



**UNIVERSIDAD
MAYOR**

FACULTAD DE CIENCIAS, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Escuela de Geología

**EFFECTO EN MEZCLA MINERAL DE LÍNEAS SEMI-AUTOGENA Y
CONVENCIONAL PRODUCTO DE ESTALLIDO DE ROCA DE JULIO
2023 EN MINA SUBTERRÁNEA EL TENIENTE, CODELCO.**

Memoria para optar al Título de Geólogo en Universidad Mayor.

SEBASTIÁN ISMAEL SALAMANCA MOYA

Profesora Guía:

VALENTINA TOLEDO

Profesor Co-guía:

ÍTALO PAYACÁN

Comisión Evaluadora:

KATHERINE SALAZAR

Santiago de Chile, enero, 2024.

Índice

1.	Capítulo I: Introducción.....	5
1.1.	Generalidades.....	5
1.2.	Problemática.....	5
1.3.	Objetivos.....	6
1.3.1.	Objetivo General.....	6
1.3.2.	Objetivos Específico.....	6
1.4.	Metodología de trabajo.....	6
1.4.1.	Etapa Gabinete I.....	6
1.4.2.	Trabajo en terreno.....	6
1.4.3.	Etapa Gabinete II.....	6
2.	Capítulo II: Marco Teórico.....	7
2.1.	Marco geológico regional.....	7
2.1.1.	Rocas Estratificadas.....	7
2.1.2.	Rocas Intrusivas.....	10
2.1.3.	Estructuras.....	11
2.2.	Marco geológico distrital.....	12
2.2.1.	Unidades Litológicas.....	15
2.2.2.	Rocas Volcánicas.....	18
2.2.3.	Depósitos no Consolidados.....	18
2.2.4.	Geología Estructural.....	19
2.2.5.	Alteración y Mineralización.....	20
2.2.6.	Clasificación de microvetillas, vetillas y vetas.....	22
3.	Capítulo III: Características Geominerometalúrgica.....	24
3.1.	Descripción Zonas Geometalúrgicas.....	24
3.2.	Antecedentes Geometalúrgicos línea SAG y Convencional.....	25
3.2.1.	Línea SAG.....	26
3.2.2.	Línea Convencional.....	29
4.	Capítulo V: Evento Estallido de Roca julio 2023.....	31
4.1.	Definición Estallido de Roca.....	31
4.2.	Información básica.....	31
4.3.	Efectos dañinos principales.....	32

4.4.	Compensación en producción	35
5.	Capítulo IV: Software Power BI	36
5.1.	Uso y Características Principales.....	36
5.2.	Base de datos.....	38
5.3.	Proceso de mezcla en columna mineral	38
6.	Capítulo VI: Resultados mineralógicos y metalúrgicos.....	40
6.1.	Aporte mineral v/s ley cabeza general.....	40
6.2.	Aporte mineral v/s ley cabeza por sector y zona	42
6.3.	Aporte Sulfuros de Cu por línea de procesamiento.....	48
6.4.	Aporte Sulfuros de Cu por sector.....	49
6.5.	Aporte Sulfuros de Cu por zona geometalúrgica	50
6.6.	Aporte Arcillas por línea de procesamiento	52
6.7.	Aporte Arcillas por sector	53
6.8.	Aporte Arcillas por zona.....	54
7.	Capítulo VII: Análisis mineralógico y metalúrgico	55
7.1.	Análisis resultados gráficos aporte mineral vs ley cabeza	55
7.2.	Análisis resultados gráficos aporte mineralogía de Cu	56
7.3.	Análisis resultados gráficos arcillas	57
8.	Capítulo VIII: Conclusiones.....	59
	Referencias	61
	Anexos	63

RESUMEN

La mina subterránea El Teniente es explotada por medio del método Panel Caving, por causa de este método de explotación se genera progresivamente una fragmentación del macizo rocoso, por lo que a medida que avanza el hundimiento, se genera una mezcla entre la roca fragmentada in-situ y el material por sobre la columna de extracción del macizo roco que se define como material quebrado o “dilución”. Esta mezcla mineral es controlada por medio del modelo de bloques en el media y largo plazo y es complementada por la metodología de las zonas geometalúrgicas para el corto plazo en los Puntos de Extracción (PEX) de los diferentes sectores productivos de la mina subterránea. Sin embargo de manera espontanea e imprevista se producen eventos sísmicos de diferentes magnitudes por causa del avance de los diferentes niveles productivos y también por la brusca liberación de energía acumulada durante el tiempo en las placas tectónicas.

Estos eventos sísmicos frecuentemente generan eventos de estallidos de rocas en uno o mas PEX por lo que, para la protección de trabajadores y protocolos mineros, es necesario el cierre parcial o total de los sectores productivos que son afectados por este estallido de roca, generando así una modificación en los planes de extracción de la mina subterránea en el corto y mediano plazo.

Es por este motivo que Superintendencia de Gestión Producción, de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo de División El Teniente CODELCO, propuso la implementación de una plantilla gráfica, por medio del software Power BI, para la visualización de estos cambios mineralógicos que se producen por medio de estos eventos inesperados.

Esta plantilla es implementada para todos los sectores productivos que alimentan a la línea de procesamiento SAG y CONV, por medio de datos mineralógicos de la cabeza en conjunto con las zonas geometalúrgicas ya implementadas desde el año 2018, para así lograr visualizar como estos cambios afectan a la producción total de la mina subterránea.

Este estudio tiene como objetivo principal identificar y analizar estos cambios mineralógicos, por medio de la compilación de diferentes bases de datos que son generadas por el análisis mineral desde el laboratorio de la división y posteriormente la generación de gráficos para poder interpretar en que medida estos cambios afectan en el producto final que alimenta a la planta de tratamiento y que posiblemente, si se generan estos cambios en el producto final previo a los procesos de la planta de tratamiento, se generen cambios durante y después del procesamiento mineral en la planta de procesamiento.

1. Capítulo I: Introducción

1.1. Generalidades

El yacimiento El Teniente, de la CORPORACION NACIONAL DEL COBRE DE CHILE (CODELCO), es una mina tipo pórfido Cu-Mo de tipo mixta, con explotación de rajo abierto y subterránea, con una de las producciones de Cu más altas a dentro de la minería nacional y reconocida nivel mundial por su larga trayectoria en la industria minera.

El Teniente comenzó a ser explotado desde los años 1905 hasta el año 2000 por el método de Hundimiento Gravitacional de Bloques o *Block Caving*. Posterior a esto y hasta la actualidad se utiliza el método de Hundimiento y Derrumbe de Paneles o *Panel Caving* (Rojas *et al.* 2001), el cual consta de utilizar el peso que ejerce el mismo material del cerro para facilitar quiebre en paneles provocando un colapso gravitacional y generando un hundimiento en la superficie que hoy se denomina como “Cavidad Teniente”, este cambio del método de explotación es debido al avance de las zonas de explotación de mayor profundidad y la mayor dureza de la roca que en el primer periodo mencionado.

El Teniente consta de 3 líneas de procesamiento mineral, las cuales son: línea Sewell, línea Semi-Autógena (SAG) y la línea Convencional (CONV). El material proveniente de la mina subterránea es procesado en la línea SAG o CONV y el material proveniente del rajo es procesado en la línea Sewell. La línea SAG es alimentada con el mineral de los sectores productivos Esmeralda (ES), Reservas Norte (NN), Pilar Norte (PI), Panel Reno (PR) y Panel Esmeralda (PE) mientras que en la Línea CONV es alimentada por los sectores Diablo Regimiento (DR), Dacita (DT) y Pacifico Superior (PS), todos estos sectores se encuentran alrededor de la Pipa Brecha Braden.

En mina subterránea el CuT (cobre total) es del orden de 0,85-0,92% las cuales han sido bastante estables a lo largo del tiempo es por este motivo que las recuperaciones de Cu van desde el 84,2-87,8% y la ley de concentrado 27,2-30,5% de sulfuros de Cu Reales, lo que se puede observar en conjunto que no existen grandes variaciones en el tiempo de estos parámetros de gran importancia para la minería.

1.2. Problemática

El evento sísmico que ocurrió el 24 de julio del año 2023 generó un estallido de roca lo que provocó una serie de modificaciones en el Plan de Actividades Mensuales (PAM) el cual entrega propuestas precisas utilizando las zonas geometalúrgicas, datos metalúrgicos y mineralógicos que son entregados por el laboratorio, por lo que se ha vuelto necesario visualizar, los cambios mineralógicos para su comprensión y entendimiento de forma dinámica y eficiente en los meses posteriores al estallido de roca y así observar la reapertura de los diferentes sectores productivos que fueron cerrados de forma total o parcial por causa de este evento u otro evento inesperado.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Identificar, graficar e interpretar cambios mineralógicos para mezcla en línea de procesamiento Semi-Autógena y Convencional, por causa de evento estallido de roca de Julio 2023.

1.3.2. Objetivos Específico

- Recopilar, filtrar y analizar datos mineralógicos y metalúrgicos de meses previos
- Analizar mezcla columna de extracción para línea SAG y CONV
- Visualizar variaciones mineralógicas por medio del programa Power BI
- Análisis datos de la cabeza en líneas de procesamiento mineral
- Interpretación de datos geominerometalúrgicos

1.4. Metodología de trabajo

1.4.1. Etapa Gabinete I

Revisión de bibliografía, procedimientos interior mina y procesamiento mineral en mina subterránea y planta, y reuniones con analistas de diferentes unidades para el entendimiento completo del proceso minero.

1.4.2. Trabajo en terreno

Observación y caracterización en puntos de extracción y metodología utilizada para el muestreo en sectores productivos, complementadas por salidas a terreno periódicas de diferentes sectores en mina subterránea.

1.4.3. Etapa Gabinete II

Análisis de datos mineralógicos y geometalúrgicos entregados por laboratorio para línea SAG y CONV mensuales.

Creación de plantilla en Power BI para la visualización de base de datos. Análisis de resultados en periodo septiembre 2022 a noviembre 2023 para observar, identificar y analizar los cambios que se produjeron por el evento de estallido de roca.

2. Capítulo II: Marco Teórico

2.1. Marco geológico regional

A escala regional, las rocas que afloran corresponden a secuencias de rocas volcánicas, estratificadas intercaladas con secuencias sedimentarias marinas y continentales. Estas rocas fueron intruidas por cuerpos plutónicos de composiciones principalmente acidas a intermedias y cuerpos hipoabisales de edad entre el Mioceno-Plioceno, que corresponden a batolitos, stocks, apófisis tabulares, brechas, brechas hidrotermales y diques (Figura 1)

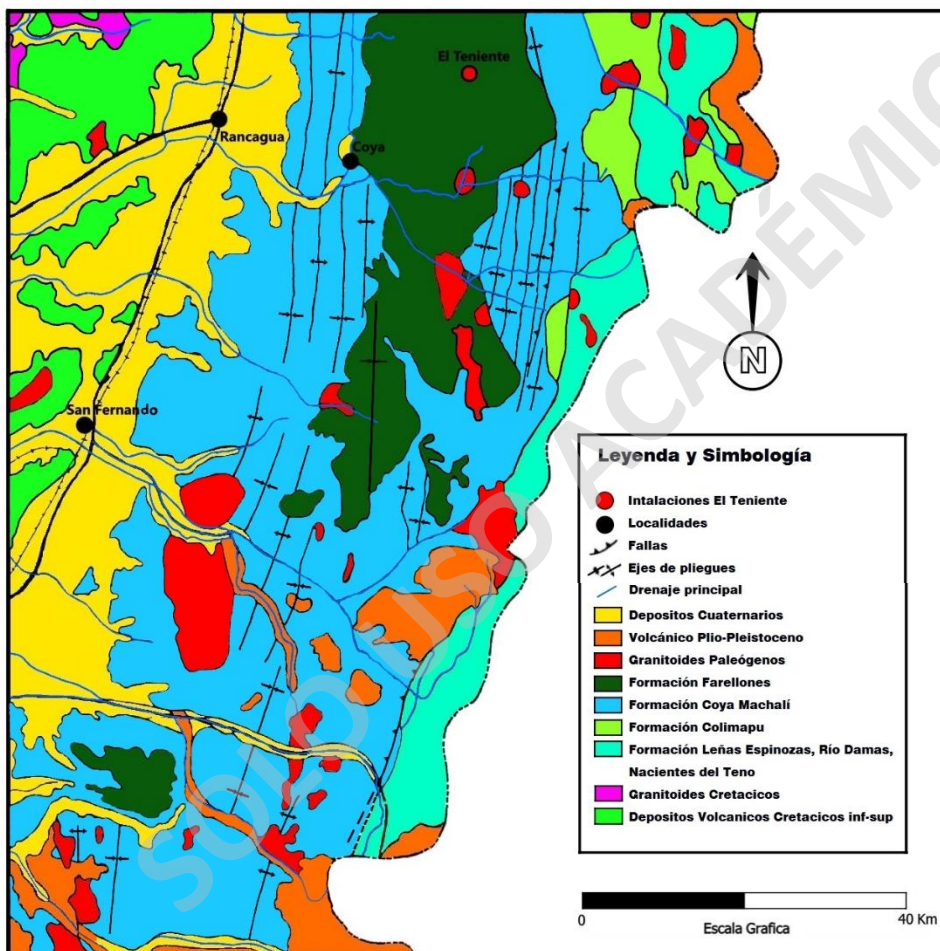


Figura 1: Mapa Geológico Regional (Modificado de Charrier *et al.* 1996)

2.1.1. Rocas Estratificadas

Formación Nacientes de Teno (Bajociano-Kimmeridgiano inferior): Definida por Klohn (1960), se compone de un conjunto de sedimentos marinos, organogénicos y químicos, con escasas intercalaciones de material piroclástico y abundante participación de sedimentos clásticos presentes principalmente al Este de la región. Corresponde a una sucesión de conglomerados,

arcosas, lutitas, calizas, margas, depósitos de anhidrita y yeso, y rocas piroclásticas. Subyace de manera concordante con la Formación Río Damas (Figura 1). Se subdivide en 2 miembros y 2 estratos, los cuales de mayor a menor profundidad son los Estratos Quebrada La Zorra clástico y calcáreo, y los Estratos Valle Villagra clásticos, los cuales en conjunto presentan una potencia aproximada de 950 m, el miembro Rinconada clástico y calcáreo, presenta una potencia de 450 m y el miembro Santa Elena evaporítico (yeso y anhidrita), con una potencia de 500-600 m. La edad de esta formación está representada por su contenido fosilífero (Klohn, 1960).

Formación Río Damas (Kimmeridgiano superior-Titoniano inferior): Definida por Klohn (1960), corresponde a rocas sedimentarias clásticas de origen continental con intercalaciones potentes de rocas volcánicas efusivas y explosivas y en menor medida por estratos de rocas sedimentarias químicas. Esta se encuentra principalmente al Este de la región. Esta formación representa el término del ciclo regresivo evidenciado por la presencia de rocas sedimentarias clásticas y potentes unidades de rocas volcánicas, por lo que sobreyace de manera concordante con la Formación Nacientes del Teno y Subyace también de forma concordante con la Formación Leñas-Espinozas y Baños del Flaco. Se compone predominantemente por areniscas rojas con facies arcillosas y tobífeas, conglomerados, brechas de andesita con matriz arenosa, brechas efusivas y areniscas calcáreas. Su potencia es en promedio 3000 m pero va desde los 1000 m a 5550 m. La edad de esta formación está representada por estratigrafía que se encuentra sobre estratos marinos del Titoniano inferior y por sobre la Formación Nacientes del Teno de edad Kimmeridgiano inferior.

Formación Leñas-Espinoza (Kimmeridgiano superior-Titoniano inferior): Definida por Klohn en 1960 y posteriormente redefinida por Charrier en 1981. Corresponde a una secuencia sedimentaria separada en dos miembros, el miembro inferior de tipo detrítico compuesto principalmente por areniscas finas y conglomerados y el miembro superior de tipo calcáreo fosilífero compuesto por areniscas calcáreas y calizas. Los afloramientos se encuentran de N a S en el sector oriental de la zona de estudio, pero son restringidos. El contacto inferior es desconocido (Charrier, 1981) y subyace tanto a la Formación Coya-Machalí de manera discordante como a la Formación Baños de Flaco con contacto gradual, y contacto por falla con la Formación Río Damas. El promedio de potencia en ambos miembros es en conjunto 1200 m. La edad del miembro superior está representada por la amplia fauna fosilífera de diferentes niveles de edad Titoniano inferior, medio y superior (Klohn, 1960) y el miembro inferior por estratigrafía representa el Kimmeridgiano superior.

Formación Baños del Flaco (Titoniano-Hauteriviano): Definida por Klohn (1960) y posteriormente redefinida por Charrier (1981). Corresponde a una secuencia de estratos marinos fosilíferos compuesto por calizas, calizas arenosas, margas, areniscas calcáreas y en menos proporción por rocas de origen detrítico y volcánico como conglomerados, lutitas, lutitas carbonosas, brechas, tobas y lavas. Se encuentra principalmente ubicado en el valle del río Tinguiririca y orientada N-S. Esta sobreyace de manera concordante y gradual a la Formación Río Damas y Leñas-Espinozas y subyace a la Formación Colimapu de forma concordante, adicionalmente en algunos sectores se encuentra su límite superior erosionado y sobreyacido de manera discordante con la formación

Coya-Machalí. El espesor de esta formación es variable de 1100 a 2300 m aproximadamente debido a que esta rellena las depresiones geográficas. La edad está representada por su contenido fosilífero en los estratos marinos que entran una edad que oscila en el rango Titoniano-Hauteriviano (Corvalan, 1965; Tavera, 1972).

Formación Colimapu (Barremiano-Albiano): Definida inicialmente por Klohn (1960) y redefinida por Charrier (1981). Corresponde a una secuencia de estratos de roca volcano-sedimentarias compuesto por areniscas tobíferas rojizas, lutitas tobíferas (presencia de grietas de desecamiento) y tufitas rojas, estos presentan en menor proporción intercalaciones con conglomerados, brechas, lavas andesíticas, calizas y capas de yeso indicando el ambiente predominante continental. Se divide en dos miembros, el miembro inferior principalmente sedimentario (areniscas finas y calizas) y el miembro superior principalmente volcánico (tobas, lapilli e ignimbritas). Sobreyace a la formación Baños del Flaco de manera concordante y subyace a la Formación Coya-Machalí en discordancia erosiva. El espesor medio de esta formación es de 1500 m en su miembro inferior y 1600 m en su miembro superior. El origen de esta formación se atribuye con el segundo ciclo continental asociado al alzamiento que ocurrió durante el Barremiano-Albiano (Charrier, 1973).

Formación Coya-Machalí (Eoceno Superior-Mioceno Inferior): Definida por Klohn (1960). Corresponde a una intercalación de rocas exclusivamente continentales entre las cuales se encuentran rocas sedimentarias límnicas como areniscas medias y finas, capas finas carbonosas, limolitas, lutitas y conglomerados medios y rocas volcánicas principalmente andesitas basaltos porfíricos, traquitas, lavas brechozas y tobas brechozas. Esta formación sobreyace discordantemente a la formación Colimapu sin embargo en algunas zonas cubre a formaciones más antiguas como la formación Baños del Flaco, Leñas-Espinoza, Río Damas y Nacientes del Teno; subyace a la formación Farellones en discordancia angular. El espesor de esta formación se estima en 3000 m por medio del conjunto de perfiles parciales en la zona. La formación Coya-Machalí constituye la primera secuencia sedimentaria depositada discordantemente sobre los estratos cretácicos más antiguos afectado por la primera etapa de plegamiento, y posteriormente mediante dataciones de K-Ar se determinaron edades de 20,5-23,1 Ma (Charrier y Munizaga, 1979).

Formación Farellones (Mioceno Superior): Definida por Klohn (1960). Está constituida por una secuencia de roca volcánicas y su base rocas sedimentarias continentales de origen límnic, en la parte inferior se encuentran calizas, lutitas, limolitas y areniscas volcánicas, mientras que hacia el techo presenta tufitas brechozas y conglomeradas, riolitas, basaltos, andesitas, tobas y brechas conglomeradas y tobíferas. Thiele y otros (1991) postularon que estas secuencias se habrían acumulado en un graben volcánico-tectónico, formado a partir de una serie de colapsos de calderas, basado en la presencia de fallas normales las cuales están delimitando la formación Farellones. El espesor total de esta formación es de 2500 m, de los cuales tres cuartas partes corresponden a rocas volcánicas y una cuarta parte a rocas sedimentarias. La formación Farellones sobreyace en discordancia angular sobre la formación Coya-Machalí (Klohn, 1960; Charrier, 1973, Thiele y otros, 1991) y su techo es la actual superficie de erosión mientras que en algunos sectores subyace en discordancia a la formación Colón-Coya. La edad de esta formación está delimitada por

dataciones radiométricas K-Ar que indicaron edades de 4,13-14,3 Ma (Charrier, 1983), asignándola así al Mioceno medio-superior. Esta es la roca madre donde se emplaza el yacimiento El Teniente.

Formación Colón-Coya (Plioceno-Pleistoceno): Identificada primerizamente por Enrione (1972) y posteriormente definida como una formación por Gómez (2001). Se caracteriza por componerse por un conjunto de lahares de granulometría heterogénea, insertos en una matriz arcillo-cinerítica, con intercalaciones locales de piroclastos, cenizas, capas delgadas de lavas andesíticas, y gravas fluviales, antiguamente rellenando la topografía del valle. El espesor de este depósito varía desde pocos centímetros a 150 m. Los afloramientos se disponen de manera discordante sobre la formación Farellones y Coya-Machalí y el techo de esta formación corresponde a la actual superficie de erosión. La edad de esta formación está determinada por dataciones radiométricas K-Ar que indican edades de 2,3-1,3 Ma, obtenidas por Charrier y Munizaga (1979) y coincidentes con Cuadra (1989), situándole así en el Plioceno-Pleistoceno.

Depósitos no consolidados (Cuaternario): Están representados principalmente por los sedimentos de la red de drenaje principal que está constituida por los ríos Maipo, Cachapoal, Tinguiririca y Teno, que corresponde a depósitos fluviales, lacustres, glacio-fluviales y en menor proporción aluviales.

2.1.2. Rocas Intrusivas

Las rocas intrusivas a nivel regional, donde se emplaza el yacimiento El Teniente, se disponen en orientación N-S intruyendo las formaciones del Mioceno principalmente la formación Farellones y Coya-Machalí (Skewes, 2002) Estas rocas presentan un carácter plutónico e hipabisales tales como stocks, batolitos, filones y cuerpos menores (diques y apófisis) (Charrier, 1981). También, presentan una gran variabilidad composicional y en edad, y siendo las litologías más comunes granodioritas de hornblenda y biotita, pórfidos dioríticos-andesíticos, monzonitas, monzodioritas y pórfidos dacíticos. Se han reconocido grupos de intrusivos como complejos ígneos del Oligoceno superior-Mioceno superior (Falcon y Rivera, 1998) y según relaciones de contactos Stewart y Araya (1972) le han asignado una edad relativa posterior a la Formación Farellones, por otro lado, Kurtz y otros (1997) agrupan estos cuerpos en tres unidades según edades Ar/Ar.

Tabla 1: Cuadro resumen de las Formaciones de los Andes de Chile Central, extraído de Toledo, 2018, modificado de Charrier, 1981.

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

- Complejo Plutónico Antiguo (Mioceno Inferior): Edades entre $21,6 \pm 4,9$ y $16,2 \pm 1,2$ Ma.
- Complejo Plutónico El Teniente (Mioceno Medio – Mioceno Superior): Subdividido en dos sub-unidades, la primera de 12 Ma ($12,4 \pm 2,5$ y $11,3 \pm 0,3$ Ma) y el segundo de 8 Ma ($8,8 \pm 0,1$ y $7,7 \pm 0,1$ Ma).
- Complejo Plutónico Joven (Mioceno Superior): Edades entre $6,6 \pm 0,1$ y los $5,5 \pm 0,2$ Ma.

2.1.3. Estructuras

Fallas: Según Falcón y Rivera (1998) existen diferentes zonas de fallas las cuales se pueden agrupar en 7 grupos, las cuales afectan a la cordillera de la Costa y a la Cordillera de Los Andes con un rumbo de N30°W. En sectores cercanos a El Teniente se tiene la zona de falla Piuquencillo, ubicada al norte de este, el sistema de falla El Azufre, en el centro, y el sistema de falla Juanita hacia el sur (Rivera y Cembrano, 2000). Estas fallas son las responsables del truncamiento de los pliegues en la Formación Farellones.

Pliegues: Según Klohn (1960) en el sector existen pliegues anticlinales y sinclinales con una tendencia de sus ejes de plegamiento NS. Además, estos se presentan levemente buzantes hacia el Sur (Rivera y Falcón, 2000). La continuidad de estos pliegues esta acotada por una zona de falla de

rumbo N30°W (Rivera y Falcón, 2000). En la zona de emplazamiento del yacimiento el plegamiento presenta un estilo, tanto sinclinal como anticlinal suave con inclinación promedio de sus flancos de 10-15°, afectando principalmente a la Formación Farellones.

2.2. Marco geológico distrital

El yacimiento El Teniente se inserta a nivel regional, en rocas del Mioceno Superior de la Formación Farellones (Klohn, 1960). Ésta corresponde a una secuencia de al menos 2.400 m de potencia, de lavas intermedias a ácidas y rocas piroclásticas intercaladas con areniscas, lutitas y tufitas y capas finas de calizas. A nivel más local, esta formación posee tobas, brechas volcánicas y flujos lávicos andesíticos y basálticos, donde ocurren, además, numerosas intrusiones tipo filones mantos (sills) de la misma composición.

Hospedado mayoritariamente en minerales sulfurados hipógenos (calcopirita, bornita y molibdenita), y ocurre principalmente como relleno de vetillas (90%) y como cemento en brechas (10%) magmático-hidrotermales de biotita, anhidrita, cuarzo y turmalina, además, y en menor proporción, diseminada en la matriz de cuerpos intrusivos félsicos (Cuadra, 1986).

Estas rocas son intruidas por pulsos magmáticos de composición intermedia (Kay y otros, 1999). En el sector del yacimiento, las rocas estratificadas son intruidas, en primera instancia, por el Complejo Máfico El Teniente (CMET), y posteriormente, por cuerpos intrusivos de composición félsica (Ossandón, 1974; Skewes, 2000). En los contactos entre los intrusivos se identifican brechas, ígneas y magmático-hidrotermales, que son intruidas por la Brecha Braden (Camus, 1975). Luego, diques lamprófidos tardíos cortan a estas unidades, indicando el fin de los eventos mineralizadores (Cuadra, 1986). En las figuras siguientes se muestran las edades radiométricas obtenidas por diferentes autores tanto para el yacimiento (Figura 3) como para sectores prospectivos cercanos al yacimiento (Figura 4).

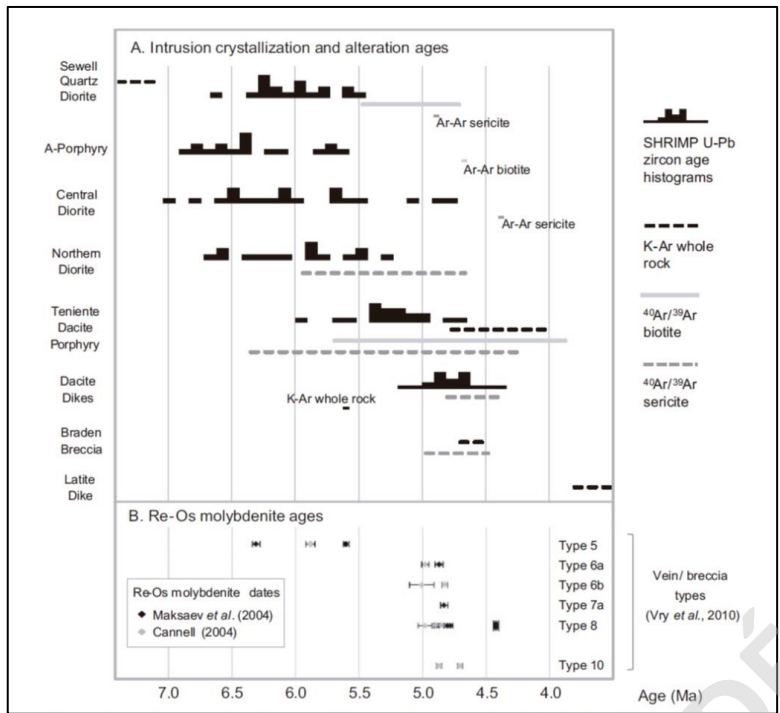


Figura 2: Cuadro de Geocronología compilada para edades de cristalización de intrusivos y mineralización de molibdenita, Yacimiento El Teniente (Spencer *et al.* 2015).

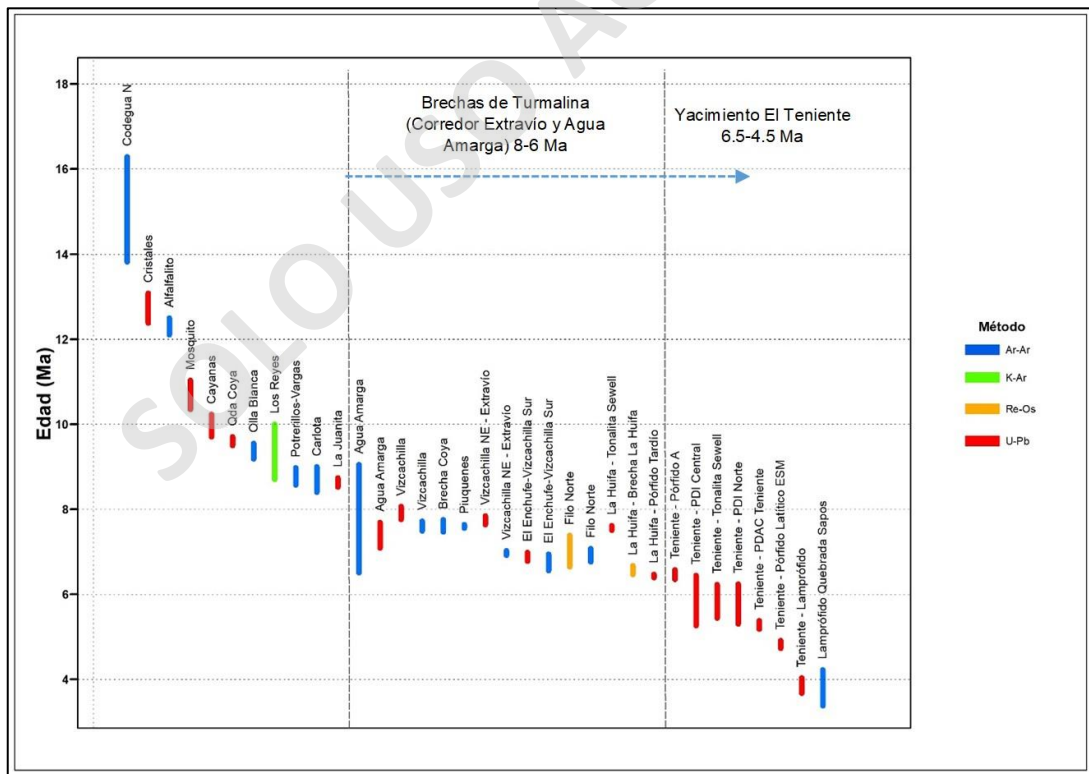


Figura 3: Cuadro comparativo edades radiométricas distrito El Teniente (compilado EMSA 2021)

El concepto de CMET fue introducido por Skewes et al. (2002), y corresponde a la unidad litológica de mayor volumen en el yacimiento, donde se aloja el 80% de la mineralización cuprífera (Camus, 1975). Se extiende verticalmente en forma de lacolito, de más de 2 km² (Munizaga y otros, 2002). Corresponde a un complejo subvolcánico de composición básica y afinidad toleítica (Skewes, 1997), donde se agrupan gabros, diabasas, pórfidos basálticos y andesíticos. Se incluyen en este grupo a brechas de matriz biotítica.

En el yacimiento, se define, además, un complejo intrusivo félsico constituido por un conjunto de intrusivos tabulares, subverticales de edad miocena a pliocena, con afinidad calcoalcalina y contenidos mayores al 56% de SiO₂ (Rabbia y otros, 2001), que presentan formas de apófisis tabulares, diques y stocks que presentan un claro control estructural de rumbo N-S a NNW en su emplazamiento, estos son; Tonalita, Pórfido Dacítico, Pórfidos Dioríticos, Pórfido Diorítico Grueso, Pórfido Microdiorítico y Pórfido Latítico (Figura 5).

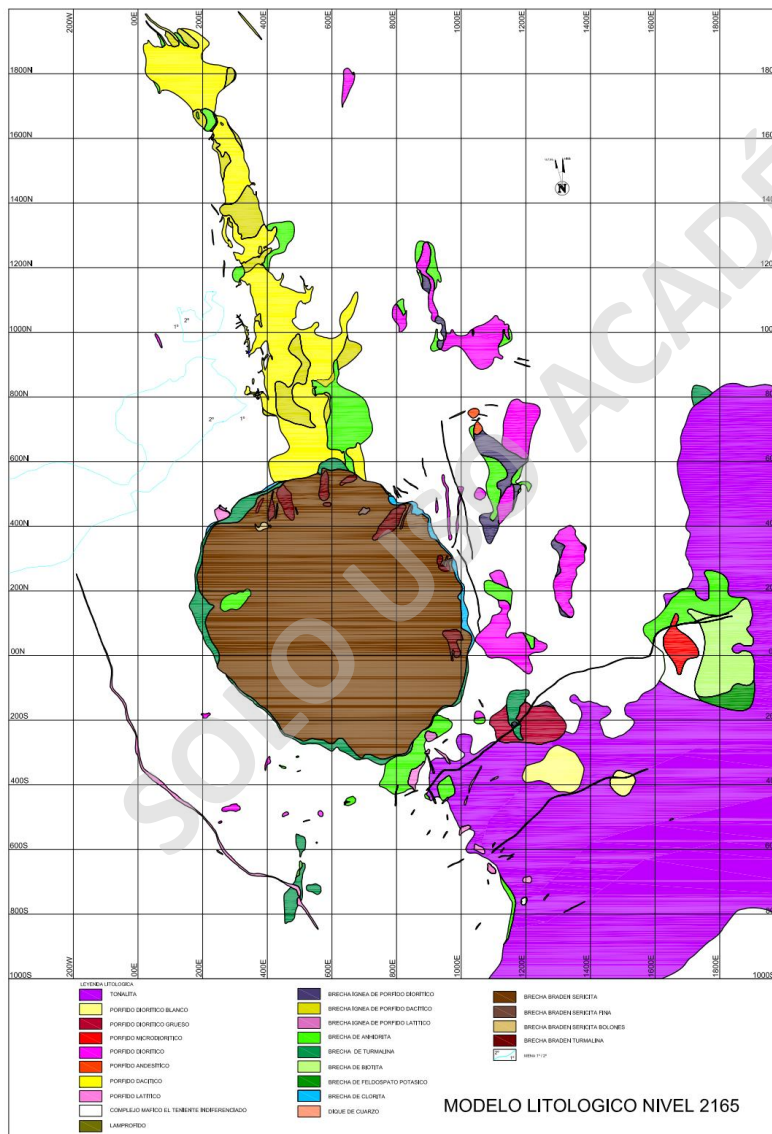


Figura 4: Modelo Litológico nivel 2165, GRMD, SGP.

En el yacimiento se reconocen, además, numerosos cuerpos de brecha tanto ígnea como de carácter magmático-hidrotermal que se desarrollan preferentemente adosadas a los cuerpos intrusivos y en contacto con el CMET, también se reconocen cuerpos aislados. Presentan espesores centimétricos hasta decenas de metros y su génesis ocurre desde las etapas más tempranas hasta las más tardías dentro de la evolución del yacimiento. Las brechas ígneas se clasifican según la litología de la matriz y en el caso de las brechas hidrotermales, estas se clasifican según la mineralogía de la matriz/cemento.

Finalmente, la brecha Freatomagmática Braden corresponde a una chimenea volcánica originada por la expulsión de gases que fragmentan la roca de caja. Tiene forma de cono invertido sub circular de 1.200m de diámetro y con una profundidad reconocida de más de 2.150 m, desde la superficie. Su edad se estima en 4,7 a 4,5 Ma (Cuadra, 1986). En su interior se reconocen variados tipos de brechas clasificadas según su tamaño, selección y abundancia relativa de los clastos además del tipo de alteración de fondo predominante, y, por el contenido de turmalina y sulfuros en el cemento. Estas variedades de brecha se describen en detalle en el presente capítulo agrupadas bajo el nombre de “Complejo de Brechas Braden”.

2.2.1. Unidades Litológicas

- Complejo Máfico El Teniente

Bajo este nombre se agrupan: diabasas, gabros y pórfidos basálticos que se han descrito regularmente como “andesita”. Esta unidad es un complejo subvolcánico de composición básica que tiene una extensión vertical de más de 4 km. Corresponde a la roca de más amplia distribución en el yacimiento de color pardo oscuro a negro. Estas rocas alojan el 80% de la mineralización de El Teniente y presentan diferentes grados de biotitización que obliteran, en forma macroscópica, las características texturales originales.

- Lamprófido

Corresponde a cuerpos tabulares de color gris verdoso, de textura porfídica fina con fenocristales aciculares de hornblenda, en una masa fundamental traquítica compuesta por microlitos de augita y labradorita. Cortan las rocas máficas, Diorita Sewell y a la Chimenea de Brechas Braden, con contactos nítidos. Dataciones K-Ar en roca indican una edad de 3,8 a 2,9 Ma (Cuadra, 1986 y Godoy, 1993).

- Tonalita

Corresponde a un stock de aproximadamente 200 Km² ubicado en la mitad sur este del yacimiento, intruyendo al Complejo Máfico El Teniente. La edad fue determinada mediante dataciones radiométricas K/Ar, asignado una edad al intrusivo de 7,1±1,0 Ma. (Cuadra, 1986) y otras mediante dataciones ⁴⁰Ar/³⁹Ar en biotita, indican una edad de 5,47 ± 0,12 Ma a 5,63 ± 0,12 Ma. (Maksaev & otros 2004.)

- Pórfido Dacítico

Corresponde a un cuerpo tabular, subvertical, que intruye al Complejo Máfico El Teniente, presenta una orientación norte-sur, ubicado en el sector norte del yacimiento. Presenta contactos tanto nítidos, irregulares y brechosos. Hacia el sur, se encuentra truncado por la Chimenea Braden. Dataciones U/Pb en circón, indican edad de cristalización de $5,28 \pm 0,10$ Ma (Maksaev & otros, 2004).

- Pórfido Diorítico

Se compone por una serie de stocks y diques menores, de gran extensión en la vertical, que se orientan en dirección N30°W en la parte norte y central del yacimiento. La edad determinada por dataciones radiométricas U/Pb en circón, indican una edad de cristalización de $6,11 \pm 0,13$ Ma a $6,28 \pm 0,16$ Ma (Maksaev & otros, 2004), reconociéndose en el contacto con el Complejo Máfico El Teniente la generación de brechas hidrotermales y/o brechas ígneas.

- Pórfido Diorítico Grueso

Se ubica en el sector sur del yacimiento, se presenta como un cuerpo pseudoesférico con leve elongación E-W, definido formalmente por Spröhnle como Pórfido "G" en el año 1990. Hacia el norte y oeste, este cuerpo se encuentra en contacto neto con el Complejo Máfico El Teniente (CMET), mientras que hacia el sur y sur-este, su contacto es gradual con el Pórfido Diorítico. En su centro, en dirección norte-sur, aparece una brecha de turmalina con menor anhidrita y cuarzo que la corta en casi toda su extensión. también es cortada por el lampróvido.

- Pórfido Diorítico Blanco

Se presenta como cuerpo de forma subesférica, con contactos difusos con la Tonalita. Corresponde a una zona de intensa alteración cuarzo sericítica y en menores contenidos de arcillas.

- Pórfido Microdiorítico

Corresponde a una microdiorita (ex Pórfido A, ex Pórfido Gris) que se ubica en el sector central-este del depósito, tiene contactos con la Tonalita y con el Complejo Máfico El Teniente. Diorita de grano fino, con abundantes xenolitos de andesita y cúmulos de biotita (Arredondo, 1994) y brecha ígnea de textura fanerítica de grano fino con clastos de CMET y Tonalita (Hitscheld, 2006). Dataciones U/Pb en circón, indican una edad de cristalización de $6,46 \pm 0,11$ Ma (Maksaev & otros, 2004).

- Pórfido Andesítico

Se ubica en el socavón de acceso del nivel Sub-6. Posee una textura porfídica gruesa. Se encuentra en contacto con un pórfido diorítico, generando abundantes brechas ígneas y de anhidrita en su periferia.

- Pórfido Latítico

Ocurre normalmente como filones de escasa potencia (2 a 6m) conformando cuerpos de cierta magnitud en profundidad, en la parte sur del depósito, por lo general concéntricas en torno al Complejo de Brechas Braden. Se han datado latitas en 4,8 a 4,4 Ma (Maksaev et. al., 2001) y 5,3 a 4,8 Ma (Cuadra 1992). Se destaca un cuerpo en la parte noroeste, adosado a la Brecha Braden que se desarrolla a partir del nivel Ten-6 y que en profundidad alcanza un diámetro mayor a 100m.

- Brechas Ígneas

Las brechas ígneas se formaron producto de la brechización generada por el emplazamiento de los diferentes cuerpos intrusivos del yacimiento, desarrollando potencias desde algunos centímetros a decenas de metros. Las brechas ígneas se clasifican de acuerdo a la litología de la matriz. Se destacan brecha ígnea de CMET, brecha ígnea de Pórfido Dacítico, brecha ígnea de Pórfido Diorítico y brecha ígnea de Tonalita.

- Brechas Hidrotermales

Las brechas hidrotermales se encuentran clasificadas de acuerdo al mineral dominante contenido en el cemento-matriz. Destacan la Brecha de Anhidrita, Brecha de Cuarzo, Brecha de Turmalina, Brecha de Biotita, Brecha de Sericita, Brecha de Clorita y Brecha de Sulfuros.

Las Brechas de Anhidrita se desarrollan preferentemente en los contactos de los pórfidos que instruyen al complejo Máfico El Teniente, incorporando fragmentos de máfico y de pórfido. Es habitual que presenten leyes de cobre más altas que su entorno. Estos cuerpos presentan zonación a Brecha de Cuarzo a niveles más profundos.

Existen dos unidades de brechas hidrotermales de Turmalina en los sectores Isla y Diablo Regimiento, que fueron formadas en las etapas tardías de la evolución de El Teniente y presentan características destacables por su contenido de arsénico por sobre las 500 ppm.

La Brecha de Biotita se encuentran asociadas a la alteración biotítica tardimagmática. Se ubica en la Tonalita hacia la coordenada 100S, donde la biotita está como un cemento con cristalización euhedral tipo pegmatita, en asociación con feldespato potásico y actinolita.

- Complejo de Brechas Braden

Corresponde a una chimenea volcánica originada por la expulsión de gases que fragmentan la roca de caja. Tiene forma de cono invertido sub circular de diámetro de 1.200 m y profundidad de más de 2.150 m, desde la superficie. Su edad se estima en 4,7 a 4,5 Ma (Cuadra, 1986). La brecha se constituye de fragmentos redondeados a subredondeados, polimicticos en una matriz de polvo de roca y cemento de sericita con cantidades menores de turmalina, calcita y sulfuros (pirita). Existen en su interior una diversidad de unidades definidas por variaciones en el tamaño, selección y abundancia relativa de los clastos, y por el contenido de turmalina en el cemento, estas son: Brecha Braden Sericita, Brecha Braden Sericita Fina, Brecha Braden Sericita Bolones, Brecha

Braden Clorita, Brecha Braden Turmalina, Brecha Braden Turmalina Bloques. Existen otras unidades de brecha en su borde.

2.2.2. Rocas Volcánicas

Corresponden a rocas extrusivas asignadas a la porción superior de la Formación Farellones, de edades entre 15,2 y 7,5 Ma (Skewes et al., 2002). Son consideradas las rocas más antiguas que rodean el depósito de afinidades toleíticas a calcoalcalinas, de medio a alto K (Key et al., 2005). Litológicamente son flujos lávicos de composiciones andesíticas a basálticas intercalados con capas de piroclastos y aglomerados (Camus, 1975). Dentro de las más comunes se encuentran las Tobas, Brechas volcánicas y Andesitas, reconocidas en el sector oeste del Pórfido Dacítico, sector noreste de la Tonalita y Rajo Sur.

- Tobas

Corresponde a una roca clástica, conformada por una matriz generalmente afanítica, y ocasionalmente de composición andesítica, que incorpora contenidos variables de líticos volcánicos y otros indeterminados, alterados predominantemente a albita, otros a clorita-epidota-magnetita y texturas volcánicas de flujo, amigdaloidal y vesicular.

- Andesitas

Roca volcánica de composición intermedia con textura porfídica y masa fundamental afanítica, que varía a cristalina, con fenocristales de plagioclasa. Generalmente están en contacto con tobas y en menor grado con CMET.

- Brechas volcánicas

Brecha matriz soportada con una alta variabilidad en el tamaño de los clastos con formas subangulares a subredondeados. Los tipos de clastos corresponden a andesita, limolitas volcanoclásticas y areniscas, entre otros clastos muy alterados.

2.2.3. Depósitos no Consolidados

- Talus

Como talus se nombran aquellos depósitos cuaternarios coluviales, aluviales, aluvionales y glaciares que rellenan los valles de origen glacial.

- Ferrocreta

La ferrocreta corresponde a depósitos cuaternarios no consolidados que posteriormente fueron cementados de manera parcial o totalmente con óxidos de hierro.

- Material de Cavidad

La extracción histórica del mineral en El Teniente ha dejado como remanente material quebrado con tamaños tipo bolones, gravas, arenas y arcillas. Este material habitualmente está mineralizado.

2.2.4. Geología Estructural

En nivel distrital, existe una zona compleja de cizalle denominada Zona de Falla El Teniente (ZFT) con una orientación aproximada de N65°E con un largo de 14 km y ancho de 3 km 8 (Figura 6) (Garrido, 1992).

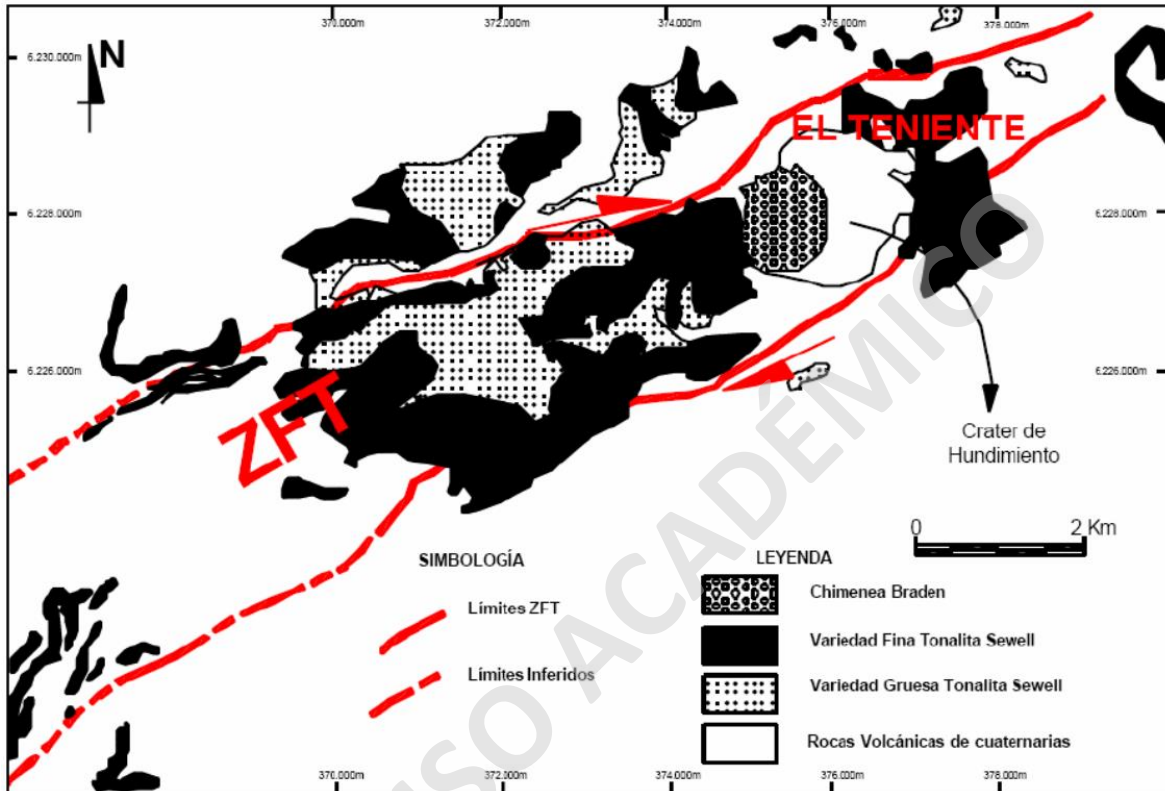


Figura 5: Distribución Regional Zona de Falla El Teniente. Extraída de (Tapia, 2005)

La ZFT es un sistema de estructuras con tres direcciones preferenciales, N46°E y N64°W, ambas de manto sub-vertical y N20°E, con disposición en echelón con respecto a las anteriores. En este sistema se reconocen diques, fallas, diaclasas y vetillas, siendo el resultado del tectonismo regional de tipo compresivo-extensivos generado por un esfuerzo EW, el que dio origen a un sistema de fallas y diaclasas NE y NW y por relajación elástica posterior a la compresión, se daría origen a diaclasas e intrusiones NS (Reyes, 1979).

En El Teniente las estructuras geológicas se clasifican de acuerdo a su traza conocida, espesor y tipo de relleno. En la mena primaria las estructuras se caracterizan por encontrarse selladas y abundan las estructuras pequeñas, que conforman un denso enrejado, por sobre las estructuras grandes. En la mena secundaria, ubicada hacia sectores altos del yacimiento, el agua ha lixiviado algunos minerales cambiando las propiedades originales de las estructuras, lo que trae como consecuencia la eliminación del sello natural, permitiendo la circulación de agua.

Las estructuras se han clasificado de acuerdo a su persistencia y estas también son clasificadas como fallas o vetillas. Entre estas últimas se reconocen vetillas Tardimagmáticas, Principales y Tardías.

TIPO DE ESTRUCTURA	PERSISTENCIA	EXPRESION MINA
Estructuras Distritales	Traza > 1Km	Atraviesa el Distrito
Estructuras Maestras	Traza > 500 m	Cruza varios niveles
Estructuras Mayores	100m < Traza < 500m	Visible en 3 o más labores
Estructuras Intermedias	4m < Traza < 100m	Cruza 1 labor
Estructuras Menores	Traza < 4m	No cruza labor

Tabla 2: Clasificación de estructuras según persistencia, El Teniente.

- Fallas Principales

El yacimiento muestra un juego principal de fallas maestras de orientación nor-este y desplazamiento en el rumbo, fallas N, N1, N2 en el sector norte y P, P1 en el sector sur. Tienen espesores de 5 a 120cm con corridas reconocidas en las labores de 100 y 500m.

- Diques de Guijarros

Se concentran en la mitad oeste del yacimiento, hacia la coordenada 700E. Tienen espesores que varían de 0.2 a 2m y corridas de 50 a 200m. En algunos casos sus rellenos son blandos y pueden generar inestabilidades en galerías y piques.

- Diques de Lamprófidio

Cuerpos que se ubican al sur de la Chimenea de Brechas Braden, con potencia variable de 1 a 2 m, manteo sub vertical y alta continuidad en el rumbo. Pueden generar inestabilidades en galerías y piques.

- Diques de Cuarzo y Anhidrita

Abundan en la parte norte y oeste del depósito con espesores que varían de 0.2 a 3 m. En general, no desarrollan halo de alteración en la roca de caja y sus contactos son tajantes.

2.2.5. Alteración y Mineralización

Todas las unidades litológicas ya descritas de la mina están, en diferentes grados, sometidas a modificaciones en su composición química y mineralógica original, por causa de la circulación de aguas a altas temperaturas. Este proceso denominado alteración hidrotermal en la roca, es el responsable de la concentración de minerales de interés económico que junto a otros conforman el yacimiento.

El depósito es el resultado de al menos ocho eventos de deformación, siete etapas de alteración y mineralización sulfurada.

La clasificación de alteración ha dado origen a vetillas Tardimagnéticas, Principales y Tardías, que representan la evolución hipógena del yacimiento.

Etapa Pre-Tardimagnética

Tabla 3: Tabla características generales etapa pre-tardimagnética.

Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración calco sódica que se presenta en cúmulos o en halos de vetilla.	Cuarzo, Albita, Magnetita y en menor medida actinolita-clorita, epidota.	Eventos tempranos de alteración y mineralización del yacimiento.

Etapa Tardimagnética

Tabla 4: Tabla características generales etapa tardimagnética.

Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración potásica en forma masiva como biotitización del Complejo Máfico, vetillas con cuarzo, biotita, anhidrita y feldespato potásico y en menor grado pertitización en intrusivos félsicos.	Biotita, cuarzo, anhidrita, feldespato potásico (pertita). Calcopirita, bornita, pirita, molibdenita.	Consolidación de los intrusivos.

Etapa Hidrotermal Principal

Tabla 5: Tabla características generales etapa hidrotermal principal.

Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
Alteración filica desarrollada a partir de vetillas de sulfuros, generando halos de alteración de cuarzo, sericita y clorita de ancho variable.	Cuarzo, sericita, clorita, anhidrita. Calcopirita, pirita, molibdenita.	Reacción de los fluidos Tardimagnéticos con las aguas meteóricas

Etapa Hidrotermal Tardía

Tabla 6: Tabla características generales etapa hidrotermal tardía.

Características Generales	Mineralogía Principal	Relacionado a
---------------------------	-----------------------	---------------

Alteración Fílica desarrollada en halos de vetillas y bordes de clastos en Brechas de Turmalina. Se desarrolla a partir de la Brecha Braden, extendiéndose a unos 100 o 150 m en una zona concéntrica a esta.	Anhidrita, cuarzo, sericita, turmalina, yeso, carbonatos, clorita. Calcopirita, bornita, pirita, molibdenita, tenantita.	Fluidos hidrotermales asociados al desarrollo del Complejo de Brechas Braden.
---	---	---

2.2.6. Clasificación de microvetillas, vetillas y vetas

Las microvetillas son estructuras de ancho inferior a 1 mm, relleno continuo y visibles únicamente en rocas de grano muy fino. Las vetillas son estructuras de ancho de 1-3 mm, largo mayor a 2,5 cm y relleno continuo. Las vetas son aquellas estructuras de ancho superior a 3 mm, largo mayor a 4,5 cm y relleno continuo. Estos tres tipos de estructura se presentan rellanas con minerales metálicos y no metálicos y ocasionalmente pueden corresponder a planos de fallas por el desplazamiento de otras estructuras (Brzovic y Benado, 2003. Venezuela, 2003).

Esta clasificación fue realizada por la alta variabilidad textural, mineralógica y de alteración presente en el yacimiento. Empíricamente se diferencian tres categorías denominadas respectivamente TM (Tardi Magmatica), HP (Hidrotermal Principal) y HT (Hidrotermal Tardía) que se subdividieron en quince subtipos. La Categoría HP agrupa a 4 clases que se diferencian de las anteriores por la presencia de uno o más halos, simples o complejos, por el predominio de los minerales metálicos sobre los no metálicos y por una mayor complejidad de las vetillas y estilos de mineralización. La Categoría HT con tres clases, se diferencia de las anteriores por la aparición de nuevos minerales no metálicos (carbonatos, yeso, turmalina), y metálicos (tenantita). Agrupa a vetillas con un mayor grado de complejidad y variabilidad.

Tabla 7: Tabla de clasificación de vetillas en Mina El Teniente.

TABLA DE CLASIFICACION DE VETILLAS DE EL TENIENTE							
Clase	Mineralogía Típica	Mineralogía Distintiva	Halo	Características Diagnósticas	Tipo	Clasificación Tipo Pórfido	
CATEGORÍA TM	V1	mt ±qz ±bio ±(anh) ±(cpy) ±(clo)	mt	Silíceo	Magnetita, Halo deslavado	1 a 2	M
	V2	qz-bio-anh-clo ±cpy ±py ±bo ±(moly)	qz-bio	Sin halo	Sin halo, Bordes nítidos, mineralogía qz-bio	2	EDM-EB
	V3	qz-bio-anh-clo ±cpy±py±bo	qz-bio-clo	Halo silíceo o silíceo – clorítico, a veces con biotita	Halo silicio difuso o sinuoso (tipo nube), mineralogía distintiva qz-bio-clo. Puede presentar la bio-clo en sutura o bandas	1 a 2	EDM-EB
	V4	anh ±bio ±cpy ±(moly) ±(bo) ±(qz)	anh mayoritaria	Halo silíceo - biotítico	Anhidrita, halo característico	1 a 2	EDM-EB

	V5	qz ±anh ±bio ±cpy ±moly ±bo ±(py) ±(clo)	qz mayoritaria	Sin halo	Vetilla de bordes nítidos, sin halo, Stockwork denso, sulfuros diseminados o en sutura central	1 a 3	A
	V6	anh ±qz ±bio ±cpy ±moly ±bo ±(py) ±(clo)	anh mayoritaria	Sin halo	Vetilla de bordes nítidos, sin halo, Stockwork denso, sulfuros diseminados	1 a 3	A
	V7	cpy y/o bo y/o py y/o moly ±anh ±qz ±bio	sulfuros mayoritarios	Sin halo	Vetilla de bordes nítidos, sin halo, Stockwork denso. De ser microvetillas, los sulfuros se alternan con bio (segmentadas).	1 a 3	B
	V8	tur ±anh ±qz ±(cpy) ±(moly) ±(bo) ±(py)	tur mayoritaria	Sin halo	Vetilla de bordes nítidos, sin halo.	1 a 2	B
CATEGORÍA HP	V9	mt ±cpy ±py ±moly ±qz±anh	mt mayoritaria	Halo sericítico-clorítico, puede presentar calcopirita y/o	Halo simple ó asimétrico con ó sin clo diseminada.	1 a 3	C
	V10	cpy y/o py ±qz ±anh ±moly	cpy y/o py mayoritaria	Halo sericítico-clorítico, con calcopirita y/o	Halo bandeado ó simple con sulfuros diseminados	1 a 3	C
	V11	cpy y/o py ±qz ±anh ±moly	cpy y/o py mayoritaria	Halo sericítico-clorítico.	Halo bandeado, semi-complejo con bordes difusos. Puede presentar escasos sulfuros diseminados.	1 a 3	—
	V12	cpy y/o py ±qz ±anh ±moly	cpy y/o py mayoritaria	Halo cuarzo-sericítico-clorítico.	Doble halo ó halo complejo con mineralización diseminada	1 a 3	—
CATEGORÍA HT	V13	cpy-bo-moly-tete-py ±qz ±anh ±cb ±tur ±(ys) ±(clo)	sulfuros mayoritarios	Halo silíceo sericítico	Variedad mineralógica de sulfuros, Halo desarrollados y difusos	2 a 3	D
	V14	cb y/o ys y/o anh ±cpy ±clo ±bo ±moly ±(tete) ±(qz)	carbonatos y sulfatos	Halo silíceo sericítico	Halo desarrollados y difusos. Variedad mineralógica. Carbonatos y Sulfatos	2 a 3	D-E
	V15	tur-anh ±cpy ±cb ±ys ±qz ±py ±ep ±(bo) ±(moly) ±(tete)	tur mayoritaria	Halo silíceo sericítico	Halo desarrollados y difusos. Variedad mineralógica. Turmalina abundante	1 a 3	E

La clasificación Tipo Pórfido se realiza según la clasificación de vetillas de Gustafson y Hunt (1975) y el Tipo representa microvetillas (1), vetillas (2) y veta (3) respectivamente.

3. Capítulo III: Características Geominerometalúrgica

3.1. Descripción Zonas Geometalúrgicas

Concepto básico: La explotación de un yacimiento minero que se basa en el método de extracción por hundimiento es controlado por el concepto de flujo gravitacional de los fragmentos de roca a un nivel inferior por el cual será extraído el mineral, el cual se rige por la creación de una abertura que genere un desplome constante del material rocoso y así permita la extracción de este a través de una malla de puntos de extracción. Llevar a cabo una extracción uniforme en todos los sectores productivos tiene como objetivo controlar el ingreso de dilución para así evitar que el material estéril o de muy baja ley ingrese prontamente a los sectores productivos y genere una mezcla mineral y así maximizar el beneficio económico del negocio minero.

La estimación de reservas se ha hecho en forma independiente de la infraestructura dando así origen al “Inventario de Reservas In Situ (IRIS)” o modelo de bloques el cual consiste en un archivo computacional que representa una malla tridimensional de bloques, según coordenadas mina, los cuales constituyen una “Unidad Básica de Cubicación (UBC)”.

Estas unidades básicas de cubicación representan un volumen en el espacio de dimensiones 20x20x20m la cual contiene información cuantificable las cuales son, ley, densidad, tonelaje tipo de roca y otras características que permiten la estimación de recursos en la columna mineral previo al proceso de mezcla.

Para la estimación de reservas extraíbles en los puntos de extracción posterior al proceso de mezcla mineral se utiliza el “Modelo de dilución”, este corresponde a un modelamiento que reasigna leyes a las unidades básicas de cubicación (UBC) perteneciente a una columna de extracción, considerando dos factores principales, la ley *in situ* de esta columna y la altura de entrada de dilución.

Sin embargo, debido a la explotación tipo *Panel Caving* y en conjunto con las características de la mina El Teniente en la cual se tienen mallas de extracción diferencial e irregulares, se produce una mezcla mineral entre el material rocoso y la dilución que no coinciden con el modelo de la columna de extracción, por lo que fue necesaria la creación de una metodología de planificación basada en las características mineralógicas y metalúrgicas de los puntos de extracción en el corto plazo, consistente en la creación de las Zonas Geometalúrgicas.

Para la definición de las Zonas Geometalúrgicas se analizan e identifican diferentes variables mineralógicas que inciden en las leyes y recuperaciones de cobre, las cuales principalmente son la mineralogía de sulfuros de Cu y dilución. Esta metodología permite tener un mejor control de estos parámetros para los sectores productivos en mina subterránea. Como primer paso se realizan inspecciones de los puntos de extracción, muestreo y solicitud de rechazos al laboratorio, continuando con el mapeo macroscópico de los rechazos de los puntos de extracción para así integrar los resultados del mapeo de *cutting* con una base de datos (dilución, CuT, MoT y FeT) y por

último la elaboración del mapa de Zonas utilizando el programa ArcGIS. Por medio de este proceso en el año 2018 se generó un mapa de las zonas geometalúrgicas integrando los sectores productivos que alimentan a la línea de procesamiento Convencional a los sectores productivos ya caracterizados de la línea Semi-Autogena y también una nueva tabla resumen de clasificación de cada una de las zonas presentes hasta el 2018.

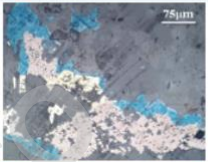
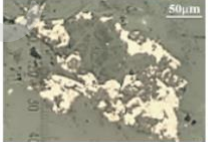


Zonas	Característica Geológica Macroscópica	Característica Metalúrgica	Microfotografía
MD (Muy Desfavorable)	Material Quebrado (Dilución) $\geq 35\%$	Baja recuperación Cu-Mo, baja ley de concentrado de Cu, alta pérdida de CuT en relave, y muy alto consumo de cal	
E (Estándar)	$\geq 1,6\%$ de Calcopirita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

Figura 6: Tabla resumen características de Zonas Geometalúrgicas (Modificado de Mejías, 2018).

3.2. Antecedentes Geometalúrgicos línea SAG y Convencional

En el yacimiento El Teniente se realiza el procesamiento mineral en alguna de las 3 líneas de procesamiento ya mencionadas previamente los cuales se describen a continuación en la Figura 8.

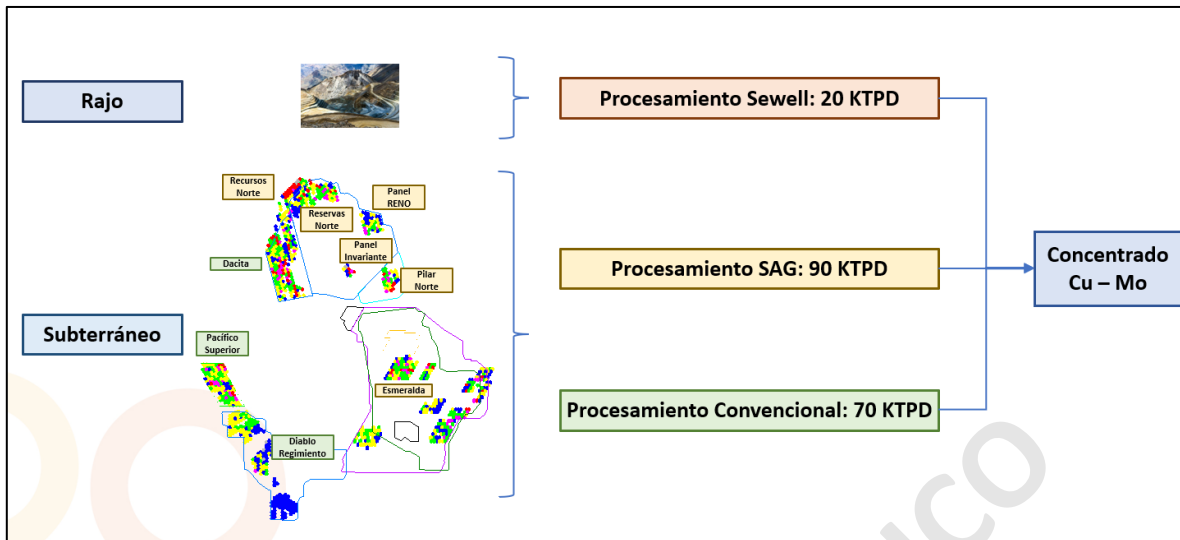


Figura 7: Esquema procesamiento mineral para Rajo abierto y mina Subterránea.

Los sectores productivos que alimentan a la línea de procesamiento Semi-Autogena (SAG) son Recursos Norte, Reservas Norte, Panel Invariante, Panel Reno, Pilar Norte y Pilar Norte, para la línea de procesamiento Convencional (CONV) son Dacita, Pacifico Superior, Diablo Regimiento y la correa T3, la cual es una correa de transporte que alimenta a la línea CONV con una mezcla de todos los sectores productivos que alimentan a la línea SAG, y la línea de procesamiento Sewell que es alimentada por el mineral proveniente del Rajo.

3.2.1. Línea SAG

Sector Esmeralda (ES): Este sector se caracteriza por presentar predominantemente litología CMET y mineralogía de mena calcopirita y en menor proporción “material fragmentado” por la caracterización de la zona Estándar y Muy Desfavorable.



Figura 8: Muestra de mano sector Esmeralda Bloque 1, a: litología CMET de zona E, b: litología CMET de zona MD.

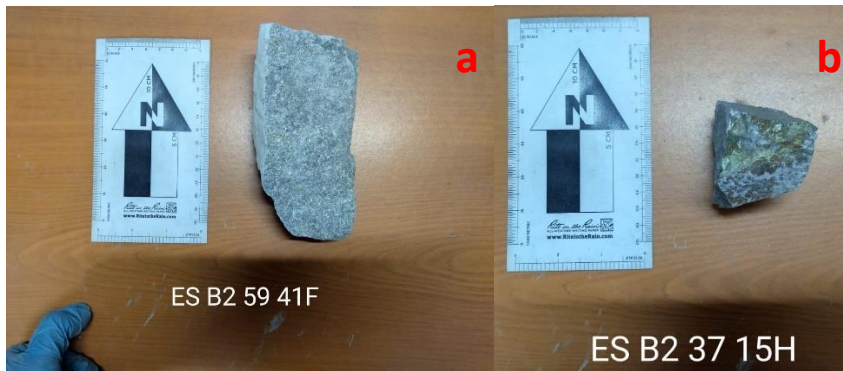


Figura 9: Muestra de mano sector Esmeralda Bloque 2, a: litología PDI de zona E, b: litología CMET de zona E.

Sector Reservas Norte (NN): Macroscópicamente se caracteriza por presentar litología CMET, mineralogía de mena de calcopirita y “material quebrado” de color café claro en proporciones iguales. En la actualidad se presenta la zona Estándar y Muy Desfavorable.



Figura 10: Muestra de mano sector Reservas Norte, a: vista binocular litología CMET zona E, b: muestra litología CMET de zona MD

Sector Recursos Norte (RN): Macroscópicamente se caracteriza por presentar litología CMET, mineralogía de mena de calcopirita en mayor medida y “material quebrado” de color café claro. En la actualidad se presenta la zona Estándar y Muy Desfavorable.



Figura 11: Muestra de mano sector Recursos Norte, litología CMET de zona E, b: litología CMET de zona MD.

Sector Pilar Norte (PI): Como litología principal se mantiene CMET, pero también se presenta la litología de pórfido diorítico, en la cual presenta principalmente calcopirita, bajas concentraciones de bornita y “material quebrado” de color gris en la zona Estándar y Muy Desfavorable.



Figura 12: Muestra de mano sector Pilar Norte litología CMET de zona E.

Sector Panel Reno (PR): Al igual que en sector Pilar Norte se mantiene la litología de CMET y menor pórfido diorítico con mineralogía de mena calcopirita y “material quebrado” de color gris a gris oscuro en la zona Estándar y Muy Desfavorable respectivamente.



Figura 13: Punto de extracción en sector Panel Reno de zona E.

Sector Panel Esmeralda (PE): Este sector se caracteriza por presentar la litología de CMET acompañado de “material quebrado” y calcopirita principalmente, en la actualidad presenta zonas Estándar y Muy Desfavorable.



Figura 14: Muestra de mano sector Panel Esmeralda, a: litología CMET de zona E, b: litología CMET de zona MD.

3.2.2. Línea Convencional

Sector Diablo Regimiento (DR): Macroscópicamente este sector se caracteriza por la presencia de dilución de color café-grisáceo y microscópicamente se encuentra calcopirita reemplazada por sulfuros secundario, caracterizado actualmente solo como zona Muy Desfavorable (MD).



Figura 15: Punto de extracción en sector Diablo Regimiento, zona MD.

Sector Dacita (DT): Este sector se caracteriza por presentar tres zonas diferentes, la primera como zona Favorable macroscópicamente la litología predominante corresponde a pórfido dacítico con mineralogía de mena principal bornita y en menor proporción calcopirita, la segunda zona Estándar macroscópicamente la litología predominante corresponde a pórfido dacítico con fenocristales biotita y mineralización de mena predominante de calcopirita y en menor medida bornita y la zona Muy Desfavorable la cual su litología predominante corresponde a CMET acompañado de “material quebrado” o dilución de color ocre.

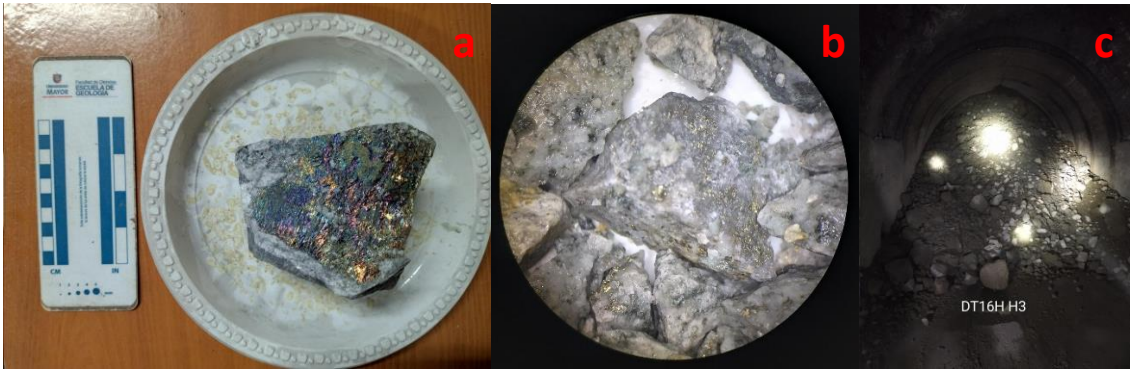


Figura 16: Muestra de mano sector Dacita, a: litología pórfido dacítico de zona F, b: vista binocular de litología pórfido dacítico de zona E, c: punto de extracción zona MD.

Sector Pacífico Superior (PS): Este sector se caracteriza por presentar dos zonas diferentes en la actualidad. La zona Estándar presenta una litología predominante de CMET con una mineralogía de mena predominante de calcopirita y menor pirita y la zona Muy Desfavorable también predomina la litología CMET con “material quebrado” o dilución.



Figura 17: Puntos de extracción de sector Pacífico Superior, a: zona E, b: zona MD.

4. Capítulo V: Evento Estallido de Roca julio 2023

4.1. Definición Estallido de Roca

Se define como una ruptura y proyección instantánea del macizo rocoso producto de un evento sísmico el cual tiene como efecto la detención del proceso productivo y la operación minera debido a los daños que se originan. Estos eventos sísmicos ocurren mayoritariamente en las zonas de transición (ZT) y en sectores puntuales de desarrollos mineros donde existen singularidades geológicas y geomecánicas (Figura 18).



Imagen 18: Esquematización de un estallido de roca producto de un evento sísmico en un punto de extracción en mina subterránea.

4.2. Información básica

El lunes 24 de julio a las 4 am aproximadamente ocurrió un evento sísmico relevante en el subnivel de ventilación del proyecto Andes Norte de magnitud 2,7 en la cota 1839 m.s.n.m (Figura 19), el cual generó un estallido de roca en el sector norte de la mina subterránea, de forma inmediata, se activaron los protocolos de emergencia y se aisló el sector afectado, así evacuando al personal que se encontraba trabajando en el área afectada.

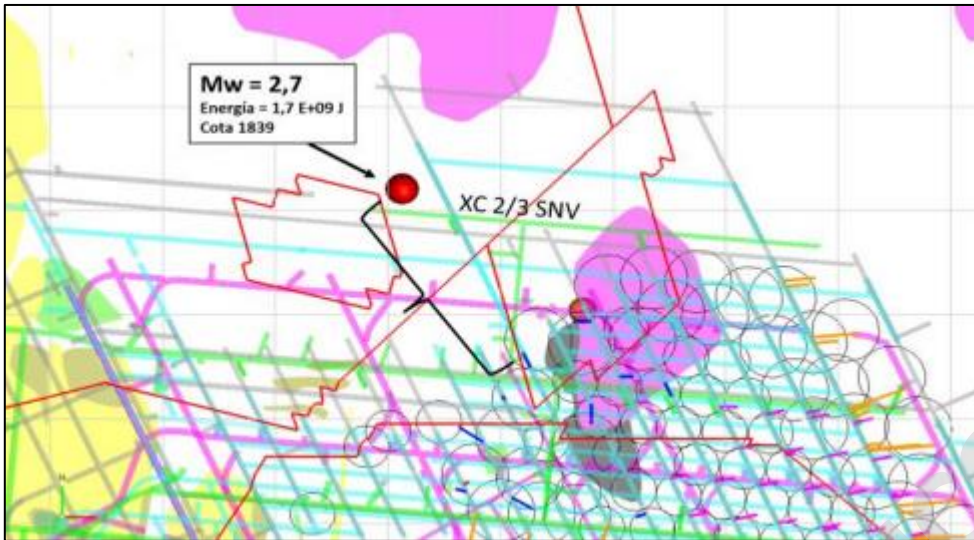


Figura 19: Mapa subterráneo cota 1839 con epicentro de evento sísmico del 24 de julio 2023.

4.3. Efectos dañinos principales

Producto de este evento sísmico que dio lugar al estallido de roca se cerraron los sectores productivos que fueron afectados directamente y también los sectores aledaños a este. Los sectores que fueron cerrados total o parcialmente fueron: Dacita lado patilla (lado Este) (DT), Reservas Norte (NN) (Figura 20); Recursos Norte (RN) (Figura 21); Panel Reno (PR) y Pilar Norte (PI) (Figura 22).

En el sector Dacita solo el lado patilla (lado Este) el cual está más cercano al sector Reservas Norte se pasó de un estado razón operacional a limitado.

Por otro lado, el Reservas Norte fue cerrado en su totalidad pasando todos sus puntos de producción de operativos o limitados a razón operacional (puntos de extracción no disponibles para extracción mineral), ya que fue directamente afectado por el estallido de roca.

Al igual que en el sector Reservas Norte en el sector Recursos Norte se realizó un pare total en la producción de los puntos del sector y se cambiaron de operativos a razón operacional.

Los sectores Panel Reno y Pilar norte también se pararon completamente pasando de estados operativos o limitados a razón operacional.



Clasificación	Estado
Área disponible para extracción	 Limitado
	 Operativo
Área no disponible para extracción	 Reparación
	 Cerrado
	 Cortado por Abandono
	 Hundir a futuro
	 Hundido
	 Barro/Agua
	 Cortado Agotado
	 Razón Operacional

Tabla 8: Clasificación de estados de los puntos de extracción en mina subterránea, El Teniente.

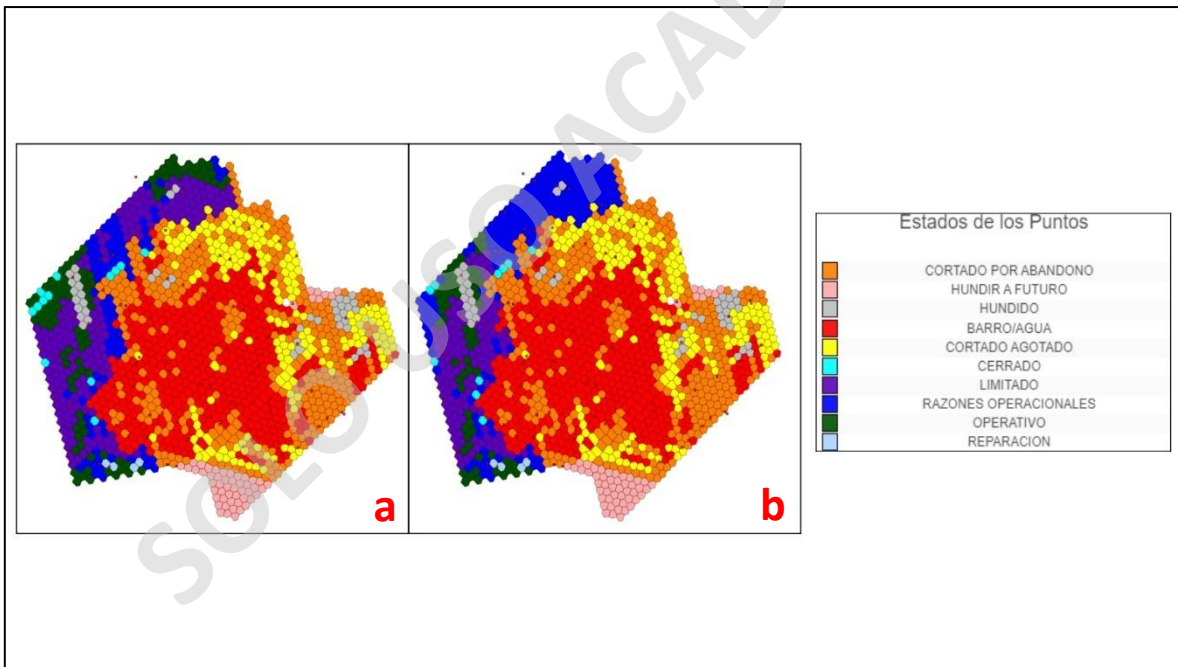


Figura 20: Mapa puntos de extracción mineral sector Dacita y Reservar Norte, a: pre-estallido de roca, b: post-estallido de roca.

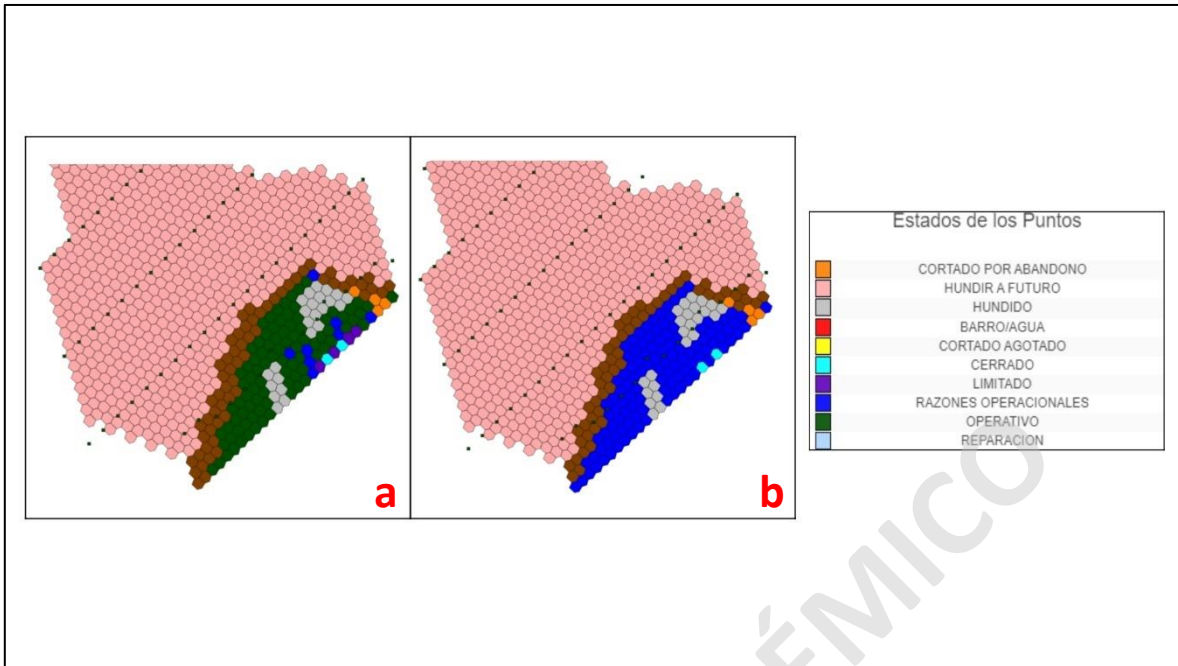


Figura 21: Mapa puntos de extracción mineral sector Recursos Norte, a: pre-estallido de roca, b: post-estallido de roca.

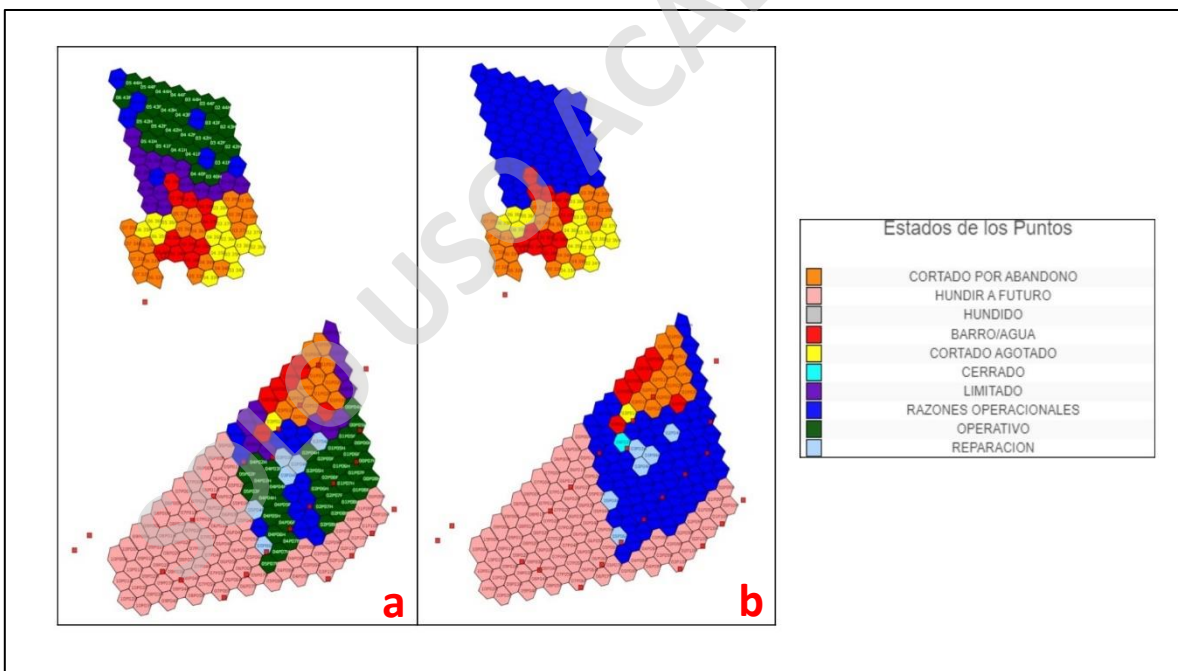


Figura 22: Mapa puntos de extracción mineral sector Panel Reno y Pilar Norte, a: pre-estallido de roca, b: post-estallido de roca.

Por otra parte, los efectos que perjudicaron al personal mina fueron a doce trabajadores, quienes fueron afectados por el evento de forma directa, y posteriormente evaluados sin ninguna lesión grave en los centros de salud de la división.

4.4. Compensación en producción

Al haberse realizado el cierre parcial o total de algunos sectores productivos se tuvo que aumentar la producción de otros sectores productivos para compensar la disminución de tonelaje parcial, para que así se pueda mantener el plan de producción total en la mina subterránea. Por este motivo se tuvo que planificar nuevamente la producción de los sectores que no fueron afectados por el estallido de roca. Estos sectores fueron, principalmente Diablo Regimiento (DR) y Dacita lado sur (DT) y en menor proporción Panel Esmeralda (PE) y Esmeralda Bloque 1 (ES B1).

SOLO USO ACADÉMICO

5. Capítulo IV: Software Power BI

5.1. Uso y Características Principales

El programa Power BI es una plataforma de trabajo visual que se está utilizando en diferentes aspectos de minería la cual ayuda a la visualización de datos por medio de gráficos (fijos y dinámicos), tablas, matrices y mapas, los cuales están ligados a una o más bases de datos de uno o más tipos.

La forma de aplicar Power BI para este trabajo está ligada principalmente a los tipos de datos que se encuentran en las diferentes bases de datos y el objetivo principal de este trabajo. Principalmente los tipos de datos son numéricos, fechas y etiquetas de áreas.

Se utilizaron principalmente gráficos de barras apiladas para los datos de aportes mineral en toneladas en conjunto con datos geometalúrgicos a lo largo del tiempo (Figura 23).

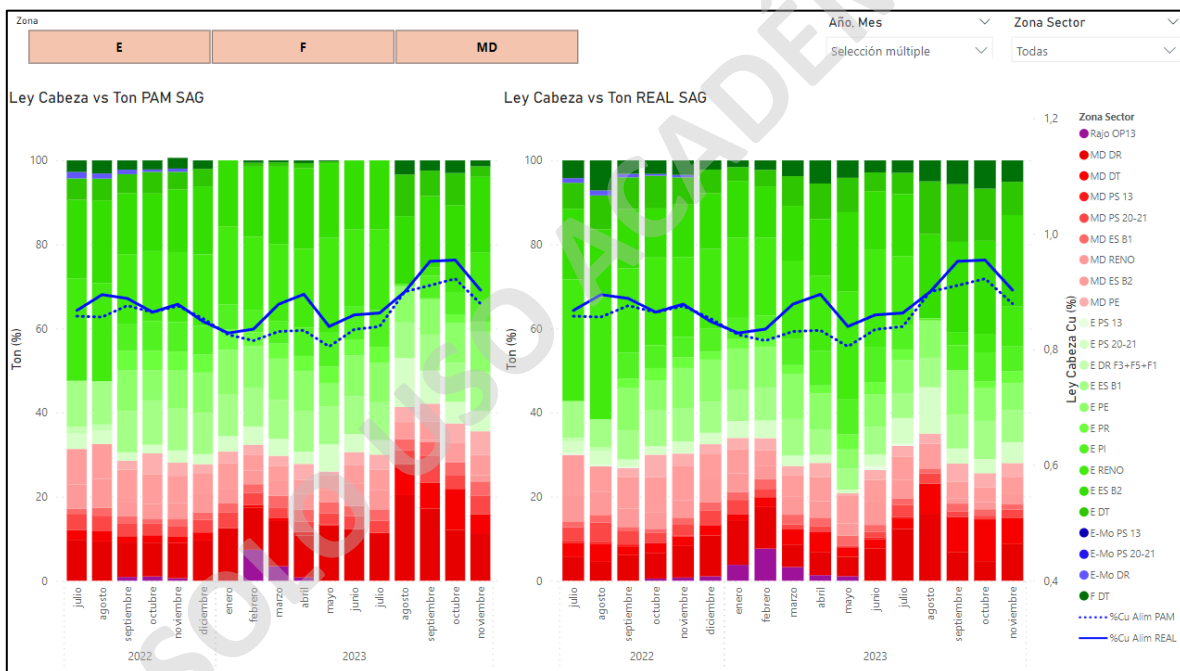


Figura 23: Gráficos de barras apiladas con toneladas porcentuales de cada una de las zonas de la mina subterránea vs ley cabeza de Cu.

También se utilizaron gráficos de líneas para poder realizar una observación detallada con respecto a los diferentes sectores de la mina y también a sus zonas geometalúrgicas (Figura 24 y Figura 25).

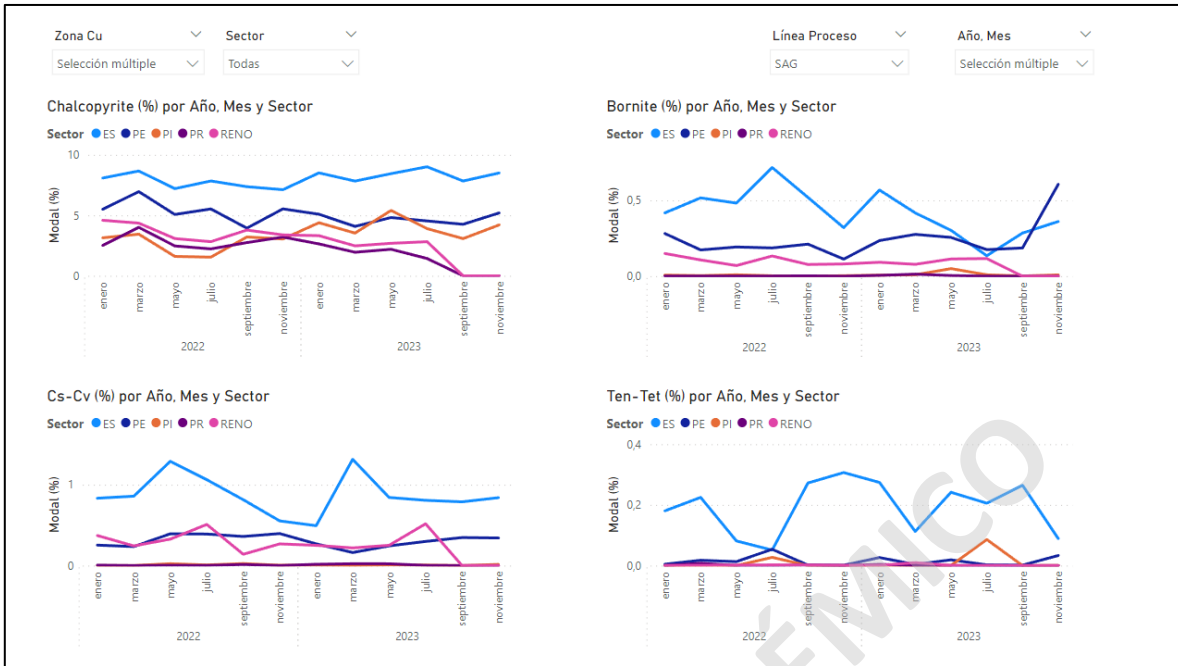


Figura 24: Gráficos de líneas de mineralogía de mena por sector productivo.



Figura 25: Gráficos de líneas de mineralogía de mena por zona geometalúrgica.

A todos estos tipos de gráficos se pueden aplicar diferentes filtros de fecha, sectores, zonas geometalúrgicas y combinaciones de este como “zona sector”, como se observa en la parte superior de las Figuras 23 a 25, que corresponden a la vista informe del archivo Power BI.

5.2. Base de datos

En la unidad planificación y control producción, la cual, como esta en su nombre, planifica y controla la producción todos los sectores productivos de la división en el corto plazo, se tienen variadas bases de datos en la cual se ingresa la información para poder tener un control al corto plazo de la producción de la división. Se unificó estas bases de datos para poder así tener los datos que se utilizaron en este trabajo, los cuales corresponden a:

- Tonelajes de extracción
- Mineralogía
- Metalurgia (ley, concentrado y recuperación)
- Granulometría
- Grado de liberación

Esta base de datos se definió como “Grado de liberación y granulometría SAG-CONV” la cual contiene los datos de las hojas de Excel que se utilizaban previamente; “Conciliación”, reportes mineralógicos y de flotación línea SAG, reportes mineralógicos y de flotación línea CONV; todos estos son entregados mes a mes y en algunos casos modificados dependiendo de estos eventos imprevistos en la mina subterránea. Esta base de datos recopilatoria se encuentra disponible de forma online para cada uno de los integrantes de la superintendencia de gestión producción y es actualizable a medida que se van a agregando datos de forma mensual.

5.3. Proceso de mezcla en columna mineral

Teniendo en cuenta que en El Teniente se realiza la extracción mineral por medio del método *Panel Caving*, es que se sabe que se realiza este proceso de mezcla en la columna de extracción de cada punto en los diferentes sectores productivos. Es por este motivo que desde el inicio del trabajo es considerado este proceso de mezcla ya que las zonas son caracterizadas teniendo en cuenta este factor, el cual es de gran importancia para el control productivo de la división.

Esto se ve reflejado en la base de datos principal que alimenta a el archivo de Power BI base al ponderar cada uno de estos puntos de extracción mineral, entre el aporte mineral en toneladas de cada punto en conjunto con la mineralogía y datos geometalúrgicos entregados por el laboratorio de la división. Estos dan como resultado una matriz que muestra la mineralogía total según el grado de liberación y rango de tamaño de partícula. Este proceso se realiza para la mineralogía de Sulfuros de Cobre, Molibdenita y Pirita/Pirrotina diferenciándolas entre las dos líneas de procesamiento mineral de la mina subterránea (Figura 26, 27 y 28).

MEZCLA SAG									
	Size [μm]								
Cu Sulph Liberation	≥ 212	$\geq 106 < 212$	$\geq 75 < 106$	$\geq 53 < 75$	$\geq 45 < 53$	$\geq 38 < 45$	$\geq 24 < 38$	$\geq 12 < 24$	< 12
Free Cu Sulph ($\geq 90\%$)	0,005	0,033	0,221	0,323	0,119	0,111	0,259	0,319	0,167
Liberated Cu Sulph ($\geq 80\%$)	0,000	0,009	0,019	0,025	0,008	0,010	0,012	0,009	0,000
Liberated Cu Sulph ($\geq 70\%$)	0,000	0,002	0,009	0,016	0,005	0,006	0,006	0,007	0,001
Liberated Cu Sulph ($\geq 60\%$)	0,000	0,004	0,015	0,014	0,003	0,004	0,006	0,006	0,001
Liberated Cu Sulph ($\geq 50\%$)	0,000	0,003	0,012	0,006	0,003	0,002	0,003	0,003	0,001
Liberated Cu Sulph ($\geq 40\%$)	0,000	0,001	0,015	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000
Liberated Cu Sulph ($\geq 30\%$)	0,002	0,006	0,009	0,007	0,002	0,002	0,001	0,002	0,000
Liberated Cu Sulph ($\geq 20\%$)	0,001	0,018	0,014	0,006	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000
Liberated Cu Sulph ($\geq 10\%$)	0,003	0,035	0,014	0,008	0,002	0,001	0,002	0,002	0,000
Cu Sulph Locked	0,021	0,054	0,022	0,009	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000

Figura 26: Matriz de mezcla mineral para sulfuros de Cu.

MEZCLA SAG									
	Size [μm]								
Mo Liberation	≥ 212	$\geq 106 < 212$	$\geq 75 < 106$	$\geq 53 < 75$	$\geq 45 < 53$	$\geq 38 < 45$	$\geq 24 < 38$	$\geq 12 < 24$	< 12
Free Molibdenite ($\geq 90\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,004	0,004
Liberated Molibdenite ($\geq 80\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 70\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 60\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 50\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 40\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 30\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 20\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Liberated Molibdenite ($\geq 10\%$)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Molibdenite Locked	0,000	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000

Figura 27: Matriz de mezcla mineral para molibdenita.

MEZCLA SAG									
	Size [μm]								
Py/Pyrr Liberation	≥ 212	$\geq 106 < 212$	$\geq 75 < 106$	$\geq 53 < 75$	$\geq 45 < 53$	$\geq 38 < 45$	$\geq 24 < 38$	$\geq 12 < 24$	< 12
Free Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 90\%$)	0,008	0,147	0,453	0,505	0,150	0,140	0,252	0,249	0,081
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 80\%$)	0,000	0,008	0,067	0,026	0,012	0,006	0,013	0,009	0,001
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 70\%$)	0,000	0,003	0,013	0,012	0,002	0,003	0,003	0,004	0,000
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 60\%$)	0,000	0,013	0,009	0,005	0,004	0,001	0,003	0,003	0,001
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 50\%$)	0,001	0,003	0,008	0,004	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 40\%$)	0,000	0,002	0,004	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 30\%$)	0,002	0,002	0,004	0,004	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 20\%$)	0,000	0,001	0,004	0,003	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Liberated Pyrite/Pyrrhotite ($\geq 10\%$)	0,001	0,008	0,006	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
Pyrite/Pyrrhotite Locked	0,008	0,013	0,008	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

Figura 28: Matriz de mezcla mineral para Pirita/Pirrotina.

6. Capítulo VI: Resultados mineralógicos y metalúrgicos

En un plazo de 6 meses desde julio hasta diciembre del 2023, se realizó la recopilación de la información mineralógica y gemetalúrgica de todos los puntos que desde julio de 2022 están o estuvieron en producción en mina subterránea El Teniente, en conjunto con visitas periódicas de terreno para la verificación de estos puntos. Cabe destacar que en este periodo de tiempo los datos mineralógicos y gemetalúrgicos fueron realizados en el laboratorio de la división, el cual entrega estos resultados al mes siguiente de muestreo, por lo que se tiene siempre un desfase de tiempo entre la toma de muestras y el resultado de estos de aproximadamente 3 a 4 semanas, también realizándose un control de calidad (QA/QC) periódico por medio de los geólogos de producción en este año 2023.

Por este motivo se incorporó la información de cada nuevo mes al ir recibiendo los resultados desde el laboratorio hasta diciembre del 2023.

Desde la vista del objetivo principal de evaluar el impacto que tuvo el estallido de roca de julio del 2023 en la mezcla de la línea de procesamiento SAG y CONV, se toma en cuenta el periodo desde julio del 2022 hasta noviembre del 2023, ya que la mina El Teniente tiene una alta estabilidad litológica, mineralógica y ley cabeza lo que también daría como resultado una estabilidad en las zonas gemetalúrgicas y los aportes de cada sector productivo. También es necesario destacar que desde julio del 2022 es que se incorpora el sector productivo Panel Reno y Pilar Norte.

Es por el conjunto de estos diferentes puntos que se realiza el análisis de los datos mineralógico y gemetalúrgicos para todos los resultados gráficos en Power BI desde el periodo de julio del 2022 a noviembre del 2023.

6.1. Aporte mineral v/s ley cabeza general

En la Figura 29 y Figura 30 se pueden observar dos gráficos de barra apiladas, los cuales muestran los aportes en toneladas reales de las diferentes zonas de la mina subterránea, diferenciándolos primeramente por el color distintivo de cada zona gemetalúrgica, Favorable, Estándar, Muy Desfavorable. Posteriormente se varía entre las dos líneas de procesamiento y comparándolas con la ley cabeza (ley mineral de Cu bruto que ingresa a la planta de tratamiento) del Plan de Actividad Mensual (PAM) y de la ley cabeza real en forma de línea discontinua y continua respectivamente.

Este es el grafico principal a evaluación ya que se tiene una vista general y amplia de las variaciones en cada una de las zonas y sus aportes correspondientes.

Primeramente, se puede observar en el periodo en cual se generó el cierre parcial o total de los sectores Dacita, Reservas Norte, Recursos Norte, Panel Reno y Pilar norte, observable en las líneas de procesamiento Semi-Autogena y Convencional respectivamente para cada sector productivo.

Este impacto se puede ver reflejado primero en las variaciones de tonelaje de las zonas correspondientes a cada uno de los sectores que fueron afectados por el estallido de roca. Esto producto del estallido de roca, por lo que se tuvo que compensar desde los sectores productivos

que alimentan a la línea CONV hacia la línea SAG, ya que los sectores productivos que fueron cerrados eran los que alimentaban principalmente a línea de producción SAG, dando prioridad a los sectores de mejor calidad mineralógica que se procesaban en la línea CONV.

Para la línea Semi-Autogena el rango normal mensual de cada una de las zonas geometalúrgicas corresponde a: Favorable (720 – 880 mil Ton/mes), Estándar (1,29 – 1,63 mill Ton) y Muy Desfavorable (540 – 720 mil Ton).

Para la línea Convencional el rango normal mensual de cada una de las zonas geometalúrgicas corresponde a: Favorable (90 – 120 mil Ton/mes), Estándar (370 – 410 mil Ton) y Muy Desfavorable (560 – 680 mil Ton).

En cuanto a la ley cabeza se puede observar que desde julio del 2023 hasta diciembre de los 2023 para la línea de procesamiento Semi- Autogena aumenta en comparación con el mismo periodo del año 2022 hasta junio del 2023 y en la línea de procesamiento Convencional se genera una disminución en comparación con la tendencia normal del año 2022 y desde enero a junio del 2023.

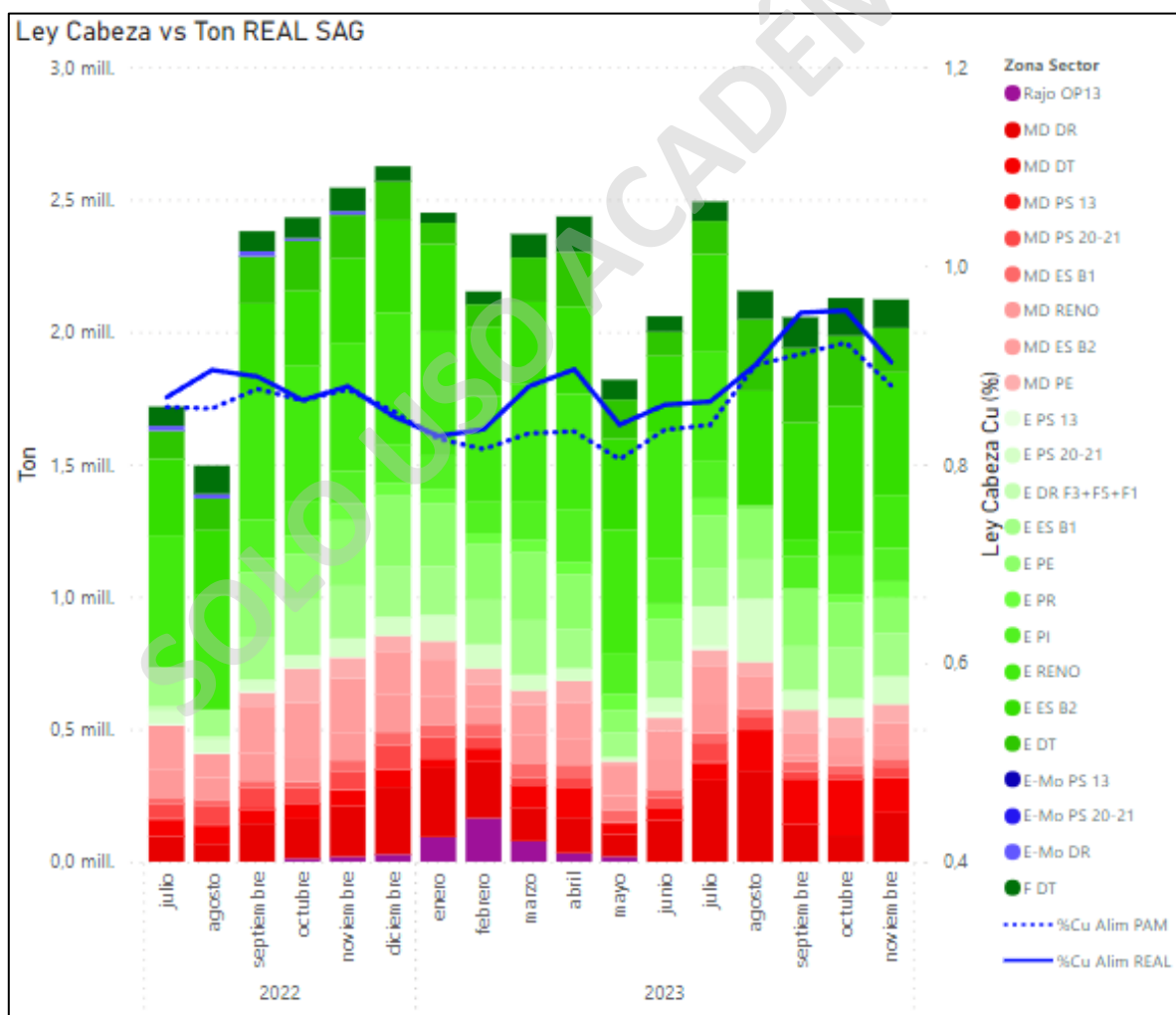


Figura 29: Aportes reales en Toneladas de cada zona geometalúrgica de mina El Teniente procesada en línea SAG vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

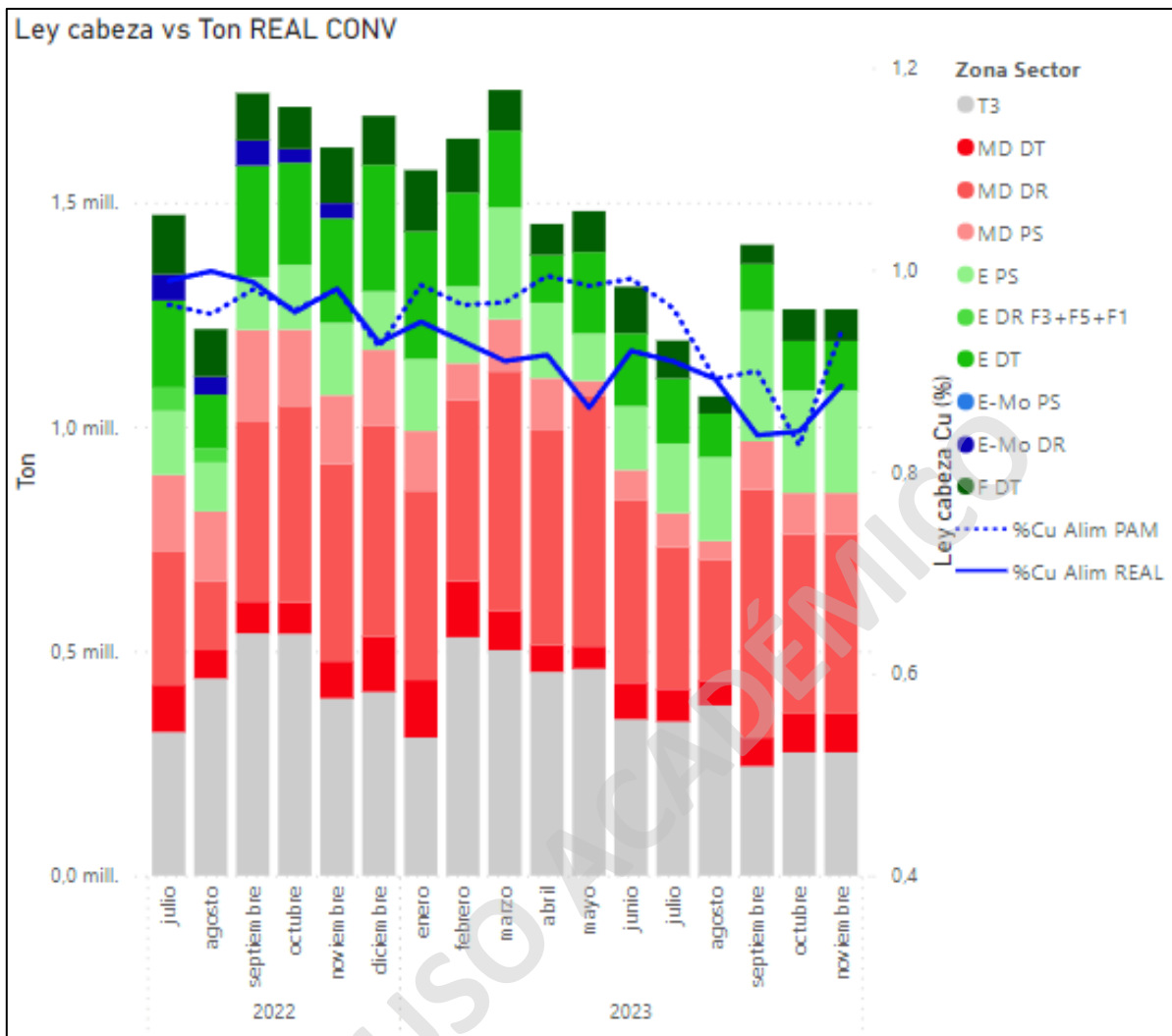


Figura 30: Aportes reales en Toneladas de cada zona geometalúrgica de mina El Teniente procesada en línea CONV vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

6.2. Aporte mineral v/s ley cabeza por sector y zona

Teniendo en cuenta el análisis generalizado en las dos líneas de procesamiento mineral es que se realizan también gráficos de barra para observar el comportamiento en cada una de las zonas de los sectores que fueron afectados por el estallido de roca, ya sea por el aumento o disminución del aporte en estos sectores.

Sector Dacita:

En la línea de procesamiento SAG, desde julio del 2022 hasta julio del 2023, se tiene una estabilidad en los aportes generalizado del sector (zonas Favorable, Estándar y Muy Desfavorable), con algunas variaciones principalmente en los meses de enero y febrero debido a la menor productividad por meses de verano que se produce una baja en la cantidad de personal mina.

Por otra parte, en los meses de agosto, septiembre, octubre y noviembre (meses post-estallido de roca) se produce un alza del aporte en las tres zonas geometaúrgicas ya mencionadas.

Esto acompañado con el alza de la ley cabeza de Cu tanto del PAM como el REAL en los meses post-estallido de roca.

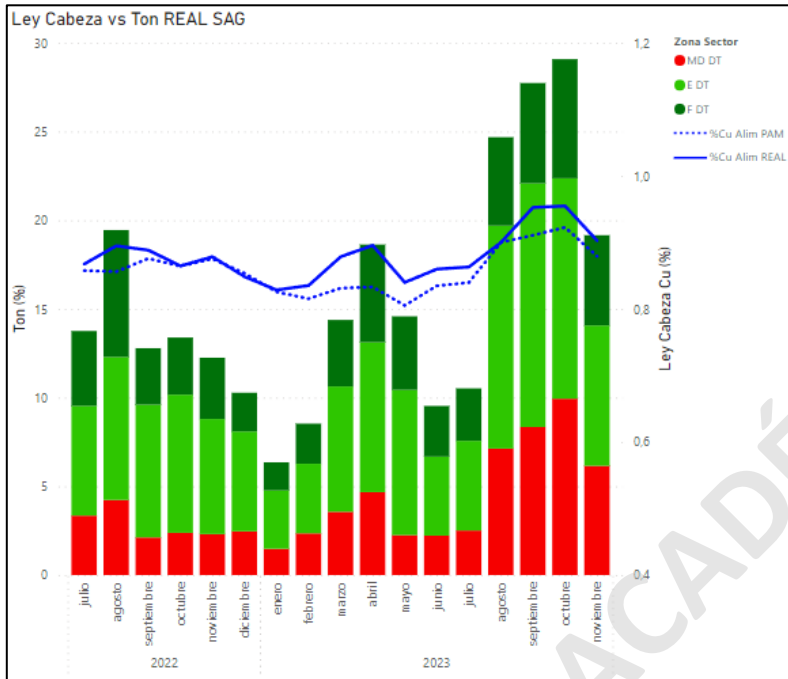


Figura 31: Aportes reales en Toneladas de sector Dacita procesada en línea SAG vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

Por otra parte, en la línea de procesamiento CONV al igual que en la línea de procesamiento SAG, se mantiene esta estabilidad en el mismo periodo de tiempo julio 2022 a julio 2023. Sin embargo, en este caso a diferencia del aumento de aporte en las tres zonas desde agosto a noviembre del 2023, en la línea de procesamiento CONV disminuye el aporte del sector observable para las tres zonas geometalúrgicas con mayor foco en la zona Favorable. Esto en conjunto con la disminución de la ley cabeza de Cu tanto del PAM como del REAL en los meses post-estallido de roca.

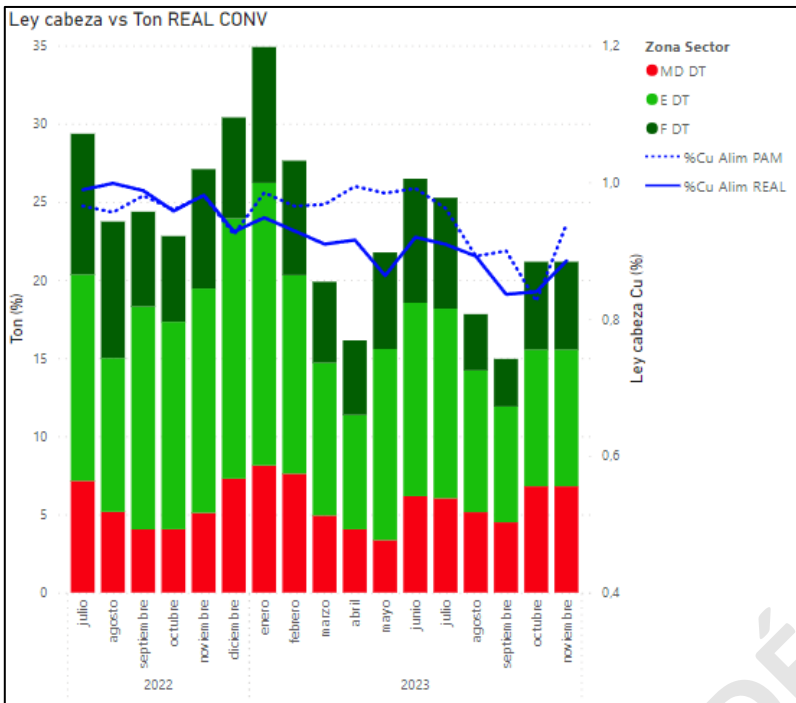


Figura 32: Aportes reales en Toneladas de sector Dacita procesada en línea CONV vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

Al mismo tiempo con el aumento del aporte del sector dacita se generó un alza en el Cu Total (CuT) para la zona los puntos caracterizados como zona Favorable, sabiendo que estos datos son obtenidos directos del muestreo realizado de las zonas del sector y entregados por el laboratorio, por lo que estos resultados son independientes de los cambios en los aportes de cada zona.

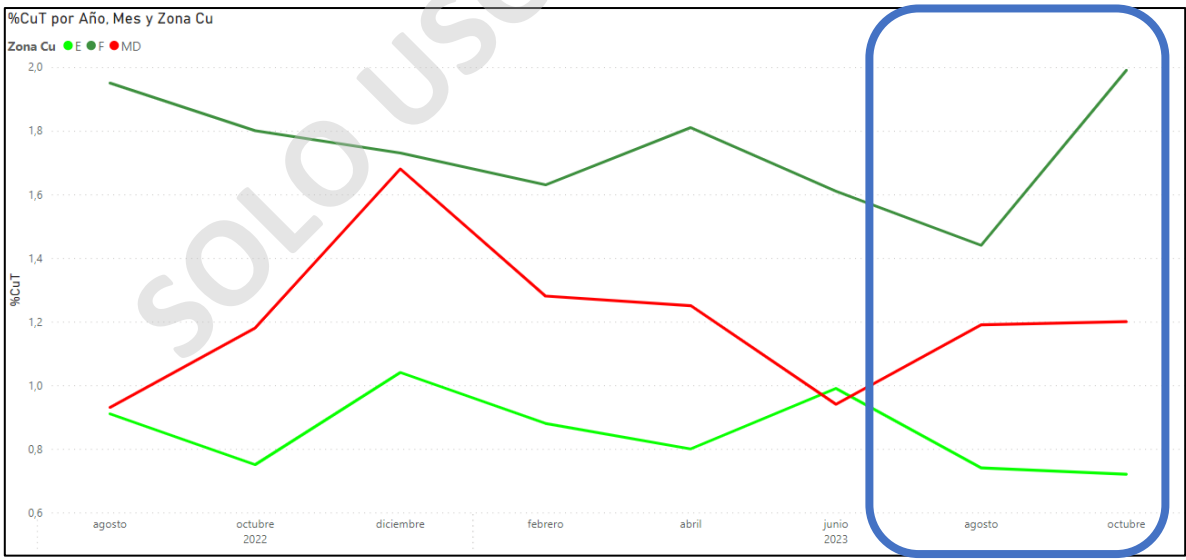


Figura 33: CuT obtenido directo del muestreo por zona del sector Dacita.

Sector Reservas Norte y Recursos Norte (Sector Reno):

En caso de estos dos sectores que representan en conjunto el Sector Reno se puede observar en la línea de procesamiento SAG una disminución en el aporte de las dos zonas geometalúrgicas (Estándar y Muy Desfavorable) post-estallido de roca, principalmente en la zona Estándar y el alza gradual del aporte de las zonas geometalúrgicas.

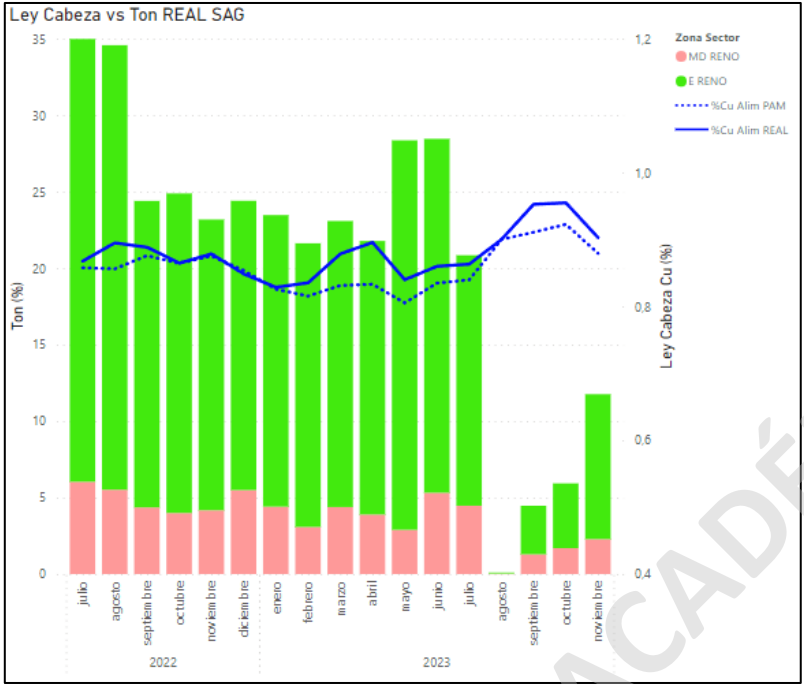


Figura 34: Aportes reales en Toneladas de sector Reservas Norte y Recursos Norte procesada en línea SAG vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

También al haber sido los sectores directamente afectados por el estallido de roca en el mes de agosto se realiza una detención completa de los puntos en producción y se mantiene en los meses siguientes, como se puede observar con el Cu Total (CuT).

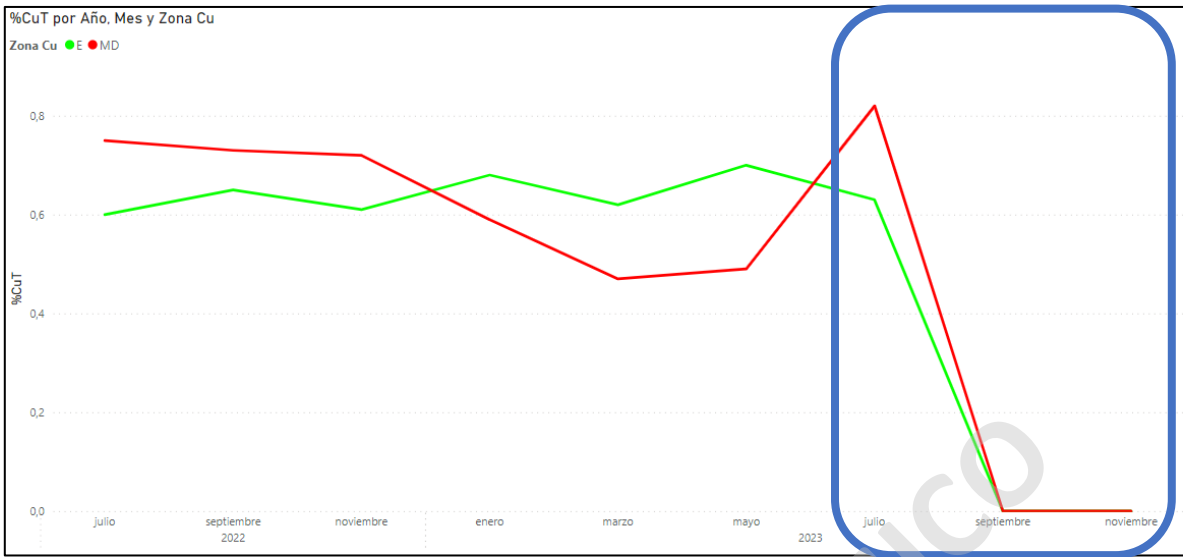


Figura 35: CuT obtenido directo del muestreo por zona de los sectores Reservas Norte y Recursos Norte.

Sector Diablo Regimiento:

En este sector solo se tiene la zona geometalúrgica Muy Desfavorable, en donde en la línea de procesamiento SAG se observa post- estallido de roca un gran aumento del aporte de esta zona en comparación con la media de meses pre-estallido de roca, el cual disminuye gradualmente hasta el mes de noviembre (Figura 36).

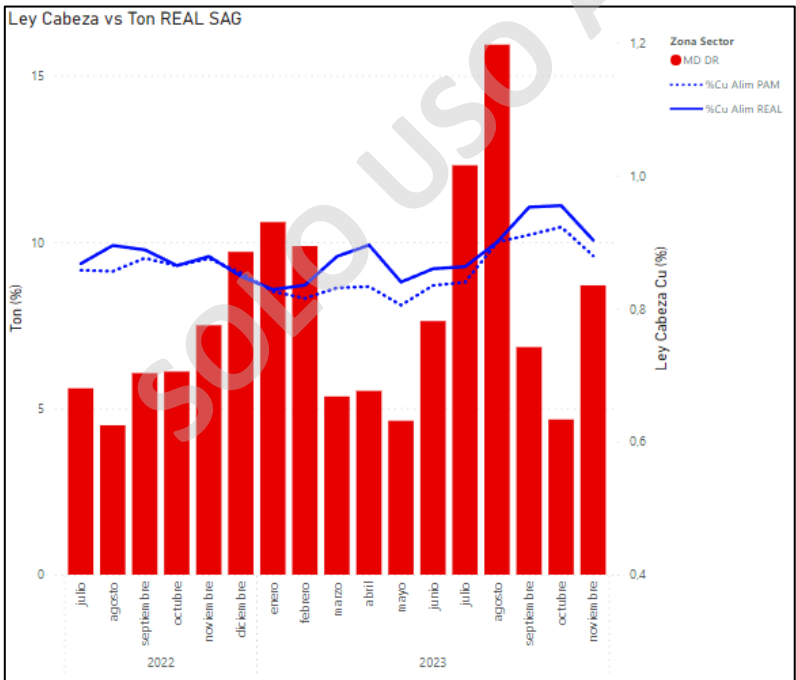


Figura 36: Aportes reales en Toneladas de Diablo Regimiento procesada en línea SAG vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

Para la línea de procesamiento CONV aumenta su aporte en gran medida en el mes de septiembre y en los meses posteriores se normaliza al rango de estabilidad para este sector productivo (Figura 37).

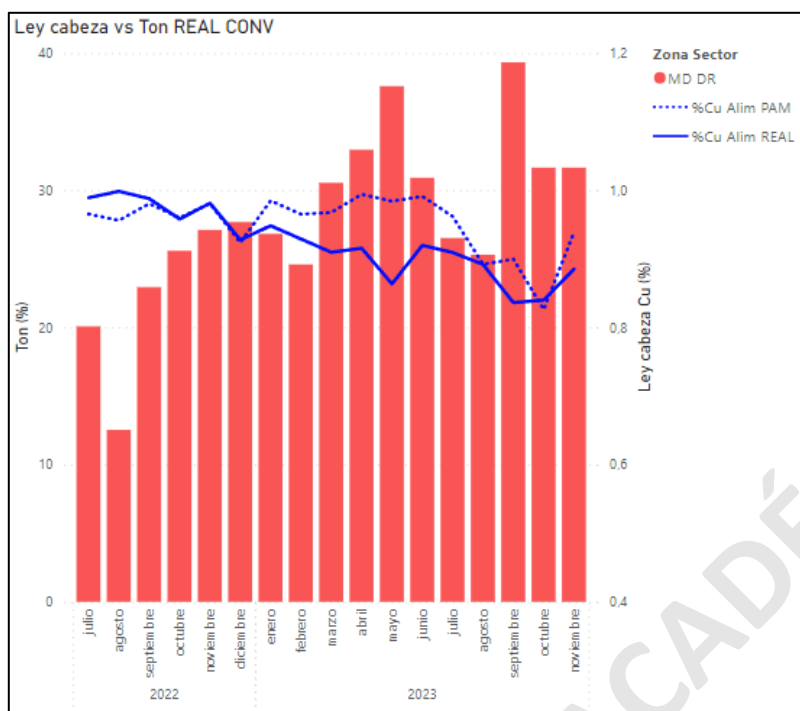


Figura 37: Aportes reales en Toneladas de Diablo Regimiento procesada en línea CONV vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

Sector Panel Reno y Pilar Norte:

En los sectores Panel Reno y Pilar Norte solo se presenta la zona Estándar y se procesa solo en la línea SAG, se observa que en el mes de agosto y septiembre se corta completamente la producción de todos los puntos en el sector Panel Reno el cual también fue afectado directamente al igual que los sectores Reservas Norte y Recursos Norte, el aumento gradual del aporte de ese sector y la disminución del sector Pilar Norte únicamente en el mes de agosto (Figura 38).

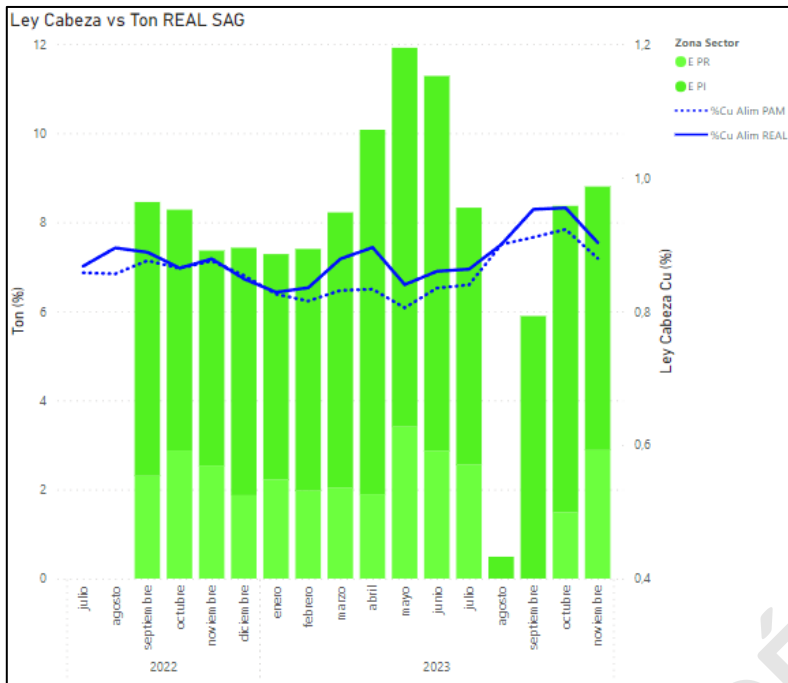


Figura 38: Aportes reales en Toneladas de sector Panel Reno y Pilar Norte procesada en línea SAG vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

6.3. Aporte Sulfuros de Cu por línea de procesamiento

De la misma forma también se analiza la mineralogía de mena de Cu para así identificar los cambios generales producto del estallido de roca con respecto a la mena en El Teniente para cada una de las líneas de procesamiento mineral y también sus variaciones por los diferentes sectores productivos. Estos datos mineralógicos son obtenidos ponderando el aporte de las zonas de todos los sectores productivos de los últimos dos resultados mineralógicos por sector zona.

Se puede identificar de forma generalizada las variaciones de cada uno de estos minerales de Cu, comenzando con la línea de procesamiento SAG, se tiene un aumento de Bornita (Bn) y disminución de Calcopirita (Cpy) y aportes de Cu Total, también una disminución de los Oxidados de Fe asociados a Cu.

En la línea de procesamiento CONV se observa lo contrario de la línea SAG, con una disminución significativa de Bornita (Bn) y aumento de la Calcopirita (Cpy), junto a un leve aumento de Oxidados de Fe asociados a Cu.

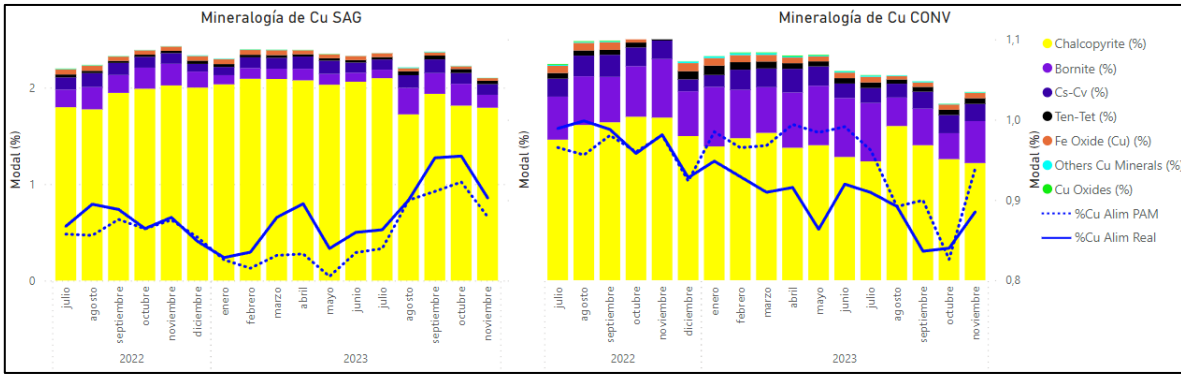


Figura 39: Minerología de mena de Cu en porcentaje mineral para línea de procesamiento SAG y CONV vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

6.4. Aporte Sulfuros de Cu por sector

Línea de procesamiento SAG:

Reafirmando la mineralogía de sulfuros de Cu es que se puede observar en el aporte de cada uno de los sulfuros de Cu para los sectores Recursos Norte y Reservar Norte (RENO), Pilar Norte (PI) y Panel Reno (PR).

Primero se puede observar en los cuatro gráficos que desde septiembre del 2023 el cierre de los sectores Reno y Panel Reno, también que tanto la bornita como calcosina-covelina se presenta en mayor medida en el sector Reno que en los otros dos sectores de la línea de procesamiento CONV.

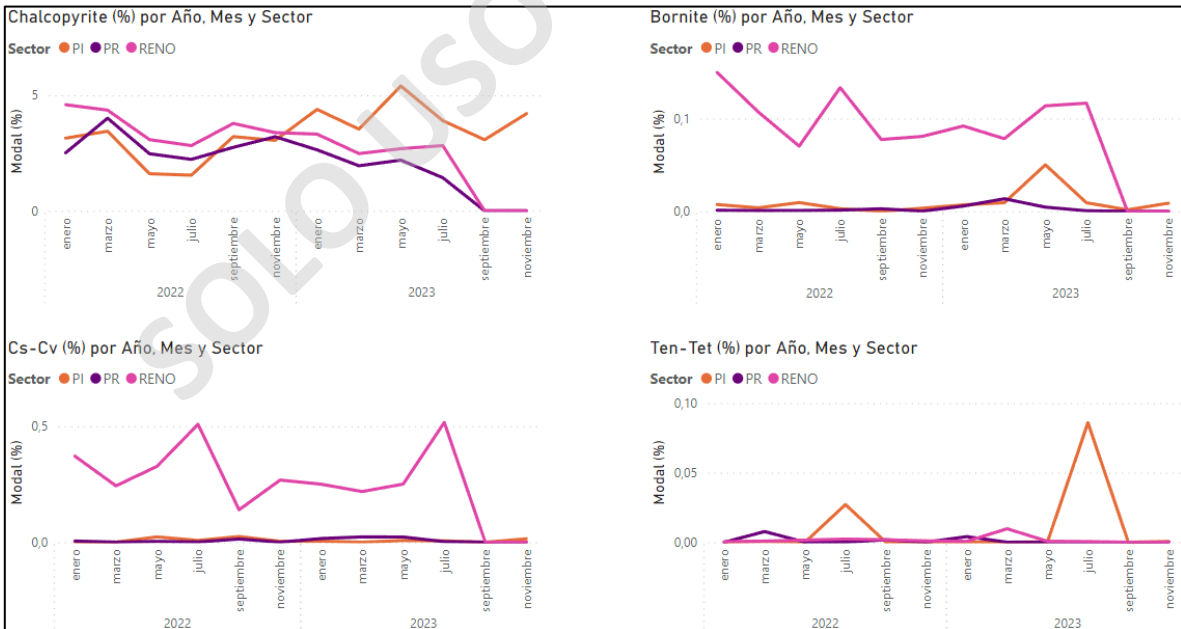


Figura 40: Minerología de mena de Cu en porcentaje mineral de sectores productivos afectados por el estallido de roca procesadas en la línea CONV.

Línea de procesamiento CONV:

Al igual que en gráfico se sulfuros de Cu por sector en la línea SAG se reafirma la mineralogía de sulfuros de Cu es que se puede observar en el aporte de cada uno de los sulfuros de Cu entre el sector Dacita y Diablo regimiento.

Para el sector Dacita se observa en el gráfico de Calcopirita y Calcosina-Covelina que se mantiene estable a lo largo del tiempo con algunos altos pero que están dentro del rango normal previo al estallido de roca. También que siempre la bornita mayor en sector Dacia que en sector Diablo Regimiento, esto reafirmando que en el sector Dacita se presenta la zona Favorable.

En el sector Diablo Regimiento es bastante estable en los cuatro gráficos mineralógicos, solo se observa un leve aumento de calcopirita desde el mes de agosto del 2023.

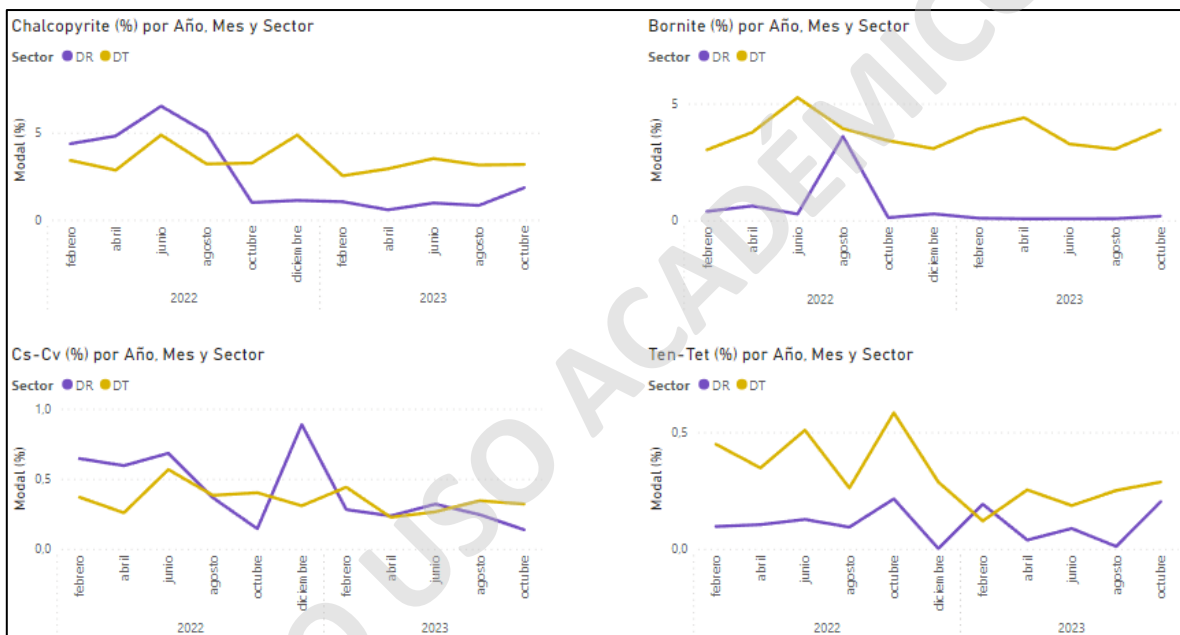


Figura 41: Mineralogía de mena de Cu en porcentaje mineral de sectores productivos afectados por el estallido de roca procesadas en la línea SAG.

6.5. Aporte Sulfuros de Cu por zona geometalúrgica

Calcopirita:

Se considera el sulfuro de Cu predominante en la división El Teniente (Calcopirita), ya que es el que más puede influir en el aumento o disminución de los parámetros geometalúrgicos, es por esto que se puede visualizar por medio de gráficos de líneas que muestran las diferentes zonas geometalúrgicas de cada sector que fueron afectados por el estallido de roca.

Se observa que la mayor diferencia post-estallido de roca se encuentra en el sector Diablo Regimiento en la zona Muy Desfavorable, el cual aumenta su aporte de Calcopirita comparado a

los otros sectores productivos, teniendo en cuenta nuevamente que estos datos mineralógicos no son afectados por los cambios en el aporte de cada zona (Figura 42).

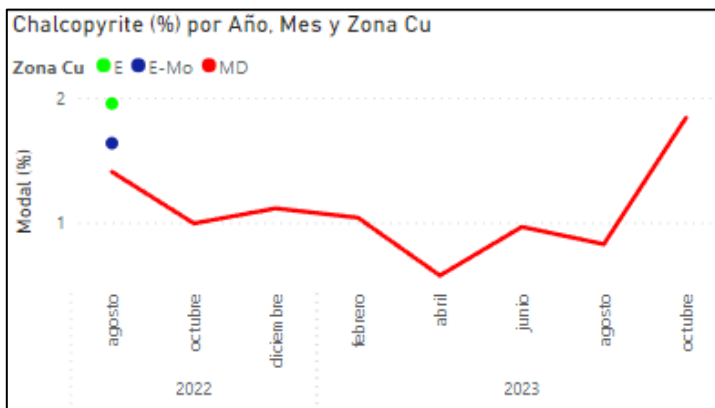


Figura 42: Cpy en porcentaje mineral obtenido directo del muestreo por zona del sector Diablo Regimiento.

Bornita:

Al igual que en caso de la calcopirita la bornita es uno de los sulfuros de Cu que aumenta en mayor medida, que otros minerales de Cu, la ley de Cu de la división El Teniente, la cual se centra en la zona Favorable, es por esto que también se realizan gráficos para ver sus variaciones por el estallido de roca.

Al mismo tiempo se puede observar en la Figura 43 un leve aumento de Bn en la zona F para el sector Dacita debido a factores externos al estallido de roca pero que se ve reflejado en un aumento de la calidad metalúrgica de esta zona en particular.

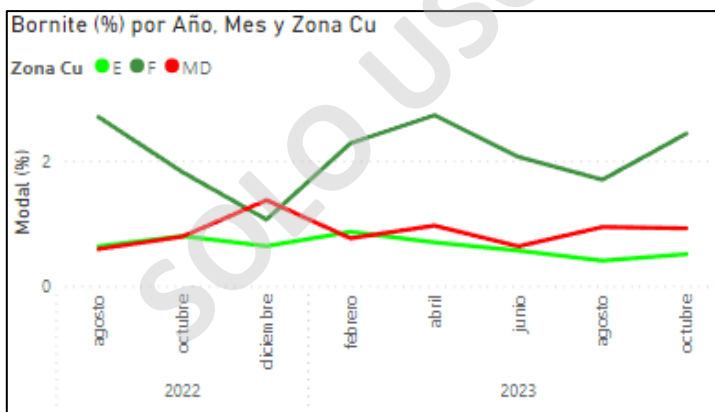


Figura 43:: Bn en porcentaje mineral obtenido directo del muestreo por zona del sector Diablo Regimiento.

También se ve el cierre total en la zona Estándar y Muy desfavorable de los sectores Reservar Norte y Recursos Norte, desde septiembre del 2023 (Figura 44).

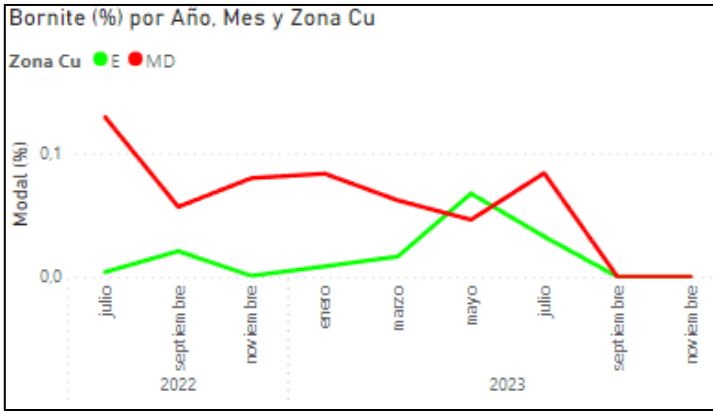


Figura 44: Bn en porcentaje mineral obtenido directo del muestreo por zona del sector Reservas Norte y Recursos Norte.

6.6. Aporte Arcillas por línea de procesamiento

Las arcillas en la minería juegan un rol importante ya que estas son un indicador mineralógico que se relaciona directamente con el Cu Total, la cantidad de Cal utilizada en el proceso de flotación y la recuperación de Cu. Esto se relacionan con el “factor K de Cu” el cual es la relación entre cobre no soluble (CuNS) y el cobre total (CuT), multiplicada por 100 $[(CuNS/CuT) \times 100]$.

Es por este motivo que el gráfico de aporte de arcillas se compara con el factor k en vez de la ley cabeza de Cu como los gráficos de mineralogía y aporte anteriores (Figura 45).

Primero en la línea de procesamiento SAG se observa el aumento de todas las arcillas post-estallido de roca principalmente de Caolinita y la normalización de estos en los meses de octubre y noviembre, también por parte del factor k se observa una disminución de este tanto del PAM como el REAL y una tendencia al equilibrio en el mes de octubre y noviembre.

En la línea de procesamiento CONV se visualiza un aumento de Caolinita, Montmorillonita y Pirofilita desde agosto a octubre y una tendencia a normalizar en noviembre y con el factor k se observa un gran aumento de este en los meses post-estallido de roca y comenzando a disminuir en noviembre.

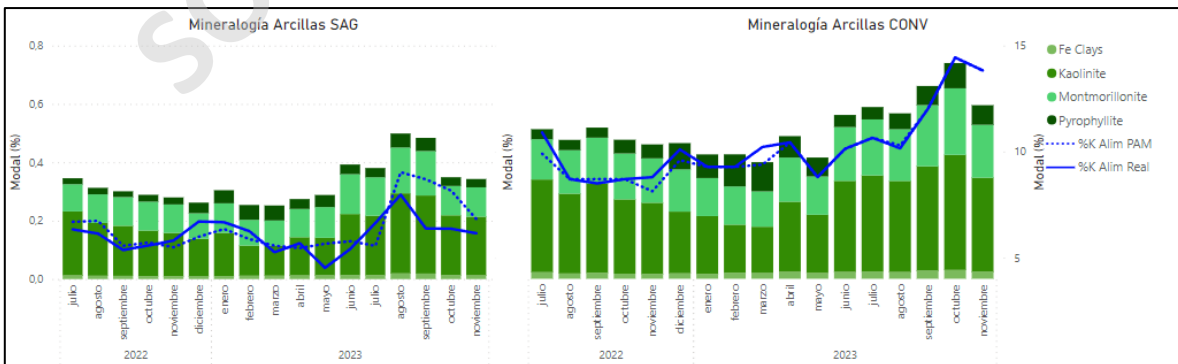


Figura 45: Mineralogía de arcillas en porcentaje mineral para línea de procesamiento SAG y CONV vs factor K PAM y Real.

6.7. Aporte Arcillas por sector

Para el caso de las arcillas se puede visualizar el aporte de estas por sector lo cual nos indica cual de estos sectores productivos presenta un mayor aporte de difusión (material quebrado) y por ende asociado a una mayor cantidad de puntos de extracción en zona Muy Desfavorable.

En el caso de la línea de procesamiento SAG es fácil identificar que en el sector Reno, que representa los sectores Reservar Norte y Recursos Norte, siempre mantiene un mayor porcentaje de arcillas, reafirmando las zonas de estos sectores los cuales presentan mayor cantidad de puntos como zona Muy Desfavorable y también post-estallido de roca se observa nuevamente el cierre total de estos sectores (Figura 46).

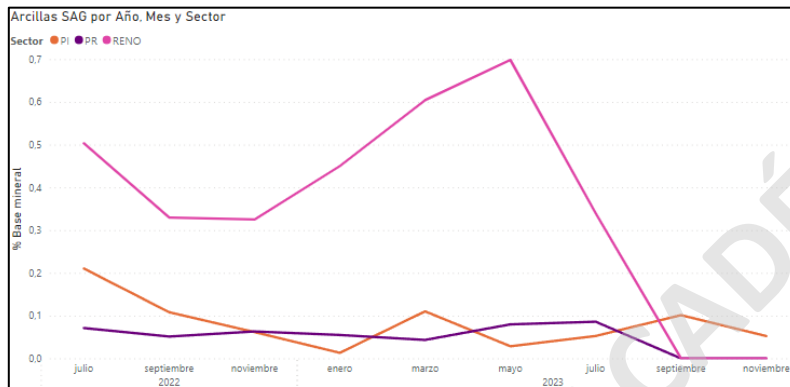


Figura 46: Arcillas en porcentaje mineral de sectores productivos afectador por el estallido de línea SAG.

Para la línea de procesamiento CONV se observa un mayor porcentaje de arcillas en el sector Diablo Regimiento reafirmando la zona presente en este sector que es completamente Muy Desfavorable en comparación con el sector Dacita que también presenta puntos con la misma zona, pero la mayoría de estos son de zona Favorable o Estándar. También post-estallido de roca se vuelve a visualizar la disminución del porcentaje de arcillas en el sector Diablo Regimiento (Figura 47).

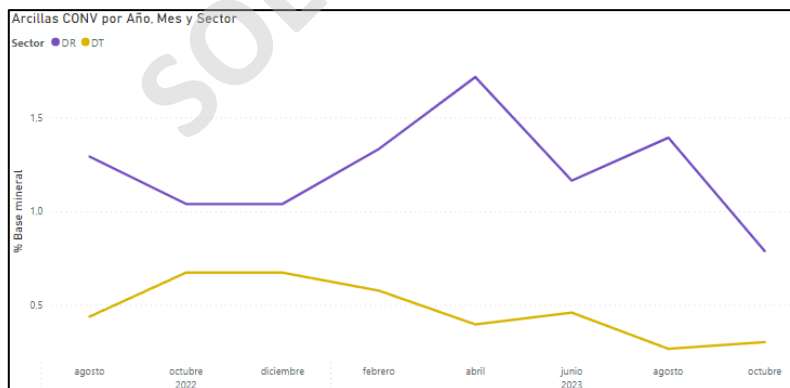


Figura 47: Arcillas en porcentaje mineral de sectores productivos afectador por el estallido de línea CONV.

6.8. Aporte Arcillas por zona

Para los dos sectores que fueron mayormente afectados el porcentaje de arcillas. Partiendo por el sector Reno (Reservas Norte y Recursos Norte), es que se vuelve a observar el mayor porcentaje de arcillas en la zona Muy Desfavorable de este sector y mucho menor en la zona Estándar y post-estallido de roca el cierre completo de estos sectores (Figura 48).

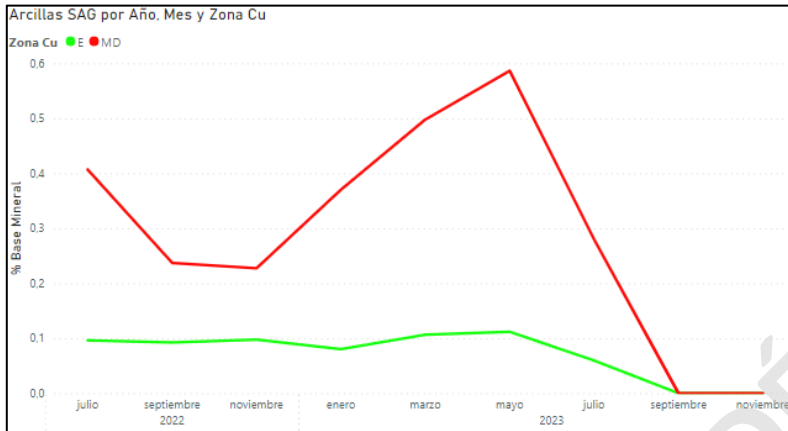


Figura 48: Arcillas en porcentaje mineral del sector Reservas Norte y Recursos Norte para línea SAG.

Para el caso del sector Diablo Regimiento al tener actualmente solo zona Muy Desfavorable es que se puede observar incluso un mayor porcentaje que en el sector Reno con una leve disminución en los meses post-estallido de roca (Figura 49).

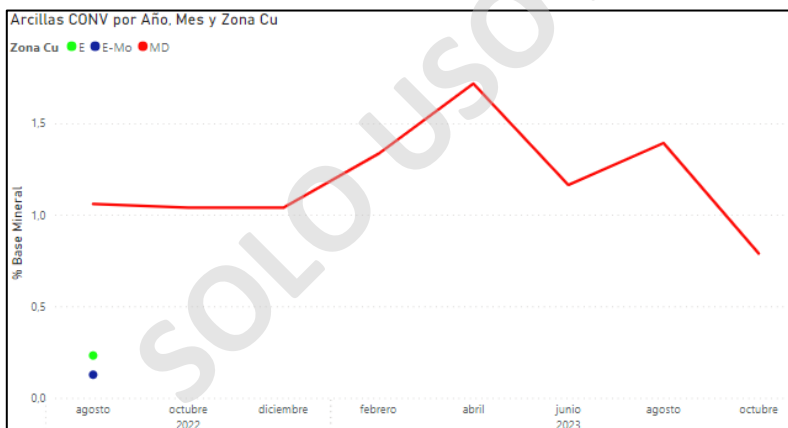


Figura 49: Arcillas en porcentaje mineral del sector Diablo Regimiento para línea SAG.

7. Capítulo VII: Análisis mineralógico y metalúrgico

7.1. Análisis resultados gráficos aporte mineral vs ley cabeza

Línea SAG:

Sector Dacita: Presenta la zona F, E y MD. En estas el rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de cada una de estas zonas es de 2,3-4,1%, 7-8,2% y 2,2-2,5% respectivamente, lo cual indica a primera vista que el mayor aporte para este sector es de los puntos de caracterizados como zona Estándar y Favorable por lo que es esperable una mineralogía de mena principal Cpy y en menor proporción Bn. Post-estallido de roca estos valores varían en 5-6,8%, 12,4-13,7% y 7,1-10% lo que da lugar primero al aumento generalizado de las 3 zonas geometalúrgicas, pero con un alza en el aporte de casi el doble al aporte normal, en la zona Favorable y en menor proporción Estándar y Muy Desfavorable, esto implicaría que la mineralogía de mena principal variaría a ser mucho mayor en Bn y luego Cpy, con un poco mayor porcentaje de “material quebrado” (dilución) (Anexo 1).

Sector Reservar Norte y Recursos Norte (Reno): Estos presentan tanto zona E como MD los cuales tiene un rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de 17,9-19% y 5,3-3,1%, indicando así que es el sector productivo de mayor aporte de Cpy en la mezcla mineral de la línea SAG. Post-estallido de roca estos valores varían en 0,1-4,2% (noviembre 9,5%) y 0,1-2,3%, observando así una disminución de las dos zonas geometalúrgicas, debido a el cierre total de estos sectores productivos a causa del estallido de roca (Anexo 2).

Sector Diablo Regimiento: Solo presenta zona MD tiene un rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de 5,6-7,8% indicando que este es el sector productivo que más aporte porcentual genera “material quebrado” para la mezcla mineral en la línea SAG. Post-estallido de roca este aporte varía alcanzando incluso un 16% lo que indica una gran alza de más del doble del aporte normal de este sector, indicando así un aumento significativo de “material quebrado” a la mezcla mineral (Anexo 3).

Sector Panel Reno: Solo presenta zona E, esta tiene un rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de 2,2-2,9% indicando así un aporte principal de Cpy a la mezcla mineral de la línea SAG. Post-estallido de roca este aporte disminuye a 0% en los meses de agosto y septiembre y retomando su actividad en octubre con un 1,5% y ya en noviembre normalizándose a un 2,9%, lo que indica un cierre total de los primeros dos meses posteriores al estallido de roca y desde octubre el comienzo de retomar las operaciones normales de extracción mineral en este sector productivo (Anexo 4).

Sector Pilar Norte: Solo presenta zona E, esta tiene un rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de 5-6,2% y al igual que en sector Panel Reno su aporte principal de mineralogía de mena es de Cpy para la mezcla mineral de la línea SAG. Post-estallido de roca este aporte disminuye únicamente en el mes de agosto el cual llega a 0,5% y luego desde septiembre a

noviembre un aporte normal, lo que indicaría de la misma forma el cierre casi por completo de este sector en el mes de agosto y se retoman las funciones normales un mes posterior al evento (Anexo 5).

En cuanto a la ley cabeza se puede observar que desde julio del 2023 hasta diciembre de los 2023 para la línea de procesamiento SAG el rango normal de ley cabeza Real es de 0,83-0,86, confirmando la continuidad y homogeneidad mineralógica de la división, ya que el rango de ley cabeza solo varía en 0,03 aproximadamente. Post-estallido de roca esta ley cabeza aumenta llegando a alcanzar su peak en el mes de septiembre y octubre de 0,95 esto producto del aumento en los aportes de sectores con una mejor calidad mineralógica y metalúrgica, principalmente de las zonas Favorable que aporta Bn y Estándar que aporta Cpy a la mezcla mineral de la línea SAG.

Línea CONV:

Sector Dacita: el cual presenta la zona F, E y MD en la cual el rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de cada una de estas zonas es de 6,5-9%, 12,2-14,2% y 5,1-7,3%, lo que indicaría un mayor aporte de Cpy por la zona Estándar y también de Bn por la zona Favorable en la mezcla mineral de la línea CONV. Post-estallido de roca estos valores varían en 3-3,6% (octubre y noviembre 5,6%), 7,4-8,8% y 4,5-5,2% (octubre y noviembre 6,8%), lo que nos indica la disminución generalizada de las 3 zonas geometalúrgicas y las de mayor baja en casi la mitad de sus aportes la zona Favorable y zona Estándar, lo que produce una disminución en el aporte tanto de Bn como de Cpy en la mezcla mineral principalmente en los meses de agosto y septiembre en la línea CONV (Anexo 6).

Sector Diablo Regimiento: el cual solo presenta zona MD tiene un rango normal de aporte porcentual previo al estallido de roca de 30,5-37,5% lo que indicaría que este es el sector de mayor aporte dentro de la línea CONV y también el que mayor aporte genera de “material quebrado” (dilución) a la mezcla mineral de la línea CONV (Anexo 7).

En cuanto a la ley cabeza de Cu Real de la línea de procesamiento Convencional se puede observar que desde julio del 2023 hasta diciembre de los 2023 el rango normal es de 0,92-0,95% lo que al igual que la línea de procesamiento SAG indica una gran estabilidad mineral y metalúrgica de la división El Teniente. También a nivel generalizado en los meses posteriores al estallido de roca se observa una disminución en comparación con la tendencia normal alcanzando su mayor baja en el mes de septiembre (caso contrario de la línea SAG) de ley cabeza de Cu Real de 0,84% esto debido principalmente a la disminución del aporte de sectores con mejor calidad geometalúrgica principalmente del sector Dacita.

7.2. Análisis resultados gráficos aporte mineralogía de Cu

Ya teniendo en cuenta el análisis de los datos de las zonas geometalúrgicas de forma generalizada y por los sectores afectados por el estallido de roca, es que se puede llegar a observar en los gráficos de mineralogía de Cu los cambios anteriormente descritos.

Tanto para la línea SAG como CONV, los cambios mineralógicos más relevantes son con respecto a la mineralogía de Bn y Cpy es por este motivo que se centrara el análisis en estos dos minerales de mena de Cu.

Comenzando por la línea SAG, se observa el aumento significativo del aporte de sectores con mejora calidad mineralógica observable por medio del aumento significativo de Bn, la cual tiene un rango normal previo al estallido de roca en porcentaje mineral de 0,09-0,17% y post-estallido de roca 0,22-0,27% y en el mes de noviembre nuevamente disminuyendo a el rango normal con un valor de 0,13%, esto evidenciando nuevamente el aumento en la calidad metalúrgica de los gráficos de aporte generalizado de todas las zonas de la mina subterránea (Figura 50).

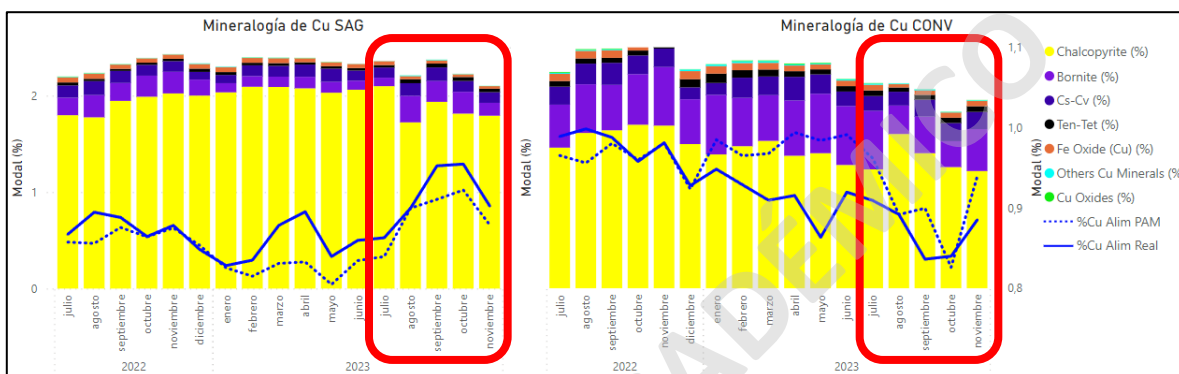


Figura 50: Minerología de mena de Cu en porcentaje mineral para línea de procesamiento SAG y CONV con foco en estallido de roca.

También se observa la disminución de Cpy, la cual tiene un rango normal previo al estallido de roca en porcentaje mineral de 1,95-2,1% y post-estallido de roca en el mes de agosto se genera la mayor disminución hasta 1,72% y aumentando en los meses posteriores llegando a un pick 1,94% esto por causa del cierre de los sectores con mayor aporte de zona Estándar en los primeros meses posterior al estallido de roca (Reservas Norte, Recursos Norte, Panel Reno y Pilar Norte) (Anexo 8).

Para la línea CONV, la disminución del aporte de sectores con mejor calidad mineralógica se puede visualizar en la disminución de Bn la cual tiene un rango normal previo al estallido de roca en porcentaje mineral de 0,5-0,62% y post-estallido de roca 0,27-0,38, lo que reafirma la disminución de la calidad geometalúrgica en la línea CONV por menor aporte de la zona F observado en los gráficos generales de aportes por zona de la mina subterránea (Anexo 9).

7.3. Análisis resultados gráficos arcillas

Los gráficos de arcillas tienen el propósito de visualizar los cambios mineralógicos que se generaron por medio del estallido de roca lo que se relaciona de forma directa con el aumento o disminución de la zona Muy Desfavorable, por lo que es de gran ayuda generar esta relación entre los gráficos de mineralogía de arcillas con los de aporte específicamente de la zona Muy Desfavorable (Figura 51).

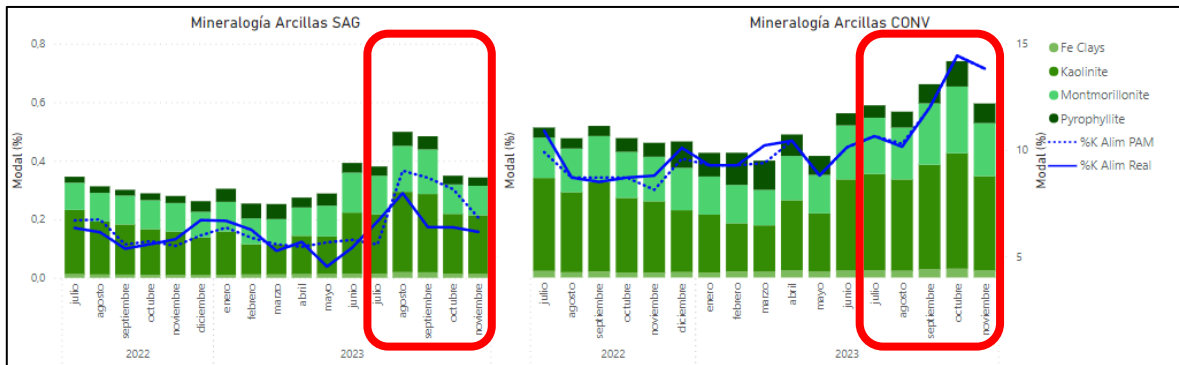


Figura 51: Mineralogía de arcillas en porcentaje mineral para línea de procesamiento SAG y CONV con foco en estallido de roca.

Partiendo con la línea SAG se observa el aumento de todas las arcillas post-estallido de roca principalmente de Caolinita la cual tiene un rango normal previo al estallido de roca en porcentaje mineral de 0,1-0,17% y post-estallido de roca de 0,2-0,27% y la normalización de estos en los meses de octubre y noviembre, también por parte del factor k se observa una disminución en los meses de agosto y septiembre llegando a un mínimo de 6,16 en el mes de noviembre (Anexo 10).

En la línea CONV se visualiza un aumento de Arcillas de Fe, Caolinita y Montmorillonita donde la mayor variación al igual que en la línea SAG se observa en la Caolinita con un pick de 0,27% desde agosto a octubre y una tendencia a normalizar en noviembre a 0,2, también con el factor k se observa una variación con respecto a el rango normal previo al estallido de roca de 8,8-10,65% con un gran aumento de este en los meses post-estallido de roca con un pick de 14,44 en el mes de octubre y comenzando a disminuir en noviembre (Anexo 11).

En cuanto a el Factor K cabe mencionar que en planta se requiere un K Cu de 2,0 para un buen procesamiento del mineral y para que el proceso de flotación tenga un buen rendimiento, para la línea CONV se puede observar un rango normal de 8,8-10,15 y post-estallido de roca se generó una gran alza de este llegando a un pick de 14,44 en el mes de octubre producto del aumento en aporte de zona Muy Desfavorable y comenzando a disminuir en noviembre por la reapertura de los sectores afectados. En la línea SAG se reconoce un rango normal del factor K de 5,4-6,71 con un alza constante desde junio llegando a 7,98 (independiente del estallido de roca) y post estallido de roca se genera una disminución de este factor llegando a 6,16 producto de la disminución de aporte de zona Muy Desfavorable.

8. Capítulo VIII: Conclusiones

De acuerdo con los resultados y análisis de los datos obtenidos en este trabajo para poder identificar los cambios mineralógicos de la mezcla en la línea SAG y CONV producto del estallido de roca de julio 2023 a partir de la interpretación grafica de los sectores productivos de la mina subterránea en la división El Teniente, es que se puede concluir lo siguiente:

Con respecto a los cambios en el aporte en tonelaje de los sectores productivos de la mina subterránea, principalmente se llega a observar una modificación en la distribución fino-grosso de los sectores Dacita, Diablo Regimiento, Reservas Norte, Recursos Norte, Panel Reno y Pilar Norte para la línea SAG y CONV desde julio 2023, también reflejado en la ley cabeza de Cu. Es por este motivo que las siguientes conclusiones se centran en estos sectores productivos (Figura 52).

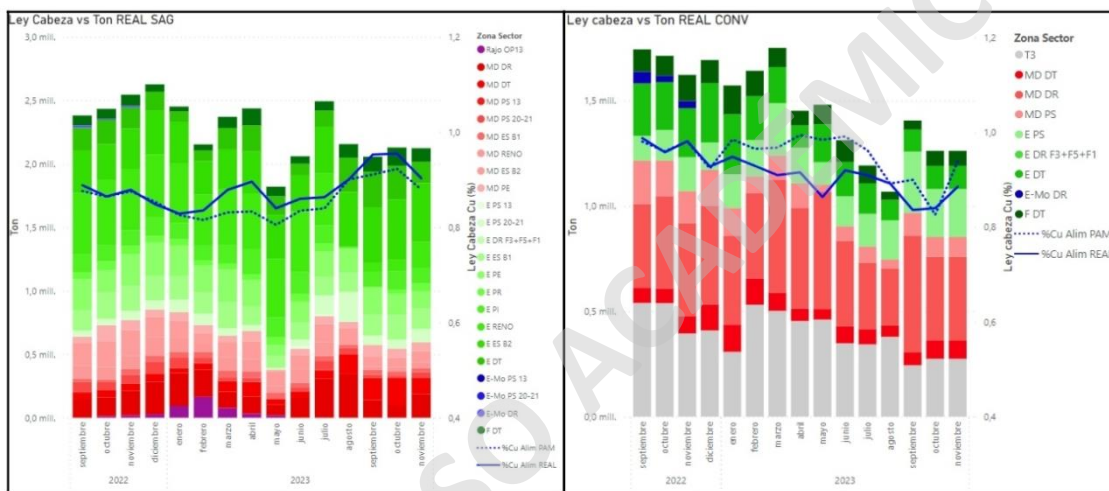


Figura 52: Aportes reales en Toneladas de cada zona geometalúrgica de mina El Teniente vs ley cabeza de Cu PAM y Real.

Para el sector Dacita se observa que el total de aporte en tonelaje con la línea SAG y CONV aumenta en un bajo porcentaje total de solo 3%, el gran cambio se generó en el aporte de zonas de mejor calidad metalúrgica, principalmente zona Favorable rica en mena de Bn, entre líneas de procesamiento. Donde la línea SAG aumento su aporte de zona Favorable con respecto a la línea CONV, evidenciando así que se priorizo en los meses post-estallido de roca la zona Favorable para la línea SAG, esto visualizándose en la mejora de la ley cabeza de Cu post-estallido de roca.

En el sector del Diablo Regimiento el aporte total de este sector aumenta considerablemente con el propósito de compensar la disminución de los aportes en los sectores productivos de la mina norte, lo que implicaría que, el sector Diablo Regimiento al estar caracterizado completamente por la zona Muy Desfavorable, disminuye la calidad metalúrgica de la mezcla mineral, afectando a la línea SAG y en mayor proporción a la línea CONV, esto también se llega a observar en el aumento de arcillas para la línea CONV.

En los sectores Reno (Reservar Norte y Recursos Norte), Panel Reno y Pilar Norte, al ser los sectores directamente afectados por el estallido de roca y cerrados sus puntos de producción

durante los meses de agosto y septiembre principalmente, es que disminuye la calidad metalúrgica de la mezcla mineral en la línea SAG, ya que estos sectores principalmente aportaban mena de Cpy, pero en la línea SAG al haber un alto aporte de puntos en zona Favorable por el sector Dacita es que no se observa una disminución de la calidad metalúrgica de la línea SAG sino que aumenta en el total de esta línea de procesamiento, por la mejor calidad metalúrgica de la Bn en comparación con la Cpy.

Los análisis realizados de todos los sectores productivos de la mina subterránea permitieron identificar los cambios que se produjeron por causa del estallido de roca en el corto plazo, infiriendo un aumento en la calidad metalúrgica para la línea SAG y una disminución de la calidad metalúrgica en la línea CONV, dejando como producto para la Superintendencia de Gestión Producción una base de datos unificada para los datos mineralógicos y metalúrgicos y la plataforma de Power BI que se podrá utilizar para el análisis de posteriores eventos.

También se recomienda como trabajo a futuro poder obtener los datos mineralógicos tanto de la cabeza como de cola, ya que para este trabajo solo se tienen datos de la cabeza, para así tener la información mineral desde el ingreso a la planta de tratamiento y al salir de la planta de tratamiento. Con ambos datos es posible realizar la visualización de datos mineralógicos y geometalúrgicos en conjunto, principalmente grado de liberación de Sulfuros de Cu, Molibdeno y Pirita/Pirrotina, y rangos de granulometría mineral por cada zona geometalúrgica y así no solo obtener una inferencia de lo que sucedería en el proceso planta sino que se tenga una conclusión sólida de estos cambios a nivel mina y planta de tratamiento.

Referencias

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

Arévalo A., Floody R. y Olivares A., 1998. Estudio Geometalúrgico del Mineral a Explotar a Mediano y Largo Plazo. GL-133/98. Informe Interno.

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

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

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

CHARRIER, R. 1996. New evidence for Late Mesozoic-Early Cenozoic evolution of the Chilean Andes in the Upper Tinguiririca Valley (35°S), Central Chile.

CHARRIER, R. 2014. Tectono-stratigraphic evolution of the Andean Orogen between 31 and 37°S (Chile and Western Argentina).

CODELCO, 2007. Modelo Litológico Nivel 2165. División El Teniente, Superintendencia de Geología.

CODELCO, 2015. *Estándares y Metodologías de Trabajo para Geología de Minas*, CAP-01_RF_LB rev 2. División El Teniente, Superintendencia de Geología.

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

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

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

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

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

Skewes M. y Arévalo A., 1997. Las andesitas de la Mina El Teniente. Congreso Geológico Antofagasta.

Skewes M., Arévalo A., Floody R., Zúñiga R. Stern C., 2002. The Giant El Teniente Breccia Deposit: Hypogene Copper Distribution and Emplacement. Society of Economic Geologists. Special Publication 9.

Toledo, V., 2018. Zonificación geometalúrgica de los Sectores Productivos que alimentan a la Línea Convencional de División El Teniente, para identificar Potenciales de recuperación Cu-Mo, Ley de concentrado Cu y su Aplicación en planificación Corto Plazo.

SOLO USO ACADÉMICO

Anexos

Línea SAG					Línea SAG				
Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real	Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	3,18	F DT	0,89	2022	septiembre	7,49	E DT	0,89
2022	octubre	3,22	F DT	0,86	2022	octubre	7,79	E DT	0,86
2022	noviembre	3,45	F DT	0,88	2022	noviembre	6,49	E DT	0,88
2022	diciembre	2,18	F DT	0,85	2022	diciembre	5,63	E DT	0,85
2023	enero	1,58	F DT	0,83	2023	enero	3,29	E DT	0,83
2023	febrero	2,26	F DT	0,84	2023	febrero	3,92	E DT	0,84
2023	marzo	3,75	F DT	0,88	2023	marzo	7,07	E DT	0,88
2023	abril	5,51	F DT	0,90	2023	abril	8,45	E DT	0,90
2023	mayo	4,14	F DT	0,84	2023	mayo	8,19	E DT	0,84
2023	junio	2,86	F DT	0,86	2023	junio	4,45	E DT	0,86
2023	julio	2,95	F DT	0,86	2023	julio	5,05	E DT	0,86
2023	agosto	4,99	F DT	0,90	2023	agosto	12,57	E DT	0,90
2023	septiembre	5,65	F DT	0,95	2023	septiembre	13,74	E DT	0,95
2023	octubre	6,72	F DT	0,95	2023	octubre	12,43	E DT	0,95
2023	noviembre	5,09	F DT	0,90	2023	noviembre	7,91	E DT	0,90

Línea SAG				
Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	2,12	MD DT	0,89
2022	octubre	2,38	MD DT	0,86
2022	noviembre	2,31	MD DT	0,88
2022	diciembre	2,46	MD DT	0,85
2023	enero	1,48	MD DT	0,83
2023	febrero	2,35	MD DT	0,84
2023	marzo	3,57	MD DT	0,88
2023	abril	4,67	MD DT	0,90
2023	mayo	2,25	MD DT	0,84
2023	junio	2,22	MD DT	0,86
2023	julio	2,51	MD DT	0,86
2023	agosto	7,13	MD DT	0,90
2023	septiembre	8,35	MD DT	0,95
2023	octubre	9,94	MD DT	0,95
2023	noviembre	6,16	MD DT	0,90

Anexo 1: Aportes de Ton (%) para cada zona del sector Dacita de línea SAG.

Línea SAG

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	20,04	E RENO	0,89
2022	octubre	20,89	E RENO	0,86
2022	noviembre	19,01	E RENO	0,88
2022	diciembre	18,92	E RENO	0,85
2023	enero	19,06	E RENO	0,83
2023	febrero	18,55	E RENO	0,84
2023	marzo	18,70	E RENO	0,88
2023	abril	17,88	E RENO	0,90
2023	mayo	25,46	E RENO	0,84
2023	junio	23,14	E RENO	0,86
2023	julio	16,38	E RENO	0,86
2023	agosto	0,06	E RENO	0,90
2023	septiembre	3,17	E RENO	0,95
2023	octubre	4,23	E RENO	0,95
2023	noviembre	9,47	E RENO	0,90

Línea SAG

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	4,36	MD RENO	0,89
2022	octubre	3,99	MD RENO	0,86
2022	noviembre	4,17	MD RENO	0,88
2022	diciembre	5,49	MD RENO	0,85
2023	enero	4,41	MD RENO	0,83
2023	febrero	3,08	MD RENO	0,84
2023	marzo	4,38	MD RENO	0,88
2023	abril	3,90	MD RENO	0,90
2023	mayo	2,90	MD RENO	0,84
2023	junio	5,32	MD RENO	0,86
2023	julio	4,47	MD RENO	0,86
2023	agosto	0,03	MD RENO	0,90
2023	septiembre	1,29	MD RENO	0,95
2023	octubre	1,70	MD RENO	0,95
2023	noviembre	2,29	MD RENO	0,90

Anexo 2: Aportes de Ton (%) para cada zona del sector Reno de línea SAG.

Línea SAG

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	6,06	MD DR	0,89
2022	octubre	6,11	MD DR	0,86
2022	noviembre	7,50	MD DR	0,88
2022	diciembre	9,71	MD DR	0,85
2023	enero	10,60	MD DR	0,83
2023	febrero	9,88	MD DR	0,84
2023	marzo	5,36	MD DR	0,88
2023	abril	5,53	MD DR	0,90
2023	mayo	4,63	MD DR	0,84
2023	junio	7,63	MD DR	0,86
2023	julio	12,31	MD DR	0,86
2023	agosto	15,94	MD DR	0,90
2023	septiembre	6,84	MD DR	0,95
2023	octubre	4,67	MD DR	0,95
2023	noviembre	8,70	MD DR	0,90

Anexo 3: Aportes de Ton (%) para zona MD del sector Diablo Regimiento de línea SAG.

Línea SAG

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	2,30	E PR	0,89
2022	octubre	2,88	E PR	0,86
2022	noviembre	2,54	E PR	0,88
2022	diciembre	1,87	E PR	0,85
2023	enero	2,22	E PR	0,83
2023	febrero	1,97	E PR	0,84
2023	marzo	2,04	E PR	0,88
2023	abril	1,90	E PR	0,90
2023	mayo	3,41	E PR	0,84
2023	junio	2,87	E PR	0,86
2023	julio	2,56	E PR	0,86
2023	agosto	0,00	E PR	0,90
2023	septiembre	0,00	E PR	0,95
2023	octubre	1,49	E PR	0,95
2023	noviembre	2,88	E PR	0,90

Anexo 4: Aportes de Ton (%) para zona E del sector Panel Reno de línea SAG.

Línea SAG

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	6,15	E PI	0,89
2022	octubre	5,40	E PI	0,86
2022	noviembre	4,83	E PI	0,88
2022	diciembre	5,56	E PI	0,85
2023	enero	5,06	E PI	0,83
2023	febrero	5,43	E PI	0,84
2023	marzo	6,18	E PI	0,88
2023	abril	8,18	E PI	0,90
2023	mayo	8,51	E PI	0,84
2023	junio	8,41	E PI	0,86
2023	julio	5,77	E PI	0,86
2023	agosto	0,49	E PI	0,90
2023	septiembre	5,89	E PI	0,95
2023	octubre	6,88	E PI	0,95
2023	noviembre	5,92	E PI	0,90

Anexo 5: Aportes de Ton (%) para zona E del sector Pilar Norte de línea SAG.

Línea CONV

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	6,06	F DT	0,99
2022	octubre	5,49	F DT	0,96
2022	noviembre	7,64	F DT	0,98
2022	diciembre	6,46	F DT	0,93
2023	enero	8,70	F DT	0,95
2023	febrero	7,33	F DT	0,93
2023	marzo	5,18	F DT	0,91
2023	abril	4,77	F DT	0,92
2023	mayo	6,18	F DT	0,86
2023	junio	7,94	F DT	0,92
2023	julio	7,09	F DT	0,91
2023	agosto	3,60	F DT	0,89
2023	septiembre	3,05	F DT	0,84
2023	octubre	5,62	F DT	0,84
2023	noviembre	5,62	F DT	0,89

Línea CONV

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	14,26	E DT	0,99
2022	octubre	13,27	E DT	0,96
2022	noviembre	14,35	E DT	0,98
2022	diciembre	16,65	E DT	0,93
2023	enero	18,08	E DT	0,95
2023	febrero	12,70	E DT	0,93
2023	marzo	9,77	E DT	0,91
2023	abril	7,32	E DT	0,92
2023	mayo	12,22	E DT	0,86
2023	junio	12,37	E DT	0,92
2023	julio	12,13	E DT	0,91
2023	agosto	9,07	E DT	0,89
2023	septiembre	7,40	E DT	0,84
2023	octubre	8,74	E DT	0,84
2023	noviembre	8,74	E DT	0,89

Línea CONV

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	4,04	MD DT	0,99
2022	octubre	4,05	MD DT	0,96
2022	noviembre	5,10	MD DT	0,98
2022	diciembre	7,29	MD DT	0,93
2023	enero	8,13	MD DT	0,95
2023	febrero	7,61	MD DT	0,93
2023	marzo	4,93	MD DT	0,91
2023	abril	4,05	MD DT	0,92
2023	mayo	3,36	MD DT	0,86
2023	junio	6,17	MD DT	0,92
2023	julio	6,04	MD DT	0,91
2023	agosto	5,15	MD DT	0,89
2023	septiembre	4,50	MD DT	0,84
2023	octubre	6,80	MD DT	0,84
2023	noviembre	6,80	MD DT	0,89

Anexo 6: Aportes de Ton (%) para cada zona del sector Dacita de línea CONV.

Línea CONV

Año	Mes	Ton %	Zona Sector	%Cu Alim Real
2022	septiembre	22,93	MD DR	0,99
2022	octubre	25,59	MD DR	0,96
2022	noviembre	27,11	MD DR	0,98
2022	diciembre	27,69	MD DR	0,93
2023	enero	26,83	MD DR	0,95
2023	febrero	24,59	MD DR	0,93
2023	marzo	30,54	MD DR	0,91
2023	abril	32,95	MD DR	0,92
2023	mayo	37,59	MD DR	0,86
2023	junio	30,91	MD DR	0,92
2023	julio	26,52	MD DR	0,91
2023	agosto	25,30	MD DR	0,89
2023	septiembre	39,33	MD DR	0,84
2023	octubre	31,65	MD DR	0,84
2023	noviembre	31,65	MD DR	0,89

Anexo 7: Aportes de Ton (%) para zona MD del sector Diablo Regimiento de línea CONV.

Línea SAG

Año	Mes	Chalcopyrite (%)	Bornite (%)	Fe Oxide (Cu) (%)	Cs-Cv (%)	Cu Oxides (%)
2022	septiembre	1,95	0,19	0,044	0,13	0,0022
2022	octubre	1,99	0,22	0,044	0,11	0,0013
2022	noviembre	2,02	0,22	0,044	0,11	0,0013
2022	diciembre	2,00	0,17	0,048	0,08	0,0008
2023	enero	2,03	0,09	0,051	0,09	0,0006
2023	febrero	2,09	0,11	0,051	0,11	0,0022
2023	marzo	2,09	0,11	0,051	0,11	0,0022
2023	abril	2,08	0,12	0,041	0,13	0,0024
2023	mayo	2,03	0,11	0,040	0,14	0,0027
2023	junio	2,06	0,09	0,041	0,11	0,0006
2023	julio	2,10	0,09	0,039	0,11	0,0006
2023	agosto	1,72	0,27	0,032	0,13	0,0010
2023	septiembre	1,94	0,22	0,033	0,14	0,0010
2023	octubre	1,81	0,23	0,028	0,11	0,0011
2023	noviembre	1,79	0,13	0,027	0,11	0,0010

Anexo 8: Mineralogía de Cu en porcentaje mineral de línea SAG.

Línea CONV

Año	Mes	Chalcopyrite (%)	Bornite (%)	Fe Oxide (Cu) (%)	Cs-Cv (%)	Cu Oxides (%)
2022	septiembre	1,64	0,47	0,080	0,23	0,0067
2022	octubre	1,70	0,52	0,072	0,19	0,0037
2022	noviembre	1,69	0,61	0,070	0,19	0,0038
2022	diciembre	1,50	0,46	0,084	0,12	0,0023
2023	enero	1,39	0,62	0,079	0,12	0,0028
2023	febrero	1,47	0,50	0,074	0,21	0,0065
2023	marzo	1,53	0,47	0,069	0,19	0,0062
2023	abril	1,38	0,57	0,059	0,25	0,0089
2023	mayo	1,40	0,62	0,051	0,20	0,0071
2023	junio	1,28	0,61	0,058	0,15	0,0041
2023	julio	1,23	0,61	0,059	0,15	0,0041
2023	agosto	1,60	0,30	0,035	0,14	0,0011
2023	septiembre	1,40	0,38	0,046	0,18	0,0016
2023	octubre	1,26	0,27	0,055	0,19	0,0026
2023	noviembre	1,22	0,44	0,055	0,18	0,0029

Anexo 9. Mineralogía de Cu en porcentaje mineral de línea CONV.

Línea SAG

Año	Mes	Fe Clays	Kaolinite	Montmorillonite	Pyrophyllite	%K Alim Real
2022	julio	0,013	0,22	0,09	0,02	6,34
2022	agosto	0,011	0,18	0,10	0,02	6,14
2022	septiembre	0,011	0,17	0,10	0,02	5,37
2022	octubre	0,010	0,16	0,10	0,02	5,58
2022	noviembre	0,010	0,15	0,10	0,02	5,82
2022	diciembre	0,009	0,13	0,09	0,04	6,71
2023	enero	0,010	0,15	0,10	0,04	6,68
2023	febrero	0,012	0,10	0,09	0,05	6,26
2023	marzo	0,012	0,10	0,09	0,05	5,27
2023	abril	0,013	0,13	0,10	0,03	5,69
2023	mayo	0,013	0,13	0,11	0,04	4,53
2023	junio	0,014	0,21	0,14	0,03	5,42
2023	julio	0,014	0,20	0,13	0,03	6,64
2023	agosto	0,020	0,27	0,16	0,05	7,98
2023	septiembre	0,019	0,27	0,15	0,05	6,38
2023	octubre	0,013	0,21	0,10	0,03	6,37
2023	noviembre	0,013	0,20	0,10	0,03	6,16

Anexo 10: Mineralogía de arcillas en porcentaje mineral de línea SAG.

Línea CONV

Año	Mes	Fe Clays	Kaolinite	Montmorillonite	Pyrophyllite	%K Alim Real
2022	julio	0,013	0,22	0,09	0,02	10,90
2022	agosto	0,011	0,18	0,10	0,02	8,70
2022	septiembre	0,011	0,17	0,10	0,02	8,50
2022	octubre	0,010	0,16	0,10	0,02	8,70
2022	noviembre	0,010	0,15	0,10	0,02	8,79
2022	diciembre	0,009	0,13	0,09	0,04	10,10
2023	enero	0,010	0,15	0,10	0,04	9,28
2023	febrero	0,012	0,10	0,09	0,05	9,28
2023	marzo	0,012	0,10	0,09	0,05	10,22
2023	abril	0,013	0,13	0,10	0,03	10,43
2023	mayo	0,013	0,13	0,11	0,04	8,80
2023	junio	0,014	0,21	0,14	0,03	10,14
2023	julio	0,014	0,20	0,13	0,03	10,65
2023	agosto	0,020	0,27	0,16	0,05	10,15
2023	septiembre	0,019	0,27	0,15	0,05	12,00
2023	octubre	0,013	0,21	0,10	0,03	14,44
2023	noviembre	0,013	0,20	0,10	0,03	13,83

Anexo 11: Mineralogía de arcillas en porcentaje mineral de línea SAG.