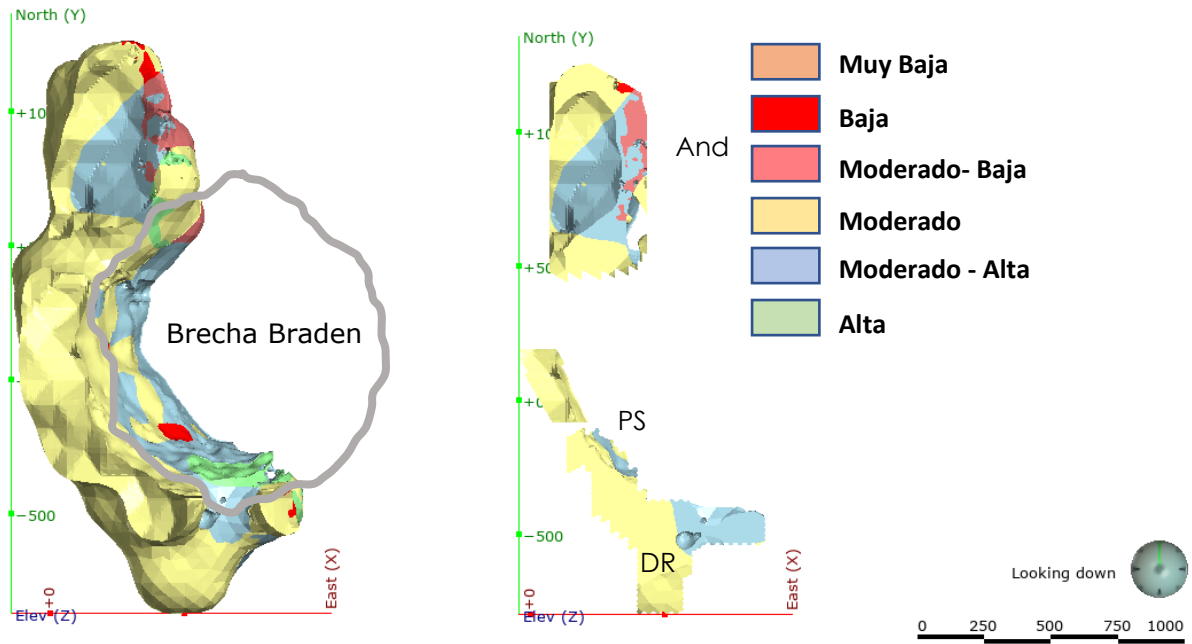


Figura 5.32 Volumen que define la chancabilidad de la roca para los sectores Oeste. And: Andesita; PS: Pacífico Superior; DR: Diablo Regimiento.

El Sector Norte posee zonaciones muy marcadas, donde en las cercanías de la Brecha Braden predominan las categorías más favorables para el chancado, a excepción de las asociadas al PDA, donde la calidad de la roca es menor para el proceso de chancado. Esto se ve reflejado en sectores como Dacita o Recursos Norte, donde el PDA se encuentra incluido. Además, vale decir que sectores como Pilar Norte y Andes Norte poseen un alto porcentaje volúmenes con una categoría favorable (Figura 5.33), en cambio Reservas Norte posee un porcentaje relativamente similar entre las categorías Moderada-Alta y Moderada (Tabla 5.5).

Tabla 5.5 Se indica el porcentaje que existe de cada categoría para los sectores Norte.

Sectores	% Categorías de Chancado					
	Alta	Moderado-Alta	Moderado	Moderado-Baja	Baja	Muy Baja
Dacita	3.44	4.72	18.99	27.13	45.73	-
Andes Norte	1.43	47.97	41.20	6.48	2.93	-
Pilar Norte	0.36	67.36	5.20	26.64	0.43	-
Reservas Norte	3.76	41.49	40.37	6.21	8.08	0.08
Recursos Norte	-	1.68	75.29	0.54	19.16	3.32

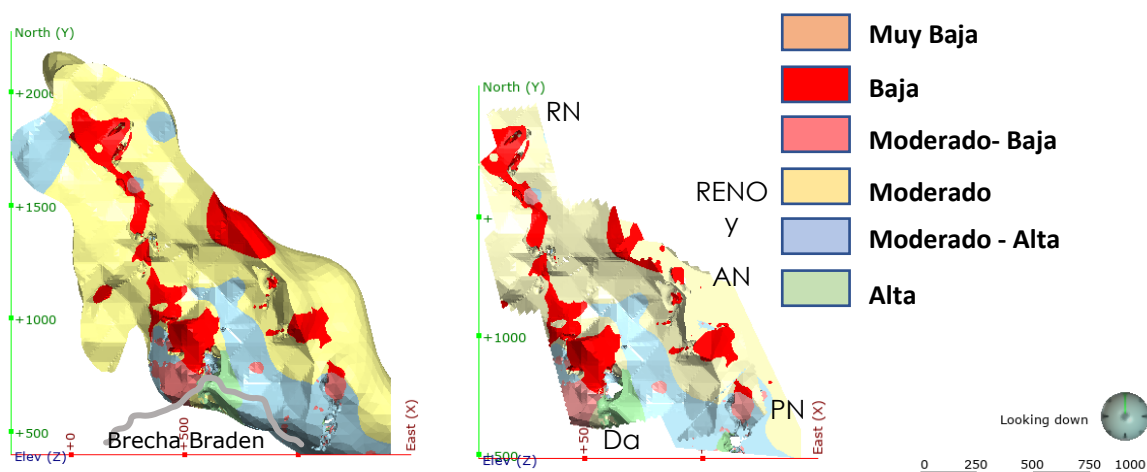


Figura 5.33 Dominios combinados que definen la chancabilidad en base a los parámetros de Cwi y CI. Se observan zonas cercanas a la pipa que es de mejor calidad el chancado, en cambio las asociadas a pórfidos félsicos poseen una mala calidad. RN: Recursos Norte; Da: Dacita; RENO: Reservas Norte; AN: Andes Norte; PN: Pilar Norte.

6 Discusiones

En la literatura, el mayor número de estudios sobre el proceso de chancado se concentra en general, en rocas distintas a las que se encuentran dentro del yacimiento El Teniente.

En particular respecto a su unidad litológica más representativa, el CMET que, a pesar de poseer características propias de litologías máficas, también se lo conoce por su abundante y anisótropa distribución del stockwork. Este último, también posee diferencia en los tipos de vetillas y alteraciones que este sufre y, por lo tanto, una alta variación de sus propiedades geotécnicas y geometalúrgicas.

6.1 Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en Cwi

El proceso de chancado presenta una relación inversa con los ensayos que miden la resistencia de la roca, siendo estos la resistencia a la fractura, ensayo de tracción indirecto y el ensayo de carga puntual (Bearman et al. 1997). Estos parámetros geotécnicos también se relacionan con el relleno de las vetillas dentro del yacimiento El Teniente, donde minerales blandos, incluyendo la clorita y sericita, generan una disminución en la resistencia a la tracción (De los Santos, 2011), además de que debido a la presencia anisótropa de stockwork dentro de los sectores, la frecuencia de vetillas también cumple un rol importante dentro de su resistencia, disminuyéndola a medida que aumenta la cantidad de estructuras cerradas (Cavieres, 2019).

Sin embargo, el comportamiento de Cwi dentro de El Teniente, presenta una relación directa con la frecuencia de vetillas blandas, es decir, la energía requerida para disminuir el tamaño de la muestra (de 2" a 3") es mayor a medida que aumenta el número de vetillas blandas en la muestra.

Esto se da de forma muy marcada en todas las zonas geotécnicas del sector Oeste y en las zonas 3 y 4 de los sectores Norte y Este, indicando la influencia de la frecuencia de vetillas blandas sobre el proceso de chancado ya que posee una relativa linealidad en su comportamiento con respecto a Cwi. No obstante, la influencia no sería debido al comportamiento mecánico de las vetillas blandas, ya que la abundancia de estructuras con relleno blando debería facilitar la conminución del material a esa escala.

Por otra parte, el sector Oeste muestra una buena relación entre Cwi y las relaciones de mineralogía QEMSCAN cuarzo-biotita-anhidrita-clorita, propia de la alteración TM, y clorita-moscovita/sericita, propia de la alteración HP, la cual también se puede observar en el Sector Norte. Esta relación sería similar a la tendencia obtenida con la frecuencia de vetillas blandas, lo que daría a entender que las vetillas blandas podrían relacionarse al aporte de estos minerales (clorita-muscovita/sericita) a la roca.

El resultado anterior con respecto a la presencia de asociaciones minerales es comprobable mediante la observación de las muestras en microscopio, donde a medida que se pierde la textura de la roca, debido al aumento en el grado de alteración (Figura 6.1), aumenta nuestro índice de chancado (Cwi). Además, la alteración que afecta a este parámetro

corresponde a la fílica (HP) donde la asociación clorita-muscovita/sericita predominaría cuando la textura ya no es identificable



Figura 6.1 Gráfico que relaciona el comportamiento de Cwi con la textura de alteración de distintas muestras estudiadas en microscopio para la unidad litológica CMET.

También se realizó un estudio en microscopio con muestras de intrusivos félsicos, los cuales arrojaron un resultado similar al CMET, sin embargo, la textura para estas unidades litológicas es relevante para el Cwi, debido a que en estas existe mayor porcentaje de cuarzo a diferencia del CMET y este es un mineral resistente a la alteración en general. Un ejemplo de esta consideración corresponde al PDA, que en general se define con una textura porfídica con una masa fundamental de cuarzo redondeado con fenocristales de plagioclasa y minerales máficos (en general biotita), donde estos últimos son los que finalmente se obliteran, generando este tipo de influencia. Sin embargo, como contraparte se observa que para el PDI la textura es distinta, siendo inequigranular con predominantes cristales de plagioclasa y máficos, siendo más propensos a alterarse, entregando en general valores más altos de Cwi (Figura 6.2).



Figura 6.2 Gráfico que relaciona el comportamiento de Cwi con la textura de alteración de distintas muestras estudiadas en microscopio para unidades de pórfidos félsicos.

En general para Cwi la mayor influencia que se detectó corresponde a la de los minerales micáceos, en especial a la asociación clorita-muscovita/sericita. Relacionado con esto, existen estudios dentro del proceso de molienda convencional en El Teniente que habla sobre el efecto perjudicial de la clorita, ya que este mineral corresponde a un filosilicato con una dureza baja, sin embargo, presenta una estructura micácea que hace que en la resistencia a esfuerzos perpendiculares a los planos basales sea mayor. Además, el principal mecanismo de fractura que presenta el proceso de molienda corresponde a la abrasión que en general produce más material fino que puede adherirse a las rocas, bolas o formarse un aglomerado de comportamiento plástico que aumentaría el consumo específico de energía, debido a la adsorción de la energía provocada por el impacto roca-bola o roca-roca (Urizar, 2018). Este comportamiento también podría ser la explicación de lo ocurrido para Cwi ya que, si bien su mecanismo principal de fractura corresponde a la atricción, en general es capaz de generar tanto material fino como grueso, debido a que se genera un decantillado del bloque a parte del fracturamiento de la roca por compresión. Esto podría generar un revestimiento tanto en la roca o en las paredes del chancador que adsorberían los impactos, aumentando el requerimiento energético. Un ejemplo claro de esto corresponde a la ocurrencia de bloque de material dentro del chancador

en el sector productivo Dacita, provocado por una deficiente instalación de una placa de desgaste, sin embargo, el efecto que se generó fue que el material fino no pasó directamente, sino que generó una aglomeración de comportamiento plástico en la salida del material fino del chancador, lo cual generó una parada de planta. Este ejemplo se puede ver reflejado en menor escala con un recubrimiento sobre la misma roca, generando que el material pase de ser frágil a plástico (Figura 6.3).

Con respecto los dominios de Cwi creados en base a las regresiones lineales generadas a partir de la relación con el porcentaje peso de la asociación de minerales clorita-muscovita/sericita, se puede afirmar que el que posee mayor representatividad sobre una correlación entre Cwi y el porcentaje de clorita-muscovita/sericita corresponde al Sector Oeste, ya que su dispersión es menor, no obstante, no carece de relevancia el resultado del Sector Norte, debido a que si presenta una tendencia en sus datos que indicaría la influencia de estos minerales para esta zona. También vale decir que, a pesar de que los rangos de clorita-muscovita/sericita sean muy distintos para valores más bajos, en los valores más altos si son similares, indicando que existe cierto porcentaje de la asociación mineral que generaría un comportamiento crítico.

Recopilando lo anteriormente mencionado, se observa que el parámetro que mayor influencia posee sobre Cwi corresponde a la presencia de la asociación clorita-muscovita/sericita en la roca, minerales que poseen un comportamiento anisótropo en su resistencia. Esto permite categorizar, mediante el uso de los grupos del laboratorio externo, al parámetro Cwi en base a su comportamiento dentro del yacimiento El Teniente por su presencia de estos minerales, posiblemente debido a las propiedades mecánicas de los minerales de clorita-muscovita/sericita generando una adsorción de impactos del chancador (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Categorización del comportamiento del chancado basado en el estudio y los parámetros obtenidos de Young, 2019

Comportamiento de la roca	Rangos Cwi [kWh/tc]
Blando	0-8
Moderadamente Duro	8-14
Duro	14-18
Muy Duro	> 18

Debido a la comparación con el proceso de molienda, este criterio es posible aplicarlo principalmente para etapas más cercanas al ya mencionado, como por ejemplo el chancado secundario y terciario. Sin embargo, se debe considerar que los minerales que afectan al chancado también pueden ser liberado debido a la ruptura a través de estructuras o por el decantillado de rocas de mayor tamaño, por lo cual no hay que descartar una posible influencia también dentro del chancado primario y efectos adversos asociados como en el ejemplo del chancador primario del sector productivo Dacita (Figura 6.3).

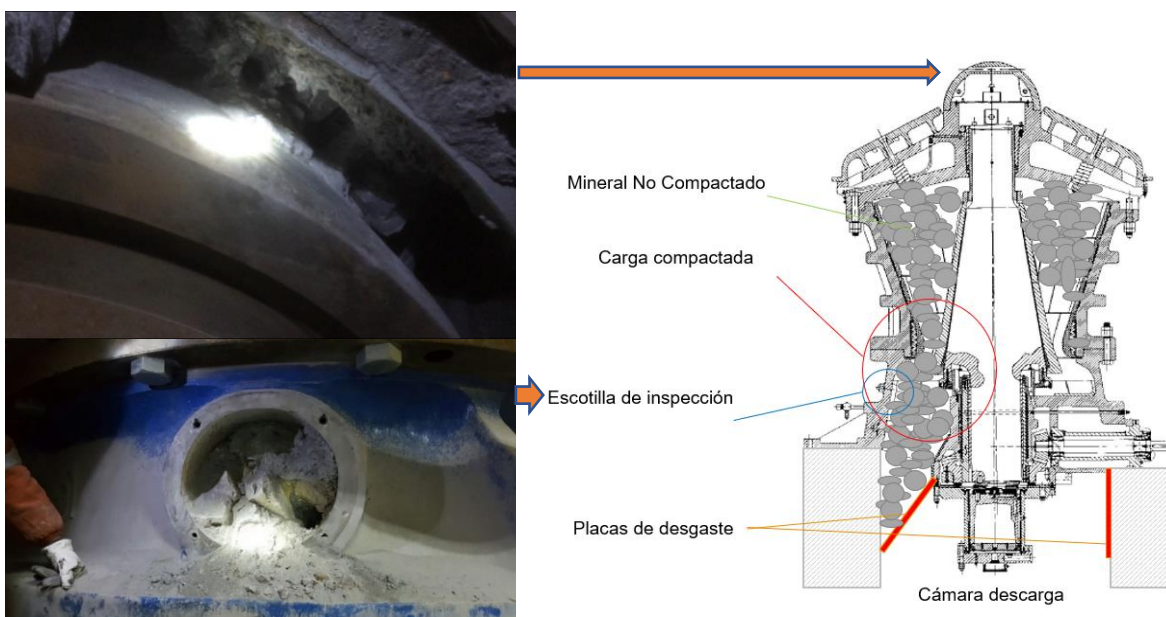


Figura 6.3 Atollo del chancador giratorio del sector productivo Dacita. Se observa el material fino compactado al interior de la máquina, donde el material grueso se queda estancado debido al cuerpo de comportamiento plástico que se genera dentro.

6.2 Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en CI

Como se mencionó anteriormente, estudios dentro del yacimiento apuntan a que las vetillas blandas influyen en el comportamiento mecánico de la roca, haciendo que esta posea un comportamiento más frágil y disminuyendo su resistencia. También en su fragmentación, esta tiende a generar bloques de menor tamaño a medida que aumenta la frecuencia de vetillas blandas, ya que mediante observaciones de terreno se ha establecido que los bloques que se generan en el proceso de hundimiento en la mayoría de los casos están delimitados por estructuras blandas. Esto se condice con el comportamiento del parámetro CI en el yacimiento, donde el aumento de vetillas blandas permite aumentar la capacidad de chancado disminuyendo el CI, sin embargo, esto solo ocurre entre las zonas 3, 4 y 5, donde la 2 realmente posee un comportamiento bastante disperso. Se puede observar también una relación con los parámetros geotécnicos UCS y módulo de Young dinámico, los cuales a través de las zonas geotécnicas. Estas corresponden a una disminución de la resistencia a la tracción para las zonas con mayor frecuencia de vetillas (4 y 5). Además, el módulo de Young dinámico aumenta con respecto a las estructuras de minerales blandos, indicando que este tipo de vetillas provocan un comportamiento más frágil en la roca.

Con respecto a la mineralogía no se encontraron resultados concluyentes debido a que en general no se observa una tendencia en el comportamiento mediante distintas zonas y también las dispersiones que arroja son muy altas y sin una pendiente muy marcada en sus regresiones lineales, con un comportamiento relativamente inmutable a este factor. Entregando información acerca de que la implicancia de su comportamiento a través de estructuras blandas, donde CI posee influencia principalmente por las propiedades geotécnicas de estas a diferencia de Cwi que poseía una implicancia más bien del aporte de mineralogía.

Hay que considerar también la escala de trabajo a la que se debe considerar esta influencia, ya que cuando se habla acerca de este control de estructuras blandas por sobre el fracturamiento de la roca, se habla de un tamaño promedio de bloque que pueden bordear entre los 0,33-2,77 metros considerando el espaciamiento medio por la frecuencia de vetillas (GRMD-SGL-INF-0041-2018). Esto tendría una relación con las etapas más tempranas del proceso de conminución, el cual correspondería al chancado natural que genera la roca debido al contacto roca-roca al momento de la tronadura y su precipitación a los puntos de extracción, y al proceso de chancado primario que reduce el material idealmente a 8 pulgadas.

Los dominios definidos para el parámetro de CI poseen un sustento netamente con respecto a la frecuencia de vetillas blandas que se ven representados por las zonas geotécnicas. Estos dominios poseen un cierto grado de representatividad acerca del comportamiento del parámetro CI frente a la frecuencia de vetillas blandas en el yacimiento, debido a que se observan resultados que poseen justificaciones con estudios anteriores dentro del yacimiento. Sin embargo, la literatura tiende a mencionar una posible influencia de la resistencia a la tracción sobre el proceso de chancado primario (Bearman et al., 1997; Young, 2019), provocando que posiblemente la verdadera influencia se genere debido a la resistencia de la tracción de la vetilla junto a la cantidad de estructuras que la muestra posea.

Tomando en cuenta lo anterior, podríamos categorizar el parámetro CI en base a la capacidad de fragmentación de la roca debido a una mayor cantidad de estructuras blandas a través de las cuales podría fracturarse, es decir, la capacidad de formar fácilmente bloques de menor granulometría (Tabla 6.2).

Tabla 6.2 Clasificación de las rocas de El Teniente con respecto al parámetro de índice de chancado (CI) y sus las zonas geotécnicas correspondientes.

Dificultad para formar bloques de menor granulometría	CI	Zona Geotécnica
Moderada	<12	Zonas 4 y 5
Alta	>12	Zonas 2 y 3

Hay que considerar que además que el parámetro CI no corresponde a un parámetro que es usado con frecuencia para medir la capacidad de chancado que posee un tipo de roca, ya que principalmente es utilizado para calcular el valor de SPI, que corresponde a un parámetro que entrega la capacidad de molienda. Sin embargo, CI corresponde en si a un valor que representa la cantidad de material que al pasar a través del proceso de chancado logra fácilmente la granulometría óptima para seguir con el proceso de molienda. Un ejemplo de un circuito ineficiente corresponde a que, si posee un CI alto un tipo de roca, quiere decir que existe una gran cantidad de material sobre el tamaño óptimo de molienda, haciendo que el proceso posiblemente consuma mayor energía, debido a que la diferencia entre el tamaño de entrada y de salida será mayor (Bond, 1951). Esto implicaría, que también este parámetro podría indicar la calidad del chancado primario de la roca para ser llevada directamente al proceso de molienda. No obstante, hay que considerar que, en términos de producción, el parámetro que se ocupa principalmente corresponde al de Chancado LEIT (Cwi) debido a que proporciona el "Índice de trabajo (Wi)" que se ocupa para calcular la potencia del chancador dependiendo del tipo de roca (Bond, 1951), implicando que el índice de chancado (CI) no podría ocuparse directamente dentro de la obtención de dicha potencia. Para aquello, se propone la idea de utilizar este índice (CI) para calibrar los rangos de Cwi con respecto al efecto que podrían tener las vetillas blandas sobre el proceso de chancado del material.

6.3 Influencia de los parámetros geotécnicos y mineralógicos en Ai

El grado de abrasión de un material está relacionada a la dureza relativa con respecto con otro elemento con el que se hace contacto, siendo un buen ejemplo la escala de Mohs para comparar tipos de minerales. Teniendo en consideración lo anterior, los distintos tipos de rocas tendrán una variedad de minerales con distintas predominancias en la roca. Dentro del yacimiento El Teniente se tiene una gran cantidad de litologías dentro de las cuales dominan cuatro principalmente en volumen, CMET, PDA, PDI y TO, donde las tres corresponden a pórfidos félsicos. En general el CMET posee una masa fundamental alterada a minerales generalmente de comportamiento blando, a diferencia de los pórfidos félsicos que poseen minerales que no tienden a alterarse fácilmente como el cuarzo. Según lo observado en los resultados, este comportamiento se manifiesta en el yacimiento, ya que por lo general el CMET posee valores menores a 0,20 en Ai considerándose levemente abrasivo, en cambio para el PDA, PDI y TO estos valores por lo general sobrepasan a los valores del CMET. Además, dentro de los félsicos está el PDA perteneciente a los sectores Oeste, el cual posee los valores más altos de abrasión presentes en la base de datos, los cuales se clasificarían como roca muy abrasiva. Esta diferencia en los valores de Ai para las distintas litologías, podría estar relacionada con la cantidad de cuarzo que estas presentan y el grado de alteración que presentan los minerales con alta dureza como lo sería las plagioclasas. Esto marcaría una diferencia notable entre el CMET y los pórfidos félsicos, ya que el primero en general su masa fundamental y sus fenocristales se encuentran alteradas a biotita o clorita-sericita principalmente, en cambio los pórfidos poseen menor alteración y mayor cuarzo en su composición, además dentro de este último grupo se diferencia al PDA porque este posee una textura generalmente porfídica con masa fundamental de cuarzo redondeado, generando que la variación del porcentaje de fenocristales en la roca haga variar el índice de abrasión, entrando a la posibilidad de que gracias

a esta condición exista una diferencia entre el PDA de los sectores Oeste y los demás.

6.4 Representatividad del modelo combinado para chancado

El presente estudio tiene como fin principalmente encontrar propiedades de las rocas presentes en el yacimiento que controlen la eficiencia de los chancadores en las plantas de proceso. Dentro de las distintas plantas se ocupa la potencia que se le deberá aplicar al chancador para que este tenga un funcionamiento óptimo frente a distintos tipos de rocas. Sin embargo, para ello se necesita un parámetro que sea manipulable por los planificadores a largo y corto plazo de los procesos metalúrgicos en las plantas, el cual corresponde al índice de trabajo (W_i) que estaría dentro de la fórmula empírica de Bond (1951).

Dentro de la planificación de conminución en las distintas plantas de chancado de la División El Teniente se utiliza el ensayo de Chancado LEIT (C_{wi}) para calcular el índice de trabajo para los distintos tipos de roca presentes en el yacimiento, el cual se encuentra en las unidades de KWh/tc. Este se ocuparía como el índice de trabajo de bond para calcular mediante la Fórmula 1.4, del sub-capítulo de teoría de conminución, la potencia que se aplicará al chancador con respecto a los distintos cambios litológicos.

Lo anterior se observa reflejado en el modelo combinado mediante la categoría entregada por el parámetro de C_{wi} , donde cada rango categórico se encuentra asociado a un rango de numérico medido en kilowatts por tonelada de material, que es posible introducirlo en la fórmula de potencia.

No obstante, el parámetro C_{wi} no sería suficiente para representar el comportamiento de las rocas en el chancador, ya que se debe tener en cuenta que los principios de conminución aluden a que la facilidad de chancado está directamente relacionada con los planos de debilidad del material, siendo en este caso, las vetillas blandas presentes en el macizo rocoso. El aumento de la frecuencia de este tipo de vetillas se ve relacionada con el parámetro CI , lo que indicaría que este podría utilizarse para medir también la capacidad de chancado de un material. No obstante, este no entrega un valor de energía base que satisfice el primer principio de conminución a diferencia de C_{wi} .

Debido a lo anterior, este parámetro se propone utilizarlo como un factor que funcione como un calibrador para las distintas categorías de C_{wi} (Tabla 5.3), para considerar tanto el comportamiento mecánico de la roca, como el comportamiento de la mineralogía dentro de la roca, categorizando de forma más específica el yacimiento. Esto daría origen a que volúmenes que poseen un rango de C_{wi} similar presentan distintas categorías de chancado.

7 Conclusiones y recomendaciones

El presente estudio ha buscado determinar los factores que podrían influir en el proceso de chancado para rocas del yacimiento El Teniente y definir dominios en base a estas variables. Para esto se realizaron análisis exploratorios de las bases de datos de ensayos geometalúrgico y de geotecnia. Además, se realizó un análisis espacial en base a zonas geotécnicas y de alteración creados dentro de la división por las unidades de geometalurgia y de geología mina respectivamente.

Para realizar la mayoría del análisis de las muestras se utilizaron solo las unidades que fueran más representativas, es decir, Complejo Máfico El Teniente (CMET), Pórfido Dacítico (PDA), Pórfido Diorítico (PDI) y Tonalita (TO). Las unidades de brechas hidrotermales y brechas ígneas no fueron consideradas debido a que no representan volúmenes importantes dentro del yacimiento.

En base a la información obtenida por los gráficos y tablas, se pudo concluir lo siguiente:

Las unidades litológicas estudiadas en el yacimiento en general poseen una influencia sobre la abrasión que la roca provoca a las piezas del chancador; las rocas de composición más ácida tienden a generar más dificultades. Donde la Tonalita y el Pórfido Diorítico poseen valores de índice de abrasión (A_i) entre 0,2 y 0,3, en cambio el Pórfido Dacítico valores mayores a 0,3. Las litologías de composición intermedia, correspondientes al Complejo Máfico El Teniente, presentan valores categorizados como levemente abrasivos, es decir, menores a 0,2. Vale mencionar que el índice de abrasión posee un bajo rango de datos,

por lo cual un alto error en el cálculo de este parámetro podría generar sesgo en el dato final.

Los demás parámetros de chancado (Cwi y CI) no presentan un control con respecto a las unidades litológicas en el yacimiento.

Con respecto al parámetro de Chancado LEIT (Cwi) existe una influencia con la mineralogía asociada a la alteración fílica o Hidrotermal Principal (HP) dentro de los sectores Norte y Oeste del yacimiento. Donde la presencia de un porcentaje en peso superior al 22,7% de la asociación clorita-muscovita/sericita podrían generar valores con categorías de Cwi muy altos (sobre 18 kWh/tc), asociándose a un alto requerimiento energético base para triturar la roca. Esto se debería al comportamiento mecánico anisótropo de las micas frente a los mecanismos de fractura del chancador, generando una capa sobre la roca o en las paredes del chancador que adsorbería el impacto producido dentro de la máquina.

El parámetro de Índice de chancado (CI), posee una relación con las zonas geotécnicas representada principalmente por la frecuencia de vetillas blandas presentes en el macizo. El control sobre este parámetro se da en que el aumento de la frecuencia de estructuras blandas en la roca disminuye el factor CI, lo cual facilita el proceso de chancado debido a que las estructuras blandas representan un plano de debilidad del macizo rocoso, donde para una frecuencia de vetillas promedio menor o igual a 1,02/m se asocian valores de CI iguales o mayores a 12 (categoría moderada de CI), en cambio para una frecuencia mayores de 1,02/m valores de CI menores a 12 (categoría alta de CI). No obstante, no podría utilizarse para el cálculo directo de la potencia de los chancadores, pero si para entregar una calibración al Cwi obtenido desde

el ensayo Chancado LEIT, para considerar el efecto de las vetillas sobre el chancado.

Cabe mencionar que no existe una relación entre los parámetros de compresión simple (UCS) y módulo dinámico de Young (Edin) con los factores de chancabilidad estudiados. Sin embargo, este resultado podría estar ligada a los limitantes del estudio, debido a que el análisis se realizó mediante búsqueda de relaciones espaciales y dominios geológicos principalmente y no mediante la relación directa entre ambos parámetros.

Los parámetros de chancado Cwi y CI, si bien pueden llegar a definir la calidad del chancado o su eficacia, se ven influenciados por distintas propiedades de la roca. Además, la utilidad práctica de Cwi es mayor que la de CI, ya que el parámetro de Chancado LEIT proporciona el índice de trabajo necesario para calcular la potencia necesaria para la planificación a largo y corto plazo de los procesos metalúrgicos en las plantas de procesamiento.

Por otro lado, los dominios combinados de Cwi y CI podrían caracterizar la energía base necesaria para triturar la roca a una escala de chancado, respondiendo a los tres principios base de la conminución. Además, permiten observar que los sectores asociados a rocas dentro del complejo félsico tienden a necesitar una energía base sobre 18 kWh/tc para procesar la roca (sectores Andesita, Dacita y Recursos Norte).

Finalmente, en general se encontraron factores controladores para el proceso de chancado, cumpliendo los objetivos propuestos. Además, se logró realizar dominios de control con distintos valores significativos que involucrarían a distintos factores para determinar la potencia que se tendrá

que emplear en los chancadores al momento de planificar los proceso. No obstante, hay que considerar que este estudio podría considerarse principalmente como el planteamiento de las bases técnicas para más adelante realizar un ajuste más específico de estos parámetros con el proceso de chancado en la planta.

Como recomendación se sugiere realizar lo siguiente:

- Añadir a los protocolos impuestos al laboratorio externo al realizar el ensayo de chancado LEIT una descripción de las vetillas y como estas están dispuestas frente al ensayo. En el caso de que sea una brecha, que se describa el tamaño de los clastos en promedio y su relación matriz-clasto para poder controlar este factor dentro del ensayo. Todo esto asistido por un geólogo otorgado por CODELCO o por el laboratorio externo.
- Realizar el estudio de la influencia de parámetros geológicos y geotécnicos en la zona supérgena del yacimiento.
- Realizar más ensayos de Cwi en los sectores de Esmeralda, Reservas Norte y Pacífico Superior, para poder poblar mejor el modelo. También hacer ensayos de CI, pero en menor medida, en los sectores de Reservas Norte y Diablo Regimiento. Además de ver la posibilidad de realizar a estas muestras ensayos de tracción indirecta para correlacionar directamente este parámetro con el chancado.

- También se recomienda realizar un estudio para caracterizar de forma detallada las texturas de los pórfidos y la relación matriz-clastos en las unidades de brecha, para poder controlar este factor en distintos tipos de estudios.

8 Bibliografía

Aguirre, L. 1960. Geología de Los Andes de Chile Central. Provincia de Aconcagua. Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile. Bol. N ° 9.

Arcon, R., Caro, R., Malbrán F., Charrier R., 1983, Hoja del Teniente, Carta Geológica de Chile, escala 1:250.000. SERNAGEOMIN, Santiago, Chile. Extraído de archivo n° 5618 c.1 de SERNAGEOMIN.

Arevalo, A., Benado, D., Brzovic, A., Burgos, L., Celhay, F., Floody, R., Letelier, M., Marambio, F., Morales, A., Nazal, C., Pereira, J., Quezada, O., Rodrigo, J., Russo, A., Seguel, J., Urrutia, E., Zapata, J., 2003. Estándares y Metodologías de Trabajo para Geología de Minas. Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Superintendencia de Geología, CODELCO, Chile. Referencia Interna: SGL-I-123/03.

Baros, M. 1995. El Teniente, Los Hombres del Mineral: Santiago, Grafica Andes, 500 pp.

Bearman, R.A., Briggs, C.A., Kojovic, T., 1997, The application of rock mechanics parameters to the prediction of comminution behavior. Mineral Engineering, Vol. 10, No. 3, pp. 255-264.

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 de Título, Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra, 108 p.

Camus, F., 1975, Geology of El Teniente orebody with emphasis on wall-rock alternation. *EconGeol* 70:1341–1372.

Cannell, J., 2004. El teniente porphyry copper-molybdenum deposit, central chile (submitted in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy). Recuperado de:

https://eprints.utas.edu.au/14451/2/cannell_chp1-2.pdf.

Cannell, J. 2004. El Teniente Porphyry Copper-Molybdenum Deposit, Central Chile. Ph.D. Thesis, University of Tasmania, 317 pp., Tasmania.

Charrier, R. 1973. Geología Regional de la provincia de O'Higgins & Colchagua. Publicación INEN, vol.7, pp 1-69.

Charrier, R. 1981. Geologie der chilenische Hauptkordillere zwischen 34° 30' südlicher Breite und ihre tektonische, magmatische und paläogeographische Entwicklung. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, Berlín, vol.36, 370 p.

Charrier, R.; Wyss, A.; Flynn, J.; Swisher III, C.; Mark, N.; Zapatta, F.; Mckenna, M., 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*, v. 9, N° 5/6, Departamento de Geología Universidad de Chile, p. 393-422.

Cuadra, P. 1986. Geocronología K-Ar del Yacimiento El Teniente y áreas adyacentes. Revista Geológica de Chile, N°27, p. 3-26.

De los Santos, C., 2011. Efecto de la mineralogía, alteración y geometría en la resistencia mecánica de las vetillas, mina El Teniente, Región del Libertador Bernardo O'Higgins, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de la Tierra. Concepción.

Díaz, D., 2013. Morfología de las estructuras geológicas para la caracterización geotécnica en mina El Teniente, VI Región, Chile. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago, Chile.

Dunne, R., Kawatra, S., Young, C., 2019. SME Mineral Processing & Extractive Metallurgy Handbook Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), Englewood, United States.

Falcón, M. & Rivera, O. 1998. Estudio geológico distrital de la División El Teniente de CODELCO-Chile, escala 1:25.000. Informe inédito, 108 p. Vicepresidencia de exploraciones & asociaciones mineras, CODELCO Chile.: 108 pp. Santiago, Chile.

Godoy, E. & Lara, L. 1994. Segmentación estructural andina a los 33°-34° S. Nuevos Datos en la Cordillera Principal. 7° Congreso Geológico chileno, Actas, Vol. 2, pp. 1344-1346.

González, R., 2018, Modelo de zonación geotécnica para el macizo rocoso El Teniente. Superintendencia de Geología, Gerencia de recursos mineros y desarrollo, COLDECO Chile. Referencia interna GRMD-SGL-INF-041-2018.

Harrison, D. 2010. 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 Para Optar Al Título De Geólogo. Universidad de Concepción, Departamento de Ciencias de La Tierra. Concepción.

Hernández-Gutiérrez, L.E., Santamarta, J.C., Tomás, R., Cano, M., García-Barba, J., Cantero-Mesa, I.E. (2013). Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna. <http://web.ua.es/es/ginter/> ó <http://ocw.ull.es/> (fecha de acceso). License: Creative Commons BY-NC-SA.

Kay, S. M., C. Mpodozis, and B. Coira, 1999, Magmatism, tectonism, and mineral deposits of the Central Andes (22°-33°S latitude). In Skinner, B. J. (eds.), Geology and Ore Deposits of the Central Andes. Society of Economic Geology Special Publication 7, 27-59.

Kekec, B., Unal, M., Sensogut, C., 2006, Effect of the textural properties of rocks on their crushing and grinding features. Journal of University of Science and Technology Beijing, Vol. 13, No. 5, pp. 385.

Klöhn, C., 1960. Geología de la cordillera de los Andes de Chile Central. Boletín N°8, 95p. Instituto de Investigaciones Geológicas. Santiago, Chile.

Köken, E., Özarslan, A., 2018, New testing methodology for the quantification of rock crushability: Compressive crushing value (CCV). International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, Vol. 25, No. 11, pp 1227.

Korman, T., Bedekovic, G., Kujundzic, T., Kuhinek, D., 2014, Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of jaw crusher. Physicochem Probl. Miner. Process. Vol. 51, No. 2, pp. 461-475.

Kurtz, A., Kay, S., Charrier, R. & 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. p. 145-162.

León, I., 2016, Determinación del tamaño de las vetillas tipo stockwork mediante fotografía digital 3D y análisis estocástico, mina El Teniente (Memoria para optar al título de geólogo). Universidad de Chile, Departamento de Geología. Santiago, Chile. Recuperado de: repositorio.uchile.cl/handle/2250/140041.

Maksaev, V. 2004. Pórfidos cupríferos: depósitos de Cu (Mo) de gran tonelaje y baja ley. U. de Chile, Santiago, Chile.

Mejías, O., 2013. Informe de pasantía planta Sewell-Colón. Gerencia Plantas, Geología de producción. CODELCO, Chile.

Millán, J., 2014, Modelo de zonación geotécnica para el macizo rocoso en El Teniente. Superintendencia de Geología, Gerencia de recursos mineros y desarrollo, CODELCO Chile. Referencia interna GRMD-SGL-INF-091-2014.

Ojeda, J., Hernández, E., Ossandón, G., Enrione, A. y Mestre, A. 1980. El Pórfido Cuprífero El Teniente. Informe Inédito, 76 p. CODELCO-Chile, División El Teniente.

Oparin, V.N., Tanaino, A.S., 2015, *A new method to test rock abrasiveness based on physico-mechanical and structural properties of rocks.* Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol.7, No. 3, pp. 250-255.

Osorio, K., 2019. Modelamiento numérico y geológico 3D Leapfrog del porcentaje de alteración Pre-TM, TM, HP, y HT en el yacimiento El Teniente. Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo, Superintendencia de Geología. CODELCO, Chile. (Inédito).

Ossandón, G. 1974. Petrología & alteración del Pórfido Dacítico, Yacimiento El Teniente. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas & Matemáticas, Departamento de Geología. Santiago, Chile.

Pilger, R. 1981. Plate reconstruction, a seismic ridges and low angle subduction beneath the Andes. Geological Society of American Bulletin, Vol. 92, p. 448-456.

Rivera, O & 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 & su relación con estructuras NNW-NW (33° 00'-34° 30'S). Actas IX Congreso Geológico Chileno. 31 de Julio - 4 de agosto. Puerto Varas. Chile, v. 1, p. 631-636.

Rojas, A., 2000, Petrografía & geoquímica del pórfido Teniente, ubicado en el sector norte del yacimiento El Teniente, provincia de Cachapoal, VI Región, Chile (Memoria de título). Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra, 133 p.

Sillitoe, R. H. & Perelló, J. 2005. Andean copper province: tectomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. Economic Geology One Hundredth Anniversary Volume, p. 845-890.

Skewes A, Arevalo A, Floody R, Zuñiga P, Stern CR (2002), The El Teniente Breccia deposit: hypogene copper distribution and emplacement. Soc Econ Geol, Spec Publ 9:299-332.

Skewes MA, Arévalo AG (2000), El complejo de gabros y diabasas que hospeda a las brechas mineralizadas del depósito de cobre El Teniente. Chile central, IX CongGeol Chileno, Puerto Varas 1:380-384.

Skewes, M. & Stern, Ch. 1995. Genesis of the Giant Late Miocene to Pliocenecopper deposits of Central Chile in the context of Andean magmatic and tectonic evolution. International Geology review, Vol. 37, p. 893-909.

Thiele, R. 1980. Carta Geológica de Chile N°39. Hoja Santiago, escala 1:25.000. Instituto de Investigaciones Geológicas Chile, 51 p.

Torres, M., (2017), Módulo IV: *Fundamentos de procesos mineralúrgicos. [Diapositivas de PowerPoint]. Extracto del diplomado de Fundamentos y Procesos de Conminución. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile.*

Urizar, G., 2019. Influencia de la mineralogía de ganga en parámetros metalúrgicos de molienda y flotación, División El Teniente- CODELCO Chile. Trabajo integrativo final para optar al grado de Magíster en Mineralogía Aplicada a la Geometalurgia. Universidad de Concepción. Facultad de Ingeniería. Concepción, Chile.

Valenzuela, E. 1990. Numerical ages of Miocene unconformities along Central Chile Coastal Zone. Simposio sobre el Terciario de Chile N°2, Actas, 325-334. Concepción.

Villalobos, J. 1975. Alteración hidrotermal de las andesitas del yacimiento El Teniente, Chile. Tesis de Doctorado. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas & Matemáticas, Departamento de Geología. 125 p.

9 Anexos

9.1 Anexo A: Tablas con información detallada de los gráficos de caja para análisis del modelo geotécnico y de alteración

Tabla 9.1 Datos de relación de C_{wi} con zonas geotécnicas del sector Oeste para Figura 4.8 A.

C _{wi} [kWh/tc]					
Unidad Litológica	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
CMET	1.0	4.5	4.5	4.5	4.5
PDA	1.0	6.8	6.8	6.8	6.8
Zona 4					
CMET	9.0	11.3	6.0	11.2	19.5
PDI	1.0	8.9	8.9	8.9	8.9
Zona 5					
CMET	10.0	15.8	9.8	14.9	22.8

Tabla 9.2 Datos de relación de C_{wi} con zonas geotécnicas del sector Norte para Figura 4.8 B.

C _{wi} [kWh/tc]					
Unidad Litológica	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
CMET	1	17.286	17.286	17.286	17.286
PDA	9	13.96	7.51	14.05	19.69
Zona 3					
CMET	1	11.460	11.460	11.460	11.460
PDI	1	10.390	10.390	10.390	10.390
Zona 4					
CMET	40	15.392	7.000	14.611	23.635
PDA	3	14.96	13.35	14.37	17.16
Zona 5					
CMET	2	14.855	14.356	14.855	15.354

Tabla 9.3 Datos de relación de Cwi con zonas geotécnicas del sector Este para Figura 4.8 C.

Cwi [kWh/tc]					
Códigos Litológicos	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona2					
TO	1	15.536	15.536	15.536	15.536
Zona3					
CMET	1	17.453	17.453	17.453	17.453
PDI	6	15.02	9.28	15.59	19.57
TO	7	15.55	9.4	15.99	21.05
Zona4					
CMET	17	18.376	9.362	19.482	24.222
TO	1	18.325	18.325	18.325	18.325
Zona5					
CMET	2	18.113	17.497	18.113	18.729

Tabla 9.4 Datos de relación de Cwi con zonas de alteración TM para el sector Oeste para Figura 4.10.

CWi [kWh/tc]					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TM BAJA					
CMET	2	15.24	13.75	15.24	16.73
TM ALTA					
CMET	1	6.62	6.62	6.62	6.62
PDI	1	8.89	8.89	8.89	8.89
TM MUY ALTA					
CMET	3	11.54	5.99	7.7	20.92
PDA	1	6.81	6.81	6.81	6.81

Tabla 9.5 Datos de relación de Cwi con zonas de alteración HP para el sector Oeste para Figura 4.11.

CWi [kWh/tc]					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	6	13.710	11.623	13.748	15.517
HP MOD					
CMET	6	14.63	7.21	14.03	22.8

Tabla 9.6 Datos de relación de Cwi con zonas de alteración HP para el sector Norte para Figura 4.11.

CWi [kWh/tc]					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	6	14.4	11.21	13.35	17.88
PDI	1	10.390	10.390	10.390	10.390
HP MOD					
CMET	13	16.42	10.96	17.19	21.88
PDA	4	14.750	13.412	14.211	17.164
PDI	1	10.390	10.390	10.390	10.390
HP ALTO					
CMET	2	20.21	16.79	20.21	23.64
PDA	1	13.347	13.347	13.347	13.347

Tabla 9.7 Datos de relación de CI con zonas geotécnicas para el sector Oeste para Figura 4.21 A.

CI					
Unidad Litológica	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
PDA	1.0	8833.0	8833.0	8833.0	8833.0
Zona 4					
CMET	21.0	11142.0	6694.0	10001.0	21162.0
PDI	1.0	10793.0	10793.0	10793.0	10793.0
Zona 5					
CMET	34.0	12.2	5.7	10.3	51.4

Tabla 9.8 Datos de relación de CI con zonas geotécnicas para el sector Norte para Figura 4.21 B.

CI					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
PDA	6	13.7	4.64	14.03	22.21
Zona 3					
CMET	2	21.97	18.18	21.97	25.76
PDI	1	13.990	13.990	13.990	13.990
Zona 4					
CMET	25	13.253	3.175	12.950	27.204
PDA	1	12.710	12.710	12.710	12.710
Zona 5					
CMET	3	11.32	4.79	13.11	16.06
PDA	2	7.93	4.71	7.93	11.15

Tabla 9.9 Datos de relación de CI con zonas geotécnicas para el sector Este para Figura 4.21 C.

CI					
Códigos Litológicos	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona3					
CMET	1	13.929	13.929	13.929	13.929
PDI	16	14.46	7.97	13.64	24.86
TO	6	13.19	9.6	13.46	16.5
Zona4					
CMET	35	10.881	6.823	10.295	17.667
TO	1	13.257	13.257	13.257	13.257
Zona5					
CMET	12	11.73	5.65	9.8	22.4
PDI	1	57.751	57.751	57.751	57.751

Tabla 9.10 Datos de relación de CI con zonas de alteración TM para sector Oeste para Figura 4.22.

CI					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TM BAJA					
CMET	10	7.687	5.662	7.638	10.427
TM MED					
CMET	2	16.23	11.3	16.23	21.16
TM ALTA					
CMET	5	11.22	9.26	9.98	16.25
PDI	1	10.793	10.793	10.793	10.793
TM MUY ALTA					
CMET	4	12.8	7.98	12.56	18.11
PDA	1	8.83	8.83	8.83	8.83

Tabla 9.11 Datos de relación de CI con zonas de alteración TM para sector Norte para Figura 4.22.

CI					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TM ALTA					
CMET	3	13.44	11.7	13.11	15.5
TM MUY ALTA					
CMET	4	11.27	4.79	13.12	14.04
PDA	1	16.1	16.1	16.1	16.1

Tabla 9.12 Datos de relación de CI con zonas de alteración TM para sector Este para Figura 4.22.

CI					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TM MED					
CMET	2	11.56	9.2	11.56	13.93
PDI	2	14.59	10.74	14.59	18.44
TM ALTA					
CMET	7	11.021	7.832	10.773	13.789
TO	1	14.800	14.800	14.800	14.800
TM MUY ALTA					
CMET	18	10.169	5.648	9.799	22.396
PDI	4	10.676	9.598	10.829	11.449

Tabla 9.13 Datos de relación de CI con zonas de alteración para HP sector Oeste para Figura 4.23.

CI					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	16	9.27	5.66	10.4	11.85
HP MOD					
CMET	9	9.28	6.18	8.36	13.02

Tabla 9.14 Datos de relación de CI con zonas de alteración para HP sector Norte para Figura 4.23.

CI					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	6	13.440	11.488	13.110	15.733
PDA	3	4.68	4.63	4.71	4.71
PDI	1	13.990	13.990	13.990	13.990
HP MOD					
CMET	9	13.17	3.18	12.47	25.76
PDA	2	8.67	4.64	8.67	12.71
PDI	1	13.990	13.990	13.990	13.990
HP ALTO					
CMET	1	12.432	12.432	12.432	12.432
PDA	2	7.89	4.64	7.89	11.15

Tabla 9.15 Datos de relación de CI con zonas de alteración para HP sector Este para Figura 4.23.

CI					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	9	11.4	6.82	12.77	16.77
PDI	2	18.96	13.05	18.96	24.86
TO	1	14.800	14.800	14.800	14.800
HP MOD					
CMET	6	15.14	10.29	13.79	22.4
PDI	5	17.87	10.74	15.77	24.86
TO	3	12.738	11.302	13.257	13.654
HP ALTO					
CMET	3	13.151	12.786	13.228	13.438

Tabla 9.16 Datos de relación de Ai con zonas geotécnicas del sector Oeste para Figura 4.29 A.

Ai					
Unidad Litológica	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
PDA	4.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Zona 4					
CMET	10.0	0.2	0.2	0.2	0.4
PDA	2.0	0.5	0.5	0.5	0.5
Zona 5					
CMET	14.0	0.2	0.1	0.2	0.3

Tabla 9.17 Datos de relación de Ai con zonas geotécnicas del sector Norte para Figura 4.29 B.

Ai					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona 2					
CMET	1	0.2962	0.2962	0.2962	0.2962
PDA	8	0.322	0.278	0.3161	0.3703
Zona 4					
CMET	37	0.2016	0.0858	0.178	0.3548
PDA	3	0.3039	0.236	0.3053	0.3703
Zona 5					
CMET	2	0.239	0.2078	0.239	0.2701

Tabla 9.18 Datos de relación de Ai con zonas geotécnicas del sector Este para Figura 4.29 C.

Ai					
Códigos Litológicos	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
Zona3					
CMET	1	0.1724	0.1724	0.1724	0.1724
PDI	12	0.2314	0.1718	0.2188	0.3647
TO	7	0.223	0.1625	0.2076	0.318
Zona4					
CMET	19	0.14099	0.0667	0.1414	0.1868
TO	1	0.2129	0.2129	0.2129	0.2129
Zona5					
CMET	4	0.2036	0.1782	0.1865	0.2633

Tabla 9.19 Datos de relación de Ai con zonas de alteración para HP sector Oeste para Figura 4.31.

Ai					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	8	0.2072	0.1534	0.1873	0.3658
PDA	1	0.4629	0.4629	0.4629	0.4629
HP MOD					
CMET	10	0.1937	0.1422	0.1714	0.3275
PDA	2	0.4796	0.4637	0.4796	0.4955

Tabla 9.20 Datos de relación de Ai con zonas de alteración para HP sector Norte para Figura 4.31.

Ai					
Código	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	6	0.2168	0.1461	0.2216	0.272
HP MOD					
CMET	13	0.2038	0.1574	0.1902	0.2822
PDA	4	0.3123	0.236	0.3215	0.3703
PDI	0	*	*	*	*
HP ALTO					
CMET	2	0.1323	0.0858	0.1323	0.1788
PDA	1	0.3053	0.3053	0.3053	0.3053

Tabla 9.21 Datos de relación de Ai con zonas de alteración para HP sector Este para Figura 4.31.

Ai					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
HP BAJO					
CMET	6	0.15618	0.1195	0.1581	0.1818
PDI	2	0.2913	0.2179	0.2913	0.3647
TO	1	0.1814	0.1814	0.1814	0.1814
HP MOD					
CMET	6	0.1677	0.1153	0.156	0.2633
PDI	5	0.2497	0.172	0.2582	0.3647
TO	4	0.2152	0.1625	0.2102	0.2776
HP ALTO					
CMET	3	0.1106	0.0667	0.131	0.134

9.2 Anexo B: Bases de datos de geometalurgia

Tabla 9.22 Base de datos que contiene los ensayos geometalúrgicos de Chancado LEIT (Cwi), Índice de Chancado de SPI (CI) e índice de Abrasión (Ai), con sus respectivos datos de sondaje.

ID MUESTRA	Cwi kWh/tc	Ai	CI	ID SONDAJE	DESDE	HASTA	Tipo_Roca	Proyecto
DA002	7.54			GEOM009	54.76	69.7	PDA	DACITA
DA003	4.54			GEOM009	148.3	161.2	CMET	ANDESITA
DA007	7.51			GEOM011	215	229.5	PDA	DACITA
NM0268			15.59	DDH2627	192	240	CMET	RECURSOS NORTE
NM0272	12.11		18.86	PB7004	0.2	5.27	Brecha Ignea de Pórfido Basáltico	ANDES NORTE
NM0273	11.46		18.18	PB7006	0.18	5.21	CMET	ANDES NORTE
NM0274	10.47		18.02	PB7008	0.08	5.25	Brecha Ignea de Pórfido Basáltico	ANDES NORTE
NM0275	12.47		15.99	PB7010	0.3	6.5	CMET	ANDES NORTE
NM0276	12.84		12.15	PB7011	1.86	6.2	BXQZ	ANDES NORTE
NM0278	7.07		18.30	GEOM005	0.3	20.8	CMET	NUEVO NIVEL MINA (NNM)
NM0279	10.49		15.56	GEOM005	30.8	51	BXQZ	NUEVO NIVEL MINA (NNM)
NM0280	8.78		14.88	GEOM005	51.8	66	BXANH	NUEVO NIVEL MINA (NNM)
NM0281	9.43		14.04	GEOM008	83	85.45	CMET	ANDES NORTE
NM0292	7			GEOM008	83	85.45	CMET	ANDES NORTE
NM0300			15.64	PB6001	0.12	5.66	BXIPB	PILAR NORTE
NM0302			25.76	PB6004	8.68	9.5	CMET	PILAR NORTE
NM0303			23.97	PB6005	0.15	6	BXIPDI	PILAR NORTE
NM0305	6.81		8.83	GEOM001	328	342	PDA	PACIFICO SUPERIOR
NM0307	5.99		14.36	GEOM002	115	129	CMET	ANDESITA
NM0311	6.62		16.25	GEOM002	316.52	330	CMET	PACIFICO SUPERIOR
NM0312	8.89		10.79	GEOM002	330	345	PDI	PACIFICO SUPERIOR
NM0318	6.62		15.34	GEOM004	99	111	BXANH	ANDESITA
NM0320	7.70		18.11	GEOM004	292.2	327.6	CMET	PACIFICO SUPERIOR
NM0322	10.39		13.99	PB8005	0	9.23	PDI	ANDES NORTE
PASM014			18.37	DDH2578	26	70.6	BXTU	PACIFICO SUPERIOR
PASM015			10.82	DDH1527	30	63	BBS	PACIFICO SUPERIOR
PASM017			18.46	DDH2569	48	96	BXTU	PACIFICO SUPERIOR
PASM019			48.28	GEOM014	0	21	CMET	PACIFICO SUPERIOR
PASM020			9.14	GEOM014	192	210	BBS	PACIFICO SUPERIOR
PASM021			51.40	GEOM015	75	93	CMET	PACIFICO SUPERIOR
S1085	19.30	0.164		SG0648	12	24	CMET	RECURSOS NORTE
S1086	19.40	0.132		SG0648	60	72	CMET	RECURSOS NORTE
S1087	21.80	0.118		SG0648	102	114	CMET	RECURSOS NORTE
S1088	20.09	0.243		SG0650	60	72	BXANH	RECURSOS NORTE
S1089	21.71	0.210		SG0650	120	132	CMET	RECURSOS NORTE
S1090	15.19	0.160		SG0648	210	222	CMET	RECURSOS NORTE
S1091	15.58	0.322		SG0648	288	300	CMET	RECURSOS NORTE

S1092	13.02	0.355		SG0650	180	192	CMET	RECURSOS NORTE
S1093	14.02	0.223		SG0650	228	240	CMET	RECURSOS NORTE
S1094	13.59	0.208		SG0650	270	282	CMET	RECURSOS NORTE
S1095	16.61	0.268		SG0650	318	330	CMET	RECURSOS NORTE
S1096	17.44	0.265		SG0650	390	402	CMET	RECURSOS NORTE
S1097	13.63	0.282		SG0650	456	468	CMET	RECURSOS NORTE
S1098	18.99	0.242		SG0650	504	516	CMET	RECURSOS NORTE
S1099	13.35	0.272		SG0650	540	552	CMET	RECURSOS NORTE
S1100	16.79	0.179		PA0620	78	90	CMET	RESERVAS NORTE
S1101	15.31	0.181		PA0617	30	42	CMET	RESERVAS NORTE
S1102	18.48	0.190		PA0621	12	24	CMET	RESERVAS NORTE
S1103	20.37	0.219		PA0619	78	90	CMET	RESERVAS NORTE
S1104	7.21	0.328		PA0333	84	96	CMET	DIABLO REGIMIENTO
S1105	19.49	0.175		PA0042	48	60	CMET	DIABLO REGIMIENTO
S1106	9.36	0.097		PA0624	66	78	CMET	ESMERALDA BLOQUE 2 UCL
S1107	16.14	0.202		PA0615	30	42	BXTO	ESMERALDA BLOQUE 1 UCL
S1108	17.17	0.278		PA0639	48	60	TO	ESMERALDA BLOQUE 2 NP
S1109	19.48	0.141		PA0269	54	66	CMET	ESMERALDA BLOQUE 2
S1110	17.29	0.296		SG0660	30	42	CMET	RECURSOS NORTE
S1111	17.24	0.169		SG0660	96	108	BXIPDA	RECURSOS NORTE
S1112	17.19	0.157		SG0660	216	228	CMET	RECURSOS NORTE
S1113	15.35	0.270		SG0660	324	336	CMET	RECURSOS NORTE
S1114	13.47	0.272		SG0664	48	60	BXANH	RECURSOS NORTE
S1115	10.96	0.208		SG0664	138	150	CMET	RECURSOS NORTE
S1116	14.05	0.281		SG0664	216	228	PDA	RECURSOS NORTE
S1117	13.35	0.305		SG0664	318	330	PDA	RECURSOS NORTE
S1118	11.46	0.346		SG0664	444	456	CMET	RECURSOS NORTE
S1119	14.83	0.198		SG0664	486	498	BXANH	RECURSOS NORTE
S1120	17.16	0.370		SG0656	66	78	PDA	RECURSOS NORTE
S1121	13.41	0.362		SG0656	108	120	PDA	RECURSOS NORTE
S1122	12.52	0.257		SG0656	186	198	BXANH	RECURSOS NORTE
S1123	10.19	0.251		SG0656	312	324	BXANH	RECURSOS NORTE
S1124	14.36	0.208		SG0656	384	396	CMET	RECURSOS NORTE
S1147	19.59	0.28	16.10	PA0700	12	24	PDA	DACITA
S1148	19.69	0.30	15.87	PA0701	6	18	PDA	DACITA
S1149	15.20	0.19	14.61	PA0647	30	42	BXANH	ESMERALDA
S1150	18.53	0.16	16.71	PA0649	24	36	BXITO	ESMERALDA
S1151	17.01	0.13	13.44	PA0626	6	18	CMET	ESMERALDA
S1152	17.50	0.18	13.79	PA0642	48	60	CMET	ESMERALDA
S1153	18.32	0.21	13.26	PA0643	18	30	TO	ESMERALDA
S1154	21.05	0.21	13.65	PA0648	18	30	TO	ESMERALDA
S1155	23.48	0.22	11.68	PA0667	24	36	BXITO	ESMERALDA
S1156	17.45	0.17	13.93	PA0683	54	66	CMET	ESMERALDA
S1157	16.16	0.15	12.77	PA0705	54	66	CMET	ESMERALDA

S1158	14.33	0.13	12.79	PA0681	60	72	CMET	ESMERALDA
S1159	18.73	0.19	12.92	PA0666	6	18	CMET	ESMERALDA
S1160	15.54	0.23	13.73	PA0686	6	18	TO	ESMERALDA
S1161	13.17	0.17	15.73	PA0697	36	48	CMET	RESERVAS NORTE
S1162	11.21	0.15	15.50	PA0450	54	66	CMET	RESERVAS NORTE
S1163	12.17	0.17	11.39	PA0655	48	60	CMET	RESERVAS NORTE
S1164	13.57	0.18	14.26	PA0660	36	48	CMET	RESERVAS NORTE
S1165	11.36	0.17	13.46	PA0674	6	18	CMET	RESERVAS NORTE
S1166	17.44	0.17	12.47	PA0677	30	42	CMET	RESERVAS NORTE
S1167			13.11	SG0650	594	606	CMET	RECURSOS NORTE
S1168			12.12	SG0660	186	198	CMET	RECURSOS NORTE
S1169			12.03	SG0656	258	270	CMET	RECURSOS NORTE
S1170			12.95	SG0648	252	264	CMET	RECURSOS NORTE
S1171			11.49	SG0660	282	294	CMET	RECURSOS NORTE
S1172			4.71	DDH2789	234	246	PDA	RECURSOS NORTE
S1173			3.18	DDH0746	274.32	286.52	CMET	RECURSOS NORTE
S1174			3.83	DDH0758	186.84	199.03	CMET	RECURSOS NORTE
S1175			11.15	ES0152	288	300	PDA	RECURSOS NORTE
S1176			4.64	DDH0907	105.16	117.34	PDA	RECURSOS NORTE
S1177			4.79	DDH0863	178.32	190.5	CMET	RECURSOS NORTE
S1178			16.06	ES0101	117.5	129.5	CMET	RECURSOS NORTE
S1179			11.50	SG0691	36	48	CMET	ANDESITA
S1180			10.98	SG0691	36	48	CMET	ANDESITA
S1181	13.75	0.22	10.43	SG0691	84	96	CMET	ANDESITA
S1182	11.62	0.19	11.85	SG0691	144	156	CMET	ANDESITA
S1183	13.88	0.17	11.79	SG0691	207	219	CMET	ANDESITA
S1184	11.15	0.16	13.02	SG0691	288	300	CMET	ANDESITA
S1185			12.69	SG0693	72	84	CMET	ANDESITA
S1186			11.40	SG0693	72	84	CMET	ANDESITA
S1187	9.77	0.20	9.96	SG0693	114	126	CMET	ANDESITA
S1188	18.55	0.14	7.72	SG0693	156	168	CMET	ANDESITA
S1189			10.00	DDH2591	84	96	CMET	ANDESITA
S1190			9.27	DDH2602	108	120	CMET	ANDESITA
S1191		0.20	8.36	DDH2607	66	78	CMET	ANDESITA
S1192			5.66	DDH2616	84	96	CMET	ANDESITA
S1193			15.06	DDH2620	6	18	CMET	ANDESITA
S1194			9.26	DDH2620	72	84	CMET	ANDESITA
S1195		0.22	6.18	DDH2625	84	96	CMET	ANDESITA
S1196		0.15	8.61	DDH2631	0	12	CMET	ANDESITA
S1197		0.28	11.77	DDH2631	78	90	CMET	ANDESITA
S1198			11.34	DDH2633	84	96	CMET	ANDESITA
S1199			8.16	DDH2635	84	96	CMET	ANDESITA
S1200			7.39	DDH2635	150	162	CMET	ANDESITA
S1202		0.18	7.37	DDH2658	48	60	CMET	ANDESITA
S1203			8.26	DDH2658	114	126	CMET	ANDESITA
S1204		0.16	7.08	DDH2660	90	102	CMET	ANDESITA

S1207			6.69	DDH2663	102	114	CMET	ANDESITA
S1208			7.64	DDH2606	42	54	CMET	ANDESITA
S1209			10.21	DDH2607	96	108	CMET	ANDESITA
S1214	15.09	0.32	9.60	PA0722	0	12	TO	ESMERALDA
S1215	17.22	0.15	9.20	PA0668	0	12	CMET	ESMERALDA
S1216	16.30	0.13	8.80	PA0714	48	60	BXITO	ESMERALDA
S1217	16.97	0.14	11.60	PA0649	0	12	BXITO	ESMERALDA
S1218	9.40	0.20	16.50	PA0713	24	36	TO	ESMERALDA
S1220	14.32	0.15	11.30	PA0709	60	72	CMET	DIABLO REGIMIENTO
S1221	15.99	0.18	14.80	PA0641	48	60	TO	ESMERALDA
S1222	13.75	0.15	11.20	PA0715	24	36	CMET	DIABLO REGIMIENTO
S1224	13.14	0.12	16.50	PA0710	72	84	BBS	DIABLO REGIMIENTO
S1225	16.55	0.18	10.50	PA0710	18	30	BXANH	DIABLO REGIMIENTO
S1226	13.79	0.12	11.70	PA0693	0	12	BXANH	PACIFICO SUPERIOR
S1227	22.51	0.16	12.60	PA0696	48	60	BBS	PACIFICO SUPERIOR
S1228	17.56	0.11	11.30	PA0671	12	24	BXANH	ESMERALDA
S1229	14.11	0.20	9.80	PA0703	60	72	BXIPDA	DACITA
S1230	9.49	0.28	12.20	PA0699	0	12	PDA	DACITA
S1231	17.88	0.18	11.70	PA0694	54	66	CMET	DACITA
S1232	22.58	0.16	12.50	PA0672	0	12	CMET	RESERVAS NORTE
S1233	14.03	0.16	10.60	PA0673	12	24	CMET	RESERVAS NORTE
S1234	21.88	0.17	11.70	PA0678	18	30	CMET	RESERVAS NORTE
S1242			6.82	DDH2113	152.4	164.59	CMET	DIAMANTE
S1243			7.57	DDH2314	144	156	BXIPDI	DIAMANTE
S1244			22.40	DDH2490	114	126	CMET	DIAMANTE
S1245			8.90	DDH2490	186	198	CMET	DIAMANTE
S1246			9.11	DDH2500	132	144	CMET	DIAMANTE
S1247			6.83	DDH2500	78	90	CMET	DIAMANTE
S1248			9.47	DDH2507	78	90	CMET	DIAMANTE
S1250			7.25	DDH2310	288	300	CMET	DIAMANTE
S1251		0.12	10.94	DDH2521	174	186	CMET	DIAMANTE
S1252			10.25	DDH2521	138	150	CMET	DIAMANTE
S1253		0.17	11.45	DDH2514	90	102	PDI	DIAMANTE
S1254			7.97	DDH2513	60	72	PDI	DIAMANTE
S1255			16.14	DDH2517	138	150	BXIPDI	DIAMANTE
S1256		0.22	16.61	DDH2517	102	114	PDI	DIAMANTE
S1257		0.18	9.94	DDH2514	180	192	CMET	DIAMANTE
S1258			9.48	DDH2513	162	174	BXIPDI	DIAMANTE
S1259			9.23	DDH2511	108	120	CMET	DIAMANTE
S1260			8.75	DDH2507	162	174	CMET	DIAMANTE
S1261		0.14	10.59	DDH2521	198	210	BXANH	DIAMANTE
S1262			10.84	DDH2532	84	96	CMET	DIAMANTE
S1263			9.94	DDH2544	96	108	CMET	DIAMANTE
S1264		0.19	9.66	DDH2544	180	192	CMET	DIAMANTE
S1265			8.81	DDH2549	162	174	CMET	DIAMANTE
S1266			10.65	DDH2558	90	102	PDI	DIAMANTE

S1267			10.77	DDH2558	156	168	CMET	DIAMANTE
S1268		0.21	11.01	DDH2564	78	90	PDI	DIAMANTE
S1269			9.60	DDH2564	114	126	PDI	DIAMANTE
S1270			7.83	DDH2583	90	102	CMET	DIAMANTE
S1271			9.10	DDH2586	126	138	CMET	DIAMANTE
S1272			10.37	DDH2586	36	48	CMET	DIAMANTE
S1273			7.35	DDH2594	90	102	CMET	DIAMANTE
S1274			9.29	DDH2600	12	24	CMET	DIAMANTE
S1275			12.82	DDH2600	54	66	BXIPDI	DIAMANTE
S1276			10.37	SG0052	158.5	170.69	PDI	DIAMANTE
S1278			9.40	SG0052	91.44	103.63	CMET	DIAMANTE
S1280			5.78	SG0052	341.38	353.57	PDI	DIAMANTE
S1281			5.65	DDH2515	216	228	CMET	DIAMANTE
S1282			8.15	DDH2515	150	162	CMET	DIAMANTE
S1283			7.64	DDH2473	282	294	BXANH	DIAMANTE
S1284			9.03	DDH2498	228	240	BXIPDI	DIAMANTE
S1285			9.35	DDH2471	138	150	CMET	DIAMANTE
S1287			9.37	DDH2559	114	126	CMET	DIAMANTE
S1288			9.55	SG0700	0	12	CMET	ANDESITA
S1289		0.17	12.51	SG0700	54	66	CMET	ANDESITA
S1290	15.52		10.72	SG0700	123	135	CMET	ANDESITA
S1291			10.37	SG0701	42	54	CMET	ANDESITA
S1292		0.18	7.13	SG0701	96	108	CMET	ANDESITA
S1293			7.60	SG0701	96	108	CMET	ANDESITA
S1294	22.80	0.18	8.26	SG0701	162	174	CMET	ANDESITA
S1295	16.73		8.92	SG0705	84	96	CMET	ANDESITA
S1296		0.19	9.98	SG0705	204	216	CMET	ANDESITA
S1297			9.61	SG0733	24	36	CMET	ANDESITA
S1298			7.98	SG0733	96	108	CMET	ANDESITA
S1299	20.92		10.76	SG0734	42	54	CMET	ANDESITA
S1343	15.38	0.07		DDH2795	390	402	BXQZ	EXT_SUR_ESMERALDA
S1344	19.79	0.18		DDH2794	270	282	CMET	EXT_SUR_ESMERALDA
S1345	16.17	0.15		DDH2797	258	270	BXIPDI	EXT_SUR_ESMERALDA
S1346	20.49	0.18		DDH2792	252	264	CMET	EXT_SUR_ESMERALDA
S1396	21.61	0.12		DDH2807	24	36	CMET	EXT_SUR_ESMERALDA
S1402	21.42	0.07		DDH2809	48	60	CMET	EXT_SUR_ESMERALDA
S1405	22.57	0.16		DDH2810	102	114	CMET	EXT_SUR_ESMERALDA
S1407	20.92	0.17		SG0755	150	162	BXIPDI	DIAMANTE
S1408	24.22	0.12		SG0759	12	24	CMET	DIAMANTE
S1409	20.08	0.19		SG0744	174	186	CMET	DIAMANTE
S1410	18.18	0.26		PA0728	42	54	PDI	DIAMANTE
S1411	13.90	0.27		PA0729	18	30	PDI	DIAMANTE
S1412	15.44	0.22		PA0732	48	60	BXIPDI	DIAMANTE
S1413	17.28	0.22		PA0737	48	60	PDI	DIAMANTE
S1414	19.51	0.24		PA0737	12	24	BXIPDI	DIAMANTE
S1415	19.57	0.23		PA0739	36	48	PDI	DIAMANTE

S1416	18.52	0.18		PA0748	6	18	BXIPDI	DIAMANTE
S1455	11.85	0.17	13.75	PA0743	42	54	CMET	DACITA
S1456		0.34	22.21	PA0741	42	54	PDA	DACITA
S1457		0.21	18.44	PA0789	12	24	PDI	ESMERALDA BLOQUE 1
S1458	11.92	0.17	10.74	PA0823	30	42	PDI	ESMERALDA BLOQUE 2
S1459		0.26	22.40	PA0637	30	42	CMET	ESMERALDA BLOQUE 3
S1460	11.79	0.16	11.30	PA0650	78	90	TO	ESMERALDA BLOQUE 4
S1461	16.13	0.13	10.29	PA0676	84	96	CMET	ESMERALDA EXT NORTE BLOQUE 2 LHD
S1462		0.26	22.55	PA0820	42	54	PDI	ESMERALDA BLOQUE 2
S1463	14.37	0.24	12.71	PA0828	60	72	PDA	DACITA
S1464	23.64	0.09	12.43	PA0688	24	36	CMET	RESERVAS NORTE
S1465		0.22	27.20	PA0825	54	66	CMET	RESERVAS NORTE
S1466	9.28	0.19	15.42	PA0764	48	60	PDI	ESMERALDA BLOQUE 1
S1467		0.36	24.86	PA0749	36	48	PDI	ESMERALDA BLOQUE 1
S1468	11.22	0.08	11.50	PA0756	84	96	CMET	ESMERALDA BLOQUE 2
S1469			21.16	DDH2729	216	228	CMET	PACIFICO SUPERIOR
S1531		0.35	14.70	SG0698	210	222	CMET	ANDESITA
S1535		0.41	18.17	SG0734	150	162	BXIPDA	ANDESITA
S1536		0.46		SG0761	168	180	PDA	ANDESITA
S1544		0.37		SG0703	78	90	CMET	ANDESITA
S1551		0.48		SG0754	186	198	PDA	ANDESITA
S1559		0.50		DDH2618	192	204	PDA	ANDESITA
S1562		0.39		DDH2650	18	30	BXANH	ANDESITA
S1564		0.46		DDH2650	168	180	PDA	ANDESITA
S1568		0.24		DDH2787	0	12	CMET	ANDESITA
S1570		0.31		DDH2626	162	174	BXANH	ANDESITA

Tabla 9.23 Base de datos de relaciones entre parámetros de chancado C_{wi} , CI y A_i con respecto a la mineralogía QEMSCAN de la asociación clorita-muscovita/sericita.

ID_MUESTRA	C_{Wi_kWh}/t_c	A_i	SPI_CI	ID_SONDA JE	DESD E	HAST A	Tipo_Roca	Proyecto	Clorita-Muscovita/Sericita %wt
DA002	7.54			GEOM009	54.76	69.7	PDA	DACITA	0.4367
DA003	4.54			GEOM009	148.3	161.2	CMET	ANDESITA	1.0432
DA007	7.51			GEOM011	215	229.5	PDA	DACITA	0.63
NM0268			15.58539 25	DDH2627	192	240	CMET	RECURSOS NORTE	14.0177485
NM0272	12.11		18.85642 66	PB7004	0.2	5.27	BXIPB	ANDES NORTE	1.9862416
NM0273	11.46		18.17945 59	PB7006	0.18	5.21	CMET	ANDES NORTE	1.93224531
NM0274	10.47		18.016	PB7008	0.08	5.25	BXIPB	ANDES NORTE	1.74597027
NM0275	12.47		15.992	PB7010	0.3	6.5	CMET	ANDES NORTE	2.8831743

NM0276	12.84		12.153	PB7011	1.86	6.2	BXQZ	ANDES NORTE	1.31683691
NM0279	10.49		15.55518 07	GEOM005	30.8	51	BXQZ	NUEVO NIVEL MINA (NNM)	0.96325011
NM0280	8.78		14.88479 17	GEOM005	51.8	66	BXANH	NUEVO NIVEL MINA (NNM)	1.48666063
NM0281	9.43		14.04162 35	GEOM008	83	85.45	CMET	ANDES NORTE	0.69674183
NM0292	7			GEOM008	83	85.45	CMET	ANDES NORTE	#N/D
NM0300			15.64	PB6001	0.12	5.66	BXIPB	PILAR NORTE	1.57121275
NM0302			25.76	PB6004	8.68	9.5	CMET	PILAR NORTE	#N/D
NM0303			23.967	PB6005	0.15	6	BXIPDI	PILAR NORTE	1.26518174
NM0305	6.81		8.832957 8	GEOM001	328	342	PDA	PACIFICO SUPERIOR	1.35582155
NM0307	5.99		14.36145 82	GEOM002	115	129	CMET	ANDESITA	1.52741571
NM0311	6.62		16.25492 81	GEOM002	316.52	330	CMET	PACIFICO SUPERIOR	3.92434341
NM0312	8.89		10.79259 62	GEOM002	330	345	PDI	PACIFICO SUPERIOR	2.91422343
NM0318	6.62		15.34432 62	GEOM004	99	111	BXANH	ANDESITA	1.05190317
NM0320	7.7		18.11269 84	GEOM004	292.2	327.6	CMET	PACIFICO SUPERIOR	3.55487945
NM0322	10.39		13.99	PB8005	0	9.23	PDI	ANDES NORTE	1.31059919
PASM014			18.3713	DDH2578	26	70.6	BXTU	PACIFICO SUPERIOR	26.6259
PASM015			10.8154	DDH1527	30	63	BBS	PACIFICO SUPERIOR	25.1353
PASM017			18.4604	DDH2569	48	96	BXTU	PACIFICO SUPERIOR	28.6218
PASM019			48.2836	GEOM014	0	21	CMET	PACIFICO SUPERIOR	34.1299
PASM020			9.1423	GEOM014	192	210	BBS	PACIFICO SUPERIOR	27.5222
PASM021			51.4032	GEOM015	75	93	CMET	PACIFICO SUPERIOR	28.7666
S1085	19.3031268	0.164 1		SG0648	12	24	CMET	RECURSOS NORTE	5.2256
S1086	19.4004215	0.131 5		SG0648	60	72	CMET	RECURSOS NORTE	12.0053
S1087	21.8012781	0.117 6		SG0648	102	114	CMET	RECURSOS NORTE	7.598
S1088	20.0909087	0.243 4		SG0650	60	72	BXANH	RECURSOS NORTE	5.0932
S1089	21.7050042	0.210 3		SG0650	120	132	CMET	RECURSOS NORTE	3.6096
S1090	15.1931802	0.159 9		SG0648	210	222	CMET	RECURSOS NORTE	7.3771
S1091	15.5756029	0.322 1		SG0648	288	300	CMET	RECURSOS NORTE	5.5653
S1092	13.0151619	0.354 8		SG0650	180	192	CMET	RECURSOS NORTE	6.4431
S1093	14.0189718	0.223 3		SG0650	228	240	CMET	RECURSOS NORTE	6.1015
S1094	13.5878487	0.207 9		SG0650	270	282	CMET	RECURSOS NORTE	7.4648
S1095	16.6103	0.267 9		SG0650	318	330	CMET	RECURSOS NORTE	5.5787
S1096	17.4438567	0.265 3		SG0650	390	402	CMET	RECURSOS NORTE	4.8459
S1097	13.6333096	0.282 2		SG0650	456	468	CMET	RECURSOS NORTE	7.7077
S1098	18.9913176	0.242 4		SG0650	504	516	CMET	RECURSOS NORTE	6.735
S1099	13.3452279	0.272		SG0650	540	552	CMET	RECURSOS NORTE	4.5987
S1100	16.7881194	0.178 8		PA0620	78	90	CMET	RESERVAS NORTE	25.6181
S1101	15.3082024	0.180 5		PA0617	30	42	CMET	RESERVAS NORTE	2.9416
S1102	18.4811127	0.190 2		PA0621	12	24	CMET	RESERVAS NORTE	22.3305
S1103	20.3731937	0.219		PA0619	78	90	CMET	RESERVAS NORTE	12.7731
S1104	7.21089832	0.327 5		PA0333	84	96	CMET	DIABLO REGIMIENTO	8.5241

S1105	19.4860777	0.174 9		PA0042	48	60	CMET	DIABLO REGIMIENTO	22.5628
S1106	9.36177373	0.096 6		PA0624	66	78	CMET	ESMERALDA	29.381
S1107	16.137993	0.202 1		PA0615	30	42	BXITO	ESMERALDA	21.656
S1108	17.1740984	0.277 6		PA0639	48	60	TO	ESMERALDA	26.8836
S1109	19.482048	0.141 4		PA0269	54	66	CMET	ESMERALDA	18.548
S1110	17.2857271	0.296 2		SG0660	30	42	CMET	RECURSOS NORTE	3.2316
S1111	17.2419711	0.168 8		SG0660	96	108	BXIPDA	RECURSOS NORTE	11.2631
S1112	17.1867666	0.157 4		SG0660	216	228	CMET	RECURSOS NORTE	1.7066
S1113	15.3544581	0.270 1		SG0660	324	336	CMET	RECURSOS NORTE	5.4901
S1114	13.4747613	0.272 1		SG0664	48	60	BXANH	RECURSOS NORTE	10.0765
S1115	10.9566103	0.208 4		SG0664	138	150	CMET	RECURSOS NORTE	3.445
S1116	14.0493551	0.281 3		SG0664	216	228	PDA	RECURSOS NORTE	18.4124
S1117	13.3470741	0.305 3		SG0664	318	330	PDA	RECURSOS NORTE	18.9143
S1118	11.4581392	0.345 7		SG0664	444	456	CMET	RECURSOS NORTE	5.8793
S1119	14.8283533	0.197 6		SG0664	486	498	BXANH	RECURSOS NORTE	14.4982
S1120	17.1642026	0.370 3		SG0656	66	78	PDA	RECURSOS NORTE	10.0161
S1121	13.4123436	0.361 6		SG0656	108	120	PDA	RECURSOS NORTE	4.4962
S1122	12.5194572	0.257 1		SG0656	186	198	BXANH	RECURSOS NORTE	4.7834
S1123	10.1925363	0.251 3		SG0656	312	324	BXANH	RECURSOS NORTE	11.6704
S1124	14.3555205	0.207 8		SG0656	384	396	CMET	RECURSOS NORTE	18.138
S1147	19.5936024	0.278	16.10414 6	PA0700	12	24	PDA	DACITA	15.3531979
S1148	19.6910188	0.297 2	15.86966 29	PA0701	6	18	PDA	DACITA	15.4336483
S1149	15.1982272	0.187 4	14.60872 66	PA0647	30	42	BXANH	ESMERALDA	19.3351341
S1150	18.5285174	0.16	16.71402 57	PA0649	24	36	BXITO	ESMERALDA	20.4282414
S1151	17.0114826	0.134	13.43781 65	PA0626	6	18	CMET	ESMERALDA	19.3683833
S1152	17.4974852	0.178 2	13.78855 83	PA0642	48	60	CMET	ESMERALDA	13.8240301
S1153	18.3245034	0.212 9	13.25710 52	PA0643	18	30	TO	ESMERALDA	24.5445395
S1154	21.0476485	0.207 6	13.65416 43	PA0648	18	30	TO	ESMERALDA	26.4687011
S1155	23.4842659	0.219 9	11.67719 97	PA0667	24	36	BXITO	ESMERALDA	21.1885193
S1156	17.4525831	0.172 4	13.92923 51	PA0683	54	66	CMET	ESMERALDA	8.59883165
S1157	16.1593303	0.154 3	12.77206 58	PA0705	54	66	CMET	ESMERALDA	14.2522402
S1158	14.3254893	0.131	12.78627 16	PA0681	60	72	CMET	ESMERALDA	21.156744
S1159	18.7290378	0.185 5	12.91550 44	PA0666	6	18	CMET	ESMERALDA	14.3820013
S1160	15.5358066	0.232 7	13.72618 15	PA0686	6	18	TO	ESMERALDA	18.2353218
S1161	13.1731799	0.167 5	15.73288 47	PA0697	36	48	CMET	RESERVAS NORTE	4.64987633
S1162	11.2140213	0.146 1	15.49959 47	PA0450	54	66	CMET	RESERVAS NORTE	9.22999412
S1163	12.1694981	0.167 7	11.38540 21	PA0655	48	60	CMET	RESERVAS NORTE	15.9938783
S1164	13.5715617	0.177 6	14.26038 24	PA0660	36	48	CMET	RESERVAS NORTE	9.62267292
S1165	11.3632218	0.168 7	13.46172 53	PA0674	6	18	CMET	RESERVAS NORTE	8.16202666

S1166	17.437025	0.170 1	12.46558 08	PA0677	30	42	CMET	RESERVAS NORTE	23.4652162
S1167			13.10989 79	SG0650	594	606	CMET	RECURSOS NORTE	9.43655684
S1168			12.11891 65	SG0660	186	198	CMET	RECURSOS NORTE	5.79074073
S1169			12.02945 97	SG0656	258	270	CMET	RECURSOS NORTE	10.0090197
S1170			12.95019 99	SG0648	252	264	CMET	RECURSOS NORTE	7.3233692
S1171			11.48769 53	SG0660	282	294	CMET	RECURSOS NORTE	8.4428676
S1172			4.714538 38	DDH2789	234	246	PDA	RECURSOS NORTE	12.5356083
S1173			3.175008 48	DDH0746	274.32	286.52	CMET	RECURSOS NORTE	10.9228775
S1174			3.829285 25	DDH0758	186.84	199.03	CMET	RECURSOS NORTE	5.04604051
S1175			11.14727 16	ES0152	288	300	PDA	RECURSOS NORTE	29.5342734
S1176			4.639399 61	DDH0907	105.16	117.34	PDA	RECURSOS NORTE	34.623471
S1177			4.788728 57	DDH0863	178.32	190.5	CMET	RECURSOS NORTE	10.1329762
S1178			16.06058 53	ES0101	117.5	129.5	CMET	RECURSOS NORTE	12.0051717
S1179			11.49775 41	SG0691	36	48	CMET	ANDESITA	6.26163541
S1180			10.98491 52	SG0691	36	48	CMET	ANDESITA	#N/D
S1181	13.7479189	0.216 3	10.42683 73	SG0691	84	96	CMET	ANDESITA	8.62998573
S1182	11.6227324	0.191 9	11.85269 17	SG0691	144	156	CMET	ANDESITA	10.7140649
S1183	13.8751397	0.170 2	11.79092 23	SG0691	207	219	CMET	ANDESITA	13.2243242
S1184	11.1548043	0.16	13.02072 99	SG0691	288	300	CMET	ANDESITA	21.0390275
S1185			12.68564 27	SG0693	72	84	CMET	ANDESITA	7.44894709
S1186			11.40276 4	SG0693	72	84	CMET	ANDESITA	#N/D
S1187	9.77001579	0.2	9.955279 81	SG0693	114	126	CMET	ANDESITA	6.55255314
S1188	18.5510993	0.142 2	7.723129 76	SG0693	156	168	CMET	ANDESITA	8.00316206
S1189			10.00094 85	DDH2591	84	96	CMET	ANDESITA	4.16116975
S1190			9.271881 88	DDH2602	108	120	CMET	ANDESITA	4.38542992
S1191		0.195 7	8.360142 21	DDH2607	66	78	CMET	ANDESITA	15.2441299
S1192			5.662413 68	DDH2616	84	96	CMET	ANDESITA	5.47017096
S1193			15.06170 86	DDH2620	6	18	CMET	ANDESITA	6.49414987
S1194			9.261000 71	DDH2620	72	84	CMET	ANDESITA	8.17764969
S1195		0.222 7	6.175613 32	DDH2625	84	96	CMET	ANDESITA	15.3424239
S1196		0.150 2	8.611791 74	DDH2631	0	12	CMET	ANDESITA	4.13067747
S1197		0.282 6	11.77037 72	DDH2631	78	90	CMET	ANDESITA	6.66050301
S1198			11.34325 81	DDH2633	84	96	CMET	ANDESITA	6.83886302
S1199			8.156229 39	DDH2635	84	96	CMET	ANDESITA	10.3302515
S1200			7.392105 84	DDH2635	150	162	CMET	ANDESITA	9.77878927
S1202		0.181 3	7.367242 06	DDH2658	48	60	CMET	ANDESITA	8.51963809
S1203			8.256873 9	DDH2658	114	126	CMET	ANDESITA	13.5208565
S1204		0.160 9	7.076654 7	DDH2660	90	102	CMET	ANDESITA	15.9808487
S1207			6.693750 52	DDH2663	102	114	CMET	ANDESITA	9.74000313

S1208			7.638428 73	DDH2606	42	54	CMET	ANDESITA	7.72829351
S1209			10.20922 25	DDH2607	96	108	CMET	ANDESITA	8.06232579
S1214	15.0947405	0.318	9.6	PA0722	0	12	TO	ESMERALDA	28.3320328
S1215	17.2243477	0.151 2	9.2	PA0668	0	12	CMET	ESMERALDA	22.7883615
S1216	16.2979489	0.129 4	8.8	PA0714	48	60	BXITO	ESMERALDA	26.8211155
S1217	16.9744313	0.144 8	11.6	PA0649	0	12	BXITO	ESMERALDA	17.5440622
S1218	9.40332532	0.201 2	16.5	PA0713	24	36	TO	ESMERALDA	23.8500946
S1220	14.3153625	0.148 4	11.3	PA0709	60	72	CMET	DIABLO REGIMIENTO	27.5162322
S1221	15.9909524	0.181 4	14.8	PA0641	48	60	TO	ESMERALDA	27.0761973
S1222	13.7480647	0.153 4	11.2	PA0715	24	36	CMET	DIABLO REGIMIENTO	17.6655321
S1224	13.1392292	0.123 1	16.5	PA0710	72	84	BBS	DIABLO REGIMIENTO	23.2444324
S1225	16.5513912	0.179 7	10.5	PA0710	18	30	BXANH	DIABLO REGIMIENTO	20.9086073
S1226	13.787124	0.118 4	11.7	PA0693	0	12	BXANH	PACIFICO SUPERIOR	20.582063
S1227	22.5105451	0.157 6	12.6	PA0696	48	60	BBS	PACIFICO SUPERIOR	18.4761056
S1228	17.5604406	0.111 7	11.3	PA0671	12	24	BXANH	ESMERALDA	19.7555368
S1229	14.1109863	0.205	9.8	PA0703	60	72	BXIPDA	DACITA	8.34566731
S1230	9.49043794	0.282	12.2	PA0699	0	12	PDA	DACITA	10.876999
S1231	17.8820876	0.178	11.7	PA0694	54	66	CMET	DACITA	7.05073134
S1232	22.5818409	0.163 5	12.5	PA0672	0	12	CMET	RESERVAS NORTE	7.06900147
S1233	14.0279761	0.164 3	10.6	PA0673	12	24	CMET	RESERVAS NORTE	6.53059066
S1234	21.8763488	0.165 3	11.7	PA0678	18	30	CMET	RESERVAS NORTE	10.7583615
S1242			6.822531 5	DDH2113	152.4	164.59	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1243			7.568025 53	DDH2314	144	156	BXIPDI	DIAMANTE	18.0015184
S1244			22.39572 8	DDH2490	114	126	CMET	DIAMANTE	5.9005502
S1245			8.897514 9	DDH2490	186	198	CMET	DIAMANTE	16.091782
S1246			9.109319 87	DDH2500	132	144	CMET	DIAMANTE	5.01374285
S1247			6.832817 42	DDH2500	78	90	CMET	DIAMANTE	10.27978
S1248			9.469728 1	DDH2507	78	90	CMET	DIAMANTE	12.8502591
S1250			7.252831 25	DDH2310	288	300	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1251		0.119 6	10.93641 62	DDH2521	174	186	CMET	DIAMANTE	5.18117332
S1252			10.24652 3	DDH2521	138	150	CMET	DIAMANTE	10.3285617
S1253		0.171 8	11.44878 23	DDH2514	90	102	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1254			7.972733 35	DDH2513	60	72	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1255			16.14034 56	DDH2517	138	150	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1256		0.219 6	16.61289 07	DDH2517	102	114	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1257		0.178 5	9.938562 88	DDH2514	180	192	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1258			9.483063 25	DDH2513	162	174	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1259			9.227234 87	DDH2511	108	120	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1260			8.754904 77	DDH2507	162	174	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1261		0.139 5	10.59403 07	DDH2521	198	210	BXANH	DIAMANTE	#N/D

S1262			10.83899 27	DDH2532	84	96	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1263			9.937808 59	DDH2544	96	108	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1264		0.187 4	9.66044	DDH2544	180	192	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1265			8.813134 96	DDH2549	162	174	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1266			10.65051 49	DDH2558	90	102	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1267			10.77263 6	DDH2558	156	168	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1268		0.210 1	11.00840 42	DDH2564	78	90	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1269			9.598072 98	DDH2564	114	126	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1270			7.832441 89	DDH2583	90	102	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1271			9.104220 56	DDH2586	126	138	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1272			10.37107 58	DDH2586	36	48	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1273			7.350380 39	DDH2594	90	102	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1274			9.285235 32	DDH2600	12	24	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1275			12.82106 9	DDH2600	54	66	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1276			10.36714 17	SG0052	158.5	170.69	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1278			9.395786 78	SG0052	91.44	103.63	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1280			5.775065 45	SG0052	341.38	353.57	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1281			5.648291 67	DDH2515	216	228	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1282			8.153415 06	DDH2515	150	162	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1283			7.640741 79	DDH2473	282	294	BXANH	DIAMANTE	#N/D
S1284			9.032857 04	DDH2498	228	240	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1285			9.346362 12	DDH2471	138	150	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1287			9.368464 7	DDH2559	114	126	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1288			9.548512 69	SG0700	0	12	CMET	ANDESITA	11.0119619
S1289		0.168 8	12.51092 11	SG0700	54	66	CMET	ANDESITA	8.22417857
S1290	15.5166842		10.71929 5	SG0700	123	135	CMET	ANDESITA	9.92552798
S1291			10.37151 13	SG0701	42	54	CMET	ANDESITA	6.16821166
S1292		0.182 6	7.125487 9	SG0701	96	108	CMET	ANDESITA	9.53673474
S1293			7.600539 13	SG0701	96	108	CMET	ANDESITA	#N/D
S1294	22.8005906	0.181 9	8.258555 56	SG0701	162	174	CMET	ANDESITA	14.1715775
S1295	16.7266487		8.920741 61	SG0705	84	96	CMET	ANDESITA	7.09632239
S1296		0.189 9	9.975131 7	SG0705	204	216	CMET	ANDESITA	5.05600911
S1297			9.605604 71	SG0733	24	36	CMET	ANDESITA	6.78259365
S1298			7.982761 74	SG0733	96	108	CMET	ANDESITA	6.28396324
S1299	20.9197862		10.76282 05	SG0734	42	54	CMET	ANDESITA	7.25785763
S1343	15.3820208	0.068 5	17.24633 74	DDH2795	390	402	BXQZ	EXT_SUR_ESMERA LDA	40.1774543
S1344	19.7873495	0.178 44	17.66731 44	DDH2794	270	282	CMET	EXT_SUR_ESMERA LDA	14.481533
S1345	16.1736059	0.145 5	18.14304 37	DDH2797	258	270	BXIPDI	EXT_SUR_ESMERA LDA	28.3705814
S1346	20.4878829	0.181 8	12.99369 77	DDH2792	252	264	CMET	EXT_SUR_ESMERA LDA	15.5943146

S1396	21.6149064	0.115 3	14.13374 53	DDH2807	24	36	CMET	EXT_SUR_ESMERA LDA	27.9985258
S1402	21.4189115	0.066 7	13.22794 8	DDH2809	48	60	CMET	EXT_SUR_ESMERA LDA	34.3093638
S1405	22.5710573	0.161 9	16.77012 38	DDH2810	102	114	CMET	EXT_SUR_ESMERA LDA	16.7794775
S1407	20.9241763	0.172 0.119	15.58771 82 12.90485	SG0755	150	162	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1408	24.2219099	5	99	SG0759	12	24	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1409	20.0817037	0.186 8	11.68830 16	SG0744	174	186	CMET	DIAMANTE	#N/D
S1410	18.183657	0.258 2	15.76557 32	PA0728	42	54	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1411	13.9045017	0.273 3	14.21922 85	PA0729	18	30	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1412	15.4354048	0.224 3	16.56443 77	PA0732	48	60	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1413	17.2789367	0.217 9	13.05221 15	PA0737	48	60	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1414	19.5145868	0.241 7	17.28292 6	PA0737	12	24	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1415	19.5654666	0.228	18.65858 86	PA0739	36	48	PDI	DIAMANTE	#N/D
S1416	18.5199539	0.177 7	20.93388 07	PA0748	6	18	BXIPDI	DIAMANTE	#N/D
S1455	11.8494128	0.169	13.74861 37	PA0743	42	54	CMET	DACITA	#N/D
S1456		0.335	22.21422 61	PA0741	42	54	PDA	DACITA	11.5915138
S1457		0.207 9	18.43935 19	PA0789	12	24	PDI	ESMERALDA	32.1958859
S1458	11.9239624	0.172	10.73921 77	PA0823	30	42	PDI	ESMERALDA	#N/D
S1459		0.263 3	22.39765 65	PA0637	30	42	CMET	ESMERALDA	17.6785607
S1460	11.7923203	0.162 5	11.30239 07	PA0650	78	90	TO	ESMERALDA	#N/D
S1461	16.1338036	0.130 2	10.29465 7	PA0676	84	96	CMET	ESMERALDA EXT NORTE	#N/D
S1462		0.261 1	22.55132 28	PA0820	42	54	PDI	ESMERALDA	24.5883383
S1463	14.3730442	0.236	12.71029 48	PA0828	60	72	PDA	DACITA	#N/D
S1464	23.6354008	0.085 8	12.43161 7	PA0688	24	36	CMET	RESERVAS NORTE	#N/D
S1465		0.222 6	27.20373 13	PA0825	54	66	CMET	RESERVAS NORTE	5.59367453
S1466	9.28314523	0.192 7	15.42344 76	PA0764	48	60	PDI	ESMERALDA	#N/D
S1467		0.364 7	24.85986 69	PA0749	36	48	PDI	ESMERALDA	21.0122441
S1468	11.2168314	0.084 6	11.49695 33	PA0756	84	96	CMET	ESMERALDA	#N/D
S1469			21.16157 3	DDH2729	216	228	CMET	PACIFICO SUPERIOR	13.9459662
S1531		0.348 5	14.69647 05	SG0698	210	222	CMET	ANDESITA	19.8691671
S1535		0.406 6	18.16861 91	SG0734	150	162	BXIPDA	ANDESITA	10.7230709
S1536		0.462 9		SG0761	168	180	PDA	ANDESITA	10.7232572
S1544		0.365 8		SG0703	78	90	CMET	ANDESITA	13.9002591
S1551		0.484 8		SG0754	186	198	PDA	ANDESITA	#N/D
S1559		0.495 5		DDH2618	192	204	PDA	ANDESITA	#N/D
S1562		0.390 5		DDH2650	18	30	BXANH	ANDESITA	#N/D
S1564		0.463 7		DDH2650	168	180	PDA	ANDESITA	#N/D
S1568		0.244 5		DDH2787	0	12	CMET	ANDESITA	#N/D
S1570		0.309 5		DDH2626	162	174	BXANH	ANDESITA	#N/D

9.3 Anexo C: Resultados de ensayos geotécnicos

9.3.1 Resultados para ensayo UCS

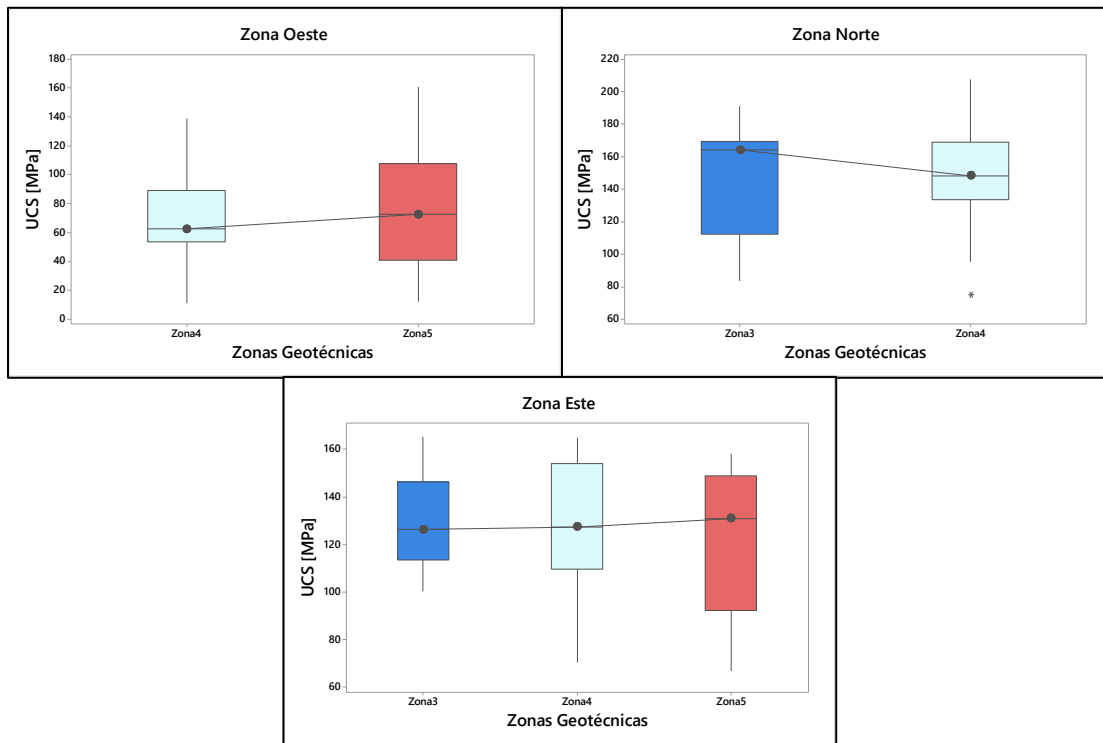


Figura 9.1 Relaciones entre ensayos UCS y las zonas geotécnicas. Se observan en general altas dispersiones en los diagramas de caja.

Tabla 9.24 Datos de relación de UCS con zonas geotécnicas del sector Oeste para Figura 8.1.

Zona Oeste					
Zona Geotécnica 4					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
BXANH	4	79.1	61.8	70.6	113.5
CMET	15	82.06	34.27	65.45	139.33
Zona Geotécnica 5					
BXANH	3	73.15	55.09	76.8	87.57
CMET	21	77.37	12.3	68.2	160.8

Tabla 9.25 Datos de relación de UCS con zonas geotécnicas del sector Norte para Figura 8.1.

Zona Norte					
Zona Geotécnica 3					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
PDI	11	146.6	83.6	164.2	191.4
Zona Geotécnica 4					
CMET	36	144.26	74.66	146.96	191.23
PDI	4	186.9	140.8	199.5	207.8

Tabla 9.26 Datos de relación de UCS con zonas geotécnicas del sector Este para Figura 8.1.

Zona Este					
Zona Geotécnica 3					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TO	8	128.49	100.13	126.2	165.24
Zona Geotécnica 4					
BXANH	5	136	109.6	127.4	165
CMET	0	*	*	*	*
PDI	2	101.2	70.5	101.2	131.8
Zona Geotécnica 5					
CMET	6	119.2	66.8	128.6	158.2
TO	2	134.82	130.29	134.82	139.36

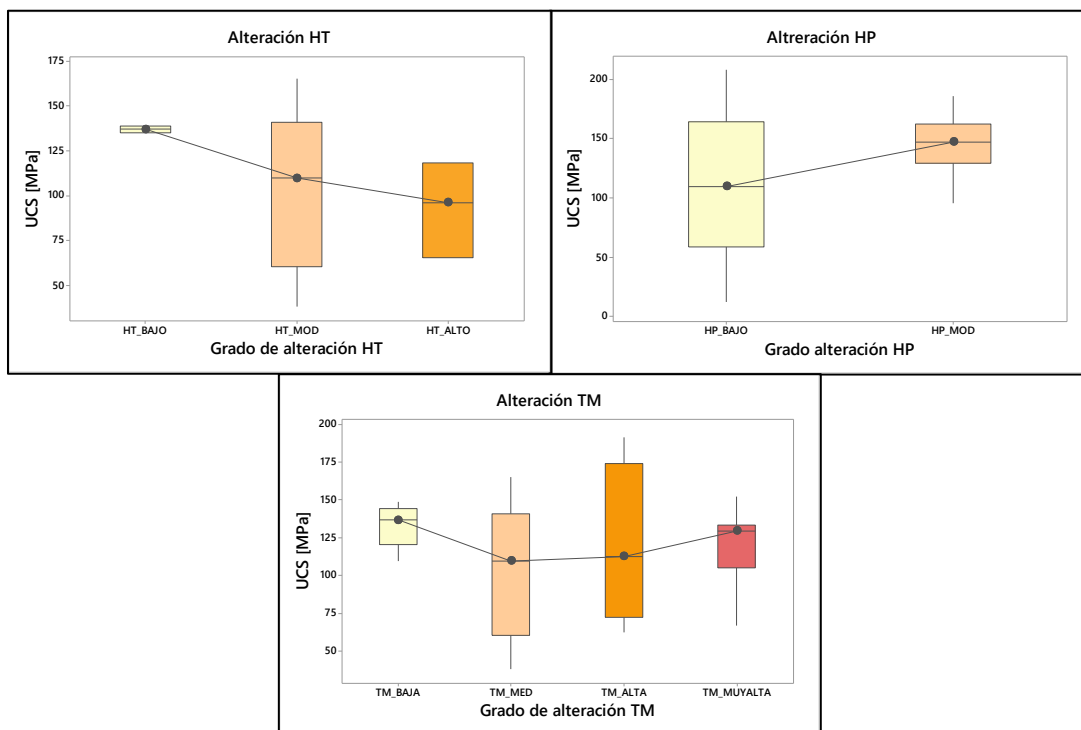


Figura 9.2 Relaciones entre ensayos UCS y las zonas de alteración dentro del yacimiento. Se observan en general altas dispersiones en los diagramas de caja sin una tendencia en las distintas zonas.

Tabla 9.27 Datos de relación de UCS con zonas de alteración HT del yacimiento para Figura 8.2.

Alteración HT					
HT Bajo					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
CMET	2	136.91	135.19	136.91	138.63
HT Moderado					
BXANH	7	117.5	55.1	123.7	165
CMET	2	51.7	38	51.7	65.5
HT Alto					
CMET	3	93.2	65.3	96.2	118.1

Tabla 9.28 Datos de relación de UCS con zonas de alteración HP del yacimiento para Figura 8.2.

Alteración HP					
HP Baja					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
BXANH	2	131.9	109.6	131.9	154.1
CMET	23	84.6	12.3	68.2	191.2
PDI	10	169.04	112.56	167	207.83
HP Moderado					
CMET	29	145	95.29	145.61	185.49
TO	3	143.9	115	151.4	165.2

Tabla 9.29 Datos de relación de UCS con zonas de alteración TM del yacimiento para Figura 8.2.

Alteración TM					
TM Baja					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
CMET	7	132.3	109.4	136.67	148.61
TM Moderada					
BXANH	7	117.5	55.1	123.7	165
CMET	2	51.7	38	51.7	65.5
TM Alta					
BXANH	1	62.540	62.540	62.540	62.540
PDI	3	138.8	102.3	122.7	191.4
TM Muy Alta					
CMET	5	111.4	66.8	125.7	152
TO	5	128.37	112.81	130.29	139.36

9.3.2 Resultados para ensayos de módulo de Young dinámico

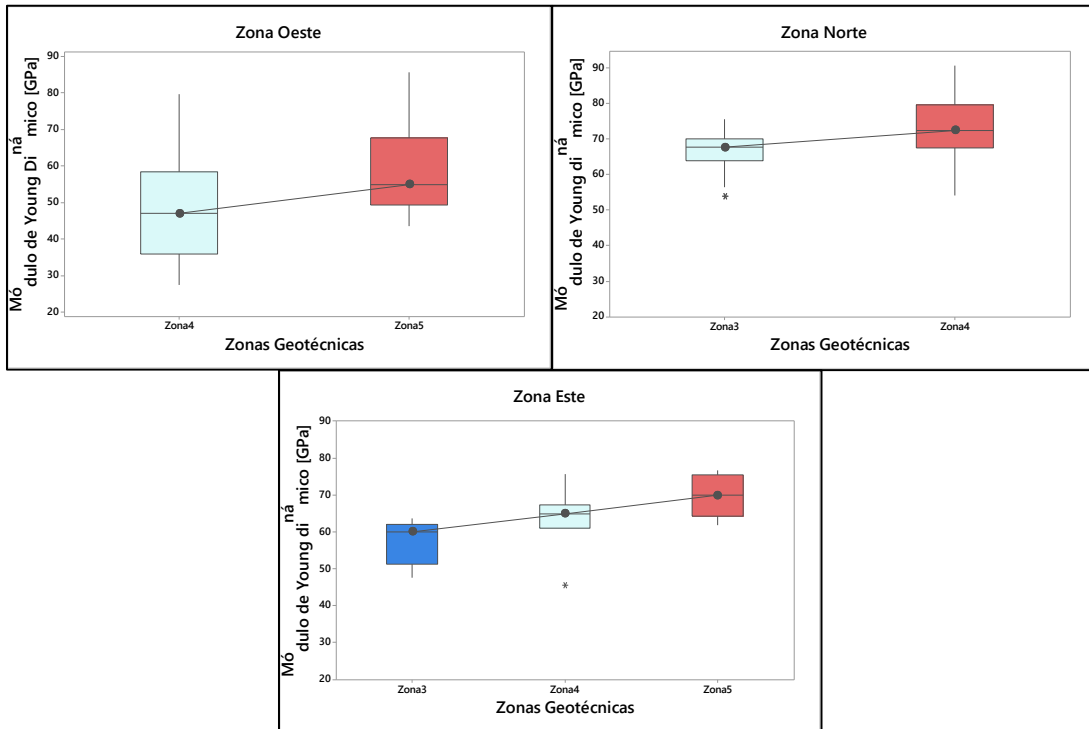


Figura 9.3 Relaciones entre ensayo de Módulo de Young dinámico y las zonas geotécnicas del yacimiento. Se observan tendencias similares, pero en distintos rangos para cada zona.

Tabla 9.30 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas geotécnicas del sector Oeste para Figura 8.3.

Zona Oeste					
Zona Geotécnica 4					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
BBS	12	34.02	27.5	35.16	41.05
BXANH	4	51.49	41.78	50.43	63.33
CMET	14	58.94	44.37	55.03	79.75
Zona Geotécnica 5					
BXANH	3	54.29	43.53	55.11	64.23
CMET	21	58.66	44.62	54.77	85.66

Tabla 9.31 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas geotécnicas del sector Este para Figura 8.3.

Zona Norte					
Zona Geotécnica 3					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
PDI	47	66.616	53.661	67.541	75.542
Zona Geotécnica 4					
CMET	76	73.73	54.07	72.91	90.46
PDI	9	70.22	64.47	70.86	74.51

Tabla 9.32 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas geotécnicas del sector Norte para Figura 8.3.

Zona Este					
Zona Geotécnica 3					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
TO	8	57.26	47.66	60.04	63.61
Zona Geotécnica 4					
BXANH	5	67.17	62.2	65.85	75.57
CMET	0	*	*	*	*
PDI	2	53.2	45.38	53.2	61.02
Zona Geotécnica 5					
CMET	6	72.66	68.73	72.74	76.62
TO	2	62.379	61.909	62.379	62.849

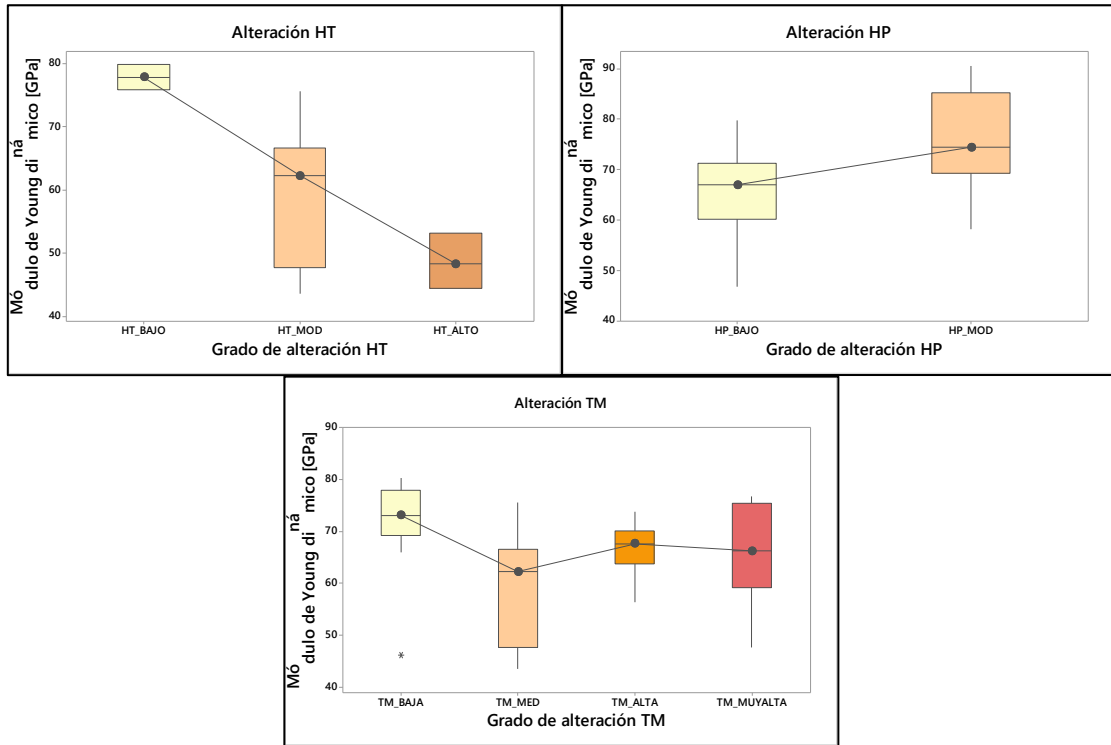


Figura 9.4 Relaciones entre ensayos de Módulo de Young dinámico y las zonas de alteración dentro del yacimiento. Se observan diferentes tendencias para cada zona y altas dispersiones en los datos.

Tabla 9.33 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas de alteración HT del yacimiento para Figura 8.4.

Alteración HT					
HT Baja					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
CMET	2	77.78	75.8	77.78	79.75
HT Moderada					
BXANH	7	62.07	43.53	64.93	75.57
CMET	2	47.671	47.171	47.671	48.172
HT Alta					
CMET	3	48.62	44.37	48.28	53.2

Tabla 9.34 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas de alteración HP del yacimiento para Figura 8.4.

Alteración HP					
HP Baja					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
BXANH	2	63.56	62.2	63.56	64.93
CMET	34	63.23	46.82	63.5	79.7
PDI	25	68.33	53.66	70.22	75.54
HP Moderada					
CMET	57	76.14	58.13	75.25	90.46
TO	3	62.447	61.849	61.882	63.609

Tabla 9.35 Datos de relación de Módulo de Young dinámico con zonas de alteración TM del yacimiento para Figura 8.4.

Alteración TM					
TM Baja					
Código Litológico	N	Media	Mínimo	Mediana	Máximo
CMET	11	71.4	46.09	73.06	80.23
TM Moderada					
BXANH	7	62.07	43.53	64.93	75.57
CMET	2	47.671	47.171	47.671	48.172
TM Alta					
BXANH	1	63.329	63.329	63.329	63.329
PDI	11	66.99	56.35	67.74	73.7
TM Muy Alta					
CMET	5	73.44	69.61	75.3	76.62
TO	5	57.06	47.66	61.91	62.85

