



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
Facultad de Ciencias Químicas
Departamento Ciencias de la Tierra



**IMPLEMENTACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE ACTIVIDADES DE
GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN, CONTROL DE CALIDAD MINERAL EN
EL CORTO PLAZO, MINA SAN ANTONIO, DIVISIÓN EL SALVADOR
CODELCO, REGIÓN DE ATACAMA, CHILE**



Memoria para optar al Título de Geóloga

Valentina Javiera Urtubia Oyarzún.

Profesor Patrocinante: MSc. Abraham Elías González Martínez

Profesional Guía: Sr. Eduardo Ignacio Morales Palma

Profesores Comisión: MSc. Liubow González Martínez

Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra

Concepción, 2020

ÍNDICE

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. FORMULACIÓN DE PROYECTO.....	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.2.3. Alcance.....	3
1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS.....	3
1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO	4
1.4.1. Etapa de gabinete I:	5
1.4.2. Etapa de terreno:.....	5
1.4.3. Etapa de gabinete II:.....	5
1.5. GEOMORFOLOGÍA	6
1.6. TRABAJOS ANTERIORES	7
1.7. AGRADECIMIENTOS	9
2. MARGO GEOLÓGICO	10
2.1. GENERALIDADES.....	10
2.2. ROCAS ESTRATIFICADAS.....	12
2.2.1. Formación Montandón	12
2.2.2. Formación Asientos.....	12
2.2.3. Estratos Quebrada Vicuña.....	13
2.2.4. Formación Pedernales.....	13
2.2.5. Aluvios y coluvios modernos	13
2.3. ROCAS INTRUSIVAS	14
2.3.1. Pórfido de Cobre.....	14
2.3.2. Pórfido Esmeralda	14
2.3.3. Pórfido Secreto.....	15
2.3.4. Pórfido El Hueso	15
2.4. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL.....	16
2.5. MINERALIZACIÓN.....	17
2.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	18
2.6.1. Estructuras.....	21
2.7. DATACIONES RADIOMETRICAS	22
2.8. GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	23

3.	LINEA BASE ACTIVIDADES GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN EL CORTO PLAZO.....	25
3.1.	GENERALIDADES.....	25
3.2.	ACTIVIDADES DE GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN SAN ANTONIO ÓXIDOS.....	29
3.2.1.	Captura de datos geológicos.....	30
3.2.2.	Base de datos.....	49
3.2.3.	Procesamiento de datos en <i>software</i>	53
3.2.4.	Análisis de resultados.....	59
4.	RESULTADOS.....	68
4.1.	CUMPLIMIENTO CONCILIACIÓN MODELO DE ESTIMACIÓN DE RECURSOS ...	68
4.2.	ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS.....	72
4.2.1.	Muestreo de pozos de tronadura para análisis de leyes.....	72
4.2.2.	Muestreo de <i>stock</i>	75
4.2.3.	Muestreo de frente de extracción de mineral tronado en Mina rajo abierto.....	77
4.2.4.	Mapeo geológico de pozos de tronadura.....	78
4.2.5.	Ingreso y validación de datos al sistema operativo <i>AcQuire</i>	80
4.2.6.	Instructivo tareas geología de producción para continuidad operacional.....	81
4.2.7.	Procedimiento de control calidad y validación de resultados de pozos.....	83
4.2.8.	Tutorial de mapeo de bancos en <i>Xilab</i>	84
4.3.	MODELAMIENTO GEOLÓGICO.....	99
4.4.	PLANO DE STOCK MINA SAO.....	100
4.5.	REPORTE GEOMETALÚRGICO.....	101
5.	RECOMENDACIONES.....	105
5.1.	Control de calidad mineral.....	105
5.2.	Control de leyes minerales.....	105
5.3.	QA/QC.....	106
6.	CONCLUSIONES.....	108
7.	REFERENCIAS.....	109

INDICE DE ANEXOS

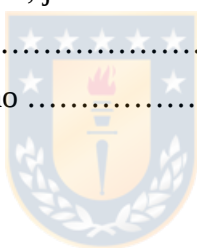
ANEXO I. GRÁFICOS DE CONCILIACIONES 2019	112
ANEXO II. MACRO PARA CREACIÓN MODELO SEPARACIÓN DE DISPARO.....	113
ANEXO III. MAPEO DE BANCO EN CARTILLA	130
ANEXO IV. MAPA DE STOCK MARGINALES MINA SAO	131
ANEXO V. PLANILLA DATOS REALES ALIMENTACIÓN MATERIAL MINA SAO	132
ANEXO VI. PLANILLA DE RESULTADOS ISO-PH MINA SAO	135
ANEXO VII.GRÁFICO DE ANÁLISIS GEOMETALÚRGICO	136

INDICE DE FIGURAS

1.01. Mapa de ubicación y accesos	4
1.02. Mapa de Unidades Fisiográficas, Región de Atacama	6
1.03. Sección NW-SE de zona Precordillerana El Salvador-Potreriillos	7
2.01. Mapa geológico local del Distrito Potrerillos	10
2.02. Zona de hundimiento y remoción en masa Mina SAO	11
2.03. Mapa geológico-estructural simplificado Mina Distrito Potrerillos	19
2.04. Sección Quebrada Llanta	20
2.05. Plano de ubicación <i>cluster</i> Potrerillos	24
3.01. Organigrama actual GRMD, DSAL	27
3.02. Diagrama de flujo de actividades de geología de producción general	29
3.03. Diagrama resumen de las actividades de geología en el corto plazo	30
3.04. Diagrama de la captura de datos geológicos	31
3.05. Reporte de plan de muestreo de pozos de tronadura	32
3.06. Esquema de conos de producción	33
3.07. Corte de pozos de tronadura con método radial	34
3.08. Conos de producción irregulares	34
3.09. Reporte de muestras	35
3.10. Reporte de preparación mecánica	36
3.11. Despacho de análisis, solicitud de análisis químico	37
3.12. Horno industrial y divisor rotatorio	38
3.13. Flujograma de preparación mecánica de muestra	38

3.14. Máquina perforadora y <i>cutting</i> de pozos de tronadura	39
3.15. Lupa electrónica para mapeo de <i>cutting</i> de pozos	40
3.16. Interfase de mapeo de pozos de tronadura en <i>AcQuire</i>	41
3.17. Mapeo de bancos geotécnico en <i>Xilab</i> Mina Campamento Antiguo	42
3.18. Plano de mapeo geológico de superficie Mina SAO, 2018	44
3.19. Diagrama de responsabilidades en el <i>QA/QC</i>	45
3.20. Extracción de <i>cutting</i> de duplicado de terreno en cono de perforación	46
3.21. Flujograma de preparación de duplicados	47
3.22. Entorno tecnológico de <i>AcQuire</i>	50
3.23. Interfase <i>AcQuire</i> para licencia <i>data entry</i>	51
3.24. Arquitectura de integración <i>Xilab-AcQuire</i>	52
3.25. Separación de disparo Mina SAO, 2019	56
3.26. Modelo geológico de Mina Campamento Antiguo	57
3.27. Proceso de confección de modelo de bloques Mina SAO 2018	59
3.28. Flujograma del proceso de conciliación	61
3.29. Separación de disparo Mina SAO, 2018	63
3.30. Diagrama de flujo de actividad muestreo de <i>stock</i>	64
3.31. Plano de ubicación stock de línea óxidos, 2018	65
3.32. Realización de pozos monitores Mina SAO	67
4.01. Diagrama de proceso de análisis de desviaciones	68
4.02. Variografía de modelo de datos reales	70
4.03. Correlación de CuT en los modelo CP y Real	70
4.04. Comparación visual y cuantitativa de modelo de datos reales y corto plazo	71
4.05. Gráfico de error relativo de duplicado de terreno, enero 2019	73
4.06. Gráfico de error relativo de duplicado de terreno, febrero 2019	74
4.07. Extracción de <i>cutting</i> con pala llana	74
4.08. Nomograma de muestreo de <i>stock</i> Mina SAO	76
4.09. Frente de extracción disparo 3490-03SA	77
4.10. Hoja de mapeo geológico de pozos de tronadura propuesta	79
4.11. Planilla de mapeo geológico automática, 2019	80
4.12. Separación de diagramas de disparo propuesta	82
4.13. Catilla de mapeo geológico de bancos	85

4.14. Esquema de presentación de datos en cartilla de mapeo	86
4.15. Simbología de la intensidad de alteraciones	87
4.16. Definición de los colores para minerales de alteración Mina SAO	88
4.17. Ejemplo de mapeo de minerales de alteración	88
4.18. Notación de fallas en cartilla de mapeo	92
4.19. Notación de otras estructuras en cartilla de mapeo Mina SAO	93
4.20. Simbología y colores de las litologías en la cartilla de mapeo	93
4.21. Simbología de contactos litológicos en cartilla de mapeo	94
4.22. Simbología y colores de mineralización en cartilla de mapeo	94
4.23. Planilla para cálculo de largo total (<i>collar</i>)	97
4.24. Planilla para cálculo de <i>azimuy y dip</i> (<i>survey</i>)	97
4.25. Planilla para cálculo de largo de tramos en cambios geológicos	98
4.26. Mapeo litológico y alteración de pozos de tiro y bancos en <i>Leapfrog</i>	98
4.27. Modelo litológico de corto plazo, junio 2020	99
4.28. Escala de humedad en terreno	104
5.01. Medidor de humedad en terreno	107



INDICE DE TABLAS

1.01. Coordenadas de ubicación área Mina SAO	4
3.01. Flujo de datos de geología de producción actual en el corto plazo	28
3.02. Parámetros estadísticos de precisión y exactitud	48
3.03. Cálculo de parámetros de precisión con los duplicados reales, 2019.....	48
3.04. Resumen global de cálculos de parámetros de precisión	49
3.05. Tabla de contenido 2018 en base de datos <i>Acquire</i> pozos de tronadura.....	51
3.06. Tabla de contenido 2018 en base de datos <i>Acquire</i> sondajes.....	52
3.07. Planilla con datos de pozos de tiro para separación de disparo.....	54
3.08. Categorías de leyes y sus respectivos colores para separación de disparo.....	55
3.09. Conciliaciones 2018 Mina SAO.....	62
3.10. Resumen extracción 2018 Mina SAO	62

3.10. Datos reales de alimentación línea óxidos, Octubre, 2018.....	66
4.01. Detalle mensual de conciliación 2018.....	69
4.02. Conciliaciones 2019 con nuevo método.....	72
4.03. % de cumplimiento de procedimiento y protocolos actuales.....	72
4.04. Varianza de leyes de muestreos antiguos y nuevos.....	76
4.05. Comparación de leyes División Salvador y División Gabriela Mistral.....	84
4.06. Escala de dureza relativa	87
4.07. Tabla de asociaciones de alteraciones Mina SAO	89
4.08. Ejemplo de codificación de alteración con intensidad	90
4.09. Tabla ejemplificada de la descripción de estructuras	91
4.10. Codificación de tipos de relleno de falla	91
4.11. Codificación de mineralización (mena/ganga) Mina SAO	95
4.12. Codificación de ocurrencia de mineralización	95
4.13. Ejemplo de codificación de abundancia mineralógica	96
4.14. Combinatoria de mineralogía de arcillas de alteración	96
4.15. Análisis de leyes de cabeza en materiales de <i>stock</i> reconocido	101
4.16. Variables geológicas para análisis geometalúrgico	102

RESUMEN

La División El Salvador se compone actualmente de la Mina rajo San Antonio Óxidos (SAO) que comienza sus actividades productivas en el 2015 con un fuerte desarrollo de minerales de alta ley en el 2018, alimentando la planta de lixiviación ubicada en El Salvador.

La geología de producción en la División ha pasado por grandes cambios organizacionales en el año 2018, por lo que resulta necesario levantar una línea base de las actividades que conforman el control de calidad mineral en el corto plazo, para así consolidar los requerimientos para la conjunción con otra áreas y cumplir el propósito común de cumplimiento de las metas productivas, así plantear una metodología de trabajo diario a través de optimizaciones y mejoras que lleguen a un estándar corporativo en SAO y aplicar en el futuro yacimiento rajo Inca. Para esto se consideró el organigrama del 2018, con el número de personas hasta diciembre del mismo año, 3 geólogos y 14 analistas de geología. Se realiza una vista general de un flujograma base que abarca captura de datos geológicos (muestreos/mapeos), método de almacenamiento en base de datos corporativa, procedimientos de QA/QC, modelamientos (geológico/estimación), y reportabilidad de datos semanales y mensuales.

En SAO se encuentra que no existe metodología de mapeo de bancos trazable (no hay protocolos ni procedimientos) y tampoco hay mapeo de pozos de tronadura, los sólidos geológicos mensuales se realizan con polígonos en formato *.DXF* sin base de datos (almacenamiento explícito), la separación de diagramas de disparo se realiza manualmente en un archivo *CAD*, en el QA/QC se registran faltas de insumos, como materiales de referencia y blancos, no hay protocolos ni procedimientos actualizados con una detallada descripción de tareas, además de no existir una base de datos estructural de SAO.

Observando las mayores falencias se implementa una metodología de mapeo de bancos basada en Mina Escondida, se comienzan a realizar sistemáticamente los mapeos de pozos de tronadura en junio del año 2019, se modela la geología de corto plazo en base a los mapeos diarios, con actualización mensual, se realiza una separación de diagramas de disparo a través de *software Datamine*, en el QA/QC se gestionan materiales de referencia para una prueba aleatoria y analizar el parámetro de exactitud, se estructuran procedimientos de las actividades de geología, en proceso de oficialización, se comienza el uso de *software Xilab* para el almacenamiento de datos estructurales, se implementa un reporte geometalúrgico de alimentación de línea óxidos, para prevenir posibles riesgos en el procesamiento. Estas oportunidades de mejora han demostrado una buena aplicación en el margen de predicciones minerales diarias y el control geológico en la Mina SAO, lo que queda plasmado como metodología de trabajo en las actividades de geología de producción 2019 hasta la fecha.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. FORMULACIÓN DE PROYECTO

El Salvador se ubica en una zona que ha sido foco de extracción mineral desde hace más de mil años. Recién en 1956, la empresa estadounidense *Anaconda Cooper Company* instala la “Mina Vieja”, de diseño subterráneo para la extracción de sulfuros en las cercanías de Potrerillos, con una planta de fundición y de concentrado para su procesamiento. En tiempos de agotamiento mineral, se realizaron campañas de exploración hacia el norte, donde descubrieron el yacimiento “El Salvador”. Aquí instalan una Mina subterránea y de rajo abierto, donde en 1971 pasa a ser propiedad de CODELCO tras la nacionalización del cobre, desde entonces se ha continuado con la explotación de este metal, con una fuerte alimentación de minerales oxidados de cobre que lleva al desarrollo de una planta de lixiviación.

Esta División, se compone de dos Distritos, al norte se ubica Indio Muerto definido a partir de un Yacimiento tipo pórfido cuprífero, formado entre los 55,9 a los 33,8 Ma. (Eoceno-Oligoceno), con fuerte mineralización de sulfuros primarios, secundarios y oxidados de cobre ($\pm\text{Mo}$, $\pm\text{Au}$), asociados al desarrollo de un Yacimiento tipo exóticos de cobre; y a 62 km al sur de El Salvador se localiza el Distrito Potrerillos, con la formación de un Depósito tipo skarn con fuertes rasgos de mineralización de oxidados de cobre y sulfuros profundos. Ambos Distritos se rigen por una geología distinta, pero asociados al mismo tiempo de formación geológica (Eoceno-Oligoceno).

En la actualidad la producción mensual se solventa con un flujo de alimentación de 650.000 t (toneladas) de sulfuros provenientes de la Mina subterránea Inca que posee cuatro sectores productivos, con ley media 0,40% CuT (Cobre total, absorción atómica del material mineralizado), sumado a 105.000 t de escoria con ley media de 1,3% CuT, de los cuales se obtienen 3.000 t de cobre fino mensual. Por otro lado, la línea de negocio óxidos se solventa con una alimentación mensual de 31.000 t con una ley media de 0,88% CuT/0,77% CuSFri (Cobre soluble frío, absorción atómica del material soluble en ácido sulfúrico) provenientes de la Mina rajo abierto San Antonio Óxidos (SAO), aportando 1.900 t de cobre fino al mes.

Desde el año 2005 se ha proyectado una consunción de recursos y reservas minerales, con funcionamiento de operaciones de Mina y planta concentradora hasta el año 2021, lo que ha aumentado el interés por encontrar nuevas técnicas y metodologías que involucren la optimización de producción en ésta División, y extender la vida útil de la Mina. Es por ello que surge el proyecto rajo Inca, para convertir la Mina subterránea Inca, en una de rajo abierto, la que considera un material *in situ* de 2.669 Mt de sulfuros con ley media de 0,53% CuT, 183 Mt lixiviable con ley media de 0,43% CuT, y material quebrado de 430 Mt con una ley de 0,49% CuT, lo que permite tener cerca de 40 años más de etapa productiva. Dentro de este contexto, optimizar e innovar es clave para proyectar un escenario futuro de la División, especialmente en vista del corto plazo de las actividades geológicas de producción, lo que engloba el control de calidad mineral, de leyes y el análisis de cada tarea a partir del QA/QC (*Quality assurance and control*), para evitar variabilidad de leyes que puedan causar un efecto de dilución, y obtener buenas proyecciones a nivel geológico.

El Distrito Potrerillos es el foco de este trabajo, como única Mina rajo abierto activa dentro de la División El Salvador en la actualidad (Mina SAO), donde resulta importante encontrar nuevas herramientas en tiempos de desarrollo tecnológico, que faciliten la labor diaria del personal de geología en cuanto a la creación y actualización de modelos geológicos y de estimación de recursos de forma automática, además de perfeccionar las medidas de control de calidad de leyes en el proceso de muestreo, e implementar mejores prácticas para llegar a resultados exactos y precisos, aumentando cada vez más la credibilidad del área de geología, con el fin de cumplir con las expectativas de inversión y planificaciones semanales, mensuales, y anuales para finalmente adquirir metodologías de trabajos adaptables al volumen de negocio de rajo Inca.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Optimizar e implementar técnicas y mejores prácticas en las actividades de geología de producción en cuanto al control de calidad mineral y leyes en Mina rajo abierto San Antonio Óxidos de División El Salvador.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Detallar y analizar el proceso de control de calidad del mineral de la producción actual, y proponer un adecuado control de leyes que aporten a la mitigación de dilución mineral del proceso.
- Crear una metodología de trabajo para el control de calidad mineral de geología.
- Demostrar con resultados tangibles las mejoras estandarizadas del proceso geológico del corto plazo de tal forma que los efectos sean beneficiosos para el cumplimiento de la labor geológica en la producción del negocio minero.

1.2.3. Alcance

- Trabajo enfocado en Mina rajo abierto SAO.
- Implementar metodologías que aporten en la labor geológica del corto plazo y poder replicar en el proyecto rajo Inca y Mina SAO a contar del año 2019.

1.3. UBICACIÓN Y ACCESOS



La ciudad El Salvador se encuentra localizada en la comuna de Diego de Almagro, Provincia de Chañaral, Región de Atacama, Chile. El campamento minero está ubicado a los 2.300 m de altitud, en la precordillera Domeyko (Figura 1.01.) La ciudad se encuentra a 1.100 km al norte de Santiago, y 125,9 km del puerto de Chañaral, por la ruta C-13 que conecta con la ruta Panamericana en área costera. Desde la ciudad de Copiapó, se accede por la ruta C-17 en dirección norte hasta Diego de Almagro, luego por la ruta C-13 con dirección este, se llega a El Salvador, abarcando una distancia total de 204 km. El Distrito Potrerillos se compone de la Mina SAO (Tabla 1.01.), destinada a la extracción de óxidos, localizado a 62 km al sur desde El Salvador, continuando al final de la ruta C-13, lo que en tiempo es cerca de 57 min en Vehículo 4x4 sobre un camino de tierra/ripio que no se encuentra enrolado, con ancho de 6 a 5 m en tramo garita-interior Mina rajo.

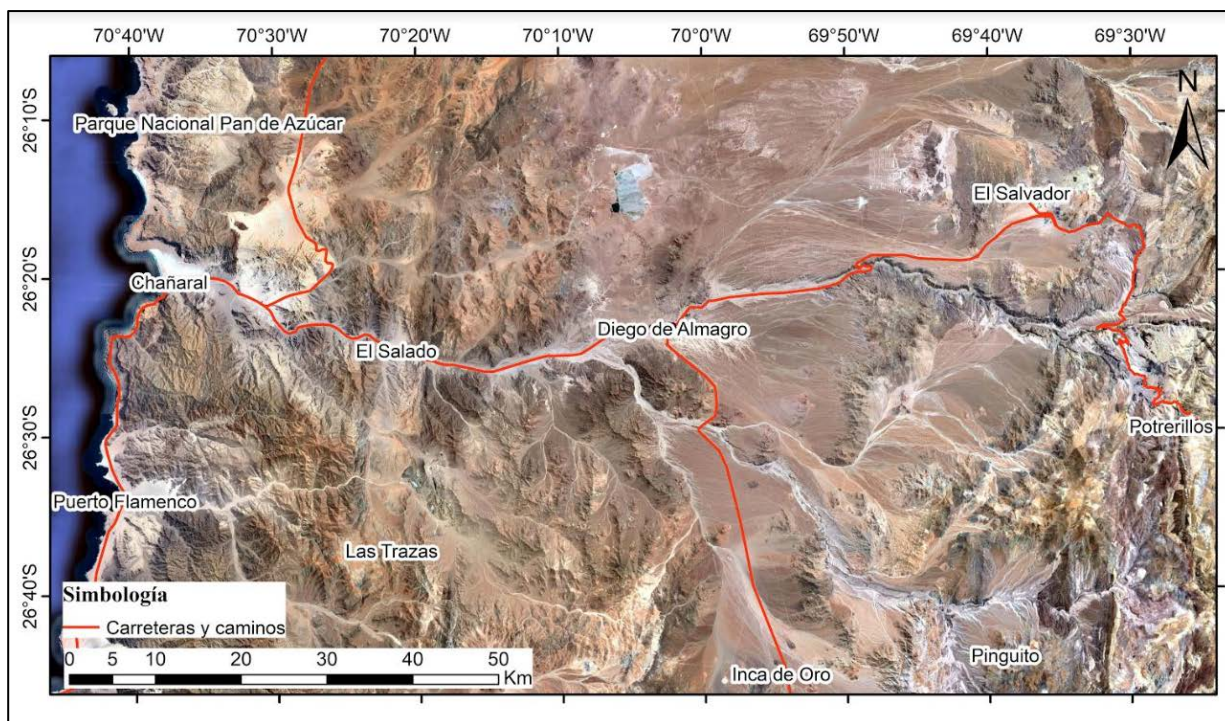


Figura 1.01. Mapa de ubicación y accesos a Distrito Potrerillos/El Salvador. *Datum* WGS 84.

Tabla 1.01. Coordenadas UTM de referencia de ubicación de Mina SAO (HUSO 19, PSAD56)

Sector	ESTE	NORTE
Mina Vieja-SAO	457.340	7.071.194
	456.964	7.071.263
	456.864	7.070.342
	457.290	7.069.044
	457.076	7.068.699
	459.007	7.068.046
	459.897	7.070.868
	459.861	7.071.729
	459.409	7.071.169
	459.200	7.071.457
	457.800	7.070.965

1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La distribución de tareas para realizar el presente trabajo se divide en tres etapas:

1.4.1. Etapa de gabinete I:

Recopilación bibliográfica de informes geológicos realizados en División El Salvador (asesorías, consultorías, auditorías etc.). Se buscan los protocolos e instructivos más actualizados que involucran los trabajos de geología de producción, para determinar la línea base, además de trabajos de autores anteriores que dejan registro de la geología regional y local del sector.

1.4.2. Etapa de terreno:

Observación de cumplimiento de protocolos e instructivos activos recopilados en la etapa de gabinete I en cada actividad de geología de producción:

- Análisis mensual de la toma de información geológica en la Mina y la interacción del área de geología con planificación, control producción y gerencia de plantas, para terminar de conformar la línea base, con geólogo de terreno.
- Análisis mensual de la toma de muestras de pozos de tronadura y de la muestrera del laboratorio químico de El Salvador, en cuanto a su metodología de preparación mecánica y materiales disponibles, con Encargado de QAQC y Directora de Laboratorio Químico.
- Análisis mensual de la metodología de separación de disparo, en cuanto a *software* utilizado y tiempo/forma de realización, con geólogo de gabinete.
- Análisis mensual de trabajos de modelamiento y conciliaciones entregados por el área de geología para las planificaciones mensuales, con geólogo de estimación y modelamiento.
- Análisis mensual de la administración de la información geológica en el sistema de base de datos corporativo, con personal de la Unidad Geológica Informática (UGI).
- Análisis de metodologías de trabajo en el área de geología de otras divisiones de CODELCO, para comprender el estándar corporativo.

1.4.3. Etapa de gabinete II:

Se realizaron propuestas y mejoras inmediatas a través de cartillas, planillas y modelamiento implícito de la información geológica, como metodología de trabajo en las distintas actividades de geología.

1.5. GEOMORFOLOGÍA

La Región de Atacama posee rasgos fisiográficos característicos del territorio septentrional, que de W a E (Figura 1.02.) corresponden a Farellón costero, Cordillera de la Costa, Pampa Ondulada o Austral, Pediplanos, glacis y piedemont, Precordillera Domeyko, Gran fosa prealtiplánica y Cordillera prealtiplánica.

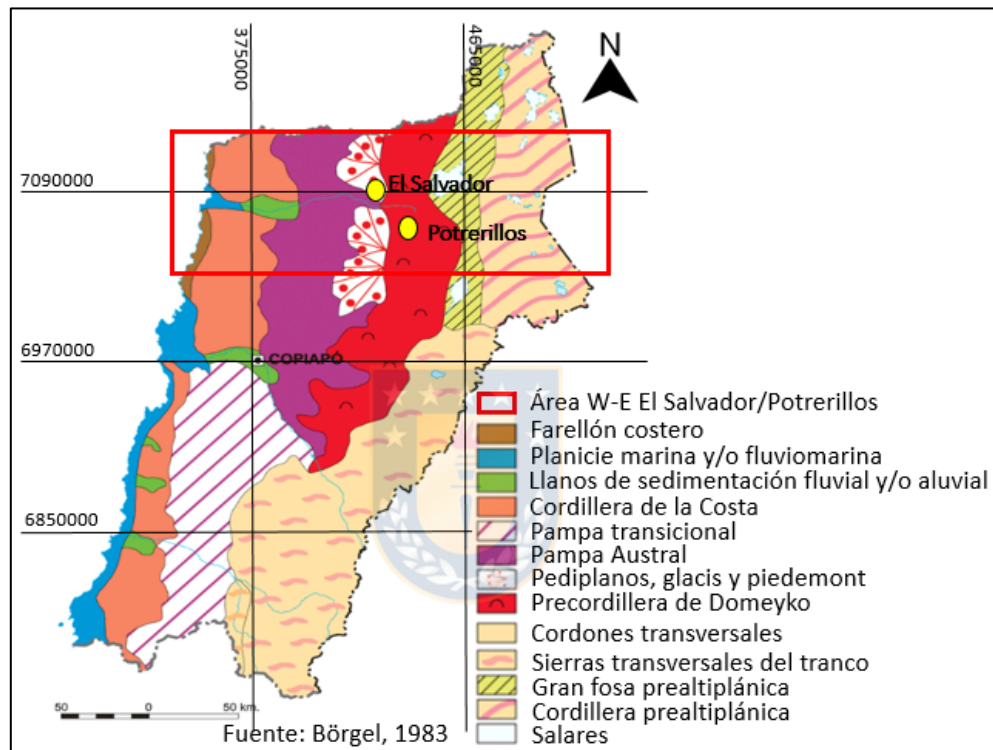


Figura 1.02: Mapa de Unidades Fisiográficas de la Región de Atacama. (Modificado de Börgel, 1983). Datum WGD84.

Riquelme (2007), lo simplifica en el meridiano 26,5°S de W a E en Cordillera de la Costa, depresión Central, Precordillera, depresión Preandina y Cordillera Oeste Andina.

Tanto Distrito Salvador como Potrerillos se ubican en el sector precordillerano, donde alcanza las mayores alturas en Mina SAO, con 3.800 m cerca de Mina El Hueso. La configuración del relieve posee las edades más antiguas en el sector E, (Oligoceno Tardío), resaltando la superficie Sierra Checos del Cobre y Asientos. Los accidentes geográficos (Mioceno medio) se asocia a un dominio estructural regional marcado por la Falla Sierra Castillo (Figura 1.03).

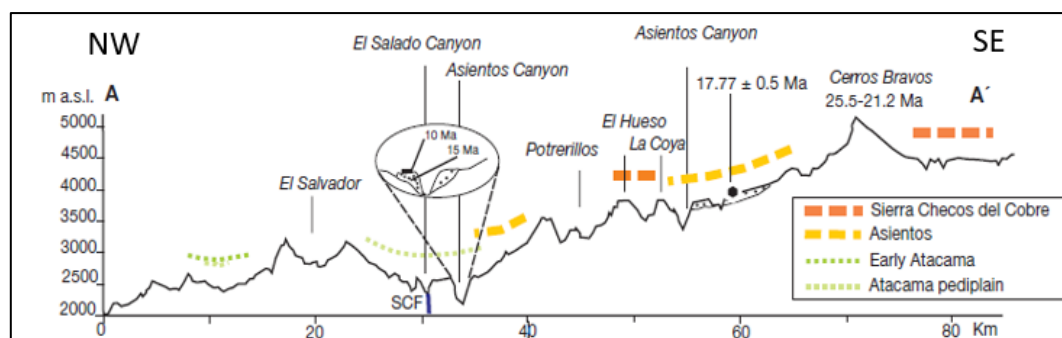


Figura 1.03. Perfil NW-SE desde El Salvador a Cerro Bravos. Expresa la Precordillera de Domeyko según Börgel (1983). SCF: Falla Sierra Catillo (Extraído de Bissig y Riquelme, 2009).

La actividad supérgena actúa entre el Oligoceno Tardío hasta el Mioceno Tardío. Esta instancia coincide con la exhumación de la Precordillera, alcanzando elevaciones que permiten la captura de las altas precipitaciones, las que provoca la incisión de los cañones El Salado y Asientos (Bissig y Riquelme (2009)). Este escenario actúa de forma favorable para un gran desarrollo de mineralización de oxidados de cobre. Posterior al Mioceno, comienzan a predominar los tiempos de sequía cesando la actividad supergénica (Aguilar y Riquelme, 2013).



1.6. TRABAJOS ANTERIORES

Los estudios de San Antonio se basan en:

Naranjo y Puig (1984) realizan un mapa geológico regional de Potrerillos hasta la Quebrada Asientos, describiendo columnas estratigráficas que evidencian la acción tectónica del sector, destacando mayormente secuencias volcánicas al W.

Olson (1989) describe la estratigrafía y la configuración estructural del Distrito Potrerillos, enfocado en el análisis del pórfido Potrerillos y el dominio de estructuras estudiadas en labores subterráneas de la “Mina Vieja”.

Müller (2002) redacta un estándar de modelamiento geológico corporativo de CODELCO, tanto de Mina subterránea como de rajo abierto. Aquí se presentan los requerimientos geológicos básicos para su posterior almacenamiento, codificación y modelamiento como es la medición y descripción de estructuras, litologías, alteraciones (con un rango cuantitativo) y mineralización de bancos y

sondajes. Los modelos finales deben realizarse en *software Leapfrog* y los de largo plazo deben ser oficializados en *Leapfrog Central*.

CODELCO (2002) hace un modelamiento geológico de la zona de sulfuros de la Ex Mina Vieja, considerando los trabajos de validación del modelo geológico de la zona de sulfuros, llevados a cabo durante 1988 – 1995. Para ello, se efectuó un modelo con 6 secciones de diagnóstico ortogonales, más dos plantas. El remapeo incluyó 9.430 m de testigos, distribuidos en 126 sondajes. Posteriormente se confeccionó cada sección y planta con los *overlays* de litología, estructuras, alteración, mineralización, isoleyes de Cu, isoleyes de As y vetillas de cuarzo.

CODELCO (2002) efectuó una campaña de reconocimiento del Distrito Potrerillos, que se desarrolla mediante cuatro perfiles distritales, que cruzaron las diferentes zonas mineralizadas, de manera de integrar geológicamente los sectores entre sí y evaluar el potencial económico entre estos. Se deja en evidencia que la comprensión de los procesos geológicos asociados con la mineralización, ha sido insuficiente, de manera que no han permitido tener un grado de certeza aceptable respecto al real potencial del Distrito. Especialmente es el caso de la relación entre los sistemas porfídicos y los sistemas epitermales del área, y el potencial relacionado a estos. La mineralización de oro y cobre en el Distrito tienen un control estructural que define un potencial en profundidad, bajo el sobrescurrimiento, el cual no ha sido explorado adecuadamente.

Oyarzún y Cuadra (2003) presentan la caracterización mineralógica de la mena oxidada de cobre en el proyecto San Antonio en sus etapas tempranas, para precisar la descripción macroscópica realizada en mapeo de terreno y sondajes, así establecer características que inciden en el comportamiento metalúrgico de estos tipos de mena.

Arredondo (2004), proponen un informe de evaluación potencial de exploración de Distrito Potrerillos, con foco en el interés económico. Indica que los pórfidos a profundidad van evidenciando vetillas A con mena de bornita-calcopirita y alteración potásica asociado a mineralización de pórfido cuprífero en sector de El Hueso.

Bissig y Riquelme (2009), presentan la evolución del modelo local de relieve y desarrollo del enriquecimiento secundario supergénico en el pórfido cuprífero El Salvador y Distrito Potrerillos-El Hueso.

COCHILCO (2012), en la Auditoría al sistema de control aplicable al proceso de caracterización de recursos y reservas mineras de la División Salvador se describen debilidades en los procesos que retroalimentan el ciclo de estimación de recursos, para el caso de la minas que se explotan a rajo abierto, ya que sus conciliaciones geológicas/mineras, tienen grandes diferencias, así como también, los datos que sustentan estas comparaciones no cuentan con un adecuado control de calidad (QA/QC), de forma periódica.

COCHILCO (2019), en la Auditoría al sistema de control aplicable al proceso de caracterización de recursos y reservas mineras de la División Salvador se encuentra una baja confiabilidad de sus modelos geológicos por no contar con un procedimiento que regule los controles de calidad de los procesos que dan origen a los datos utilizados. Incumplimientos de los planes de producción, por errores en la estimación de recursos (modelos), e inconsistencias en el sistema de conciliación.

1.7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a la jefatura de División El Salvador, CODELCO por permitirme desarrollar este tópico y así optar a mi título de geóloga. A mi tutor en la División, Eduardo Morales Palma Superintendente de Geología y Geotecnia, por darme sus lineamientos y enseñanzas en la amplia gama que abarca el negocio minero. Al gran equipo de trabajo de Geología y Geotecnia, El Salvador, por compartirme sus experiencias y ayudarme a la adquisición de los conocimientos necesarios para desarrollar este tema. A mi profesor patrocinante, Abraham González por sus consejos y apoyo en este gran proceso de finalización de estudios. Y a todos los profesores que de la Universidad de Concepción, que fueron una de las partes más importante en mi crecimiento tanto personal como profesional para llegar al título de geóloga.

2. MARGO GEOLÓGICO

2.1. GENERALIDADES

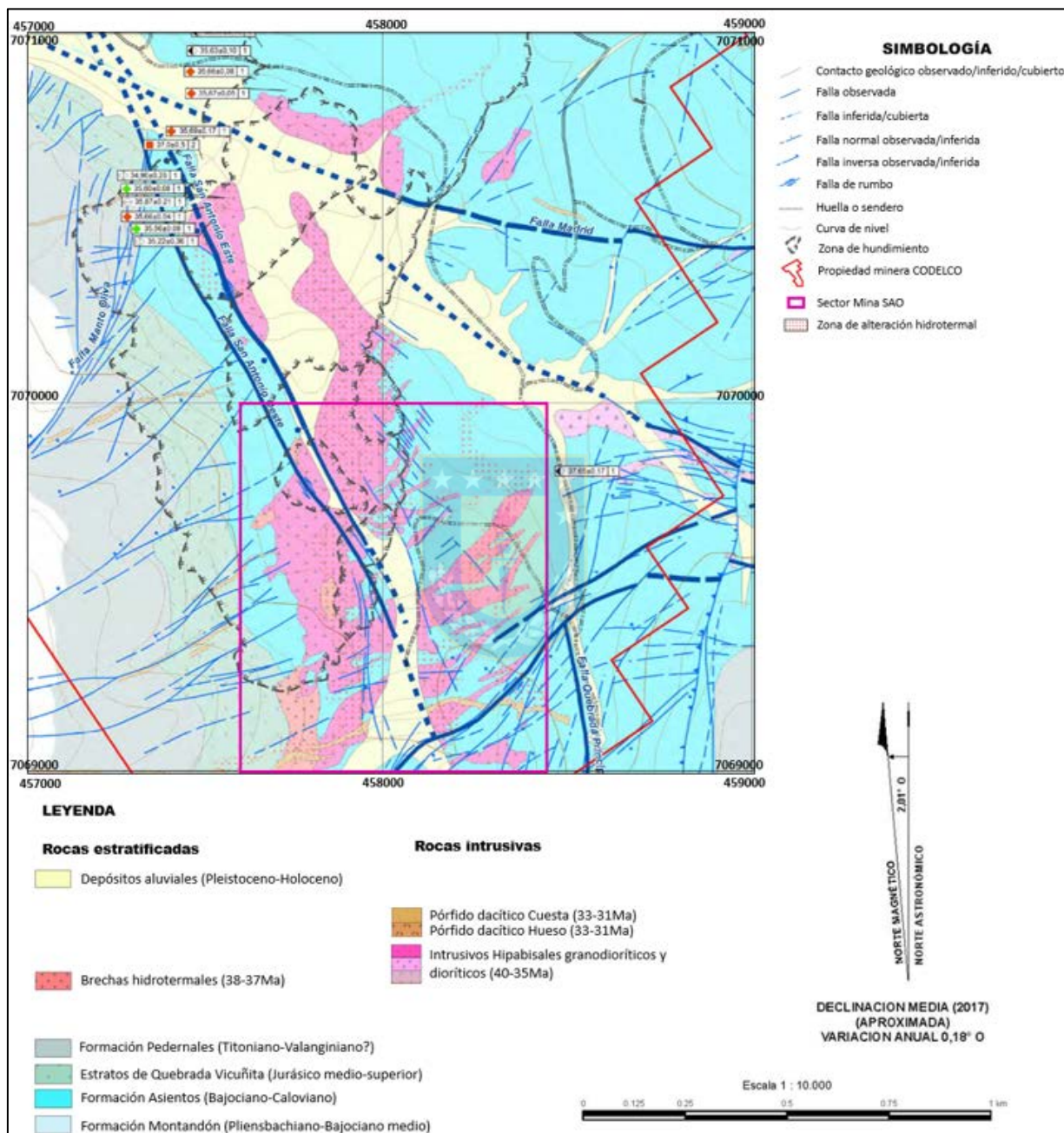


Figura 2.01. Mapa geológico local del Distrito Potrerillos. (Modificado de EMSA, 2017) *Datum* UTM PSAD 56.

El Distrito Potrerillos (propiedad minera de CODELCO) está conformado litológicamente por una secuencia marina de intercalaciones de volcanitas y rocas carbonatadas-sedimentarias (Lee, 2017),

(En Mina SAO Formación Asientos y Formación Pedernales) intruidas por cuerpos porfídicos (Eoceno-Oligoceno inferior) mineralizantes, ubicados en la zona central del área con disposición casi NS, los que conforman el sistema de pórfidos San Antonio. Estos producen un metamorfismo de contacto con distintas zonas dependiendo del protolito (Metasedimento epidotizado, metasedimento argilizado, hornfels actinolítico). A demás se forman brechas ígneas-hidrotermales con apariciones acotadas a la zona sur (EMSA, 2017). Se caracteriza por una mineralización de oxidados y sulfuros de cobre asociados a un depósito tipo skarn de cobre (Figura 2.01.).

El sistema de pórfidos San Antonio incluye al pórfido Secreto, Cobre y Esmeralda, entre otros, de los cuales solo los dos primeros son mineralizados y están afectados por una asociación de alteraciones tardimagmáticas e hidrotermales con minerales de cobre y anomalías de molibdeno, plata, arsénico, zinc y manganeso (EMSA, 2017).

La zona de Mina SAO se concentra en toda la zona de hundimiento generada por las explotaciones antiguas de Mina Viaja (subterránea) y la actividad de pirquineros antes de que pasara a dominios de CODELCO. La explotación subterránea deja como consecuencia unidades asociadas a fenómenos gravitacionales, como es la remoción en masa, producto de un debilitamiento y falta de sustentación de la pared E asociado a los niveles de hundimiento minero (cráter de subsidencia) generados por la presencia de labores subterráneas (Figura 2.02.). Este precedente deja como consecuencia una zona de contacto de roca *in situ* y quebrada, con un comportamiento geomecánico distinto, importante en las decisiones productivas (EMSA, 2017).

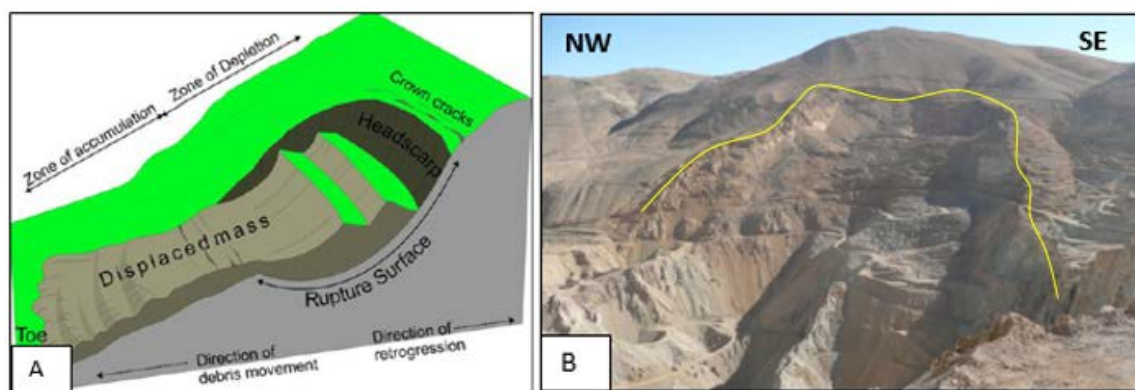


Figura 2.02. A: Esquema de bloque de un depósito de remoción en masa similar a Mina SAO. B: Depósito de remoción en masa mirando al E. Escarpe marca el límite del coronamiento.

La geología del sector llama la atención de distintos autores por su gran importancia estructural perteneciente a la cordillera Domeyko, que junto a las secuencias sedimentarias calcáreas colaboran con un escenario propicio para un Depósito tipo skarn de cobre (Cornejo et al., 1993).

2.2. ROCAS ESTRATIFICADAS

Regionalmente en el Distrito Minero Potrerillos afloran secuencias de rocas sedimentarias y volcánicas, de edades entre el Jurásico inferior hasta el Oligoceno - Mioceno inferior, que alcanzan un espesor de alrededor de 1.500 m, constituida por la Formación Montandón, Formación Asientos, Estratos Quebrada Vicuña, Formación Pedernales. También se reconocen unidades de aluvios y coluvios modernos.

2.2.1. Formación Montandón

Secuencia sedimentaria marina que presenta intercalaciones de calizas limoníticas a arcillosas con lutitas. Su edad es del Pliensbachiano-Bajociano medio. García (1967) indica esta edad a través de un estudio sobre fósiles del género *Groeberella*. Pérez y Reyes (1993) la definen en la Quebrada Montandon, al SE de El Salvador. Esta formación infrayace a la Formación Asientos de forma concordante.

2.2.2. Formación Asientos

Secuencia sedimentaria marina-volcánica con caracterización de calizas fosilíferas, lutitas, areniscas calcáreas, carbonáceas y oolíticas, además de areniscas volcanoclásticas con intercalaciones de lavas andesítico-basálticas vesiculares de edad Jurásica inferior a media (Bajociano – Caloviano) (Marsh, 1997).

Esta Formación se encuentra plegada y sobrescurrida con vergencia al E. Muestra una disposición Homoclinal normal con manteo al oeste entre 20 a 30°. Es descrita en la Quebrada Asientos, entre el Cerro Bravo y El Salvador) (Perez, 1978). Infrayace concordante a la Formación Pedernales (Tomlinson, 1994).

Se encuentra intruída por el Pórfido de Cobre y Pórfido Secreto, desarrollando metamorfismo de contacto con zonas de alteración características y alta mineralización de minerales de cobre, siendo una de las rocas huéspedes de la mineralización cuprífera de la Mina Vieja de Potrerillos (Olson, 1983).

2.2.3. Estratos Quebrada Vicuña

Lavas y filones andesítico-basálticos, vesiculares con fenocristales de olivino y piroxeno y sills andesíticos. Su edad es Jurásico medio-superior (Marsh, 1997). Corresponden a un ambiente volcánico precordillerano. Presenta intercalaciones de areniscas y calizas calcáreas (Cornejo et al., 1993). Afloran en el sector W del área Mina SAO y alcanza 650 m de espesor, donde sobreyace concordante a la Formación Asientos (Olson, 1983). Se define en Quebrada Vicuña.

2.2.4. Formación Pedernales

Conformada por rocas sedimentarias marinas caracterizadas por calizas y areniscas calcáreas fosilíferas intercaladas con areniscas volcanoclásticas y lutitas calcáreas de edad Cretácico Inferior (Titoniano-Valanginiano?). Corresponde a un ambiente de plataforma somera, aflorando como franja elongada homoclinal norte-sur de actitud NS/20°W en el sector occidental de la Mina Vieja. (Cornejo et al., 1993).

Sobreyace concordante a la Formación Asientos. Esta secuencia es intruida por apófisis de orientación EW del Pórfido Secreto (Marsh, 1997).

2.2.5. Aluvios y coluvios modernos

Incluye los depósitos de gravas polimícticas semiconsolidadas que se distribuyen en la región y cubren en discordancia de erosión al resto de las unidades. También se representan por rípios de mala selección, restringidos a conos y abanicos aluviales en faldeos abruptos de quebradas y cerros. Se datan con edad Pleistoceno-Holoceno (Tomlinson, 1994).

2.3. ROCAS INTRUSIVAS

Cuerpos intrusivos, mineralizados y no-mineralizados se han reconocido en el área del Distrito Minero Potrerillos, con edades desde Eoceno hasta Oligoceno, correspondientes al Pórfido de Cobre, Pórfido El Hueso, Pórfido Secreto y Pórfido Esmeralda.

2.3.1. Pórfido de Cobre

Roca intrusiva de composición dacítica de grano grueso a fino, con textura porfídica que evidencia los fenocristales de plagioclasa de 1 a 2 mm de diámetro en una masa fundamental afanítica (Tomlinson, 1994). Posee una edad de 35,0 a 35,9 Ma. (Eoceno Medio- Oligoceno Inferior).

El Complejo Pórfido Cobre aflora en la zona central de la Mina SAO, como un cuerpo elongado de disposición NS y en la zona oriental como una faja en sentido NE-SW controlado por la Falla Heraldo (Brantt, 2012).

Esta unidad se caracteriza por la presencia de un *stockwork* de abundantes vetillas tipo A, B y D, además de su intensa mineralización, tanto de sulfuros primarios como de oxidados de cobre, con bajo desarrollo de niveles de enriquecimiento secundario (Rojas, 2009).

2.3.2. Pórfido Esmeralda

Roca de textura porfídica y composición riodacítica (Castillo, 2013). Aflora con una orientación ENE-WSW y manteo 20°W a subvertical, e intruye a las unidades estratificadas del Jurásico y al Pórfido de Cobre (Tomlinson, 1994). Tiene escasa mineralización de sulfuros de cobre, con un *stockwork* de baja intensidad, principalmente compuesto por vetillas tipo D. Según Brantt (2012) el pórfido Esmeralda posee similar textura al pórfido Secreto, pero con trazas de ojos de cuarzo. Pontigo (2012), lo define como un intrusivo sintectónico al igual que el pórfido de Cobre, de acuerdo a Tomlinson (1994), aprovechando la Falla Heraldo para su emplazamiento. La intrusión de este pórfido en las unidades sedimentarias causa un halo de mineralización económica, especialmente de molibdeno observado en la parte central y en los bordes de éste. También, existe mineralización asociada al pórfido cuando intruye a la Brecha Hidrotermal Central. Finalmente el

Pórfido Esmeralda es intruido por el Pórfido Hueso y cortado por los cuerpos de *pebble dyke* (Rojas, 2009).

2.3.3. Pórfido Secreto

Esta unidad corresponde a una roca intrusiva que es parte del Complejo Pórfido Cobre, caracterizada por una composición más intermedia diorítica a granodiorítica de grano fino (Castillo, 2013), de color gris medio a oscuro de textura equigranular a porfírica, conformado por 50-60% de fenocristales incluidos en una masa fundamental muy fina constituida por cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y anfíboles. Es estéril de mineralización de cobre, con excepción en las zonas de contacto con la roca caja (Bobenrieth y Zamora, 2007). Rojas (2009), indica que posee una textura obliterada por una intensa alteración hidrotermal tardía de sericita-illita-caolinita.

Esta unidad aflora en el sector al S del hundimiento, con una orientación 60° al W. Información de sondeos indican que este pórfido corta al Pórfido Cobre (Díaz, 2007).

Según Díaz (2007), presenta un *stockwork* de vetillas de aproximadamente 180 a 250 m de ancho.

2.3.4. Pórfido El Hueso

Composición dacítica a riodacítica de grano muy grueso con ojos de cuarzo y con predominio de horblenda de edad variable entre 33,1 a 47,0 Ma. Relacionado a la mineralización de oro de la Mina Sílica del Hueso (Olson, 1989).

Las dataciones radiométricas efectuadas en los pórfidos del Distrito indican que los relacionados a mineralización de oro son más antiguos (entre 5-12 Ma.) que los relacionados a mineralización de cobre (Olson 1983). La alteración relacionada a la mineralización en los pórfidos cupríferos ocurrió en dos pulsos, uno a los 36 Ma. y otro a los 25 Ma., eventos bastante más jóvenes que la alteración relacionada al oro que se estima en los 40 Ma. Las edades radiométricas de los minerales formadores de roca, los de alteración y mineralización cuprífera en el Pórfido San Antonio son muy cercanas (Mash, 1997).

2.4. ALTERACIÓN HIDROTHERMAL

En el Distrito se presentan tanto alteraciones tardimagmáticas como hidrotermales, asociadas a los distintos tipos de sistemas mineralizados. Se distinguen principalmente alteración potásica y cuarzo-sericítica moderada a débil en profundidad, ligadas al Pórfido de Cobre. La alteración cuarzo-sericita presenta un ensamble con clorita, clacita, ankerita, y pirofilita en los niveles superiores sin logra un reemplazo importante. Así mismo se describe una alteración potásica de biotita restringida a la zona de contacto entre el Pórfido de Cobre y la roca de caja de composición siliciclástica.

La alteración de la roca de caja es de tipo metamórfica de contacto, con desarrollo de un skarn, lo que genera una aureola calcosilicatada en los sedimentos alrededor de estos intrusivos y en las zonas de contacto, definido con una ensamble de granate y clinopiroxenos, evento contemporáneo a la alteración potásica (skarn prógrado). Sobre esta alteración, se describen minerales hidratados, propios del skarn retrógrado, como actinolita, clorita, epidota, relacionada genética y temporalmente con la alteración cuarzo sericítica del sistema porfídico.

Alteración sericítico - illítica (Marsh, 1997) definida para describir el reemplazo de aluminosilicatos primarios por sericita o illita, más cuarzo, asociada a la mineralización de oro en el Cerro Sílica y Polvorín. La textura moteada es característica de esta alteración en calizas y tobos. Contiene 1 a 3% de piritita diseminada. Esta alteración se asocia a venillas de cuarzo con piritita, estibnita, arsenopiritita, tenatita, galena, calcopiritita, baritina y oro.

Alteración argílica avanzada, está caracterizada por alunita, diásporo, dickita, montmorillonita, rutilo, y pirofilita, con contenidos de piritita de 3 a 10%, pero que no está asociado a la mineralización de oro, sino que es posterior a ella, encontrándose vetillas de alunita que cortan venillas de cuarzo portadoras de oro, controlada por un sistema de fallas de bajo ángulo. Se desarrolla a través de la traza de la falla Heraldo, y su sistema asociado.

Aparte de las alteraciones hipógenas anteriormente descritas, también existen alteraciones de tipo supérgeno que afectan a las partes superiores de los sectores mineralizados, caracterizados por:

caolinita, montmorillonita, yeso, alunita, jarosita y caolinita localizadas en el relleno de estructuras, brechas y permeabilizando las rocas en cotas sobre los 3.500 m.

2.5. MINERALIZACIÓN

Asociado a la actividad intrusiva del Eoceno-Oligoceno inferior están los pórfidos San Antonio (Pórfido de Cobre, Pórfido Esmeralda y contacto de roca caja-Pórfido Secreto), que desarrollan una voluminosa mineralización de oxidados de cobre y zona hipógena sulfurada, mientras que el enriquecimiento secundario es menor presentándose como pequeños cuerpos lenticulares de escasa continuidad sin un control particular.

La Mina SAO tiene una zona de oxidación que abarca tanto a los cuerpos porfídicos como las sedimentitas metamorfizadas, representada por una zona de óxidos verdes (brochantita, cuprita, Cu nativo, crisocola, azurita y tenorita, malaquita, liebethenita, gerhardtita, turqueza, arcillas con cobre, arseniatos de cobre, pseudomalaquita) y óxidos negros (*copper wad*, *copper pitch*, neotocita), mientras que la zona de enriquecimiento secundario presenta calcosina y covelina, y la primaria es representada por calcopirita, bornita y pirita, asociadas a alteración potásica, y calcopirita, enargita y pirita asociada a alteración cuarzo sericitica.

La mineralización de sulfuros está controlada litológicamente por el pórfido cobre, además del control estructural en el sentido vertical y NS respecto a la elongación de las zonas donde domina los óxidos verdes (centro del yacimiento), negros o zonas lixiviadas (periferia), ya que la zona primaria está cortada aproximadamente a la cota de 2.700 a 2.900 m por el sobrescurrimiento de la Mina Vieja.

La zona hipógena se desarrolla tanto en el pórfido como en la aureola de contacto con la roca caja. Su límite inferior es la traza de la falla Heraldo, por lo que su potencia es variable en sentido E-W. La zona hipógena está compuesta por un halo pirítico subordinado a los límites exteriores de la zona de metasedimentos. Dentro de este halo se encuentra el área de calcopirita-pirita, que se desarrolla como un *stockwork* de gran intensidad y diseminación moderada dentro del pórfido y como un sistema de vetillas polidireccional en la roca caja cercana a los contactos litológicos. La

zona de calcopirita-bornita se restringe a bolsones ubicados en el núcleo septentrional del Pórfido de Cobre (ocurrencia como *stockwork*).

La enargita-tenantita-pirita se muestra subordinada al arreglo estructural dominante, y asociada al evento de alteración de alta sulfidación, ocurriendo como vetillas o matriz de brechas hidrotermales.

Las estimaciones de recursos de la zona de oxidados son de 251 Mt (millones de toneladas) de 0,62% CuT. En cuanto al mineral con sulfuros se estima un remanente de inferido de 192 Mt de 0,65% CuT con una ley de corte de 0,2% CuT y 104 Mt a 0,80% CuT con una ley de corte de a 0,6% CuT (Sullivan, 2003). Estimaciones del año 1992 con el método de isopleyes indican un recurso demostrado de 303 Mt de 0,76 % CuT, 0,092 g/t (gramos por tonelada) de Au, 2,9 g/t de Ag, 0,013 % Mo, 0,085% As, con una ley de corte de 0,5% CuT (Chiang, 1992).

2.6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

El fuerte tectonismo compresivo y magmatismo del Distrito está relacionado a un ambiente de subducción a partir del Triásico hasta el Terciario superior, generando el contexto geológico y metalogénico (Eoceno-Oligoceno inferior) característico de esta región (Niemeyer y Munizaga, 2008). La Cordillera Domeyko consiste en un sistema de fallas de rumbo e inversas orientadas principalmente NS y desarrolladas en régimen transpresivo (Mpodozis y Cornejo, 2012).

El sistema de pórfidos de Cu-Au de Potrerillos se emplazan entre la falla Ciénaga, una estructura regional y de borde de graben de basamento, y la falla Bailey Willis, una falla inversa de manto al W y de escala regional (Skármeta, 2005) (Figura 2.03).

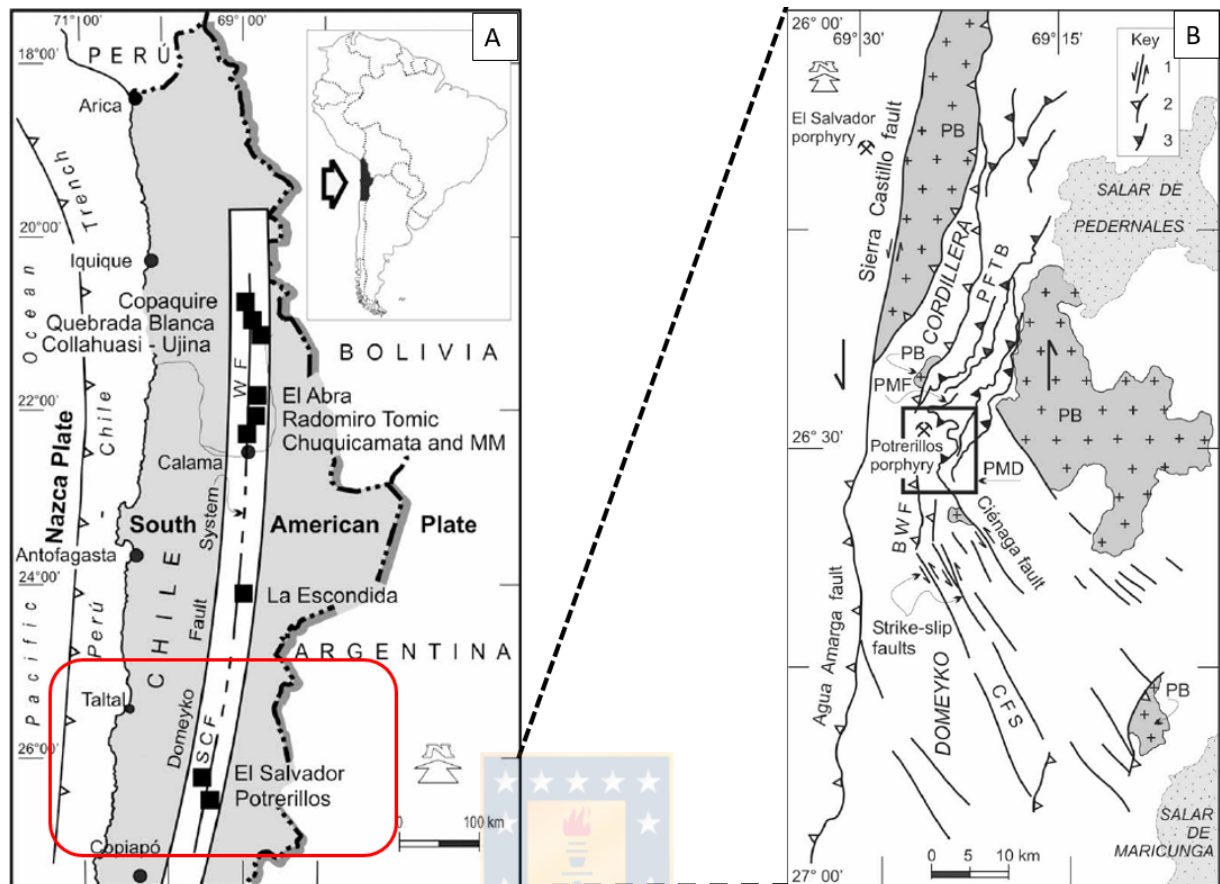


Figura 2.03. A: Mapa geológico simplificado de Mina Distrito Potrerillos con franja metalogénica (Modificado de Camus, 2003). **B:** Mapa regional estructural simplificado a la Mina de Distrito Potrerillos (PMD). BWF: Falla Bailey Willis; CFS: Sistema de falla Ciénaga (Modificado de Tomlinson et al., 1994).

El sector de Potrerillos, posee una arquitectura estructural que responde a un orógeno de doble vergencia y de inversión tectónica (EMSA, 2017). Se caracteriza por el desarrollo de fallas inversas tipo *thick skin* (napas) en la zona oriental (manteo al E) y deformación tipo *thin skin* en el sector occidental con cabalgamientos de vergencia al E de menor ángulo (Amilibia, 2018) (Figura 2.04). A demás están los cabalgamientos tipo *flats* que cortan y desplazan enjambres de diques máficos emplazados en secuencias sedimentarias Jurásicas.

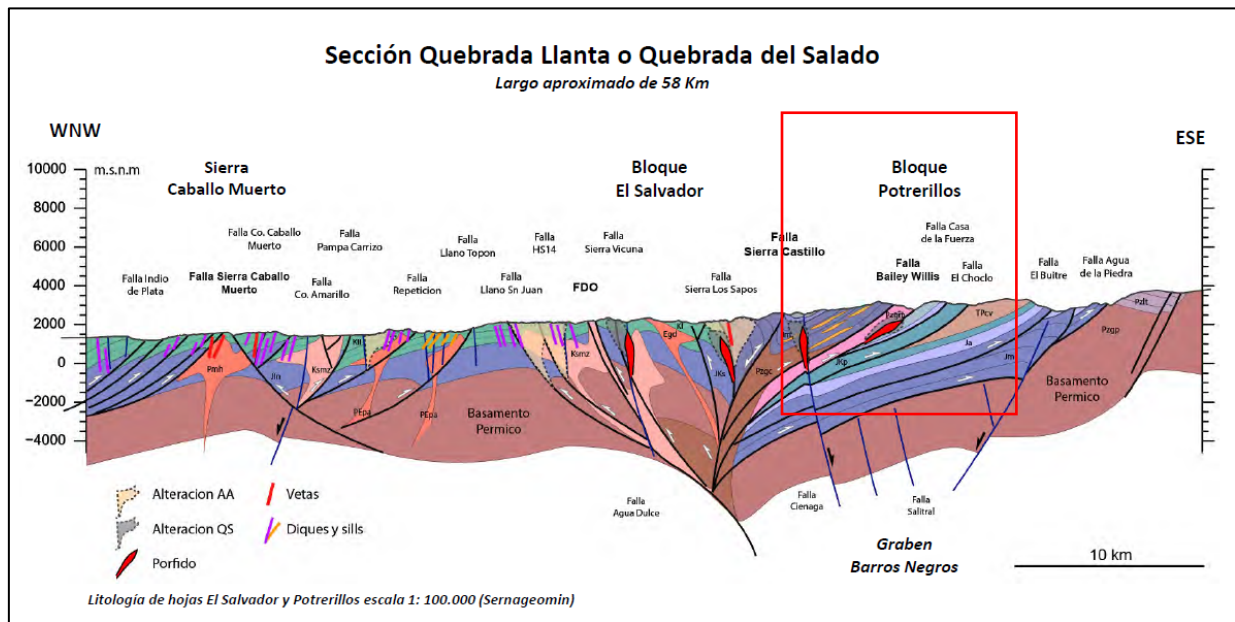


Figura 2.04. Sección Quebrada Llanta o Quebrada del Salado (58 km largo aprox.) Modificado de carta geológica Potrerillos escala 1:100.000 (SERNAGEOMIN, 2013).

Los antecedentes de la tectónica pre-Andina evidencian estructuras caracterizadas por un sistema de fallas de orientación NW-SE a NNW-SSE y oblicuas al orógeno Andino (Abels y Bischoff, 1999). Durante el Pérmico-Triásico las fallas NW-SE a NNW-SSE acomodaron la extensión cortical con sedimentación y volcanismo (Ramos, 1994) y durante el Eoceno, las fallas de basamento pre-Andino han sido reactivadas con cinemática sinistral y acomodo de rotación horaria de bloques de falla (por posterior inversión y desarrollo de faja corrida y plegada de Potrerillos) (Tomlinson et al., 1994).

El segmento oriental y *footwall* de la falla Bailey Willis se compone por la faja corrida y plegada de orientación NNE-SSW y vergencia al E de Potrerillos, es una napa que exhuma intrusivos Paleozoicos en su *hanging wall* cabalgándolos sobre la secuencia Jurásica (EMSA, 2017). El bloque *footwall* de la falla aloja los sistemas de pórfido de inter y post mineral de Potrerillos y sistema de oro epitermal de El Hueso. La Cordillera Domeyko se desarrolla sobre un basamento de rocas intrusivas de edad Pérmico con una estructura pre-Andina de fallas normales NW-SE que acomodan un graben principal de 10 km de ancho (Graben Barros Negros).

A escala Distrital, los pórfidos de Potrerillos se distribuyen a lo largo de la zona de falla Ciénaga, una estructura regional y pre-Andina que conforma el borde SW del graben de basamento Barros Negros. El control estructural de estos pórfidos está ligado a dos factores, las fallas inversas del basamento con manteo WE a NW-SE y la faja corrida y plegada de Potrerillos con vergencia al E. Las facies de pórfidos de Cu-Au se emplazan en cabalgamientos de manteo al W (San Antonio y Cerro Hueso), ambas fallas inversas conectan en profundidad con la falla Bailey Willis – Río Sal (una napa de orientación NS de escala regional).

Localmente, los pórfidos mineralizados y tardíos se emplazan y son desplazados por un denso *set* de fallas NE-SW, de alto ángulo y último movimiento normal, los que determinan una arquitectura de horst-graben con bloques *footwall* exhumando pórfidos y *bloques hanging wall* preservando la caja sedimentaria Jurásica. La mineralización de Mina El Hueso se produjo hacia los 40 Ma., siendo aproximadamente 5 Ma. Anterior al pórfido de Cobre (Potrerillos). Dado que el set de fallas normales NE-SW son los más posibles alimentadores del sistema epitermal de oro de Mina El Hueso, su desarrollo se interpreta como sin y post-mineral al sistema de pórfidos Potrerillos (EMSA, 2017).

2.6.1. Estructuras

Estructuralmente la característica principal es la deformación compresiva registrada durante y después del emplazamiento de los pórfidos, entre el Eoceno al Oligoceno, representada principalmente por fallas inversas y sobrecorrimientos de rumbo NS de las rocas estratificadas Jurásicas, con vergencia al E, que producen la yuxtaposición entre las secuencias volcánicas occidentales y las secuencias, principalmente sedimentarias, orientales (EMSA, 2017).

También están asociadas a este evento fallas transversales de rumbo EW a E-NW y fallas transcurrentes de rumbo NW-SE (Niemeyer, 2000). Las fallas inversas principales presentes son de bajo ángulo (Falla Heraldo y Falla Estanque-Desquite) de actitud NE/ 20°NW y corridas kilométricas que generan sobrecorrimientos con vergencia al E a escala distrital. Asociado a estas fallas, se caracteriza un *set* de fallas menores de orientación NE-SW que corresponden a los planos axiales de cada pliegue y que controlan la intrusión de una parte del Pórfido de Cobre y Pórfido

Secreto, los que cortan la zona de contacto entre la Formación Asiento y Pedernales (Tomlinson et al., 1994).

La falla San Antonio es de actitud N40°W/60°S y se define como preexistente a la intrusión del sistema porfídico. Por otro lado, la Falla Madrid, de actitud variable con componente de movimiento inverso y la Falla Manto de Oliva de actitud NE-SW y componente sinistral normal, no muestran relación directa con la intrusión del sistema de pórfidos.

El rasgo estructural más importante es el sobrescurrimiento que corta al Pórfido Cobre en profundidad, el cual ha sido asociado a la Falla Heraldo (Tomlinson et al., 1994).

Los antecedentes que han permitido correlacionar ambas estructuras son: la geometría del sobrescurrimiento de la Mina SAO, la cual proyectada hacia el E coincide con las estructuras mapeadas en el fondo del rajo de Mina El Hueso. Ambos cortan a los cuerpos mineralizados, pasando a roca estéril bajo la falla (EMSA, 2017).

Tomlinson (1994) le asigna al sobrescurrimiento un rechazo del orden 1,4 a 2 km y tres vectores de desplazamiento posible, siendo el valor promedio de S46°E, dando con ello un abanico de posibilidades de encontrar la continuación de Pórfido Cobre (Niemeyer, 2000; Tomlinson, 1994).

2.7. DATACIONES RADIOMETRICAS

Dataciones radiométricas de K/Ar y Rb/Sr, realizadas entre 1971 a 1992 por diversos autores, indican que la actividad magmática distrital abarcó un periodo entre el Eoceno al Oligoceno.

Dataciones realizadas por Marsh (1997) con $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, método geocronométrico más preciso que los anteriores, indica que las distintas intrusiones de pórfidos distritales se emplazaron a través de pulsos diferentes, separados entre sí por uno o más millones de años. Además, mediante la datación de minerales magmáticos y minerales de alteración hidrotermal de un mismo centro intrusivo, indican que los sistemas hidrotermales que generan mineralización tienen duraciones menores de 250.000 años, excepto para el caso del Sílica del Hueso.

El Pórfido Cobre se habría emplazado y producido su sistema hidrotermal asociado entre los 35,87 a 35,63 Ma., lo que le da un periodo de formación de menos 300.000 años.

En el caso del Sílica del Hueso se tiene que las dataciones en muscovita asociadas a vetillas de cuarzo con oro, dan edades de 40,25 Ma., la que sería la edad de la mineralización por Au. Mientras la alteración argílica avanzada del sector, datada en alunita, da una edad de 36,23 Ma., indicando la reutilización de los conductos estructurales por un sistema hidrotermal posterior a la mineralización de Au.

La mineralización de Au en el Sílica sería anterior al emplazamiento del Pórfido Cobre. Así también el evento de alteración argílica avanzada, sobreimpuesto al evento mineralizador por Au, que se encuentra en el sector del Cerro Sílica sería anterior al Pórfido Cobre. Esta alteración argílica avanzada, o sistema tipo alta sulfidización, tampoco se relaciona temporalmente con alguno de los cuerpos porfídicos aflorantes en el área, lo que sugiere la presencia de stocks porfídicos no expuestos (Marsh, 1997), que podrían relacionarse a mineralizaciones tipo pórfido cuprífero.

Las dataciones radiométricas $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ (Marsh, 1997) indican que el Pórfido Cobre no está relacionado a los eventos de alteración del Sílica del Hueso, y que la existencia de la alteración argílica avanzada en el sector es de una edad anterior a la del Pórfido Cobre, y que temporalmente no está relacionado a ninguno de los pórfidos aflorantes del Distrito.

2.8. GEOLOGÍA ECONÓMICA

El Distrito Potrerillos abarca un área de 25 km^2 , contiene sistemas mineralizados tipo pórfido cuprífero y también epitermal, asociados a eventos intrusivos propios del *cluster* Potrerillos (Figura 2.05.). La Mina Vieja se localiza en las propiedades de CODELCO, explotado por *Andes Copper Mining* a través de método subterráneo hundimiento por bloques entre los años 1.926 y 1.959, Minando 200 Mt de 1,1% CuT de sulfuro. El remanente inferido de estos minerales se estima con 192 Mt de 0,5% CuT y 104 Mt de 0,8% CuT (JS, SS, 2003), quedando la zona oxidada explotada actualmente en Mina SAO con 251 Mt de ley 0,62% CuT.

La Mina El Hueso, ya explotada con 16 Mt de 1,6 g/t de Au, perteneciente a la sociedad entre CODELCO y *Homestake*, actualmente sin actividad de producción.

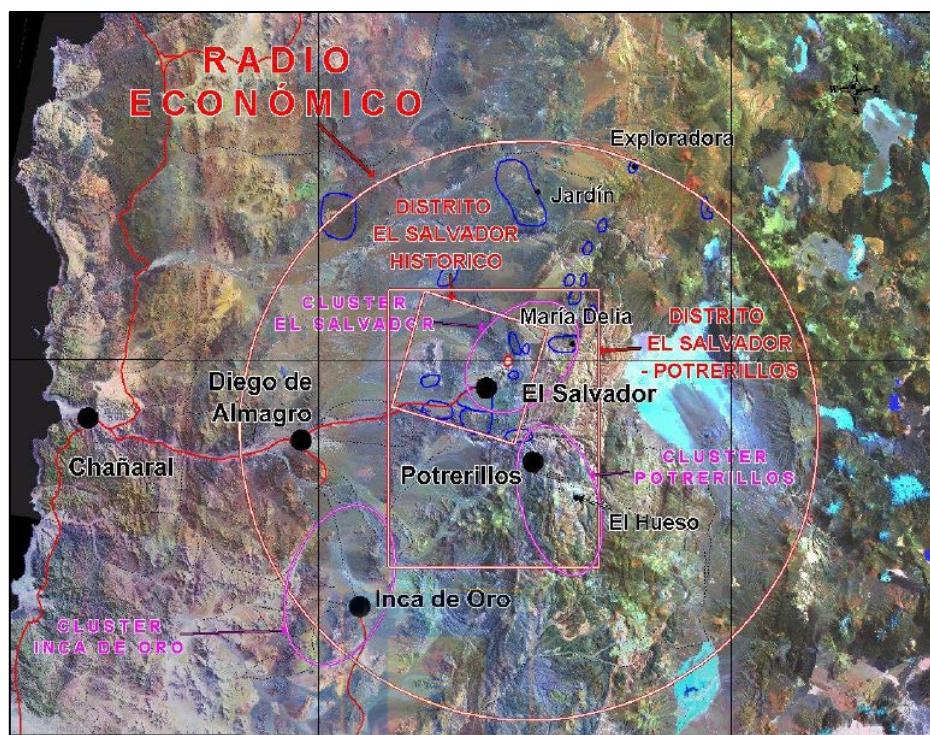


Figura 2.05. Plano de ubicación *cluster* Potrerillos, zona de la Mina SAO y El Hueso.

3. LINEA BASE DE LAS ACTIVIDADES DE GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN EL CORTO PLAZO

3.1. GENERALIDADES

El área de geología de producción en el corto plazo, se debe encargar de los procesos ligados a la captura de información geológica y control de calidad del mineral, a través de técnicas de monitoreo continuo y predictivo del minado (material mineral tronado), así caracterizar correctamente lo minerales y garantizar la porción de material con valor económico, la de baja ley y la estéril, para posteriormente ser enviados a sus respectivos destinos con el mayor nivel de precisión, siguiendo la planificación tanto de corto, como de largo plazo, y alinearse con el cumplimiento de las metas productivas, asegurando una buena inversión, entendiendo que el corto plazo engloba una escala mensual y el largo plazo una anual.

Su objetivo principal es:

“Asegurar información geológica sustentable para plan mensual de extracción en cada proyecto, de carácter predictivo, así garantizar el envío de mineral planificado a planta, aplicando el control de calidad mineral”.

Las actividades de geología de producción del corto plazo consideran 3 conceptos básicos en la minería:

1.- Control de calidad mineral: Es el control del mineral que engloba las actividades geológicas desde el material tronado hasta el ingreso a planta. Se deben realizar evaluaciones de oportunidades de mejora en las operaciones diarias y gestión de activos. Incluye todos los mapeos geológicos de la Mina (bancos, *stock*, pozos de tronadura, etc.), realización de compósitos de recursos, recuperación de materiales históricos de alta ley, control granulométrico de materiales tronados, y análisis de mezclas de materiales para el ingreso de minerales a planta.

2.- Control de leyes productivas: Es el control de leyes a partir de la generación de polígonos que identifican la clasificación del mineral y así minimizar las pérdidas como parte del control mineral. El objetivo principal es evitar la dilución mineral (mezcla de materiales generado por aspectos operacionales como geológicos, causando reducción de ley por tonelaje y aumento en los costos

mina) considerando las restricciones del ancho del minado. El resultado es un tonelaje con leyes asignadas a partir de los muestreos de pozos de tronadura. Esta tarea incluye un trabajo en gabinete, con la información capturada además del modelamiento, y de terreno, donde se evalúa el proceso de extracción mineral y se van controlando los límites de polígonos y las estructuras geológicas.

3.- QA/QC: Aseguramiento y control de calidad son un conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para determinar el nivel de calidad realmente alcanzado en una operación, mediante el seguimiento permanente de la posible ocurrencia de errores. El objetivo es la detección de problemas, cuando éstos ocurran, incluso si se siguen correctamente los protocolos de trabajo, con el fin de cuantificar o evaluar sus posibles efectos y tomar oportunamente medidas correctoras. Para el corto plazo, se requiere de una alta precisión y exactitud en los resultados diarios de leyes metálicas de los pozos de tronadura.

Las buenas prácticas se evidencian en el conocimiento de un plan mensual en conjunto con el área de panificación, en la captura de datos geológicos, el análisis e integración de información necesaria para un correcto modelamiento (geológico y de estimación) para actualizar el corto plazo, y generar predictivos mensuales, lo que resulta importante analizar para la creación de una línea base de las actividades de geología de producción en el control de calidad mineral en la División El Salvador.

El área de geología se encontraba conformando la Superintendencia de Geología hasta finales de junio del año 2018, donde por consenso Divisional interno se queda sin Superintendente y se mantiene algunos meses. Dentro del organigrama corporativo actual, el área de geología pertenece a la Gerencia de Recursos mineros y Desarrollo (GRMD) junto a geotecnia, planificación y procesos, quienes integran la Superintendencia de minería (Figura 4.01.).

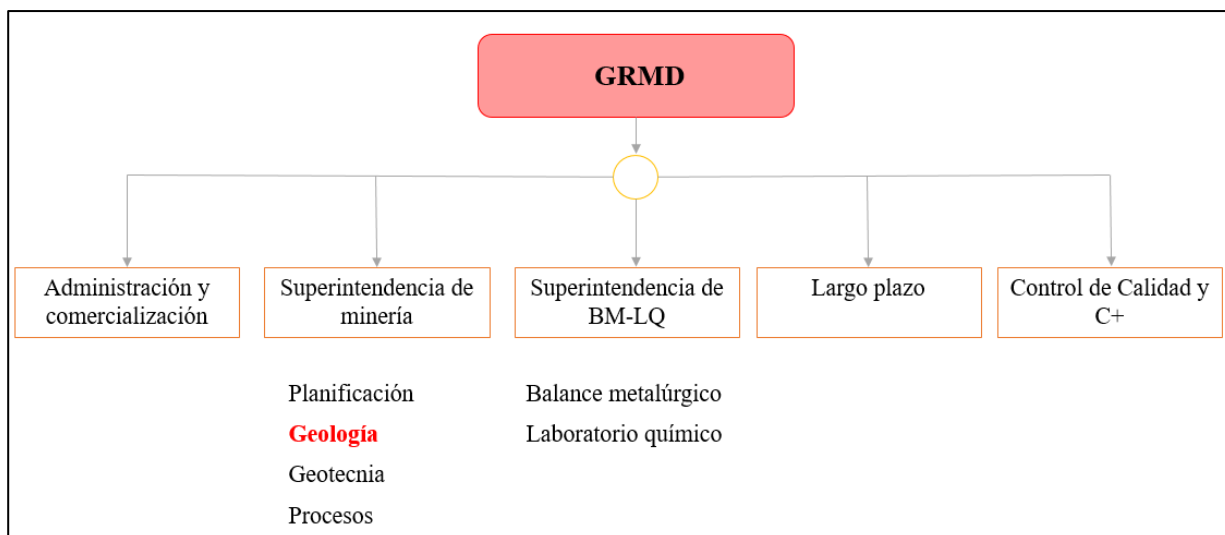


Figura 3.01. Organigrama actual de GRMD, División El Salvador 12/2018. BM: Balance metalúrgico; LQ: Laboratorio químico; C+: Sistema de gestión basado en *Lean Management* para una excelencia operacional.

Sus clientes directos principales en la División son:

- **Planificación minera:** Organismo que espera el predictivo mensual del modelo de estimación del corto plazo para ir planificando la extracción. Debe haber una comunicación directa con geología para ir orientando el plan de producción según las novedades geológicas que se vayan presentando en el día a día.
- **Control producción:** Organismo de control de destinos de minerales, que debe tener pleno conocimiento del tipo de material extraído y movimientos en la Mina. Es parte del área de procesos, y debe estar en plena comunicación a las instrucciones de geología.
- **Superintendencia de minería:** Organismo de supervisión con el objetivo de administrar la información geotécnica, geológica y planificación minera, así llevar el control de la producción ante las demás gerencias.

Para entender todo el flujo de actividades realizadas en geología de producción en la División El Salvador aplicados en Mina SAO, resulta importante analizar el flujo de datos que entra (para la creación y análisis de información) y sale (como producto de procesamiento) del área de geología.

Los datos que ingresan (datos de entrada) incluyen información histórica, generados por otras áreas, capturados en terreno o provenientes de registros de trabajos anteriores del personal de geología. La integración de esto, junto el resultado de la ejecución de cada una las actividades del

área de geología, va generando una nueva información mensual, traducido básicamente en el producto de procesamiento de información geológica actualizada (datos de salida) (Tabla 3.01.).

Tabla 3.01. Tabla de flujo de datos en geología de producción actual. CP: Corto plazo; MB: Modelo de bloques.

Datos de geología de producción Corto plazo	
Datos de entrada	Datos de salida
Diagrama de pozos de tronadura	Sólidos geológicos
Modelo geológico largo plazo (previo)	Leyes de cobre de pozos de tronadura
Base de datos de sondajes históricos	Actualización MB mensual
Topografía (coordenadas)	Separación de disparos de disparo
Densidad de rocas	

Las responsabilidades del área de geología en el corto plazo se ligan netamente a las actividades diarias, las que poseen requerimientos establecidos entre las áreas de planificación y control producción, desde la captura de datos geológicos hasta la evaluación de la conciliación de datos reales con el modelo de corto y largo plazo (Figura 3.02.) que se reporta en un informe mensual.

Las actividades realizadas actualmente se pueden clasificar en 5 grandes grupos:

- Captura de datos geológicos
- Validación de datos y QA/QC
- Base de datos
- Procesamiento de datos en *software* y modelamiento
- Análisis de resultados

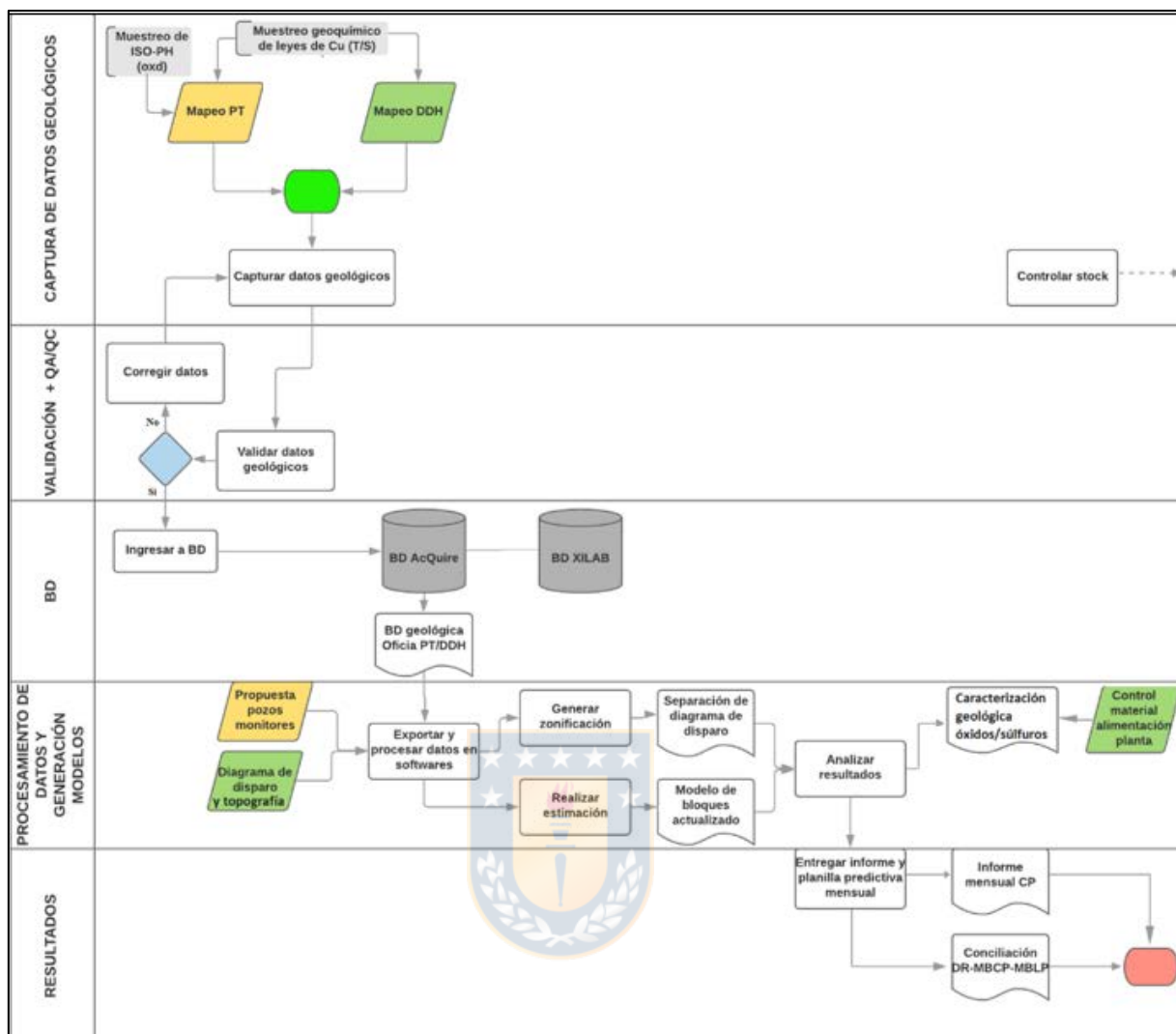


Figura 3.02. Diagrama de flujo actividades de geología de producción general. PT: Pozos de tronadura; DDH: Sondajes; Leyes de Cu (T/S): leyes de CuT y CuSF; BD: Base de datos; Acquire: Sistema de base de datos corporativo; Xilab: Sistema de base de datos y captura de información (mapeo) corporativo; QA/QC: *Quality Assurance/Quality Control*; DR: Datos reales; MBCP: Modelo de bloques Corto plazo; MBLP: Modelo de bloques Largo plazo.

3.2. ACTIVIDADES DE GEOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN SAN ANTONIO ÓXIDOS

Cada una de las actividades de geología de producción posee un flujo de información. Estas se pueden clasificar en 5 grandes grupos (Figura 3.03):

- 1.- Captura de información geológica
- 2.- Almacenamiento en base de datos
- 3.- Procesamientos de datos en software
- 4.- Revisión y análisis de protocolos y control calidad (QA/QC)

5.- Análisis de resultados

Para un buen análisis, se examinan sus aplicaciones de inicio a fin, para posteriores recomendaciones y técnicas de optimización que aporten al negocio.



Figura 3.03. Diagrama de las actividades de geología de producción del corto plazo.

3.2.1. Captura de datos geológicos

La información obtenida de la captura de datos geológicos se utiliza para generar y actualizar modelos, ya sean geológicos como de estimación de recursos, además de aportar en la caracterización geológica mensual dirigida al área de planta, operaciones, planificación, etc., destinada a sus diversos desempeños de procesamiento y producción.

Esta actividad es muy importante en el control de calidad mineral, entrega un avance geológico preciso de la Mina, lo que se traduce en un muestreo de pozos de tronadura para obtener leyes de Cu reales, a partir de protocolos y procedimientos oficializados que involucran desde la toma de muestra, hasta el análisis químico; y la captura de datos de mapeo geológico (pozos de producción, bancos, etc.) que aporta las variables geológicas al modelo de corto plazo, el control de la mineralización y entendimiento del yacimiento (Figura 3.04.).

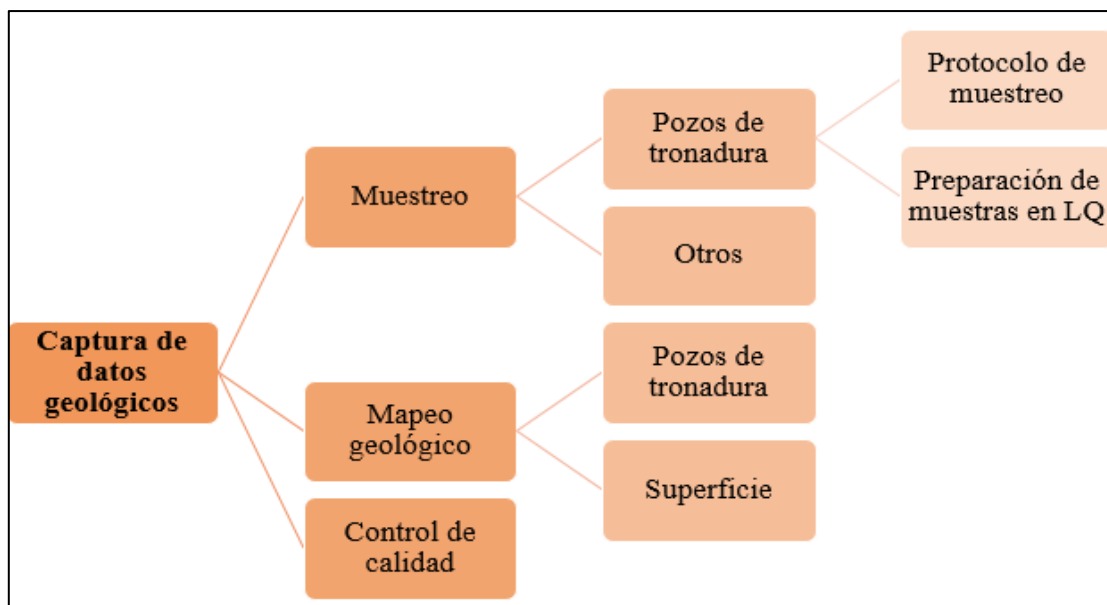


Figura 3.04. Diagrama de captura de datos geológicos. LQ: Laboratorio químico.

3.2.1.1. Muestreo

El área de geología es la encargada de asegurar la calidad de muestreo que se realiza a diario en los pozos de tronadura y otros (*stock*, banco, etc.), contando con 11 analistas de geología que realizan las tareas. En Mina SAO se cuenta solo con 2 personas capacitadas para trabajo de muestreo en altura.

Se requiere una metodología y planificación precisa para el manejo del mineral, en cuanto a su extracción, transporte, y recuperación hasta el destino final del material, en el caso de los minerales oxidados de cobre provenientes de SAO hasta la planta de lixiviación, con el fin de aumentar la confiabilidad de datos de leyes capturados de los pozos de tronadura.

Los resultados e interpretación del muestreo, dependen de la veracidad del dato y procedimientos en base a una evaluación de precisión y exactitud representativa del material, así garantizar la obtención de beneficios para el proceso operativo y no alejarse del resultado real de leyes y obtener resultados confiables. Esta etapa del QA/QC se traduce en un control de muestreo, preparación y análisis químico.

Cabe mencionar, que no se tiene un protocolo y/o instructivo oficializado, competente a otro tipo de muestreo diferente al de pozos de tronadura, que indique una completa descripción de tareas para el caso de los muestreos de leyes de stock históricos, muestreos de leyes en canaletas, muestreos de ISO-PH en bancos, etc.

3.2.1.1.1. Protocolo actual de muestreo de pozos de tronadura

El muestreo se organiza y coordina en gabinete con la preparación del reporte de muestreo, o conjunto de muestras a recolectar (no más de 21 en cantidad), donde se extraen las codificaciones previas de cada muestra para hacer la identificación directa con cada pozo de tronadura. Esto queda registrando diariamente en el software de almacenamiento *AcQuire*, así al tener los resultados de leyes, se carga automáticamente junto a las coordenadas topográficas. Se debe trabajar de forma ordenada con la codificación, y no mezclar un muestreo de dos disparos de tronadura distintos en un reporte. Cada uno debe tener un 5% de controles (muestras duplicadas) para medir precisión y exactitud según el plan de control de calidad para el muestreo de la División, lo que se detalle en el capítulo 3.2.1.3. (Figura 3.05.).



PLAN DE MUESTREO DE POZOS

Fecha Plan 07 Nov 2018 17:31
Fecha Reporte 11 Dec 2018 08:58

Nro de Plan 1334

Encargado (JA) Juan Apablaza

ORIGINALES	20
DUP TERRENO	1
DUP PREPARACIÓN	1
DUP ANALÍTICO	1
DUP PULVERIZADO	1
ESTANDAR	0
BLANCO	0
TOTAL CONTROLES	4
TOTAL MUESTRAS	24

Muestra	Tipo	Original	Muestra	Tipo	Original
P-228458	Original				
P-228460	Original				
P-228471	Original				
P-228472	Original				
P-228473	Original				
P-228474	Original				
P-228476	Original				
P-228477	Original				
P-228478	Original				
P-228479	Original				
P-228480	Original				
P-228481	Dup Terreno	P-228485			
P-228482	Original				
P-228483	Original				
P-228484	Original				
P-228485	Original				
P-228486	Original				
P-228488	Original				
P-228489	Original				
P-228490	Original				
P-228491	Original				

Figura 3.05. Reporte de muestreo. Plan de muestreo de pozos de tronadura.

Importante es revisar el reporte diario de las condiciones geotécnicas del rajo, como normativa general antes de ingresar al muestreo. Se prosigue a preparar los materiales (palas, etiquetas, diagrama de disparo impreso, bolsas, lápiz, cordel de cáñamo, EPP o equipo de protección personal, etc.) y la revisión del vehículo liviano. Una vez realizada la revisión, se requiere solicitar al jefe de turno la autorización para ingresar a la Mina rajo, entregando el número del vehículo y localización de la zona de muestreo.

Una vez ubicados en el área planificada del disparo a muestrear, se rellena el reporte ART (Análisis de riesgo del trabajo) de seguridad, para identificar riesgos críticos de la tarea a ejecutar, con sus respectivos controles. La distancia mínima de trabajo, con respecto a la máquina perforadora activa, es de 15 m y 5m cuando se encuentra inactiva.

El personal de muestreo debe verificar e identificar los pozos de tiro, según su numeración (conos de producción deben coincidir con el diagrama de disparo) indicados en papeles afirmados por una roca en cada pozo. En primer lugar, se elimina la pasadura, para pozos sobre los 10 m de profundidad se desechan de 3-5 cm del sector superior del cono (Figura 3.06.).

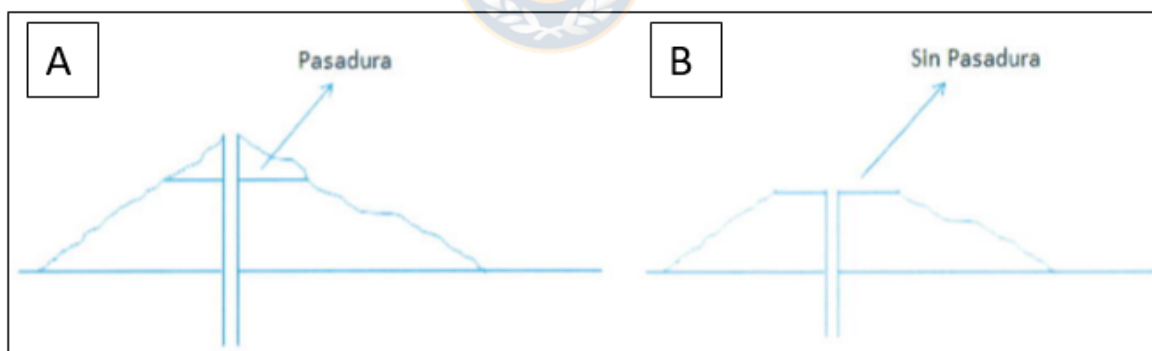


Figura 3.06. Esquema de conos de producción. **A:** Cono con pasadura (más de 10 m de profundidad). **B:** Cono sin pasadura (10 m de profundidad).

Luego se corta el material del cono de producción con una pala plana, primero en un lado del pozo, y luego la sección del frente, siguiendo la metodología tipo radial (Figura 3.07.). Hay que corroborar que las caras libres del corte del pozo evidencien la granulometría del detrito y así apreciar la interestratificación fina y gruesa del *cutting* en la vertical.

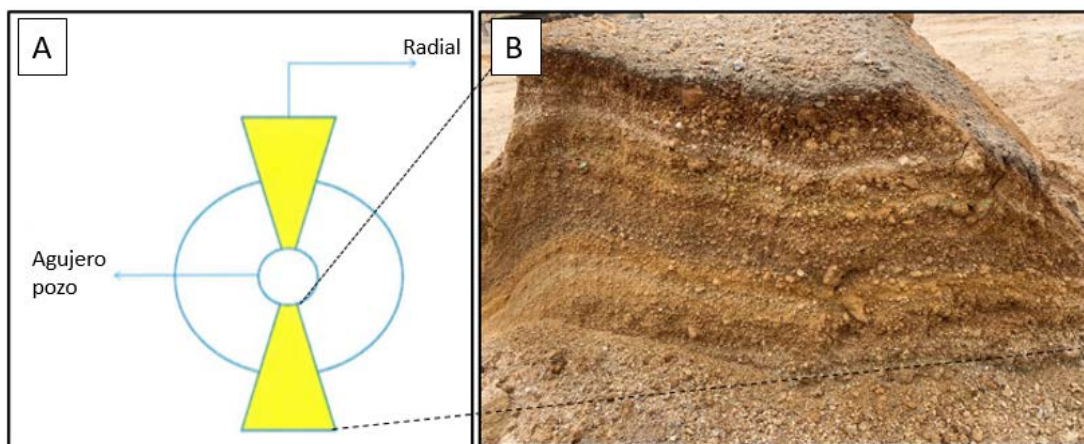


Figura 3.07. Corte del *cutting* de un pozo de tronadura con método radial.

Posteriormente se extrae el material por medio de pala plana, (procurando sacar muestra real del pozo desde arriba hacia abajo, no la cobertura), de ambos lados, siguiendo la metodología tipo radial, las que se recolectan en bolsas de muestreo de 10-15 kg con la codificación de cada material. Las muestras quedan amarradas con un cordel de cáñamo y guardadas en la camioneta, hasta proceder a trasladarlas al laboratorio para su preparación mecánica y análisis químico (por procedimiento se debe usar pala llana, pero no se cuenta con ella).

Cualquier irregularidad que afecte al muestreo, observada por el personal de geología, debe ser reportada a la brevedad, como el estado de conos intervenidos. En algunas ocasiones el cono de producción se encuentra desarmado por arrastre del faldón de la máquina perforadora al avanzar, o un cono muy pequeño por falta de recuperación, mezclando el *cutting* con la cobertura, lo que afecta la representatividad de la muestra. Al aplicar mucha presión y velocidad de perforación, se podría generar pérdida de finos en el aire (Figura 3.08.).

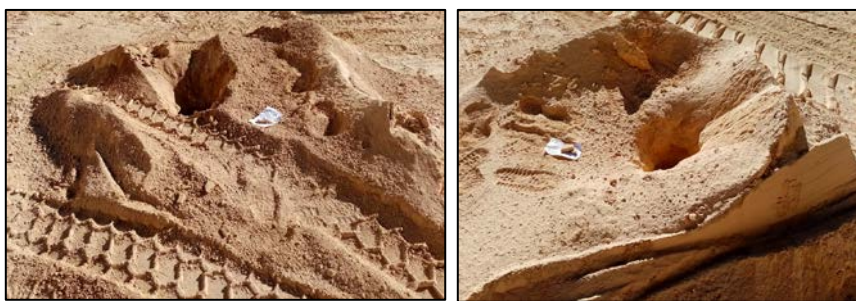


Figura 3.08. Conos de producción irregulares.

Los registros de muestreo se ingresan al sistema de base de datos corporativo *AcQuire*, clasificando cada disparo con sus respectivos pozos y muestras asociadas a un reporte, en el reporte de muestras (Figura 3.09.).

 REPORTE MUESTRAS		
Disparo 420-012CA Fecha Reporte 07-Nov-2018 08:49:59		
Muestra	Pozo	Batch
P-200375	420-01 2CA-002	16
P-200376	420-01 2CA-004	16
P-200377	420-01 2CA-006	16
P-200379	420-01 2CA-008	17
P-200378	420-01 2CA-010	17
P-200370	420-01 2CA-011	16
P-200371	420-01 2CA-012	16
P-200359	420-01 2CA-013	16
P-200372	420-01 2CA-014	16
P-200374	420-01 2CA-015	16
P-200368	420-01 2CA-016	16
P-200277	420-01 2CA-017	12
P-200362	420-01 2CA-018	16
P-200360	420-01 2CA-019	16
P-200274	420-01 2CA-020	12
P-200273	420-01 2CA-021	12
P-200258	420-01 2CA-022	12
P-200272	420-01 2CA-023	12
P-200276	420-01 2CA-024	12
P-200257	420-01 2CA-025	11
P-200256	420-01 2CA-026	11
P-200250	420-01 2CA-027	11
P-200269	420-01 2CA-028	12
P-200270	420-01 2CA-029	12
P-200259	420-01 2CA-030	12
P-200261	420-01 2CA-032	12
P-200262	420-01 2CA-033	12
P-200264	420-01 2CA-034	12
P-200265	420-01 2CA-035	12
P-200266	420-01 2CA-036	12
P-200268	420-01 2CA-037	12

Figura 3.09. Reporte de muestras.

También se debe generar una orden de preparación mecánica y análisis químico (Figura 3.10.), recibido por el personal de laboratorio químico (empresa CESMEC), quienes se encargan de importar los pesos y humedades al recibir las muestras.



REPORTE PREPARACION MECANICA

Nro de Plan 1273

Fecha Reporte 06-Nov-2018 17:30:59

Encargado (1A) Juan Apablaza

Muestra	Tipo	Humedad	Calidad	Original
P-227394		Humeda	Irregular	
P-227395		Humeda	Irregular	
P-227396	Dup Prep			P-227404
P-227397		Humeda	Irregular	
P-227398		Humeda	Irregular	
P-227399		Humeda	Irregular	
P-227400		Humeda	Irregular	
P-227401	Dup Terreno	Humeda	Irregular	P-227404
P-227402		Humeda	Irregular	
P-227403		Humeda	Irregular	
P-227404		Humeda	Irregular	
P-227405		Humeda	Irregular	
P-227406		Humeda	Irregular	
P-227407	Dup Pulverizado			P-227404
P-227408		Humeda	Irregular	
P-227409		Humeda	Irregular	
P-227410		Humeda	Irregular	
P-227411		Humeda	Irregular	
P-227412		Humeda	Irregular	
P-227413	Dup Analítico			P-226880
P-227414		Humeda	Irregular	

Figura 3.10. Reporte de preparación mecánica para el LQ.

El personal de laboratorio, al recibir las muestras, corroboran calidad, cantidad y numeración a partir del reporte, estableciendo la hora de recepción. Finalmente es firmado por ambas áreas, (personal de geología y de laboratorio), registrando conformidad de procedimiento.

3.2.1.1.2. Preparación y análisis de muestra en laboratorio químico

Antes de cualquier procedimiento, al recibir las muestras, el personal del laboratorio químico realiza un chequeo de códigos de muestras por bolsa y verifica la emisión de la solicitud de preparación mecánica de muestra emitido por personal de geología (Figura 3.11.). Posteriormente procede a pesar cada una, generando la identificación a través de una pistola electrónica descodificadora, e ingresa el resultado de forma automática al *software* corporativo *AcQuire*.

SOLICITUD DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS Y ANÁLISIS

 **CODELCO**
Salvador

No. de Despacho A0001843		Job Name	
Responsable: JA	Fecha de Envío 2018-12-10 16:21:58	Empresa de Traslado: CESMEC	
Laboratorio CESMEC			

Tipo de Muestra		Almacenamiento de muestras	
Roca		Enviar pulpas preparadas a CIA	
Testigo		Almacenar pulpas preparadas	
Poivo de RC		Enviar rechazos a CIA	
Sedimento		Almacenar rechazos	
Suelo			
Pulpas			
Otras (tipos)			

Muestras y Descripción del Requisito

Muestras		Cantidad	Elemento o Methodos
Muestra Inicial	Muestra Final		
P-230068	P-230072	5	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230074	P-230076	3	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230078	P-230080	3	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230082	P-230084	3	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230086	P-230088	3	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230090	P-230091	2	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
P-230093	P-230093	1	CuSCIT_EAA_pct, CuT_EAA_pct
Total:		20	

Numero de Muestras: 20

Instrucciones para la preparación de las muestras 1. Preparar muestras en el orden numerico de la identificación de las muestras	Instrucciones para el análisis de las muestras Importante, el certificado de resultados debe ser emitido separadamente por cada envío. Es decir, por cada despacho debe haber un certificado de resultados.
--	---

Enviar Factura a:	
Enviar por correo los resultados a:	

Figura 3.11. Despacho de análisis: solicitud de preparación de muestra y análisis para el LQ.

Para el control de pérdida de masa en el proceso se toma una muestra de cada 20, y lo mismo se replica para el control de humedad.

Para que las muestras estén aptas para pruebas y ensayos de leyes, la preparación debe consistir en tres etapas:

- Secado
- Chancado
- Pulverizado

El secado de las muestras se realiza en bandejas introducidas en un horno industrial a 105°C, demorando cerca de 4 h, dependiendo de la humedad (Figura 3.12.) Posteriormente se pasan a una malla *Tyler* #6, y el material retenido se deja en el chancador secundario.

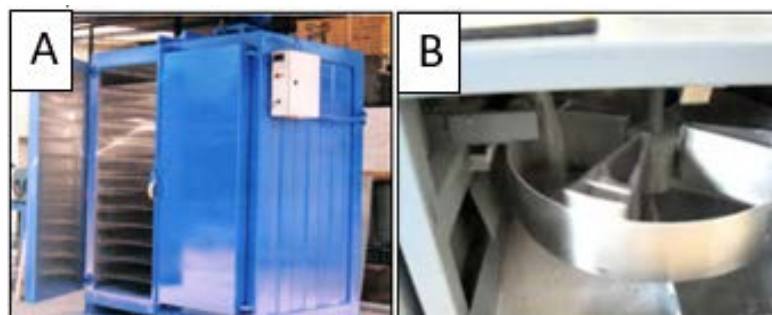


Figura 3.12. A: Horno industrial para muestras de roca. B: Divisor rotatorio (4 capachos).

Luego se inserta el material fino en el divisor rotatorio (Figura 3.12.), y se selecciona el material de 2 capachos opuestos, para posteriormente llevarlo al pulverizador y depositar el material final de 700 g en una bandeja, de las cuales se extraen 150 g para el llenado de sobres de pulpa (pulpa B) (Figura 3.13.), destinados al laboratorio de análisis químico de leyes de cobre total y cobre soluble frío en la línea de minerales oxidados, mediante absorción atómica. Una vez que tienen los resultados, los cargan al sistema de base de datos *AcQuire*.

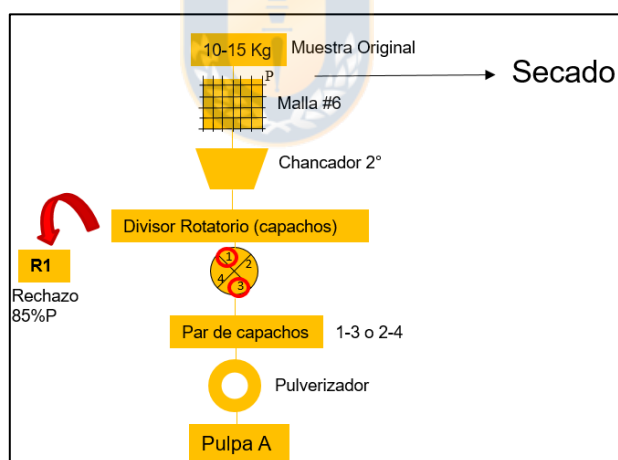


Figura 3.13. Flujograma de preparación mecánica de muestras.

Las muestras obtenidas de los pozos de tiro, por lo general almacenan un porcentaje de humedad, ya sea por las condiciones ambientales, como por el agua utilizada para la perforación. Si el material se recibe con mucha humedad, en el chancado y pulverizado puede formar una masa lodosa que dificulte la preparación ya que rellena mayor área, por lo que se realiza una clasificación entre húmedo y mojado al momento de muestrear, así prevenir acciones del personal de laboratorio.

Por otro lado, el reporte analítico de ley de cobre emitido por el laboratorio, demora 24 h después de la entrega de muestras en el caso de estar húmedas, y 48 h si está calificadas como muy húmedas, por lo que es importante su clasificación para la fluidez del trabajo.

El proceso completo, desde el muestreo al análisis químico, demora actualmente cerca de 1 a 2 días en obtener los resultados esperados.

3.2.1.2. Mapeo geológico

3.2.1.2.1. Mapeo de pozos de tronadura

Actividad correspondiente a la identificación de características geológicas, como tipo de roca, minerales de alteración y mineralización asociada al material obtenido de los conos de producción que componen un *cutting* (Figura 3.14.), principalmente con el fin de aportar información geológica de la Mina, observando las posibles desviaciones o continuidades para la adaptación de un modelo geológico y caracterización de zonas con potencial económico según los resultados de leyes obtenidas del laboratorio químico y el carácter geometalúrgico de los materiales.

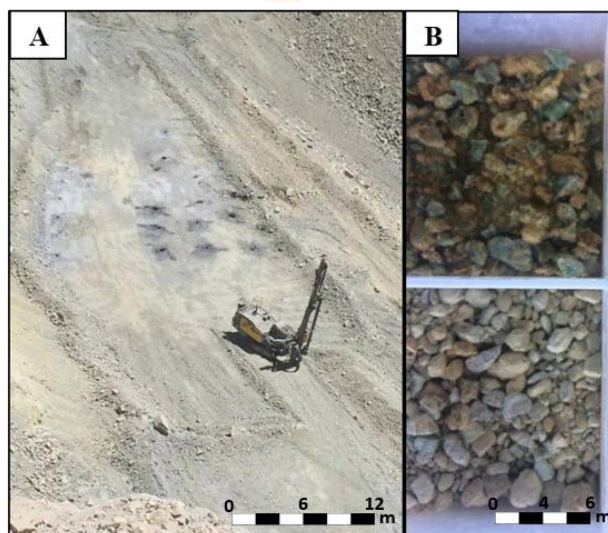


Figura 3.14. A: Máquina perforadora operando en Mina SAO, se pueden observar rastros de los conos de producción. B: Muestra de *cutting* de pozos de tronadura pertenecientes a Mina SAO, disparo 3450-010SA. 2018.

a) Técnica de mapeo geológico para pozos de tronadura

Personal de muestreo del área de geología extrae 100-150 g de material de cada pozo de producción, a partir de las muestras que fueron enviadas para su análisis de ley, así clasificarlo en bandejas o bolsas de *cutting* codificadas (correlacionables a las muestras extraídas anteriormente), y enviarlas al geólogo a cargo para su mapeo. Posteriormente, el geólogo de producción clasifica el material en su oficina (Figura 3.15.), por medio de una lupa electrónica (con ayuda de agua para el reconocimiento mineral) describe la alteración, litología, y mineralización (y ocurrencia mineral) de forma detallada con porcentajes.

Si bien, no se encuentra un registro de estos mapeos en base de datos *AcQuire* ni documentos en planillas, pero existen 339 descripciones geológicas del yacimiento Campamento Antiguo hasta el 11/10/2018, 205 del yacimiento QM (Quebrada Marquiza), y 150 de Damiana, las que se encuentran registradas en el sistema.



Figura 3.15. Lupa electrónica con aumento 50X Wild Heerbrugg. Sistema binocular junto a bandejas de *cutting* codificadas para mapeo geológico.

b) Ingreso de información al sistema de base de datos Acquire

Según la metodología regular, el ingreso de datos al software corporativo se realiza en primer lugar (Figura 3.16.), identificando el proyecto con el que se trabaja (yacimiento), el geólogo a cargo del registro y, todas las indicaciones características del pozo (banco, fase, disparo). Las litologías deben ir en porcentaje, 100% si se presenta solo una (AND=Andesita), pero no presenta una regla numérica que lo restrinja. La alteración se clasifica según el ensamble mineral y la intensidad (débil, moderado, intenso, sin información). La ganga, mineralización de sulfuros y oxidados de cobre, debe ir detallada en porcentaje (mineralización=100%), la que tampoco tiene una regla que restrinja el factor numérico. La UG es la unidad geológica, donde se especifica el carácter mixto, sulfuro primario, sulfuro secundario y zona oxidada. Finalmente hay un espacio para observaciones varias.

Mapear Muestras 21-Aug-2017 20:47:21

Proyecto **QM**

Geólogo JE Banco 2620 Fase 1QM Disparo 018 **Pzo=Correlativo** Disparo-Pozo 620-018QM-121 620-018QM-118

Litología

LT1	AND	100	%
LT2			%
LT3			%

Alteración

SE-CLO Intensity 1

Ganga

ANH Percentage 1

Mineralización Oxidos

MN1	ANT	40	%
MN2			%
MN3			%

Mineralización Sulfuros

MN1	BORN	20	%
MN2	MO	20	%
MN3	GAL	20	%
MN4			%
MN5			%

% Min Sin Información

Ocurrencia

UG 7

Observaciones

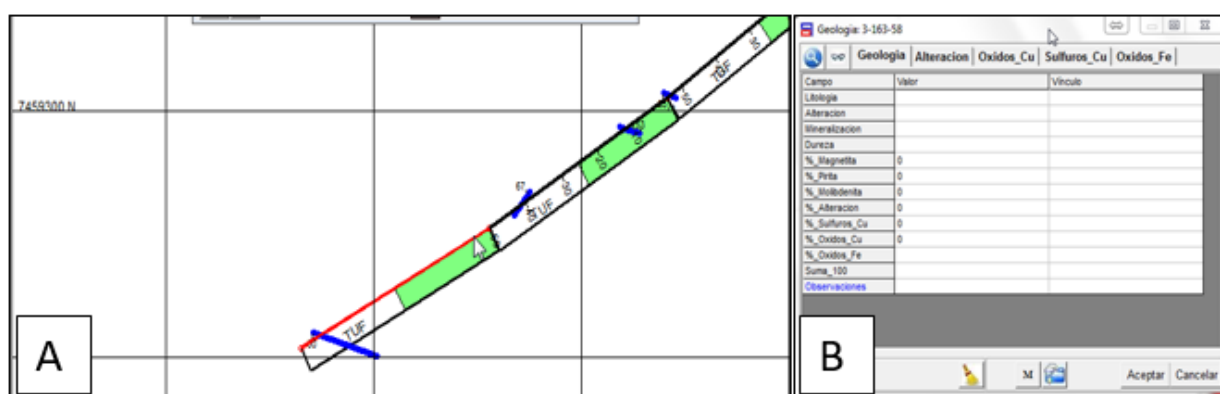
Modificar **Refrescar** **Guardar**

Figura 3.16. Interfase de mapeo geológico de muestras de pozo de tiro en software Acquire.

Esta información sirve para definir las proyecciones geológicas que generan un modelo de bloques de corto plazo en la División El Salvador y su continua actualización mensual. Aquí se recolectan datos litológicos que utilizan áreas como la de geotecnia, ayuda a la identificación de cambios mineralógicos dentro del yacimiento, que pueden afectar en el tonelaje de operación y recuperación

3.2.1.2.2. Mapeo geológico de bancos

La información se recolecta individualmente por el geólogo de producción en una libreta de terreno, quien la ingresa a un archivo *CAD*, y generar mapas de superficie. Algunos bancos se registran en la base de datos del software *Xilab* (Figura 3.17.), que entrega una visualización del mapeo en terreno, según el plano georreferenciado.



42

Los últimos datos de mapeo de bancos se registraron el año 2015-2016, en sistema *Xilab*, y no se encuentra un protocolo y/o instructivo oficial de mapeo de bancos con la codificación correspondiente y metodologías utilizadas. *Xilab* no presenta una cartilla con los campos requeridos para el mapeo geológico de SAO. El único registro que se obtiene es un mapa de superficies (Figura 3.18.) donde se detallan algunas estructuras menores y litología a grandes rasgos.



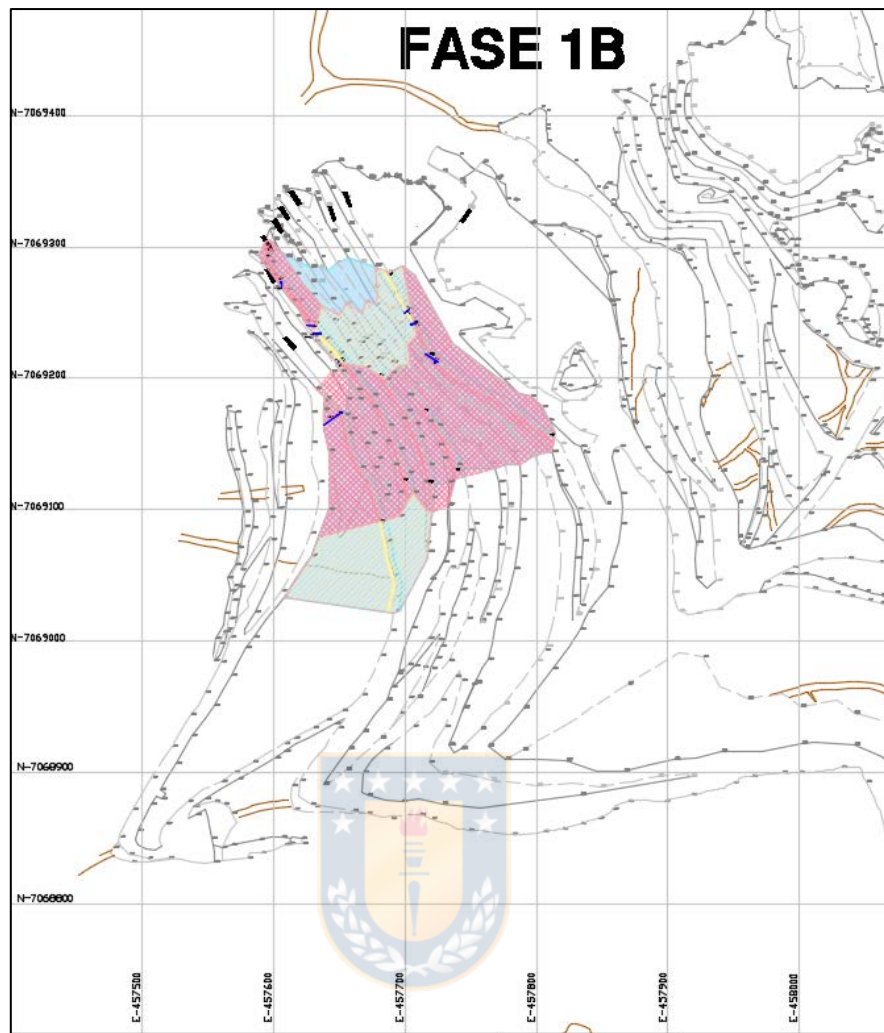


Figura 3.18. Mapa geológico de superficie Mina SAO, Fase 1B. Realizado por geólogo de producción 2018.

3.2.1.3. Control de calidad QA/QC

Involucra la calidad de resultados, tanto de ensayos de laboratorio, como los muestreos en terreno, lo más preciso y exacto posible, para una baja variabilidad de leyes y obtener un soporte en la producción diaria (estimación de recursos y conciliaciones). De esta forma se pueden detectar los errores y fallas, cuantificarlas para una evaluación de causa-efecto y encontrar medidas de mitigación en el área de trabajo que permitan optimizar los recursos invertidos. La responsabilidad del encargado de geología recae desde la toma de muestras, hasta la entrega de resultados analíticos, y que como consecuencia del proceso, los errores se encuentren dentro de los parámetros establecidos (Figura 3.19.).

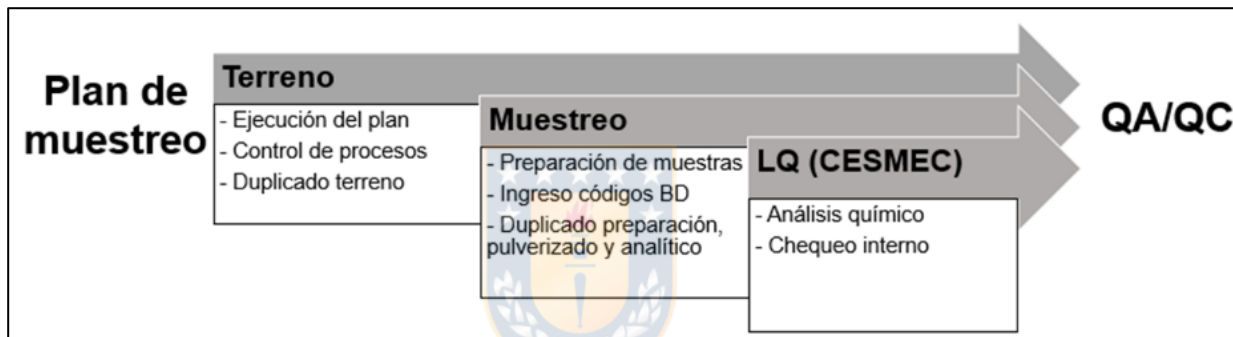


Figura 3.19. Diagrama de responsabilidades en las 3 etapas del QA/QC.

A) Plan de calidad

Los ayudantes de geología, al preparar su implementación de trabajo para el muestreo diario, llevan el plan de muestreo de pozos, planificado en el área de geología de producción. Cada muestra se extrae según protocolo de muestreo, y cuando aparezca en la planificación una muestra marcada de color gris, se reconocen las que son destinadas a un duplicado de laboratorio, por lo que hay que extraer una doble porción del pozo a muestrear (Figura 3.20.).

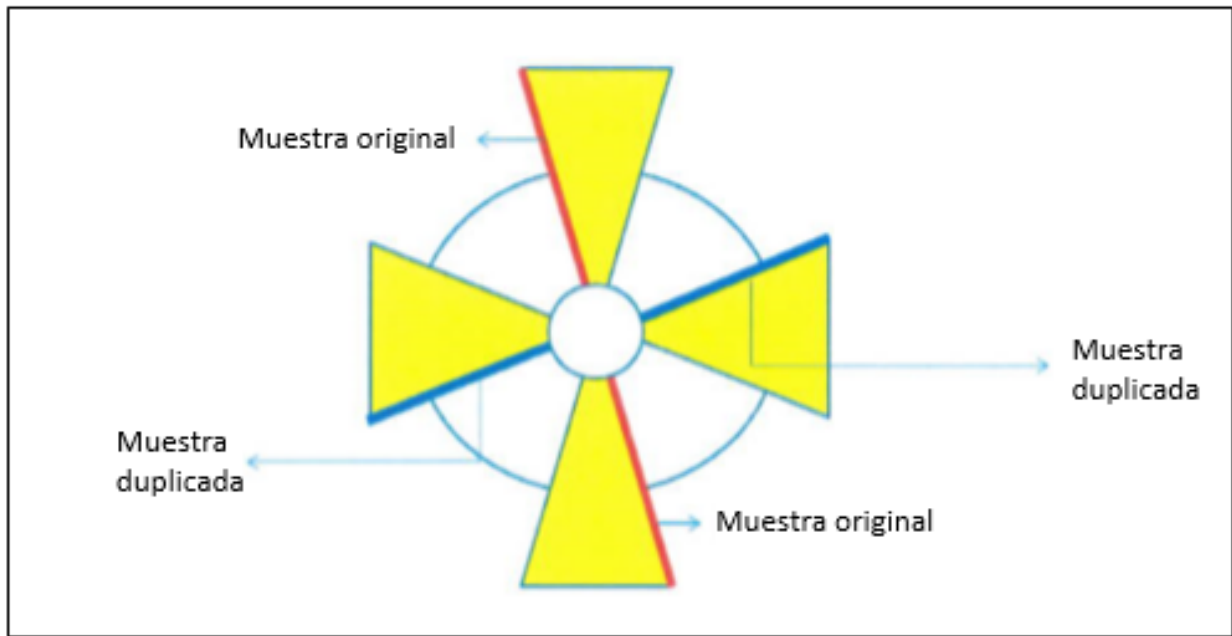


Figura 3.20. Extracción de *cutting* de duplicado de terreno en cono de producción. En azul: Muestreo duplicado de terreno (para análisis de calidad), en rojo: Muestreo original.

Para cumplir con los estándares de calidad, se deben realizar controles (terreno/pulverizado/preparación/analítico) cada 20 muestras, de tal forma que abarque un 5%. Se utiliza el criterio de la inserción de muestras de control de precisión y exactitud, por cada reporte generado, las que se introducen al resto de las muestras una vez preparados los sobres con pulpas. Aquí se define la batería de análisis, el origen, centro de costo y tipo de análisis.

B) Muestras de control

- **Duplicado de terreno:** Se obtiene antes de iniciar el proceso de preparación mecánica. El objetivo es controlar el proceso de extracción de la muestra en el cono de producción y evaluar su representatividad a partir del concepto de precisión (Pulpa B).
- **Duplicado pulverizado:** Es un duplicado de fino (95% #150) para medir precisión en la preparación de análisis químico (Pulpa D).
- **Duplicado de preparación:** Se extrae del fino (95% #6) proveniente de los capachos (Pulpa C).
- **Duplicado analítico:** Es el control de laboratorio químico, a partir de una pulpa ya analizada (Pulpa X), considerado como un re análisis.

La pulpas de control se extraen de la muestra original A y el duplicado analítico se genera extrayendo una pulpa A ya analizada en laboratorio químico, a la que se le cambia la etiqueta por un código nuevo para que sea reanalizada. En la División, actualmente no se trabaja con duplicado blanco (medición de contaminación) y de referencia (medición de exactitud), solo con los mencionados anteriormente (Figura 3.21.).

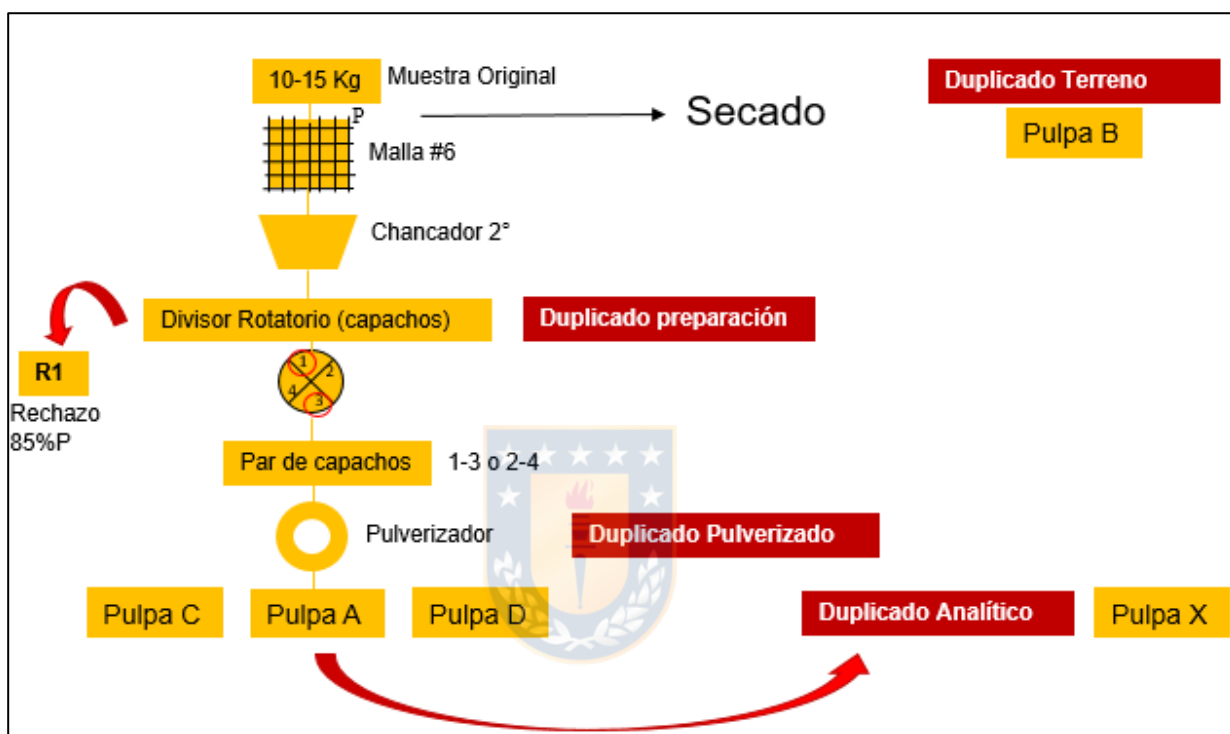


Figura 3.21. Flujograma de preparación de duplicados. R1: Rechazo del chancado. Pulpa A: Muestra original; Pulpa B: Muestra duplicada de terreno; Pulpa C: Muestra duplicada de preparación (capachos contrarios); Pulpa D: Muestra de duplicado de pulverizado; Pulpa X: Muestra de duplicado analítico que viene de una muestra original.

C) Errores y análisis QA/QC de leyes

La teoría del muestreo indica una gran gama de errores a los que se está susceptible, es por ello que se establecen criterios estadísticos de control para medir precisión y exactitud (Tabla 3.02.), y con esto analizar cada proceso competente.

La precisión de duplicados se refleja con los errores calculados para estandarizar y clarificar el análisis de resultados obtenidos del QA/QC de los datos de leyes. Es una medida de dispersión de estimaciones, representada por una familia de datos, alrededor de un estimador real desconocido.

Tabla 3.02. Parámetros estadísticos de precisión y exactitud de resultado de leyes

Precisión	Exactitud
Error relativo $(+ - \%ER) = \frac{(A-B) \cdot 100}{(A + \frac{B}{2})}$ A= resultado analítico original de pulpa A B= resultado analítico del duplicado de pulpa A **%ER+ = valor original es mayor que el duplicado (ley sobreestimada) **%ER- = valor original es menor que el duplicado (ley subestimada)	Error relativo $(+ - \%ER) = \left(\frac{MR_A - MR_B}{MR_A} \right) \cdot 100$ MR _A = media analítica de material de referencia MR _B = re-análisis del material de referencia (+ - %ER) debe tender a 0 (< 1%) **%ER+ = valor certificado es mayor que el duplicado (ley subestimada) **%ER- = valor certificado es menor que el duplicado (ley sobreestimada)
Varianza $S^2 = \sum \frac{(A-B)^2}{N}$ A= resultado analítico original de pulpa A B= resultado analítico del duplicado de pulpa A N= número de datos	
Desviación estándar $S = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left(\sqrt{\sum \frac{(A-B)^2}{N}} \right)$ A= resultado analítico original de pulpa A B= resultado analítico del duplicado de pulpa A N= número de datos	
Error analítico (95% confianza) $= \pm 2 \cdot S$	
Coefficiente de variación $(+ - \%CV) = \frac{S \cdot 100}{(A + \frac{B}{2})}$ A= resultado de primer análisis B= resultado de re-análisis Para ver imprecisión de duplicados	Coefficiente de Variación $(+ - \% CV) = \frac{S_{MR} \cdot 100}{MR}$ MR= media analítica de material de referencia S _{MR} = desviación estándar del material de referencia

Los estadígrafos de precisión (Tabla 3.03.) utilizados en la empresa son la varianza, error relativo, desviación estándar y coeficiente de variación aplicado para cada uno de los duplicados mencionados. En cuanto a la exactitud, no se puede calcular ya que no hay materiales de referencia.

Una vez importadas las leyes, el encargado de control de calidad deberá velar que los resultados entregados se encuentren dentro del Plan de Calidad establecido, que valida la información integrada recientemente a la base de datos oficial del AcQuire.

Tabla 3.03. Cálculos de parámetros de precisión de resultado de leyes. DT: Duplicado de terreno; DP: Duplicado de preparación; B: Duplicado de pulverizado; OX: Oxidados de cobre; *T STUDENT*: Total.

ESTADÍGRAFOS DE PRECISIÓN OX 2019			
	DT	DP	B
A= Ley Media Original %	0.654346154	0.654	0.654
C=Ley Media Duplicado %	0.654730769	0.652	0.650
Diferencia (A-C)	-0.000384615	0.002	0.005
Promedio (A+C)/2	0.654538462	0.653	0.652
Varianza	0.009953686	0.0002	0.0003
Desv. Std. = S (dif) = (V/2) ^{0.5}	0.070546744	0.011	0.011
Sesgo (%)	-0.000587613	0.36%	0.74%
Coefficiente de Variación	0.107780899	1.70%	1.71%
Números de Datos	26	26	26
Coefficiente de Correlación	0.930910808	0.99787824	0.997958947
T STUDENT	-0.02779946	1.07502047	2.192638302

Finalmente se realizan gráficas y una tabla resumen de los resultados globales obtenidos (Tabla 3.04.), donde se establece como procedimiento implantado de División Chuquicamata, que el error relativo del duplicado de terreno no debe superar el 1%, y el de preparación y pulverizado no deben superar el 0.5% por sí solos. El coeficiente de variación para el duplicado de terreno no debe superar el 12%, el de preparación tiene como límite máximo un 7% y el de pulverizado un 5%.

Tabla 3.04. Resumen global de cálculos de parámetros de precisión de resultado de leyes.

	Varianza	Desviación	Contribución	CV	ERROR
Duplicado Terreno	0.0049	0.0696	97.46	10.64	13.93
Duplicado Preparación	0.0000	0.0011	0.02	0.16	0.22
Duplicado Pulverizado	0.0001	0.0112	2.51	1.71	2.24
Global	0.0050	0.0705	100	10.78	14.11

Este análisis se realiza diariamente, en cuanto lleguen los resultados de leyes, así tomar decisiones inmediatas en el laboratorio químico (como reanálisis), pero los fines de semana no se pueden realizar insertos, ya que no hay personal de turno capacitado para la tarea.



3.2.2. Base de datos

3.2.2.1. Generalidades

Una buena base de datos lleva registrada toda la información recaudada en un trabajo a corto plazo, y con ello permitir la gestión de la información geológica, donde queda como responsable el personal UGI (Unidad de geología informática). La División El Salvador utiliza *AcQuire* como *software* corporativo, que permite:

- A) Un trabajo flexible, posee filtro de búsqueda avanzada para la base de datos.
- B) Movilidad, herramienta dinámica que permite la creación o modificación de formularios, listados, reportes, menú y otros objetos (adaptación).
- C) Importación/Exportación de información, ya sea para otros softwares y generales. Puede importar en cargas masivas de datos de manera segura.
- D) Seguridad e integridad de la información
- E) Trazabilidad de la información
- F) Información auditable

El gestor de bases de datos que utiliza es *MSSQL Server*. El entorno tecnológico de *AcQuire* se puede vincular a distintos objetos (Figura 3.22.), que optimizan el trabajo como balanzas y pistola lectora de código de barra, para pesar las muestras en el laboratorio químico, receptores GPS para mediciones, reporte de mapeo de sondajes, conexión ordenador de *tablet*, etc.

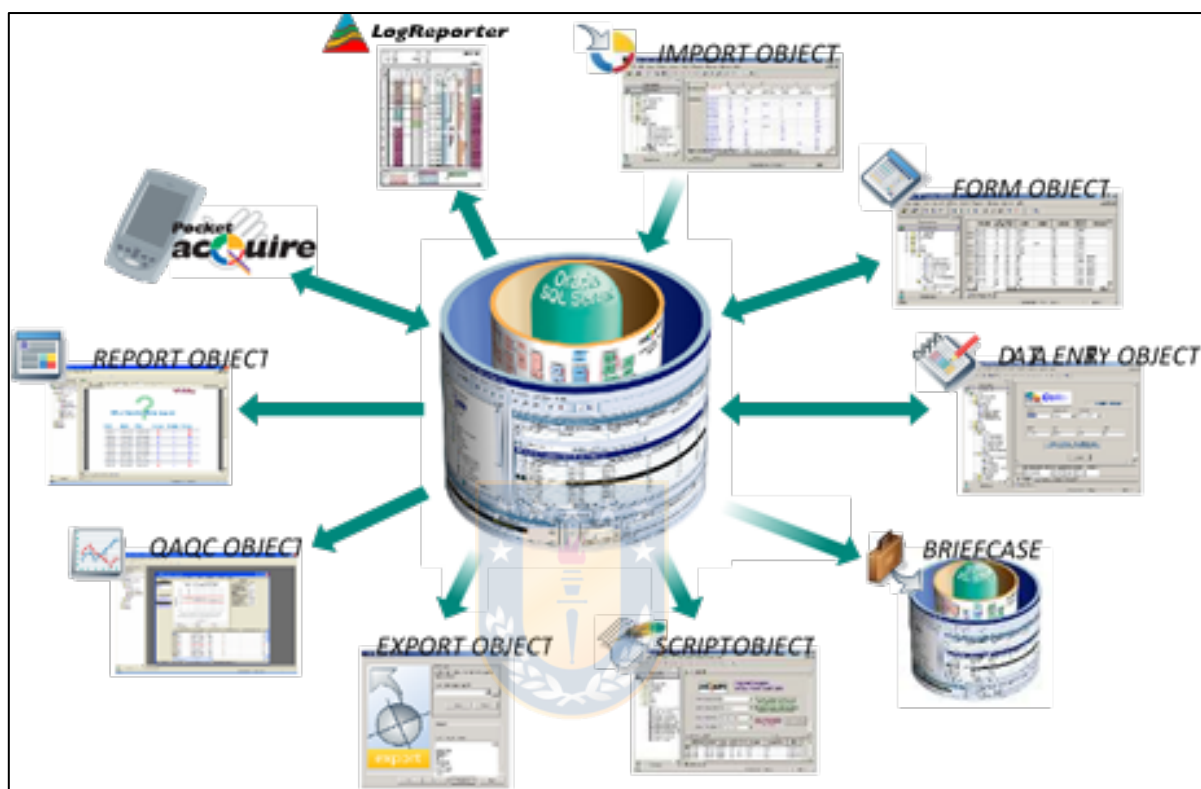


Figura 3.22. Entorno tecnológico de *AcQuire*. Objetos de trabajo en *software*.

Las licencias son flotantes (capturadas por un periodo de tiempo por los usuarios) o conmutadas (capturadas sin línea de red) y existen para distintos propósitos múltiples interfaces de entrada y salida de datos para sus usuarios:

- A) Data Entry:** perfil de ingreso de datos, utilizado por laboratorio químico, muestreros, geólogos, geotécnicos y analistas (Figura 3.23.).
- B) Client:** perfil utilizado por laboratorio químico (reportabilidad), topografía (SIGA), y la dirección de geología y geotecnia para el QA/QC y cargas masivas.
- C) Manager:** Perfil utilizado por la dirección de geología y geotecnia (UGI)
- D) Log Report:** Perfil utilizado por la dirección de geología y geotecnia (UGI y Geólogos)

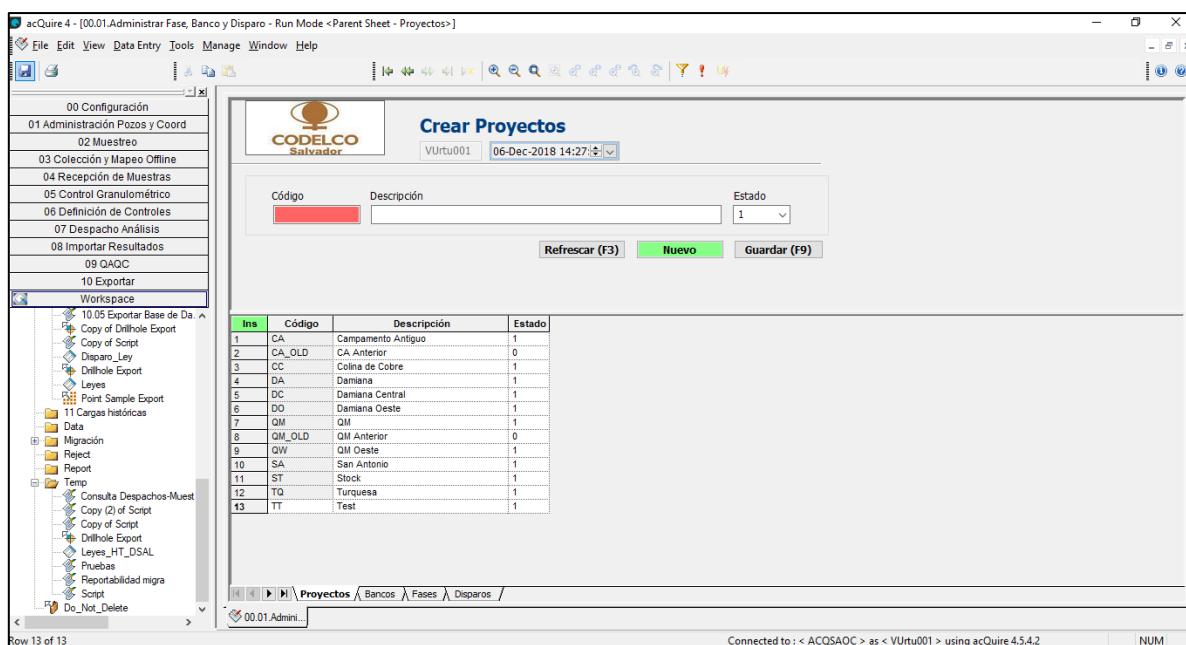


Figura 3.23. Interfase Acquire para licencia *data entry*.

Cada área se trabaja con un espacio de trabajo propio:

- Producción (información de pozos de tiro)
- Exploraciones (información de sondajes)

Para efectos de producción, se administra y almacena información de pozos de tronadura, donde se cuenta con los datos de la Tabla 3.05.

Tabla 3.05. Tabla de contenido actual (2018) de base de datos Acquire de pozos de tronadura.

Acquire (Software corporativo)	
WorkSpace Pozos de Tronadura	
-	PT Óxidos: SAO (18471) → leyes
-	PT Sulfuros: CA, QM, CC, DM
	*Administración X,Y,Z (UTM) de PT
	*Muestreo PT (Batch)
	*Leyes CuT y solubles de las muestras
	*Muestras de control calidad (duplicados)
	*Validación de leyes
	*Mapeo geológico de muestras de PT (incompleto)

También se utiliza el *software Xilab*, que es un sistema de mapeo digital o de captura de información geológica implementado a nivel corporativo de CODELCO, que usa el gestor de base

de datos *Oracle*, sin embargo, no se utiliza en la División para el almacenamiento geológico del corto plazo, sino para mapeo de sondajes (Tabla 3.06.)

Tabla 3.06. Tabla de contenido actual (2018) de base de datos *AcQuire*. Sondajes.

<i>Xilab</i> (Software corporativo)	
-	Sondajes CA (cartilla de mapeo)
-	Sondajes Rajo Inca (nuevos) (cartilla de mapeo)
-	Sondajes PEPA (cartilla de mapeo)
-	Sondajes CC (cartilla de mapeo)
-	Sondajes QM (cartilla de mapeo)
-	Mallas de PT (CA, QM, CC, DM)

Existe un intercambio de información o integración entre los sistemas *Xilab* y *AcQuire* implementadas en distintas divisiones de CODELCO Chile. La interconexión entre ambos sistemas considera la mutua actualización de información relevante para cada sistema (Figura 3.24.) Este enlace ayuda traspasar los datos de sondajes mapeado en *Xilab* de forma automática al *AcQuire*.

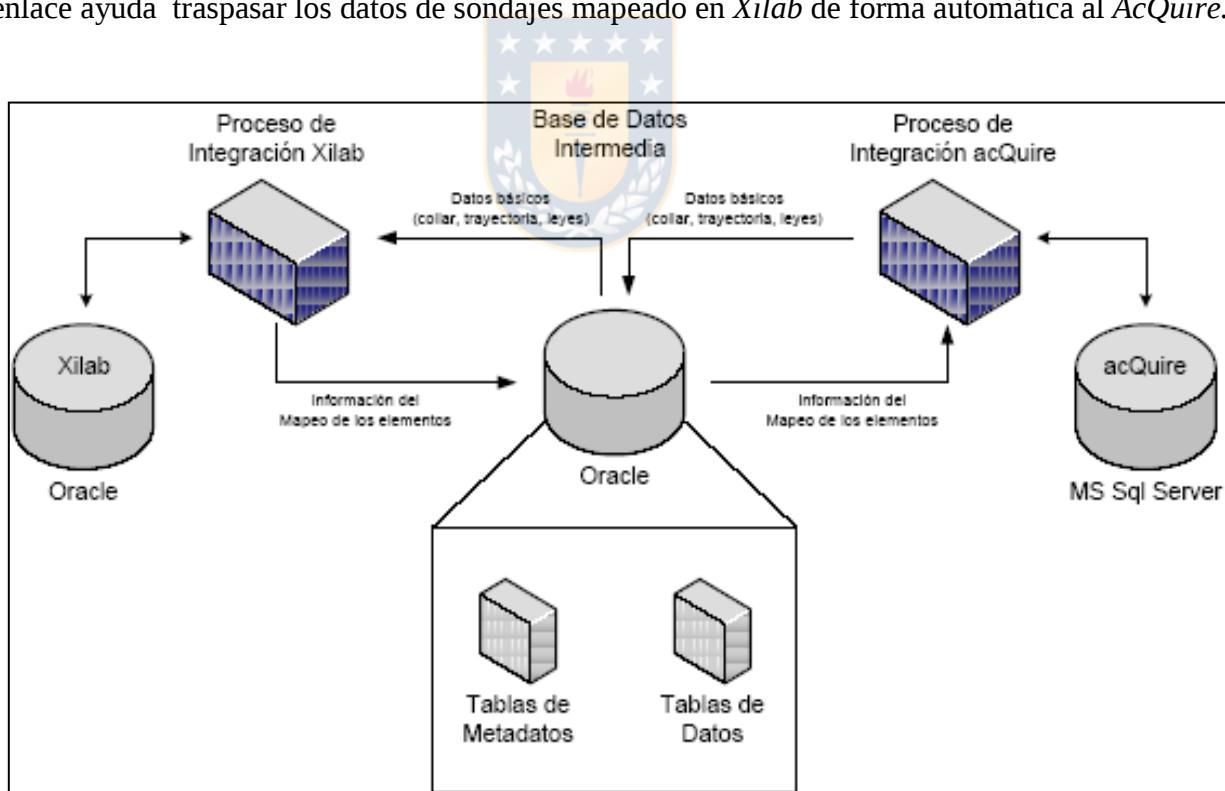


Figura 3.24. Arquitectura de integración de *Xilab-AcQuire*.

3.2.3. Procesamiento de datos en *software*

Una vez realizada la toma de datos geológicos, junto a los resultados de leyes de cada pozo de tronadura, se importa a la base de datos de *AcQuire*, para poder procesarlos en el *software* correspondiente y destinar una información más sólida al modelamiento y separación de recursos diarios.

3.2.3.1. Separación de diagrama de disparo

Actividad de separación o clasificación y posterior cubicación de materiales a partir de las leyes de cobre que presenta cada pozo de tronadura en un disparo, registradas en la base de datos corporativa. Con esta información se actualiza el modelo de bloques de corto plazo, que actúa como base para el control diario de reservas y producción efectiva de la Mina. El geólogo de producción es el responsable de la realización de la separación de materiales en el diagrama de disparo de forma diaria y recuperar el mayor tonelaje posible de las zonas de alta ley para que sean transportadas y alimentadas al buzón primario de la planta de lixiviación, y así cumplir las planificaciones semanales, mensuales y anuales.

La confección de secciones o polígonos que caractericen volúmenes de alta, o baja ley a partir de la ley de corte, en primera instancia, comienza con exportar los datos de pozos de tronadura de un disparo definido (leyes, coordenadas, profundidad, topografía, geología, etc) desde la base de datos *AcQuire*. Para trasladar la información a una malla (archivo de formato *.DXF*), a partir de una planilla *Excel* (Tabla 3.07.) se procede a generar un archivo *Macro*, registrando el disparo con las coordenadas de cada pozo (X, Y, Z), en las columnas 1, 2 y 3, respectivamente. En la columna 4 debe ir el código identificador de cada pozo (número). En la columna 5 debe ir el valor de CuT (cuando el valor es inferior a 0.15% el laboratorio no calcula leyes de solubilidad). En la columna 6 se ubica el CuSFri (Tabla 8.) Las celdas vacías que estén en las leyes de solubilidad (columnas 5 y 6) se deben seleccionar y suprimir (por error de la *Macro*). La columna 7 se compone de una fórmula que considera un intervalo de colores por leyes de corte de cobre total.

Se debe considerar no borrar e insertar columnas o final en archivo *Macro*, para evitar desconfiguración de la programación.

Tabla 3.07. Planilla de base de datos exportada de sistema *Acquire*. En color azul está la columna 1 2 y 3 de la *Macro*, con las coordenadas geográficas. En color rojo está la columna 4, con el número de identificación de pozo. En color verde y celeste está la columna 5 y 6 respectivamente, presentando el % de CuT y CuSFri.

BD PT														
		4	1	2	3								5	6
BHID	DISPARO	POZO	X	Y	Z	SAMPFROM	SAMPTO	AO	BO	LENGTH	LARGO	CUT	CUS	
3405001SA-001	3405001SA	1	458016.21	7069493.5	3414.636	0	9.64	0	-90	9.64	9.64	0.666	0.536	
3405001SA-002	3405001SA	2	458016.05	7069491	3414.605	0	9.61	0	-90	9.61	9.61			
3405001SA-003	3405001SA	3	458015.82	7069488.5	3414.653	0	9.65	0	-90	9.65	9.65			
3405001SA-004	3405001SA	4	458015.56	7069486.2	3414.685	0	9.68	0	-90	9.68	9.68	0.806	0.699	
3405001SA-005	3405001SA	5	458015.39	7069483.6	3414.682	0	9.68	0	-90	9.68	9.68			
3405001SA-006	3405001SA	6	458015.15	7069481.1	3414.7	0	9.7	0	-90	9.7	9.7			
3405001SA-007	3405001SA	7	458014.91	7069478.7	3414.756	0	9.76	0	-90	9.76	9.76	0.978	0.825	
3405001SA-008	3405001SA	8	458014.7	7069476.2	3414.808	0	9.81	0	-90	9.81	9.81			
3405001SA-009	3405001SA	9	458014.43	7069473.8	3414.773	0	9.77	0	-90	9.77	9.77			
3405001SA-010	3405001SA	10	458014.19	7069471.1	3414.769	0	9.77	0	-90	9.77	9.77	1.27	0.889	
3405001SA-011	3405001SA	11	458013.99	7069468.7	3414.794	0	9.79	0	-90	9.79	9.79			
3405001SA-012	3405001SA	12	458013.71	7069466.3	3414.732	0	9.79	0	-90	9.79	9.79			
3405001SA-013	3405001SA	13	458013.43	7069463.7	3414.803	0	9.8	0	-90	9.8	9.8	0.35	0.26	
3405001SA-014	3405001SA	14	458013.21	7069461.2	3414.841	0	9.84	0	-90	9.84	9.84			
3405001SA-015	3405001SA	15	458013.05	7069459	3414.768	0	9.77	0	-90	9.77	9.77			
3405001SA-016	3405001SA	16	458012.72	7069456.1	3414.869	0	9.87	0	-90	9.87	9.87	0.5	0.45	
3405001SA-017	3405001SA	17	458012.59	7069453.9	3414.877	0	9.88	0	-90	9.88	9.88			
3405001SA-018	3405001SA	18	458012.48	7069451.2	3414.87	0	9.87	0	-90	9.87	9.87			
3405001SA-019	3405001SA	19	458012.38	7069448.7	3414.924	0	9.92	0	-90	9.92	9.92	0.454	0.341	
3405001SA-020	3405001SA	20	458012.54	7069446.2	3414.917	0	9.92	0	-90	9.92	9.92			
3405001SA-021	3405001SA	21	458012.59	7069443.8	3414.94	0	9.94	0	-90	9.94	9.94			
3405001SA-022	3405001SA	22	458012.79	7069441.2	3414.927	0	9.93	0	-90	9.93	9.93	0.166	0.128	

Con todos estos datos en el Excel, se selecciona la vista *Macro* y se ejecuta, colocando el nombre del disparo, como opción pinta leyes, que genera finalmente un archivo *.DXF* en la carpeta “topo_Geo” almacenada en disco local del ordenador (Disco(X:)).

Con el diagrama de disparos en formato *.DXF* coloreado en función de las leyes, la información de cada pozo diferencia los de muy alta ley, marginal, baja ley y estéril con un rango definido por personal de planificación según el análisis económico de leyes de corte (Tabla 3.08.).

Tabla 3.08. Categorías de leyes y sus respectivos colores utilizadas para el diagrama de disparo. Muy Alta ley, Marginal (media alta-media baja-menos alta), baja ley y estéril.

Categoría	Color
Muy alta ley	
Media alta	
Media baja	
Menos alta	
Baja ley	
Estéril	

Luego de generar este archivo, con la herramienta polilínea, en *AutoCAD* se procede a separar las secciones sobre la ley de corte (color azul), las de baja ley (color verde) y las estériles (color marrón) de forma numerada, con una geometría de acuerdo a un criterio operativo para los movimientos y maniobras de los equipos de extracción.

Finalmente se crea una columna titulada “separación” en el archivo *Excel* generado anteriormente con la información de los pozos, así colocar uno por uno el número de la sección correspondiente a cada pozo de tiro, y luego se calcula la ley de CuT y CuSFri promedio, además de la altura de pozo promedio de cada sección (con la herramienta filtro se pueden separar las secciones y realizar los cálculos más fácilmente). Luego se cubica multiplicando área del polígono, largo promedio de pozos y densidad media. Esta última es entregada por el geólogo de producción a partir de un análisis de datos entregados por el modelo de largo plazo (PSAI2016), con un valor $2,32 \text{ m}^3/\text{t}$ para material *in situ* y $2,1 \text{ m}^3/\text{t}$ para material quebrado. Toda esta información debe ir en tablas dentro del archivo *.DXF*, junto a la litología y zona mineral definida por el geólogo (Figura 3.25.).

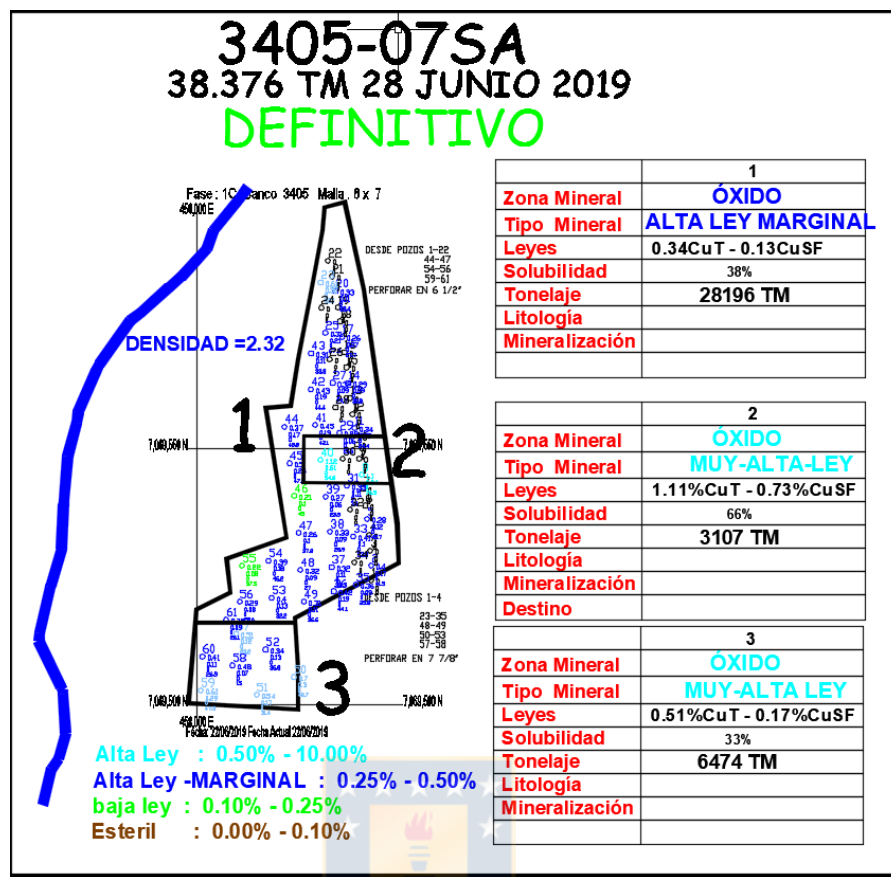


Figura 3.25. Separación de materiales en producción en diagrama a partir del cobre total. Mina SAO 2019. Realizado por geólogo de producción 2019.

Al terminar el procedimiento se guarda como archivo *PDF* en disco correspondiente al yacimiento (disco X: contiene la información de SAO), y se envía a una lista de distribución diariamente.

3.2.3.2. Confección y actualización de un modelo geológico

Los modelos geológicos son primordiales para mantener controlada la información geológica de la Mina, de tal forma de estar alerta ante cualquier cambio de rumbo en la mineralización, o aparición de nuevos ensambles mineralógicos que puedan repercutir en el tratamiento geometalúrgico. También influye en la correcta caracterización de la litología presente, según su competencia y resistencia para términos de planta y geotecnia.

En Mina SAO, no se realiza modelo geológico de corto plazo, por lo que solo se tiene información de largo plazo (sondajes). La metodología el modelo geológico general en la División, se realiza

en base a plantas geológicas, caracterizadas geológicamente a través de una actualización de mapeo de pozos de tiro mensual en lo que respecta Campamento Antiguo en la actualidad del 2018, donde se generan polígonos de litología y alteración en *software AutoCAD*. En el momento en que se realiza la actualización del modelo de estimación en *Datamine*, se integran las plantas geológicas en formato *CAD* y se adhiere a los bloques para darle continuidad a las unidades de estimación. Esta actividad se realiza para la Mina Campamento Antiguo (Figura 3.26.).

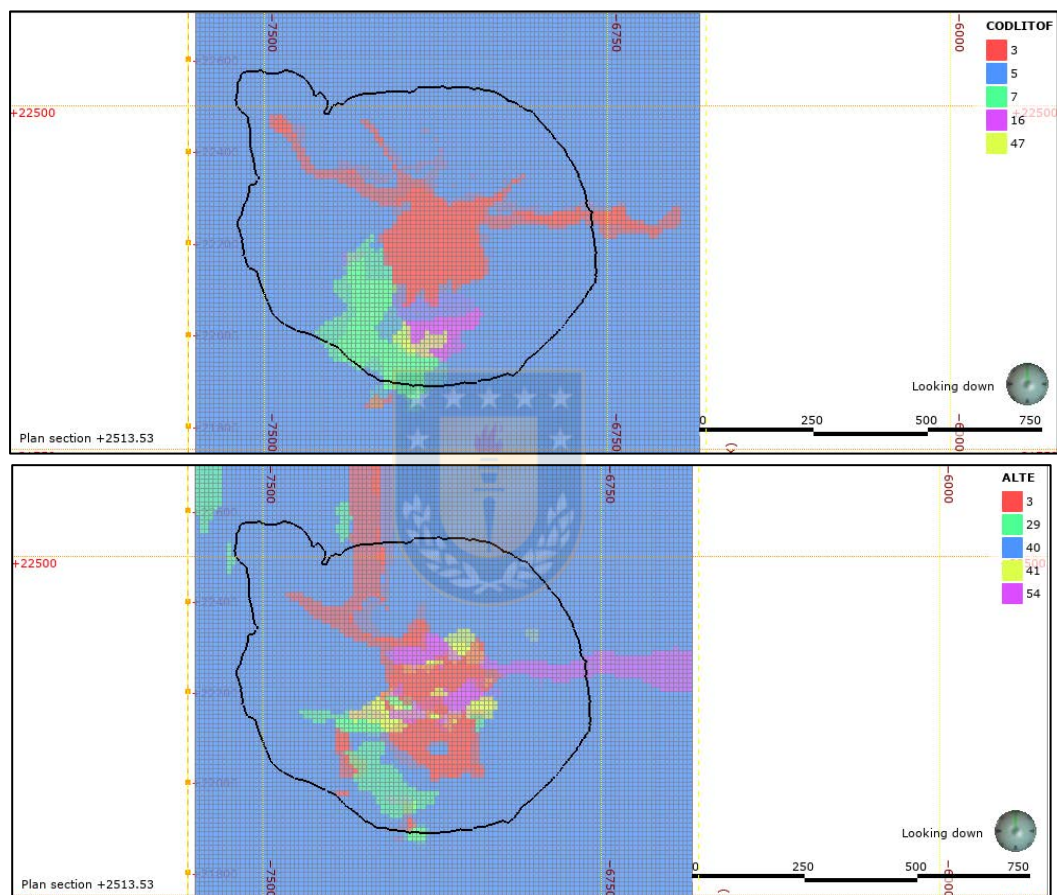


Figura 3.26. Modelo geológico de Campamento Antiguo, 2018. *Slide* en cota Z= 2513.53. En Negro la topografía de la Mina. Tamaño de bloques: XINC(N):10; YINC(N):10; ZINC(N):10. Número total de bloques: NX(N): 110; NY(N):115; NZ(N):61. Coordenadas bloque vértice inferior izquierdo: XMORIG(N):-7650; YMORIG(N):21650; ZMORIG(N):2200. a) Leyenda de litología, 3: pórfido; 5: Andesita; 7: Brechas; 16: Brecha *vuggy*; 47: Brecha turmalina. b) Lleyenda de alteración, 3: Silíceo-qz sericita; 29: Argílica; 40: Biotita-clorita; 41: Biotita-clorita-qz; 54: Potásica.

El 2015-2016 se obtiene la última actualización del modelo geológico de largo plazo SAO, realizado por empresa contratista Geoestima, con la creación de un modelo 3D en *software Leapfrog*, el que se utiliza actualmente.

En los reportes mensuales se encuentra la emisión de sólidos litológicos y de alteración en formato *.DXF* por parte de personal de geología, pero no se obtiene la base de datos original.

3.2.3.3. Confección de modelo de bloques de corto plazo

El modelo de bloques de corto plazo, para su realización, requiere de la siguiente información:

- A) Datos históricos de sondajes, lo que sirve como base para la construcción de un modelo de recursos previo al trabajo del corto plazo.
- B) Leyes de CuT, CuSFri y CuSCit (Cobre soluble cítrico, absorción atómica del material soluble en ácido cítrico)
- C) Topografía original
- D) Densidad



Todos estos datos deben ser actualizados a la brevedad, para cumplir con la entrega del modelo mensual los días 20 de cada mes, donde el cliente directo es el personal de planificación, los que proyectan la extracción mensual de la Mina a partir de esta información.

En SAO no se cuenta con un modelo de estimación de recursos de corto plazo oficial, solo con una prueba en *software Vulcan* realizado por el geólogo de producción (Figura 3.27.) en enero del 2019, el cual no integra variables geológicas en las unidades de estimación, se realiza solo con leyes de cobre total y soluble. Esto genera una incertidumbre en el momento de conciliar el modelo y considerarlo en la extracción mensual.

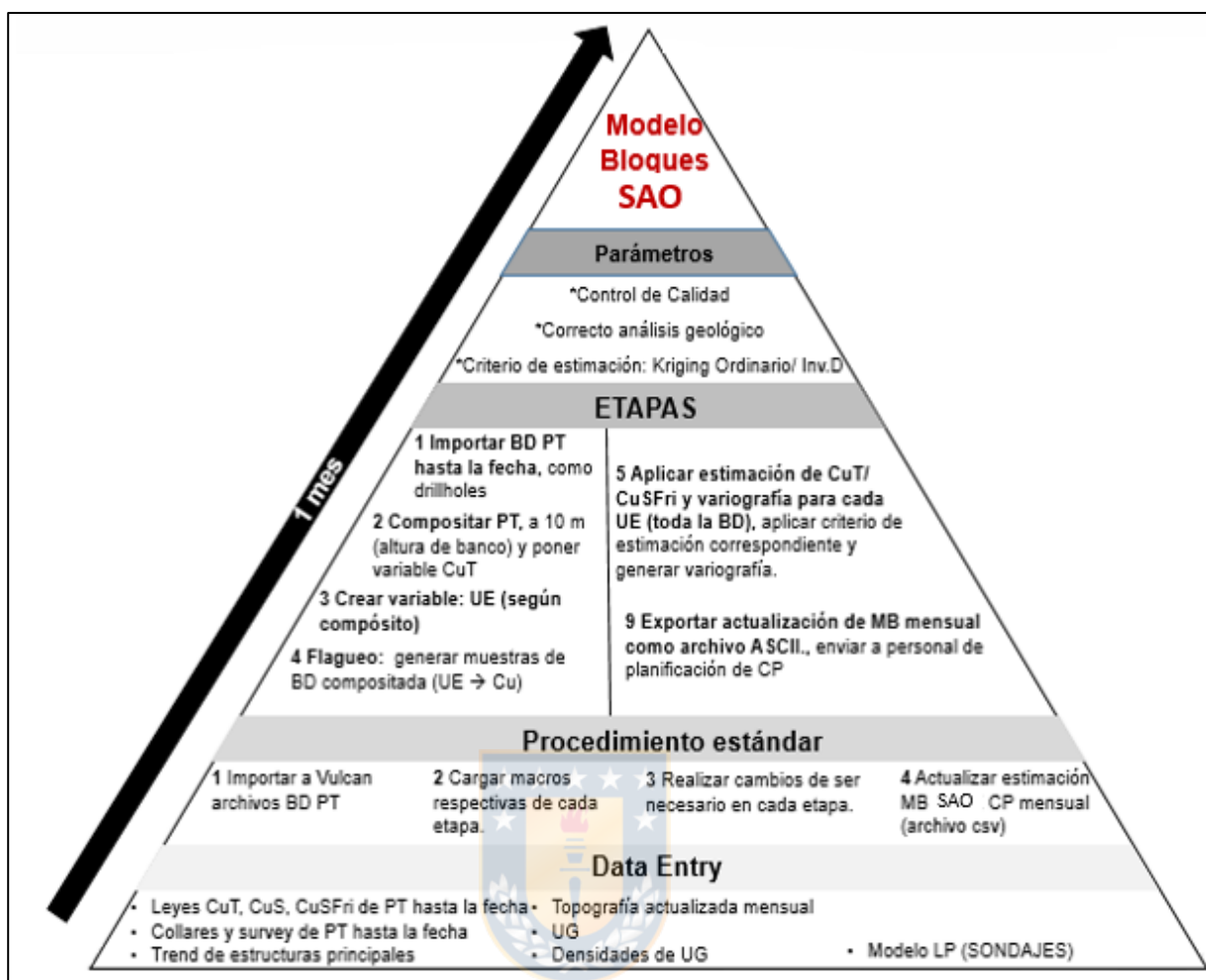


Figura 3.27. Proceso de confección de modelo de bloques Mina SAO 2018.

3.2.4. Análisis de resultados

El análisis es importante como la actividad que engloba todo el trabajo previo de recolección de datos y procesamiento en *software*, en paralelo con el QA/QC que influye en la calidad y validación de la base de datos, y la supervisión continua del Minado. En éste punto, la interpretación del geólogo a cargo es de gran valor, ya que utiliza los datos para recrear el escenario con criterio geológicos y genera un análisis mensual del modelo de bloques, que sea coherente y con el mayor grado de precisión posible, el cual compara con el de largo plazo, para evaluar su conciliación mes a mes.

3.2.4.1. Conciliación modelo de bloques corto plazo y largo plazo

La conciliación del modelo de bloques de corto plazo y de largo plazo expresa la gestión del área de trabajo al aporte económico que se le puede generar a la empresa, a partir del control y evaluación de la estimación de recursos mineros, calculando una adherencia de éstos con respecto a un modelo real que posea parámetros estadísticos efectivos.

Esta estructura de análisis conduce a que muchas minas sean diseñadas para ser explotadas de manera masiva, con grandes equipos y altos ritmos de producción debido al nivel de agregación del modelo de recursos con el cual se calcula el plan de largo plazo, sin considerar la variabilidad mineralógica del material, que al ser explotado puede requerir una mayor selectividad en la etapa extractiva, lo que genera discrepancias entre la planificación de largo y corto plazo, donde se presenta la variabilidad mineral real, generando brechas considerables en la producción de cobre fino. La consecuencia de las desviaciones entre el diseño considerado en el plan de largo plazo, el plan de producción y el rendimiento operativo en el corto plazo, se traducen en incrementos de costos tanto de explotación como de procesamiento de minerales debido a los intentos de cumplir con las metas de cobre fino.

La conciliación realizada mensualmente en la División no posee un protocolo y/o instructivo oficial. Sin embargo, existen presentaciones como guía técnica del paso a paso de la conciliación de los modelos y se enfoca solo en el modelo de largo plazo, ya que no existe uno de corto plazo en Mina SAO.

Se generan planillas de datos reales con el tonelaje y leyes por disparo tronado en el mes con la información real. Esta información se extrae de los diagramas de disparo, con tonelajes calculados a partir de una densidad media por litología a partir de los datos del largo plazo; y las leyes que se utilizan son el promedio de los muestreos de pozos de tronadura por polígono.

Se incluye la información de la cubicación de tonelaje y ley del modelo de largo plazo. La densidad es asignada por bloque al igual que las leyes, a partir de la información de sondajes.

Con esto se realiza una columna de diferencia de tonelajes como dato de conciliación o adherencia del modelamiento, la que tiene un rango de error permisible de $\pm 10\%$, ya sea sobrestimado o subestimado. No se tiene registro de entregables de conciliación porcentual.

Esta metodología compara un tonelaje real de disparo solo de materiales sobre la ley de corte ($>0,5\%$ CuT) considerados como minerales oxidados de alta ley (OAL), en el cual un pozo representa cerca de 700 t en una malla 6x7 (metros), con un tonelaje estimado de un modelo de largo plazo donde cada bloque representa 1.000 t (dimensiones de bloque: 10x10x10) (Figura 3.28.)

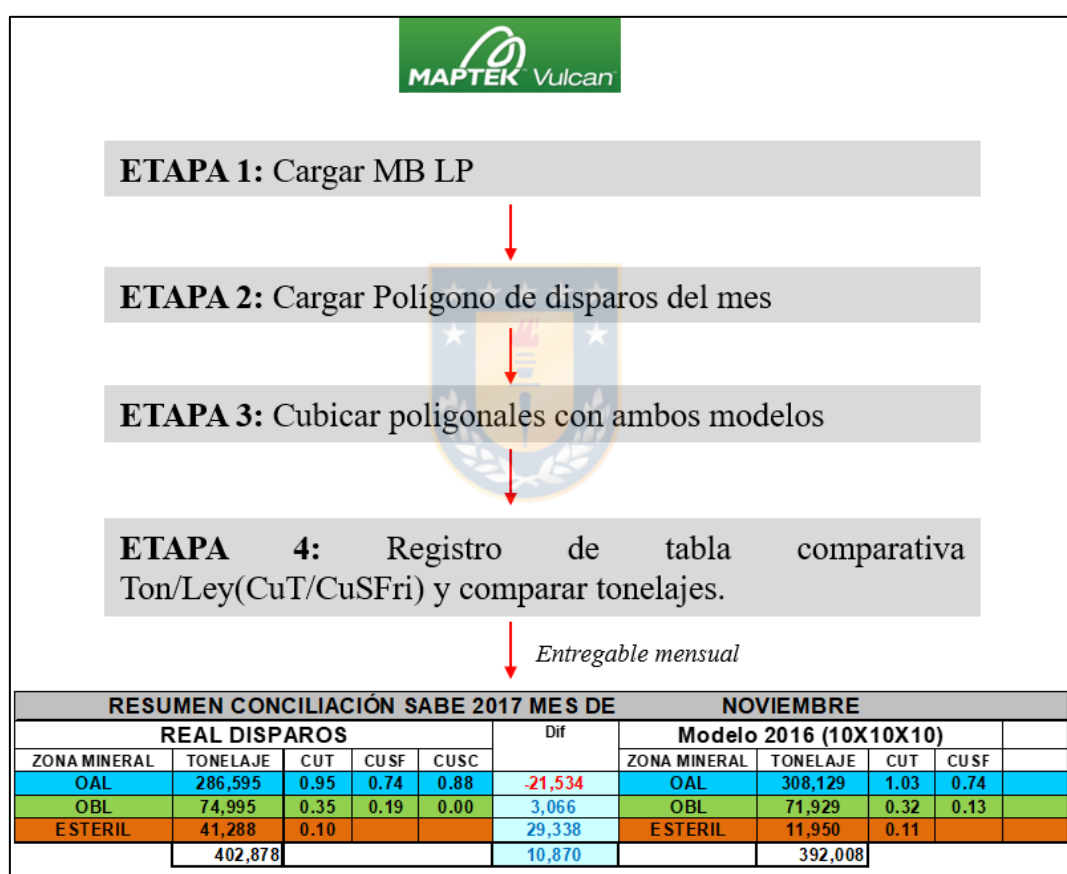


Figura 3.28. Flujograma del proceso de conciliación, considerando planilla del año 2017.

Al analizar las conciliaciones del 2018, se observa un cambio de metodología al reportar los datos conciliados, donde se calcula el cobre fino (multiplicación tonelaje-ley, dividido en 100) mensual, y se obtiene un valor de adherencia final porcentual.

Los datos se expresan dentro de la permisibilidad, mostrando un 104% (obteniendo 4% más de cobre fino como valor real) (Tabla 3.09.) aunque no es lo que se observa en terreno y en el tonelaje mineral extraído (Tabla 3.10.) considerado para la alimentación, donde se aprecia menor tonelaje extraído y cobre fino.

Tabla 3.09. Conciliaciones 2018 Mina SAO. Ley de corte 0,50% CuT. MBSABENOV2017: Modelo de bloques de largo plazo SAO a la fecha

OAL	Real (Disparos)				Modelo Bloque MBSABENOV2017			
Mes	ton	%CuT	%CuSfrio	Cu Fino (tmf)	ton	%CuT	%CuScal	Cu Fino (tmf)
Enero	142,624	1.23	0.93	1,755	228,126	0.97	0.46	2,216
Febrero	294,959	0.99	0.83	2,916	351,653	0.87	0.65	3,056
Marzo	147,674	1.14	0.91	1,690	103,809	1.04	0.75	1,084
Abril								
Mayo								
Junio								
Julio								
Agosto								
Septiembre	269,414	1.24	0.94	3,346	313,158	0.85	0.63	2,651
Octubre	218,989	1.07	0.92	2,353	280,378	0.82	0.53	2,308
Noviembre	237,155	1.07	0.57	2,540	260,415	0.82	0.46	2,129
Diciembre	215,378	0.97	0.89	2,098	306,568	0.83	0.57	2,547
Total	1,526,193	1.09	0.85	16,698	1,844,107	0.87	0.57	15,991

Mineral	Real	MBSABENOV2017
OAL (tmf)	16,698	15,991
Total	16,698	15,991
Cumplimiento (tmf)		708
Cumplimiento (%)		104

Tabla 3.10. Extracción 2018 Mina SAO. Ley de corte 0,50% CuT.

OAL	Extracción Real (Disparos)			
Mes	ton	%CuT	%CuSfrio	Cu Fino (tmf)
Enero	200,640	1.23	0.93	2,469
Febrero	210,312	0.99	0.83	2,079
Marzo	165,213	1.14	0.91	1,891
Abril				
Mayo				
Junio				
Julio				
Agosto				
Septiembre	215,678	1.24	0.94	2,678
Octubre	218,989	1.07	0.92	2,353
Noviembre	230,155	1.07	0.57	2,465
Diciembre	195,260	0.97	0.89	1,902
Total	1,436,247	1.10	0.85	15,838

Esto ocurre por dos razones:

- cuando las separaciones de disparo no son operativas (Figura 3.29.), se separan minerales OAL imposibles de recuperar considerando el ancho de la frente de extracción y el radio

de giro de la excavadora, por lo que la separación de disparo pierde su objetivo principal al ser utilizado para las conciliaciones.

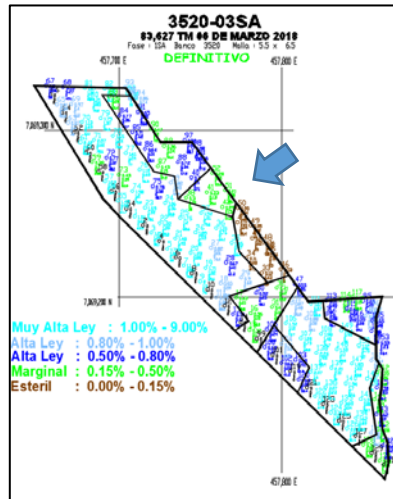


Figura 3.29. Separación de disparo SAO banco 3520, año 2018. Flecha marca cara libre.

- Se comparan muestras de configuración distinta, es decir, bloques con ley de un modelamiento de estimación total en un polígono, y tonelajes y leyes de un polígono seccionado de una separación de disparo que incluye pozos tanto de OAL como de lastre.

3.2.5. Control de stock

En la División, el geólogo de turno solicita extraer muestras de *stock*, con el fin de mantener un control de la ley mineral, recolectando un total de 10 kg de roca por bolsa destinada al laboratorio químico para el análisis de leyes, con la mayor cantidad de muestras extraídas. Se debe procurar rodear todo el *stock*, en lo posible solicitar a personal de operaciones dejarlo con forma de cono, sino de preferencia se debe muestrear la frente de carguío e ir monitoreando cada 1.500 t aprox.

Primordialmente se realiza para casos puntuales de cumplimiento de ley. En la actualidad no existen cubicaciones y leyes de stock marginales que sean tangibles para tener un inventario de minerales.

El procedimiento de muestreo indica una escasa descripción de tarea (Figura 3.30.), por el contrario, detalla eficientemente la matriz de riesgos.

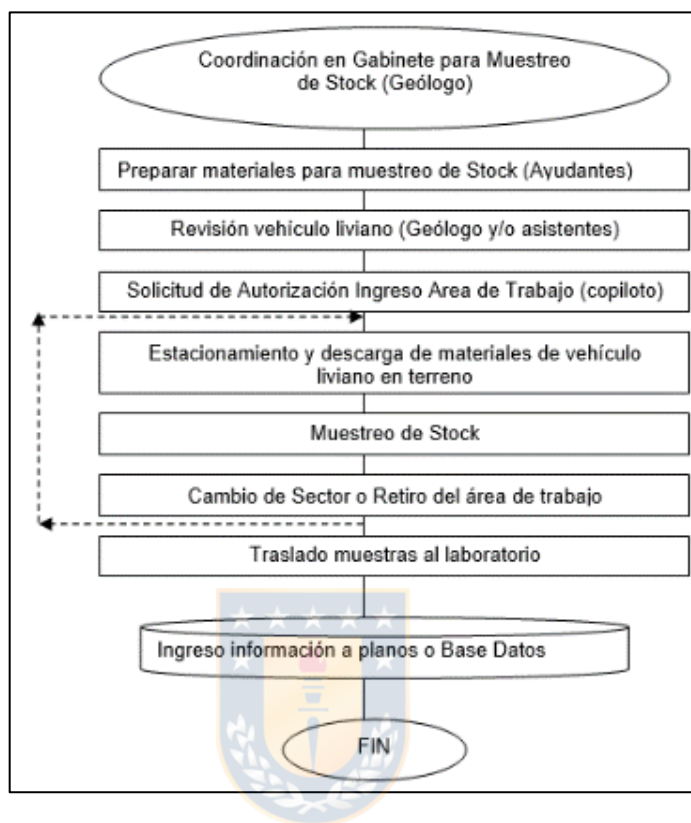


Figura 3.30. Diagrama de flujo actividad de muestreo de *stock*.

Existen 2 sectores de stock para el negocio de minerales oxidados de cobre:

1) Stock Mina SAO (Interior Mina rajo, stock de materiales OAL y Marginales no reconocidos)

- Minero
- Torres Gemelas
- Mirador Intermedio
- Los Robles
- Polvorín Superior
- Polvorín Inferior
- Histórico

- Mirador 1C
- Esponja
- Las Vegas 1
- Las Vegas 2
- Las Vegas 3

2) Stock Pisqueros (Salvador, stock de tránsito de OAL para su posterior alimentación a buzón)
(Figura 3.31.)

- Intermedio 1
- Intermedio 2
- Intermedio 3
- Intermedio 4

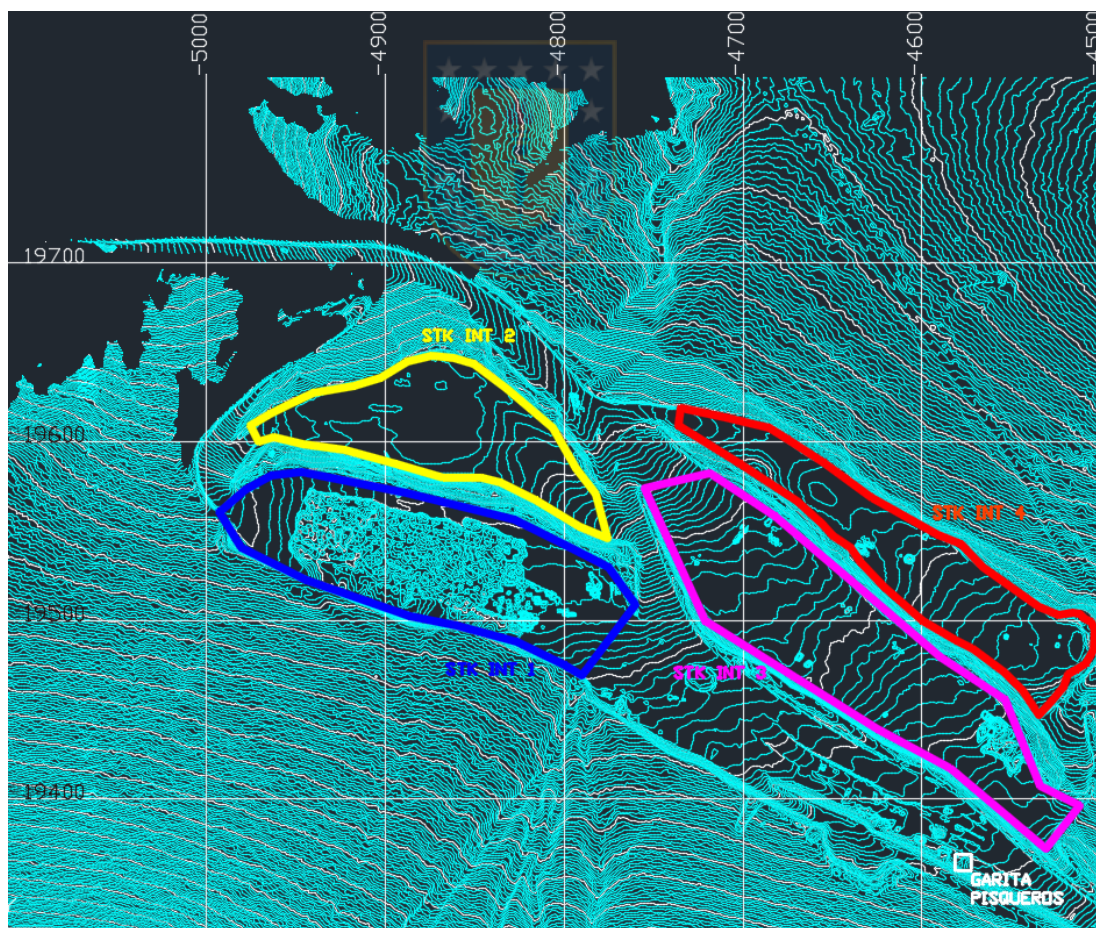


Figura 3.31. Plano de ubicación de stock de línea óxidos sector Pisqueros, Intermedio 1 (azul), Intermedio 2 (amarillo), Intermedio 3 (rosado), Intermedio 4 (rojo). Levantamiento 2018.

Se organiza una revisión de *stock* diaria para observar la contaminación mineralógica y/o litológica, dilución de leyes y procedencia, en caso de ser un material histórico, de otro yacimiento que presenta otro comportamiento en la planta de lixiviación.

3.2.5.3. Control de material de alimentación a planta

Es importante llevar un control del material de extracción real, para una comprensión de la distribución de ley y optimización de selectividad minera. Esta actividad implica un monitoreo y análisis continuo de datos de ley/t de los movimientos de minerales en la División. Esto permite preparar la conciliación mensual y ver cómo va evolucionando tanto diaria como semanalmente, observando desviaciones de cobre real con respecto al plan mensual, el registro de transportes por tonelaje a buzón por día, la comparación del total de tratamiento de alimentación real y la programada, además del cobre fino real v/s el del plan mensual.

Se realiza una planilla (Tabla 3.11.) que indica los datos reales, que se van cargando con 1 día de atraso, ya que considera la ponderación por turno A, B y C de un día completo, lo que está disponible al día siguiente en la mañana. No presenta un carácter predictivo ni datos geológicos integrados.

Tabla 3.11. Real alimentación Línea Óxidos Octubre, 2018. QM: Quebrada Marquiza; CC: Colina de Cobre.

Día	Transporte Rajo a Buzón					Chancado fino Hidro				Lixiviación	Cu fino real
	SAO	Damiana	QM/C C	Ton Rajo	Ley Cu Rajo					n	
						Cu Real	CuSFrio Real	Solubilidad d real	Tratamiento	PLS Real	
(ton)	(ton)	(ton)	(ton)	(%)	(%)	(%)	(tms)	(%)	(tms)		
01-10-18	1224	0	0	1224	0.00	1.36	1.16	85%	1072	6.4	0
02-10-18	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0%	0	5.9	0
03-10-18	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0%	0	5.9	0
04-10-18	812	0	0	812	1.50	0.00	0.00	0%	0	5.3	0
05-10-18	1440	0	0	1440	3.40	0.00	0.00	0%	0	5.0	97
06-10-18	0	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0%	0	0	0
07-10-18	9090	0	0	9090	3.41	1.57	1.39	89%	8627	5.5	95

08-10-18	8100	0	0	8100 3.41	2.00	1.77	89%	7893	4.3	93
----------	------	---	---	-----------	------	------	-----	------	-----	----

3.2.5.4. Pozos monitores

Dentro de esta actividad, se realizan pozos monitores de forma esporádica, así ampliar la base de datos de geología y/o geotecnia y actualizar los modelos. Esto en caso de problemas en el cumplimiento de leyes o falta de información geológica en sectores de la Mina. No existe un protocolo y/o instructivo oficial de la tarea.

Para San Antonio se realizan pozos monitores a 18 m (Perforadora DML) y a 24 m (Perforadora flexiRoc) con 2 objetivos:

- Geotecnico: Monitoreo de labores subterráneas y piques. No se tiene toda la información subterránea,
- Geológico: Monitoreo de leyes y mineralogía del sector, con el fin de robustecer el modelo de estimación y geológico mensual, aumentando la categorización (Figura 3.32.).



Figura 3.32. Realización de pozos monitores geológicos. A) Perforadora DML de pozos de producción. B) Pozo monitor a 18 m, se observa la carpeta separando el *cutting* a 9 m y 18 m para muestrear de forma más representativa según test de heterogeneidad.

4. RESULTADOS

La conciliación del modelo de bloques es una de las tareas más importantes, ya que es el producto final que mide las desviaciones de todo el trabajo que involucra la proyección de cobre fino para el mes siguiente. Las desviaciones en esta tarea generan baja confiabilidad operacional, afectando al proceso, equipo de trabajo y calidad humana. Al trazar la línea base de las actividades de geología de producción, en primer lugar se analizan las desviaciones en la conciliación del modelo de estimación, y luego de las tareas específicas importantes que involucra el proceso minero completo para evidenciar los puntos críticos y realizar la búsqueda de mejoras, y en segundo lugar se evalúan los protocolos y procedimientos según el cumplimiento que tiene para dar trazabilidad a la metodología de trabajo (Figura 4.01).



Figura 4.01. Diagrama de proceso de análisis de desviaciones

4.1. CUMPLIMIENTO DE CONCILIACIÓN DE MODELO DE ESTIMACIÓN DE RECURSOS

El documento de las conciliaciones que se logran capturar consta del año 2018. La ley de corte otorgada por personal de planificación en el año 2018 es de 0.5% CuT (Tabla 4.01.).

Tabla 4.01. Detalle mensual de conciliación 2018 enero-diciembre. Adherencia de modelo de largo plazo con real disparo.

OAL	Modelo Real (Disparos)				Modelo Bloque MBSABENOV2017				
Mes	ton	%CuT	%CuSfrio	Cu Fino (tmf)	ton	%CuT	%CuScal	Cu Fino (tmf)	ADHERENCIA %
Enero	142,624	1.23	0.93	1,755	228,126	0.97	0.46	2,216	79
Febrero	294,959	0.99	0.83	2,916	351,653	0.87	0.65	3,056	95
Marzo	147,674	1.14	0.91	1,690	103,809	1.04	0.75	1,084	156
Abril									
Mayo									
Junio									
Julio									
Agosto									
Septiembre	269,414	1.24	0.94	3,346	313,158	0.85	0.63	2,651	126
Octubre	218,989	1.07	0.92	2,353	280,378	0.82	0.53	2,308	102
Noviembre	237,155	1.07	0.57	2,540	260,415	0.82	0.46	2,129	119
Diciembre	215,378	0.97	0.89	2,098	306,568	0.83	0.57	2,547	82
Total	1,526,193	1.09	0.85	16,698	1,844,107	0.87	0.57	15,991	104

Considerando una aceptabilidad de error de un 15%, solo los meses de febrero y octubre se encuentran dentro de la adherencia permisible. Si se analiza el % mensual entonces encontramos gran incertidumbre en la proyección del contenido de cobre en el corto plazo, por esto resulta necesario un modelo de corto plazo de actualización mensual que aporte con información a nivel de banco, ya que en este entonces, solo se cuenta con un modelo de largo plazo cuya información se realiza de sondeos y no es modificable con pozos de tronadura.

La metodología de conciliación considera la comparación de dos objetos distintos, no sustentable estadísticamente en dimensiones. Este es el motivo por el cual se crea un modelo de datos reales con las mismas variables de estimación que el modelo de corto plazo que se encuentra en proceso de oficialización, de esta forma se compara bloque a bloque.

El coeficiente de correlación de CuT entre el modelo de datos reales con el de corto plazo es 0,813 mejorando bastante en comparación al CuT del modelo de largo plazo (Figura 4.02 y 4.03).

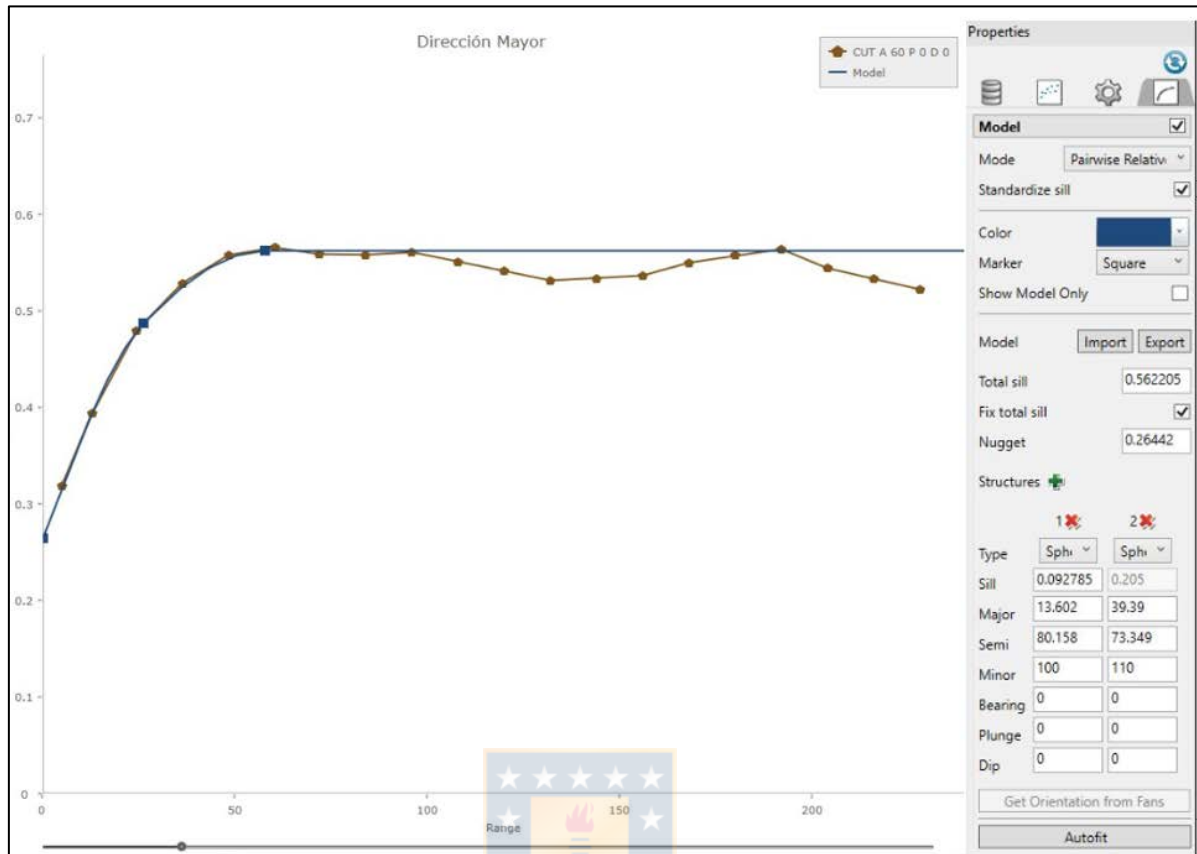


Figura 4.02. Variografía de modelo de datos reales, pozos de tronadura de corto plazo y sus parámetros.

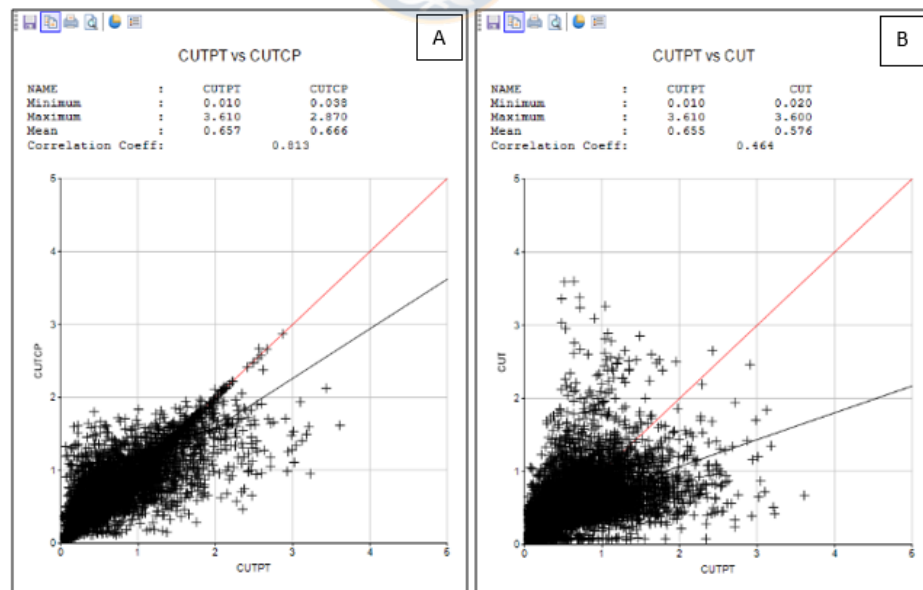


Figura 4.03. **A:** Correlación de CuT de bloques del modelo de corto plazo versus modelo de datos reales. **B:** Correlación de CuT de bloques del modelo de largo plazo versus modelo de datos reales.

El modelo de datos reales se traduce en un promedio de pozos por bloque, disminuyendo a 3 en número de muestras mínimas en la búsqueda para estimar, y la forma del radio queda cuadrada en los bloques 10x10x10.

El modelo de datos reales se actualiza con los datos de pozos de tronadura a medida que se tienen los datos de análisis químico y se evalúa con el modelo de corto plazo, que se actualiza solo 1 vez al mes ya que es de carácter predictivo (Figura 4.04.).

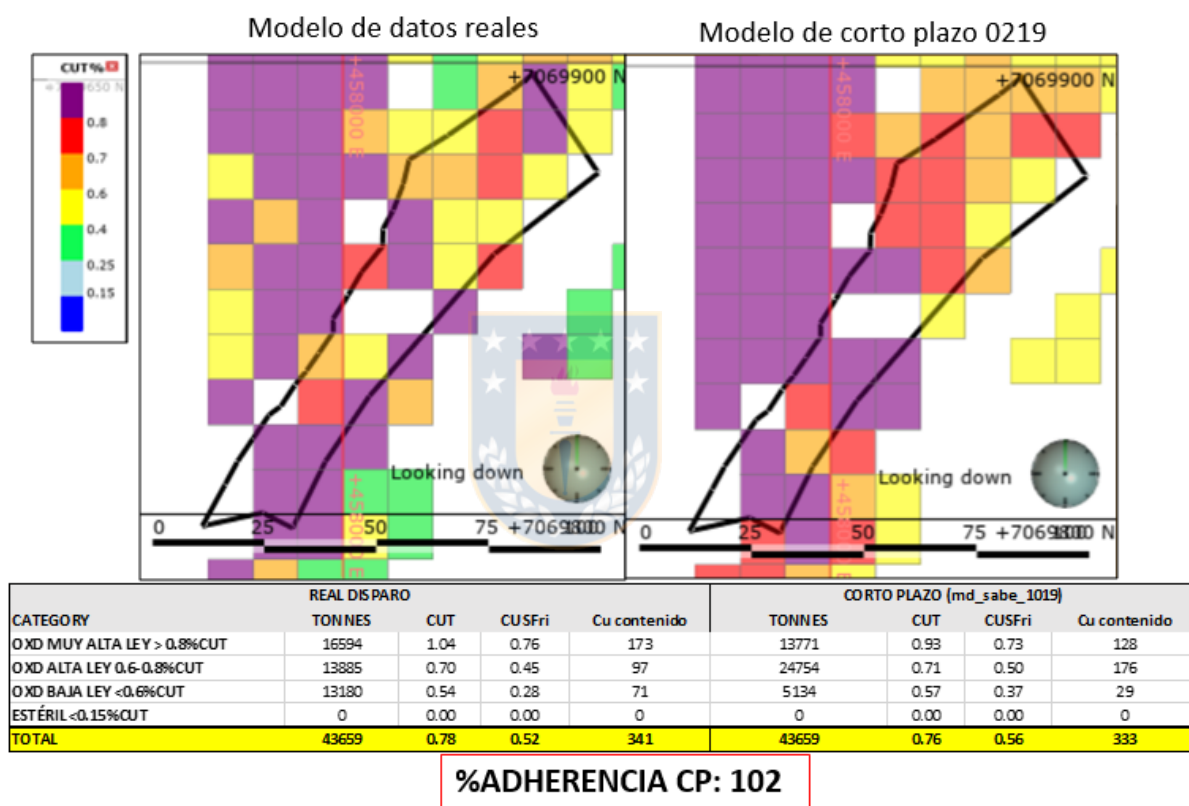


Figura 4.04. Comparación visual y cuantitativa de modelo de datos reales versus modelo de corto plazo en proceso de oficialización. *Sotware Leapfrog.*

Al realizar el análisis de adherencia, se notan mejoras en el % mensual de cada conciliación (Tabla 4.02.) (Anexo I.). Si bien se le agregaron variables geológicas mensuales al modelo de corto plazo, por lo que ha ido aumentando su % de adherencia, controlado por las leyes de cobre diarias y geología de los pozos de tronadura.

Tabla 4.02. Conciliaciones 2019 con nuevo método de promedio de pozos.

Acumulado de Concil. CuT			ene-19	feb-19	mar-19	abr-19	may-19	jun-19	jul-19	ago-19	sept-19	oct-19	nov-19	dic-19
^	0.60 % CuT	CP	102	94	103	96	94	92	97	97	99	100	102	104
		LP-SAN	67	80	82	85	82	83	79	76	76	84	87	91
^	0.20 % CuT	CP	103	98	107	101	101	103	107	107	108	108	109	110
		LP-SAN	80	88	92	95	94	98	94	92	93	95	96	98

4.2. ANÁLISIS DE PROCEDIMIENTOS Y PROTOCOLOS

Se realiza una revisión del cumplimiento de los protocolos y procedimientos oficiales más actualizados que existen (Tabla 4.03.). La mayor falencia en los documentos actuales de realización de tareas en geología de producción se observa en la captura de datos geológicos, ya sea de pozos de tronadura como de bancos.

Tabla 4.03. % de cumplimiento de procedimientos y protocolos actuales.

Procedimiento/Protocolo/Instructivo	N° Actividades	% Cumplimiento
Muestreo de PT para análisis de leyes	12	96
Muestreo de stock	8	69
Muestreo en frente de extracción mineral tronado mina rajo abierto	9	0
Mapeo geológico de PT	9	0
Ingreso y validación de datos al sistema operativo AcQuire	7	79
Instructivo de tareas de geología de producción básica para continuidad operacional	6	92
Procedimiento de control de calidad y validación de resultados PT	7	69
Tutorial de mapeo de bancos en Xilab	5	0
Mapeo geológico de frente de bancos	8	0
Muestreo de calcatas	7	100
Muestreo de canaletas en superficie	7	100

4.2.1. Muestreo de pozos de tronadura para análisis de leyes

Dentro de las 12 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- Coordinación en gabinete (creación de reporte de muestreo)
- Materiales para muestreo
- Revisión de vehículo liviano
- Solicitud de autorización ingreso al área de muestreo
- Estacionamiento de vehículo liviano e ingreso a la malla de perforación
- Planificación de muestreo en plataforma de perforación
- Identificación de PT en terreno

- **Toma de muestra**
- **Control del muestreo**
- Retiro de muestras e ingreso a sistema *AcQuire*
- Recepción de entrega de muestras en Laboratorio químico
- Toma de muestra *cutting* para geólogo/a

Según lo anterior, la actividad de toma de muestra no se cumple en su totalidad producto de la pala a utilizar para la tarea. Debe ser una pala plana para cortar el *cutting* y una pala llana para la extracción de la muestra, donde ésta última no se encuentra operativa ya que tiene problemas técnicos, por lo que está en reparación. Esto genera desviaciones en el muestreo por segregación en el error fundamental, lo cual se aprecia en los datos de diciembre del 2018 (Figura 4.05).

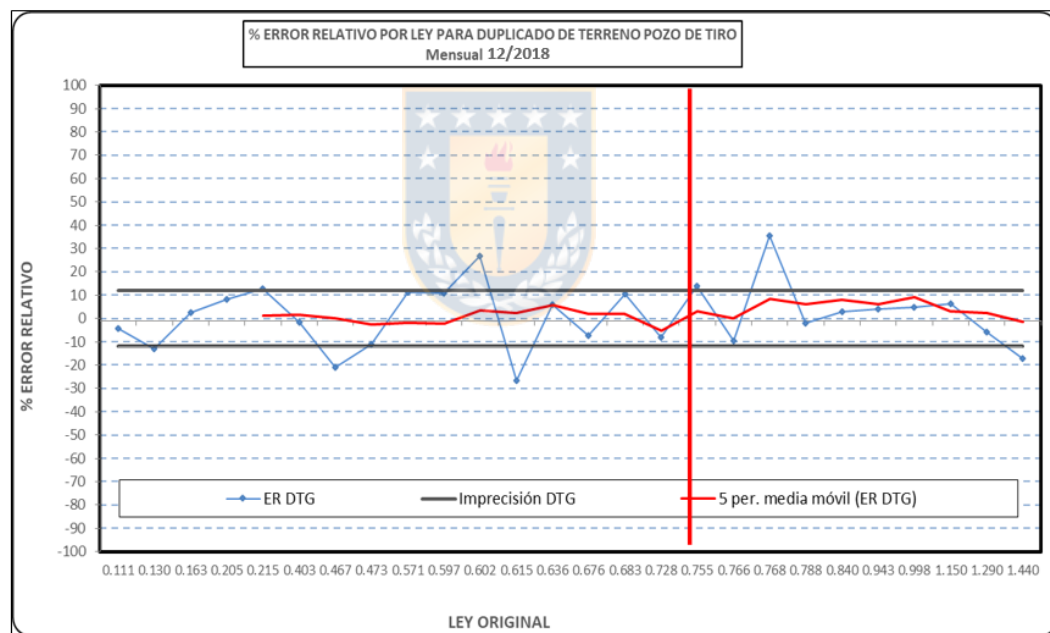


Figura 4.05. Gráfico de error relativo por ley de duplicado de terreno en pozos de tronadura en el mes de diciembre 2018. Impresión aceptable 10% (sin pala llana).

Se presenta la importancia del requerimiento al personal administrativo y se gestiona una pala llana con la certificación corporativa. Retomar la metodología en el año 2019 demuestra la relevancia de este implemento de trabajo, bajando el % de desviación (Figura 4.06.), como es la pala llana (Figura 4.07.).

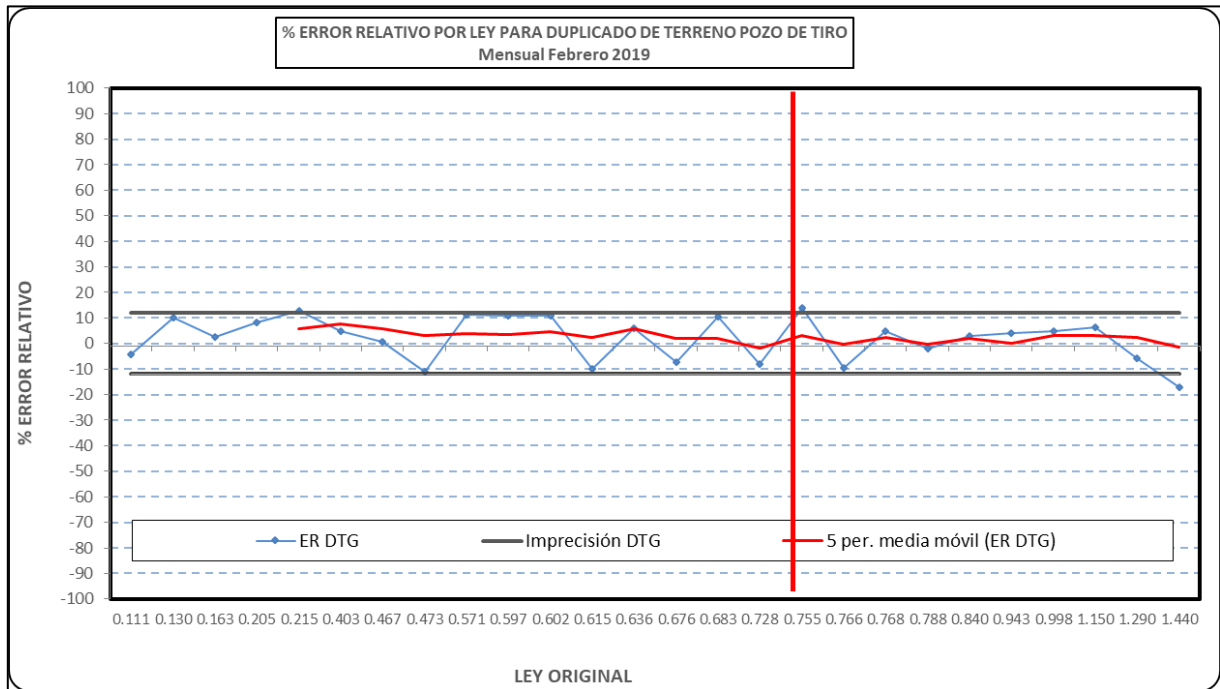


Figura 4.06. Gráfico de error relativo por ley de duplicado de terreno en pozos de tronadura en el mes de Febrero 2019. Imprecisión aceptable 10% (con pala llana).



Figura 4.07. Extracción de *cutting* con método radial y pala llana. **A:** Se realiza el corte del cono con pala plana. **B:** Se realiza la extracción de muestra con pala llana.

El control de muestreo es relevante para lograr la representatividad de las muestras y velar por el cumplimiento de la tarea. Esta actividad es realizada por el geólogo/a, la cual no se realiza periódicamente. A partir de la constante observación de la tarea se obtienen que en ocasiones:

- No se realiza el corte de la pasadura
- Se muestrean pozos inclinados
- Se muestrean conos heterogéneos

- Se dejan las bolsas puestas en el PT para muestrear al día siguiente
- Hay confusiones con el número del pozo.

Todo esto lleva al aumento de desviaciones, lo que repercute en la información que llega para la actualización del modelo de estimación de recursos. Es por ello que actualmente se realiza una supervisión diaria en el muestreo de PT.

4.2.2. Muestreo de *stock*

Dentro de las 8 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- Coordinación en gabinete
- **Materiales para muestreo y topografía**
- Verificación del terreno
- **Instalación de instrumento topográfico**
- Ubicación y anotación de puntos de muestreo
- **Recolección de muestras**
- **Anotación en tarjeta de identificación y reporte**
- Ingreso de información a planos

El muestreo de stock no considera desde el 2014 el levantamiento topográfico de los puntos de muestreo, por disponibilidad de equipos topográficos.

En cuanto a la recolección de muestras no se detalla la extracción según tipo de stock en forma o cantidad de material considerado (cono, cascada, plataforma de acopio, material a piso, etc) los que se abordan de forma particular.

El informe de heterogeneidad para materiales de SAO indica una imprecisión de un 79% en la ley de Cu y 152% en la ley de Fe considerando la extracción de una muestra de granulometría 5 pulgadas. A mayor cantidad de muestras (más kg) menor será la varianza del error fundamental (Figura 4.08.).

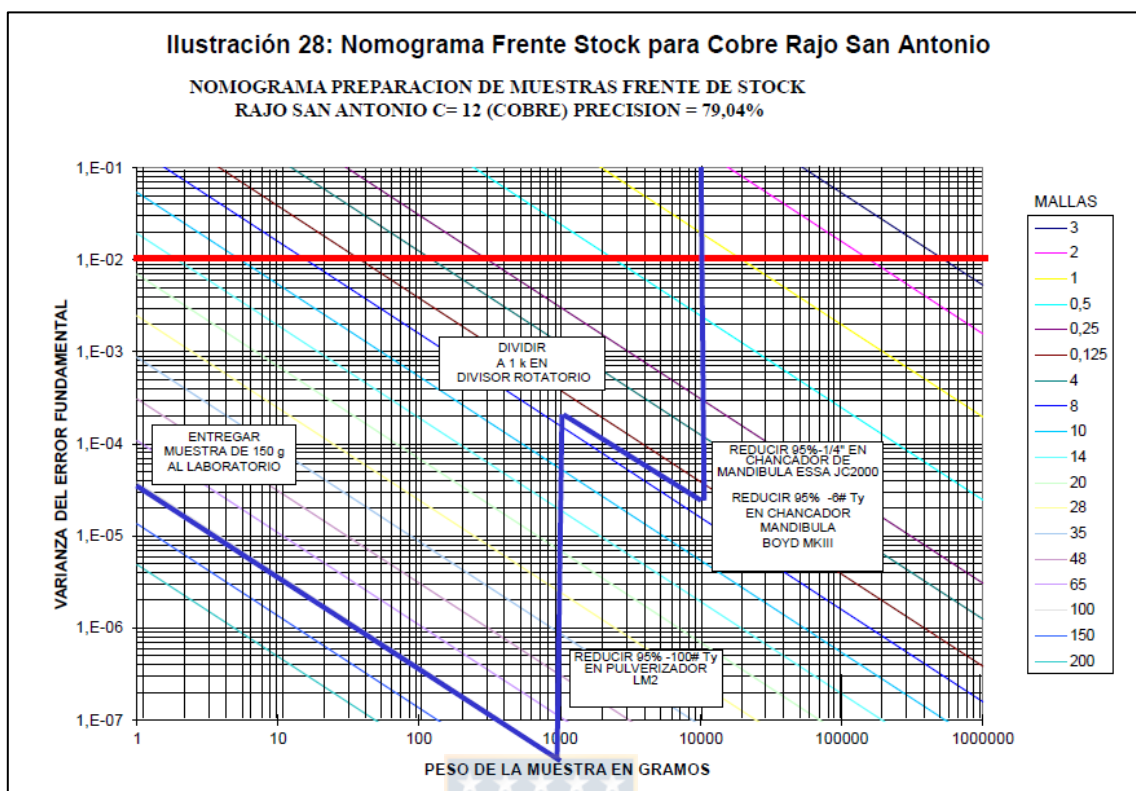


Figura 4.08. Nomograma de muestreo de frente/stock SAO.

Las observaciones de terreno indican la recolección de menos de 10 muestras de un *stock* que considera 200.000 t, por lo que se requiere de una supervisión continua de la tarea y reinducción al personal de muestreo, de lo contrario no se obtienen los resultados con la representatividad esperada.

El cambio de metodología indica una disminución de la varianza del error fundamental (muestra del 5 al 8), y con ello el % de imprecisión de la ley de cobre (Tabla 4.04.)

Tabla 4.04. Tabla comparativa de la ley de caracterización de muestreo y ley por tonelaje de correa en planta lixiviación. Cálculo de varianza (VAR).

N°	PESO kg	Ley muestreo		PESO t	Ley Hidrometalurgia		VAR
		CUT %	CUSF %		CUT %	CUSF %	
1	25	1.2	1.02	5000	0.82	0.68	0.0361
2	30	1	0.91	3000	0.79	0.61	0.0110
3	15	0.98	0.78	4000	0.7	0.55	0.0196
4	10	0.8	0.7	3500	0.52	0.4	0.0196
5	55	0.99	0.81	5000	0.95	0.79	0.0004
6	45	1.05	0.92	3000	0.98	0.89	0.0012
7	70	1.12	0.98	3400	1	0.95	0.0036
8	50	0.78	0.59	2000	0.7	0.55	0.0016

La anotación en tarjetas para el registro de las muestras ya no se utiliza, sino que se ingresa el código a la base de datos *AcQuire* a través de reporte de muestreo y se antepone la sigla STK para identificar la procedencia de stock, siguiendo los mismos pasos de registro de muestras de PT.

4.2.3. Muestreo de frente de extracción de mineral tronado en Mina rajo abierto

Este tipo de muestreo no se aplica desde el año 2017. Actualmente no se realiza, sino que se aplica el control de leyes minerales de geología en terreno, donde se revisa la tronada y se discretizan las zonas con posibles pérdidas de ley de forma *in situ*, junto a personal de operaciones, donde se observan con mayor claridad en SAO por la mineralización de minerales oxidados (Figura 4.09.). Esta actividad se realiza principalmente a partir de la pateadura de los explosivos en el momento de la tronada, desplazando las zonas identificadas en los pozos. De esta forma se modifican las separaciones en terreno, para optimizar la extracción mineral de alta ley. Esta actividad carece de protocolo oficial.

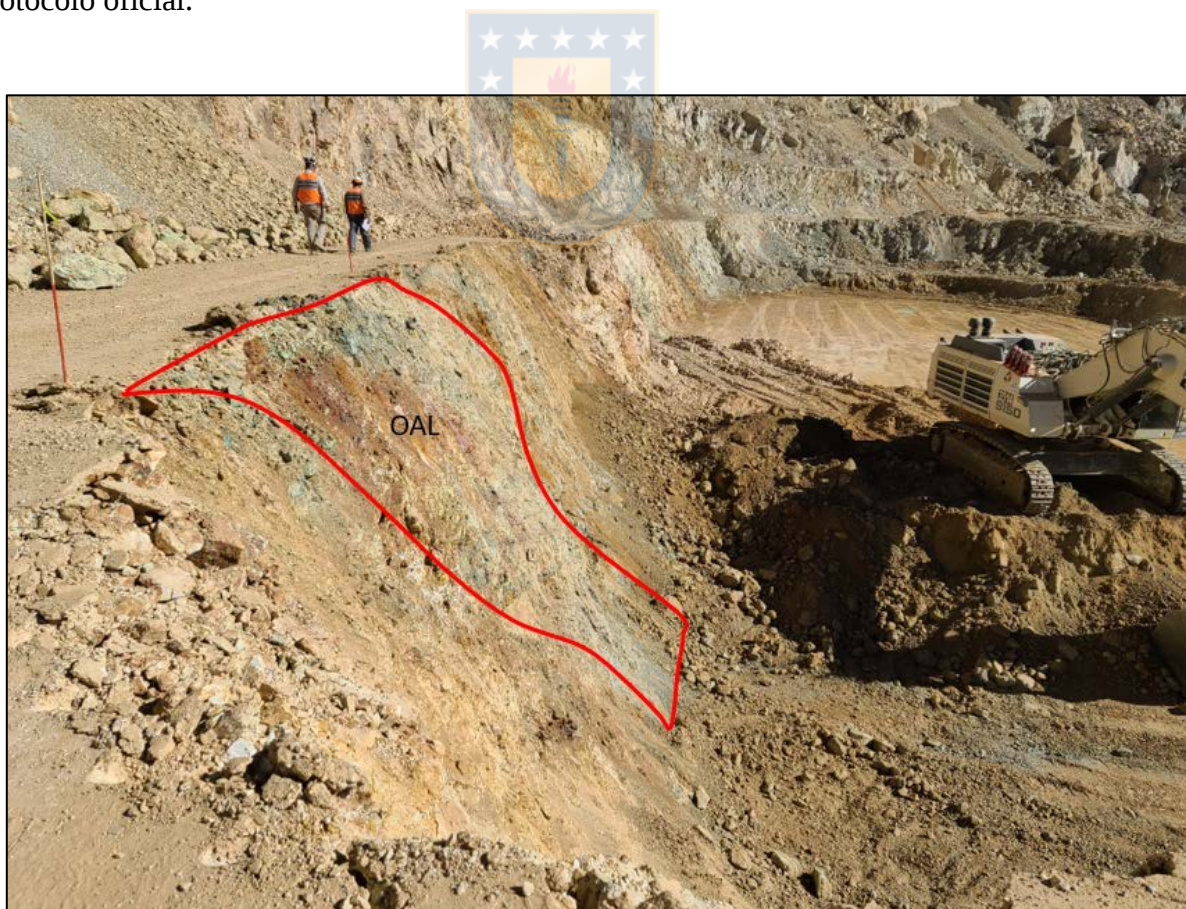


Figura 4.09. Frente de extracción disparo 3490-03SA, extracción de zona mineral de alta ley (OAL). 2019 SAO.

Otra medida del control de leyes minerales implementada, es generar un estándar de trabajo con los coligues utilizados para las distintas marcaciones en terreno, junto al personal de topografía. Esto con el fin de aumentar la asertividad en los procesos extractivos y no permitir ambigüedades en las simbologías utilizadas en los sectores tronados.

Para ello se utiliza cintas en los coligues de la siguiente manera:

- Color Amarillo → Coligues que marcan el límite del pit (diseño minero)
- Color Azul → Coligues que marcan el límite de separaciones de material de alta ley (OAL)
- Color rojo → Coligues que marcan zonas de labores subterráneas, piques o galerías.

Para las zonas de OAL se debe poner estrictamente un cartel con la escritura OAL y la ley del material, para que el operador de la excavadora lo divise cuando esté acercándose a las zonas económicas.

Se implementan coligues especiales, esto en aquellos pozos de tronadura aislados de alta ley dentro de una zona de baja ley, lo que ocurre frecuentemente en SAO, producto de la mineralización en vetas. Este coligue se marca con colores intercalados blanco y rojo junto a la cinta azul de OAL, así el operador al tener la frente a la vista se prepara para recuperar el material de la mejor forma posible. Esta actividad ha resultado bastante exitosa para el 80% de los casos, recuperando cerca de 700 t de alta ley por pozo de tronadura. El % restante no se logra recuperar por visibilidad nocturna, la cual dificulta al operador la extracción fina de materiales y/o sectores muy alterados con baja densidad donde al introducir el gavión se desmorona el material por el talud mezclándose con estéril.

Estos controles ayudan a evitar grandes diluciones de ley en todo el trayecto que realizan los materiales de alta ley hasta que llegan al buzón de la planta de lixiviación.

4.2.4. Mapeo geológico de pozos de tronadura

Dentro de las 9 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- Coordinación en gabinete
- Materiales para el mapeo
- Revisión del vehículo liviano
- Solicitud de autorización de ingreso al área de mapeo

- Estacionamiento y descarga de vehículo liviano en terreno
- Identificación de malla de disparo y pozos en terreno
- **Mapeo geológico en detrito del cono del pozo**
- Avisar retiro de área de mapeo
- **Traspaso de información a base de datos de pozos de tiro**

El mapeo geológico se realiza en gabinete actualmente, a partir de material segregado por personal de muestreo en recipientes de 10 gr aproximadamente para su caracterización. Para San Antonio no existe una base de datos agregada en sistema de almacenamiento *AcQuire*.

Con ayuda del informático de geología se genera una cartilla de mapeo de pozos de tronadura para SAO, que incluye reglas de negocio, siguiendo la codificación de litologías, alteraciones y minerales históricos registrados y sumando especies nuevas encontradas (Figura 4.10.).

The screenshot shows the 'AcQuire' software interface for mapping drill holes. The form is organized into several sections:

- Header Fields:** Proyecto (SA), Banco (2600), Fase (001), Disparo (001).
- Pozos:** A large empty box for drawing the drill hole location.
- Geólogo:** VJUUO.
- Litología:**
 - LT1: APL, 5%
 - LT2: AND, 20%
 - LT3: P-K, 20%
- Alteración:**
 - ARGA, Intensidad: 1
- Ganga:**
 - HEM, Porcentaje: 100
- Mineralización Óxidos:**
 - MN1: CRI, 25%
 - MN2: WAD, 50%
 - MN3: BROK, 25%
- Mineralización Sulfuros:**
 - MN1: PY, 40%
 - MN2: CPY, 10%
 - MN3: CC, 25%
 - MN4: CV, 25%
- Other Fields:**
 - % MN Mena: 60
 - Ocuencia: VETILLAS
 - UG: 28
 - Observaciones: Observación prueba
 - control_script: ☐
- Buttons:** Grabar (bottom left).

Figura 4.10. Hoja de mapeo de pozos de tronadura en *Software AcQuire*.

Por factores externos, el UGI ya no continúa en la División y no se termina de programar la planilla para ponerla en práctica y realizar la carga masiva de los mapeos realizados, lo que actualmente se espera gestionar.

En el mes de junio del 2018 se comienza a mapear los pozos de tronadura en terreno, a partir de una planilla provisoria (mientras se realiza la gestión del mapeador *AcQuire*) simplificada con la litología, alteración y mineralización (Figura 4.11.) estos datos se transcriben por personal analista

- Exportación de pozos
- Importación de datos históricos de pozos

Del procedimiento solo no se cumple la carga de datos geológicos, según lo mencionado en el punto 4.3.4.

4.2.6. Instructivo de tareas de geología de producción básica para continuidad operacional

Dentro de las 6 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- Envío de muestras a análisis
- Manejo de datos de leyes de Cu y creación de macro
- Traspaso de datos a la malla de disparo
- Separación de disparo
- **Cubicación de separación de disparo (poner geología)**
- Envío de resultado final

Este procedimiento no indica la densidad media por tipo de material (quebrado o *in situ*), unidades geológicas y/o litologías. Por lo que el personal encargado de realizar las separaciones deja como promedio de material *in situ* $2,32 \text{ t/m}^3$ y $2,1 \text{ t/m}^3$ como promedio de material quebrado. Independiente de las desviaciones del modelo de densidad de largo plazo, no se deja establecido mensualmente un dato detallado de densidad para las cubicaciones, lo que genera desviaciones en los tonelajes calculados.

Para realizar una zonificación dinámica de los polígonos de tronadura como parte de control de leyes minerales, se diseña un modelo de estimación de corto alcance (Figura 4.12.).

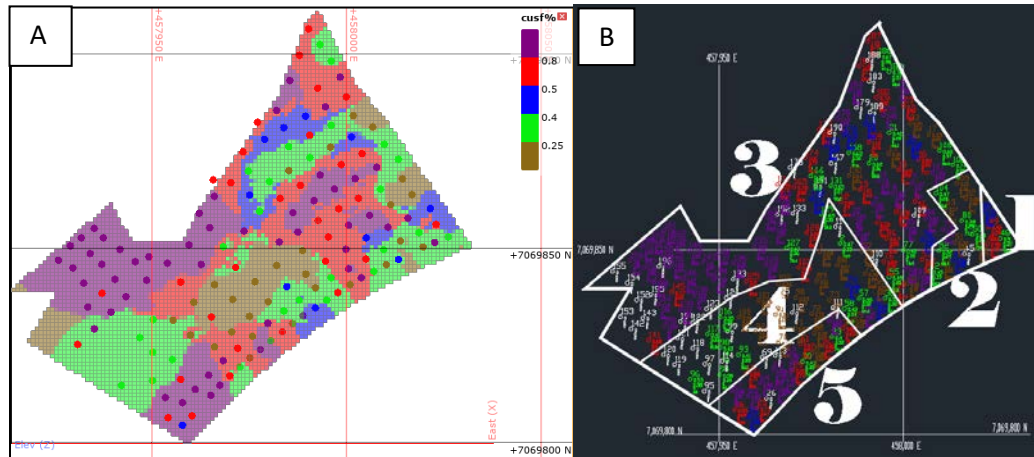


Figura 4.12. Separación de diagramas de disparo. **A:** Modelo *kriging* de indicadores múltiples con pozos de tronadura según ley de cobre soluble de leyenda (*Datamine/Leapfrog*). **B:** Separación para entregar a personal de operaciones (*AutoCAD*).

Mediante un *kriging* de indicadores múltiples se estima un mapa probabilístico para seccionar zonas minerales asociadas a diferentes leyes de control. Esta herramienta permite tener una orientación anticipada de la separación de materiales involucrados en una malla de producción, lo que debe pasar por una validación lógica de tendencias minerales según modelamiento geológico y en terreno, ajustando las leyes de pozos de tiro.

Esta metodología considera leyes solubles de control a utilizar para las separaciones, a partir de la variable IND (Anexo 4). Esta no toma dos posibles valores, un valor por defecto igual a 0 y otro igual a 1 cuando la ley de CuSFri está sobre la ley de control. Luego se interpola la variable generando valores entre 0 y 1 en los bloques estimados, los que se interpretan como la probabilidad de que el bloque esté sobre la ley de control.

Supongamos que el bloque tiene un valor estimado de $IND=0.65$, esto implica que:

$$P(\text{ley del bloque} > \text{ley de control}) = 0,65$$

Y así para todos los bloques. Usando un valor de probabilidad mayor o igual al 50% se seleccionan los bloques que estarán sobre la ley de control.

Para este proceso se utilizan los datos de los pozos de tronadura que componen este polígono (collares, leyes y *survey*) y el polígono a evaluar en formato *.DXF*.

Primero hay que definir leyes de CuSFri como umbrales para cada separación, luego se generan los indicadores para cada ley de control y se estiman los indicadores en un modelo de bloques de dimensiones 1x1x1 m, tamaño que representa un adecuado ajuste para orientar la separación definitiva que realizará el geólogo.

Con todos los indicadores estimados se genera una variable final de separación probabilística SEPRO, donde sus valores se asignarán de acuerdo a la primera ley de control máxima que supera el 50% de probabilidad.

Luego se cubica cada poligonal creada, ya que los bloques vienen con la variable densidad del modelo de largo plazo y las leyes de cobre de los pozos de tronadura.

Posteriormente se extraen las *string* en formato *.DXF* para plantear la separación en el *software AutocAD* y difundir al personal involucrado en los trabajos extractivos.

Para automatizar el proceso, se genera un archivo *Macro*, programado en *Datamine* (Anexo II.)

4.2.7. Procedimiento de control calidad y validación de resultados de pozos

Dentro de las 6 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- **Plan de calidad (muestras duplicadas)**
- Traslado de muestras al laboratorio químico y recepción
- **Control granulométrico**
- **Definición de controles de calidad (precisión y exactitud)**
- Despacho de análisis
- Importación de resultados analíticos
- **QA/QC**

Las problemáticas principales en el proceso de análisis de QA/QC se centran en la falta de insumos de duplicado estándar (control de leyes) y blanco (control de impurezas), lo que deja en incertidumbre el estadígrafo de exactitud.

Para esto se utilizan 10 muestras estándar de División Gabriela Mistral, que se reanalizan para comparar los datos con el personal corporativo, además se envían 5 muestras de control de El Salvador a la División Chuquicamata, para realizar el mismo ejercicio. Con esto se tiene que los

análisis químicos realizados por los distintos laboratorios son similares, resultando desviaciones mínimas (Tabla 4.05.).

Tabla 4.05. Comparación de leyes División Salvador y División Gabriela Mistral.

ID	DSAL			GABRIELA MISTRAL			CHUQUICAMATA		
	% CuT	% CuSF	% Sol.	% CuT	% CuSF	% Sol.	% CuT	% CuSF	% Sol.
2056	0.95	0.77	81%	0.91	0.72	79%			
2057	0.75	0.69	92%	0.74	0.65	88%			
2058	0.82	0.7	85%	0.78	0.69	88%			
2059	0.99	0.81	82%	0.99	0.85	86%			
2060	0.62	0.49	79%	0.6	0.47	78%			
2061	0.57	0.45	79%	0.54	0.41	76%			
2062	0.81	0.71	88%	0.8	0.69	86%			
2063	0.63	0.52	83%	0.6	0.49	82%			
2064	0.98	0.75	77%	0.95	0.77	81%			
2065	0.72	0.63	88%	0.7	0.61	87%			
5478	1.10	0.95	86%				1.21	1.01	83%
5479	1.00	0.76	76%				0.95	0.75	79%
5480	0.94	0.82	87%				0.93	0.78	84%
5481	0.66	0.55	83%				0.61	0.54	89%
5482	0.54	0.41	76%				0.50	0.39	78%

4.2.8. Tutorial de mapeo de bancos en *Xilab*

Dentro de las 6 actividades que considera este procedimiento se tiene:

- Descarga de mapas (plano con coordenadas)
- Mapeo geotécnico
- Importación de coordenadas
- Exportación de mapeos
- Herramientas extras

Los mapeos geológicos de bancos no presentan metodología, ni base de dato actualmente.

Se comienzan a capturar datos estructurales en terreno con brújula *Brunton*, además se capturan estructuras a partir del *software I Site*, reconociendo planos de falla a partir del levantamiento en detalle de una nube de puntos que realiza el personal de topografía con un escaner. Estos datos se integran a una planilla transformadora de formato, con el objetivo de importarlos a *Xilab* como carga masiva (Anexo 5.) Se logran capturar 530 datos estructurales en total.

En cuanto a la captura de información geológica, se implementan los lineamientos básicos y fundamentales en el levantamiento y registro de parámetros geológicos desde frentes de bancos, integrando una codificación particular de almacenamiento en base de datos que permita su uso de forma adecuada en la toma de decisiones, interpretaciones, modelamientos geológicos y operaciones mineras.

Para terreno, considerando una planilla de mapeo (Figura 4.13.), se debe copiar la topografía de la pata del banco en donde se mapeará en cuadrícula de la cartilla, identificando al menos dos grillas horizontales y verticales con sus coordenadas N y E, respectivamente, esto se registra físicamente en carpetas como respaldo (Anexo III.).

La escala a utilizar es variable, y depende de los requerimientos del trabajo. Actualmente se debe utilizar 1:500, a menos que se estipule por escrito y se anexe a este protocolo un cambio de escala.

		Superintendencia de Geología y Geotecnia Mina San Antonio Óxidos		Geólogo: _____ Fecha: _____	Hoja: _____ De: _____ Fase: _____
N° Banco: _____		Escala 1:500			

Figura 4.13. Cartilla de mapeo geológico de bancos.

En cuanto al formato del mapeo, en torno a la línea que une los puntos topográficos (idealmente la pata del banco), se dibujarán, subparalelas a esta, agrupaciones horizontales de datos y descripciones abreviadas de estos (cuando corresponda), definiendo tramos a partir de los puntos topográficos. Los dominios de parámetros a describir y dibujar, son (Figura 4.14.):

1. Dureza y alteración
2. Estructuras
3. Litología
4. Mineralización
5. Estimación de Arcilla

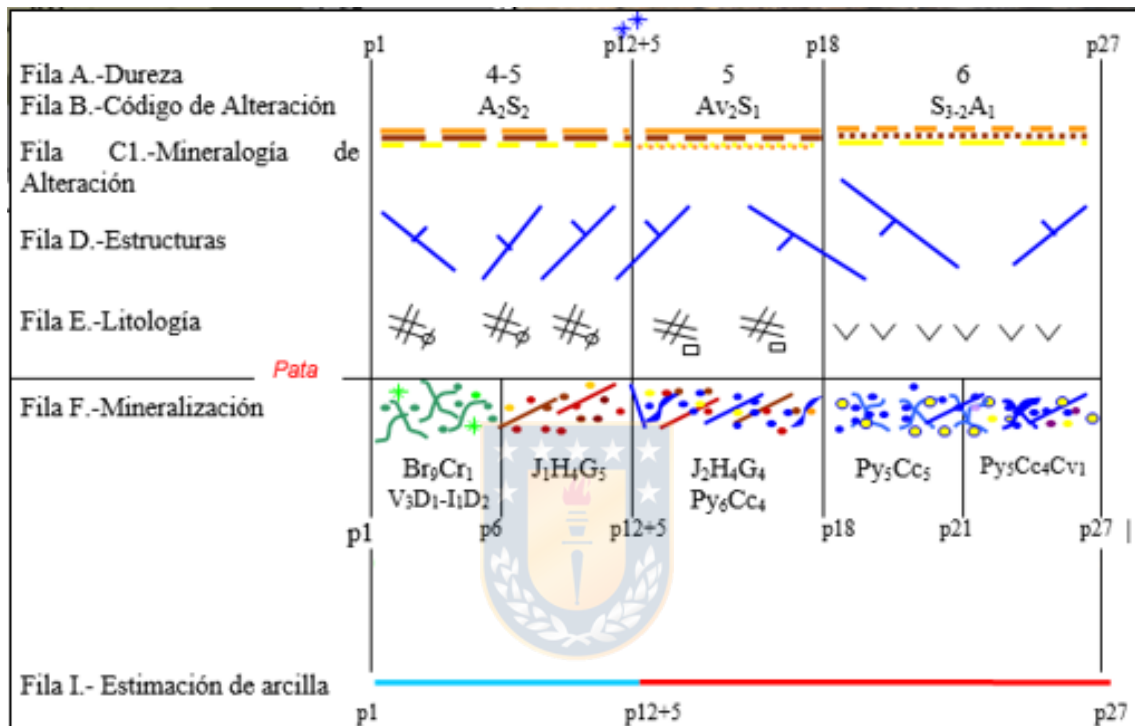


Figura 4.14. Esquema de presentación de datos en una cartilla de mapeo.

Para cada quiebre en alguno de los parámetros geológicos, se dibujará en grafito una línea que, proyectada, corte un determinado punto topográfico, o un punto más un número de metros, y se anotará este punto, por ejemplo: p12+5 (punto topográfico N° 12+5 metros). Además, en la misma hoja o en su reverso, se debe describir todas y cada una de las estructuras y dominios de diacласas, como también la(s) litología(s) hallada(s) y cualquier otra observación que merezca una descripción.

A continuación se detallan las variables geológicas a describir:

- a) **Dureza:** Se deben registrar tramos de dureza (generalmente asociados con tramos de litología y alteración). Se utiliza la escala de dureza relativa (R) (Tabla 4.06.).

Tabla 4.06. Escala de dureza relativa (R). (Minera Escondida Ltda., 2002)

R	0	Roca extremadamente débil , puede ser marcada por la uña
R	1	Roca muy débil . Se disgrega con un golpe fuerte de la punta del martillo. Puede ser escarbada con un cortaplumas.
R	2	Roca débil . Puede ser escarbada con el cortaplumas con dificultad, se deforma o disgrega con un fuerte golpe de la punta del martillo.
R	3	Roca medianamente fuerte . No puede ser escarbada por un cortaplumas: la muestra se fractura sólo con un golpe muy firme del martillo
R	4	Roca fuerte . La muestra requiere más de un golpe de martillo para ser fracturada.
R	5	Roca muy fuerte . La muestra requiere de muchos golpes de martillo para ser fracturada.
R	6	Roca extremadamente fuerte . La muestra sólo puede ser astillada con el martillo.

b) **Mineralogía de alteración:** Se debe registrar la abundancia de cada mineral de alteración en una escala de 1 a 3, considerando la roca como un todo (sin diferenciar masa fundamental de fenocristales) (Figura 4.15.) y la ausencia de color indica que el mineral no está presente.

Abundancia:	1	Débil o escasa	Línea punteada	● ● ● ● ● ● ● ●
	2	moderada	Línea segmentada	— — —
	3	Intensa o abundante	Línea continua	—————

Figura 4.15. Simbología de la intensidad de alteraciones para la cartilla de mapeo.

Los distintos minerales de alteración deben ser pintados en forma paralela, uno al lado de otro y omitiendo a aquellos que se encuentren ausentes. De acuerdo a su abundancia, se utilizará una línea continua, segmentada o punteada. El orden de precedencia, coincidente con la precedencia utilizada en sondajes (Figura 4.16.).

	Mineral	Color		Mineral	Color
1	Cuarzo	Naranja	10	Feld. potásico	Rosado
2	Sericita	Amarillo	11	Alunita	Marrón
3	Clorita	Verde Oliva	12	Caolín	Gris Suave
4	Epidota	Verde Claro	13	Esmeclita	Naranja Oscuro
5	Calcita	Gris	14	Granates	Rojo
6	Actinolita	Verde Oscuro	15	Muscovita	Morado
7	Piroxenos	Celeste	16	Albita	Azul
8	Anfiboles	Gris Oscuro	17	Turmalina	Café
9	Biotita	Negro			

Figura 4.16. Definición de los colores para minerales de alteración Mina SAO 2019.

Si ponemos un ejemplo de la Figura 4.17. se observa el orden de intensidad y tipo de mineral de alteración, según lo descrito.

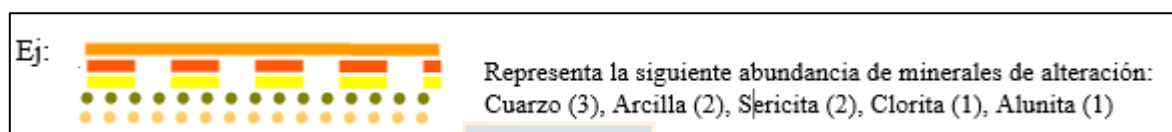


Figura 4.17. Ejemplo de mapeo de minerales de alteración.

c) **Código de alteración:** La alteración global del tramo, debe ser codificada –para la generalidad de los casos–, en función de la intensidad de cada una de las asociaciones de alteración hidrotermal presentes. El grado de intensidad de la alteración es directamente proporcional al grado de destrucción de la textura original de la roca. Se deben utilizar los siguientes códigos de intensidad, en una escala de 1-3 para registrar tanto la alteración dominante como la subordinada, según:

- 1: Débil → Textura primaria preservada
- 2: Moderado → Es posible distinguir con algún grado de dificultad la textura primaria.
- 3: Intenso → Textura primaria obliterada.

Notar que intensidad (destrucción de la textura) y abundancia (minerales de alteración), no necesariamente se corresponden, aunque en general, tiende a existir una correlación directa entre ambas. Por ejemplo, es posible tener el caso de un pórfido feldespático sometido a una alteración cuarzo-sericítica, con textura casi totalmente preservada (intensidad 1 a 2), en el cual la abundancia

de los minerales de alteración sea, por ejemplo, cuarzo (2), sericita (2) concentrados principalmente en la masa fundamental.

Para el caso de las rocas de (probable) textura afanítica, en general, es posible inferir la intensidad a partir de la abundancia de minerales de alteración.

La abreviatura para la definición de las alteraciones (Tabla 4.07.) se utiliza para la alteración global, representa su intensidad, por lo cual no se intenta reconciliar el grado de desarrollo de un tipo de alteración (porcentaje de los minerales de una asociación), con los minerales originales de la roca fresca que han sido alterados.

Tabla 4.07. Tabla de asociaciones de alteraciones Mina SAO 2019.

Cód.	Abrev	Tipo
0	F	Roca fresca
1	S	Cuarzo-sericita.
2	A	Argílica.
3	MR	Metamórfica Retrógrada.
4	K	Potásica (feldespato potásico)
5	Q	Silicificación.
6	C	Cloritización
7	B	Potásica (biotita secundaria)
8	SCC	Sericita-Clorita-Arcillas
9	Av	Argílica Avanzada
10	MPG	Metamórfico Prógrado

Las alteraciones dominante y subordinada, para la generalidad de los casos, quedan diferenciadas por el volumen que cada una de ellas afecta en el tramo (ver abreviaturas y asociaciones de alteraciones).

Se reconoce que la intensidad y la abundancia en volumen de la alteración que prevalece normalmente son mayor que la de la alteración subordinada (Tabla 4.08.). En algunos casos,

cuando dos tipos de alteración se presentan en un grado “moderado”, aunque diferente en grado absoluto, se coloca el dominante como el primero en la codificación del tramo.

Tabla 4.08. Tabla de ejemplo de codificación de alteración con intensidad.

Ej:	B ₂ C ₁	representa biotitización moderada acompañada de clorita incipiente.
	S ₃ A ₁	representa intensa alteración fílica acompañada de Argílica.
	A ₂ SCC ₁	representa moderada argilización, con débil sericita-clorita-arcilla.
	S ₂ Av ₂	representa moderada alteración cuarzo-sericita con moderada alt. argílica avanzada.
	K ₂ C ₂	representa moderada potásica (fdk) con moderada clorita.

d) **Categorización de fallas:** Se deben registrar y describir fallas de tipo:

1.- Falla Importante (Fi): De potencia ≥ 15 cm (observable en terreno). Corrida ≥ 3 bancos, independiente de su potencia. Esto se aplica en el caso de tener visión hacia bancos superiores. Si no se tiene visión hacia bancos superiores, considerar que este tipo de fallas debiera tener como corrida mínima desde la pata al borde superior (“cresta”) y una potencia no inferior a 15 cm. Se identifica cuando la falla sea un contacto geológico (litología, alteración), si marca el fin de un dominio estructural y el inicio de otro, en casos donde representen planos de deslizamiento o sean parte de una cuña importante. En general es un plano bien definido. Si la falla no presenta proyección hacia bancos superiores, puede que si la tenga hacia los bancos inferiores. En este caso será clave su potencia (≥ 15 cm) para definirla dentro de esta categoría.

2.- Falla Secundaria (Fs): Cumple con $3 \text{ cm} < \text{Potencia} < 15 \text{ cm}$, $1 < \text{Corrida} < 3$, en caso de tener visión hacia bancos superiores. Cuando no se tiene visión hacia bancos superiores, su traza debiera recorrer desde la pata al borde superior y su potencia no ser inferior a 3 cm. Cuando constituyen cuñas menores dentro del banco.

3.- Falla Menor (Fm): Presenta una potencia $< 3 \text{ cm}$. Corrida ≤ 2 bancos, en caso de tener visión hacia bancos superiores.

Para cada falla se debe registrar el punto, el tipo de falla, rumbo/manteo, banco, espaciamiento, relleno y observaciones generales (Tabla 4.09.)

Tabla 4.09. Tabla ejemplificada de la descripción de estructuras.

<i>Pto</i>	<i>Tipo</i>	<i>Rumbo/Manteo (*)</i>	<i>Banco</i>	<i>Esp.</i>	<i>Relleno</i>	<i>Observaciones</i>
Pto 2	Fm	325/76NE	b=1	e=1	r=arc-J-H-salv	
Pto 7	Fi	314/62NE	b=4	e=200	r=arc-J-H-salv	
Pto 9	Fm-V	142/68SW	b=1	e=1	r=arc-salv-cc±py	
Pto 9+2	Fs	100/55SW	b=2	e=1	r=arc-salv-frag. de roca	

El punto topográfico (Pto) debe coincidir necesariamente con la intersección entre la pata del banco y el rumbo de la estructura. En caso de que no coincida con un punto topográfico, es posible referenciarlo como el punto más un número de metros (ej.: Pto 9+2m).

Los materiales de relleno se detallan en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Tipos de relleno de falla con su abreviatura.

Código	Tipo	Abreviatura
1	<i>Salvanda</i>	Salv
2	<i>Arcilla</i>	Arc
3	<i>Sulfuros</i>	Sulf: py, cc, cp, cv, etc
4	<i>Óxidos</i>	CuOx: br, an, cr, etc.
5	<i>Limonitas</i>	Lm: jarosita (J), hematita (H), goethita (G)
6	<i>Cuarzo o sílice</i>	qz o sil
7	<i>Alunita</i>	alun
8	<i>Fragmentos de roca</i>	FgRx
9	<i>Yeso</i>	ys

Los dominios de diaclasas, deben ser descritos como:

- **Dom Pi-Pf:** Dominio de diaclasas comprendido entre el punto inicial (i) y el final (f).
- **Set de diaclasas:** Ji rumbo/manteo frecuencia (por metro)

$$\text{Ej: Dom P1-P7+1} \left\{ \begin{array}{lll} J_1 & 275/45 \text{ NE} & 3/\text{m} \\ J_2 & 20/85 \text{ SE} & 6/\text{m} \\ J_3 & 110/70 \text{ SW} & 4/\text{m} \end{array} \right.$$

La simbología en la cartilla se debe regir por la Figura 4.18. y 4.19.

<i>Abr</i>	<i>Tipo de estructura</i>	<i>Símbolo</i>	<i>Notación</i>	<i>Observaciones</i>
		70°		
F _i	Falla Importante		3 rayas	
F _s	Falla Secundaria		2 rayas	
F _m	Falla Menor		1 raya	
J _i	Diaclasa		1 raya	-i indica el n° respecto al set de diaclasas
V-F	Veta-Falla		1 raya	Falla seguida de líneas del color de la mineralización
F _i	Falla con relleno		1 raya	Falla antecedida de líneas del color de la mineralización
F _s			1 raya	
F _m			1 raya	
V	Vetas		1 raya rojo	Veta de sulfuros c/s cuarzo
			1 raya naranja	Veta de cuarzo
			1 raya amarillo	Veta de cuarzo-sericita
			1 raya Grafito	Tajante
C	Contacto		1 raya Grafito	Gradacional
			1 raya Grafito	Posible (inferido)

Figura 4.18. Notación de fallas en la cartilla de mapeo.

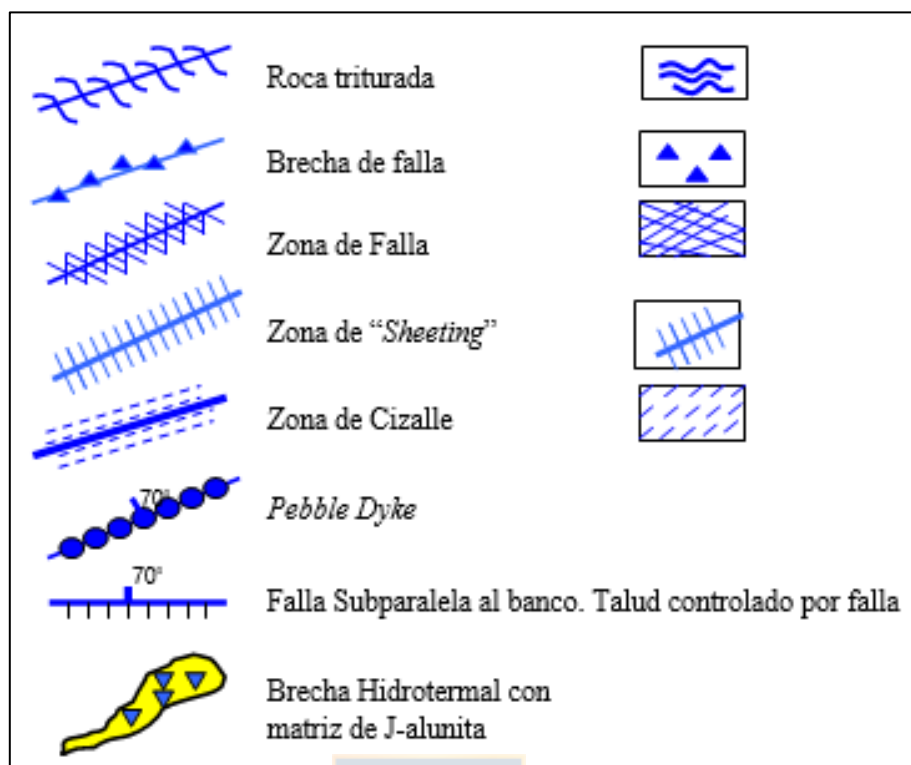


Figura 4.19. Notación de otras estructuras en la cartilla de mapeo Mina SAO.

e) Litología: Los cuerpos litológicos se rigen a partir de las descripciones de detalle, las que se codifican según Figura 4.20.

Código	Símbolo	Litología	Código	Símbolo	Litología
1		Gravas	7	Ash	Arenisca Shinto
2	And	Dique Andesítico	8	Lts	Lutita Shinto
3	Msed	Metasedimento	9		Calizas Cerro Negro
4	Pe	Pórfido Esmeralda	10	Lte	Lutita Estrella
5	Ps	Pórfido Secreto	11		Calizas Bochinche
6	Pc	Pórfido Cobre			

Figura 4.20. Simbología y colores de las litologías en la cartilla de mapeo Mina SAO.

Las zonas de contactos deber describirse según la Figura 4.21.

Simbología :		Tajante
		Gradacional
		Posible (inferido)

Figura 4.21. Simbología de contactos litológicos en la cartilla de mapeo Mina SAO.

- f) **Mineralización:** Se debe definir cada mineral con un color característico según Figura 4.22. y una abreviatura correspondiente (Tabla 4.11.) y ocurrencia (Tabla 4.12.).

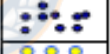
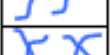
Óxidos de Cu		Brocantita- Chalcantita- Antlerita
		Crisocola-Dioptasa
		Cu Wad (Oxidos Negros), Cu Pitch
		Libetenita-Pseudomalaquita
		Arc.Cupriferas
		Cuprita- Cu nativo
		Azurita- Malaquita
Óx de Fe		Goethita, Hematita, Jarosita,
		Es specularita
		Magnetita
Sulfuros, Sulfatos y Sulfosales		Bornita
		Calcopirita
		Calcosina - Covelina
		Molibdenita
		Pirita
		Galena, Esfalerita
		Yeso, anhidrita
		Otros Sulfuros y sulfosales

Figura 4.22. Simbología de mineralización en la cartilla de mapeo Mina SAO.

Tabla 4.11. Codificación de mineralización (mena/ganga) Mina SAO.

Oxidos de Cu		Sulfuros, Sulfatos y Sulfosales		Oxidos de Fe	
Alm	Almagrado	Alun	Alunita	J	Jarosita
An	Antlerita	Br	Bornita	H	Hematita
At	Atacamita	Cc	Calcosina	G	Goethita
Ar. Cu	Arc. Cupriferas	Cpy	Calcopirita	Lm	Limonita (indif.)
Br	Brocantita	Cv	Covelina	Mt	Magnetita
Cha	Chalcantita	Di	Digenita	Spc	Espeularita
Chx	Chenevixita	Dj	Djurleita		
Cr	Crisocola	En	Enargita		
Cu ⁿ	Cobre nativo	Gal	Galena		
Cup	Cuprita	Mo	Molibdenita		
Ct	Copper Pitch	Py	Pirita		
Cw	Copper Wad	Sph	Esfalerita		
Dp	Dioplasa	Ten	Tennantita		
Lb	Libhetenita	Tet	Tetrahedrita		
Nt	Neotocita	Ys- Hn	Yeso - Anhidrita		
Ox. N.	Oxidos Negros				
Psm	Seudomalaquita				
Tn	Tenorita				
Tq	Turquesa				

Tabla 4.12. Codificación de ocurrencia de mineralización, Mina SAO.

Código	Tipo	Abr	Dibujo	
1	Fracturas	f		relleno de diaclasas o fracturas
2	Diseminación	d		diseminado o agregado
3	Reemplazo	r		reemplazo parcial de un mineral por otro
4	Vetillas	v		relleno de vetillas
5	Stockwork	s		set de relleno de vetillas
6	Cúmulos o agregados o rellenos	a		acumulaciones granulares de mineral de Cu
7	Impregnaciones	i		impregnaciones
8	Matriz o cemento	c		matriz o cemento de brechas, gravas, etc.

Los tamaños de los granos se deben clasificar en:

- 1: $\leq 0,5$ mm
- 2: $> 0,5$ mm y $\leq 1,0$ mm
- 3: $> 1,0$ mm y $\leq 1,0$ cm
- 4: $> 1,0$ cm

Para representar la abundancia mineralógica se debe indicar del 1-10 según Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Ejemplo de codificación en abundancia mineralógica en cartilla, Mina SAO.

Óxidos de Fierro	Ej: J ₆ H ₂ G ₂
Óxidos de Cobre	Ej: br ₉ cr ₁
Sulfuros y sulfosales	Ej: py ₂ cc ₆ cv ₁

g) **Estimación de arcilla:** se deberá describir tramos de alta o baja arcilla (finos). La alta arcilla o finos, se considera como tamaño mineralógico y no como especie, pues la determinación de alta arcilla (finos) está enfocada al proceso metalúrgico. La alta arcilla (finos) se clasifica en función de la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Combinatoria de mineralogía de arcillas de alteraciones para definir la ocurrencia.

% Arcillas	Color
0 – 15%	
15 – 30%	
30 – 45%	
45 – 60%	

Posterior a todas estas descripciones, se crea una planilla de conversión del mapeo de bancos al formato de sondaje horizontal con el ID (nombre identificador) de la cota del banco mapeado, para realizar modelamientos implícitos junto a los pozos de tronadura, los que deben ser validados antes de integrarlos a la base de datos, teniendo coherencia geológica con los sondajes y pozos de tronadura.

Primero se crea el archivo *collar*, calculando el largo total del sonduje a partir de una formulación con base geométrica cartesiana a partir de las coordenadas de los puntos topográficos capturados (Figura 4.23.).

PUNTO BANCO 3520SA					
ID	ESTE	NORTE	COTA	LARGO COMI	COMPOSITO
3520SA-2	7069169,7	457803,22	3522,967	0,0000	2
3520SA-3	7069181,9	457780,66	3526,301	25,8621	2;3
3520SA-4	7069190,1	457770,89	3522,605	13,2618	3;4
3520SA-5	7069208,2	457743,68	3522,647	32,7196	4;5
3520SA-6	7069226,5	457726,97	3523,079	24,7319	5;6
3520SA-6.1	7069244,1	457722,93	3521,985	18,1377	6;6,1
3520SA-7	7069249,9	457721,21	3522,451	6,0031	6,1;7
3520SA-8	7069263,9	457719,41	3523,034	14,1839	7;8
3520SA-9	7069278	457720,35	3519,28	14,6533	8;9
3520SA-10	7069287,3	457717,43	3522,675	10,2733	9;10
TOTAL				159,8266	

Figura 4.23. Planilla para cálculo de largo total de archivo *collar*.

Luego se crea el archivo *survey*, a partir del cálculo del *azimut* y *dip* de cada tramo (Figura 4.24), en base a la misma metodología anterior.

PUNTO BANCO 3520SA							
ID	ESTE	NORTE	COTA	LARGO COMI	PROFUNDID	AZIMUT	DIP
3520SA-2	7069169,7	457803,22	3522,967	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
3520SA-3	7069181,9	457780,66	3526,301	25,8621	25,8621	151,5823	0,2667
3520SA-4	7069190,1	457770,89	3522,605	13,2618	39,1239	140,0867	-0,4247
3520SA-5	7069208,2	457743,68	3522,647	32,7196	71,8435	146,2585	0,0023
3520SA-6	7069226,5	457726,97	3523,079	24,7319	96,5754	132,5187	0,0237
3520SA-6.1	7069244,1	457722,93	3521,985	18,1377	114,7131	102,9102	-0,0619
3520SA-7	7069249,9	457721,21	3522,451	6,0031	120,7162	106,6516	0,0811
3520SA-8	7069263,9	457719,41	3523,034	14,1839	134,9001	97,3010	0,0415
3520SA-9	7069278	457720,35	3519,28	14,6533	149,5534	86,1908	0,2596
3520SA-10	7069287,3	457717,43	3522,675	10,2733	159,8266	107,5454	0,3519
TOTAL				159,8266			

Figura 4.24. Planilla para cálculo de *azimut* y *dip* de archivo *survey*.

Por último se genera el archivo de litología y de alteración por tramo, donde hay que ingresar los metrajes de cambios geológicos para completar el largo total (Figura 4.25.).

BHID	FROM	TO	LITO	BHID	FROM	TO	ALTE
3520SA	0	25,862148	PORF_ESM	3520SA	0	25,862148	BT-ARC-QTZ
3520SA	25,862148	30,8621	PORF_ESM	3520SA	25,862148	30,8621	BT-ARC-QTZ
3520SA	30,8621	39,123949	Msed	3520SA	30,8621	39,123949	META_R
3520SA	39,123949	71,843535	Msed	3520SA	39,123949	71,843535	BT-ARC-QTZ
3520SA	71,843535	96,57539	Msed	3520SA	71,843535	96,57539	BT-ARC-QTZ
3520SA	96,57539	114,71307	Msed	3520SA	96,57539	114,71307	META_R
3520SA	114,71307	120,71616	Msed	3520SA	114,71307	120,71616	SILIC
3520SA	120,71616	134,90005	Msed	3520SA	120,71616	134,90005	SILIC
3520SA	134,90005	149,55337	Msed	3520SA	134,90005	149,55337	META_R
3520SA	149,55337	159,82664	Msed	3520SA	149,55337	159,82664	META_R

Figura 4.25. Planilla para cálculo de largo de tramos para cambios litológicos y de alteración.

Esta información se puede observar de forma implícita en la Figura 4.26. Donde se unen los datos geológicos capturados de pozos de tronadura y bancos de forma dinámica, aportando al volumen de información disponible para modelamiento mensual. Actualmente se tienen 35 mapeos de bancos en la base de datos. Esto queda registrado en carpeta compartida de Disco X: editable solo por personal de geología, para que la información mantenga trazabilidad.

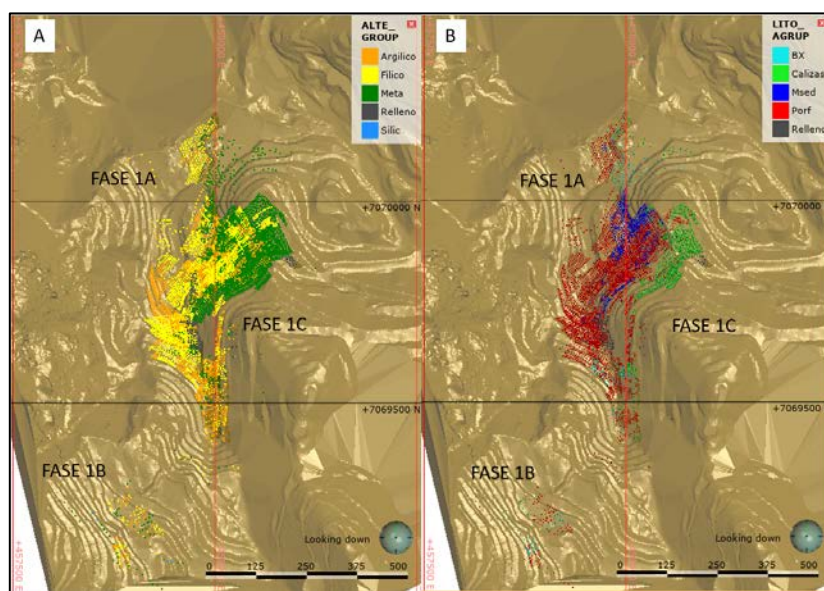


Figura 4.26. **A:** Alteración de pozos de tronadura y bancos. **B:** Litología de pozos de tronadura y bancos. Topografía 05/04/2020. Software Leapfrog.

El nivel de detalles de los mapeos de bancos es considerablemente mayor que el de los pozos de tronadura, producto del mayor tiempo disponible para la tarea y la calidad de la muestra a describir. Es por esto que se debe integrar la información realizando la equivalencia de ensamble mineralógico con la alteración y litología correspondiente en los pozos de tronadura en el momento de realizar análisis y procesamiento de la información, para finalmente trabajar con los sondeos y abarcar el área completa de modelamiento correspondiente al Mina SAO.

4.3. MODELAMIENTO GEOLÓGICO

El modelamiento geológico, de no tener una base donde crear sólidos, se implementa uno de carácter mensual que incluye pozos de tronadura y bancos, realizando la actualización en *software Leapfrog* (Figura 4.27.). Las tendencias estructurales se extraen de Tomlinson (1984), con la secuencia de pórfidos NS y las brechas hidrotermales NNE-SSW (según predominancia de estructuras de alteración supérgena). Este posee un carácter predictivo más acertado que el modelo de largo plazo.

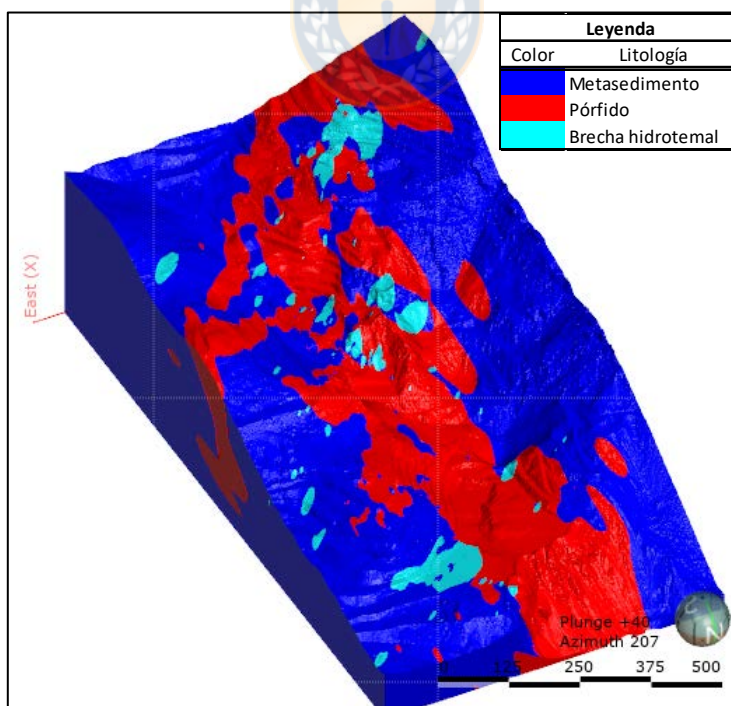


Figura 4.27. Modelo litológico de corto plazo, junio del año 2020. Sólidos cortados con topografía 05/2020.

4.4. PLANO DE STOCK MINA SAO

Se genera un plano de *stock* en Mina SAO (Anexo IV.), a través de una campaña de muestreo y reconocimiento mineral que involucra más de 70 muestras por 8.000 t de material, con el objetivo de transportar el material en tiempos de contingencia, asociado a problemas en la extracción *in situ* de las altas leyes. Esto se complementa con la cubicación de los tonelajes totales de los materiales a través de *software Vulcan*, a partir de las diferentes topografías.

Las leyes puestas se castigan un 10% antes de oficializar los datos. Por ejemplo, el *stock* mirador 1C presenta 15.000 t con ley 1,05% CuT/0,78%CuSFri, calculado con 40 muestras de 20 kg de pata, borde y calicatas, lo que en planta se ha traducido en los últimos días en leyes sobre 1,0%CuT. Esto responde bien a la metodología empleada, según comparación leyes Mina y de cabeza en planta hidrometalúrgica (Tabla 4.15.).

Tabla 4.15. Análisis de leyes stock-planta

Día	Tonelaje	% CuT	% CuSF	%Solub
15-04-2020	2102	1.21	0.88	73%
16-04-2020	3265	1.43	0.99	69%
17-04-2020	4561	1.08	0.81	75%
18-04-2020	3721	1	0.75	75%
21-04-2020	5005	0.99	0.72	73%
22-04-2020	2317	1.11	0.82	74%
30-04-2020	3813	1.02	0.73	72%
02-05-2020	2978	1.26	0.91	72%
TOTAL	27762	1.117629	0.812776	73%

Para este análisis se recopilan solo los tonelajes de alimentación a buzón correspondientes a la ley identificada como 1,05%CuT/0,78%CuSF cuando ha sido enviado como bolsón de alta ley, de lo contrario, se mezcla con otros materiales y se pierde la trazabilidad en el muestreo de cabeza que realiza la planta hidrometalúrgica.

La planificación de alimentación realizada mensualmente debe ser la meta a cumplir el día a día. Si se consideran menores leyes, es decir, cercanas a ley de corte 0,5% CuSF, entonces al extraer

mucho más elevada, producto de la silicificación que presentan en el exótico de cobre, esto genera riesgos en los chancadores (chutes). El pórfido SABE es de composición granodiorítica, usualmente con una intensa alteración supérgena donde prevalece el caolín y otras arcillas. Tiene baja dureza, con excepción de las vetas de cuarzo que intersectan la unidad. En las pruebas de ISO-PH, se asocia a una alta recuperación (80%) y un estable consumo de ácido (40 kg ácido/t), por el contrario la brecha hidrotermal por lo general presenta alta intensidad de alteración argílica-supérgena produciendo en la extracción materiales de granulometrías finas, que genera una masa en el glómero, taponeando el sistema, lo que se tiene que mitigar alimentando materiales duros para limpieza.

En cuanto a la mineralización:

Para la lixiviación de minerales oxidados de cobre se utiliza el ácido sulfúrico, siendo más fácil de disolver los sulfatos (chalcantita), sulfatos básicos (brochantita/antlerita) y los carbonatos (malaquita/azurita/tirolita). Esto se traduce en que los minerales de rápida cinética de lixiviación han demostrado ser los fosfatos, sulfatos y carbonatos (especies solubles), generando bajas en el % de sulfatación a diferencia de los silicatos con cobre, como la crisocola, dioplasa, alófanos y óxidos negros (copper wad, copper pitch y neotocita) (Anexo III). Estos últimos son refractarios al igual que la turquesa.

La cuprita y tenorita necesita la presencia de un oxidante (férrico) para disolverse completamente. Su presencia es muy escasa en material de Mina SAO, proveniente de las cotas más elevadas (Fase 2).

La química asociada a los minerales sulfurados de cobre (calcopirita, bornita, covelina, calcosina, digenita) es más compleja que la de los óxidos, ya que se trata de reacciones de óxido-reducción que requieren la presencia de agentes oxidantes (férricos) para que la reacción ocurra. Sin embargo, la problemática más grave es la velocidad de reacción (cinética), que es extremadamente lenta.

Las arcillas con cobre son poco lixiviables, por su propiedad absorbente (grupo de esmectitas), baja las recuperaciones de cobre (montmorillonita con cobre).

Los fosfatos (pseudomalaquita/libethenita/turquesa) presentan mayores solubilidades.

En cuanto a la alteración:

El material de alimentación de San Antonio se concentra principalmente en un escenario estructural in situ complejo, con estructuras que dan paso a fluidos hidrotermales, alterando pervasivamente la roca.

Los % de alteración argílica avanzada indican presencia de minerales de un ambiente de formación ácido, como alunita, montmorillonita, caolín, cuarzo, pirita, sericita. Cuando los % son > a 40%, la roca se encuentra con altos % de arcillas, lo que implica abundante material de granulometría fina (capaces de generar polución en seco), y la mayor parte son del grupo absorbente (generando estancamiento en el glómero, baja recuperación de cobre y aumento en el consumo de ácido).

La alteración fílica se representa con altos contenidos de cuarzo y sericita. En San Antonio la sericita se observa alterada intensamente a caolín. Estos minerales igual son de ambiente ácido, pero no tan elevado como la alteración argílica.

La alteración metamórfica se divide en prógrada y retrógrada, presentando minerales de metamorfismo (formados a altas T y P) como piroxenos, granates, prehnita, andalusita, estauroлита, anfíboles, silicatos de calcio y/o aluminio, etc. Esto se demuestra con el aumento de impurezas de Mn, Mg y Ca.

Por otro lado también se reporta:

- La humedad se mide en una escala perceptible en terreno del 1 al 7 (Figura 4.28.), donde bajo el 3% es aceptable, el 4% es ligeramente aceptable y sobre este valor, no se puede destinar a la alimentación (genera problemas en el glómero), a no ser que se mezcle el material con otro de características extrapoladas.

% Humedad						
1	2	3	4	5	6	7

Figura 4.28: Escala de humedad de terreno.

- La granulometría se mide según el rango:
Fino: <0,08 Pulgadas.
Medio: 0,08-20 Pulgadas.
Grueso: >20 Pulgadas.

Esto para alertar efectos de polución en manejo de materiales o sobretamaño que cause detenciones en el chancador.

- Se indican aspectos generales de material, como % de arcillas, presencia de inchancables, polución y posibles riesgos.



5. RECOMENDACIONES

En las actividades del corto plazo de geología de producción se recomiendan los siguientes ítems.

5.1. Control de calidad mineral

- A) Terminar de programar la planilla de mapeo de pozos de tronadura en sistema de base de datos *AcQuire*, ya que se requiere de una mayor gestión económica a nivel Divisional con la empresa informática; y realizar el mapeo geológico *offline* en gabinete. Esto con el fin de obtener una buena trazabilidad de datos completamente auditables y llevar un buen registro de mapeo para análisis geológicos semanales, mensuales y hasta anuales.
- B) Oficializar procedimiento de mapeo de bancos en *Xilab*, para estandarizar codificaciones y metodología, con el fin de transparentar información y unificar criterios de captura de datos con las demás Divisiones de Codelco.
- C) Asegurar supervisión geológica en todo el proceso extractivo del mineral, desde la tronada, hasta que llega el material a la planta, para que el muestreo de leyes de los pozos de tronadura tenga representatividad en los materiales alimentados.
- D) Instaurar una metodología rápida de análisis de arcillas, que pueda generar informes detallados del tipo y cantidad de minerales arcillosos presentes en cada muestra, así entregar reportes geometalúrgicos a personal de laboratorio en planta de lixiviación y evitar problemas en el tratamiento mineral (Pistola *TERRASPECT*).
- E) Realizar un modelo geometalúrgico de corto plazo para SAO, con información de análisis de *ISO-PH*, para poder proyectar e identificar con antelación ciertas zonas de alta ley que presenten una alteración y/o mineralogía distintiva metalúrgicamente.

5.2. Control de leyes minerales

- A) Realizar una limpieza y ordenamiento de la carpeta Disparos SAO en disco X:/LIXIVIACIÓN, para llevar una base de datos íntegra y auditable sin archivos duplicados.

- B) Llevar el sistema de separación de disparo a formato *Vulcan*, así lograr utilizar solo un software de estándar corporativo actualizado.
- C) Asegurar realizar *grade control* en terreno de forma diaria, como control de extracción sobre la tronada, y evaluar sectores de veta donde se pueda discretizar y seleccionar de mejor forma el mineral de alta ley.

5.3. QA/QC

- A) Realizar control de capachos, a través de un estudio estadístico considerando 6 de éstos, ya que solo se tenía el procedimiento de la tarea con 4 capachos.
- B) Tramitar y gestionar la compra de muestras en blanco y estándar para un rango de tiempo anual y así realizar el inserto de diario de tal forma de no perder el control de exactitud.
- C) Gestionar el análisis de un horno extra para el secado de muestras y tener mayor capacidad/día, para agilizar la entrega de resultados de pozos de tronadura cuando se realizan mallas con más de 300 pozos.
- D) El control de humedad se realiza para 1 muestra al azar por *reporte* de muestreo. Considerando que la extracción se realiza en SAO ubicado a 62 km de Salvador donde se destinan las muestras al laboratorio químico, se trasladan aproximadamente 1 h en camioneta expuestas al sol, generando condensación en el interior de las bolsas con muestras. Esto expresa una humedad mensual promedio de 8%, lo cual excede lo que realmente se observa en terreno. Para esto se propone la utilización de un medidor de humedad (*Microlance Moisture Meter*) (Figura 5.01.), así realizar el control en terreno, considerando un dato real para comparaciones según contenido mineralógico de arcillas, comportamientos físicos y/o aparición de posibles aguas subterráneas.

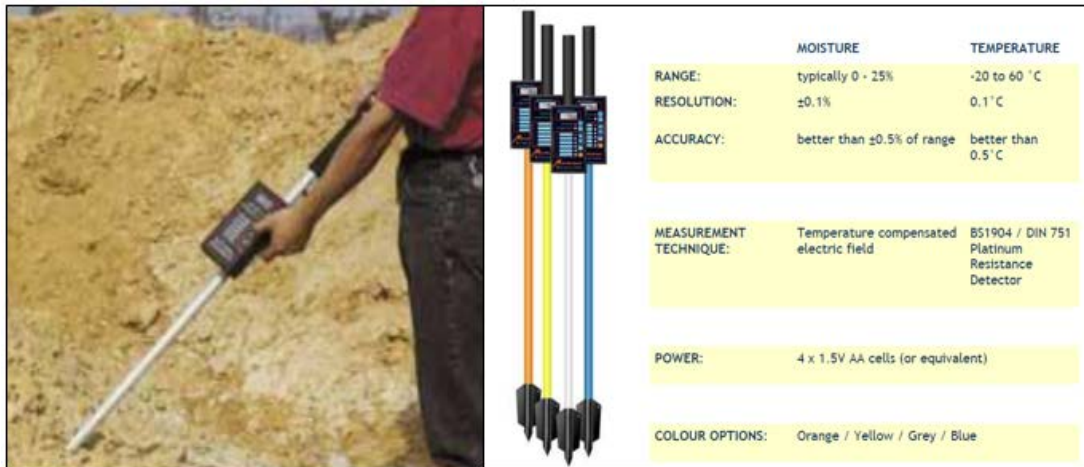
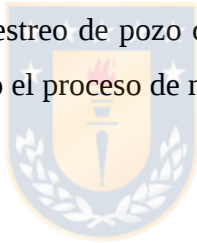


Figura 5.01. *Microlance Moisture Meter*, medidor de humedad en terreno.

- E) Realizar análisis de leyes de sondajes históricos de SAO en laboratorio químico de Salvador, para realizar informe comparativo del proceso de QA/QC y lograr definir cuál es la causante de las grandes desviaciones observadas en leyes entre pozos de tronadura y sondajes.
- F) Generar una metodología de muestreo de pozo completo para los pozos de tronadura, así ir evaluando con mayor detalle todo el proceso de muestreo y preparación mecánica.



6. CONCLUSIONES

La geología de producción en división El Salvador es un pilar importante en el procesamiento mineral, desde que se realiza la tronadura de los materiales hasta su tratamiento en la planta de lixiviación. Esto queda demostrado en el aporte de eficiencia que se genera desde que se comienzan a reportar las variables geológicas de litologías, minerales de mena, alteraciones, minerales de ganga, humedad y granulometría, tanto al personal de gerencia plantas, como a la gerencia Minas. Esto se logra a partir de la aplicación continua de una metodología de *ore control* de geología que involucra el control de calidad y aseguramiento del mineral, generando en parte una disminución de las brechas en el cobre fino mensual y aumento en la eficiencia productiva. Este trabajo compila las actividades que son necesarias en cada proceso y subproceso de la evaluación sistemática de los factores geológicos involucrados en el modelamiento predictivo de la geología y recursos del yacimiento SAO, además de la optimización de los procesos extractivos y selectividad de materiales al momento de su extracción, transporte y tratamiento. En lo que respecta el corto plazo, resulta importante un modelo de estimación de carácter mensual, que pueda dar indicios de los sectores con mejores leyes y contenido mineral, por lo que la conciliación se vuelve una actividad de gran relevancia en el foco de las mejoras continuas que aporten al negocio a esta escala, que de forma integral se refleja a nivel anual. En la actualidad, el grado de desarrollo que presentan las Plataformas Tecnológicas (Sistemas de Automatización y Sistemas de Información), hacen uso de numerosos elementos de última generación, ofrecen nuevas y atractivas funcionalidades, tanto para la operación de los procesos, como para la gestión de la producción, así es como se debe ir avanzando de acuerdo a los tiempos y aprovechar los recursos disponibles para la optimización de tareas, así llegar el 2022 con el yacimiento rajo Inca con todas las facultades para asumir la gran minería.

7. REFERENCIAS

SERNAGEOMIN, 2017. Anuario de la minería de Chile, Santiago, Chile. 274 pp.

MPODOZIS, C., ALLMENDINGER, R., JORDAN, T., 1991, La zona del Nevado de Jotabeche y Laguna del Negro Francisco: evolución tectónica y volcánica de la extremidad meridional del Altiplano Chileno: VI Congreso Geológico Chileno, Actas, p.9 t-95, Viria del Mar.

MPODOZIS, C.; CORNEJO, P 1997. El rift triásico-sinemuriano de Sierra Exploradora, Cordillera Domeyko (25°-26°S): asociaciones de facies y reconstrucción tectónica. IN Congreso Geológico Chileno, No. 8, Actas, VOL. 1, P. 550-554. Antofagasta.

OLSON, S. 1989. The stratigraphy and structural setting of the Potrerillos Porphyry Copper District, Northern Chile. Revista Geológica de Chile, VOL. 16, No. 1, p. 3-29.

OLSON, S. 1983. Geology of the Potrerillos District, Atacama, Chile. Ph. D. Tesis (Unpublished), Stanford University, 204 p. Stanford, California.

PETIT, J.P; PROUST, F.; TAPPONIER, P. 1983. Critères de sens de mouvement sur les miroirs de failles en roches non calcaires. Bulletin de la Société Géologique de France, Vol. 25, No. 4, p. 589-608.

TOMLINSON, A.J. 1994. Relaciones entre pórfido cuprífero y la falla inversa de la Mina Potrerillos: un caso de intrusivo sintectónico. In Congreso Geológico de Chile-no, No. 7, Actas, Vol. 2, p. 1629-1633. Concepción.

PÉREZ, E. 1982. Bioestratigrafía del Jurásico de Quebrada Asientos, Norte de Potrerillos, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Boletín, No. 37, 149p.

NARANJO, J.A; PUIG, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral, Regiones de Antofagasta y Calama. Carta Geológica de Chile, No. 92-6. Servicio Nacional de Geología y Minería, escala 1:250.000.

CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RAMIREZ, C.F.; TOMLINSON, A.J. 1993. Estudio geológico de la Región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat.S). Servicio Nacional de Geología y MINERÍA – Corporación del Cobre, Informe Registrado IR-93-01, Vol. 1, 258 p. Santiago.

PARSONS, A.B. 1938. La Andes Copper Mining Company. Boletín Minero, Año LIV, N° 453. Santiago de Chile. Pp. 34-40.

MARÍN, S. 1920. La industria del cobre y el mineral de Potrerillos. Boletín Minero. Año III, No. 249. Santiago de Chile. Pp. 11-36.

PONTIGO, F. 2012. Controles de la mineralización de cobre, molibdeno, oro, plata, plomo, zinc, manganeso, arsénico y antimonio, bajo el techo de sulfuros en la sección 7.069.100n Proyecto San Antonio – Potrerillos.

ROJAS, R. 2009. Revisión del modelo geológico / geometalúrgico creado por flores & flores (2005) para el proyecto san Antonio de la división salvador de codelco-chile.

CASTILLO, F. 2013. Modelos geológicos y estimaciones de recursos CuT.

BRANTT, J. 2012. Informe estimación de recursos geológicos óxidos 2011.

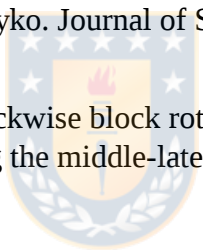
EMSA, 2017. Informe técnico del marco estructural y geofísico para la exploración de sistemas Pórfido Cu-(Mo-Au) del Distrito El Salvador y Potrerillos, Cordillera Domeyko.

MARSH, T.M.; EINAUDI, M.T.; MCWILLIAMS, M. 1997. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of Cu-Au and Au-Ag mineralization in the Potrerillos District, Chile. *Economic Geology*, Vol. 92 (7-8), pp. 784-806.

Lee, R.G., Dilles, J.H., Tosdal, R.M., Wooden, J.L., & Mazdab, F.K. (2017). Magmatic Evolution of Granodiorite Intrusions at the El Salvador Porphyry Copper Deposit, Chile, Based on Trace Element Composition and U/Pb Age of Zircons. *Economic Geology*, 112(2), 245-273.

Amilibia, A., Sàbat, F., McClay, K.R., Muñoz, J.A., Roca, E., & Chong, G. (2008). The role of inherited tectono-sedimentary architecture in the development of the central Andean mountain belt: Insights from the Cordillera de Domeyko. *Journal of Structural Geology*, 30(12), 1520-1539.

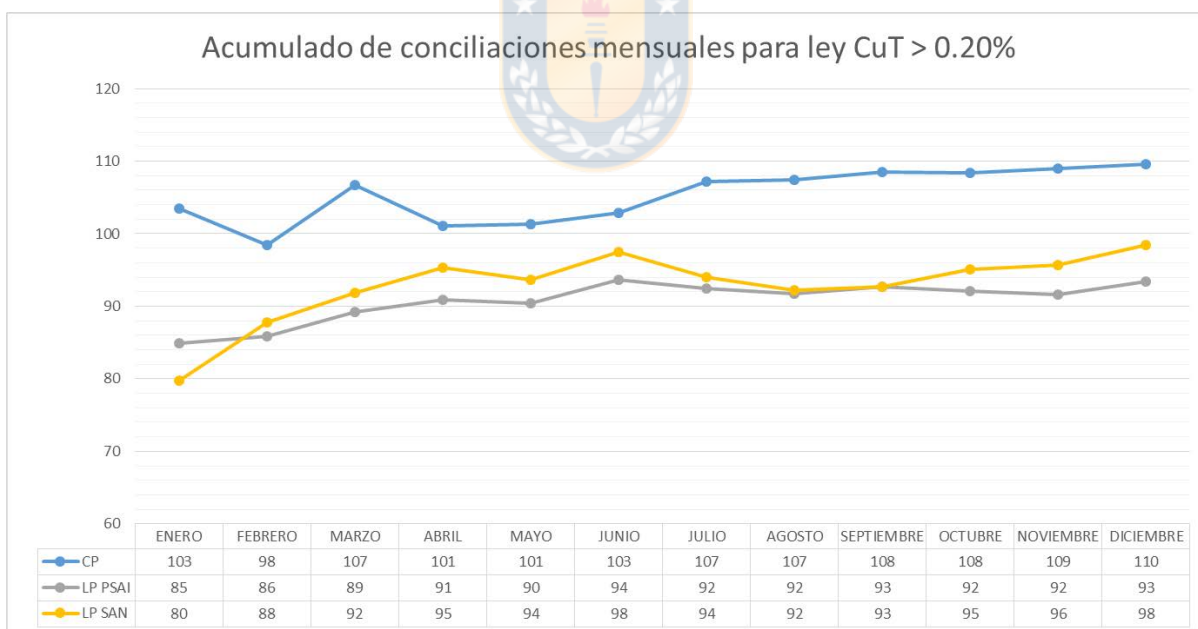
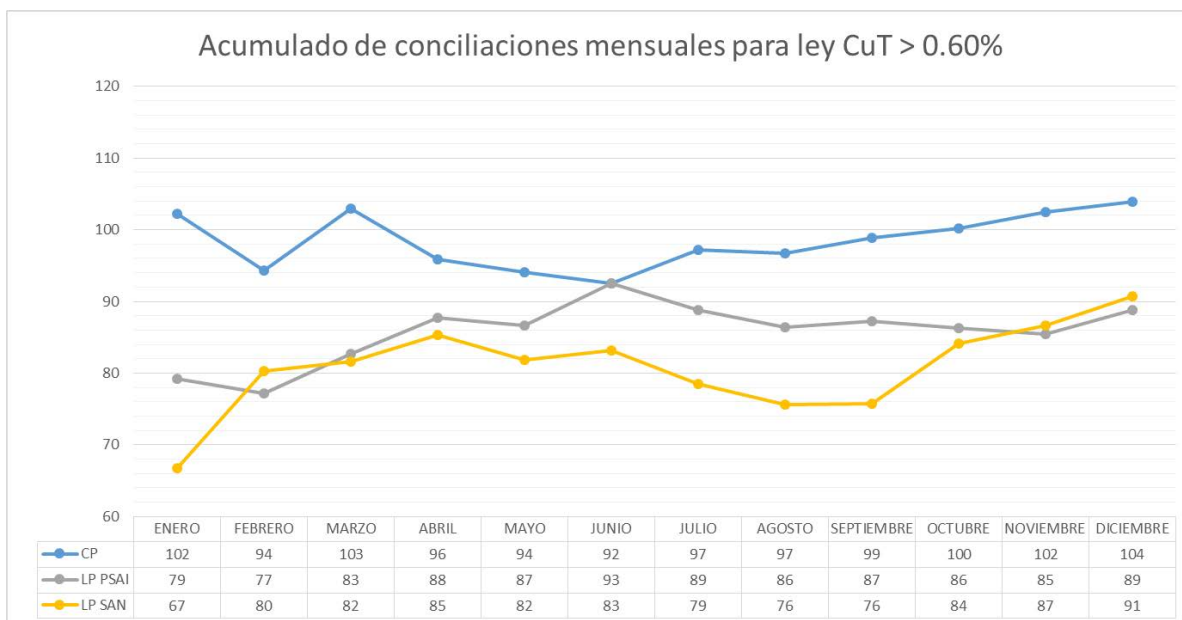
Abels, A., & Bischoff, L. (1999). Clockwise block rotations in northern Chile: Indications for a large-scale domino mechanism during the middle-late Eocene. *Geology*, 27(8), 751-754.



ANEXOS



ANEXO I. GRÁFICOS DE CONCILIACIONES 2019.



ANEXO II. MACRO PROGRAMADA PARA CREACIÓN DE MODELO SEPARACIÓN DE DISPARO.

#####

!START 01 importa collares y leyes del disparo a separar

#

=====

Define Variables

#

=====

!LET \$ptco# = 'pt_collar_3310-015sa.csv'

!LET \$ptly# = 'pt_leyes_3310-015sa.csv'

!LET \$dh_pt# = 'dh_pt_3310-015sa'



!LET \$bnc#=3310

#

=====

Load Substitution Variables File

#

=====

!SYSFILE \$exists1#=SepDisp_cusf.var

!IF \$exists1#=1,THEN

!VARLOAD SepDisp_cusf.var, @MERGE=1

!ENDIF

!PROMPT

2

0 Macro para separar disparos

0

0

0 INPUT FILES:

0

0 Ingrese el nombre del archivo de collares

0 (BHID,XCOLLAR,YCOLLAR,ZCOLLAR,LARGO)

0 incluya la extensión .csv

0

1 Archivo de collares [\$ptco#] ==> '\$ptco#',A

0

0 Ingrese el nombre del archivo de leyes

0 (BHID,FROM,TO,CUT,CUSF,CUSC)

0 incluya la extensión .csv

0

1 Archivo de collares [\$ptly#] ==> '\$ptly#',A

0

0 Ingrese la elevación del banco

0

1 Banco [\$bnc#] ==> '\$bnc#',n

0

0 Ingrese archivo de salida

0 se sugiere usar dh_pt_BANCO_DISPARO

0 (sin extensión)

0

1 Archivo de salida [\$dh_pt#] ==> '\$dh_pt#',A



0

#

=====

Crea archivo collar.dm.

!INPFIL &OUT(tem1)

BHID

A

16

XCOLLAR



YCOLLAR

ZCOLLAR

LARGO

OK

\$ptco#

!MGSORT &IN(tem1),&OUT(collar),*KEY1(BHID),@ORDER=1.0

#

=====

#

=====

crea archivo leyes.dm.

!INPFIL &OUT(tem2)

BHID

A

16



FROM

TO

CUT

CUSF

CUSC

*

OK

\$ptly#

!MGSORT

&IN(tem2),&OUT(leyes),*KEY1(BHID),*KEY2(FROM),*KEY3(TO),@ORDER=1.0

#

=====

#

=====

borra archivos temporales.

!DELETE &IN(tem1)

!DELETE &IN(tem2)

#

=====

#

=====

Genera el archivo de pozos de tronadura

!HOLES3D &COLLAR(collar),&SAMPLE1(leyes),

&OUT(TEM3),&ERRORS(errores),*BHID(BHID),*XCOLLAR(XCOLLAR),

```
*YCOLLAR(YCOLLAR),*ZCOLLAR(ZCOLLAR),*FROM(FROM),*TO(TO),  
@ENDPOINT=0.0
```

```
# orden ascendente de archivo TEMDAM.dtm por BHID, FROM, TO.
```

```
!MGSORT  
&IN(tem3),&OUT(tem4),*KEY1(BHID),*KEY2(FROM),*KEY3(TO),@ORDER=1.0
```

```
!EXTRA &IN(tem4),&OUT($dh_pt#),@APPROX=0.0
```

```
BANCO=INT((Z/10))*10
```

```
GO
```

```
# borra archivos temporales
```

```
!DELETE &IN(tem3)
```

```
!DELETE &IN(tem4)
```

```
!prompt
```

```
0*****
```

```
0
```

```
0 se ha creado el archivo datamine de pozos de tronadura: $dh_pt#
```

```
0
```

```
0*****
```

```
!pause @delay=5
```

```
!VARSAVE SepDisp_cusf.var,@MERGE=1
```

```
#!END
```

```
#####
```

```
#####
```

#!START 02 Genera el prototipo para las celdas dentro del perimetro

#

=====

Define Variables

#

=====

!LET \$bnc# = 3310

!LET \$stdp# = 'st_disp_3310-15sa'

#

=====

Load Substitution Variables File

#

=====

!SYSFILE \$exists1#=SepDisp_cusf.var



!IF \$exists1#=1,THEN

!VARLOAD SepDisp_cusf.var, @MERGE=1

!ENDIF

!PROMPT

2

0 Macro para separar disparos

0

0

0 INPUT FILE: PERIMETRO DEL DISPARO

0

0 Corresponde al archivo importado que ya debe estar en datamine

0 y solo es el borde del disparo

0

0 Ingrese el nombre del archivo de STRING del disparo (20 caracteres máximo)

0

0 que se encuentra en el banco \$bnc#

0

1 archivo de string del disparo [\$stdp#] ==> '\$stdp#',A,20

1 ingrese el banco [\$bnc#] ==> '\$bnc#',n

0

!PROMPT

2

0

0 disparo [\$stdp#]

0 banco [\$bnc#]

0

0

!SETVAL &IN(\$stdp#),&OUT(\$stdp#),

@MULTIFLD=0.0

ZP

\$bnc#

!STATS &IN(\$stdp#),&OUT(_st1),*F1(XP),*F2(YP),

@KEYSORT=1.0,@PCNTILES=0.0,@SORTOUT=1.0

!FILE \$file1#=_st1,\$numrecs1#=recs

!IF \$file1#=1, THEN



!FIELD
\$file2#=_st1,\$recnum1#=1,\$minx#=MINIMUM,\$maxx#=MAXIMUM,\$rangx#=RANGE

!FIELD
\$file3#=_st1,\$recnum1#=2,\$miny#=MINIMUM,\$maxy#=MAXIMUM,\$rangy#=RANGE

!LET \$XMORIG# = {int(\$minx#/10)*10-10}

!LET \$YMORIG# = {int(\$miny#/10)*10-10}

!LET \$ZMORIG# = \$bnc#

!LET \$NX# = {int(\$rangx#)+20}

!LET \$NY# = {int(\$rangy#)+20}

!LET \$NZ# = 10

!PROMPT

0

0

0 X Model Origin: \$XMORIG#

0 Y Model Origin: \$YMORIG#

0 Z Model Origin: \$ZMORIG#

0

0 X Cell Size: 1

0 Y Cell Size: 1

0 Z Cell Size: 10

0

0 X No Cells: \$NX#

0 Y No Cells: \$NY#

0 Z No Cells: 10

!ELSE

!PROMPT



0 No se puede crear el prototipo ...

0 chequee el perimetro

!ENDIF

!PROTOM &OUT(md_prot_disp),@ROTMOD=0.0

n

Y

\$XMORIG#

\$YMORIG#

\$ZMORIG#

1

1

1

\$NX#

\$NY#

\$NZ#



!prompt

0*****

0

0 se ha creado el archivo datamine prototipo de celdas: md_prot_disp

0

0*****

!VARSAVE SepDisp_cusf.var,@MERGE=1

!END

#####

#####

!START 03 Genera modelo base para separar disparo

#

=====

Define Variables

#

=====

!LET \$L1# = 0.25

!LET \$L2# = 0.40

!LET \$L3# = 0.50

!LET \$L4# = 0.80



!LET \$indl1# = INDL1

!LET \$indl2# = INDL2

!LET \$indl3# = INDL3

!LET \$indl4# = INDL4

!LET \$stdp# = 'st_disp_3310-15sa'

#

=====

Load Substitution Variables File

#

=====

!SYSFILE \$exists1#=SepDisp_cusf.var

!IF \$exists1#=1,THEN

!VARLOAD SepDisp_cusf.var, @MERGE=1

!ENDIF

!PROMPT

2

0 Macro para separar disparos

0

0

0 INPUT DATA: LEYES DE CORTE

0 PERIMETRO DEL DISPARO

0

0

0

0 Ingrese el nombre del archivo de STRING del disparo (20 caracteres máximo)

0

0

1 archivo de string del disparo [\$stdp#] ==> '\$stdp#',A,20

0

1 archivo de POZOS de tronadura [\$dh_pt#] ==> '\$dh_pt#',A,20

0



```

0
0  LEYES DE CORTE PARA SEPARAR DISPARO
0  =====
0
0  Esteril Rango 01 : [0 - $L1#[
0      Rango 02 : [$L1# - $L2#[
0      Rango 03 : [$L2# - $L3#[
0      Rango 04 : [$L3# - $L4#[
0      Rango 05 : [$L4# - Máx
0
0
1 ingrese ley Limite SUPERIOR Rango01 0 - [$L1#] ==> '$L1#',n
0
1 ingrese ley Limite SUPERIOR Rango02 $L1# - [$L2#] ==> '$L2#',n
0
1 ingrese ley Limite SUPERIOR Rango03 $L2# - [$L3#] ==> '$L3#',n
0
1 ingrese ley Limite SUPERIOR Rango03 $L3# - [$L4#] ==> '$L4#',n
0

!PROMPT
2
0  LEYES DE CORTE PARA SEPARAR DISPARO INGRESADAS
0  =====
0
0  Esteril Rango 01 : [0 - $L1#[
0      Rango 02 : [$L1# - $L2#[
0      Rango 03 : [$L2# - $L3#[
0      Rango 04 : [$L3# - $L4#[
0      Rango 05 : [$L4# - Máx

```

0

0

1 Ingrese nombre del archivo de salida [\$mdout#] ==> '\$mdout#',a,20

0

**!PERFIL &PROTO(md_prot_disp),&PERIMIN(\$stdp#),
&MODEL(md_tem_00),@MODE=0.0,@DPLUS=10.0,@DMINUS=0.0,
@PLANE='XY ',@ZONE=0.0,@OPTIMISE=2.0,@FULLCELL=0.0,
@XSUBCELL=1.0,@YSUBCELL=1.0,@ZSUBCELL=1.0,@RESOL=0.0,
@OVCHECK=1.0,@CHECKROT=1.0**

!MGSORT &IN(md_tem_00),&OUT(md_tem_01),*KEY1(IJK),@ORDER=1.0



!EXTRA &IN(\$dh_pt#),&OUT(dh_pt_tem00),@APPROX=0.0

\$indl1#=0

\$indl2#=0

\$indl3#=0

\$indl4#=0

SEPRO=1

IF(CUSF>=\$L4#)

\$indl1#=1

\$indl2#=1

\$indl3#=1

\$indl4#=1

SEPRO=5

ELSEIF(CUSF>=\$L3#)

\$indl1#=1

\$indl2#=1

\$indl3#=1

SEPRO=4

ELSEIF(CUSF>=\$L2#)

\$indl1#=1

\$indl2#=1

SEPRO=3

ELSEIF(CUSF>=\$L1#)

\$indl1#=1

SEPRO=2

END

GO

**!ESTIMA &PROTO(md_prot_disp),&IN(dh_pt_tem00),&SRCPARM(pars_pro),
&ESTPARM(pare_pro),&MODEL(md_tem_02),*X(X),*Y(Y),*Z(Z),
*LENGTH_F(LENGTH),@DISCMETH=1.0,@XPOINTS=3.0,@YPOINTS=3.0,
@ZPOINTS=3.0,@XDSPACE=1.0,@YDSPACE=1.0,@ZDSPACE=1.0,
@PARENT=1.0,@MINDISC=1.0,@COPYVAL=0.0,@FVALTYPE=1.0,
@FSTEP=1.0,@XSUBCELL=1.0,
@YSUBCELL=1.0,@ZSUBCELL=1.0,@LINKMODE=3.0,@UCSAMODE=2.0,
@UCSBMODE=3.0,@UCSCMODE=2.0,@UCSALIMT=0.0,@PLANE=1.0,
@TOLRNC=0.0,@ORGTAG=-,@GRMETHOD=3.0,@PGFIELDS=0.0,
@ORDER=3.0,@DYANKR=1.0**

!EXTRA &IN(md_tem_02),&OUT(\$mdout#),@APPROX=0.0

SEPRO=1

IF(\$indl4#>=0.5)

SEPRO=5

ELSEIF(\$indl3#>=0.5)

SEPRO=4

ELSEIF(\$indl2#>=0.5)

SEPRO=3

ELSEIF(\$indl1#>=0.5)

SEPRO=2

END

erase(\$indl1#,\$indl2#,\$indl3#,\$indl4#)

GO

borra archivos temporales

!DELETE &IN(md_tem_00)

!DELETE &IN(md_tem_01)

!DELETE &IN(md_tem_02)

!prompt

2

0*****

0

0 archivo base para separación de disparo: \$mdout#

0

0*****

0 VALORES DEL CAMPO "SEPRO" EN EL MODELO PROBABILISTICO:

0 =====

0

0 Esteril SEPRO = 1 ---> Rango 01 : [0 - \$L1#[

0 SEPRO = 2 ---> Rango 02 : [\$L1# - \$L2#[

0 SEPRO = 3 ---> Rango 03 : [\$L2# - \$L3#[

0 SEPRO = 4 ---> Rango 04 : [\$L3# - \$L4#[

0 SEPRO = 5 ---> Rango 05 : [\$L4# - Máx

0

!VARSAVE SepDisp_cusf.var,@MERGE=1

```

!START
!PROMPT
2
0 =====
0  Ingresar variables de modelo LP
0 =====
0
0
0
0
0
0
1 Ingrese nombre del modelo de sep disp [$mdin#] ==> '$mdin#',a,20
0
1 Ingrese el nombre del archivo de salida [$mdf#] ==> '$mdf#',a,20
0
0
!SLIMOD  &PROTO($mdin#),&IN(mdsan2019),
        &OUT(mdtemp)

!MGSORT  &IN(mdtemp),&OUT(mdsan2019sep),@KEY1=XC,
        @KEY2=YC,@KEY3=ZC

!ADDMOD  &IN1($mdin#),&IN2(mdsan2019sep)
        &OUT($mdf#)

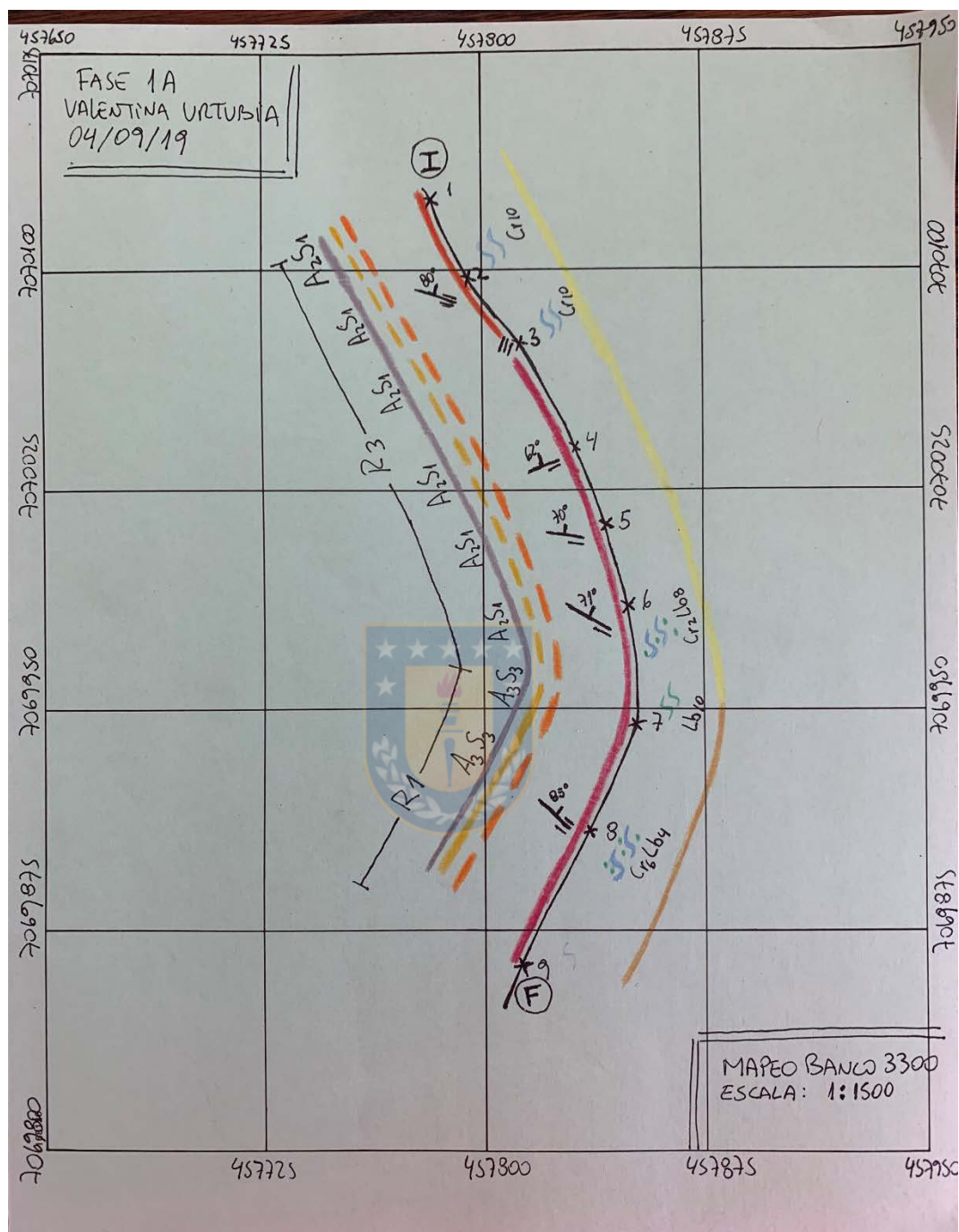
!DELETE &IN(mdtemp)

!VARSAVE SepDisp_cusf.var,@MERGE=1

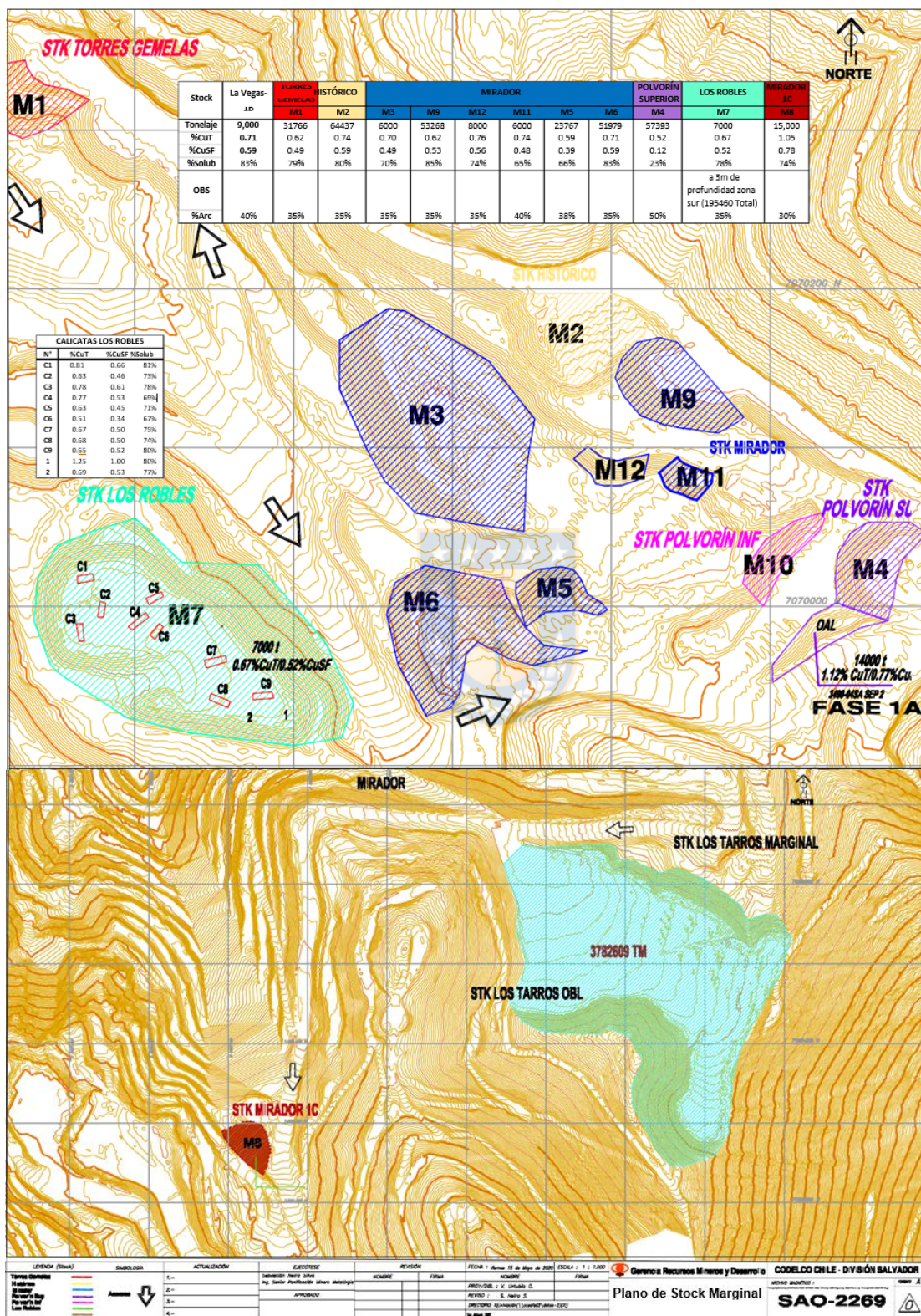
!END

```

ANEXO III. MAPEO DE BANCO EN CARTILLA.



ANEXO IV. MAPA DE STOCK MARGINALES MINA SAO.



- ENERO 2020

MIS	FECHA	IMPURIDADES SOLUBLES (CORRIE LIX)										SULFATACIÓN GLÓMULO										RECUPERACIONES KOLA																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		Ton/Dia	AgH ₂ O	NaCl	Na ₂ CO ₃	RS	Na ₂ HPO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaHSO ₄	Ton/dia E-12	AgH ₂ O	NaCl	Na ₂ CO ₃	RS	H ₂ (g/L)	H ₂ (g/L)	72hrs	96hrs	72hrs	96hrs	Dens	Tm ₅ /dia	Cabeza				Tonelada x Pila		Baño Cld		Baño Crd		% Recuperación Cld		% Recuperación Crd																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
																								%Cl	%Na ₂ CO ₃	%Na ₂ SO ₄	%RS	Pila 2	Pila 3	Pila 3	%Cl	%Na ₂ CO ₃	%Na ₂ SO ₄	%RS	%Cl	%Na ₂ CO ₃	%Na ₂ SO ₄	%RS	%Cl	%Na ₂ CO ₃	%Na ₂ SO ₄	%RS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
ENERO	01-01-2020	5,001	34	1,083	0.846	78	0,05	0,13	0,54	0,27	5001	35	1,080	0.846	78	1,18	0,68	44	46	54	80	1,46	5,001	1,081	0.846	78	0,001				0,476	0,376	0,181	0,071	88%	61%	81%	92%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	02-01-2020	6,620	35	1,322	1,072	81	0,04	0,09	0,59	0,33	6620	35	1,322	1,072	81	1,23	0,87	40	43	49	53	1,41	6,620	1,322	1,073	81	0,001				0,393	0,298	0,182	0,075	70%	76%	80%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	03-01-2020	8,380	35	1,171	1,943	81	0,04	0,13	0,55	0,38	8380	35	1,171	1,943	81	1,23	1,08	47	48	58	60	1,18	8,380	1,171	1,943	81	0,001				0,348	0,272	0,181	0,075	70%	77%	80%	92%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	04-01-2020	10,401	35	1,159	0.889	77	0,03	0,10	0,38	0,25	10401	35	1,159	0.889	77	1,48	0,86	47	52	62	68	1,36	10,401	1,159	0.889	77	0,001				0,354	0,226	0,154	0,060	70%	75%	81%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	05-01-2020	6,004	34	1,159	0.969	83	0,02	0,11	0,35	0,29	6004	35	1,159	0.969	83	1,22	0,92	50	51	62	63	1,18	6,004	1,159	0.968	83	0,001				0,335	0,190	0,209	0,063	72%	80%	88%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	06-01-2020	4,050	34	1,159	0.889	77	0,02	0,10	0,38	0,25	4050	35	1,159	0.889	77	1,23	0,89	79	80	89	90	1,46	4,050	1,159	0.889	77	0,001				0,402	0,299	0,190	0,066	72%	80%	88%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	07-01-2020	1,576	35	1,160	0.889	77	0,06	0,19	1,10	0,28	1576	35	1,160	0.889	77	0,73	0,46	49	49	64	64	1,24	1,576	1,160	0.888	77	0,001				0,323	0,166	0,219	0,066	70%	80%	90%	92%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	08-01-2020	2,999	35	1,140	0.850	80	0,09	0,22	0,82	0,30	2999	35	1,140	0.850	80	0,71	0,35	44	46	56	58	1,44	2,999	1,140	0.850	80	0,001				0,497	0,497	0,154	0,221	0,069	73%	82%	79%	92%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	09-01-2020	10,060	35	1,141	0.853	75	0,09	0,13	0,82	0,29	10060	35	1,141	0.853	75	0,39	0,33	38	39	50	52	1,38	10,060	1,141	0.854	75	0,001				0,176	0,140	0,222	0,071	80%	81%	82%	92%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	10-01-2020	8,810	35	1,233	0.970	79	0,17	0,44	0,62	0,21	8810	35	1,233	0.970	79	0,62	0,49	36	40	46	51	1,36	8,810	1,234	0,971	79	0,001				0,230	0,105	0,191	0,071	81%	80%	89%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	11-01-2020	6,811	35	1,239	0.958	79	0,05	0,19	0,68	0,28	6811	35	1,239	0.958	79	0,80	0,71	37	41	48	52	1,34	6,811	1,239	0.958	79	0,001				0,242	0,120	0,179	0,071	80%	87%	86%	93%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
	12-01-2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- FEBRERO 2020

ALIMENTACIÓN LÍNEA ÓXIDOS REAL																																		
MES	FECHA	TONELAJE	LEYES (%)			LITOLÓGICA (%)										MINERALOGÍA (%)										ALTERACIONES (%)				GANGA (%)				
			CuTn	CuS ₂	Razón Solubilidad	Pórfido Base	Brecha Metased	Crisóstoma	Brochanti	Pseudomalaquita	Malachita	Arcillas Carbon.	Azurita	Óxidos Orgánicos	Calcopirita/Bornita	Calcosina/Covellina	Pinita	Argilica Sericita + clorita + feldespato	Clorita Sericita + covellina + calcopirita	Política Biotita + azurita + magnetita + hematita + pirrotina + prehnita	Quarzita relictos de cuarzo + sericitización + epidotización + cloritización + calcificación + calcopiritización + magnetitización + hematitización + pirrotitización + prehnitización	epidota + clorita + actinolita + hornblenda + pirocloro + prehnita	Sericita Clorita Calcita	Arcillas blancas (siluria)/Caolín (sparsite)	Limonita Goethita Magnetita Hematita	Óxidos de manganeso								
FEBRERO	01-02-2020	11024	1.28	109	82%	76	0	24	14	8	15	1	27	1	21	0	5	7	36	39	1	5	16	14	8	1	23	21	0	0	14	11		
	05-02-2020	11033	1.06	0.87	80%	60	0	40	16	6	12	0	35	0	23	3	2	7	41	27	0	5	25	13	19	2	29	21	9	0	9	9		
	11-02-2020	11197	0.96	0.79	78%	55	0	45	16	5	11	0	33	0	24	4	1	7	42	25	0	5	29	11	5	2	18	20	8	0	5	9		
	04-02-2020	11376	0.99	0.79	80%	68	10	22	19	5	15	1	26	0	21	4	5	7	36	40	1	2	23	13	15	2	35	21	11	0	10	10		
	05-02-2020	5395	1.09	0.80	83%	80	0	20	14	8	9	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	04-02-2020	2906	1.09	0.60	83%	80	0	20	14	8	19	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	02-02-2020	10517	1.09	0.60	83%	80	0	20	14	8	19	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	08-02-2020	11580	1.01	0.86	83%	77	0	23	15	8	16	1	28	0	21	4	4	6	39	37	4	3	18	10	4	2	25	25	12	0	13	9		
	09-02-2020	12687	0.98	0.81	82%	75	0	25	15	8	15	1	24	1	21	3	4	7	38	36	3	4	20	10	7	2	24	24	11	0	13	9		
	04-01-2020	4451	1.09	0.82	83%	79	0	21	14	8	18	1	24	0	20	19	5	5	38	37	4	2	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	11-02-2020	3553	1.09	0.80	83%	80	0	20	14	8	19	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	12-02-2020	220	1.09	0.80	83%	80	0	20	14	8	19	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	12-02-2020	10227	1.09	0.80	83%	80	0	20	14	8	19	5	20	0	19	5	5	5	38	40	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	9		
	14-02-2020	12256	1.11	0.92	82%	82	10	15	15	1	15	1	25	0	19	3	5	5	37	41	5	0	17	10	2	2	25	27	13	0	12	10		
	15-02-2020	12046	1.15	0.96	86%	85	0	15	17	8	14	1	25	0	19	3	5	5	37	41	5	0	17	10	1	2	24	27	13	0	12	10		
	16-02-2020	13295	1.09	0.88	81%	82	0	18	19	7	15	1	21	0	21	2	4	6	38	35	3	4	20	11	5	2	21	25	13	0	13	11		
	22-02-2020	7723	1.23	0.98	85%	90	0	10	22	9	16	1	22	0	20	0	5	5	38	40	5	1	17	11	3	2	22	26	13	0	13	12		
	19-02-2020	4600	1.07	0.85	80%	86	0	14	18	8	16	1	24	1	20	0	5	5	38	40	5	1	17	11	3	2	22	24	12	0	14	11		
	19-02-2020	6926	1.22	0.98	90%	90	0	10	21	8	16	2	23	0	20	0	5	5	38	40	5	0	17	11	0	2	23	26	13	0	13	12		
	20-02-2020	9605	1.22	0.98	90%	90	0	10	21	8	16	2	23	0	20	0	5	5	38	40	5	0	17	11	0	2	23	26	13	0	13	12		
21-02-2020	7979	1.18	0.95	90%	90	0	11	21	8	16	1	23	0	20	4	5	5	38	38	5	1	18	11	1	2	22	25	13	0	13	12			
22-02-2020	7540	1.21	0.98	82%	90	0	10	21	8	16	3	23	0	20	0	5	5	38	40	5	1	16	12	1	2	24	25	13	0	13	12			
23-02-2020	6880	1.17	0.99	85%	90	0	10	23	9	16	1	22	0	19	1	5	5	37	40	5	4	14	15	2	2	25	23	11	0	12	11			
24-02-2020	7440	1.17	0.95	82%	90	0	10	23	9	16	1	22	0	19	1	5	5	37	40	5	4	14	15	2	2	25	23	11	0	12	11			
25-02-2020	7279	1.11	0.95	84%	88	0	12	22	9	16	1	22	0	19	1	5	5	37	40	5	4	14	14	4	2	26	23	11	0	12	11			
26-02-2020	6607	0.76	0.76	81%	74	0	16	16	8	15	3	25	2	20	0	4	6	37	36	2	3	23	11	12	2	22	21	10	0	13	8			
27-02-2020	4861	1.14	0.96	85%	87	0	13	20	8	15	3	22	0	19	2	5	5	37	40	5	3	15	13	1	2	24	23	12	0	12	11			
28-02-2020																																		
29-02-2020																																		
ACUMULADO FEBRERO		225568	1.11	0.91	82%	80	1	20	17	8	16	3	23	0	20	3	4	6	38	38	4	2	19	11	5	2	23	24	12	0	12	10		

[illegible]

Figure 1: A schematic diagram of the experimental setup for measuring the spin Hall effect of light. The setup includes a laser source, a half-wave plate (HWP), a polarizing beam splitter (PBS), a half-wave plate (HWP), a quarter-wave plate (QWP), a lens (L), a circular aperture (A), a lens (F), and a 2D array of detectors. The diagram is labeled with 'HWP', 'PBS', 'L', 'A', 'F', 'D', and '2D array of detectors'.

ANEXO VII. GRÁFICOS DE ANÁLISIS GEOMETALÚRGICO.

