



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



**DEFINICIÓN, OPTIMIZACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE  
ESTÁNDARES DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN  
GEOLÓGICA, DIVISIÓN SALVADOR, CODELCO.  
REGIÓN DE ATACAMA, CHILE.**

**Memoria para optar al Título de Geóloga**

**Catalina Javiera Larrère Cortés**

**Profesor Patrocinante: MSc. Abraham Elías González Martínez**  
**Profesores Comisión: MSc. Liubow González Martínez**  
**Sr. Ramiro Ulises Bonilla Parra**

**Concepción, 2025**

## **Dedicatoria**

A Ada, Ángela y Tomás Simón,

A Carlos,

A mis amigos.

# ÍNDICE

## RESUMEN

Página

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	2
<b>1.1.1. Objetivo general</b> .....	2
<b>1.1.2. Objetivos específicos</b> .....	2
<b>1.1.3. Alcances del estudio</b> .....	2
<b>1.2. Ubicación y accesos</b> .....	3
<b>1.3. Metodología de trabajo</b> .....	4
<b>1.4. Trabajos anteriores</b> .....	5
<b>1.5. Agradecimientos</b> .....	16
<b>2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	17
<b>2.1. Generalidades</b> .....	17
<b>2.2. Unidades intrusivas y volcánicas</b> .....	18
<b>2.2.1. Batolito Sierra Castillo (Complejo Plutónico Sierra de Doña Inés Chica)</b> .....	18
<b>2.2.2. Granitoides de Montandón</b> .....	19
<b>2.2.3. Filones Hipabisales Andesítico-Basálticos</b> .....	19
<b>2.2.4. Formación El Salvador</b> .....	19
<b>2.2.5. Estratos de Cerro Valiente</b> .....	20
<b>2.2.6. Complejo de Domos Riolíticos y Riodacíticos del Cerro Indio Muerto</b> .....	21
<b>2.2.7. Domo Riolítico de Potrerillos</b> .....	22
<b>2.2.8. Monzonitas Cuarcíferas, Monzodioritas y Pórfidos Monzoníticos de La Cantera</b> .....	22
<b>2.2.9. Cuerpos Hipabisales Dacíticos y Daciandesíticos Porfídicos de Piroxeno y Biotita de la Sierra Caballo Muerto y Campamento El Salvador</b> .....	22
<b>2.2.10. Cuerpos Hipabisales Andesíticos, Daciandesíticos Porfídicos y Microdioríticos</b> .....	22
<b>2.2.11. Complejo de Pórfidos Cupríferos de El Salvador y Potrerillos</b> .....	23
2.2.11.1. Distrito Indio Muerto.....	23
2.2.11.2. Distrito Potrerillos .....	26
<b>2.2.12. Diques Riodacíticos</b> .....	30

2.3. Unidades sedimentarias .....	30
2.3.1. Formación Quebrada del Salitre.....	30
2.3.2. Formación Montandón .....	31
2.3.3. Formación Asientos .....	32
2.3.4. Formación Sierra Fraga.....	33
2.3.5. Estratos de Quebrada Vicuña.....	34
2.3.6. Formación Pedernales.....	35
2.3.7. Formación Quebrada Monardes.....	36
2.3.8. Formación Agua Helada .....	37
2.3.9. Formación Llanta .....	38
2.4. Depósitos semiconsolidados y no consolidados .....	38
2.4.1. Gravas de Atacama .....	38
2.4.2. Depósitos Aluviales Antiguos.....	39
2.4.3. Depósitos Aluviales y Coluviales actuales .....	39
<b>3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>41</b>
3.1. Geomorfología regional.....	¡Error! Marcador no definido.
<b>4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL ÁREA DE GEOLOGÍA .....</b>	<b>45</b>
4.1. Generalidades .....	45
4.2. Procedimientos para el almacenamiento de la información geológica .....	46
4.3. Detalle de las tareas de geología de producción (Mina SAO).....	49
4.3.1. Toma de información geológica en terreno .....	49
4.3.1.2. Mapeo de Pozos de Tronadura .....	53
4.3.1.3. Mapeo de Bancos .....	56
4.3.2. Procesamiento de datos en gabinete .....	57
4.3.3. QA/QC .....	59
<b>5. MEJORES PRÁCTICAS EN GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA.....</b>	<b>62</b>
5.1. Marco de Gobernanza para la Integridad de los Datos Geológicos.....	63
5.1.1. El Mandato de Calidad: Cómo los Códigos de Reporte Internacionales Impulsan los Estándares de Gestión de Datos .....	64

5.1.2. El Rol de la Persona Calificada (QP) como Garante Último de la Verificación de Datos .....	65
5.1.3. El Contexto Chileno: Alineación con SERNAGEOMIN y el Código CH 20235 .	67
5.2. Prácticas Fundamentales en la Adquisición y Estandarización de Datos Geológicos	72
5.2.1. Del Papel a los Píxeles: Principios del registro geológico estandarizado para la Repetibilidad y Correlación.....	72
5.2.2. Diseño de un Léxico Geológico Inequívoco: La Arquitectura de Sistemas de Codificación Jerárquicos y Mnemotécnicos.....	74
5.2.3. El Dilema de "Agrupar vs. Dividir": Un Enfoque Pragmático para Equilibrar el Detalle Geológico con la Usabilidad del Modelo.....	79
5.3. Protocolo Sistemático para la Curación y Validación de Datos.....	80
5.3.1. La Auditoría de la Base de Datos: Un Enfoque Forense para Reconciliar y Validar Datos Heredados.....	80
5.3.2. Aseguramiento de la Calidad (QA) y Control de Calidad (QC): Una Relación Simbiótica.....	82
5.3.3. Un Flujo de Trabajo de Validación de Múltiples Etapas: Del Campo a la Base de Datos Final .....	84
5.4. Arquitectura de un Sistema de Información Geológica Auditable y Seguro.....	89
5.4.1. Principios Fundamentales de un Sistema Auditable: Procedencia de Datos, Linaje y el Rastro de Auditoría Inmutable .....	89
5.4.2. Evaluación de la Arquitectura del Sistema: Soluciones Comerciales (COTS) vs. Soluciones Internas.....	91
5.4.3. El Entorno de Datos Moderno: "Fuente Única de Verdad" Centralizada a través de Plataformas en la Nube.....	95
5.4.5. Salvaguardando el Activo: Protocolos para el Control de Versiones, Seguridad y Recuperación ante Desastres .....	96
<b>6. DEFINICIÓN DE ESTÁNDAR DIVISIONAL.....</b>	<b>98</b>
6.1. Depuración de base de datos existente.....	98
6.2. Actualización de la cartilla de mapeo .....	106
6.3. Modificación forma de almacenamiento de geología .....	107
6.4. Cartilla de mapeo según nuevo estándar almacenamiento información geológica..	109

6.5. Cartilla offline de mapeo XILAB3D .....	110
<b>7. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN Y EL FACTOR HUMANO ....</b>	<b>114</b>
7.1. Superando Obstáculos Prácticos: La Interacción entre Personas, Procesos e Infraestructura .....	114
7.2. El Geólogo como Custodio de Datos: Cerrando la Brecha entre la Observación de Campo y la Ciencia de Datos .....	116
7.3. Un Marco para la Mejora Continua y la Evolución del Sistema .....	117
<b>8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>119</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>133</b>

<b>Índice de figuras</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Mapa de ubicación Mina San Antonio y localidad de Potrerillos.....	3
Figura 2. Mapa geológico regional y sección distrital.....	17
Figura 3. Unidades morfológicas de la región de Atacama. Borgel (1983). .....	42
Figura 4: Extracto de ADM <i>AcQuire GIM Suite</i> . .....	48
Figura 5: Relaciones de tablas del ADM. <i>Software AcQuire GIM Suite</i> . .....	49
Figura 6. Corte del cono de extracción de la tronadura.....	51
Figura 7: Esquema ideal de muestreo de pozos de tronadura.....	52
Figura 8. Máquina perforadora posicionada en malla de tronadura. ....	53
Figura 9. Cartilla de mapeo en interfaz de <i>Software AcQuire GIM Suite</i> . .....	54
Figura 10. Bancos de mapeo de 5 m de altura, mina SAO.....	56
Figura 11. Diagrama de flujo de responsabilidad desde los Códigos Internacionales hasta la necesidad de una base de datos robusta.....	69
Figura 12: Flujo de Trabajo del Protocolo de Validación de Datos en Múltiples Etapas.....	86
Figura 13: acQuire Data Model v.1.0.....	100
Figura 14: Cantidad de registros de HoleID por proyecto. ....	101
Figura 15: Registros de coordenadas en tabla principal HOLELOCATION.....	102
Figura 16: Detalle errores GEOINTERVAL.....	103

Figura 17: Detalle de muestras con Gap.....	104
Figura 18: Gráfico comparación de Geointervalos por proyecto ingresado.....	105
Figura 19: Tendencia de errores por proyecto.....	105
Figura 20: Cartilla de mapeo actualizada. ....	106
Figura 21: Método de almacenamiento de información geológica. ....	108
Figura 22: Objeto de Geología con variables nuevas. ....	109
Figura 23. Cartilla de mapeo actualizada con nueva metodología de almacenamiento. ....	110
Figura 24. Flujograma interoperabilidad Xilab, acQuire .....	112
Figura 25: Cartilla de Pozos de Tronadura Xilab3D. ....	112
Figura 26: Vista de mapeo de sondajes en Xilab.....	113

## Índice de tablas

## Página

Tabla 1. Tabla "HOLESURVEY" del ADM.....	47
Tabla 2. Parámetros para la cubicación de polígonos. ....	58
Tabla 3. Resumen Comparativo de los Requisitos de Verificación de Datos en NI 43-101, JORC y CH 20235.....	70
Tabla 4. Ejemplificación de aplicación de códigos para un yacimiento de tipo pórfido de cobre.	76
Tabla 5. Protocolo de Validación de Datos por Fases con Comprobaciones y Responsabilidades Específicas. ....	87
Tabla 6. Matriz de Decisión para Sistemas de Base de Datos Geológicos COTS vs. Internos.....	93
Tabla 7. Tabla de Proyectos de División Salvador ingresados a acQuire .....	99

## RESUMEN

La División Salvador de CODELCO, que opera la mina San Antonio Óxidos (SAO) y se prepara para el Proyecto Rajo Inca (proyectado a 5.000t de Cu fino/mes), enfrentaba problemas críticos en la gestión de su información geológica.

Auditorías de COCHILCO (2012 y 2019) identificaron una baja confiabilidad de los modelos geológicos debido a inconsistencias en el sistema de conciliación y errores en la estimación de recursos. Además, la Unidad Geológica Informática estaba estancada por la falta de personal calificado para usar el sistema corporativo AcQuire GIM Suite.

El Objetivo General fue generar un Estándar Divisional de Gestión de la Información Geológica que garantice la integridad de los datos, un requisito estratégico y legal indispensable para el cumplimiento de códigos de reporte como el chileno CH 20235.

La auditoría de la base de datos AcQuire reveló que no era auditable debido a una alta cantidad de datos inconsistentes, fallos en cargas masivas y la falta de un estándar. Se encontró un error total del 49.76% en el registro del tipo de pozo (*HoleType*) debido a la codificación incorrecta de muestras puntuales (*GEOCHEM*) como perforaciones (*DRILLHOLE*).

Como resultado del análisis y para abordar las mejores prácticas de la industria, se definieron e implementaron las siguientes acciones clave:

- 1) Depuración de la base de datos y corrección de los tipos de pozo incorrectos.
- 2) Estandarización de los códigos de mapeo geológico (Litología, Alteración, Ganga y Mineralización).
- 3) Actualización de la cartilla de mapeo para permitir registrar múltiples categorías (ej. hasta 6 minerales de ganga), crucial para gestionar el consumo de ácido en la planta de lixiviación.
- 4) Modificación del almacenamiento de datos en AcQuire, pasando de columnas intercambiables a variables independientes para cada especie mineral, optimizando la extracción de datos.
- 5) Creación de una cartilla offline en Xilab3D para el mapeo de pozos de tronadura, resolviendo problemas de baja conectividad en faena y mejorando la eficiencia.

La implementación de este sistema robusto de gestión de información se considera el medio esencial para lograr una mayor confianza geológica, reducir el riesgo del proyecto y asegurar la defendibilidad legal y financiera de los activos mineros

## 1. INTRODUCCIÓN

La Corporación Nacional del Cobre de Chile (CODELCO) es una empresa chilena de carácter estatal, reconocida a nivel mundial como una de las principales productoras de cobre, cuya labor de exploración y explotación de recursos minerales se desarrolla en 7 divisiones: Chuquicamata, Ministro Hales, Radomiro Tomic, Gabriela Mistral, Andina, El Teniente y Salvador, además de la Refinería Ventanas (CODELCO, 2024).

La División Salvador, ubicada en la comuna de Diego de Almagro, región de Atacama, inicia operaciones en 1959, desarrollando minería subterránea y, posteriormente, minería a rajo abierto. Consta de dos distritos: Distrito Indio Muerto y Distrito Potrerillos, este último a 62 km al sur de la ciudad de El Salvador.

Campañas de exploración al norte de la localidad de Potrerillos, en Mina Vieja, permiten la instalación de una mina subterránea y de rajo abierto en el yacimiento “El Salvador”. En la actualidad, la mina rajo abierto activa es San Antonio Óxidos (SAO), donde la Línea de Negocios de Óxidos (minerales oxidados, lixiviación) aporta alrededor de 1.900 toneladas de cobre fino al mes. Sin embargo, la Línea de Negocios de Sulfuros (minerales sulfurados, concentración) en la mina subterránea Inca está pronta a cerrar producción, por lo que surge el proyecto Rajo Inca, el cual, al pasar de mina subterránea a rajo abierto, pretende alargar su vida útil por ~40 años.

La situación de la Unidad Geológica Informática de la División Salvador se encuentra, a la fecha, estancada por la ausencia de personal calificado para realizar las tareas de codificación, ingreso y migración de datos hacia el sistema corporativo *Acquire GIM Suite*, para las tareas de muestreo y mapeo geológico de pozos de tronadura y de bancos y QA/QC. Debido a lo anterior, la Superintendencia de Geología y Geotecnia de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD), decide formar un equipo de Unidad Geológica de Información, cuyo objetivo es la creación de nuevos estándares de trabajo que se efectúen en la mina SAO, para ser implementadas de manera eficiente cuando el Proyecto Rajo Inca comience con las labores que requerirán metodologías que se adapten al volumen de negocio previsto (5.000t de Cu fino al mes).

En función de lo anterior, esta Memoria de Título comprende el análisis de la situación de la información geológica de la división, y consta de un Estudio del Arte de las Mejores Prácticas de la Corporación, definir un Estándar Divisional y diseñar los pasos a seguir para alcanzar dicho estándar. Este trabajo está enfocado en la Mina rajo abierto San Antonio Óxidos (SAO) y la Fase de *Pre-Stripping* del Proyecto Rajo Inca.

La realización de esta Memoria cuenta con el financiamiento de la empresa mineral nacional CODELCO, División Salvador, en la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD).

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

Generar un Estándar Divisional de Gestión de la Información Geológica que permita abordar las necesidades de División Salvador y el futuro proyecto Rajo Inca y que esté a la altura de las Mejores Prácticas de la Corporación y de la Industria.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Especificar Línea de Geoinformación actual y comprender los aspectos que pueden mejorar para la toma de datos geológicos y las ventajas que los sistemas estandarizados corporativos conllevan mediante el Estado del Arte.
  
- Identificar problemas urgentes de los profesionales mapeadores, desarrollar metodologías y soluciones a las dificultades emergentes.
  
- Verificar resultados óptimos en metodologías implementadas en el trabajo diario productivo a corto y mediano plazo.

### **1.1.3. Alcances del estudio**

Plantear estándares divisionales de la gestión de la información, toma de datos y verificar resultados de las metodologías implementadas, para ambos distritos de la División El Salvador.

## 1.2. Ubicación y accesos

La ciudad de El Salvador se ubica en la comuna de Diego de Almagro, provincia de Chañaral, región de Atacama. Esta funciona como centro de operaciones de la División Salvador y se encuentra a ~2.300 m s.n.m., a 1.100 km al norte de Santiago. Desde Copiapó, la ruta a seguir es C-17 hacia el norte, con dirección a la ciudad de Diego de Almagro, distancia de ~150 km. Posteriormente, acceder a la ruta C-13 con dirección este hacia la ciudad El Salvador, a 54 km de distancia ( $26^{\circ} 14' - 69^{\circ} 37'$ ). El distrito Indio Muerto ( $26^{\circ} 14' - 69^{\circ} 34'$ ) está distante unos 10 km al este de la ciudad El Salvador, y el distrito Potrerillos ( $26^{\circ} 26' - 69^{\circ} 29'$ ), específicamente la mina SAO, se encuentra a 62 km al sur de El Salvador, por la ruta C-13 (figura 1).

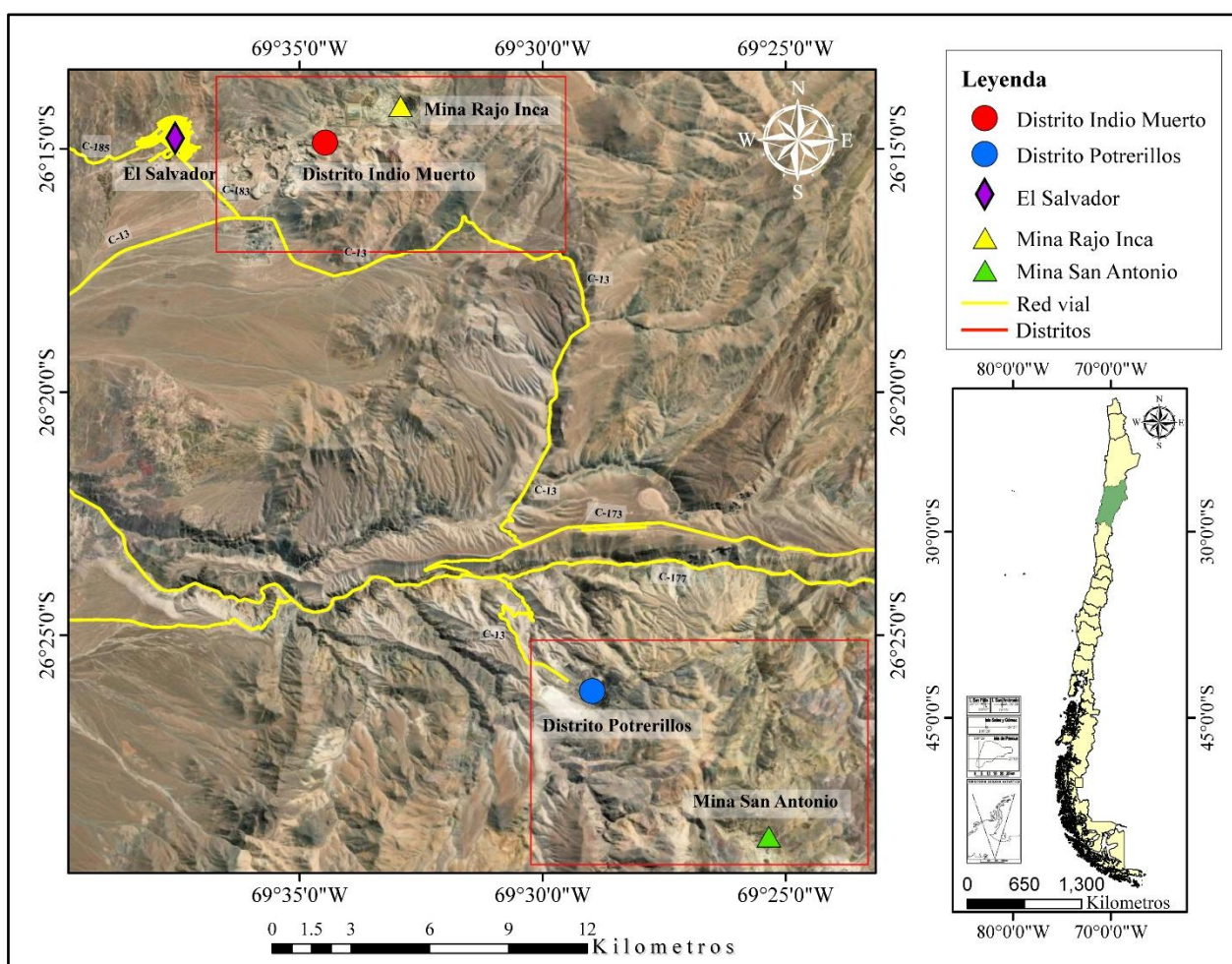


Figura 1. Mapa de ubicación Mina San Antonio y localidad de Potrerillos.

### 1.3. Metodología de trabajo

Para la realización de esta Memoria de Título, se contemplan las siguientes etapas:

**Etapas de gabinete I:** Esta etapa contempla la recopilación de información bibliográfica relacionada con la geología regional y local, para comprender la geología del yacimiento, el estado de la captura y almacenamiento de la información geológica. Los estudios geológicos del área de Potrerillos, El Salvador y sus distritos serán indispensables para la fase preliminar de obtención de una Línea de Base Geológica actualizada a la fecha.

**Etapas de terreno:** Esta etapa compromete una labor a mediano plazo, debido a que se requiere de visitas programadas a los sectores activos de la División Salvador para comprender los procesos y trabajos del Área de Geología en faena, las necesidades de los clientes y el estado de la gestión de información geológica de la división. A su vez, se deben programar reuniones con el personal responsable en las áreas de producción y operaciones, para obtener retroalimentación del trabajo diario e identificar las oportunidades de optimización en las tareas de geología de producción, como: mapeo geológico-geotécnico, análisis químicos y utilización de la información.

**Etapas de gabinete II:** Luego de las visitas a la faena y a las áreas de producción y operaciones, se pretende organizar la formación y consolidar el estudio de la industria para definir Mejores Prácticas. Se considera la solicitud de colaboración con otras divisiones y con Casa Matriz de CODELCO.

Habiendo establecido las Mejores Prácticas para la división, se define el Estándar Divisional y objetivos a corto, mediano y largo plazo. Además, se propone la conformación y liderazgo de un Equipo UGI (Unidad de Geo Información) que desarrolle y aplique un nuevo Estándar Divisional en una dinámica de Mejora Continua.

## 1.4. Trabajos anteriores

Harding (1920) describe en el boletín minero el desarrollo de la *Andes Copper Mining Company* en la localidad de Potrerillos, incluyendo importancia, accesos y estimación de las dimensiones del proyecto.

Marín (1920) analiza la actividad minera del cobre, asociado a la actividad de explotación en el Distrito Potrerillos, fundado entre 1918 y 1922.

Perry (1922) realiza uno de los primeros informes inédito a cargo de la *Andes Copper Mining Company*, los cuales revela aspectos geológicos favorables de Campamento Antiguo (Distrito Indio Muerto), recomendando estudiar en detalle el área.

Parson (1938) plantea que el reconocimiento geológico del Distrito Potrerillos comienza en 1913, y de acuerdo a los cálculos del yacimiento, la cubicación realizada establecía 650.000.000 toneladas de material con un 3% de ley de cobre.

Mulchay y Stephens (1945) efectúan un levantamiento geológico de la División Indio Muerto, a una escala 1:5.000 (*Anaconda Copper Company*). El informe fue desalentador con respecto a la vida útil de la Colina de Cobre y Quebrada Turquesa, pero recomendó hacer más estudios en Campamento Antiguo. En 1947 se inician las operaciones de exploración en el Distrito Indio Muerto.

Swayne y Trask (1960) describen las características geológicas y mineralizaciones en el Distrito Indio Muerto, desarrollando un mapa geológico.

Gálvez (1973) recopila la información geológica existente en Distrito Indio Muerto y actualiza el mapa geológico. En el sector Campamento Antiguo, el mapa tiene una escala 1:2.000.

Gustafson y Hunt (1975) explican el origen, evolución y características del pórfido cuprífero ubicado en el Distrito Indio Muerto, al norte de El Salvador. Describen la ocurrencia de los intrusivos, mineralización, alteraciones y además, proponen un modelo genético.

Field y Gustafson (1976) hacen un análisis de isótopos de azufre de muestras obtenidas del pórfido cuprífero en El Salvador, sugiriendo que la fugacidad de oxígeno y el pH actúan como variables controladas durante la mineralización.

Mercado (1978) elabora un mapa geológico preliminar “Hojas Chañaral y Potrerillos”, en una escala 1:250.000, abarcando entre los 26°-27° latitud sur y entre los 69° longitud oeste y la costa del océano Pacífico.

Müller y Perelló (1982) redactan 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 8 sondajes. Los modelos finales deben realizarse en *software Leapfrog* y los de largo plazo deben ser oficializados en *Leapfrog Central*.

Fuster (1983) estudia la distribución del molibdeno en el yacimiento El Salvador, realizando una caracterización detallada de las vetillas que contienen esta mena.

Godoy (1983) actualiza la información y mapa geológico del yacimiento Campamento Antiguo, a una escala de 1:2.000. Caracteriza litología, procesos de alteración, mineralización y modelo genético del Distrito Indio Muerto.

Díaz y Sepúlveda (1988) realizan un levantamiento geológico abarcando los sectores de Campamento Antiguo y Cerro Pelado (Distrito Indio Muerto), compilando la información presente, y estimando potencial económico. Mencionan que la mena corresponde a minerales de cobre y subproductos como el oro, plata y molibdeno. Estos autores integran herramientas geofísicas y estudios metalúrgicos.

Naranjo y Puig (1984) diseñan un mapa geológico regional del sector Potrerillos-Quebrada Asientos (escala 1:250.000), incluyendo columnas estratigráficas que destacan cuerpos volcánicos al oeste del área.

Olson (1984) describe en términos generales la geología del Distrito Potrerillos desde el Jurásico hasta el Holoceno, con el objetivo de explicar cómo se formaron los pórfidos cupríferos. Relaciona el emplazamiento de los pórfidos con la combinación de ambientes volcánicos extensivos antiguos, intrusión magmática controlada por fallas y posterior compresión andina, pero enfatizando en el control estructural.

Cubelli (1989) caracteriza la geoquímica del Pórfido Cuprífero de Campamento Antiguo, usando perfiles geoquímicos.

Olson (1989) detalla cómo evoluciona la geología del Distrito Potrerillos, comentando cómo se emplazaron los pórfidos cupríferos del Eoceno-Oligoceno y su posterior evolución. Agrega datos geoquímicos, mapas geológicos y columnas estratigráficas para describir la geología, y compara con otros yacimientos, como Chuquicamata o El Abra. Este estudio constituye una base para el entendimiento de la metalogenia de los Andes en el norte de Chile.

Chiang (1992) publica una evaluación geológica de sulfuros de la ex mina vieja de Potrerillos.

Cornejo *et al.* (1993) realizan estudios detallados entre los 26°-27° S, abarcando una sección de la franja cordillerana de ~12.000 km<sup>2</sup>, incluyendo los pórfidos cupríferos de El Salvador y Potrerillos, y la franja de yacimientos auríferos de Maricunga y El Hueso. El levantamiento geológico incluye 12 cuadrángulos a escala 1:50.000, un mapa geológico a escala 1:30.000 del área de Potrerillos, análisis estructurales y geoquímicos.

Mpodozis *et al.* (1994) profundizan en la importancia del control estructural en el emplazamiento de intrusivos y el origen de pórfidos cupríferos del Eoceno-Oligoceno en el área de El Salvador-Potrerillos, asociados al Sistema de Fallas de Domeyko. Aportan datos geocronológicos a partir del método K/Ar, estimando ~37 Ma para la alteración potásica.

Tomlinson (1994) indica que el Pórfido de Cobre de Potrerillos es una intrusión sintectónica asociada a un importante evento de deformación transpresional ocurrido en el Eoceno, que incluye movimientos oblicuos inversos-sinestrales de la falla de la mina Potrerillos.

Gustafson y Quiroga (1995) describen perforaciones bajo el nivel inferior de acarreo en El Salvador, declarando variaciones en la alteración y mineralización del cuerpo mineralizado del pórfido cuprífero y planteando una disminución en el contenido total de sulfuros. Adicionalmente, destacan una disminución de los valores de cobre por debajo del 0,1 %, representando un núcleo estéril bajo la zona central de calcopirita y bornita, correlacionándolo con el final del agrietamiento intenso durante la formación temprana de vetillas.

Münchmeyer (1996) plantea un modelo empírico para la génesis de depósitos exóticos, distribuidos por la migración lateral de soluciones supérgenas desde los depósitos de pórfidos cupríferos. Este estudio permite comprender su formación en ambientes áridos y semiáridos.

Cornejo *et al.* (1997) mencionan que el yacimiento de pórfido de cobre El Salvador se formó durante el Eoceno, pero en un evento magmático corto, posterior a un evento ocurrido en el Paleoceno. La mineralización se habría dado en un corto período de tiempo, a partir de la reactivación de fallas profundas que propiciaron el ascenso de magmas, volátiles y minerales.

Marsh *et al.* (1997) datan los pórfidos y mineralizaciones hidrotermales usando el método  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ , demostrando la breve duración de la actividad hidrotermal en estos sistemas contenedores de la mena.

Cornejo *et al.* (1998) actualizan la geología a través del “Mapa Geológico de la Hoja Salvador”, con escala 1:100.000.

Cornejo *et al.* (1999) elaboran un informe a partir de la geología y evolución magmática del Distrito Indio Muerto y yacimiento el Salvador, con el objetivo de mejorar el conocimiento geológico y geocronológico de las unidades volcánicas e intrusivas del distrito. Incluye un mapeo geológico a escala 1:25.000, dataciones radiométricas y análisis petrológico de las unidades principales del sector.

Olivares (1999) confecciona un informe preliminar sobre antecedentes geológicos y geometalúrgicos de la zona de sulfuros primarios del yacimiento Campamento Antiguo, basado en el Modelo Geológico Global del yacimiento (1998).

Tomlinson *et al.* (1999) presentan un mapa a escala 1:100.000, llamado “Hoja Potrerillos, región de Atacama”, abarcando el área sur de la ciudad de El Salvador y describiendo los pórfidos con su mineralización y alteración. En 2003, estos autores digitalizan la información y actualizan la geología presentada en 1999, con la compilación histórica de dataciones radiométricas realizadas en el cuadrante Potrerillos.

Book (2000) realiza un levantamiento geológico a escala 1:1.000, caracterizando la petrografía del sector, con énfasis en las unidades hipabisales más importantes del yacimiento (Distrito Indio Muerto).

Fuentes (2000) realiza un estudio en que predice la condición de terreno a la cota 2.400 m s.n.m (sector Campamento Antiguo), con el objetivo de evaluar la potencialidad de construcción de un avance de transporte principal subterráneo.

Olivares (2000) actualiza el modelo geometalúrgico del yacimiento Campamento Antiguo, incorporando la zona de sulfuros secundarios.

Terrazas (2000) actualiza el modelo geológico del yacimiento Campamento Antiguo, adicionando los datos obtenidos de perforaciones realizadas entre 1998 y 2000. Incluye un análisis de antecedentes históricos que permitió formular un nuevo modelo geológico, hidrogeológico, geometalúrgico y de validación de leyes de cobre, incluyendo mejoramientos de aspectos metodológicos (mejores prácticas).

Farias (2001) realiza una actualización del modelo de bloques del yacimiento Campamento Antiguo, y estima el recurso mineral de cobre por medio de estudios estadísticos.

Gustafson *et al.* (2001) describe la proveniencia de los depósitos de cobre del Distrito Indio Muerto como una asociación de pórfidos subvolcánicos riolíticos (~44 Ma) y diques granodioríticos (42-41 Ma) alineados a lo largo de una caldera de 58 Ma. La mineralización temprana está vinculada a molibdeno, mientras que la posterior, presenta enriquecimiento supérgeno en cobre.

Mote *et al.* (2001a) estimaron que la mineralización exótica de cobre en El Salvador (Chile) se formó entre ~35 y 11 millones de años atrás, tras el emplazamiento hidrotermal, mediante procesos supérgenos que transportaron cobre lateralmente y lo precipitaron como óxidos de cobre y manganeso (*copper wad*). Usando datación  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en minerales como criptomelano y birnessita, se determinó que esta mineralización se preservó bien en el clima hiperárido del desierto de Atacama.

Mote *et al.* (2001b) desarrollaron un análisis computarizado del balance de masas de cobre a escala distrital del pórfido cuprífero El Salvador. Usando datos geoquímicos y el *software Vulcan*, hicieron un modelo del yacimiento El Salvador para rastrear el cobre desde su origen hasta su depósito final. Se identificaron zonas donde el cobre migró fuera del sistema, lo que llevó al descubrimiento de un nuevo yacimiento exótico en Quebrada Turquesa y explicó el origen del depósito Damiana.

Watanabe y Hedenquist (2001) analizaron en detalle la mineralogía y las características isotópicas de minerales de alteración en la superficie del yacimiento de pórfido de cobre El Salvador. Identificaron dos ensamblajes principales de alteración en superficie: moscovita-andalucita con trazas de diásporo y moscovita con diásporo, ambos con sobreimpresión de pirofilita. Estos se disponen en zonas concéntricas alrededor de un pórfido de granodiorita poco alterado. Alteraciones muy tardías se encuentran en diques de brechas hidrotermales, dominadas por una paragénesis argílica avanzada con alunita, diásporo, zunyita y dickita. Los análisis isotópicos sugieren fluidos mayormente magmáticos con componentes meteóricos.

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 re-mapeo 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, para 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 sobre escurrimiento, el cual no ha sido explorado adecuadamente.

Camus (2003) publica un libro que explica la geología de los sistemas porfíricos en los Andes de Chile, relatando la historia de exploración y explotación, recursos y producción, productos y subproductos, marco tectónico, geocronología y evolución tectonomagmática de los sistemas, desde el sur de Perú hasta Chile central.

Oyarzún y Cuadra (2003) Caracteriza la mineralogía de las unidades geológicas y geometalúrgicas del yacimiento San Antonio, con énfasis en la mena oxidada debido a su dificultad en el reconocimiento y a la variabilidad en el comportamiento geometalúrgico.

Arredondo (2004) evalúa el potencial de exploración de cobre en el Distrito Potrerillos y sugiere la presencia de un pórfido cuprífero no expuesto en la falla Cerro Hueso, basado en evidencias geológicas, geofísicas y estructurales, como vetillas tipo A con bornita-calcopirita, inclusiones fluidas salinas y alteración potásica.

Rivera *et al.* (2004) menciona que los depósitos están asociados a pulsos magmáticos discretos emplazados en distintos ambientes, incluyendo los bordes de estructuras volcánicas del Paleoceno, “jogs” dilatacionales, fallas inversas y de rumbo, del Eoceno (El Salvador y otros yacimientos).

Describe los procesos relacionados a la mineralización y alteración, y concluye que las condiciones que generan sistemas de pórfidos de cobre ricos en oro son más frecuentes que lo que previamente se había considerado.

Skarmeta (2005) integra la información geológica, estructural y geoquímica en la Cordillera de Domeyko, asociando el emplazamiento de los pórfidos cupríferos a sistemas de fallas extensionales invertidos de rumbo NS, de inclinación moderada a pronunciada, cabalgamientos y pliegues asociados.

Sillitoe (2005) explica que la lixiviación, oxidación y enriquecimiento supérgeno en yacimientos de pórfido de cobre ocurren en ambientes meteóricos a profundidades de cientos de metros y son clave para la minería de cobre, aportando más del 50 % del cobre mundial. El cobre se moviliza hacia zonas reducidas bajo el nivel freático, donde se precipita como sulfuros secundarios como calcosina. También puede migrar lateralmente formando depósitos exóticos. La oxidación mejora la ley del mineral, aunque puede complicar su procesamiento, y es clave en la exploración de depósitos ocultos.

Bobenrieth y Zamora (2008) analizan 2 eventos de mineralización para los pórfidos cupríferos. El primero generó una aureola de contacto en la roca de caja. El segundo corresponde a alteraciones tardimagmáticas e hidrotermales vinculados a diversos sistemas de mineralización. Las alteraciones supérgenas estarían relacionadas con la zona de óxidos del yacimiento, abarcando gran parte de la mina San Antonio. Por último, describen la asociación mineral de cada zona de alteración del pórfido.

Niemeyer y Munizaga (2008) describen al pórfido Potrerillos como principalmente monzonitas porfíricas del Eoceno-Oligoceno emplazadas a ~1.000 m de profundidad, emplazado en la intersección de estructuras tectónicas regionales (transpresión sinistral asociada a la subducción oblicua en la fosa chileno-peruana), que a nivel local está controlada por un anticlinal generado por la propagación de fallas, con una fuerte compresión relacionada con la actividad de la Falla Sierra Castillo y la Falla inversa de la Mina Potrerillos.

Bissig y Riquelme (2009) explican que la mineralización exótica del yacimiento de pórfidos de cobre El Salvador se formaron desde el Eoceno tardío hasta el Mioceno Medio-tardío, simplificada a 25-19 Ma y 15-12,5 Ma, eventos que cesaron durante la desecación climática posterior a los 13 Ma. Contrasta con otros yacimientos como El Hueso (epitermales de oro) y La Coya (pórfido de cobre y oro), e indican que el enriquecimiento supérgeno está estrechamente relacionado con el contexto geomorfológico y climático, y que, a gran escala, depende del marco tectónico.

Cornejo *et al.* (2009) elaboran la “Carta Exploradora, regiones de Antofagasta y Atacama” en que describen algunas de las unidades geológicas presentes al norte de la ciudad de El Salvador, unidades que se proyectan hasta Potrerillos, por lo que se considera fundamental para la actualización de la información geológica.

Rojas (2009) Revisa el modelo geológico y geometalúrgico creado por Flores y Flores (2005) para el proyecto San Antonio.

Sillitoe (2010) describe y caracteriza los depósitos de pórfidos de cobre centrados en intrusiones, depósitos tipo skarn y reemplazo en carbonatos, y depósitos epitermales de alta e intermedia sulfuración. Plantea la zonación de alteración generalizada para los pórfidos, especificando en que la zonación potásica es la rica en minerales de cobre, como calcopirita y bornita, entre otros. Los depósitos de pórfidos cupríferos se presentan principalmente como vetillas de cuarzo y mineralización diseminada.

Rivera (2011) hace una evaluación económica para el proyecto minero San Antonio Óxidos, como tema de Memoria de Título.

Brantt (2011, 2012) elabora informes del modelo geológico de óxidos de la División Salvador, mina SAO, y estima recursos de explotación de estos.

COCHILCO (2012) realiza una auditoría al sistema de control aplicable al proceso de caracterización de recursos y reservas mineras de la División Salvador, y describen debilidades en los procesos que retroalimentan el ciclo de estimación de recursos para el caso de las minas que se

explotan a rajo abierto, ya que sus conciliaciones geológicas/mineras tienen grandes diferencias y los datos que sustentan estas comparaciones no cuentan con un adecuado control de calidad (QA/QC), de forma periódica.

GEOINNOVA (2012) es encargado de la revisión modelo geológico y estimación de recursos del proyecto mina SAO.

Mpodozis *et al.* (2012) relacionan estos depósitos con la actividad tectónica a lo largo de fallas (ejemplo: Sistema de Falla de Domeyko), donde la deformación y el movimiento de placas favorece las condiciones para la generación de magmas ricos en cobre (magmas hidratados y oxidados con alta concentración de cobre).

Pontigo (2012) realiza un exhaustivo trabajo de identificación de estructuras geológicas y procesos de mineralización de mena en el proyecto SAO, ayudando a predecir donde se acumula la mena y fomentando la optimización de la exploración y diseño de la mina.

Cornejo *et al.* (2013) publican la Carta El Salvador, y el mapa adjunto abarca la parte occidental del área de estudio, la geología y la descripción de los pórfidos.

Díaz (2013) estudia el potencial económico de los recursos remanentes del yacimiento Campamento Antiguo, con el fin de rentabilizar los recursos mediante una alternativa de explotación, como el sistema subterráneo usando el método *Block Caving*.

González (2013) compila la historia material de la localidad de Potrerillos, incluyendo temas como la minería, industria y vida cotidiana del obrero y sus familias durante 1916 y 1959.

EMSA (2017) realiza un marco estructural y geofísico para la Exploración de Sistemas Pórfido Cu- (Mo-Au) del Distrito El Salvador y Potrerillos, Cordillera de Domeyko.

Lee *et al.* (2017) determinan que las edades obtenidas por el método U-Pb y la composición de circones de intrusiones porfídicas poco profundas en el Distrito El Salvador muestran la evolución

temporal, química y térmica del magmatismo relacionado con los depósitos de cobre (Mo-Au) porfídicos durante el Eoceno.

Rivera (2017) propone que la distribución de los grandes depósitos minerales no constituye franjas mineralizadas continuas, sino que lugares donde interactúan productos del proceso normal de subducción con heterogeneidades cortical-litosféricas de distinto orden y naturaleza, que determinan la segmentación. Si bien se enfoca en Chile central, enfatiza que los sistemas tipo pórfido cuprífero del norte y centro del país tienen un quiebre entre dos programas de exploración de pórfidos de EMSA en el área de El Salvador: Pórfidos Zona Norte y Pórfidos Zona Sur.

Valenzuela *et al.* (2018) estudian la geología y estilos de mineralización del Distrito Minero San Antonio, describiendo depósitos de tipo Skarn y Pórfidos cupríferos.

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.

Hedenquist *et al.* (2020) estudia nuevas dataciones de alunita en El Salvador, que revelan actividad magmático-hidrotermal posterior a la formación del depósito principal (~38 Ma), lo que sugiere una intrusión ciega al sur de “quebrada Turquesa”. Esto indica posible mineralización porfírica más profunda (hasta 1.000 m) y tardía, debajo de zonas con alteración de cuarzo-alunita.

Urtubia (2020) establece una línea de base e implementa mejoras para el control geológico y de calidad, predicción del mineral diario, coordinación entre áreas, optimización del trabajo de la producción de la Mina San Antonio Óxidos, con el objetivo de alcanzar el estándar corporativo y cumplir con las metas productivas. Lo anterior permite prevenir pérdidas de mineral en su procesamiento y optimizar la extracción de cobre fino mensual.

Aguilera (2022) caracteriza dos grupos de arcillas presentes en la Mina San Antonio Óxidos, las cuales predominan en las zonas donde se localizan los skarn de cobre. Estos componentes han sido asociados a problemas geometalúrgicos debido a su dificultad de separación de la mena (excesivo consumo de ácido analítico). Establece parámetros para el reconocimiento en terreno de arcillas con alto contenido de cobre, con el fin de mapearlas y establecer su comportamiento geometalúrgico.

Canales (2024) utiliza la magnetita como mineral indicador en la exploración de depósitos de pórfidos cupríferos en gravas del desierto de Atacama, comparando la composición geoquímica de magnetitas detríticas fluvio-aluviales con las provenientes de pórfidos cupríferos.

## **1.5. Agradecimientos**

Al equipo de Geología de la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo de la División Salvador de CODELCO, Rodrigo Calvo, Valentina Urtubia y Esteban Yévenes, por alivianar la carga y aportar con su vasto conocimiento y curiosidad para propender a las mejoras presentes en este documento. Por su gran disponibilidad y por llevarme donde fuese necesario, quiero agradecer a el equipo de Geoinformación de la División Salvador de Codelco, Álvaro Lazcano y Juan Apablaza y al equipo de Geología de Producción de la Mina San Antonio, Don Eduardo González y Don Eric Cruzat.

## 2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1. Generalidades

La División Salvador se encuentra en la Cordillera de Domeyko, donde afloran rocas con edades varían desde el Paleozoico hasta la actualidad (Mpodozis *et al.* 1995). Si bien estas unidades se distribuyen en toda la extensión de la zona occidental de la cordillera, la División El Salvador (figura 2) se emplaza en rocas que contienen un yacimiento del tipo pórfido cuprífero, cuyo interés radica en la mena constituida por minerales de cobre y en menor medida, oro, plata y molibdeno. Estos minerales están diseminados y en un sistema de *stockwork* de vetillas, debido a alteraciones por soluciones hidrotermales.

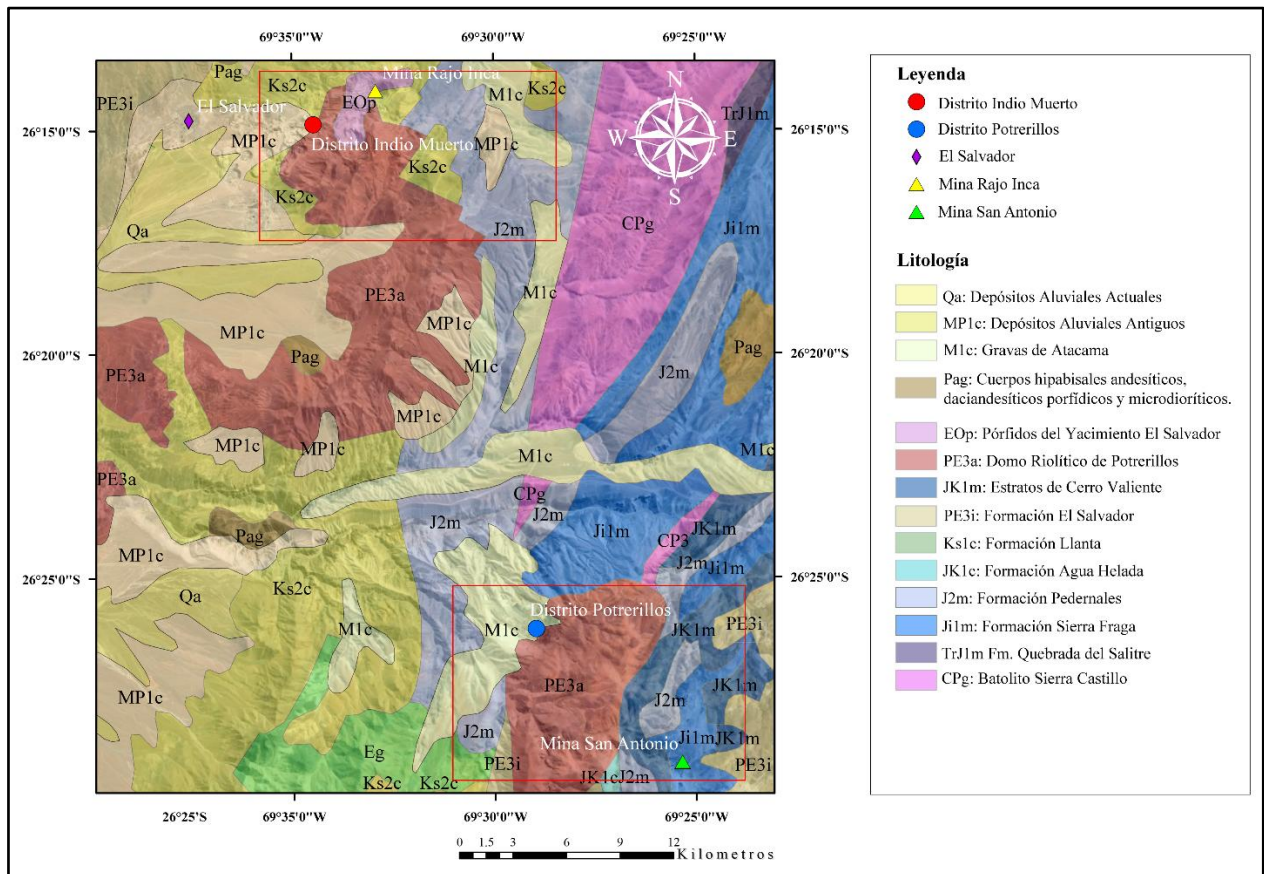


Figura 2. Mapa geológico regional y sección distrital

En el distrito minero Indio Muerto, las operaciones corresponden a: mina rajo abierto Yacimiento de Campamento Antiguo (sulfuros) y mina rajo Damiana (óxidos), Quebrada M y colina de Cobre. A la fecha, se está ejecutando la instalación del proyecto Rajo Inca. Estas labores están situadas en rocas volcánicas y volcanoclásticas de composición andesítica.

En el distrito minero Potrerillos, específicamente la Mina SAO, los sistemas porfídicos contienen mineralización hipógena de cobre y oxidados de cobre, además de arcillas con cobre en los depósitos de tipo skarn.

## **2.2. Unidades intrusivas y volcánicas**

### **2.2.1. Batolito Sierra Castillo (Complejo Plutónico Sierra de Doña Inés Chica)**

Complejo intrusivo emplazado en la sección oriental de la cordillera de Domeyko, y está limitada al oeste por la Falla Sierra Castillo, y al este por la Falla Barrancas (Cornejo *et al.*, 1993). Se extiende desde Sierra de Doña Inés Chica hasta la quebrada El Jardín (Tomlinson *et al.*, 1999). Su petrografía corresponde principalmente a dioritas de hornblenda y piroxeno, tonalitas y granodioritas de biotita y hornblenda. En las cercanías de la Falla Sierra Castillo se reconocen cataclasitas que representan los rasgos de deformación frágil.

Este basamento no suele encontrarse en superficie, pero se han realizado estudios geocronológicos con circones. La isócrona Rb-Sr acota la edad entre  $270 \pm 10$  Ma y  $278 \pm 4$  Ma (Halpern, 1978 y Brook *et al.*, 1986 en Tomlinson *et al.*, 2003). Dataciones K-Ar indicarían edades entre 280 - 255 Ma (Cornejo *et al.*, 1993). Lo anterior acota la edad del Batolito Sierra Castillo al Pérmico.

Estos intrusivos derivan de magmas originados por subducción (calcoalcalinos y meta-aluminosos), que ocurren en conjunto con magmas derivados de la fusión de la corteza continental pre-Carbonífero (Cornejo *et al.*, 1999). También se acota la presencia de facies de granitos leucocráticos locales, y facies de monzogranitos y sienogranitos que constituyen el núcleo del batolito. El Basamento Sierra Castillo infrayace en inconformidad a las unidades presentes en el área de estudio.

### **2.2.2. Granitoides de Montandón**

Mencionados por Tomlinson *et al.* (1992) como un conjunto de monzogranitos y granodioritas de grano medio, ricos en biotita y en menor medida, en hornblenda (Tomlinson *et al.*, 1999). Infrayacen a la Formación Montandón en inconformidad, con evidencias de deformación. De acuerdo con Brook *et al.* (1986), estas rocas indican una edad de  $275\pm 6$  Ma con el método K-Ar en biotitas, y una edad mínima de  $257\pm 3$  Ma, obtenida con el método de isócrona de Rb/Sr en roca total.

### **2.2.3. Filones Hipabisales Andesítico-Basálticos**

Descritos por Tomlinson *et al.* (1999) como rocas porfídicas grisáceas oscuras, macizas y equivalentes a emplazamientos subvolcánicos de Estratos de Quebrada Vicuña. Afloran al norte de quebrada Asientos y a lo largo del río de La Sal con un rumbo NNE, y se emplazan en las formaciones Montandón y Asientos. Son ricos en ferromagnesianos y plagioclasa. Carecen de mineralización de mena.

### **2.2.4. Formación El Salvador**

Unidad propuesta por Cornejo *et al.* (2013), que agrupa las rocas de Caldera El Salvador y Secuencia Volcánica Los Amarillos-Kilómetro Catorce (Cornejo *et al.*, 1997). Corresponde a una secuencia volcánica compuesta de potentes depósitos de flujos piroclásticos riolíticos con intercalaciones de lavas andesíticas, daciandesíticas, brechas volcánicas y complejos de lavas, domos e intercalaciones menores epiclásticas finas, expuestas en las serranías cercanas al yacimiento El Salvador y el cerro Indio Muerto (Cornejo *et al.*, 2013). En algunas zonas, se preservan evidencias de actividad intracaldera y extracaldera, con estratificaciones e intercalaciones de lavas andesíticas y dacíticas con ignimbritas fuertemente soldadas.

Su distribución y espesores son irregulares, y en la zona del cerro La Antena, Cornejo *et al.* (1997) reconocieron vestigios de una caldera de colapso asimétrica de tipo bisagra o "*Trap door*", de 12 km de diámetro.

En las cercanías del sector de Kilómetro Catorce y la ribera norte del Río de La Sal, las ignimbritas sobreyacen a la Formación Llanta, y hacia el este, las ignimbritas se correlacionan con los depósitos piroclásticos presentes en los Estratos de Cerro Valiente. Además, se encuentra intruida por numerosos cuerpos plutónicos, subvolcánicos y diques de diversa composición, emplazados durante el Paleoceno y el Eoceno. En términos generales, esta unidad se encuentra alzada por lo que es posible reconocer un límite superior erosivo o ligeramente cubierto por los Depósitos Aluviales del Mioceno Superior, disectados por el drenaje actual (en la zona del río de la Sal) (Cornejo *et al.*, 1997, 2013).

Numerosas dataciones han sido realizadas en esta formación: Cornejo *et al.* (1993, 1997) datan las ignimbritas por el método K/Ar en biotita, cuya estandarización y corrección asigna una edad promedio de  $60 \pm 1$  Ma. Luego, dataciones radiométricas en domos riolíticos y dacíticos emplazados en las ignimbritas entregan edades mínimas de  $58 \text{ Ma} \pm 1-2 \text{ Ma}$ , por lo que se infiere que la emisión de los piroclastos de la Caldera El Salvador y su colapso habría ocurrido previamente (Cornejo *et al.*, 2013). La edad asignada corresponde a Paleoceno Medio-Superior. En la carta geológica del Distrito Indio Muerto (Cornejo *et al.*, 1998) esta unidad corresponde a: Caldera El Salvador, Incluyendo facies de Intracaldera: Zona del Cerro Indio Muerto (que incluye el Complejo de Domos Riolíticos del Cerro Indio Muerto) y Zona de los Cerros La Antena-Contreras (que incluye Domos y Cuerpos Subvolcánicos de la Caldera El Salvador) y facies de Extracaldera: Secuencia Volcánica Los Amarillos y Kilómetro Catorce (con sus respectivos emplazamientos: Intrusivos Subvolcánicos Asociados a la Secuencia Volcánica Los Amarillos-Kilómetro Catorce).

### **2.2.5. Estratos de Cerro Valiente**

Descritos por Cornejo *et al.* (1993) como una unidad constituida principalmente por lavas y flujos piroclásticos de edades entre los 62-55 Ma, depositados en concordancia sobre los Estratos del Cerro Los Carneros y discordantes sobre otras unidades. Son mencionados en la Hoja de Potrerillos, por Tomlinson *et al.* (2003).

Su distribución es continua al este de la Sierra Agua Amarga, desde las Vegas de San Andrés hasta el Cerro San Antonio, al oeste de la Mina Vieja. Al oeste limita con la Falla Agua Amarga-Sierra Castillo, y se encuentra en contacto con rocas marinas y volcánicas jurásicas.

Está subdividida en 3 miembros: 1. Unidad basal: lavas traquíticas fluidales y brechas y lavas andesíticas de anfíbola, intercalada con flujos riolíticos (reconocida en los alrededores de Mina El Hueso). 2. Unidad media: flujos riolíticos y tobas soldadas asociadas al Domo Riolítico de Potrerillos y a la Caldera Sierra San Emilio. 3. Unidad superior: flujos macizos traquiandesíticos y tobas que afloran al este de cerro Vicuña y la Falla Sierra Castillo.

Dataciones radiométricas K/Ar en las anfíbolas de las lavas basales entregan edades de  $61,2 \pm 1,6$  Ma (Olson, 1983,1986); en las tobas soldadas K/Ar en biotita: 61-62 Ma, por lo que son asociadas a facies distales de la Caldera El Salvador. En la unidad superior, dataciones entregan edades K/Ar en roca total, de 63-58 Ma (Cornejo *et al.*, 1993). Las edades mínimas obtenidas al SW de la Hoja Potrerillos, se obtienen en flujos riolíticos que están cubiertos por ignimbritas, con edades de 57-55 Ma.

### **2.2.6. Complejo de Domos Riolíticos y Riodacíticos del Cerro Indio Muerto**

Descrito por Cornejo *et al.* (1999) como un cuerpo central riolítico emplazado en el cerro Indio Muerto, que presenta una forma elongada de orientación NE-SW. Estas riolitas son grises-violáceas, macizas, con estructuras columnares y bandeamiento de flujo subvertical. De acuerdo con lo mencionado por Cornejo *et al.* (1993), este complejo constituye la roca de caja del sistema de Pórfidos Cupríferos de El Salvador, y corresponde a un domo extrusivo y facies marginales, de carácter volcanosedimentario. Gustafson y Hunt (1975) reconoció que se formaron sobre lavas y brechas de la Formación Llanta. Contienen abundantes fenocristales de sanidina  $\pm$  plagioclasas en una masa fundamental vítrea con bandeamiento (textura fluidal). Cornejo *et al.* (1997) obtienen edades de 60 Ma usando métodos de U/Pb, y  $59,4 \pm 1,5$  Ma en biotitas, con método K/Ar. Tomlinson *et al.* (2003) le denominan Domo Riolítico de Potrerillos. Cornejo *et al.* (2013) le denominan Domos Riolíticos y Riodacíticos del Cerro Indio Muerto y San Juan, Lacolitos y Diques Asociados, con una edad de 59-58 Ma, es decir, Paleoceno Superior.

### **2.2.7. Domo Riolítico de Potrerillos**

Corresponde a un cuerpo de riolitas fluidales de hasta 4 km de diámetro, ubicado al sureste de la ciudad de Potrerillos (Tomlinson *et al.*, 2003). Presenta variaciones texturales: en la base posee brechas y flujos piroclásticos, en el núcleo presenta riolitas de bandas de flujo, desvitrificación y fenocristales variados. Tanto al norte como al sur de este macizo, se reconocen riolitas y diques silíceos que se asocian a fracturas de colapso por el emplazamiento. Edades radiométricas le asignan edades entre 52 y 51 Ma (K/Ar en roca total), pero en los flujos piroclásticos basales tiene edades de 57 a 55 Ma (Cornejo *et al.*, 1993).

### **2.2.8. Monzonitas Cuarcíferas, Monzodioritas y Pórfidos Monzoníticos de La Cantera**

Plutones con rasgos porfídicos, de composición monzonítica a monzodiorítica, de 1 a 4 km<sup>2</sup> de área y que afloran en la zona de La Cantera, al pie de los cerros Contreras y La Antena. También se reconocen en la zona del Portal del Inca, en las laderas del cerro Indio Muerto, y en quebrada Salinas. Intruye a la Formación El Salvador y a la Formación Llanta (Cornejo *et al.*, 2013). En La Cantera, una datación U/Pb en circones indica una edad de cristalización de  $59 \pm 2$  Ma (Cornejo *et al.*, 1997).

### **2.2.9. Cuerpos Hipabisales Dacíticos y Daciandesíticos Porfídicos de Piroxeno y Biotita de la Sierra Caballo Muerto y Campamento El Salvador**

Mencionados por Cornejo *et al.* (1998, 2013) como "*stocks*" de rocas porfídicas hipabisales de composiciones dacíticas a daciandesíticas y con fenocristales de piroxeno y biotita, asociadas a aureolas de alteración hidrotermal y mineralización de cobre y oro, se emplazan en la zona del campamento El Salvador y tienen rangos de edad entre 61 y 57 Ma (rangos dados por dataciones de  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita, y K/Ar en roca total, respectivamente). Intruyen a la Formación El Salvador al sur del cerro Indio Muerto y a la Formación Llanta en la localidad de quebradas Pisqueros y San Juan.

### **2.2.10. Cuerpos Hipabisales Andesíticos, Daciandesíticos Porfídicos y Microdioríticos**

Cuerpos intrusivos menores emplazados como *sills* y pequeños lacolitos, de composición pórfido-andesítica y diorítica de grano grueso, que intruyen a la Formación Llanta, donde desarrollan

extensas zonas de alteración argílica-cálcica. También intruye a la Formación El Salvador en la zona de la quebrada Aglomerado, al sur de cerro Indio Muerto, donde también se expresa la alteración argílica (Cornejo *et al.*, 2013). Diversas dataciones radiométricas entregan rangos de edades entre 56,8 y 51,3 Ma, usando el método de K/Ar.

### **2.2.11. Complejo de Pórfidos Cupríferos de El Salvador y Potrerillos**

Autores como Gustafson y Hunt (1975), Cornejo *et al.* (1993, 1997, 1998, 1999, 2013), Marsh *et al.* (1997), Gustafson *et al.* (2001) y Tomlinson *et al.* (1992, 1999, 2003), describen la extensa actividad magmática hipabisal ocurrida en la zona de El Salvador-Potrerillos de manera sincrónica al evento principal de deformación regional durante el Eoceno.

#### **2.2.11.1. Distrito Indio Muerto**

El Sistema de pórfidos cupríferos de El Salvador es un conjunto de emplazamientos magmáticos "encapsulados" al interior del Complejo de Domos Riolíticos y Riodacíticos del Cerro Indio Muerto (Paleoceno), que se ve afectado por alteraciones hidrotermales y es rodeado por un anillo de intrusivos del Eoceno, con minerales de cobre (Cornejo *et al.*, 1993). De acuerdo con Cornejo *et al.* (2013) estos intrusivos pertenecen a la familia de intrusivos sintectónicos incaicos. Cornejo *et al.* (1999) los describe como un complejo intrusivo subvolcánico de composición principalmente intermedias a félsicas, ~ granodiorítica, emplazados en las volcanitas andesíticas del Cretácico Superior de la Formación Llanta, los depósitos ignimbríticos de la Formación El Salvador y el Complejo de Domos Riolíticos y Riodacíticos del Cerro Indio Muerto (Zappettini *et al.*, 2001). Cornejo *et al.* (2013) menciona que este conjunto discreto de intrusivos epizonales y subvolcánicos se orienta sobre una faja de dirección NNE, con una longitud de 6 km, y se emplazaron entre los 45 y 41 Ma. Se distribuyen desde cerro Pelado hasta la ladera sur del cerro Indio Muerto.

Cornejo *et al.* (1999, 2013) identifica un evento temprano (~45-43 Ma), asociado a intrusivos de carácter porfídico con escasa mineralización. Se distribuyen entre cerro Pelado y quebrada Granito y se están representados por dos unidades: 1) Pórfido Riolítico Cuarzífero de Sanidina del Cerro Pelado, y 2) Pórfidos Riodacíticos del Campamento Antiguo, Lacolitos y Diques Asociados.

- **Pórfido Riolítico Cuarzífero de Sanidina del Cerro Pelado:**

Descrito como un emplazamiento subvolcánico riolítico de variadas texturas, que presenta facies marginales extrusivas, de aproximadamente 800 m de diámetro y venillas de cuarzo, que se asocia a mineralización subeconómica de Mo-Cu (Gustafson y Hunt, 1975; Cornejo *et al.*, 1993, 1998, 1999, 2013). Se reconoce al norte del área de Campamento Antiguo. Edades radiométricas K/Ar en roca total y en sanidina-plagioclasa tienen valores de 45,3-39,4 Ma (Cornejo *et al.*, 1993, 1997), una edad de isócrona  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en sericita tiene un valor de ~43,9 Ma (McWilliams, 1994 en Cornejo *et al.*, 2013). Finalmente, una edad obtenida por U/Pb en circones señala una edad de cristalización de 43 Ma (Cornejo *et al.*, 1997). Cornejo *et al.* (2013) define una edad de formación de ~44-43 Ma.

- **Pórpidos Riódacíticos del Campamento Antiguo, Lacolitos y Diques Asociados:**

Descrito como un conjunto de intrusivos porfídicos tabulares, emplazados como diques o *stocks* en la zona de Campamento Antiguo, quebrada M y cerro Indio Muerto (Gustafson y Hunt, 1975; Cornejo *et al.*, 1998, 1999, 2013), junto a dos cuerpos lacolíticos mayores que están presentes en quebrada Turquesa y Riolita (nombrados como Troya y Portal). En terreno, son reconocidos dentro y sobre la Formación Llanta. Presenta zonas de alteración hidrotermal argílica y silíceas, utilizadas para prospectivos que llevaron al descubrimiento del yacimiento El Salvador. En Campamento Antiguo se ha explotado mineralización cuprífera hipógena y supérgena, en zonas afectadas por alteración filica. Dataciones radiométricas indican edades corregidas cercanas a 43 Ma (múltiples autores en Cornejo *et al.*, 2013). Se considera ligeramente más antigua que los cuerpos mineralizados asociados al evento magmático principal de la zona.

El evento magmático principal (~43-41 Ma) es el responsable de la mineralización de mayor ley, y se distribuye en quebrada Turquesa y quebrada M. Este complejo posee intrusiones múltiples y cuerpos magmáticos tardíos. Se denomina Cuerpos Hipabisales Granodioríticos y Dacíticos Porfídicos del yacimiento El Salvador, y, de acuerdo con Gustafson y Hunt (1975) y Cornejo *et al.* (1993, 1997, 1999, 2013) se diferencian 5 pulsos intrusivos cuya nomenclatura es: 1) Pórfido X; 2) Pórfido K; 3) Pórfido L; 4) Pórfido A; 5) Pórpidos granodioríticos de quebrada Granito y quebrada M.

- **Cuerpos Hipabisales Granodioríticos y Dacíticos Porfídicos del Yacimiento El Salvador**

Nombre informal dado por Cornejo *et al.* (2013) para los cuerpos porfídicos descritos por Gustafson y Hunt (1975), y Cornejo *et al.* (1999). Corresponde a un conjunto de cuerpos porfídicos que conforman el yacimiento El Salvador, origen de la mineralización principal en el Distrito Indio Muerto. Se representa en terreno a partir de distintos cuerpos porfídicos, set de diques y pequeños stocks subverticales. Gustafson y Hunt (1975) diferenciaron estos pórfidos a partir de su litología, relaciones de contacto, asociaciones de venillas y su relación con los distintos tipos de alteraciones y mineralizaciones, determinando 5 denominaciones: Pórfido X, Pórfido K, Pórfido L, Pórfido A y Pórfidos Granodioríticos de quebrada Granito y quebrada M.

- **Pórfido X:** corresponde a la facies temprana, constituida de granodioritas porfídicas finas, y representan los principales intrusivos portadores de mineralización hipógena en el yacimiento. Las secciones distales de los diques tienen textura aplítica. Estas rocas son ricas en ortoclasa perítica, cuarzo, anhidrita y biotita (principalmente en la masa fundamental) y se reconoce una intensa alteración potásica, acompañada de mineralización diseminada de calcopirita y bornita. Hacia la superficie la textura porfídica es más evidente y los fenocristales predominantes son plagioclasas y hornblenda  $\pm$  biotita en cúmulos (*books*), en una masa fundamental cuarzo feldespática fina.
- **Pórfido K:** asociada a las facies de pórfidos granodioríticos-dacíticos, y se emplazan al sureste del yacimiento, e intruye a las rocas del Pórfido X y a la Formación Llanta, generando una fuerte biotitización. Contiene fenocristales de plagioclasas, *books* de biotita, y ojos de cuarzo locales, en una masa fundamental aplítica. Está afectada por una incipiente alteración potásica y escasa mineralización hipógena, sobreimpuesta por una asociación de alteración fílica.
- **Pórfido L:** facies de pórfidos dacíticos de mayor volumen que el Pórfido K, aflora en quebrada Turquesa y presenta una alteración potásica débil y con escasa mineralización, e intruye a la Formación Llanta. Presenta un centro porfídico rico en plagioclasas y anfíbol levemente alteradas, con masa fundamental afanítica a aplítica. Hacia los bordes predominan los fenocristales de plagioclasas y biotitas.

- **Pórfido A:** corresponde a la facies de pórfidos daci-andesíticos y diques latíticos andesíticos, y se asocia a un conjunto de intrusivos pequeños y diques tardíos que afloran en quebrada Turquesa y quebrada M. Su composición es más máfica que los otros pórfidos e incluye variaciones dacíticas a andesíticas, grisáceas a verdosas y con fenocristales de plagioclasa y hornblenda en una masa fundamental afanítica a microcristalina. Los diques latíticos tardíos tienen composiciones similares pero mayor expresión de la textura fluidal.
- **Pórfidos Granodioríticos de quebrada Granito y quebrada M:** son cuerpos menores de intrusiones con textura fanerítica  $\pm$  porfídica, grisáceas verdosas. Si bien tienen venillas de cuarzo-feldespato y clorita, carecen de mineralización significativa.

De acuerdo con las dataciones radiométricas realizadas desde los años 90's por distintos autores y compilada por Lee (2008), y luego por Cornejo *et al.* (2013), estos cuerpos presentan la siguiente interpretación:

La actividad magmática en el sector cerro Indio Muerto se reinició luego de un período de quietud a finales del Paleoceno, con la intrusión de cuerpos riolíticos con sanidina y cuarzo, asociado a mineralización sub-económica de molibdeno y cobre (cerro Pelado,  $\pm$  45 Ma). Luego, se emplazan numerosos cuerpos subverticales y lacolitos riolíticos a dacíticos (Campamento Antiguo y quebrada M, 44 - 43 Ma), con algunas señales geoquímicas de mineralización de Cu-Mo. También, intruyen lacolitos riolíticos en quebrada Turquesa y pórfidos granodioríticos en la quebrada Granito, ambos sin mineralización asociada. Por último, ocurre el evento magmático principal, portador de la mineralización de Cu-Mo y emplazado principalmente en quebrada Turquesa. En menos de 1 Ma se emplazaron los pórfidos mineralizados (pórfido X y K), seguidos por los pórfidos L y A, entre los 43 - 42 Ma. A los 41,5 Ma se emplazan los diques latíticos, coincidiendo con la disposición de diques riolíticos (40 - 39 Ma), expuestos al SE de la Falla Sierra Castillo.

#### **2.2.11.2. Distrito Potrerillos**

El Sistema de pórfidos cupríferos de Potrerillos es complejo de intrusivos sintectónicos emplazados en sub-superficie, cuya inyección se vio favorecida por las trazas de la Falla de la mina Potrerillos (Eoceno). Esta falla muestra un desplazamiento tal que acrecentó la separación entre el pórfido y

la raíz de la inyección magmática. Numerosas intrusiones son asociadas a este sistema y se extienden hacia el este de Potrerillos (Cornejo *et al.*, 1993).

Corresponden a cuerpos magmáticos pequeños a medianos que intruyen a lo largo del Batolito de Sierra Castillo y en las rocas mesozoicas que forman parte del basamento de la faja plegada y corrida de Potrerillos. Incluye 3 unidades distintas: 1) Pórfidos dacíticos y riódacíticos (Pórfido Cobre); 2) Pórfidos andesíticos; 3) Pórfido microdiorítico cerro Áspero (Tomlinson *et al.*, 2003).

**- Pórfidos Dacíticos y Riódacíticos (Complejo de Pórfidos de Cobre)**

Son caracterizados como emplazamientos pequeños, de hasta 4 km<sup>2</sup>, de composiciones riódacíticas a dacíticas, textura porfídica y rico en fenocristales de biotita, plagioclasa y algunos escasos granos de cuarzo y anfíbola (Tomlinson *et al.*, 2003).

En Mina Vieja de Potrerillos se evidencia mineralización de cobre asociada a alteración potásica, y otros ligados a alteración argílica y silicificación extrema, con mineralización aurífera de alta sulfidación en las ignimbritas paleocenas y calizas jurásicas, localizadas en Mina El Hueso y el Prospecto Agua de la Falda. Dataciones radiométricas de K-Ar en biotita señala edades entre 41,8 ± 1,5 y 40,7 ± 1,1 Ma.

En la zona de Potrerillos - El Hueso se reconoce un *cluster* de intrusiones mineralizadas constituidas por dacitas de biotita y anfíbola, datadas entre 40 - 35 Ma. Los pulsos más antiguos se denominan Pórfido Este de Cerro Sílica (datado en 40,82 ± 0,38 Ma, en biotita magmática) y Pórfido Norte de Cerro Sílica (datado en 40,25 ± 0,1 Ma en sericita, asociada a mineralización aurífera). Respecto de cuerpos estériles, cerro Bochinche tiene una edad de 37,9 ± 0,1 Ma, el Pórfido Norte de Potrerillos de edad 36,6 ± 0,1 Ma, y Pórfido Cobre de Potrerillos de edad 35,6 ± 0,1 Ma en biotita, y 35,2 Ma (circones en U/Pb; Tosdal, comunicación escrita, 1995 en Tomlinson *et al.*, 2003). Marsh *et al.* (1997) menciona que en el área se reconocen emplazamientos más antiguos, probablemente asociados a *stocks* granodioríticos (48 - 43 Ma; Cornejo *et al.*, 1998).

En el pórfido dacítico de María Delia, ubicado en el bloque de Sierra Castillo, la mineralización se asocia a la alteración cuarzo sericítica y a un sistema de *stockwork* mineralizado datado en 39,7 ± 1 Ma (K-Ar en biotita).

Al oeste de la Falla Sierra Castillo aflora un cuerpo menor con una edad de  $36,2 \pm 1$  Ma (K-Ar en biotita). En quebrada Doña Inés Chica aflora un pórfido dacítico mineralizado con una edad de  $43,9 \pm 2,7$  Ma (K-Ar en roca total).

Bobenrieth y Zamora (2008) realizan un levantamiento geológico en la mina San Antonio, detallando 3 pórfidos: Pórfido Secreto, Pórfido Esmeralda y Pórfido Cobre. Rojas (2009) menciona que un cuarto pórfido denominado Pórfido El Hueso, corta a todas las unidades ubicadas al sur del yacimiento.

**1. El Pórfido Cobre** es el principal responsable de la mineralización cuprífera de San Antonio y hacia el sur del área de estudio está cortado por una falla de rumbo NE denominada Falla Desquite - Estanque. Hacia el oeste, se ve afectado parcialmente por la Falla San Antonio. La caracterización corresponde a un sistema de *stockwork* con alteración cuarzo sericítica, abundantes vetillas tipo A, B y D, con predominancia de mineralización hipógena de cobre  $\pm$  molibdeno, arsénico, oro, y oxidados de cobre (Bobenrieth y Zamora, 2008; Rojas, 2009; Castillo, 2013).

Tomlinson *et al.* (1994) menciona la existencia de una aureola de metamorfismo asociado al emplazamiento del Pórfido Cobre en las rocas de la Formación Asientos, y se caracteriza por la formación depósito de tipo skarn con arcillas y óxidos de cobre, un metasomatismo cálcico (con paragénesis de actinolita, calcita y cuarzo) y calcosilicatado (con paragénesis de epidota, cuarzo, granate y clorita) que origina córneas actinolíticas - metabrechas y córneas granatíferas, metasedimentitas epidotizadas y brechas de especularita (respectivamente). Además, oquedades y reemplazo de anhidrita, cuarzo y sulfuros (Oyarzún y Cuadra, 2003).

**2. El Pórfido Esmeralda** corresponde a dacitas y riodacitas porfídicas de grano fino (Bobenrieth y Zamora, 2008; Castillo, 2013), con escaso contenido de ojos de cuarzo y vetillas de cuarzo de tipo B y D, limonitas y óxidos de cobre. Destaca la alteración cuarzo-sericita sobreimpuesta parcialmente a una alteración argílica, con escasos sulfuros de cobre. Esta unidad aflora en el sector sur de la mina SAO e intruye a las unidades estratificadas del Jurásico y el Pórfido Cobre, siendo

intruída a su vez, por el Pórfido Secreto y posteriormente, el Pórfido Hueso y los cuerpos denominados *pebble dykes* (Rojas, 2009).

**3. El Pórfido Secreto** está constituido por dioritas y granodioritas grisáceas oscuras, con texturas porfídicas de grano muy fino (Bobenrieth y Zamora., 2008), que aflora en el área central de la mina SAO y se emplaza posterior al Pórfido Esmeralda. No presenta mineralización cuprífera, y su textura se ve fuertemente alterada por la hidrotermal tardía de sericita-illita-caolinita (Rojas, 2009). Brantt (2012) menciona que esta unidad posee escasas vetillas de cuarzo tipo A y B, lo que habría favorecido la sobreimposición del evento tardío de sulfuración intermedia en las áreas de contacto con el Pórfido Cobre (Rojas, 2009).

**4. El Pórfido El Hueso** tiene composición dacítica a riódacítica de grano muy grueso, ojos de cuarzo y cristales de hornblenda con un rango de edades entre 33,1 y 47,0 Ma. Está relacionado a la mineralización de oro de la Mina Sílica del Hueso (Olson, 1989). Las alteraciones tienen su ocurrencia en dos pulsos, el primero ocurrido a los 36 Ma, y el segundo a los 25 Ma. En contraste, el evento asociado a la acumulación de oro se estima en aproximadamente 40 Ma.

#### - **Pórfidos Andesíticos**

Corresponden a cuerpos menores de *sills* y diques, con textura porfídicas a afaníticas y con escasos fenocristales de anfíbola ± biotita, piroxeno. Estos se emplazan a lo largo de Sierra Castillo, y tienen edades de  $40,2 \pm 1,6$  Ma (K-Ar en roca total) y  $39,0 \pm 1,1$  Ma (K-Ar en biotita) (Tomlinson *et al.*, 2003).

#### - **Pórfido Microdiorítico Cerro Áspero**

Caracterizado como un plutón de aproximadamente 4 km de diámetro, emplazado en el núcleo de Sierra Castillo, de composiciones microdioríticas a monzodioríticas, grisáceas a verdosas oscuras, con fenocristales de piroxeno y hornblenda (K-Ar roca total de  $37,9 \pm 1,3$  Ma). Al sur de Sierra castillo, se encuentra un sistema de vetas de cuarzo con mineralización cuprífera y aurífera asociadas al plutón (Tomlinson *et al.*, 2003).

### 2.2.12. Diques Riodacíticos

Tomlinson *et al.* (1994, 2003) los describe como un sistema de diques de rumbo EW del Oligoceno, emplazado en el cerro El Hueso, cortando la Falla Bailey Willis y el Pórfido de Cobre de Potrerillos, asociado a un conjunto de intrusivos post-tectónicos. Su potencia es de hasta 2 m y su extensión variada, y tienen composición riodacítica, textura porfídica, con hasta un 30-40% de cristales de albitas, biotita y cuarzo. Dataciones radiométricas K/Ar señalan edades de  $\sim 32 \pm 1$  Ma (Cornejo *et al.*, 1993; Olsen, 1983, 1989), y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de  $\sim 33$  Ma (Marsh *et al.*, 1997), e indican una probable proveniencia del cuerpo alimentador de Cerro El Hueso.

## 2.3. Unidades sedimentarias

### 2.3.1. Formación Quebrada del Salitre

Definida inicialmente por Naranjo y Puig (1984) como una secuencia de rocas sedimentarias marinas y continentales, depositadas en conjunto con lavas máficas expuestas en la quebrada homónima, con exposición esporádica. Si bien estos autores definieron dos miembros (Miembro Inferior “Don Roe”, y Miembro Superior “Cerro Danko”), Cornejo *et al.* (1993) formalizan su definición caracterizando un nivel inferior constituido por coladas de lavas y brechas basálticas de gran espesor, que se intercalan con conglomerados, areniscas cuarcíferas, areniscas feldespáticas y calizas, y engranan con un complejo de domos riolíticos; y un nivel superior con dominio sedimentario y constituido por areniscas y calizas con fauna fósil, intercaladas con lavas basálticas a riolíticas y niveles volcanosedimentarios (Cornejo *et al.*, 1999).

Tomlinson *et al.* (2003) presentan cuatro facies para esta formación (1. Lavas y brechas basálticas inferiores, 2. Areniscas y calizas superiores, 3. Domos riolíticos y 4. Brechas riolíticas). Cornejo *et al.* (2009) profundizan las descripciones de cada asociación de facies: 1. Nivel inferior volcánico-sedimentario (con 7 facies) y 2. Nivel superior sedimentario-marino (con 3 facies).

Sobreyace en discordancia erosiva a las rocas de la Formación La Tabla, y localmente a las rocas del Grupo Plutónico Punta del Viento. Infrayace en concordancia a las secuencias fosilíferas de la Formación Profeta.

Naranjo y Puig (1984) estimaron una edad de Triásico sobre la base de sus relaciones de contacto, corroborada por hallazgos fósiles de fauna fósil reconocidos en la Quebrada Don Roe, y fósiles encontrados en la Quebrada San Juan, que permiten correlacionar con los Estratos de San Juan (Müller y Perelló, 1982 en Cornejo *et al.*, 1998). Restos vegetales de *Neocalamites* (?) en los niveles inferiores fueron asociados al Triásico (Covacevich, 1994b, en Cornejo y Mpodozis, 1996); en el nivel superior se registraron hallazgos de moluscos fósiles, cuyas edades indicarían un rango Triásico-Sinemuriano (Chong y Hillebrandt, 1985). Además, fósiles de ammonoideos y bivalvos encontrados en aguada de La Encantada y en la quebrada Los Burros acotaron la edad mínima a Sinemuriano Medio. Dataciones radiométricas de U-Pb en circones procedentes del domo riolítico de cerro Colorado arrojó una edad de  $232,9 \pm 0,2$  Ma.

A partir del análisis geoquímico, Cornejo *et al.* (1993) describen eventos volcánicos bimodales en un contexto marino, y lo interpretan como productos de volcanismo sin-extensional, asociado a la fase activa de *rifting* durante la formación de la cuenca de Cuyo (Ramos y Kay, 1991 en Cornejo *et al.*, 1993; Mpodozis y Cornejo, 1997).

### **2.3.2. Formación Montandón**

Definida por Harrington (1961) en la quebrada Asientos, como una secuencia de rocas sedimentarias de origen marino, constituida por calizas de grano fino y fosilíferas, localmente bituminosas. Estas presentan laminación fina y alcanzan espesores de hasta 1.250 m en la quebrada Asientos. Al norte de la quebrada se reconocen emplazamientos de filones andesítico-basálticos (Tomlinson *et al.*, 1999). En la quebrada Montandón, su base está formada por conglomerados transgresivos (Pérez, 1982).

Harrington (1961) acota su edad al Jurásico Inferior a Medio, a partir de restos fósiles de bivalvos y ammonoideos. Luego, se acotó la edad probable de Pliensbachiano a Bajociano medio a partir de restos fósiles estudiados en la quebrada Asientos y el norte de Potrerillos (Pérez, 1978, 1982; Marticonera y Tapia, 1981; Müller y Perelló, 1982).

García (1967) menciona que la Formación Montandón infrayace en concordancia con la Formación Asientos, pero Mercado (1978) lo define como discordante debido a la carencia de unidades del

Batoniano. En su base se reconocen conglomerados transgresivos que se disponen en inconformidad sobre los Granitoides de Montandón (Tomlinson *et al.*, 2003). En río de la Sal, la Formación Montandón se dispone en concordancia sobre la Formación Quebrada del Salitre (Tomlinson *et al.*, 2003). En el área de Potrerillos, se le correlaciona con la Formación Profeta (Pérez, 1982).

Las facies de calizas finas negras y grisáceas con material bituminoso son interpretadas como la acumulación de material calcáreo y carbonoso en un ambiente marino anóxico, bajo el tren de olas (Olson, 1984).

### **2.3.3. Formación Asientos**

Descrita por Harrington (1961) y enmendada por Müller y Perelló (1982), corresponde a una alternancia de calizas fosilíferas grisáceas a gris verdoso y areniscas volcanoclásticas verdosas, con intercalaciones de lavas basálticas. La Formación Asientos corresponde a una unidad marina con una fuerte actividad volcánica (Marsh *et al.*, 1997). Es definida en la quebrada Asientos, entre Cerro Bravo y El Salvador (Pérez, 1978). En la zona sur de la quebrada Asientos, se encuentra el sinclinal Río de la Sal, cubriendo a las lavas de los Estratos de Quebrada Vicuña, por lo que se menciona plegamiento en esta unidad geológica; en quebrada de Agua de la Falda, esta formación está afectada por un pliegue anticlinal volcado al este (Cornejo *et al.*, 1993).

Su edad está acotada al Bajociano-Calloviano, y fue determinada por estudios bioestratigráficos en que se destaca su registro fósil de ammonoideos como *Reineckeia* sp., *Macrocephalites* sp. y *Perisphinctes* sp. (Cisternas, 1977; Müller y Perelló, 1982; Cornejo *et al.*, 1998).

Esta unidad se sobrepone en concordancia a la Formación Montandón. A su vez, se ve afectada por intrusiones mineralizadas, como Pórfido de Cobre y Pórfido Secreto, desarrollando un halo de metamorfismo de contacto que forma rocas corneanas con asociación mineral cálcica de epidota, actinolita y clorita (Olson, 1984; Bobenrieth y Zamora, 2008; Rodríguez, 2012).

En la zona de Mina Potrerillos, las intercalaciones con lavas máficas aumenta su frecuencia, y se reconoce un contacto transicional con las rocas volcánicas asociadas a la base de los Estratos Quebrada de Vicuña (Tomlinson *et al.*, 2003).

El contexto geológico asociado a esta unidad corresponde a un ambiente marino litoral por la presencia de facies de areniscas, gravas y calizas asociadas a eventos transgresivos y regresivos, que se vieron afectadas localmente por flujos de lava andesíticas a basálticas vesiculares. También se mencionan areniscas volcanoclásticas verdosas (Tomlinson *et al.*, 1992, 1999, 2003; Cornejo *et al.*, 1993, 2009).

#### **2.3.4. Formación Sierra Fraga**

Identificada por primera vez por Davidson *et al.* (1976, en Cornejo *et al.*, 1993), y formalizada por Sepúlveda y Naranjo (1982) como una secuencia volcánica constituida por lavas andesíticas y andesítico-basálticas con vesiculación, de coloraciones grisáceas a violeta, e intercaladas con rocas volcanosedimentarias (areniscas rojizas y verdosas, con algunas capas de tobas), y niveles calcáreos marinos con escaso registro fósil, de coloraciones amarillentas a grisáceas, muy alteradas y que afloran en Sierra Fraga, y localmente en la cuesta de San Juan (Tomlinson *et al.*, 1992; Tomlinson *et al.*, 1999). De acuerdo con Cornejo *et al.* (1993), la Formación Sierra Fraga aflora formando una franja casi continua desde Sierra Agua Amarga y alrededores, hasta el cordón montañoso ubicado al oeste del llano Doña Inés Chica.

Sepúlveda y Naranjo (1982) indican que la Formación Sierra Fraga sobreyace en contacto por falla de bajo ángulo a las rocas de la Formación La Ternera. Mpodozis y Allmendinger (1992, en Cornejo *et al.*, 1993) interpretan esta falla como un nivel de despegue extensional asociado a un evento a gran escala ocurrido durante el Cretácico. Al sur de Sierra de Agua Amarga, estas rocas están cubiertas por rocas del Paleoceno, en contacto discordante.

Aflora al oeste de la Falla Sierra Castillo, localmente en la zona de Potrerillos y la quebrada Río de la Sal, abarcando un rango similar del Jurásico Inferior al Cretácico Inferior. Su edad está definida a partir de los registros fósiles de bivalvos encontrados en las calizas presentes al oeste del llano de Doña Inés Chica: *Pseudomelania* sp., *Isognomon* sp., *Gryphaea* sp., *Trigonia* sp., y

*Astarte (Coelastarte) sp.*, de edad Bajociano (Covacevich sf. en Cornejo *et al.*, 1993). En la quebrada Los Hornos de la Pera, afloran ammonioideos como *Euaspidoceras sp.*, *Perisphintidae* indet., y bivalvos como *Gryphaea sp.*, *Panopaea sp.*, y *Pterotrigonia? sp.*, de edad Oxfordiano (Cornejo y Mpodozis, 1996). Su edad mínima está dada por su escaso registro fosilífero de edad Valanginiano-Barremiano, por lo que Sepúlveda y Naranjo (1982) sugieren que estas rocas se habrían formado hasta la parte basal del Cetácico Inferior.

Las lavas y calizas de la Formación Sierra Fraga representan un sistema de intraarco, con geoquímica mixta de afinidad toleítica (basaltos toleíticos de alto fierro), similar a las lavas de los Estratos de Quebrada Vicuña y una huella calcoalcalina normal (Cornejo *et al.*, 1999). Está relacionada con el quiebre paleogeográfico entre el sistema volcánico occidental (Formación La Negra, en la cordillera de la Costa) e intrusivos jurásicos (Naranjo y Puig, 1984; Marinovic *et al.*, 1995) y el ambiente de plataforma carbonatada oriental (Formaciones Montandón, Asientos y Pedernales, en la zona oriental). Lo anterior correspondería a una transición de un sistema volcánico depositado entre el arco Jurásico y la cuenca de trasarco formada a inicios del Cretácico Inferior.

### **2.3.5. Estratos de Quebrada Vicuña**

Descrita por von Hillebrandt (1973) y modificada por Cornejo *et al.* (1993). Caracterizada como una secuencia de lavas verdosas, filones y *sills* andesítico-basálticos localmente vesiculares y con texturas de almohadilla, intercaladas con calizas y areniscas calcáreas a techo, con fósiles de bivalvos de la familia *Trigoniidae* (Cornejo *et al.*, 1993; Tomlinson *et al.*, 1998). Aflora entre la quebrada Vicuña y cerros Bravos, al oeste de la mina La Coipa. En su localidad tipo (quebrada Vicuña), aflora en el núcleo de un domo erosionado que deja al descubierto un pliegue anticlinal, de eje doblemente buzante. Olson (1984) describe estas lavas en la Mina Vieja de Potrerillos como basaltos y andesitas basálticas afaníticas y porfídicas con relictos de olivino, piroxeno y plagioclasas argilizadas y reemplazadas parcialmente por calcita. También afloran en el sector W del área Mina SAO y alcanza 650 m de espesor, donde sobreyace concordante a la Formación Asientos.

Anterior a Cornejo *et al.* (1993), sus unidades fueron asociadas a la Formación Asientos o a la Formación Pedernales (Müller y Perelló, 1982; Pérez, 1982; Olson, 1983; Muñoz, 1984, 1986). Las lavas se acuñan hacia el este de la quebrada Asientos, hasta desaparecer donde la Formación Pedernales es reconocida sobre la Formación Asientos.

De acuerdo con Cornejo *et al.* (1993, 1998), estas lavas se apoyan concordantes sobre la Formación Asientos, e infrayace a la Formación Pedernales.

Las dataciones de K/Ar realizados en la quebrada Vicuña (Zentilli, 1974 en Cornejo *et al.*, 1993), indican una edad de  $117 \pm 4$  Ma, con una razón  $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$  de 0,7035. La presencia de las trigonias del género *Reineckeia* en las calizas indica una edad de Caloviano medio a superior, y en las capas superiores, la presencia de *Anditrigonia* y *Spiticeras*, sugiere una edad de Titoniano superior a Berriasiano inferior (Müller y Perelló, 1982; Pérez, 1982; Pérez y Reyes, 1983).

El ambiente de formación de estas lavas es explicado como flujos que escurrieron hacia un ambiente subacuático litoral. Por otro lado, la presencia de filones y *sills*, determinan diversos emplazamientos durante los eventos volcánicos. Además, se indicaría que las lavas son máficas y toleíticas, con evidencias de magmatismo de intraplaca en un régimen de subducción de baja velocidad (Cornejo *et al.*, 1998).

### **2.3.6. Formación Pedernales**

Descrita por Harrington (1961) y redefinida por García (1967) como una secuencia sedimentaria marina que consta de una alternancia de calizas clásticas de grano medio a grueso (calcarenitas y calciruditas) y areniscas calcáreas fosilíferas con tonalidades amarillas y volcarenitas verdosas. También se mencionan intercalaciones de lutitas calcáreas (Tomlinson *et al.*, 1992). Cornejo *et al.* (1993) restringe esta formación a las secuencias sedimentarias, tanto clásticas como carbonáticas con fósiles de edad Titoniano-Valanginiano (Tomlinson *et al.*, 1999).

Esta formación aflora en el sector occidental del área de estudio como una franja elongada homoclinal NS con inclinación de  $20^\circ\text{W}$ .

Sobreyacen en las nacientes de quebrada Asientos y río de La Sal, en concordancia a la Formación Asientos. En quebrada Asientos y mina Potrerillos, esta unidad está cubierta por las areniscas rojas de la Formación Quebrada Monardes (Cornejo *et al.*, 1993; Tomlinson *et al.*, 1999; Tomlinson *et al.*, 2003). Además, es intruida por apófisis de orientación del Pórfido Secreto (Marsh, 1997).

Su edad máxima está dada por restos fosilíferos marinos como trigoniidas y ammonoideos del Titoniano superior al Berriasiano en las calizas y areniscas calcáreas (*Anditrigonia* (*Paranditrigonia*) *potrerillensis*, *Steinmanella* sp., *Spiticeras* sp., *Hemispiticeras* sp., *Blandfordiceras* sp., entre otros) (Marticorena y Tapia, 1981; Müller y Perelló, 1982; Pérez, 1982; Pérez y Reyes, 1983). Por otro lado, su edad mínima está dada por *Myophorella hillebrandti* y *Buchotrigonia* (*Syrotrigonia*) sp., de Edad Neocomiano, actualmente conocido como la base del Cretácico Inferior (Reyes y Pérez, 1985; Pérez y Reyes, 1986).

Su génesis está asociada a un ambiente marino de plataforma somera, debido a la composición y características petrográficas y al registro fosilífero presente, que consta de moluscos marinos extintos.

### **2.3.7. Formación Quebrada Monardes**

Definida formalmente por Mercado (1982) a partir de la descripción informal de Muzzio (1978 en Mercado, 1982). Corresponde a una secuencia de rocas clásticas rojizas cuya localidad tipo se ubica en la quebrada Monardes, y aflorando en secciones a lo largo de la cordillera de Domeyko. Está constituida principalmente por areniscas rojas de grano medio a grueso, laminadas, con estructuras de paleocanales, estratificación cruzada y con areniscas finas y limolitas rojizas violáceas, que tienen espesores de hasta 400 m en el área de estudio.

Se correlaciona cronolitoestratigráficamente con la Formación Agua Helada (Mercado, 1982; Cornejo *et al.*, 1993; Tomlinson *et al.*, 1999; Tomlinson *et al.*, 2003).

Al oeste de la Mina Vieja de Potrerillos y en quebrada Las Vegas se reconoce en concordancia angular sobre la Formación Pedernales, y localmente infrayace en discordancia angular a los

Estratos de Cerro Valiente (Tomlinson *et al.*, 2003). Al sur del área, infrayace en discordancia erosiva a las Gravas de Atacama (Mercado, 1982).

Se acota al Cretácico Inferior post-Valanginiano (Tomlinson *et al.*, 2003), a partir de sus relaciones de contacto y a la redefinición de las unidades infrayacentes (Cornejo *et al.*, 1993; Tomlinson *et al.*, 2003), ya que se descartaron los hallazgos de fósiles en capas descritas por Muzzio (1978 en Mercado, 1982), que en la actualidad se asocian a la Formación Pedernales.

Tanto esta unidad como su equivalente (Formación Agua Helada) son descritas como unidades clásticas asociadas a regresiones marinas que dan paso a condiciones de sedimentación sublitoral a supralitoral o "*lagoon*" (sugerido por Muzzio, 1978 en Cornejo *et al.*, 1993) y continental, asociado a actividad fluvial, canales abandonados y llanuras de inundación, con desarrollo local de evaporitas, en una planicie costera desértica o "*sabhka*" (Cornejo *et al.*, 1993; Tomlinson *et al.*, 2003).

### **2.3.8. Formación Agua Helada**

García (1967) la define como una secuencia sedimentaria clástica de origen continental que aflora en la quebrada Vicuña (Mercado, 1978). Las rocas descritas son areniscas y limolitas rojizas a violáceas con estratificación cruzada, con intercalaciones de conglomerados finos y niveles de yeso y carbonatos (Tomlinson *et al.*, 1992). Se presenta con espesores entre 800-2.000 m, y su sección tipo se ubica al noroeste del Salar de Pedernales, donde se forma un sinclinal de eje EW, envuelto por las calizas de la Formación Pedernales (Tomlinson *et al.*, 2003).

Según Tomlinson *et al.* (1999), esta unidad sobreyace discordante a las calizas marinas de la Formación Pedernales a lo largo de la quebrada Río de la Sal (Titoniano-Valanginiano). En esta quebrada se mantiene su definición formal, pero a nivel regional se considera equivalente cronolitoestratigráficamente a la Formación Quebrada Monardes (Mercado, 1978; Tomlinson *et al.*, 1999).

### 2.3.9. Formación Llanta

Formalmente definida por Cornejo *et al.* (1993, emend. de Frutos *et al.*, 1975), como una secuencia volcanosedimentaria continental de más de 2.000 m de espesor, compuestas en su base por areniscas de grano medio, intercalada por conglomerados, calizas, brechas sedimentarias y lavas traquíticas. En el nivel intermedio predominan las brechas y conglomerados sedimentarios-volcánicos cubiertos por potentes flujos piroclásticos soldados. En el nivel superior abundan las lavas y brechas volcánicas de composición andesítica a andesita-basáltica de texturas porfídicas (Cornejo *et al.*, 2013). Estas se encuentran fuertemente deformadas por esfuerzos compresivos del límite K/Pg (Cornejo *et al.*, 1999), e intruidas por las Monzodioritas y Monzonitas Cuaríferas de Sierra Caballo Muerto, Quebrada del Salado y Sierra Miranda, de Edad Maastrichtiano. Su localidad tipo es la localidad de Llanta, al SW de El Salvador (quebrada El Salado).

Sobreyace en discordancia angular a la Formación Sierra Fraga, e infrayace en discordancia angular suave a las secuencias volcánicas del Paleoceno en quebrada el Salado y en la quebrada El Carrizo (Cornejo *et al.*, 1997, 2009, 2013).

A partir de dataciones U/Pb y  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  (Carta El Salvador y Carta Exploradora) con rangos entre ~80-76,7 Ma, se le asigna una Edad Cretácico Superior Alto (Campaniano-Maastrichtiano), y edades de intrusión entre ~72-68 Ma (Cornejo *et al.*, 2009, 2013).

El ambiente de formación es continental, y se interpretan sistemas fluviales, aluviales y palustres con una fuerte influencia de actividad volcánica, lávica traquítica y piroclástica explosiva. Los niveles superiores presentan una evidencia de aumento de la actividad volcánica y eventual colmatación de la cuenca. El ambiente tectonomagmático es de extracuenca (Cornejo *et al.*, 2013).

## 2.4. Depósitos semiconsolidados y no consolidados

### 2.4.1. Gravas de Atacama

Unidad informal (Mortimer, 1973) caracterizada como depósitos polimícticos de gravas y arenas no consolidadas y localmente cementadas por carbonatos, de 80-250 m de espesor, con mala selección, clastos angulosos a subredondeados, y que afloran en una gran extensión del norte

grande de Chile, principalmente en la zona oeste de la cordillera de Domeyko (Mortimer, 1973; Naranjo y Puig, 1984; Cornejo *et al.*, 1998; Tomlinson *et al.*, 1999), denominadas originalmente como "*Mantling Gravels*" (Willis, 1929 en Naranjo y Puig, 1984). Localmente se reconocen niveles de tefra intercalados, con espesores que varían entre 3 a 30 m. Además, se reconocen flujos de detritos formados por denudación y alzamiento tectónico en un entorno árido, por lo que su contexto es aluvial-fluvial.

Cornejo *et al.* (1993) atribuyen una edad de Mioceno Inferior-Medio para las Gravas de Atacama, a partir de dataciones K/Ar, en biotitas cristalizadas en distintos niveles de tobas, entre los 17 y 10 Ma. Se correlacionan con la Formación Pampa de Mulas (Antofagasta), cuya edad radiométrica es Oligoceno-Mioceno.

#### **2.4.2. Depósitos Aluviales Antiguos**

Definidos por Cornejo *et al.* (2013) como "Depósitos Aluviales del Mioceno-Plioceno". Corresponde a depósitos de gravas y bloques pardos-rojizos que forman grandes conos aluviales coincidentes con las laderas de los cerros, con evidencias de incisión del drenaje torrencial ocasional. En algunas áreas se encuentran estratificadas en la base, escasamente consolidados, con mala selección y abundante matriz fango-arenosa. También presentan estructuras traccionales y geometría cuneiforme, y espesores de hasta 100 m. En las cercanías del Distrito Indio Muerto se reconocen interdigitadas con la Ignimbrita San Andrés, moderadamente soldadas y oxidadas.

Se disponen discordantes a las Gravas de Atacama sobre una superficie de pedimentación, y dataciones permiten asignar una edad de 9,12 Ma, correspondientes al Mioceno Superior. Estas infrayacen en discordancia a los depósitos actuales, por lo que se extiende su edad al Plioceno.

#### **2.4.3. Depósitos Aluviales y Coluviales actuales**

Unidad informal asociada a eventos recientes caracterizados por depósitos no consolidados de derrubios, formado por la erosión de las unidades antiguas y distribuidos en quebradas, áreas de drenaje y en la superficie del terreno. Su origen es gravitacional y aluvial, adosados a laderas escarpadas. Se disponen en discordancia erosiva a todas las unidades existentes, y son polimícticos, angulosos y mal seleccionados. Se asocian al Pleistoceno-Holoceno.

Cornejo *et al.* (2013) describe estos depósitos como 3 unidades informales distintas: Depósitos Aluviales; Depósitos Coluviales y Depósitos de Remoción en Masa. Adicionalmente, menciona los Depósitos Antrópicos, correspondientes a los relaves del yacimiento El Salvador.

### 3. GEOMORFOLOGÍA

Börgel (1975, 1983) divide el territorio chileno en 5 agrupaciones regionales a partir de sus rasgos característicos: 1. Región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas; 2. Región de las planicies litorales y cuencas del sistema montañoso andino-costero; 3. Región central de las cuencas del llano fluvio-glacio-volcánico; 4. Región central lacustre y del llano glacio-volcánico; 5. Región patagónica y polar del inlandsis antártico.

La región de Atacama se encuentra en la región septentrional de las pampas desérticas y cordilleras prealtiplánicas, que, a su vez, está subdividida en las siguientes zonas (desde el límite Chile-Argentina a la costa pacífica): cordones altiplánicos, fosas altiplánicas, precordillera (o precordillera de Domeyko), pampas, cordillera de la Costa, llanos de sedimentación fluvial y planicies marinas (Börgel, 1983; Ulloa y Ortiz de Zárate, 1989). Riquelme *et al.* (2007), agrupan estas unidades en 5 principales: cordillera occidental, depresión preandina, precordillera, depresión central y cordillera de la Costa (figura 3).

**Altiplano:** el plateau Altiplano-Puna es la depresión más importante en la cordillera de los Andes, y corresponde a una meseta o planicie alzada entre las cordilleras occidental y oriental. Alcanza una elevación de ~3.700 m. Sus dimensiones son de 350-400 km de ancho y 2.000 km de longitud (Isacks, 1988; Yuan *et al.*, 2002; Cortés, 2012; Herrera *et al.*, 2015).

**Cordillera occidental:** la zona occidental de los Andes, corresponde al actual arco magmático, con relieve irregular y disposición N-S. Su longitud aproximada es de 8.000 km y su altitud máxima es el cerro Aconcagua, con 6.962 m s.n.m. Se caracteriza por un alto relieve, con alturas medias de 3.000 a 4.000 m s.n.m. (Instituto Geográfico Nacional Argentino, s/f), y en la región de Atacama está representada por la **Cordillera de Domeyko** (o Cordillera de Imilac), en la que el cerro Quimal, tiene una altitud de 4.278 m s.n.m. Además, se reconoce el dominio de los sistemas altiplánicos intercalados con la precordillera y Cordillera de Domeyko, destacando su altitud máxima asociada al volcán Ojos del Salado, de 6.893 m s.n.m. (De Silva y Francis, 1991; González-Ferrán, 1995; Biggar, 2005).

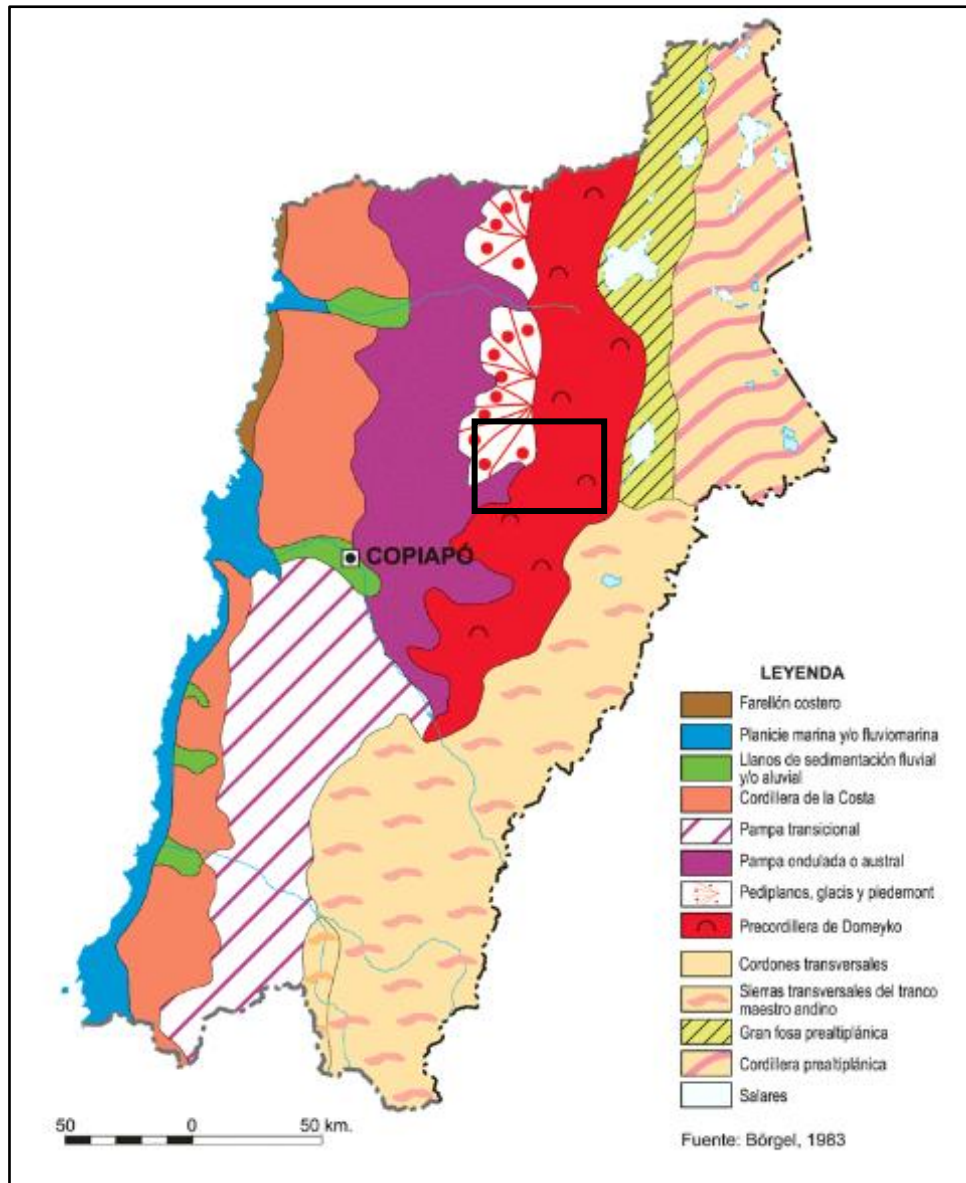


Figura 3. Unidades morfológicas de la región de Atacama. Bórgel (1983).

**Depresión preandina, cuencas preandinas o depresión de los salares:** es una cuenca endorreica (de antearco) con altitudes medias entre 3.500 a 3.700 m s.n.m., mayormente ocupada por salares, como Pedernales y Maricunga (Riquelme *et al.*, 2007). Es una zona tectónica, hundida del relieve y formada por actividad estructural y posterior erosión. Destaca la presencia de zonas salinas como el salar de Atacama, salar de Punta Negra-Imilac, entre otros. Es una depresión rellena de rocas clásticas y químicas, formadas a partir de la evaporación del agua superficial en zonas hipersalinas.

**Precordillera (Cordillera de Domeyko):** relieve montañoso constituido por bloques solevantados tectónicamente, en partes un “*horst*”, como la Cordillera de Domeyko (Chong *et al.*, 2020). La

altitud de varía entre 3.000 y ~5.000 m s.n.m., y el ancho entre 10 y 15 km. Corresponde a un dominio tectónico bien definido de ~500 km de largo, dividido en secciones compuestas de bloques de basamentos limitados por fallas de alto ángulo (Amilibia *et al.*, 2008). Evidencia geomorfológica y sedimentológica sugiere que la precordillera alcanzó grandes elevaciones hasta el Oligoceno, precediendo al levantamiento altiplánico (Bissig, 2010).

**Depresión central, valle longitudinal o llanura intermedia:** corresponde a un territorio deprimido entre la precordillera y la cordillera de la Costa, limitada por estructuras N-S no evidenciadas debido a la cobertura aluvial (Chong *et al.*, 2020). Tiene una extensión aproximada de 50 km y una altitud que varía entre 500 y 2.000 m. Es el nivel base principal antes del océano. Está cubierta por abanicos aluviales en dirección E-O. Las pampas son reconocidas como una franja N-S instalada entre las cotas 600 y ~1.500 m s.n.m., limitada al este por la precordillera y al oeste por la cordillera de la Costa.

**Cordillera de la Costa:** es un cordón montañoso de orientación NS, con un ancho de hasta 50 km, con topografía relativamente plana, de una altitud promedio de 2.500 m s.n.m., y una altitud máxima de 3.114 m s.n.m., que se conoce como cerro Vicuña Mackenna. Presenta antiguos depocentros aluviales limitados por serranías aisladas incididas por quebradas actualmente inactivas. De acuerdo a su morfología tiene un relieve maduro, pero fragmentado por estructuras activas. En el norte de Chile es reconocida como la emersión del antearco externo de los Andes centrales, ubicado sobre la zona de acople entre las plazas de Nazca y Sudamericana (Allmendinger *et al.*, 2005; Marquardt *et al.*, 2008). Al oeste, limita con el Gran Escarpe Costero, que corresponde a un acantilado costero de ~1.000 km de extensión y con un desnivel de aproximadamente 1.000 m (Tolorza *et al.*, 2009). En la región es representado por el Farellón Costero.

**Llanos de sedimentación fluvial:** zonas de planicies incididas por ríos intermitentes, observados como un pasaje transicional entre aluviones del sector septentrional y el crecimiento moderado de los ríos meridionales (Börgel, 1975).

**Planicie marina:** también llamada planicie costera o planicies litorales, y corresponde a la franja situada entre la cordillera de la Costa y el océano Pacífico (Börgel, 1975, 1983). Esta zona está

constantemente erosionada por acción del oleaje, y formada por una serie de terrazas de abrasión marinas cubiertas principalmente por depósitos marino-litorales, aluviales, coluviales, eólicos y de remociones en masa, todos del Cuaternario (Tolorza *et al.*, 2009). Su límite altitudinal varía entre 0 y 300 m s.n.m. (Börgel, 1975). Paskoff (1978-1979) menciona que en el norte de Chile se origina por el retroceso del gran acantilado durante la importante transgresión del Plioceno Medio a Superior.

La ciudad de El Salvador se fundó en el área de pediplanos o pedillanura, en la parte occidental de la Cordillera de Domeyko. En este dominio se desarrollan las actividades de ambos distritos de la división Salvador: Indio Muerto y Potrerillos. Su elevación máxima coincide con la Mina San Antonio Óxidos (SAO), con ~3.800 m s.n.m., cercano a la Mina El Hueso, y desarrollada en el distrito Potrerillos. Se ubica en el extremo sur de la zona volcánica de los Andes Centrales (CVZ), cuya actividad en Chile se concentra en la cadena de Ojos del Salado-Tres Cruces, al sur del área de estudio y al este del Salar de Maricunga (González *et al.*, 1985 y Baker *et al.*, 1987, en Cornejo *et al.*, 1993).

## 4. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES DEL ÁREA DE GEOLOGÍA

### 4.1. Generalidades

El trabajo geológico que involucra a los distintos sistemas de almacenamiento de datos de geología se condice con dos áreas activas distribuidas en diferentes sectores:

1. La Mina San Antonio Óxidos (SAO), que produce óxidos de cobre en modalidad *Open Pit*, y
2. El proceso de *Pre-stripping* del Proyecto Rajo Inca, cuyo modelo de prefactibilidad involucra campañas de sondajes y excavación superficial de *Open Pit*, sin recuperación.

En el Distrito Potrerillos se encuentra la mina San Antonio, y, por ende, la línea de óxidos de la División El Salvador. Este yacimiento involucra operaciones de producción que se desarrollan a corto plazo y a largo plazo.

A corto plazo, el área de geología debe ratificar el valor económico del material tronado, generar predicciones de la extracción de este en función de su calidad y garantizar los resultados más precisos para adosarse a las metas anuales (largo plazo). Estas directrices son imperantes para el correcto funcionamiento de la mina y, en especial, del cumplimiento del plan mensual.

El trabajo geológico debe controlar, asegurar y optimizar los procesos extractivos y productivos en las operaciones diarias y garantizar la calidad de material enviado a planta. En función de lo anterior, se especifican los siguientes controles:

**Grade control:** El control de la calidad del mineral incluye todos los procesos que siguen al material procedente de la extracción por tronadura, y su objetivo es el correcto procesamiento de este en la planta. Para la correcta obtención de resultados, se necesita de mapeos geológicos en los sectores mencionados, incluyendo controles diarios del estado del mineral en bancos, pozos de tronadura, *stocks* y calicatas. Además, resulta necesario realizar compósitos de los recursos evaluados para lograr metas de laboratorio en planta, como el control granulométrico y

composicional del material tronado, mezcla de *stocks* de material de distinta ley y recuperación de material histórico en *stocks* locales.

**Ore control:** Para el control de las leyes de producción, es trabajo del geólogo/a definir el área de extracción, orden y destino del material tronado. Se realizan divisiones en polígonos de la malla de extracción con el fin de optimizar el trabajo operativo y la posible dilución del material, considerada como la afectación adversa más usual en esta etapa del proceso productivo. Se refiere a una discordancia importante con la ley y tonelaje predictivos por causas geológicas, estructurales y operacionales. Por ende, este pronóstico debe ser informado y fidedigno. El/la geóloga/a usa como guía el modelo geológico de largo plazo y el modelo de bloques de corto plazo, además del monitoreo del banco y el frente de extracción mineral. Para todas estas actividades deben existir procedimientos exhaustivos que se enfoquen, además de la especificación del trabajo, en la seguridad de los trabajadores.

## **4.2. Procedimientos para el almacenamiento de la información geológica**

El proceso no se considera completo sin un control de aseguramiento y calidad (QA/QC). Al ser procesos diarios de carácter dinámico, se exige alta exactitud y precisión de tonelaje y leyes. El control de aseguramiento involucra a las actividades sistemáticas que aseguran que los procesos que llevan a cierto resultado sean consistentes al entregar lo requerido. El control de calidad, por otro lado, se enfoca en la evaluación de estos resultados, determinando si es que se llega a cierto estándar. De esta forma, estos procesos deben ser transversales y autónomos a todas las actividades de producción controladas, propendiendo a la calidad en cada etapa.

El trabajo del geólogo de producción implica la efectiva retroalimentación de la información con otras áreas divisionales: El área de planificación se encarga de desarrollar metas mensuales de producción las cuales están estrechamente ligadas a la información y resultados diarios del área de geología, por lo que la comunicación es imperante diariamente. El área de control producción está encargado de la distribución y ubicación de todo el material extraído. Además, lleva el ordenamiento de la mina y el movimiento de dicho material.

Desde 2016, el proceso geológico está organizado en un único sistema unificado. CODELCO opta por *Acquire GIM Suite* como *software* corporativo administrador de base de datos de geología.

*Acquire GIM Suite* es un *software* creado en 1996 por *Acquire Technology Solutions Pty Ltd.*, asentada en Perth, Australia. El *software* es creado a partir de la necesidad de optimizar el proceso minero y el manejo de datos de sondajes de forma eficiente. De este modo, *Acquire GIM Suite* maneja toda la información geológica en un solo sistema, almacenando la captura de datos y entregando un análisis productivo.

*Acquire GIM Suite* gestiona la información como una base de datos relacional. Este tipo de base de datos utiliza una estructura que permite identificar y acceder a los datos en función de su relación con otros elementos dentro del mismo sistema. Esta relación está determinada en un modelo de tablas denominado ADM (*Acquire Database Model*), y toda la información capturada se almacena en este.

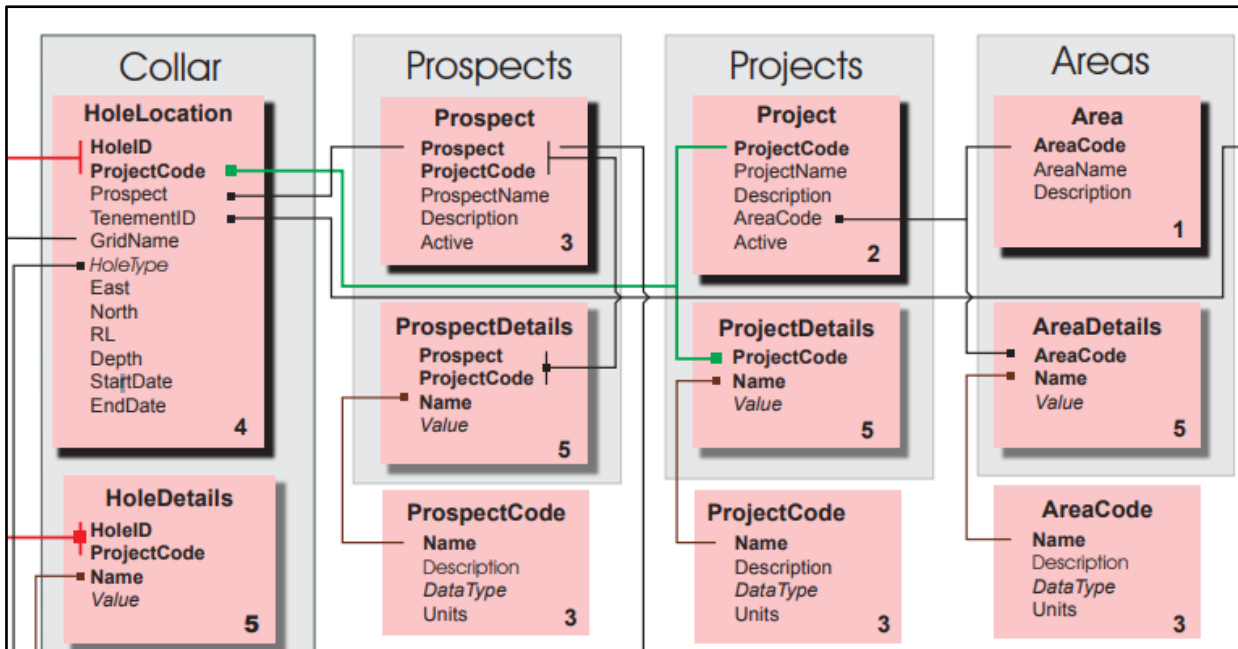
Las tablas de un modelo contienen uno más campos considerados como Clave Primaria o Principal (*Primary Key*) y Claves Externas o Foráneas (*Foreign Keys*). La Clave Primaria debe ser única, define registros únicos y no puede tener valores nulos. Por otro lado, las Claves Foráneas hacen referencia a la Clave Primaria en otra tabla. Ejemplo, en la tabla 1, se observa la tabla "HOLESURVEY" del ADM. En esta tabla se almacenan los datos del levantamiento de trayectoria de un sondaje, medido durante la perforación. "HoleID" es la identificación del sondaje, "ProjectCode" el nombre del proyecto, "SurvType" es el tipo de trayectoria y, además, se encuentran los registros de Profundidad (*depth*), Azimuth y Dip.

**Tabla 1. Tabla "HOLESURVEY" del ADM. Software *Acquire GIM Suite*.**

<i>HoleID</i>	<i>ProjectCode</i>	<i>SurvType</i>	<i>Depth</i>	<i>Azimuth</i>	<i>Dip</i>
A2-101	CCC	MSFlexi	0	-80	260
A2-101	CCC	MSFlexi	5	-79.6	259
A2-101	CCC	MSFlexi	10	-79.5	256

*Nota: En naranja se identifica la Clave Primaria.*

Las relaciones entre tablas permiten que la Clave Primaria de una tabla se considere Clave Foránea en otra, y viceversa. Por ejemplo, en la figura 4, se muestra un extracto del ADM en el cual se evidencian las relaciones entre tablas.



**Figura 4: Extracto de ADM Acquire GIM Suite.** En gris se presenta el módulo (*Collar, Prospects, Projects, Areas*); en rosado las tablas de cada módulo. Las Claves Primarias de cada tabla están representadas en formato "negrita". *Software Acquire GIM Suite.*

La relación entre estas tablas se especifica en la figura 5. De esta figura se desprende que la Clave Primaria de una puede ser Clave Foránea en otra, haciendo referencia a la tabla donde son Primarias. Además, la Clave Primaria de una tabla puede estar compuesta por Claves Primarias de otra tabla, pasando a ser Foráneas. A su vez, se deben señalar las siguientes observaciones:

1. La tabla HOLESURVEY tiene Clave Primaria HoleID, ProjectCode, SurvType y Depth.
2. La tabla HOLELOCATION tiene Clave Primaria HoleID y ProjectCode.
3. La tabla PROJECT tiene Clave Primaria ProjectCode.
4. La tabla AREA tiene Clave Primaria AreaCode.

La Clave Primaria AreaCode de la tabla AREA se referencia como Clave Foránea de la tabla PROJECT.

La Clave Primaria ProjectCode de la tabla PROJECT se referencia como Clave Foránea y, además, como parte de la Clave Primaria de la tabla HOLELOCATION.

La Clave Primaria compuesta de la tabla HOLELOCATION se referencia como Clave Foránea y, además, como parte de la Clave Primaria en la tabla HOLESURVEY (tabla 1).

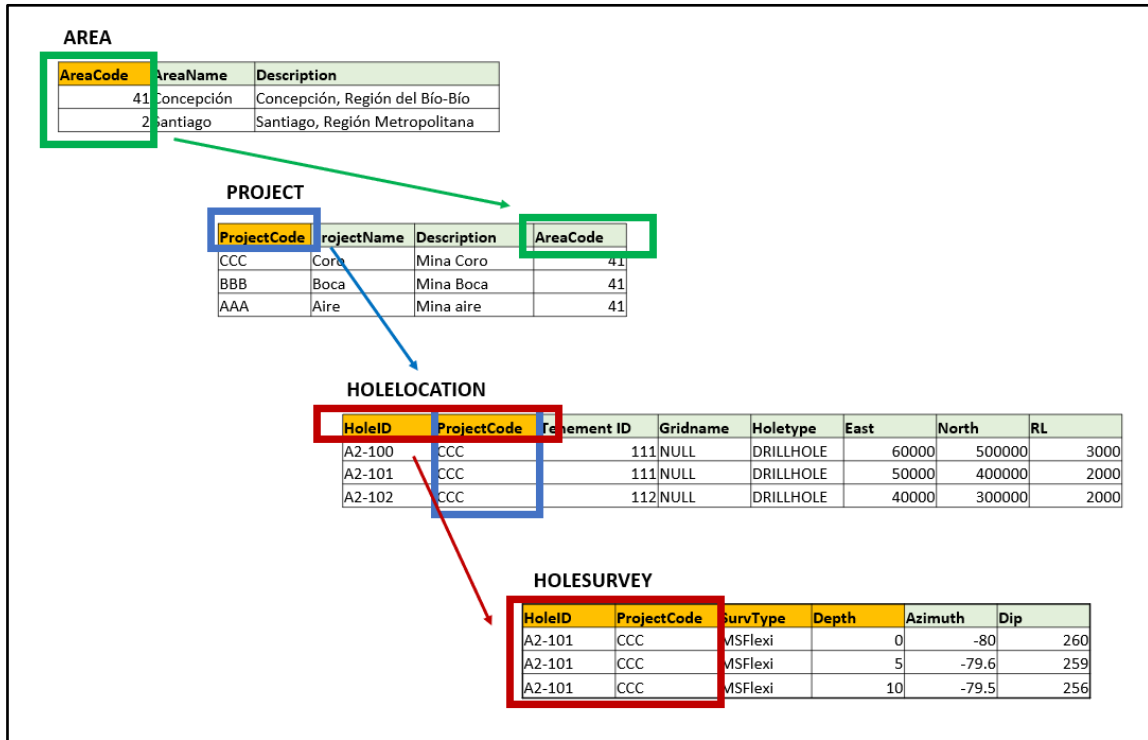


Figura 5: Relaciones de tablas del ADM. Software Acquire GIM Suite.

### 4.3. Detalle de las tareas de geología de producción (Mina SAO)

Para el correcto desarrollo de las labores del área de geología de producción se requiere implementar las siguientes actividades: Toma de información geológica en terreno, Procesamiento de datos en gabinete, QA/QC y Conciliación.

#### 4.3.1. Toma de información geológica en terreno

La toma de información geológica es la base de las tareas del área de geología y precede al resto de las actividades productivas. Los datos obtenidos se utilizan tanto para la gestión diaria como para la actualización de las herramientas predictivas de corto y largo plazo, como el modelo de bloques y el modelo de estimación de recursos. Además, es parte de la retroalimentación que debe existir con el resto de áreas divisionales como planificación y operaciones.

Las actividades de toma de datos incluyen muestreo de pozos de tronadura y posterior mapeo geológico de los *cutting* en gabinete, además del mapeo de bancos y de los *stocks* de material. La importancia de estas tareas radica en obtener datos precisos y exacto a partir del muestreo diario de los pozos de tronadura, cuyos resultados de laboratorio determinan las leyes de cobre reales de la malla de extracción reciente. El mapeo geológico de las diferentes áreas de la mina (pozos de tronadura, bancos, *stocks*, entre otros) permite enriquecer el conocimiento de la ubicación espacial del mineral.

**Muestreo de Pozos de Tronadura:** Esta actividad es realizada a diario en mina SAO por ayudantes de geología y es supervisada por el área de geología. Involucra un procedimiento exhaustivo dirigido al personal, ya que el estado de la muestra final enviada a preparación mecánica debe ser representativa de lo extraído desde el pozo, tanto en composición como en orden de extracción. El plan de muestreo involucra también el traslado de las muestras a destino.

La organización del plan de muestreo de pozos de tronadura se realiza en gabinete y es supervisada por el geólogo de producción. Este plan se realiza de manera semiautomática utilizando el *software* Administrador de Información Geológica *AcQuire GIM Suite*. En este software se tiene un objeto específico para la creación del plan y reporte de muestreo, donde es posible ingresar hasta 21 muestras por *batch* de muestreo. El software entrega automáticamente un código único para cada muestra, al cual se cargarán los resultados de laboratorio ingresados en otro objeto *AcQuire*.

Como parte del QA/QC permanente, en esta etapa se define un 5% de muestras duplicadas para su análisis en laboratorio. Además, es importante -y una buena práctica- realizar una labor ordenada, considerando un solo disparo de tronadura por *batch* de muestreo.

El personal de muestreo debe preparar previamente el material necesario antes de ingresar a la mina. Esto incluye el equipo de protección personal (EPP), palas, diagrama de la malla perforada, bolsas de muestras, etiquetas, entre otros implementos. Se debe cumplir con el protocolo de ingreso a la mina y a la malla de perforación, consultando al jefe de área, quien es el responsable de determinar si las condiciones son óptimas para trabajar. Una vez obtenido el permiso, y antes de

comenzar las actividades, se realiza en terreno el Análisis de Riesgo del Trabajo (ART), que es una herramienta de CODELCO utilizada para identificar los riesgos y controles asociados a la tarea.

Con el diagrama de disparo se identifican y etiquetan los pozos a muestrear. Propiamente tal, en el muestreo se comienza retirando de 3 a 5 cm de la pasadura del cono de producción (material que sobrepasa el nivel horizontal esperado). Luego, se corta el cono para evidenciar los cambios granulométricos de la extracción y se toma el material de ambos lados del pozo de forma radial (figura 6 y figura 7). Las muestras se almacenan y etiquetan en bolsas de muestreo y son resguardadas en la camioneta para su traslado a preparación mecánica y posterior análisis químico. Con la toma de muestras se genera un informe para preparación mecánica y análisis químico que será revisado y posteriormente firmado por geología y personal de laboratorio.



**Figura 6. Corte del cono de extracción de la tronadura.**

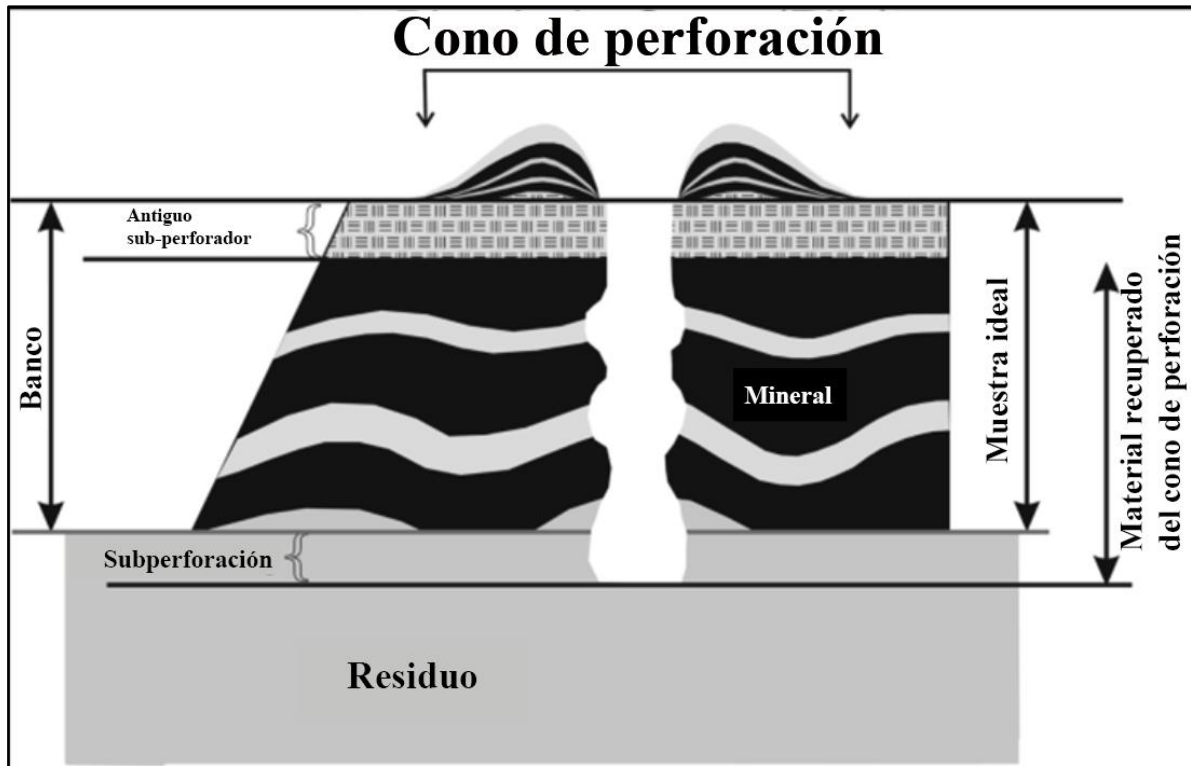


Figura 7: Esquema ideal de muestreo de pozos de tronadura (Modificado de Abzalov, 2016).

La preparación mecánica consta de las siguientes etapas:

1. Secado de muestras en horno industrial: necesario para extraer los componentes líquidos de las muestras. Estas son calentadas a  $\sim 105^{\circ}\text{C}$  por aproximadamente 24 horas. Se debe tener cuidado con las muestras más finas, ya que al secarlas pueden formar lodo.
2. Chancado: se selecciona el material fino para el divisor rotatorio de 4 capachos, luego se toma el material de 2 capachos opuestos y se llevan al pulverizado.
3. Pulverizado: se extraen 150 g de pulpa para análisis químico en laboratorio. Mediante absorción atómica, se obtienen leyes de CuT y CuSFri en el caso de la línea de óxidos. El personal de laboratorio está encargado de ingresar los datos de las leyes a *Acquire GIM Suite* y emitir el reporte analítico. Desde ese momento, el geólogo de producción tiene acceso a las leyes de pozos de tronadura para realizar la caracterización.

#### 4.3.1.2. Mapeo de Pozos de Tronadura

Para caracterizar el material extraído es necesario realizar una descripción petrográfica detallada. En esta labor, el geólogo debe identificar las litologías y detallar la información textural y composicional de éstas, las posibles alteraciones y mineralizaciones presentes. En el caso de los pozos de tronadura, el material se define como *cutting* o material particulado, y procede de la perforación de cierta área del banco o malla de perforación (figura 8).



Figura 8. Máquina perforadora posicionada en malla de tronadura.

El mapeo tiene como objetivo obtener información geológica de las áreas involucradas en el avance de extracción, comparando y verificando esta data con la obtenida en los modelos predictivos. Se detectan desviaciones respecto a estos modelos para corregirlos y asegurar una mejor calidad de la información futura y afinar zonas de posible alta ley.

En el caso de la mina San Antonio, las muestras de pozos de tronadura se mapean en gabinete, posterior a la preparación mecánica y laboratorio. Estas pulpas de material fino son llevadas al área de mapeo de pozos de tronadura en San Antonio, cerca de la oficina de geología. Las bolsas de pulpa se encuentran rotuladas desde laboratorio con el número de muestra, el cual debe estar asociado al número de pozo de una malla de perforación para comenzar mapeo directo en el *software Acquire GIM Suite*. El geólogo realiza el análisis detallado con la ayuda de lupas de mano y lupa electrónica, ácido clorhídrico al 10% y agua pulverizada para describir los parámetros de la cartilla de mapeo *Acquire*. El *software Acquire GIM Suite* habilitado para mapeo no puede ser utilizado sin la red de Codelco activa. Por lo tanto, conexión a internet constante es necesario. La cartilla de mapeo se considera básica y permite caracterizar distintos parámetros de las muestras (figura 9).

Ins	Proyecto	HOLEID	Geologo	Banco	Fase	Disparo	UG_UG1	LT_LIT01	LT_LIT01_PCT	LT_LIT02	LT_LIT02_PCT	LT_LIT03	LT_LIT03_PCT	MN_MINEOX1	MN_MINEOX1_PCT	MN_MINEOX2	M
326	CA	570-140CA-063	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
327	CA	570-140CA-064	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
328	CA	570-140CA-065	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
329	CA	570-140CA-066	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
330	CA	570-140CA-067	RS	2570	008	140	28	AND	50	P-QZ	50						
331	CA	570-140CA-069	RS	2570	008	140	S/I	AND	100								
332	CA	570-140CA-071	RS	2570	008	140	S/I	AND	100								
333	CA	570-140CA-074	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
334	CA	570-140CA-075	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
335	CA	570-140CA-079	RS	2570	008	140	28	P-QZ	100								
336	CA	570-140CA-080	RS	2570	008	140	S/I	AND	100								
337	CA	570-140CA-081	RS	2570	008	140	S/I	AND	100								

Figura 9. Cartilla de mapeo en interfaz de *Software Acquire GIM Suite*.

Esta cartilla de mapeo es la primera de su tipo dentro del software *AcQuire GIM Suite* y lleva poco tiempo ingresada a los trabajos diarios de producción. Luego de ingresar manualmente los parámetros de Proyecto, Banco, Fase, Disparo y Pozo correlativo, se procede a mapear los parámetros geológicos establecidos según el estándar divisional.

Es importante destacar que se han identificado duplicidades en varios de los parámetros registrados. Por ejemplo, la alteración filica puede ser mapeada de dos maneras distintas: mediante el código “FIL” o mediante el número “2”. Aunque ambas codificaciones son equivalentes, en *AcQuire GIM Suite* se ingresan como parámetros diferentes y se exportan en columnas separadas.

En el caso de la litología, esta se registra mediante porcentajes; sin embargo, dichos valores no poseen un límite definido, por lo que es posible ingresar cifras arbitrarias, incluso superiores al 100%. La alteración, por su parte, se limita a una sola categoría y se clasifica únicamente según su intensidad. La mineralogía de ganga también se restringe a un único tipo y, además, carece de un límite cuantitativo establecido. Debido a las características del yacimiento, este enfoque no permite diferenciar adecuadamente la composición de arcillas que podría influir en el consumo de ácido en la planta de lixiviación.

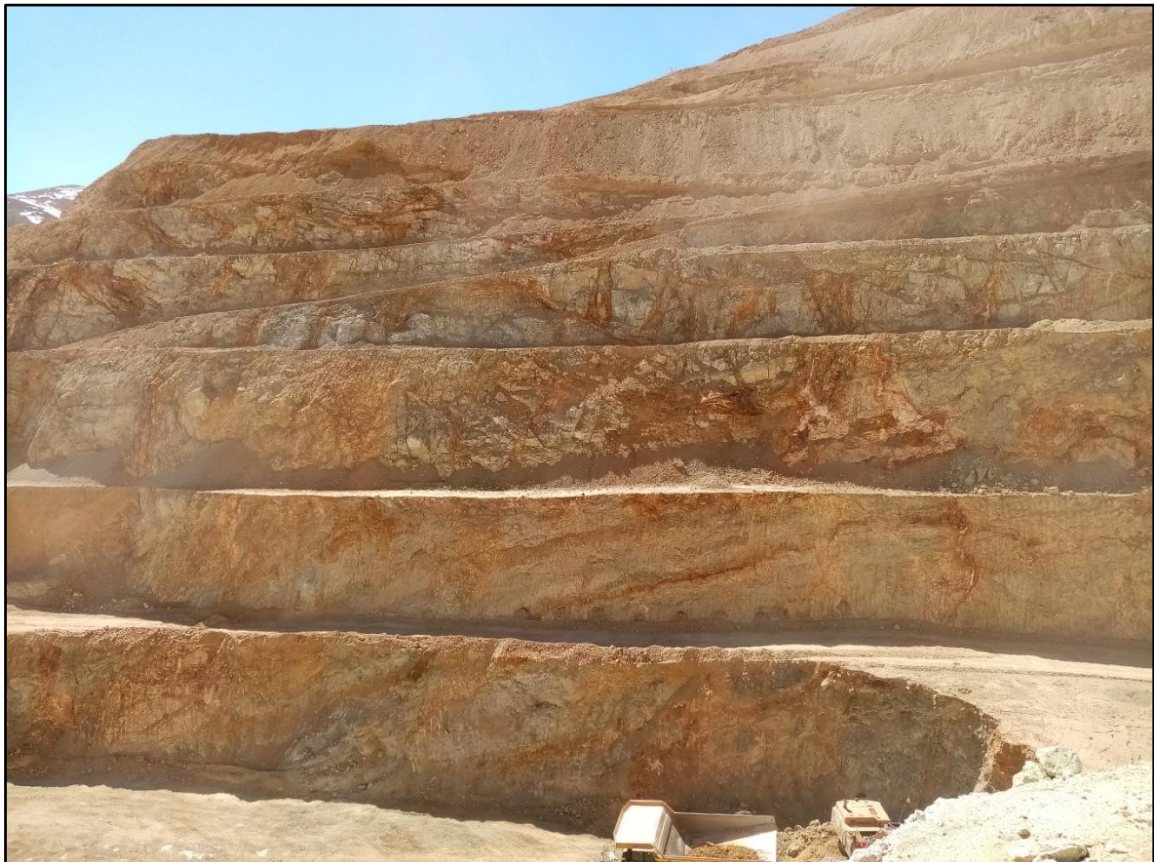
En cuanto a la mineralización, los óxidos están restringidos a tres minerales y, junto con los sulfuros, se registran como porcentajes de ocurrencia en la muestra. Finalmente, las unidades geológicas se encuentran organizadas según el estándar corporativo y se dispone de un campo adicional para comentarios.

Una vez ingresados los datos de un proyecto al *software AcQuire GIM Suite*, cualquier trabajador con cuenta activa puede extraer la información. En el *software AcQuire GIM Suite* se encuentran ingresados todos los proyectos activos e inactivos de la división; sin embargo, a la fecha, la información de mapeo geológico anterior al uso de la cartilla *AcQuire* no ha sido completamente ingresada a la base de datos.

#### 4.3.1.3. Mapeo de Bancos

Esta actividad requiere de la presencia del geólogo de producción en los bancos de la mina. El soporte de mapeo tiene una longitud de 30 m, y el geólogo señala el inicio y final del tramo con spray, para determinar el punto donde se registrarán las coordenadas GPS correspondientes.

Las herramientas necesarias para el mapeo geológico corresponden a: lupa de mano, rayador, y agua pulverizada para la identificación de parámetros geológicos como la litología, alteración, mineralización, zona mineral, entre otros. Para el mapeo de estructuras se requiere de brújula geológica, para medir el rumbo y mapeo de estratos, fallas, diaclasas, contactos entre unidades, y discordancias. En el caso de requerir una muestra, se necesita martillo geológico. En la figura 10 se aprecian los bancos de mapeo.



**Figura 10. Bancos de mapeo de 5 m de altura, mina SAO.**

El *software Xilab* cuenta con funciones para el mapeo de bancos; sin embargo, a la fecha no se encuentra habilitado para la mina SAO, siendo utilizado por última vez el año 2016. Debido a lo anterior, el mapeo se registra manualmente en una libreta de terreno y, de considerarse pertinente, el geólogo puede elaborar mapas de planta en *AutoCAD*.

#### 4.3.2. Procesamiento de datos en gabinete

En el marco de los procesos de *Ore Control* en la mina San Antonio, los datos capturados en terreno son almacenados en la base de datos integrada, lo que permite su disponibilidad para el procesamiento en los distintos *softwares* utilizados en las operaciones diarias y en la actualización de los modelos de recursos. Entre las actividades principales asociadas al control de mineral se encuentra la **separación de mallas de disparo**, descrita a continuación.

En esta etapa del proceso operativo, el geólogo de producción realiza una clasificación de los materiales tronados según sus leyes de cobre. el objetivo es maximizar la recuperación de material de alta ley y, mantener actualizado el modelo de bloques a corto plazo, el cual guía la operación minera diaria.

Los materiales son reservados en diferentes *stocks*, usualmente clasificados por rangos de ley y controlados por el geólogo de producción. Esta actividad es primordial para controlar y verificar el cumplimiento de las metas productivas de corto, mediano y largo plazo, particularmente en la alimentación hacia la planta de lixiviación.

A continuación, se detalla el método de ejecución actual de la actividad:

1. Exportación de datos de pozos de tronadura desde la base de datos de *Acquire*: La información como la topografía, profundidad, geología y leyes, deben ser exportadas en formato ".csv".
2. Generación de la malla de disparo en formato ".dxf": los datos exportados se ingresan en una plantilla de Excel, que ejecuta un *script* encargado de generar un archivo ".dxf" con la malla de disparo. El *script* otorga automáticamente una codificación zonal por colores predefinidos.

3. Creación de polígonos en AutoCAD: El archivo ".dxf" contiene la información de la ubicación de los pozos en el sistema de coordenadas de la mina. Teniendo dicha información, el geólogo de producción utiliza la herramienta "polilínea" de *AutoCAD* para delimitar polígonos dentro del área total, que representen zonas con distinta ley. En esta actividad debe tenerse en cuenta la componente operacional vigente. Específicamente, debe considerarse el ancho de la pala de extracción en el frente al realizar movimientos, accesibilidad en el frente de trabajo, secuencia operativa de extracción, entre otros.

4. Cubicación de polígonos: se calcula el tonelaje total y por zona poligonal del material a extraer, utilizando los siguientes parámetros (tabla 2):

**Tabla 2. Parámetros para la cubicación de polígonos.**

Parámetros	Descripción	Fuente
Área del polígono	Determinada directamente de <i>AutoCAD</i> al seleccionar le polígono	<i>AutoCAD</i>
Largo promedio de los pozos	Obtenido desde el archivo .csv	Base de datos <i>Acquire</i>
Densidad	Definida en modelo PSAI2016 (material tronado: 2.3 m <sup>3</sup> /t; Material in situ: 2.1 m <sup>3</sup> /t). Valores específicos pueden obtenerse del modelo de corto plazo.	Modelo PSAI2016/Bloques de corto plazo

5. Elaboración de Informe: La información del tonelaje, ley promedio de CuT, y CuSF se integra en tablas a un costado de la malla de disparo separada. El documento final se exporta a formato ".pdf" y se distribuye generalmente a los usuarios internos mediante correo electrónico.

6. Actualización de modelo geológico de corto plazo: una vez actualizada la base de datos, y teniendo la información diaria de leyes de CuT y CuSF, se utiliza la topografía, densidad y base de datos de sondajes para realizar un modelo de bloques de corto plazo que debe ser actualizado periódicamente a medida que llega información productiva nueva.

### 4.3.3. QA/QC

Este proceso abarca tanto los resultados de laboratorio obtenidos a partir de las muestras recolectadas después de la tronadura, como las actividades que generan dichos resultados. Su objetivo es minimizar las desviaciones en precisión y exactitud, garantizando que los análisis sean consistentes y confiables. Mantener un control sobre estas variables permite identificar las causas de posibles desviaciones y asegurar la calidad de los productos finales.

El plan de muestreo, supervisado por el geólogo de producción y ejecutado por el personal del área de geología de producción, incluye la recolección de muestras, así como la identificación y separación de sus duplicados. El duplicado de terreno de *cutting* se obtiene a partir del corte adyacente a la muestra original. En términos estrictos, se debe extraer un duplicado equivalente al 5% del total de muestras.

En la División Salvador, específicamente para la mina San Antonio, no se trabaja con duplicados blancos ni estándares, por lo que la exactitud de los análisis y la variable de contaminación no se analizan (Abzalov, 2016). Para el Proyecto Rajo Inca se tiene considerado realizar estos procedimientos en cuanto comience el proceso productivo.

Los duplicados o muestras de control se dividen según su extracción de la siguiente manera:

- **Duplicado de terreno:** se realiza *in situ*, durante la extracción de *cutting*, para evaluar la precisión de la toma de muestras.
- **Duplicado de preparación:** se obtiene del material fino de los capachos, una vez finalizada la preparación mecánica.
- **Duplicado de pulverizado:** corresponde al material fino generado antes del análisis químico, y permite controlar los resultados previos a este proceso.
- **Duplicado de laboratorio o analítico:** consiste en un segundo análisis de una misma muestra, destinado a verificar la consistencia de los resultados analíticos.

Con los resultados de los duplicados se calcula el error analítico y el relativo. Además, aplican los siguientes estadígrafos de precisión:

- **Varianza:** Es la medida de la amplitud de la dispersión de un grupo de datos con respecto a la media. Al ser un estadígrafo de precisión, la varianza debe ser baja.

$$S^2 = \sum \frac{(A - B)^2}{N}$$

Donde: **A:** Resultado muestra original; **B:** Resultado muestra duplicado; **N:** Número total de datos.

- **Desviación estándar:** Es la medida de dispersión o variabilidad del grupo de datos con respecto a la media. Esta medida de dispersión es absoluta.

$$S = \frac{1}{\sqrt{2}} = \left( \sqrt{\sum \frac{(A - B)^2}{N}} \right)$$

Donde: **A:** Resultado muestra original; **B:** Resultado muestra duplicado; **N:** Número total de datos.

- **Coefficiente de variación:** Muestra la extensión de la variabilidad de una serie de datos en relación con la media (desviación estándar/media). En este caso, se utiliza en análisis químico para determinar la precisión de la prueba o ensayo de la batería de análisis en duplicado analítico. Al ser un coeficiente, no tiene unidades de medida y se considera un número escalar.

$$Cv = \frac{S + 100}{\left(A + \frac{B}{2}\right)}$$

Donde: **A:** Resultado de 1er análisis; **B:** Resultado de 2do análisis; **S:** Desviación estándar.

Los estadígrafos son automáticamente realizados en el Sistema *AcQuire*, que tiene integrado el sistema QA/QC. Este objeto realiza automáticamente gráficos analíticos diariamente para detectar errores de precisión rápidamente.

En División Salvador, para mina SAO, no se extraen duplicados Blancos ni Estándares, por lo tanto, las pruebas de exactitud no pueden ser llevadas a cabo. En el nuevo proyecto Rajo Inca se tienen consideradas estas muestras para cuando comience el proceso productivo.

## 5. MEJORES PRÁCTICAS EN LA GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN GEOLÓGICA

El activo fundamental de cualquier empresa de exploración o explotación minera es la información geológica que define el recurso y la reserva mineral, no la maquinaria, la infraestructura ni la concesión. Esta información, meticulosamente recopilada, validada y gestionada, constituye la base sobre la cual se construyen todas las evaluaciones técnicas, valoraciones financieras y decisiones estratégicas. En consecuencia, la base de datos geológica trasciende su papel como un mero repositorio de información operativa; es el registro auditable y verificable del principal activo de la empresa. La integridad de este activo de datos es, por lo tanto, un prerequisite no negociable para la estimación precisa de recursos, la gestión eficaz de riesgos y el cumplimiento normativo inquebrantable. Cualquier debilidad en la cadena de gestión de datos -desde la observación inicial en el frente de roca hasta el almacenamiento final en un servidor- introduce incertidumbre y riesgo que pueden propagarse por toda la cadena de valor, conduciendo potencialmente a modelos geológicos erróneos, estimaciones de recursos inexactas y, en última instancia, a importantes repercusiones financieras y legales (Abzalov, 2016; AcQuire, s.f.; Snowden Optiro, 2023).

Se propone un marco integral para establecer y mantener las mejores prácticas en la gestión de la información geológica. Está escrito desde la doble perspectiva única de un profesional que ha servido tanto como geólogo de control de mineral en terreno, responsable de la generación de datos primarios, como administrador de bases de datos, encargado de salvaguardar la integridad de esos datos. Este punto de vista proporciona una lente crítica y a nivel de terreno a través de la cual examinar, criticar y reconstruir los protocolos de gestión de datos. La aplicación práctica de este marco en una operación minera chilena ha culminado en dos resultados tangibles y transformadores: la limpieza y validación sistemática de una base de datos geológica heredada y el desarrollo de nuevas plantillas de registro geológico estandarizadas, diseñadas para hacer cumplir la calidad de los datos en el punto de captura.

El proyecto se sitúa en el exigente contexto de la industria minera chilena, una jurisdicción regida por sus propias y rigurosas normas nacionales, mientras opera en un mercado global que exige la adhesión a códigos de reporte internacionales. Esta doble presión de los reguladores locales, como

el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), y de los organismos internacionales que supervisan códigos como el Instrumento Nacional 43-101 (NI 43-101) de Canadá y el Código JORC de Australia, crea un mandato obligatorio para la gestión sistemática, auditable y transparente de los datos geológicos (Comisión Minera de Chile, 2023; Prochaska y PESA, s.f.; Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

Este capítulo guiará al lector a través de una progresión lógica, comenzando con los marcos de gobernanza de alto nivel que establecen por qué es esencial una gestión de datos rigurosa. Luego, profundizará en los detalles prácticos y granulares de cómo lograr esta integridad, cubriendo las prácticas fundamentales de adquisición de datos estandarizada, los protocolos sistemáticos para la validación y el control de calidad de los datos, los principios arquitectónicos para diseñar un sistema de información auditable y seguro y, finalmente, las estrategias críticas para la implementación y la gestión de los factores humanos inherentes a cualquier cambio sistémico.

El argumento central es que un sistema robusto de gestión de la información geológica no es un gasto administrativo, sino un imperativo estratégico, esencial para garantizar la integridad geológica, financiera y legal de una operación minera moderna.

## **5.1. Marco de Gobernanza para la Integridad de los Datos Geológicos**

La necesidad de una gestión rigurosa de las bases de datos geológicas no nace de una preferencia académica o de una conveniencia operativa; es una consecuencia directa de un marco regulatorio y profesional global diseñado para proteger los mercados de capitales y garantizar la confianza del público. Este marco de gobernanza, aplicado a través de códigos de reporte nacionales e internacionales, establece una cadena causal clara y poderosa: las obligaciones legales y éticas impuestas a las empresas mineras y a sus profesionales designados para la divulgación pública transparente y fiable exigen directamente la implementación de prácticas de gestión de datos auditables y ascendentes. Por lo tanto, las mejores prácticas no son mejoras opcionales, sino requisitos fundamentales para la licencia de operación de una empresa y su capacidad para acceder a los mercados financieros.

Esta sección deconstruye este marco, estableciendo el "por qué" que sustenta toda la estrategia de gestión de datos.

### **5.1.1. El Mandato de Calidad: Cómo los Códigos de Reporte Internacionales Impulsan los Estándares de Gestión de Datos**

En la cúspide de la estructura de gobernanza se encuentran los códigos de reporte internacionales, especialmente el Instrumento Nacional 43-101 (NI 43-101) de Canadá y el Código Australasiano para el Reporte de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas de Mineral (el Código JORC). Estos códigos no son "recetarios" prescriptivos sobre cómo realizar una estimación de recursos minerales; más bien, son estándares de divulgación que dictan cómo los resultados de dicho trabajo deben presentarse al público y a los inversores (Canadian Securities Administrators, 2011; Jacobs, 2018). Su objetivo principal es garantizar que toda la divulgación pública de información técnica se base en datos fiables, presentados en un formato estandarizado que sea claro, inequívoco y que permita la comparación entre proyectos similares (Canadian Securities Administrators, 2011; Joint Ore Reserves Committee, 2012).

La filosofía de estos códigos se basa en tres pilares éticos: **Transparencia**, **Materialidad** y **Competencia** (Comisión Minera de Chile, 2023; Joint Ore Reserves Committee, 2012).

1. La **Transparencia** requiere que un informe público proporcione información suficiente para que el lector comprenda la base de la información y no sea engañado. Esto incluye explicaciones claras de los supuestos y procesos (Joint Ore Reserves Committee, 2012).
2. La **Materialidad** exige que un informe contenga la suficiente información relevante que una persona razonable esperaría necesitar para hacer un juicio equilibrado sobre los resultados reportados. La omisión de información material es una falta grave (Joint Ore Reserves Committee, 2012).
3. La **Competencia** exige que el informe se base en el trabajo realizado por profesionales debidamente cualificados y con experiencia, que son responsables de su labor (Comisión Minera de Chile, 2023).

Aunque estos códigos comparten un propósito común, tienen diferencias clave en su enfoque geográfico y terminología. El NI 43-101 es un requisito legal para todas las empresas que cotizan en las bolsas de valores canadienses, como la Bolsa de Toronto (TSX), y está regulado por los Administradores de Valores de Canadá (CSA) (Micon International, 2023). El Código JORC es el estándar principal para las empresas que cotizan en la Bolsa de Valores de Australia (ASX) y es supervisado por el Comité Conjunto de Reservas de Mineral (Joint Ore Reserves Committee, 2012; Micon International, 2023). Su terminología para clasificar recursos y reservas difiere ligeramente, y el NI 43-101 tiende a ser más granular en sus categorías de recursos (Micon International, 2023). Sin embargo, su requisito fundamental de que la divulgación se base en datos fiables y verificables es idéntico. Esta convergencia significa que una empresa minera, especialmente una que opera en una industria globalizada, debe construir sus sistemas de gestión de datos para que sean lo suficientemente robustos como para satisfacer los estrictos requisitos de múltiples jurisdicciones.

Los datos deben ser de una calidad tan alta que puedan ser utilizados con confianza en un informe técnico que cumpla con NI 43-101, JORC u otros códigos reconocidos, asegurando que la empresa pueda acceder a capital internacional y mantener la confianza de los inversores (Micon International, 2023; SRK Consulting, s.f.).

### **5.1.2. El Rol de la Persona Calificada (QP) como Garante Último de la Verificación de Datos**

El profesional designado al cumplimiento de los principios de transparencia, materialidad y competencia es quien asume la responsabilidad individual de la validez de la información técnica: la **Persona Calificada (QP)** según NI 43-101 o la **Persona Competente (CP)** según el Código JORC (Canadian Securities Administrators, 2011; Micon International, 2023). Este individuo actúa como el garante último de la integridad de los datos. El NI 43-101 exige explícitamente que toda divulgación técnica sea firmada por una QP que asuma la responsabilidad de la información, sea miembro de una asociación profesional reconocida y tenga al menos cinco años de experiencia relevante en el producto básico y tipo de yacimiento específico en consideración (Canadian Securities Administrators, 2011).

La QP está legal y éticamente obligada por su código de ética profesional y los requisitos específicos del código de reporte. Las "5 C de la responsabilidad de la QP" bajo el marco

canadiense proporcionan un resumen claro de estas obligaciones (Canadian Securities Administrators, 2011):

1. **Cumplir** (Comply) con el código de ética de su asociación profesional.
2. Seguir los estándares de definición y las guías de mejores prácticas del **CIM** (Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo).
3. **Conducir la verificación de datos**, realizando un nivel razonable de debida diligencia y validación de los datos técnicos.
4. **Comunicar** los riesgos del proyecto de manera clara y sin sesgos.
5. **Comprobar** (Check) la divulgación de la empresa para asegurarse de que su trabajo no sea tergiversado.

El tercer punto, que corresponde a la **verificación de datos**, es el eje que conecta el código regulatorio de alto nivel con la gestión diaria de la base de datos geológica. La QP debe tomar todas las medidas necesarias para verificar que los datos que sustentan una estimación de recursos son fiables (Canadian Securities Administrators, 2011; Smee, 2018). Esto incluye la revisión de los procedimientos de muestreo, los protocolos de ensayo y los resultados de aseguramiento y control de calidad (QA/QC) (Joint Ore Reserves Committee, 2012). Una QP debe validar cada procedimiento, ya que, si la integridad de los datos es deficiente o los procedimientos de QA/QC son inadecuados, el profesional puede verse obligado a rebajar la clasificación de un recurso (por ejemplo, de Indicado a Inferido) o, en casos graves, a retirar la estimación por completo (Canadian Securities Administrators, 2011).

Esto impone una inmensa carga de prueba sobre los propios datos. Una QP no puede verificar razonablemente datos que están fragmentados en hojas de cálculo desconectadas, almacenados en papel en una oficina remota del sitio, o que carecen de un rastro de auditoría claro de los cambios (AcQuire, s.f.; Reid, 2002). Por lo tanto, la existencia de una base de datos geológica centralizada,

validada y auditable es un facilitador directo de la capacidad de la QP para cumplir con sus deberes legales y éticos.

La empresa tiene la responsabilidad de "seleccionar una QP apropiada" y también de facilitar las condiciones necesarias para que dicha QP pueda realizar una visita al sitio" y llevar a cabo una verificación de datos adecuada y conforme a los estándares de reporte establecidos (Canadian Securities Administrators, 2011). Esto crea un poderoso motor de negocio para invertir en un sistema de gestión de datos robusto. Sin él, la empresa no puede producir un informe técnico que cumpla con la normativa, lo que dificulta gravemente su capacidad para recaudar capital, atraer inversores y avanzar en el proyecto. El juicio de la QP sobre conceptos como las "Perspectivas Razonables de Extracción Económica Eventual" (RPEEE, por sus siglas en inglés), un componente central de la definición de Recurso Mineral, depende enteramente de la calidad y continuidad de los datos geológicos subyacentes que ha podido verificar (AMC Consultants, 2022).

### **5.1.3. El Contexto Chileno: Alineación con SERNAGEOMIN y el Código CH 20235**

Si bien los códigos internacionales establecen el estándar global, todas las operaciones mineras deben cumplir con las leyes de su país anfitrión. En Chile, la industria minera está regulada principalmente por la Constitución Política de la República de Chile, la Ley de Concesiones Mineras y el Código de Minería (Prochaska y PESA, s.f.).

Los organismos gubernamentales clave son: el Ministerio de Minería, que establece la política pública, y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN), que es responsable de aprobar los aspectos técnicos y de seguridad de los proyectos mineros y supervisar su cumplimiento (Prochaska y PESA, s.f.). Por lo tanto, SERNAGEOMIN es un participante activo en la promoción del conocimiento geológico, realizando programas de mapeo nacional y proporcionando información geocientífica esencial para promover la inversión (Prochaska y PESA, s.f.; Servicio Nacional de Geología y Minería, s.f.).

De manera crítica, SERNAGEOMIN tiene su propia historia de desarrollo de sistemas de información geológica estandarizados, como el portal web SIGEO, que publica mapas y bases de datos geológicos (Carrasco y T., 2002). La arquitectura de SIGEO, construida sobre una base de

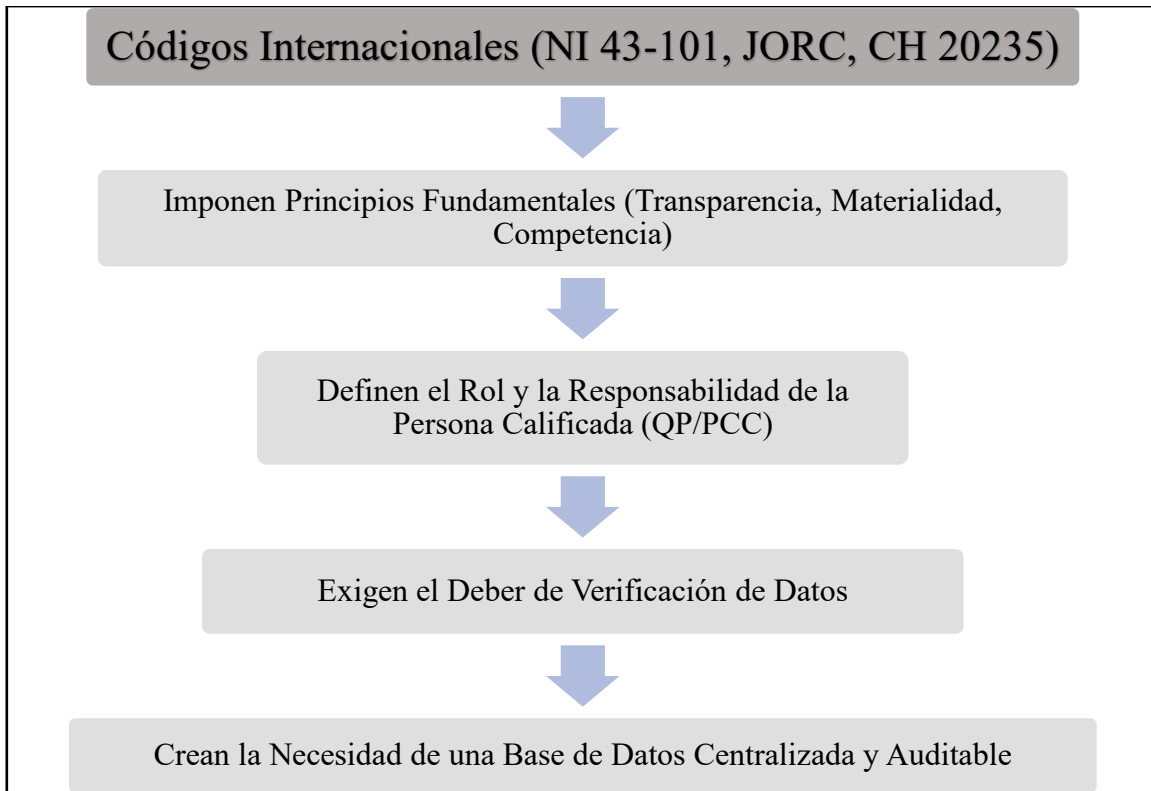
datos Oracle y una extensión del Modelo de Datos Norteamericano, demuestra un compromiso a nivel nacional con los principios de estandarización y accesibilidad de los datos. Esto proporciona un fuerte precedente y apoyo para un proyecto a nivel de mina destinado a alcanzar los mismos objetivos.

La alineación más directa con los estándares internacionales proviene de la **Ley N° 20.235**, que estableció la **Comisión Minera** de Chile en 2007 (Comisión Minera de Chile, 2023). El papel principal de esta comisión es crear y gestionar el Registro Público de Personas Competentes Calificadas en Recursos y Reservas Mineras (Comisión Minera de Chile, 2023). Además, la comisión adopta y mantiene el **Código para el Reporte de Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Minerales (Código CH 20235)** (Comisión Minera de Chile, 2023).

El Código CH 20235 es el estándar obligatorio para todos los informes públicos sobre activos mineros en territorio chileno. Fue diseñado explícitamente para armonizar con las mejores prácticas internacionales y es reconocido por el Comité para Estándares Internacionales de Reporte de Reservas Minerales (CRIRSCO), mismo organismo que supervisa la familia de códigos JORC y NI 43-101 (Comisión Minera de Chile, 2023). El Código CH 20235 se rige explícitamente por los mismos tres pilares: **Transparencia, Materialidad y Competencia** (Comisión Minera de Chile, 2023).

Esta alineación significa que las mejores prácticas desarrolladas para satisfacer NI 43-101 o JORC son directamente aplicables y necesarias para el cumplimiento dentro del marco regulatorio chileno. Una inversión en un sistema de gestión de bases de datos de alta calidad y auditable no es, por lo tanto, solo para inversores internacionales; es un requisito fundamental para el reporte doméstico conforme a la normativa. Los principios son universales, pero su implementación debe adaptarse al entorno legal y regulatorio específico de Chile, según lo aplicado por SERNAGEOMIN y la Comisión Minera.

La figura 11 representa un diagrama de flujo que ilustra cómo los marcos de gobernanza crean una cadena de responsabilidad que culmina en la necesidad de una base de datos robusta.



**Figura 11. Diagrama de flujo de responsabilidad desde los Códigos Internacionales hasta la necesidad de una base de datos robusta.**

Por otro lado, en la tabla 3 se presentan las diferencias principales de los distintos códigos internacionales que han impulsado el mejoramiento y estandarización de la información recopilada en los estudios técnicos asociados a la actividad minera.

**Tabla 3. Resumen Comparativo de los Requisitos de Verificación de Datos en NI 43-101, JORC y CH 20235.**

<i>Característica</i>	<i>NI 43-101 (Canadá)</i>	<i>Código JORC (Australia)</i>	<i>Código CH 20235 (Chile)</i>
<b>Persona Clave</b>	<b>Persona Calificada (QP):</b> Un ingeniero o geocientífico con más de 5 años de experiencia relevante, miembro de una asociación profesional. Asume responsabilidad personal por la información técnica (Canadian Securities Administrators, 2011).	<b>Persona Competente (CP):</b> Miembro de una Organización Profesional Reconocida con suficiente experiencia relevante en el estilo de mineralización y la actividad que se realiza (Micon International, 2023).	<b>Persona Competente Calificada (PCC):</b> Un profesional adecuadamente cualificado y con experiencia, sujeto a códigos de ética, registrado en la Comisión Minera (Comisión Minera de Chile, 2023).
<b>Principios Fundamentales</b>	Transparencia, Materialidad, Competencia. La divulgación debe basarse en información fiable y opiniones profesionales (Canadian Securities Administrators, 2011).	Transparencia, Materialidad, Competencia. Los Informes Públicos deben contener información relevante para un juicio razonado y equilibrado (Joint Ore Reserves Committee, 2012).	Transparencia, Materialidad, Competencia. Los Informes Públicos deben ser claros, inequívocos y contener toda la información relevante (Comisión Minera de Chile, 2023).
<b>Verificación de Datos</b>	La QP debe realizar la verificación de datos, incluyendo muestreo, datos analíticos y de prueba. El proceso y cualquier limitación deben ser divulgados por escrito (Canadian Securities Administrators, 2011; Smee, 2018).	La CP es responsable de la calidad de los datos recopilados. Los Informes Públicos deben incluir comentarios sobre el espaciamiento, distribución, calidad y adecuación de los datos (Joint Ore Reserves Committee, 2012).	La PCC debe certificar el informe. El código sintetiza las prácticas de la industria para estándares y procedimientos, lo que implica que la verificación es un componente central del trabajo competente (Comisión Minera de Chile, 2023).

Tabla 3. Continuación.

<i>Característica</i>	<i>NI 43-101 (Canadá)</i>	<i>Código JORC (Australia)</i>	<i>Código CH 20235 (Chile)</i>
<b>Divulgación de QA/QC</b>	Los comunicados de prensa sobre resultados de exploración deben incluir procedimientos de QA/QC. Los informes técnicos requieren una descripción de los programas y resultados de QA/QC (Canadian Securities Administrators, 2011).	La lista de verificación de la Tabla 3 requiere la divulgación de la naturaleza, calidad y adecuación de los procedimientos de ensayo y laboratorio utilizados y si los datos se consideran aceptables (Joint Ore Reserves Committee, 2012).	Las directrices enfatizan la necesidad de que los informes se preparen de acuerdo con las reglas y directrices que regulan la sostenibilidad técnica, económica y ambiental, lo que incluye QA/QC (Comisión Minera de Chile, 2023).
<b>Manejo de Datos Históricos</b>	Pueden divulgarse, pero deben identificarse claramente como históricos. Una QP debe comentar sobre la fiabilidad y el trabajo necesario para actualizarlos a recursos/reservas actuales (Canadian Securities Administrators, 2011).	Las estimaciones históricas pueden reportarse, pero deben distinguirse claramente de las estimaciones reportadas de acuerdo con el Código JORC. Se requieren declaraciones de advertencia específicas.	El código se aplica a todos los informes públicos, lo que implica que cualquier dato histórico utilizado debe tratarse con la debida precaución y sus limitaciones deben declararse claramente como parte de la divulgación material.
<b>Organismo Rector</b>	Administradores de Valores de Canadá (CSA) (Micon International, 2023).	Comité Conjunto de Reservas de Mineral de Australasia (JORC), supervisado por la Bolsa de Valores de Australia (ASX) (Micon International, 2023).	Comisión Minera para la Calificación de Competencias en Recursos y Reservas Minerales (Comisión Minera) (Comisión Minera de Chile, 2023).

## **5.2. Prácticas Fundamentales en la Adquisición y Estandarización de Datos Geológicos**

Una vez definido el mandato regulatorio que exige mantener la integridad de los datos, el foco pasa del “*por qué*” al “*cómo*”. El ciclo de vida de la información no se inicia en la base de datos, sino en el frente de roca, a partir de las observaciones realizadas por el geólogo. Por ello, la solidez del sistema completo depende directamente de la calidad y la coherencia con que se registran estos datos en su origen. Una observación incorrecta o una descripción ambigua incorporada en la fuente difícilmente podrá ser corregida por procesos posteriores.

Esta sección presenta las prácticas esenciales para estandarizar la captura de datos, transformando descripciones geológicas subjetivas en información objetiva, cuantificable y trazable. Diseñar un sistema de registro geológico no es una tarea meramente administrativa; implica traducir el modelo geológico en un conjunto de definiciones operativas. Las decisiones adoptadas al establecer los campos de registro y los esquemas de codificación condicionan las consultas que la base de datos podrá responder en el futuro, convirtiendo esta etapa en el punto más determinante para asegurar la calidad de los datos a largo plazo.

### **5.2.1. Del Papel a los Píxeles: Principios del registro geológico estandarizado para la Repetibilidad y Correlación**

La herramienta fundamental para registrar observaciones geológicas es el registro gráfico o plantilla de registro. Tanto en papel milimetrado como en una tableta digital, su objetivo es producir una representación realista, detallada y repetible de la geología observada en un sondaje o afloramiento (Kehew, 2006; Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.). El principio clave es “dibujar lo que se ve”, diferenciando la observación objetiva de la interpretación subjetiva (Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.).

Un registro bien estructurado trasciende los textos narrativos -que resultan poco prácticos para la consulta y el análisis- y adopta un formato organizado en campos discretos y cuantificables, facilitando la estandarización y el análisis sistemático de los datos (Reid y Vearncombe, 2003).

La mejor práctica en el diseño de una plantilla de registro estandarizada implica varios componentes claves (Kehew, 2006):

- **Escala Vertical:** El eje vertical debe representar la profundidad o el espesor a una escala consistente y apropiada. Una escala de 1:50 (2 cm en el registro representan 1 m de testigo) o 1:100 es a menudo adecuada para el registro general, pero pueden requerirse escalas más detalladas (por ejemplo, 1:10) para zonas complejas, de capas delgadas o estructuralmente intrincadas (Kehew, 2006). La escala debe estar claramente definida y aplicarse de manera consistente para permitir una correlación visual precisa entre los registros.
- **Escala Horizontal (Tamaño de Grano):** El eje horizontal principal debe ser una representación gráfica de la textura, específicamente el tamaño de grano. Esto se divide típicamente en clases estándar: arcilla, limo, arena (muy fina, fina, media, gruesa) y grava (gránulo, guijarro, etc.). Al sombreadar la columna hasta el tamaño de grano correspondiente, el registro proporciona una impresión visual inmediata de secuencias de afinamiento o engrosamiento ascendente, que son críticas para interpretar los ambientes de depositación (Kehew, 2006; Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.).
- **Columnas de Datos Esenciales:** Además de los elementos gráficos principales, el registro debe incluir columnas específicas para distintos tipos de información. Como mínimo, se recomienda incorporar:
  - **Litología:** Registro del tipo de roca dominante mediante símbolos o patrones estandarizados (por ejemplo, punteado para arenisca, patrón de ladrillo para caliza) (Federal Geographic Data Committee, 2006; Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.).
  - **Rasgos sedimentarios y estructurales:** Representación de estructuras como laminación, estratificación cruzada, fallas, vetas y tipos de contactos (neto, gradacional, erosivo) mediante simbología convencional (Kehew, 2006; Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.).

- **Color:** Registro consistente del color, idealmente utilizando un sistema estandarizado como la carta Munsell para reducir la subjetividad (Seequent, s.f.; The Geological Society, s.f.).
- **Fósiles:** Indicación de la presencia y tipo de fósiles mediante símbolos establecidos (Kehew, 2006).
- **Mineralización y alteración:** Descripción del tipo, intensidad y estilo, información clave en geología económica, para lo cual se requieren columnas y sistemas de codificación específicos.
- **Observaciones y muestras:** Espacio para notas adicionales, números de muestra, referencias fotográficas y datos geotécnicos (por ejemplo, RQD – Designación de la Calidad de la Roca) (Kehew, 2006).

Al estandarizar estos elementos en todo un proyecto, los geólogos aseguran que los datos se recopilen de manera consistente, independientemente de quién esté registrando el testigo. Esta repetibilidad es la base para toda correlación, modelado y estimación de recursos posteriores. La transición de registros en papel a la captura de datos digitales en tabletas o computadoras portátiles de campo mejora aún más este proceso, permitiendo la validación sobre la marcha y la integración directa con la base de datos central, minimizando los errores de transcripción (Kehew, 2006; Seequent, s.f.).

### **5.2.2. Diseño de un Léxico Geológico Inequívoco: La Arquitectura de Sistemas de Codificación Jerárquicos y Mnemotécnicos**

Mientras que una plantilla de registro estandarizada proporciona la estructura, un sistema de codificación estandarizado, o léxico geológico, proporciona el lenguaje. Un sistema robusto de "códigos litológicos" es esencial para convertir las observaciones cualitativas en un formato que sea consultable, analizable y adecuado para una base de datos relacional (Reid y Vearncombe, 2003).

Los campos de texto libre, aunque flexibles, son el enemigo de la integridad de los datos; las variaciones en la ortografía, la terminología y las abreviaturas hacen imposible consultar los datos de manera fiable (por ejemplo, buscar "arenisca" podría omitir entradas como "ARS", "as" o "arenis-ca").

Los principios de un sistema de codificación eficaz son sencillos pero críticos (Reid y Vearncombe, 2003):

- **Unicidad:** Cada código debe representar una, y solo una, característica geológica. BAS siempre debe significar basalto, sin excepciones.
- **Exhaustividad:** El sistema debe ser lo suficientemente exhaustivo como para cubrir todos los tipos de rocas, estilos de alteración y minerales previstos, desde los más comunes hasta los más raros. Un sistema óptimo podría contener entre 150 y 300 códigos, suficiente para el detalle sin abrumar al usuario (Reid y Vearncombe, 2003).
- **Lógico y Mnemotécnico:** Los códigos deben ser intuitivos y fáciles de recordar. Las encuestas de la industria muestran una fuerte preferencia por los sistemas mnemotécnicos (por ejemplo, GR para granito, LM para limolita), ya que reducen el tiempo de capacitación y los errores (Reid y Vearncombe, 2003).
- **Compatibilidad:** Los códigos deben cumplir con los protocolos de validación de la base de datos, como los límites de caracteres (por ejemplo, 4 caracteres para la litología) y los conjuntos de caracteres definidos (Reid y Vearncombe, 2003).

Los sistemas de codificación más potentes emplean una **estructura jerárquica**. Este enfoque incorpora la inteligencia geológica directamente en los datos al clasificar las características dentro de un marco relacional. Por ejemplo, en lugar de una única lista plana de tipos de rocas, un sistema jerárquico podría usar prefijos para agruparlas genéticamente: V para volcánicas, I para intrusivas, S para sedimentarias, M para metamórficas. Un nivel adicional podría definir la composición: VF para volcánicas félsicas, VM para volcánicas máficas. Un código completo podría ser VM-BAS para un basalto volcánico máfico.

Un principio de diseño crítico es la **separación de categorías**. La litología, la textura, la alteración y la mineralización nunca deben combinarse en un solo código (un "código concatenado") (Reid y Vearncombe, 2003). Cada uno de estos representa un proceso geológico distinto y debe capturarse en un campo separado en la base de datos. Por ejemplo, un basalto de grano fino alterado a clorita no debe codificarse como BASFCHL. En su lugar, debe registrarse con tres entradas separadas en sus respectivos campos:

- Litología: BAS
- Textura: FINA
- Alteración: CHL

Este enfoque normalizado es fundamental para el diseño de bases de datos. Permite consultas potentes y flexibles. Un geólogo puede buscar todas las instancias de BAS, o todas las instancias de alteración CHL independientemente de la roca de caja, o todas las rocas de textura FINA. Esta flexibilidad analítica es destruida por los códigos concatenados. La tabla 4 proporciona un ejemplo concreto de cómo se puede estructurar un sistema de este tipo para un yacimiento de pórfido de cobre, un contexto muy relevante para la geología chilena.

**Tabla 4. Ejemplificación de aplicación de códigos para un yacimiento de tipo pórfido de cobre.**

<i>Categoría Geológica</i>	<i>Prefijo/Campo de Código</i>	<i>Código de Ejemplo</i>	<i>Descripción</i>
<b>Litología Primaria</b>	LITH	IP-DIOR	Pórfido Intrusivo - Diorita
		IP-MONZ	Pórfido Intrusivo - Monzonita
		V-AND	Volcánica - Andesita
		S-SLST	Sedimentaria - Limolita

Tabla 4. Continuación.

<i>Categoría Geológica</i>	<i>Prefijo/Campo de Código</i>	<i>Código de Ejemplo</i>	<i>Descripción</i>
<b>Estilo de Alteración</b>	ALT1_STYLE	POT	Potásica (Feldespato-K-Biotita)
		PHY	Fílica (Sericita-Cuarzo-Pirita)
		ARG	Argílica (Minerales de arcilla)
		PRO	Propilítica (Epidota-Clorita-Carbonato)
<b>Intensidad de Alteración</b>	ALT1_INT	W	Débil
		M	Moderada
		S	Fuerte
		I	Intensa
<b>Mineralización de Sulfuros</b>	MIN_SULPH	PY	Pirita
		CPY	Calcopirita
		BO	Bornita
		MO	Molibdenita

Tabla 4. Continuación.

<i>Categoría Geológica</i>	<i>Prefijo/Campo de Código</i>	<i>Código de Ejemplo</i>	<i>Descripción</i>
<b>Estilo de Mineralización</b>	MIN_STYLE	DISS	Diseminada
		VNL	Veta (<1 cm)
		VEIN	Veta (>1 cm)
		STK	Stockwork
<b>Tipo de Estructura</b>	STRUC_TYPE	FLT	Falla
		SHZ	Zona de Cizalla
		BRX	Brecha

*Nota: Ejemplo de un Esquema de Codificación Geológica Jerárquica para un Sistema de Pórfido de Cobre.*

### 5.2.3. El Dilema de "Agrupar vs. Dividir": Un Enfoque Pragmático para Equilibrar el Detalle Geológico con la Usabilidad del Modelo

Una de las decisiones filosóficas más desafiantes en el diseño de un sistema de registro es el debate de "agrupar vs. dividir" (Reid y Vearncombe, 2003). Esto se refiere al nivel de detalle con el que se definen y codifican las unidades geológicas.

- **Agrupar** aboga por agrupar unidades geológicamente similares en categorías más amplias basadas en sus relaciones genéticas y propiedades materiales. Esto se alinea con el principio "Keep It Simple, Stupid" (KISS), haciendo el registro más rápido y los modelos geológicos más limpios y continuos (Reid y Vearncombe, 2003). El riesgo es que la agrupación pueda ocultar un control geológico crítico pero sutil, escondiendo efectivamente la clave del yacimiento dentro de una unidad más grande e indescriptible.
- **Dividir** implica crear una clasificación muy detallada, con códigos únicos para cada sutil variación de textura, color o composición. La ventaja es que captura la máxima variabilidad geológica, lo que podría ser crucial si una característica sutil demuestra más tarde ser un control clave de la mineralización. La desventaja es que puede crear un número inmanejable de códigos, lo que lleva a una aplicación inconsistente por parte de diferentes geólogos y resulta en modelos geológicos demasiado complejos y "parchados" que son difíciles de interpretar y usar para la estimación de recursos.

No existe una única respuesta correcta a este dilema. El enfoque óptimo es pragmático y específico del proyecto, guiado por el estilo de mineralización y el uso previsto de los datos. Para un sistema de pórfido de gran tonelaje, puede ser apropiado "agrupar" varias fases de un intrusivo porfídico si se comportan de manera similar desde una perspectiva de recursos y geotécnica. Por el contrario, en un sistema de vetas de alta ley y controlado estructuralmente, "dividir" diferentes generaciones de vetas basadas en sutiles diferencias mineralógicas o texturales puede ser esencial para modelar correctamente la continuidad del mineral. La decisión debe ser tomada deliberadamente por el equipo de geología, documentada claramente en el protocolo de registro y revisada periódicamente a medida que evoluciona la comprensión geológica del yacimiento (Dominy, 2021). Este proceso

de definir unidades geológicas mapeables y significativas es una tarea central de la geología y debe reflejarse en la estructura de la base de datos.

### **5.3. Protocolo Sistemático para la Curación y Validación de Datos**

Un estándar robusto de adquisición de datos es la primera línea de defensa para la integridad de los datos, pero no es suficiente por sí solo. Los datos geológicos, especialmente de proyectos mineros de larga duración, a menudo incluyen un volumen significativo de información histórica o "heredada" de calidad variable. Además, incluso con los mejores procedimientos, se pueden introducir errores en cualquier etapa del ciclo de vida de los datos. Por lo tanto, se requiere un proceso sistemático y continuo de curación y validación de datos. Este proceso actúa como un sistema inmunológico organizacional para el activo de datos, con múltiples capas de defensa redundantes diseñadas para detectar y rectificar errores. Abarca una auditoría forense de los datos históricos para establecer una línea de base limpia, y una aplicación simbiótica de Aseguramiento de la Calidad (QA) para prevenir nuevos errores y Control de Calidad (QC) para detectarlos. Esta sección describe un flujo de trabajo de validación de múltiples etapas que incorpora controles de calidad desde el momento de la captura de datos hasta su residencia final en la base de datos, asegurando que los datos sean, y permanezcan, aptos para su propósito.

#### **5.3.1. La Auditoría de la Base de Datos: Un Enfoque Forense para Reconciliar y Validar Datos Heredados**

Para cualquier operación minera existente, el primer paso para implementar un nuevo estándar de gestión de datos es abordar el pasado. Las bases de datos heredadas son frecuentemente un mosaico de sistemas desconectados, hojas de cálculo y registros en papel, que a menudo contienen inconsistencias, errores y lagunas de datos (acQuire, s.f.; Reid, 2002). Por lo tanto, una auditoría exhaustiva de la base de datos es un ejercicio forense crítico para establecer una única y fiable fuente de verdad (acQuire, s.f.; Joint Ore Reserves Committee, 2012).

Este proceso es mucho más que una simple migración de datos; es un meticuloso proyecto de validación y reconciliación (acQuire, s.f.; Joint Ore Reserves Committee, 2012).

El proceso de auditoría generalmente implica varias etapas clave:

1. **Compilación de Datos:** Recopilación de todos los datos geológicos conocidos de sus diversas fuentes. Esto puede incluir archivos digitales de *software* antiguo, hojas de cálculo de Excel, bases de datos de Access, registros en papel escaneados y mapas y secciones históricas (acQuire, s.f.).
2. **Mapeo de Esquemas y Migración:** Diseño de la estructura de la nueva base de datos centralizada y mapeo cuidadoso de los campos de las fuentes antiguas e inconsistentes al nuevo esquema estandarizado. Este es a menudo el punto donde se descubren y deben resolverse las inconsistencias en la codificación heredada (acQuire, s.f.).
3. **Validación y Rectificación:** Este es el núcleo de la auditoría. Implica verificar sistemáticamente los datos compilados en busca de deficiencias y errores y rectificarlos mediante la referencia cruzada con los documentos fuente originales (acQuire, s.f.). Las comprobaciones de validación comunes incluyen:
  - **Validación de Collares:** Comparación de las coordenadas de los collares de los sondajes con los levantamientos topográficos originales para identificar errores de ubicación.
  - **Validación de *Surveys* de Sondaje:** Comprobación de desviaciones anómalas en los datos de *surveys* de sondaje.
  - **Validación de Ensayos:** Referencia cruzada de los valores de ensayo digitales con los certificados de laboratorio originales firmados para detectar errores de transcripción. Un sistema robusto debe incluir el almacenamiento vinculado de estos certificados para un rastro de auditoría permanente (acQuire, s.f.).
  - **Validación de Registros Geológicos:** Comparación de los registros geológicos digitales con los registros originales en papel o escaneados para verificar errores de transcripción en litología, estructura u otros parámetros registrados.

- **Validación de Intervalos:** Comprobación de superposiciones, lagunas o inconsistencias en los datos de intervalo 'desde-hasta' (por ejemplo, intervalos de muestra, intervalos de litología).

Este proceso es laborioso pero esencial. El costo y el esfuerzo se justifican al reconocer que los datos geológicos son un activo corporativo valioso, con un valor medible por el costo de los programas de exploración que los generaron (Reid, 2002). Una base de datos de mala calidad es una "bandera roja" importante durante cualquier debida diligencia técnica o auditoría y puede afectar gravemente la valoración y credibilidad de un proyecto (Abzalov, 2016; acQuire, s.f.; Snowden Optiro, 2023). El objetivo de la auditoría de datos heredados es producir un conjunto de datos de referencia limpio, validado y fiable sobre el cual se pueda construir todo el trabajo futuro.

### **5.3.2. Aseguramiento de la Calidad (QA) y Control de Calidad (QC): Una Relación Simbiótica**

Una vez que se establece una línea de base limpia, deben existir procedimientos para garantizar la calidad de todos los datos nuevos. Esto se logra a través de los procesos complementarios de Aseguramiento de la Calidad (QA) y Control de Calidad (QC). Aunque a menudo se usan indistintamente, son conceptos distintos (American Society for Quality, s.f.).

- **Aseguramiento de la Calidad (QA)** es el proceso proactivo centrado en la **prevención de defectos**. Consiste en los sistemas, procedimientos y políticas implementados *antes y durante* la adquisición de datos para garantizar que los datos se generen correctamente en primer lugar. QA se trata de "calidad por diseño" (American Society for Quality, s.f.). En un contexto geológico, QA incluye:
  - Desarrollar y documentar procedimientos estandarizados para el registro de testigos, muestreo y entrada de datos.
  - Proporcionar una formación exhaustiva a todo el personal geológico sobre estos procedimientos (Seequent, s.f.).

- Asegurar que el equipo de campo y de laboratorio esté debidamente calibrado y mantenido.
- Crear un Plan de Aseguramiento de la Calidad (QAP) formal que defina los criterios y procesos para garantizar la calidad de los datos a lo largo de su ciclo de vida (American Society for Quality, s.f.).
- **Control de Calidad (QC)** es el proceso reactivo centrado en la **detección de defectos**. Consiste en las comprobaciones y pruebas aplicadas *después* de que los datos han sido generados para determinar si cumplen con los estándares de calidad (American Society for Quality, s.f.). QC se trata de identificar errores que pueden haber pasado desapercibidos en el proceso de QA. En un contexto geológico, QC incluye:
  - La inserción rutinaria de materiales de referencia certificados (MRC o "estándares"), blancos y duplicados en el flujo de muestras enviado al laboratorio para monitorear la exactitud y precisión analítica (OREAS, s.f.; SRK Consulting, s.f.).
  - Realizar ensayos de control en un laboratorio secundario o de arbitraje para verificar los resultados del laboratorio primario.
  - Ejecutar comprobaciones de validación automatizadas dentro de la base de datos para encontrar errores (por ejemplo, superposiciones de intervalos, códigos no válidos) (acquire, s.f.).
  - Revisión por pares de las interpretaciones y modelos geológicos (SRK Consulting, s.f.).

QA y QC tienen una relación simbiótica. Los resultados de las medidas de QC proporcionan retroalimentación directa sobre la efectividad del plan de QA. Por ejemplo, si los datos de QC muestran consistentemente contaminación en las muestras en blanco, esto apunta a una falla en el procedimiento de QA para la preparación de muestras, que luego puede ser investigada y corregida.

Este ciclo de retroalimentación continua es esencial para mantener y mejorar la calidad de los datos a lo largo del tiempo (American Society for Quality, s.f.).

### **5.3.3. Un Flujo de Trabajo de Validación de Múltiples Etapas: Del Campo a la Base de Datos Final**

Un sistema de gestión de datos robusto incorpora controles de validación en múltiples etapas del flujo de trabajo de datos, creando una defensa en capas contra los errores. Confiar en un único punto de validación es insuficiente, ya que los errores pueden introducirse en cualquier paso. Un protocolo de validación integral y de múltiples etapas garantiza que el "sistema inmunológico" tenga múltiples oportunidades para detectar y poner en cuarentena los datos incorrectos antes de que contaminen la base de datos principal.

Un flujo de trabajo de mejores prácticas incluye las siguientes etapas:

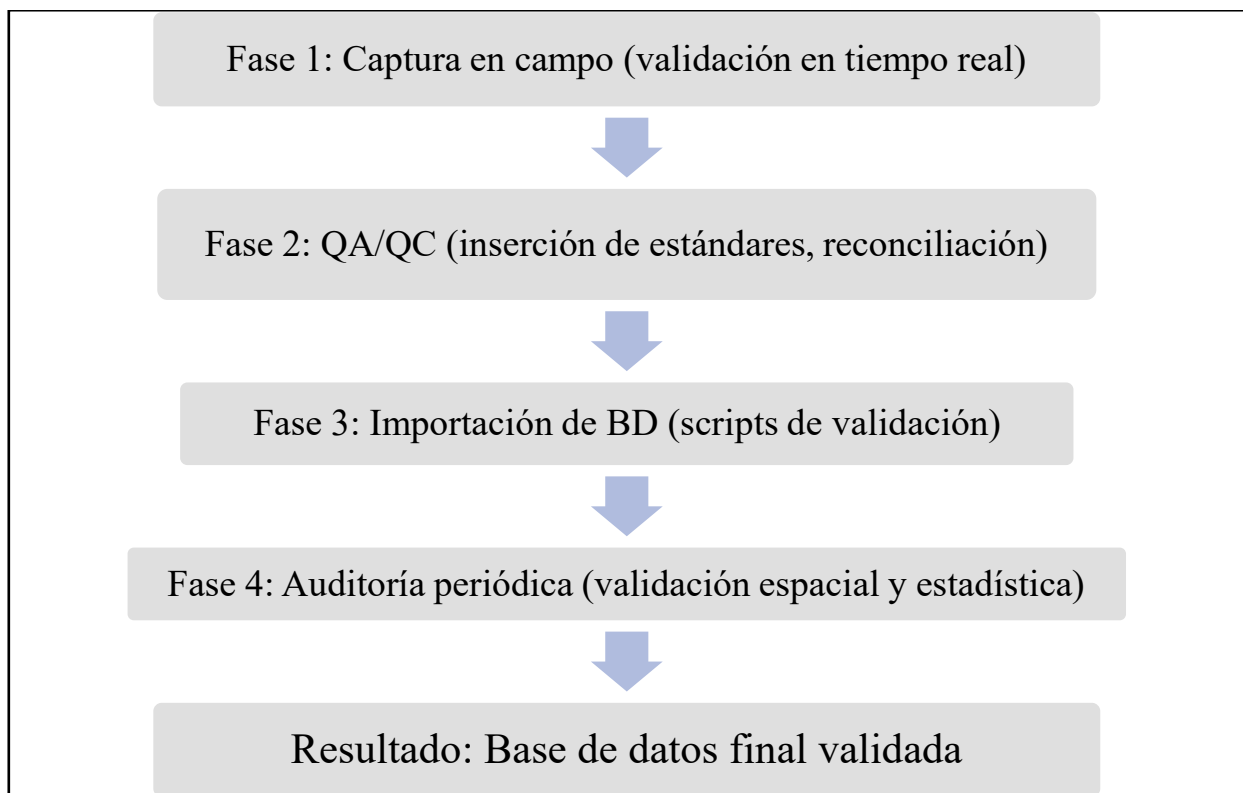
- **Validación en el Punto de Captura:** La forma más efectiva de garantizar la calidad de los datos es evitar que los errores entren en el sistema en primer lugar. Esto se logra mejor utilizando herramientas de captura de datos digitales (por ejemplo, aplicaciones en tabletas de campo) que tienen reglas de validación incorporadas y en tiempo real (acquire, s.f.; Seequent, s.f.). Estas reglas pueden incluir:
- **Listas de Selección Restringidas:** Obligar a los geólogos a seleccionar códigos (para litología, alteración, etc.) de una lista preaprobada y estandarizada, eliminando errores tipográficos y el uso de códigos no válidos.
- **Comprobaciones de Rango:** Marcar automáticamente las entradas numéricas que caen fuera de los rangos plausibles (por ejemplo, un valor de ensayo del 110% para un elemento dado).
- **Reglas de Dependencia:** Asegurar la consistencia lógica (por ejemplo, una muestra no puede tener un valor de mineralización si la litología se registra como "recubrimiento").

- **Validación Durante la Importación de Datos:** Antes de que cualquier nuevo lote de datos (por ejemplo, un conjunto de nuevos sondajes, un archivo de ensayos de laboratorio) se incorpore a la base de datos maestra central, debe pasar por una serie de scripts de validación automatizados (Reid, 2002; SRK Consulting, s.f.). Estos scripts, a menudo escritos en SQL o Python, actúan como un guardián, verificando errores estructurales y relacionales comunes que podrían no ser detectados en el campo. Las comprobaciones típicas incluyen:
  - Verificar que cada registro de fondo de pozo (ensayo, geología) tenga un registro de collar de sondaje correspondiente y válido.
  - Detectar cualquier superposición de intervalos "desde-hasta" dentro de una misma tabla de datos (por ejemplo, dos intervalos de ensayo de 10-12 m y 11-13 m).
  - Asegurar que todos los campos obligatorios estén poblados.
  - Validar que todos los códigos utilizados en el archivo de importación existan en las tablas de referencia maestras (listas de validación).
  
- **Post-Procesamiento y Auditorías Periódicas:** Incluso con controles robustos de entrada e importación, algunos errores solo pueden hacerse evidentes cuando los datos se ven en un contexto más amplio. Son necesarias auditorías regulares y programadas de toda la base de datos para identificar estos problemas más sutiles (acQuire, s.f.). Estas auditorías deben incluir:
  
- **Validación Espacial:** Graficar los collares y trayectorias de los sondajes en un *software* de visualización 3D para realizar una "verificación de sentido común". Esto puede identificar rápidamente errores como collares ubicados lejos del área del proyecto, sondajes perforados hacia arriba en lugar de hacia abajo, o sondajes que no coinciden con la superficie topográfica (SRK Consulting, s.f.).

- **Análisis Estadístico:** Usar herramientas estadísticas para identificar valores atípicos en los datos de ensayo u otros campos numéricos que puedan representar anomalías geológicas legítimas o errores de datos.
- **Validación Interdisciplinaria:** Comparar datos entre diferentes tablas. Por ejemplo, verificar que la geología registrada sea consistente con los datos geoquímicos o geofísicos para los mismos intervalos.

Este enfoque en capas crea un sistema resiliente donde la probabilidad de que un error se propague al modelo geológico final se reduce significativamente. El siguiente diagrama (figura 12) y tabla 5 sintetizan

esta estrategia en un protocolo claro y accionable.



**Figura 12:** Flujo de Trabajo del Protocolo de Validación de Datos en Múltiples Etapas.

*Nota: este diagrama resume el flujo de trabajo del protocolo de validación de datos, mostrando las defensas en capas desde el campo hasta la base de datos final.*

**Tabla 5. Protocolo de Validación de Datos por Fases con Comprobaciones y Responsabilidades Específicas.**

Fase de Validación	Comprobación Específica	Método/Herramienta	Parte Responsable	Frecuencia
<b>Fase 1: Captura en Campo</b>	Validez del código de litología/alteración	Lista de selección restringida en aplicación de registro digital (ej. GeoSpark Core, MX Deposit) (acQuire, s.f.; GeoSpark, s.f.)	Geólogo de Campo	En tiempo real, en el punto de entrada
	El valor 'Hasta' del intervalo es mayor que 'Desde'	Regla automatizada en el <i>software</i> de captura de datos	Geólogo de Campo	En tiempo real, en el punto de entrada
<b>Fase 2: Lab Submission y Receipt</b>	Inserción correcta de MRC/Blancos/Duplicados	Inserción física de muestras según protocolo de QA/QC documentado	Técnico de Testigoteca / Geólogo	Típicamente 1 de cada 20 muestras por tipo (Joint Ore Reserves Committee, 2012)
	Reconciliación del envío de muestras vs. recepción del laboratorio	Comparación de la lista de envío con el archivo de confirmación del laboratorio	Administrador de la Base de Datos	Por lote de muestras
	Verificación del rendimiento de la muestra de QC	Análisis estadístico de resultados de MRC/Blancos (ej. gráficos de control)	Administrador de la Base de Datos / QP	Por recepción de lote de ensayos

Tabla 5. Continuación.

Fase de Validación	Comprobación Específica	Método/Herramienta	Parte Responsable	Frecuencia
<b>Fase 3: Importación a la Base de Datos</b>	Comprobación de intervalos de muestra/geología superpuestos	Script automatizado de SQL o Python ejecutado antes de la carga de datos	Administrador de la Base de Datos	Por importación de lote de datos
	Comprobación de registros huérfanos (ej. ensayos sin collar)	Script de comprobación de integridad relacional	Administrador de la Base de Datos	Por importación de lote de datos
	Comprobación de códigos no estándar	Validación contra diccionario maestro/tablas de consulta	Administrador de la Base de Datos	Por importación de lote de datos
<b>Fase 4: Auditoría Periódica</b>	Coordenadas de collar vs. levantamiento topográfico oficial	Comparación espacial en <i>software</i> GIS o de planificación minera (ej. Leapfrog, Vulcan)	Administrador de la Base de Datos / Topógrafo	Mensual o Trimestral
	Verificación visual de errores en la trayectoria del survey de sondaje	Visualización 3D de las trayectorias de los sondajes	Geólogo de Proyecto / Administrador de la Base de Datos	Mensual o Trimestral
	Validación de datos de ensayo contra certificados de laboratorio originales	Auditoría manual de comprobación por muestreo de un % de la base de datos	Auditor Independiente / QP	Anual o antes de la actualización de recursos

## 5.4. Arquitectura de un Sistema de Información Geológica Auditable y Seguro

Las mejores prácticas procedimentales para la adquisición y validación de datos requieren una columna vertebral tecnológica capaz de soportarlas. La arquitectura del sistema de información geológica —la combinación de *software*, *hardware* y diseño de la base de datos— es lo que hace posible una estrategia de gestión de datos robusta. Un sistema mal diseñado puede socavar incluso los mejores procedimientos, mientras que un sistema bien diseñado puede hacerlos cumplir. El objetivo final es crear un sistema que no solo sea eficiente y seguro, sino también fundamentalmente **auditable**. Esto significa que cada dato tiene un historial claro, cada cambio es rastreado y todo el sistema puede resistir el escrutinio de auditores internos y externos, reguladores y posibles inversores. Esta sección examina los principios básicos de un sistema auditable y evalúa las decisiones tecnológicas estratégicas necesarias para construir uno.

### 5.4.1. Principios Fundamentales de un Sistema Auditable: Procedencia de Datos, Linaje y el Rastro de Auditoría Inmutable

Un sistema auditable es aquel que proporciona un historial completo y fiable de sus datos. Este concepto se conoce formalmente como **Procedencia de Datos** (Data Provenance). La procedencia de datos es el registro histórico que detalla el origen de un dato y documenta su recorrido y transformaciones a lo largo de su ciclo de vida (Herschel et al., 2017; Oracle, s.f.). Responde a las preguntas críticas (IBM, s.f.):

- ¿Quién creó este dato y cuándo?
- ¿Cuál fue la fuente original?
- ¿Qué procesos o modificaciones ha sufrido?
- ¿Quién realizó los cambios?

La procedencia de datos está estrechamente relacionada, pero es distinta, del **Linaje de Datos** (*Data Lineage*). El linaje de datos rastrea la ruta de los datos a medida que se mueven entre sistemas, centrándose en el flujo y las transformaciones (Herschel *et al.*, 2017). La procedencia de datos proporciona el contexto histórico y los metadatos más ricos que validan la autenticidad e

integridad de los datos (Herschel et al., 2017; Oracle, s.f.). Mientras que el linaje ayuda a solucionar problemas en una tubería de datos, la procedencia es lo que permite una auditoría completa.

Para una base de datos geológica, un sistema con una fuerte procedencia de datos es esencial por varias razones:

**1. Facilitar el Cumplimiento y la Auditoría:** Un sistema auditable proporciona un rastro verificable de los orígenes y modificaciones de los datos, lo cual es un requisito fundamental para el cumplimiento normativo (por ejemplo, NI 43-101) y para pasar la debida diligencia técnica (acQuire, s.f.; IBM, s.f.).

**2. Garantizar la Integridad de los Datos:** Al rastrear todos los cambios, la procedencia asegura que los datos no han sido alterados de forma inadvertida o maliciosa, generando confianza en su exactitud (IBM, s.f.; Oracle, s.f.).

**3. Depuración y Corrección de Errores:** Cuando se encuentra una discrepancia en los datos (por ejemplo, un valor de ensayo anómalo), la procedencia permite a un administrador rastrear el problema hasta su origen, ya sea un error en el archivo original del laboratorio, un error durante la entrada de datos o un script de transformación defectuoso (Herschel et al., 2017).

**4. Mejorar la Responsabilidad:** Saber quién hizo qué cambio y cuándo fomenta una cultura de responsabilidad entre los usuarios de los datos (IBM, s.f.).

La piedra angular de un sistema con una fuerte procedencia es un **rastro de auditoría inmutable**. Esto significa que cada creación, modificación o eliminación de datos se registra en un registro que no puede ser alterado. Los sistemas de gestión de bases de datos modernos diseñados para la geología a menudo tienen esta funcionalidad incorporada, registrando automáticamente el usuario, la marca de tiempo y el valor anterior de cualquier cambio realizado en un registro (Reid, 2002). Esto crea el historial verificable y transparente que es el sello distintivo de un sistema auditable.

#### 5.4.2. Evaluación de la Arquitectura del Sistema: Soluciones Comerciales (COTS) vs. Soluciones Internas

Una de las decisiones estratégicas más críticas en la implementación de un sistema de información geológica es si "comprar" una solución preconstruida o "construir" una desde cero. Esta es la elección entre el *software* Comercial Listo para Usar (COTS, por sus siglas en inglés) y un sistema personalizado desarrollado internamente. Esta no es una decisión puramente técnica; es una elección estratégica sobre dónde la organización desea ubicar su riesgo y su experiencia.

**Software Comercial Listo para Usar (COTS):** Esta categoría incluye plataformas especializadas de gestión de datos geológicos como *acquire GIM Suite*, *MX Deposit de Seequent*, *GeoSpark* o *Datashed* (acquire, s.f.; Datashed, s.f.; GeoSpark, s.f.). La principal ventaja de COTS es que permite a una empresa minera externalizar una parte significativa del riesgo técnico y la experiencia a un proveedor cuya competencia principal es el desarrollo de *software* (G2, s.f.).

- **Pros:** Costos iniciales de desarrollo más bajos (repartidos entre muchos usuarios), implementación más rápida, mejores prácticas de la industria incorporadas, comunidades de usuarios establecidas y soporte técnico profesional (G2, s.f.). El proveedor es responsable de mantener el *software*, desarrollar nuevas características y garantizar la seguridad.
- **Contras:** El software puede no ajustarse perfectamente a los flujos de trabajo únicos de la empresa, lo que requiere soluciones alternativas. La personalización puede ser limitada o costosa. Puede haber costos ocultos asociados con las licencias, las tarifas de usuario y la integración con otro *software* (por ejemplo, paquetes de planificación minera como *Vulcan* o *Leapfrog*) (acquire, s.f.; G2, s.f.). La empresa también depende de la viabilidad a largo plazo y la hoja de ruta de desarrollo del proveedor.

**Desarrollo Interno Personalizado:** Esto implica construir un sistema a medida desde cero, generalmente utilizando un motor de base de datos relacional estándar (por ejemplo, Microsoft SQL Server, Oracle, PostgreSQL) y desarrollando una interfaz de usuario y scripts de validación personalizados (Databricks, 2024; Microsoft, s.f.).

- **Pros:** El sistema puede adaptarse a las necesidades y flujos de trabajo exactos de la operación, proporcionando la máxima flexibilidad y control. No hay tarifas de licencia de proveedor continuas (G2, s.f.).
- **Contras:** Este enfoque conlleva un riesgo y un costo inmensos. Requiere un equipo interno dedicado y altamente cualificado de desarrolladores y administradores de bases de datos. El ciclo de vida del desarrollo es largo y costoso. La empresa asume toda la carga del mantenimiento, la seguridad, las actualizaciones y la documentación (G2, s.f.; Reid, 2002). El sistema también es muy vulnerable al "riesgo de persona clave": si el desarrollador principal se va, la empresa puede quedarse con un sistema que nadie más entiende (Snowden Optiro, 2023).

Para la mayoría de las empresas mineras, cuya competencia principal es la geología y no el desarrollo de *software* empresarial, el uso de hojas de cálculo o *software* de planificación minera genérico como base de datos principal es una práctica común, pero de alto riesgo (acQuire, s.f.; Reid, 2002). Estas herramientas carecen de las capacidades robustas de validación, seguridad y seguimiento de auditoría de un sistema de base de datos dedicado (acQuire, s.f.).

La elección estratégica a menudo se inclina hacia una solución COTS, ya que permite a los geólogos centrarse en la geología mientras aprovechan la experiencia especializada de un proveedor de *software*. La siguiente matriz (tabla 6) proporciona un marco para evaluar esta decisión crítica.

**Tabla 6. Matriz de Decisión para Sistemas de Base de Datos Geológicos COTS vs. Internos.**

<b>Criterio de Evaluación</b>	<b>Software Comercial Listo para Usar (COTS)</b>	<b>Desarrollo Personalizado Interno</b>
<b>Costo Inicial</b>	Menor costo inicial para la compra de <i>software</i> en comparación con el ciclo de desarrollo completo. El costo es por licencias (G2, s.f.).	Costo inicial muy alto para planificación, desarrollo, pruebas e implementación. Requiere una inversión significativa de personal y tiempo (G2, s.f.).
<b>Costo Total de Propiedad</b>	Costos continuos predecibles (licencias anuales, tarifas de soporte). Potencial de costos ocultos con el escalado y módulos adicionales (G2, s.f.).	Menores costos continuos de <i>software</i> (sin licencias) pero costos altos y a menudo impredecibles para mantenimiento, actualizaciones y personal interno permanente (Reid, 2002).
<b>Velocidad de Implementación</b>	Rápida. El sistema está preconstruido y a menudo se puede implementar en semanas o meses (G2, s.f.).	Muy lenta. Un ciclo de desarrollo completo puede llevar muchos meses o incluso años.
<b>Personalización y Flexibilidad</b>	Limitada. La personalización a menudo se restringe a lo que permite el proveedor. Puede requerir cambiar los procesos de negocio para adaptarse al <i>software</i> (G2, s.f.).	Máxima flexibilidad. El sistema se construye según las especificaciones y flujos de trabajo exactos de la empresa (G2, s.f.).

Tabla 6. Continuación.

Criterio de Evaluación	<i>Software Comercial Listo para Usar (COTS)</i>	<b>Desarrollo Interno Personalizado</b>
<b>Integración con Otro <i>Software</i></b>	A menudo tiene conectores preconstruidos para los principales paquetes de minería (ej. Vulcan, Leapfrog), pero la integración con sistemas de nicho o heredados puede ser un problema (acquire, s.f.; Datashed, s.f.).	La integración se puede construir a medida para cualquier sistema, pero esto añade una complejidad y un costo de desarrollo significativos.
<b>Requisito de Experiencia Interna</b>	Requiere un Administrador de Base de Datos cualificado para gestionar el sistema, pero no desarrolladores. A menudo existe un amplio grupo de talentos para los sistemas COTS populares (G2, s.f.; Snowden Optiro, 2023).	Requiere un equipo interno permanente y altamente cualificado de desarrolladores de <i>software</i> , arquitectos de bases de datos y gerentes de proyecto (Reid, 2002).
<b>Soporte del Proveedor y Comunidad</b>	Acceso a soporte técnico profesional, documentación, recursos de formación y una gran comunidad de usuarios para compartir conocimientos (G2, s.f.).	Sin soporte externo. La empresa es la única responsable de toda la resolución de problemas, corrección de errores y documentación.
<b>Seguridad de Datos y Auditabilidad</b>	Típicamente tiene características de seguridad robustas y preconstruidas y rastros de auditoría inmutables diseñados para cumplir con los estándares de la industria (Reid, 2002).	La seguridad y la auditabilidad deben diseñarse y construirse desde cero, lo cual es una tarea muy especializada y difícil. Propenso a vulnerabilidades si no se hace de manera experta.

### 5.4.3. El Entorno de Datos Moderno: "Fuente Única de Verdad" Centralizada a través de Plataformas en la Nube

La ubicación física y la arquitectura de la base de datos son tan importantes como el *software* que se ejecuta en ella. El modelo tradicional de un servidor local ubicado en la oficina del sitio minero presenta desafíos significativos, particularmente con la accesibilidad de los datos para equipos remotos, la escalabilidad y la carga de la seguridad física y el mantenimiento (Amazon Web Services, s.f.). El enfoque moderno favorece una arquitectura centralizada y basada en la nube (Amazon Web Services, s.f.).

Las plataformas en la nube (como Amazon Web Services - AWS, o Microsoft Azure) ofrecen varias ventajas convincentes para la gestión de datos geológicos (Amazon Web Services, s.f.; Databricks, 2024):

**Fuente Única de Verdad Centralizada:** Al alojar la base de datos en la nube, todos los usuarios, ya sea en el campo, en el sitio de la mina o en una oficina corporativa, acceden exactamente a los mismos datos. Esto elimina el peligroso problema de tener múltiples versiones conflictivas de la base de datos almacenadas en diferentes servidores locales o computadoras portátiles individuales (acQuire, s.f.; GeoSpark, s.f.).

**Escalabilidad:** La infraestructura en la nube se puede escalar fácilmente hacia arriba o hacia abajo para satisfacer la demanda, sin necesidad de comprar e instalar nuevo *hardware* físico (Amazon Web Services, s.f.).

**Accesibilidad y Colaboración:** Se puede otorgar acceso seguro a usuarios autorizados en cualquier parte del mundo con una conexión a Internet, facilitando la colaboración en tiempo real entre equipos geográficamente dispersos (Amazon Web Services, s.f.; Seequent, s.f.).

**Riesgo de Infraestructura Externalizado:** El proveedor de la nube es responsable de la seguridad física de los centros de datos, el tiempo de actividad de la red y el mantenimiento del *hardware*, lo que permite a la empresa minera centrarse en la gestión de los datos, no de los servidores (Databricks, 2024).

Este modelo centralizado puede ser diseñado de diferentes maneras. Mientras que un **Almacén de Datos (Data Warehouse)** tradicional es excelente para almacenar datos estructurados y tabulares (como tablas de collar, survey y ensayos), es menos adecuado para las vastas cantidades de datos no estructurados generados en la minería moderna, como fotografías de testigos, datos hiperspectrales o archivos de levantamientos geofísicos (Databricks, 2024).

Una arquitectura más moderna es el **Lago de Datos (Data Lake)** o la **Casa del Lago de Datos (Data Lakehouse)** (Databricks, 2024). Un Lago de Datos puede almacenar todo tipo de datos — estructurados y no estructurados— en su formato nativo. Una Casa del Lago de Datos combina la flexibilidad de un lago de datos con las características de gestión y gobernanza de datos de un almacén de datos, proporcionando una plataforma unificada para analizar todos los datos del proyecto (Databricks, 2024). Este enfoque previene la creación de silos de datos y proporciona a los geólogos una visión holística de toda la información disponible para un sondeaje o área determinada, lo que conduce a interpretaciones mejor informadas (acQuire, s.f.; Snowden Optiro, 2023).

#### **5.4.5. Salvaguardando el Activo: Protocolos para el Control de Versiones, Seguridad y Recuperación ante Desastres**

El sistema de información debe incluir protocolos explícitos para proteger el activo de datos de la corrupción y la pérdida. Estos son componentes no negociables de cualquier sistema de gestión de datos profesional.

**Control de Versiones:** El sistema debe ser capaz de rastrear los cambios en los datos a lo largo del tiempo. Esto es más que un simple rastro de auditoría. El verdadero control de versiones permite al administrador de la base de datos "revertir" la base de datos a un estado anterior en caso de un error catastrófico durante una importación de datos (Seequent, s.f.). También asegura que los modelos geológicos y las estimaciones de recursos puedan ser reproducidos con precisión utilizando la versión exacta de la base de datos en la que se basaron (Seequent, s.f.).

**Seguridad de los Datos:** La seguridad se gestiona a través de un robusto control de acceso. Not todos los usuarios deben tener los mismos permisos. Un enfoque de mejores prácticas utiliza el

control de acceso basado en roles, donde a los usuarios se les asignan roles (por ejemplo, "Geólogo de Campo", "Administrador de Base de Datos", "QP", "Solo Vista"). Cada rol tiene permisos específicos, asegurando que los usuarios solo puedan realizar las acciones necesarias para su trabajo (IBM, s.f.). Por ejemplo, un geólogo de campo podría agregar nuevos datos, pero no eliminar o modificar datos históricos, un derecho reservado para el administrador de la base de datos. Esto previene cambios no autorizados y protege la integridad de los datos (acQuire, s.f.).

**Copia de Seguridad y Recuperación ante Desastres:** La pérdida de datos es una amenaza existencial. Una estrategia de copia de seguridad integral es esencial. La "Regla 3-2-1" es una práctica común recomendada: tener al menos tres copias de sus datos, en dos tipos diferentes de medios, con al menos una copia almacenada fuera del sitio (Backblaze, 2018; Seequent, s.f.). Para una base de datos alojada en la nube, esto a menudo es gestionado por el proveedor de la nube, que realiza copias de seguridad regulares y automatizadas que son geográficamente redundantes (Seequent, s.f.). Se debe documentar y probar periódicamente un plan de recuperación ante desastres para garantizar que, en caso de una falla mayor, la base de datos pueda restaurarse con una pérdida mínima de datos y tiempo de inactividad (Backblaze, 2018).

## **6. DEFINICIÓN DE ESTÁNDAR DIVISIONAL**

Luego de establecer las Mejores Prácticas para el ingreso de información geológica en la instancia del mapeo, se definen estándares divisionales que se evidenciarán en el mejoramiento de las cartillas de mapeo, el almacenamiento de datos geológicos en los servidores Codelco, la depuración de información vacía o nula y cualquier proceso que permita disminuir el error humano de ingreso de datos. La estandarización a nivel corporativo del Sistema de Manejo de Datos acQuire es requisito imperante para el devenir de la División.

### **6.1. Depuración de base de datos existente**

Se realiza un levantamiento del estado actual de la base de datos MS SQL acQuire de pozos de tronadura de la División, la cual se encuentra en servidores que físicamente están en División El Teniente. Importante mencionar que el año 2016 se comienza a utilizar acQuire y se realizan cargas masivas de datos anteriores. En ese período, personal de acQuire en conjunto con el equipo UGI realizaron objetos básicos para el funcionamiento operacional.

El informe que se realiza con el levantamiento involucra todas las tablas de la Base de Datos relacional de *acQuire*. Esta revisión se hace en conjunto con personal del área de Ore Control del Proyecto Rajo Inca a cargo de la Vicepresidencia de Proyectos CODELCO.

En este informe se analizan 992.240 datos ingresados como pozos de tronadura o muestreos de stock de los siguientes proyectos ingresados en el sistema (tabla 7):

**Tabla 7. Tabla de Proyectos de División Salvador ingresados a acQuire**

Código	Identificación
BOT	Botadero
CA	Campamento Antiguo
CA OLD	Campamento Antiguo Anterior
CC	Colina de Cobre
CON	Concentradora
DA	Damiana
DC	Damiana Central
DO	Damiana Oeste
ESC BOT	Escorial Potrerillos
HIST	Históricos
QM	QM
REL	Relave
RI	Rajo Inca
SA	San Antonio
ST	Stock
TQ	Turquesa
TT	Test

Estos proyectos contienen, a su vez, registros de leyes, geología, despacho, intervalos, entre otros.

A modo de resumen, acQuire es el *software* corporativo de CODELCO para administrar información geológica auditable. Dentro de este trabajo, las tablas revisadas son aquellas que constituyen el acQuire Data Model (ADM). Visualmente, el ADM se grafica como un extenso flujograma que se divide y subdivide en función de las etapas de las operaciones productivas (Figura 13). Los datos se alojan en tabulaciones jerarquizadas, las cuales se dividen en tablas Principales, de Referencia, de Código y de Detalle. Este flujograma se asienta en un ambiente intuitivo denominado *Workspace*. El *workspace* de *Ore Control DSAL* se llama ACQSAOC y está alojado en un servidor de División El Teniente.

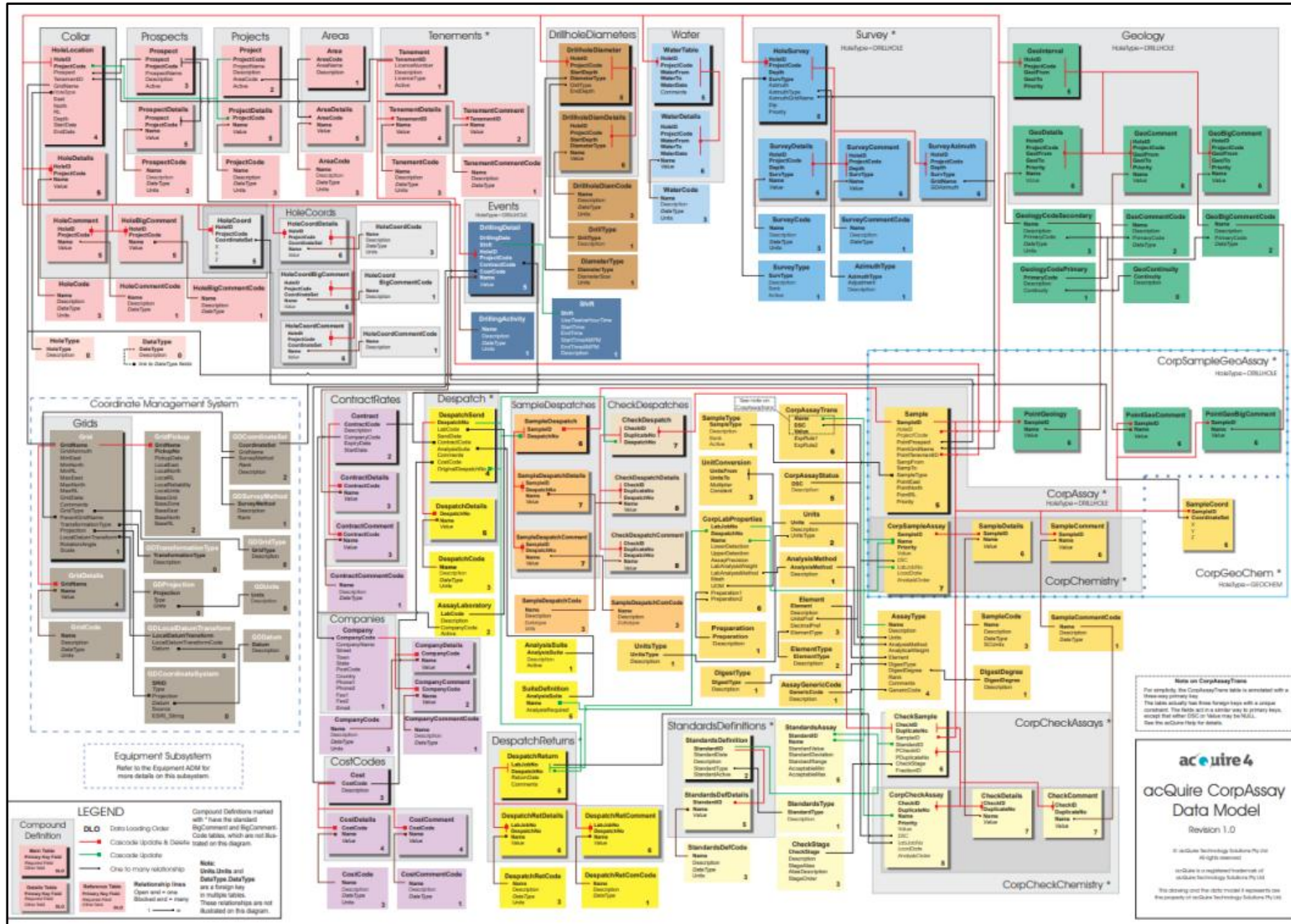


Figura 13: acquire Data Model v1.0

## Revisión módulo Collar:

El módulo Collar es fundamental estructuralmente, ya que define el HoleID Primary Key Field (campo clave primario). El HoleID corresponde a la identificación del pozo, ya sea sondaje, pozo de tronadura y cualquier punto en específico que se desee muestrear. Al ser un campo primario, todos los datos de acQuire tienen que estar asociados a un HoleID. De eliminarse el HoleID, un efecto cascada elimina cualquier otro dato asociado. AcQuire permite dos tipos de “pozo” (HoleType):

1. **DRILLHOLE:** para sondajes y pozos, y

2. **GEOCHEM:** para puntos de muestreo aislados.

El análisis del HoleID de la figura 14 presenta registros por proyecto y se evidencian pozos sin coordenadas ingresadas. Esto puede deberse a:

- Errores de ingreso de datos o en importadores
- Muestras puntuales GEOCHEM ingresadas como DRILLHOLE
- Cargas masivas con errores de columnas y caracteres

Código	N° De registros	BLASTHOLE	Muestras de Stock	Total elementos ingresados	Coordenadas	Sin Coordenadas	Porcentaje de PT Coordenados
BOT	50		50	50	0	0	0.00
CA	422440	422440		422440	421637	803	99.81
CA_OLD	61548	61548		61548	0	61548	0.00
CC	36453	36453		36453	36061	392	98.92
CON	1942	0	1942	1942	0	0	0.00
DA	241064	241064		241064	64895	176169	26.92
DC	6421	6421		6421	5751	670	89.57
DO	637	637		637	630	7	98.90
ESC_BOT	604		604	604	0	0	0.00
HIST	172		172	172	0	0	0.00
QM	60907	60907		60907	59387	1520	97.50
QM_OLD	83600	83600		83600	252	83348	0.30
QW	2427	2427		2427	2206	221	90.89
REL	185		185	185	0	0	0.00
RI	579	579		579	522	57	90.16
SA	69307	69307		69307	69307	0	100.00
ST	1075	1075		1075	20	1055	1.86
TQ	2823	2823		2823	2770	53	98.12
TT	6	6	0	6	0	6	0.00
<b>TOTAL 19</b>	<b>992240</b>	989287	2953	992240	663438	1655678	47.00

Figura 14: Cantidad de registros de HoleID por proyecto.

En la tabla principal HOLELOCATION (figura 15), debiesen ser ingresadas las coordenadas finales de los pozos. Sin embargo, no hay registro alguno. Esto significa que las coordenadas de

los proyectos no se encuentran ingresadas como como coordenadas definitivas y están como coordenadas planificadas o de perforación (coordenadas auxiliares).

TABLA DETALLES DEL COLLAR						
Código	EAST	NORTH	RL	STARTDATE	ENDDATE	GRIDNAME
BOT	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
CA	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
CA_OLD	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
CC	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
CON	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
DA	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
DC	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PLA ERRORES EN X,Y,Z
DO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PLA ERRORES EN X,Y,Z
ESC_POT	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
HIST	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
QM	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PERT ERRORES EN X,Y,Z
QM_OLD	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PERT ERRORES EN X,Y,Z
QW	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
REL	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
RI	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PLA
SA	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS UTM PSAD56 -19 S. ERRORES CON COORDENADAS INVERTIDAS
ST	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SIN RL
TQ	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	SET COORDENADAS = SA_PERT ERRORES EN X
TT	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	NO HAY REGISTRO	REGISTROS INCOMPLETOS Y CON ERRORES	NO HAY REGISTRO	
<b>TOTAL 19</b>	0	0	0	0	0	
LOS CAMPOS EAST, NORTH Y RL NO PRESENTAN REGISTROS, EN SU REEMPLAZO SE USAN CAMPOS X,Y,Z, AUXILIARES PARA REGISTROS DE POSICIÓN						

Figura 15: Registros de coordenadas en tabla principal HOLELOCATION

## Revisión módulo geology

Se revisan las tablas correspondientes a Geología y se verifican los códigos de:

- HOLEID
- PROJECTCODE
- GEOLFROM
- GEOLTO
- PRIORITY
- ALTERACIÓN: Códigos a revisión
- LITOLÓGÍA: Códigos a revisión
- MINERALIZACIÓN: Códigos a revisión
- FECHA DE MAPEO
- GEOLOGO
- GEO\_BANCO
- GEO\_DISPARO
- GEO\_FASE

Los códigos a revisión corresponden a códigos duplicados o mal escritos. Ej: 2 y FIL corresponden a Alteración Fílica.

Se revisa la tabla GEOINTERVAL (figura 16), en la cual se especifica la longitud espacial de los pozos. Se observa un error grave del punto de vista auditable, ya que por definición GEOLFROM (desde) y GEOLT0 (hasta) no deben tener el mismo número ni valor nulo o cero. En este caso, las muestras de Stock o muestras puntuales (Botadero, Relave, Concentradora, entre otros) están codificadas como DRILLHOLE, que para todo propósito en la base de datos se considera una perforación con inicio y término, es decir, Sondaje o Pozo de Tronadura.

La manera correcta de ingresar estos datos es indicando GEOCHEM como tipo de pozo en el apartado tipo de pozo (HoleType), con coordenadas en el punto en que se tomó la muestra. De lo contrario y como se encuentra, no corresponde a un dato utilizable o auditable. La permanencia de estos registros en la Base de Datos no tiene propósito alguno y no es información correcta.

TABLA GEOINTERVALOS					
GEOINTERVALOS					
PROYECTOS	REGISTROS	GeolFrom - GeolTo Consistentes	GeolFrom - GeolTo Inconsistentes	% De errores GEOINTERVALOS	PRIORITY
CA	341	173	168	49.27	1
QM	366	158	208	56.83	1
QW	411	29	382	92.94	1
SA	1530	1530	0	0	1
	2648	1890	758	49.76	

**Figura 16: Detalle errores GEOINTERVAL**

Resumidamente, en la Figura xx se detallan los registros por proyecto y el error mencionado referente al tipo de pozo (HoleType). De esta forma se calcula el siguiente error por proyecto:

CA: 49.27%

QM: 56.83%

QW: 92.94%

SA: 0%

TOTAL: 49.76%

## Revisión mapeos geológicos

En síntesis, el porcentaje de error por tema de mapeo es el siguiente:

LITOLOGÍA:	30.43%
ALTERACIÓN:	0.04%
MINERALIZACIÓN ÓXIDOS:	0.09%
MINERALIZACIÓN SÚLFUROS:	3.52%
MINERALIZACIÓN GANGA:	0%

El detalle de la revisión se encuentra en el anexo 2.

Finalmente, se contabiliza la cantidad de Gaps o muestras/intervalos sin uso en la figura 17. De un total de 646.642 registros se tienen 341.404 Gaps, un 41% del total.

Muestras con Gaps en muestras (muestras o intervalos sin uso)			
PROJECTCODE	No de Muestras	Total	% Gaps
CA	285861	495335	57.71
DC	154	5408	2.85
QM	52819	91960	57.44
QW	1505	1762	85.41
SA	1065	52177	2.04
Total	341404	646642	41.09

Figura 17: Detalle de muestras con Gap

De la tabla GEOINTERVAL, se tienen sólo 2648 datos en la tabla, principalmente del proyecto San Antonio, con un 100% de consolidación (figura 18). Se observa que en el proyecto San Antonio, donde se agregan datos actualmente, no hay inconsistencias, por lo que se están realizando de manera correcta los ingresos al sistema. Sin embargo, el porcentaje total de errores por campo alcanza el 100% en varias instancias. La tendencia positiva de los porcentajes de error por proyecto indica discrepancias considerables (figura 19).

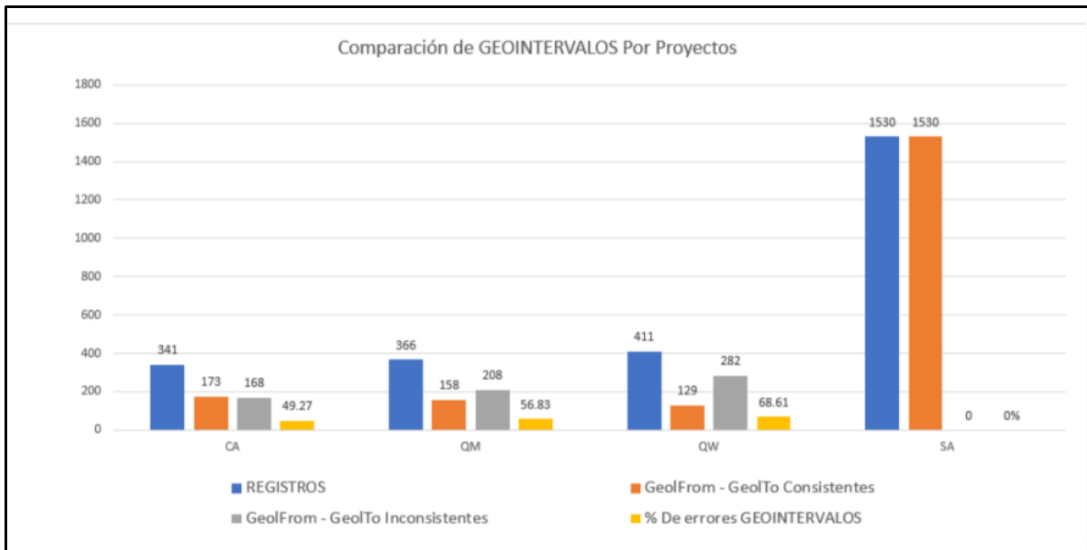


Figura 18: Gráfico comparación de Geointervalos por proyecto ingresado.



Figura 19: Tendencia de errores por proyecto.

Al finalizar este ejercicio, se determina que:

1. La base de datos no es auditable. Tiene muchos datos inconsistentes.
2. Existen errores generales que afectan a todos los proyectos.
3. La BD tiene una gran cantidad de errores atribuibles a cargas masivas de datos antiguos, falta de estándar y errores de digitación.

Como resultado de este análisis:

1. Se depura la base de datos con información inconsistente
2. Se modifica el HoleType de DRILLHOLE a GEOCHEM donde sea necesario
3. Se trabaja en los protocolos de ingreso de información de este punto en adelante
4. Se estandarizan los códigos de mapeo geológico de Litología, Alteración, Ganga y Mineralización (anexo 1).

## 6.2. Actualización de la cartilla de mapeo

Al implementar nuevas metodologías para el mapeo geológico de la división, se hace necesario actualizar la cartilla para solucionar algunas problemáticas en el proceso de mapeo, observadas por lo geólogos de mapeo. De esta forma, se actualiza la cartilla de la figura 9, por la de la figura 20.

Figura 20: Cartilla de mapeo actualizada.

Los cambios importantes de esta cartilla recaen en la posibilidad de mapear 4 litologías a la vez, 4 alteraciones y 6 minerales de ganga. Se decide aumentar la posibilidad de mapeo de gangas porque, dadas las características del depósito, las arcillas presentes ejercen un rol considerable en el

aumento del consumo de ácido en la planta de lixiviación, por ende, el geólogo de producción puede optar por enviar entre determinados materiales de una misma ley provenientes de sectores o fases diferentes al poseer características o mineralización de ganga que tenga un efecto poco eficaz en el costo de la lixiviación.

### 6.3. Modificación forma de almacenamiento de geología

Un alcance importante de la revisión de la Base de Datos fue el método de almacenamiento de la geología. La base de datos debe ser extraída mensualmente para ajustar el Modelo de Bloques. Esta se extrae en un archivo .csv y debe ser ingresada al *software Leapfrog* para actualizar el modelo. Este proceso no debiese tomar demasiado tiempo. Sin embargo, el método de almacenamiento hace que no solamente se utilice tiempo en *Leapfrog*, si no en adaptar la base de datos fuera de *acquire* para que sea utilizable.

A modo de ejemplo, en la figura 21 se muestra el objeto visualizador de data de Geología de mapeo de pozos de tronadura en mina SAO. Cada línea corresponde a un mapeo. En este caso, se observan 8 variables. MN\_MINEOX1 corresponde al primer mineral mapeado en un evento de mapeo, y MN\_MINEOX1\_PCT corresponde al porcentaje del primer mineral mapeado en ese mapeo en particular. Las columnas que siguen corresponden al segundo, tercer y cuarto mineral mapeado con su respectivo porcentaje en la columna asociada. De esta forma, se tiene que la fila 1 corresponde a un mapeo en particular, donde se mapeó de un 100% total, un 35% de ARCU (Arcillas con Cobre), un 10% de CRI (Crisocola), un 15% de MAL (Malaquita) y un 20% de OXN (Óxidos Negros). El 20% faltante corresponde a LIMCU (Limonitas con Cobre) como quinto mineral fuera de la imagen.

En estricto rigor, el mapeo es visible y entendible en cada fila. Sin embargo, el geólogo a cargo comprende que, si se necesitase extraer, por ejemplo, los porcentajes de Crisocola de todos los mapeos a la fecha, el proceso no es sencillo ya que no siempre se tendrá a la Crisocola en una misma columna (figura zoom a problema). Es decir, las especies minerales no se mapean individualmente si no como alternativas intercambiables en un espacio. Soluciones temporales existen, pero extrayendo el archivo .csv a otro *software* externo (Excel) y concatenar de forma

manual, aumentando nuevamente las posibilidades de error humano y disminuyendo la eficiencia productiva en general.

	MN_MINEOX1	MN_MINEOX1_PCT	MN_MINEOX2	MN_MINEOX2_PCT	MN_MINEOX3	MN_MINEOX3_PCT	MN_MINEOX4	MN_MINEOX4_PCT
1	ARCU	35	CRI	10	MAL	15	OXN	20
2	ARCU	30	MAL	5	CRI	15	OXN	20
3	ARCU	30	OXN	20	LIMCU	30	CRI	15
4	ARCU	35	OXN	20	LIMCU	20	MAL	10
5	ARCU	20	CRI	5	MAL	5	OXN	15
6	ARCU	35	LIMCU	25	OXN	20	MAL	5
7	ARCU	35	LIMCU	20	OXN	20	CRI	15
8	ARCU	35	CRI	15	MAL	10	OXN	20
9	ARCU	20	CRI	10	OXN	20	MAL	5
10	ARCU	25	CRI	5	MAL	10	OXN	20
11	ARCU	30	CRI	15	MAL	5	OXN	20
12	ARCU	40	MAL	5	OXN	20	LIMCU	25
13	ARCU	30	MAL	10	CRI	15	OXN	20
14	ARCU	35	LIMCU	25	OXN	20	MAL	5
15	ARCU	40	OXN	20	MAL	10	CRI	5
16	OXN	20	ARCU	35	CRI	5	MAL	5
17	ARCU	35	CRI	5	MAL	10	OXN	20
18	ARCU	40	CRI	15	OXN	20	LIMCU	20
19	ARCU	30	CRI	5	OXN	20	LIMCU	45
20	ARCU	30	CRI	15	OXN	20	LIMCU	35
21	ARCU	30	MAL	15	CRI	15	LIMCU	20
22	ARCU	25	MAL	10	CRI	10	OXN	20
23	ARCU	25	CRI	15	MAL	10	OXN	20
24	ARCU	25	CRI	20	MAL	5	OXN	20
25	ARCU	15	OXN	20	CRI	5	LIMCU	60
26	ARCU	10	CRI	10	OXN	20	LIMCU	60
27	ARCU	10	LIMCU	50	OXN	20	CRI	15
28	ARCU	25	CRI	15	OXN	20	LIMCU	40

**Figura 21: Método de almacenamiento de información geológica.** En pantalla, objeto de visualización de Geología en *workspace* ACQSAOC en acQure. Muestra de mapeo de mineralización de óxidos en mina SAO.

La solución para este problema no es directa e involucra modificar el método sistemático de almacenamiento de la información, separando cada parámetro de mapeo (columna) y guardándolo como vacío o cero en caso de no ser mapeado.

Se autoriza el cambio de metodología de mapeo, proponiendo que todas las variables sean consideradas independientes entre sí. De esta forma, se crean variables nuevas y se establecen como predeterminadas para mapeo geológico de pozos de tronadura (figura 22). Al extraer la Base de Datos, se puede identificar la aparición de un determinado mineral en un mapeo específico o extraerlas en masa. Cabe mencionar que las variables y mapeos hasta la fecha quedan intactos para revisión posterior.

	MNO_ArcCu	MNO_Ata	MNO_Az	MNO_Broc	MNO_Chall	MNO_Cri	MNO_CuN	MNO_Cup
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								

**Figura 22: Objeto de Geología con variables nuevas.** Se observan las variables independientes para cada especie mineral.

#### 6.4. Cartilla de mapeo según nuevo estándar de almacenamiento de información geológica

Al modificarse el método de almacenamiento, se crea una nueva cartilla de mapeo considerando las necesidades del área de Geología y los geólogos, estableciendo un estándar de mapeo plausible para cualquier proyecto divisional (figura 23).

El método de llenado de la cartilla se mantiene similar, pero se consideran las especies minerales separadas entre sí. Además, se añade el campo Zona Mineral en reemplazo de Unidad Geológica y un campo de Ley Visual de CuT, considerando la estequiometría de los minerales. El mapeo de mineralización de gangas, óxidos y sulfuros se mapean con un límite de 100% en conjunto y, además, se debe ingresar el porcentaje de sulfuros total en volumen, para el cálculo automático de Ley Visual de CuT.

Figura 23. Cartilla de mapeo actualizada con nueva metodología de almacenamiento.

## 6.5. Cartilla offline de mapeo XILAB3D

De las necesidades productivas del área de geología, la imposibilidad de realizar el mapeo de pozos de tronadura offline implica una disminución en la eficiencia de la toma de datos. Esto se debe a que en las instalaciones de faena la señal online es de baja calidad, por lo que la actividad se ve interrumpida constantemente y, en ocasiones, impedida. Es por lo anterior que se considera el *software* de mapeo corporativo Xilab3D para solventar esta demanda.

Xilab y su contraparte moderna Xilab3D, es un *software* de mapeo geológico de los desarrolladores Geomintec. Xilab tiene origen en el SMD (Sistema de Mapeo Digital), una herramienta desarrollada para funcionar como una Base de Datos Oracle, a diferencia de la Base de Datos acQuire MS SQL. Oracle, al igual que MS SQL, es una Base de Datos Relacional, es decir, que se organiza como un conjunto de tablas, con filas y columnas.

Las ventajas de una BD relacional están en la capacidad de manejar grandes volúmenes de datos de forma eficiente e intuitiva. SMD fue utilizado en las divisiones de CODELCO Chile hasta ser adquirido por Geomintec y cambiar su nombre a Xilab.

Xilab permite la creación de código de mapeo o cartillas de mapeo estándar con interfaz gráfica. Estas cartillas pueden ser utilizadas para mapeo de pozos de tronadura, mapeo de sondajes y mapeo de bancos. En la actualidad también puede utilizar una base de datos MS SQL. La ventaja de Xilab es que, al ver sus comienzos en las divisiones de CODELCO, no presenta límites ni costo adicional importante por creación de cuentas ni soporte. Además, el mapeo offline es directo y simple, solo necesitando la descarga del soporte (sondaje, banco o pozo). De esta forma, sólo es necesario estar conectado a red CODELCO al momento de la descarga del soporte y subida del mapeo al servidor.

El servidor de Xilab opera de manera independiente del servidor de acQuire y, por protocolo, la base de datos geológica no puede alojarse exclusivamente en el servidor de Xilab, ya que CODELCO no lo considera auditable. Por esta razón, la base de datos utilizada en Xilab será de carácter temporal.

En consecuencia, los mapeos realizados en Xilab deben exportarse posteriormente a acQuire. Este traspaso de información se ejecuta mediante un mecanismo de interoperabilidad bidireccional entre ambos sistemas, el cual no requiere intervención directa del usuario, sino únicamente del UGI. (figura 24).

Sin perjuicio de lo anterior y reconociendo las ventajas de realizar mapeo geológico fuera de la red CODELCO, es que se crea la cartilla de mapeo geológico de pozos de tronadura en Xilab3D para San Antonio y Rajo Inca (figura 25).

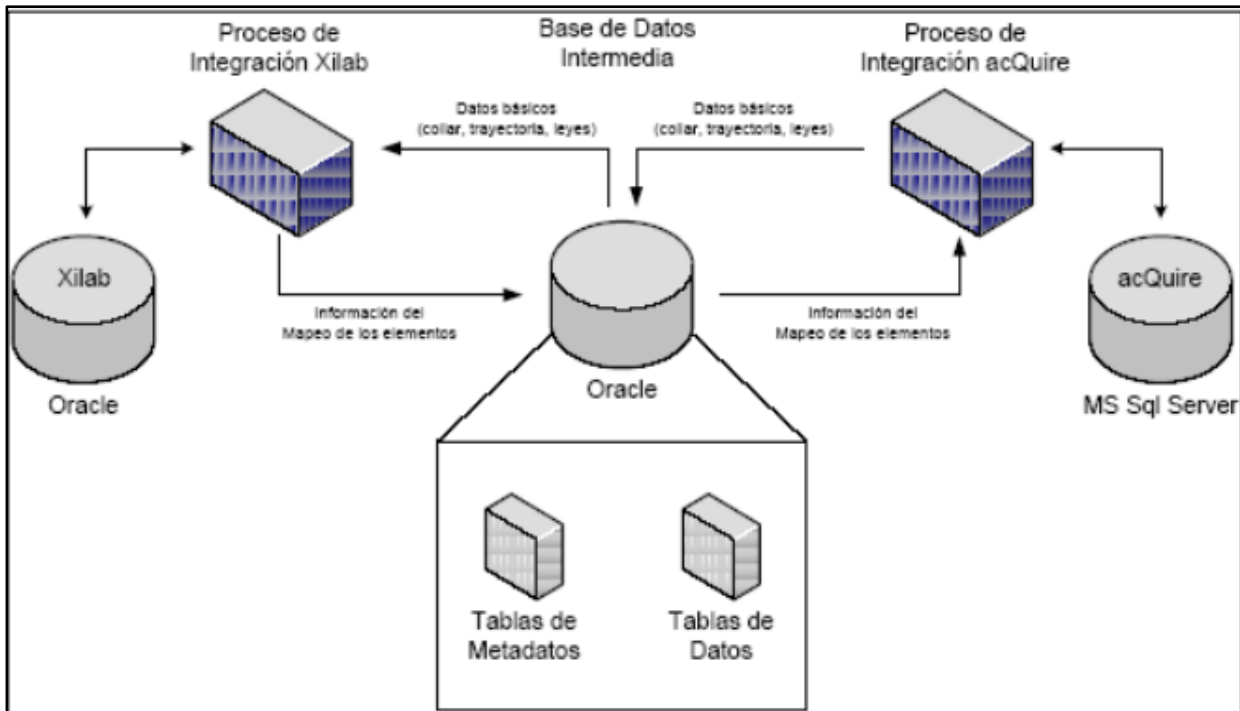


Figura 24. Flujo de interoperabilidad Xilab, acquire

[322] INCA\_Pozo\_Tronadura [IDSOPORTE=UNKNOWN]

Aceptar Cancelar  Info. del soporte  Ver estilo de valores

Catalina Larrère Cortés 20230616 23:44:39

Punto: 0,0,0 - NO ASIGNADO  Mostrar

INCA\_Pozo\_Tronadura  INCA\_PT\_Litologia  INCA\_PT\_Alteracion  INCA\_PT\_Ganga  INCA\_PT\_Min\_Oxidos  INCA\_PT\_Min\_Sulfuros

1 registros

ID	Cod Litologia	% Litologia
1		0

Sin informacion  
 Piroclastos  
 Riolita  
 Pórfido Granodiorítico  
 Brecha  
 Pórfido L  
 Pórfido Cuarífero  
 Pórfido K  
 Pórfido X  
 Andesita

Proyecto: [dropdown]  
 Banco: [text]  
 Disparo: [text]  
 ID Pozo: [text]  
 SampleID: [text]  
 Largo: 0 [spinners]  
 % Litologia: 0 [spinners]  
 % Ganga: 0 [spinners]  
 Min Ocurencia: [dropdown]  
 Estado material: [dropdown]  
 % Total Mineralizacion: 0 [spinners]  
 % Total Min Sulf: 0 [spinners]  
 % Total Min Ox: 0 [spinners]  
 Observacion: [text]

Figura 25: Cartilla de Pozos de Tronadura Xilab3D.



## 7. ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN Y EL FACTOR HUMANO

Un sistema de información geológica técnicamente perfecto no tiene valor si no es adoptado y utilizado correctamente por las personas a las que está destinado a servir. La historia de la implementación de tecnología está llena de ejemplos de excelentes sistemas que fracasaron debido a una mala adopción. Las barreras más significativas para el éxito a menudo no son tecnológicas, sino culturales y organizacionales. Superar la inercia de "cómo siempre hemos hecho las cosas" requiere una estrategia de gestión del cambio deliberada y reflexiva, que sea defendida por el liderazgo y que aborde los factores humanos de la transición. Esta sección final argumenta que un proyecto de implementación exitoso se trata tanto de gestionar personas y procesos como de configurar *software* y servidores.

### 7.1. Superando Obstáculos Prácticos: La Interacción entre Personas, Procesos e Infraestructura

Implementar un nuevo sistema de gestión de datos estandarizado es una tarea compleja que enfrenta numerosos obstáculos prácticos. El éxito depende de abordar la interacción crítica entre personas, procesos e infraestructura (acQuire, s.f.).

- **Personas:** El elemento humano es a menudo el más desafiante. Los geólogos y técnicos pueden mostrar resistencia al cambio, particularmente si se sienten cómodos con los sistemas heredados, por muy defectuosos que sean (Snowden Optiro, 2023). Puede haber una falta de las habilidades necesarias para operar el nuevo sistema, o la percepción de que los nuevos procedimientos son demasiado rígidos o consumen demasiado tiempo. Una implementación exitosa requiere un "campeón" —un individuo respetado dentro de la organización que abogue por el cambio— así como una formación integral y un apoyo continuo para todos los usuarios (acQuire, s.f.). El objetivo es demostrar el valor del nuevo sistema para facilitar sus trabajos y hacer sus conclusiones más fiables, transformándolos de usuarios reacios en defensores.
- **Proceso:** Un nuevo sistema no puede simplemente "enchufarse" en los flujos de trabajo antiguos. Los procesos de negocio deben ser reevaluados y adaptados. Esto es especialmente desafiante en empresas que han crecido a través de fusiones y adquisiciones, ya que pueden

haber heredado múltiples y conflictivos conjuntos de procedimientos de diferentes operaciones heredadas (acQuire, s.f.). Un proceso cohesivo requiere que todos, desde el geólogo de campo hasta el modelador de recursos corporativo, entiendan y sigan el nuevo flujo de trabajo estandarizado. Esto implica documentar los nuevos procedimientos, comunicarlos claramente y asegurar que se cumplan (Micon International, 2023; SRK Consulting, s.f.). La transición del manejo de datos ad-hoc e individual a un proceso riguroso y a nivel de todo el sistema es un cambio cultural fundamental (Snowden Optiro, 2023).

- **Infraestructura:** El *software* más avanzado es inútil sin la infraestructura de soporte adecuada. Esto incluye una capacidad de servidor adecuada (ya sea en las instalaciones o en la nube), una conectividad de red fiable (especialmente en sitios mineros remotos) y el *hardware* apropiado para los usuarios, como tabletas robustas para la captura de datos en campo (acQuire, s.f.). Aunque puede haber presión para reducir los costos de TI, invertir en la infraestructura necesaria es esencial. Las eficiencias obtenidas de un sistema que funciona bien —como la reducción del tiempo dedicado a la verificación de datos y una toma de decisiones más rápida— proporcionarán en última instancia un retorno significativo de esta inversión (acQuire, s.f.; Reid, 2002).
- **Financiamiento y Liderazgo:** Nada de esto es posible sin un financiamiento adecuado y un liderazgo fuerte. El presupuesto del proyecto debe tener en cuenta no solo las licencias de *software* y el *hardware*, sino también la formación, la migración de datos heredados y, potencialmente, la experiencia de consultoría externa (acQuire, s.f.; Snowden Optiro, 2023). Lo más importante es que la alta dirección debe liderar el cambio cultural, defendiendo el proyecto y comunicando claramente la importancia estratégica de tratar la información geológica como un activo empresarial crítico. Cuando el liderazgo presenta un caso de negocio sólido para la inversión, le indica a toda la organización que la integridad de los datos es un valor fundamental, no solo una tarea administrativa (acQuire, s.f.).

## 7.2. El Geólogo como Custodio de Datos: Cerrando la Brecha entre la Observación de Campo y la Ciencia de Datos

El estribillo común de la industria de que "los geólogos no son gestores de datos" pone de manifiesto una brecha de habilidades crítica y un desafío cultural que debe abordarse (Snowden Optiro, 2023). Si bien es cierto que la formación principal de un geólogo es la interpretación de la tierra, en la industria minera moderna e intensiva en datos, este rol debe evolucionar. El enorme volumen y la complejidad de los datos que se generan, desde el registro tradicional hasta los sensores automatizados y los levantamientos geofísicos, exigen un mayor nivel de alfabetización de datos de todos los geocientíficos (Datamine, s.f.; Snowden Optiro, 2023).

Esto no significa que cada geólogo deba convertirse en programador o administrador de bases de datos. Sin embargo, sí significa que los geólogos deben asumir su papel como **custodios de datos**. Como expertos en el dominio que generan e interpretan los datos, están en una posición única para ser los principales guardianes de su calidad y contexto (Dominy, 2021). Un custodio de datos comprende la importancia de seguir procedimientos estandarizados, reconoce el impacto de una sola entrada incorrecta y se apropia de los datos que produce. Son el puente esencial entre el mundo de la observación geológica y el mundo de la ciencia de datos.

La trayectoria profesional del autor de esta tesis —pasando de la geología de control de mineral a la administración de bases de datos— es un excelente ejemplo de este necesario rol híbrido. La experiencia de ser responsable tanto de la creación como de la curación de los datos proporciona una comprensión holística de todo el ciclo de vida de la información. Cultivar esta mentalidad en todo el equipo de geología es un objetivo clave de una implementación exitosa. La tecnología adecuada puede facilitar esto al hacer que la gestión de datos sea más intuitiva y menos una carga administrativa, liberando el tiempo de los geólogos para que se centren en lo que mejor saben hacer: el análisis e interpretación de alto nivel para tomar mejores decisiones geológicas (Snowden Optiro, 2023).

### 7.3. Un Marco para la Mejora Continua y la Evolución del Sistema

La implementación de una base de datos geológica no es un proyecto con una fecha de finalización definida; es el comienzo de un proceso continuo de gobernanza de datos y mejora continua. La comprensión geológica de un yacimiento no es estática: evoluciona a medida que se completan más perforaciones y se desarrollan nuevas interpretaciones. El sistema de información debe ser lo suficientemente flexible como para evolucionar con él. Un marco para la mejora continua debe incluir:

1. **Revisiones Periódicas:** El equipo de geología y el administrador de la base de datos deben realizar revisiones regulares del sistema, los procedimientos y los esquemas de codificación. ¿Existen nuevos tipos de rocas o estilos de alteración que deban agregarse al léxico? ¿Las plantillas de registro actuales capturan toda la información necesaria? Esto asegura que el sistema siga siendo relevante para las necesidades del proyecto (American Society for Quality, s.f.).
2. **Mecanismos de Retroalimentación del Usuario:** Crear canales formales para que los usuarios proporcionen retroalimentación, informen problemas y sugieran mejoras. Esto fomenta un sentido de propiedad y ayuda a identificar problemas prácticos en el flujo de trabajo.
3. **Adaptación a Nuevas Tecnologías:** El campo de la ciencia de datos está evolucionando rápidamente. El sistema de gestión de datos debe ser diseñado con la vista puesta en el futuro, listo para integrarse con tecnologías emergentes como la Inteligencia Artificial (IA) y el Aprendizaje Automático (ML) (GeoSpark, s.f.). Los algoritmos de IA pueden utilizarse para tareas como el registro automatizado de testigos a partir de imágenes o la identificación de patrones geológicos sutiles en grandes conjuntos de datos que son invisibles para el ojo humano (Ghosh y Bhattacharyya, 2022). Una base de datos limpia, consistente y bien estructurada es un prerrequisito para la aplicación exitosa de estas nuevas y potentes herramientas (GeoSpark, s.f.). La base de datos debe ser vista como un activo vivo, constantemente curado, mejorado y preparado para la próxima generación de técnicas analíticas.

Este compromiso con la evolución asegura que la inversión en un sistema de gestión de información robusto continúe proporcionando valor a lo largo de toda la vida de la mina, desde la

exploración inicial hasta la operación y, finalmente, hasta el cierre y la rehabilitación (International Council on Mining and Metals, s.f.).

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo ha presentado un marco integral para las mejores prácticas en la gestión de la información geológica, argumentando que un enfoque sistemático y basado en estándares es una actividad estratégica indispensable para cualquier empresa minera moderna. El análisis ha demostrado que el requisito de tal sistema no es discrecional, sino que está impulsado por un poderoso mandato descendente de los organismos reguladores globales y nacionales. La responsabilidad legal y ética impuesta a la Persona Calificada para verificar todos los datos técnicos crea un caso de negocio directo y convincente para invertir en las herramientas y procedimientos necesarios para garantizar la integridad de los datos. Sin una base de datos robusta y auditable, una empresa simplemente no puede cumplir con sus obligaciones de divulgación pública transparente y fiable.

El marco se mueve lógicamente desde este imperativo de gobernanza hacia las acciones prácticas y a nivel de terreno requeridas para la implementación. Comienza en el frente de roca, con el diseño de plantillas de registro estandarizadas y sistemas de codificación jerárquicos que transforman la observación subjetiva en datos objetivos y analizables. Luego establece un protocolo de validación de múltiples capas —un sistema inmunológico organizacional— que combina el Aseguramiento de la Calidad proactivo con el Control de Calidad reactivo para proteger el activo de datos de la corrupción. La discusión sobre la arquitectura del sistema evalúa la decisión crítica de "construir vs. comprar", enmarcándola no como una elección técnica, sino como una decisión estratégica sobre el riesgo y la experiencia, y destaca las ventajas convincentes de las plataformas modernas basadas en la nube para crear una "fuente única de verdad".

El marco aborda el elemento humano crítico, reconociendo que la tecnología por sí sola es insuficiente. Una implementación exitosa depende de una estrategia deliberada de gestión del cambio que aborde la interacción de personas, procesos e infraestructura, y fomente una cultura en la que cada geólogo actúe como un custodio de datos responsable. La aplicación práctica de este marco en una mina chilena, que resultó en una base de datos heredada depurada y nuevos procedimientos de registro estandarizados, sirve como un estudio de caso tangible de su eficacia.

Al sintetizar estos elementos, se reafirma la tesis central: un sistema robusto de gestión de la información geológica no es un fin en sí mismo. Es el medio esencial para lograr una mayor confianza geológica, reducir el riesgo del proyecto, mejorar la eficiencia operativa y, lo más importante, garantizar la defendibilidad legal y financiera del principal activo de la mina: sus recursos y reservas minerales. En la industria minera contemporánea, donde los datos se generan a un ritmo cada vez mayor y el escrutinio de las partes interesadas está en su punto más alto, la calidad de la gestión de datos de una empresa es un reflejo directo e innegable de la calidad de su geología y, en última instancia, de su perspicacia empresarial general.

## 9. REFERENCIAS

- ABZALOV, M. 2016. Quality control of assays in exploration and mining. *In Applied mining geology*. Ed. Springer. 115-136.
- ACQUIRE. s.f. A framework for successful technology implementation. <https://www.acquire.com.au/a-framework-for-successful-technology-implementation/>
- ACQUIRE. s.f. Data governance for mining and exploration. <https://www.acquire.com.au/data-governance-for-mining-and-exploration/>
- ACQUIRE. s.f. Data validation. GIM Suite. <https://gimsuite.acquire.com.au/data-validation/>
- ACQUIRE. s.f. How to perform a geological database audit. <https://www.acquire.com.au/how-to-perform-a-geological-database-audit/>
- ACQUIRE. s.f. Is your mine planning software a database?. <https://www.acquire.com.au/is-your-mine-planning-software-a-database/>
- ACQUIRE. s.f. The hidden risks of managing geoscientific data in spreadsheets. <https://www.acquire.com.au/the-hidden-risks-of-managing-geoscientific-data-in-spreadsheets/>
- ACQUIRE. s.f. What is geological data management?. <https://www.acquire.com.au/what-is-geological-data-management/>
- ACQUIRE. s.f. Why is geological data management so important?. <https://www.acquire.com.au/geological-data-management/>
- AGUILERA, V. 2022. Metodología para la Caracterización de Arcillas y Unidades Geometalúrgicas, Mina San Antonio Óxidos, región de Atacama. Memoria para optar Título de Geólogo. Universidad Católica de Temuco, Departamento de Obras Civiles y Geología (Inédito): 149 pp. Temuco.
- ALLMENDINGER, R.; GONZÁLEZ, G.; YU, J.; HOKE, G. & ISACKS, B. 2005. Trench-Parallel Shortening in the Northern Chilean Forearc: Tectonic and Climatic Implications. *Geological Society of American Bulletin*. Vol. **117**: 89-104.
- ALONSO, R. & VIRAMONTE, J. 1987. Geología y Metalogenia de la Puna. *Estudios geológicos*. Vol. **43**: 393-407.
- AMAZON WEB SERVICES. Sin fecha. What is cloud computing?. <https://aws.amazon.com/what-is-cloud-computing/>

- AMC CONSULTANTS. 2022. Reasonable prospects for eventual economic extraction (RPEEE). <https://www.amcconsultants.com/insights/perspectives/reasonable-prospects-for-eventual-economic-extraction-rpeee/>
- AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. s.f. Continuous improvement. <https://asq.org/quality-resources/continuous-improvement>
- AMERICAN SOCIETY FOR QUALITY. s.f. Quality assurance vs quality control. <https://asq.org/quality-resources/quality-assurance-vs-control>
- AMILIBIA, A.; SABAT, F.; MCCLAY, K.; MUÑOZ, J. & 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*. Vol. **30** (12): 1520-1539.
- ARREDONDO, C. 2004. Informe potencial de exploración Distrito Potrerillos. CODELCO, División Salvador, proyecto San Antonio Óxidos (Inédito): 9-17.
- BACKBLAZE. 2018. The 3-2-1 backup strategy. <https://www.backblaze.com/blog/the-3-2-1-backup-strategy/>
- BIGGAR, J. 2005. The Andes: A guide for climbers. *Andes Publishing*. 304 pp.
- BISSIG, T. & RIQUELME, R. 2009. Contrasting Landscape Evolution and Development of Supergene Enrichment in the El Salvador Porphyry Cu and Potrerillos-El Hueso Cu-Au Districts, Northern Chile. *Society of Economic Geologists, special publication*. Vol. **14**: 59-68.
- BOBENRIETH, L. & ZAMORA, A. 2008. Informe mapeo geológico de superficie. Informe Inédito. División Salvador, CODELCO, Proyecto San Antonio Óxidos. 35-106.
- BÖRGEL, R. 1975. Geomorfología. Colección Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar (editores). 119 pp. Santiago.
- BÖRGEL, R. 1983. Geografía de Chile. Geomorfología. Colección Geografía de Chile, Instituto Geográfico Militar (editores). Tomo 2: 182 pp. Santiago.
- BRANTT, J. 2011. Informe modelo geológico óxidos 2011. Informe Inédito. División Salvador, CODELCO, Proyecto San Antonio Óxidos. 9-45.
- BRANTT, J. 2012. Informe estimación de recursos geológicos óxidos 2011. Informe Inédito. División Salvador, CODELCO, Proyecto San Antonio Óxidos. 50 pp.
- BROOK, M.; PANKHURST, R.; SHEPERD, T. & SHAPIRO, B. 1986. Andchron: Andean geochronology and metallogenesis. *Overseas Development Administration, Open-file Report*: 83 pp. Londres.

- BRÜGGEN, J. 1947. Geología y morfología de la Puna de Atacama. *Imprenta Universitaria*. Estado 63. 142 pp. Santiago.
- CAMUS, F. 2003. Geología de los Sistemas Porfíricos en los Andes de Chile. Servicio Nacional de Geología y Minería (editores). 265 pp. Santiago.
- CANADIAN SECURITIES ADMINISTRATORS. 2011. National Instrument 43-101 Standards of Disclosure for Mineral Projects. [https://www.csaregulators.ca/wp-content/uploads/2023/10/csa\\_ni\\_20110624\\_43-101.pdf](https://www.csaregulators.ca/wp-content/uploads/2023/10/csa_ni_20110624_43-101.pdf)
- CANALES, P. 2024. Magnetita como mineral indicador en la exploración de depósitos de pórfido cuprífero en gravas del desierto de Atacama. Memoria para optar al Título de Geóloga. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 279 pp.
- CAP. 2010. DIA Proyecto Línea de Transmisión Electrica Suministro Mina Cerro Negro Norte y Planta Desalinizadora Punta Totalillo. Región de Atacama. Anexo 5. Línea de Base Medio Físico. 37 pp. Santiago.
- CARRASCO, P. & T., M. A. 2002. SIGEO: The Geological Information System for the Web of the National Geology and Mining Survey of Chile. GISCA. [https://www.gisca.ad.jp/g-commons/g-commons/paper/g-commons02\\_carrasco.pdf](https://www.gisca.ad.jp/g-commons/g-commons/paper/g-commons02_carrasco.pdf)
- CASTILLO, F. 2013. Modelos geológicos y estimaciones de recursos CuT. Informe Inédito. División Salvador, CODELCO, Proyecto San Antonio Óxidos.
- CHARRIER, R. & MUÑOZ, N. 1997. Geología y Tectónica del Altiplano Chileno. El Altiplano. Ciencia y conciencia en los Andes. Universidad de Chile. Simposio Internacional de Estudios Altiplánicos N°2. Actas: 23-31. Arica.
- CHIANG, O. 1992. Evaluación Geológica Sulfuros Ex – Mina Vieja de Potrerillos.
- CHONG, G. & HILLEBRANDT, A. von. 1985. El Triásico preandino de Chile entre los 23°30' y 26°00' de Lat. Sur. Congreso Geológico Chileno N° 4. Actas 1: 162-210. Antofagasta.
- CHONG, G.; DEMERGASSO, C.; URRUTIA, J. & VARGAS, A. 2020. El dominio salino del norte de Chile y sus yacimientos de minerales industriales. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*. Vol. 72 (3): 59 pp.
- CODELCO, 2024. Memoria Anual 2024. 254 pp. Santiago.
- COMISIÓN MINERA DE CHILE. 2023. Guía Metodológica para la Presentación del Informe de Vida Útil de una Faena Minera. Código para la Información Pública de Prospectos de Exploración, Recursos y Reservas Mineras. Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras: 26 pp.

- CORNEJO, P. & MPODOZIS, C. 1996. Geología de la Región de Sierra Exploradora (Cordillera de Domeyko 25°-26°S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO. Informe Registrado, IR-96-09: 330 pp. 9 mapas escala 1:50.000. Santiago.
- CORNEJO, P.; MPODOZIS, C. & MATTHEWS, S. 1999. Geología y Evolución Magmática del Distrito Indio Muerto y Yacimiento El Salvador. Servicio Nacional de Geología y Minería. Informe Registrado: 99 pp. 1 mapa escala 1:25.000. Santiago.
- CORNEJO, P.; RIQUELME, R. & MPODOZIS, C. 1998. Mapa Geológico de la Hoja Salvador, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RAMÍREZ, C. & TOMLINSON, A. 1993. Estudio Geológico de la región de Potrerillos y El Salvador (26°-27° Lat. S). Servicio Nacional de Geología y Minería-CODELCO, Informe Registrado IR-93-01: 258 pp. Santiago.
- CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RIVERA, O. & MATTHEWS, S. 2009. Carta Exploradora, Región de Antofagasta y Atacama. Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica. N°119: 104 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- CORNEJO, P.; MATTHEWS, S.; MPODOZIS, C.; RIVERA, O. & RIQUELME, R. 2013. Carta El Salvador, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica. N°158. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- CORNEJO, P.; TOMLINSON, A.; MPODOZIS, C. & TOSDAL, R. 1997. Evolución magmático-estructural y geocronología K-Ar y U-Pb del distrito Indio Muerto y yacimiento El Salvador (III región, Chile). Congreso Geológico Chileno N° 8. Actas. Vol. 2: 911-915. Antofagasta.
- CORNEJO, P.; TOSDAL, R.; MPODOZIS, C.; TOMLINSON, A.; RIVERA, O. & FANNING, M. 1997. El Salvador, Chile Porphyry Copper Deposit Revisited: Geologic and Geochronologic Framework. *International Geology Review*. Vol. 39: 22-54. Londres.
- CORTÉS, J. 2012. Carta Sierra Mariposa, Región de Antofagasta. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. Serie Geología Básica N°144. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- DATABRICKS. 2024. What is a data lakehouse?. <https://www.databricks.com/discover/data-lakehouse/what-is-a-data-lakehouse>
- DATAMINE. Sin fecha. The evolution of the geologist. <https://www.dataminesoftware.com/the-evolution-of-the-geologist/>
- DATASHED. Sin fecha. Geological data management. <https://www.datashed.com/>
- DÍAZ, C. 2013. Explotación subterránea del yacimiento Campamento Antiguo CODELCO Chile – División Salvador. Tesis para optar al grado de Magíster en Gestión y Dirección de

Empresas, versión Industria Minera. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Industrial (Inédito): 112 pp. Santiago.

DOMINY, S. C. 2021. Geological uncertainty is the elephant in the room for resource and reserve estimation. *Minerals*. 11: 1386. <https://www.mdpi.com/2075-163X/11/12/1386>

EMSA, 2017. Marco Estructural y Geofísico para la Exploración de Sistemas Pórfido Cu- (Mo-Au) del Distrito El Salvador y Potrerillos, Cordillera de Domeyko.

FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. 2006. FGDC digital cartographic standard for geologic map symbolization. [https://ngmdb.usgs.gov/fgdc\\_gds/geolsymstd.pdf](https://ngmdb.usgs.gov/fgdc_gds/geolsymstd.pdf)

FIELD, C. & GUSTAFSON, L. 1976. Sulfur Isotopes in the Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **71**: 1.533-1.548.

G2. s.f. Build vs. buy software: How to make the right choice. <https://www.g2.com/articles/build-vs-buy-software>

GARCÍA, F. 1967. Geología del Norte Grande de Chile. *In* Symposium sobre el Geosinclinal Andino. Sociedad Geológica de Chile. N° **3**: 138 pp. Santiago.

GEOESTIMA, 2016. Modelo de recursos minerales PSAI. Informe Inédito. División Salvador, CODELCO, Proyecto San Antonio Óxidos. 85-135.

GEOINNOVA, 2012. Revisión modelo geológico y estimación de recursos del proyecto San Antonio. Informe Inédito.

GEOSPARK. s.f. Geological data management software. <https://www.geospark.io/>

GHOSH, P. & BHATTACHARYYA, K. 2022. Investigating inter-relationships among kinematic vorticity, strain, and minimum translations from shear zones associated with internal thrusts of major fold-thrust belts. *Earth Science Reviews*. Vol. **231**: 104093.

GONZÁLEZ, P. 2013. Historia material de Potrerillos: minería, industria y vida cotidiana en un complejo minero-industrial (1916-1959). Informe de seminario de grado para optar al grado de Licenciado en Historia. Universidad de Chile, Facultad de Filosofía y Humanidades, Departamento de Ciencias Históricas (Inédito): 153 pp. Santiago.

GONZÁLEZ-FERRÁN, O. 1995. Volcanes de Chile. Ediciones Instituto Geográfico Militar: 640 pp. Santiago.

GUSTAFSON, L. & HUNT, J. 1975. The Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, Vol. **70**: 857-912.

GUSTAFSON, L. & QUIROGA, J. 1995. Patterns of Mineralization and Alteration below the Porphyry Copper Orebody at El Salvador, Chile. *Economic Geology*, Vol. **90**: 2-16. Santiago.

- GUSTAFSON, L.; ORQUERA, W.; MCWILLIAMS, M.; CASTRO, M.; OLIVARES, O.; ROJAS, G.; MALUENDA, K. & MÉNDEZ, M. 2001. Multiple Centers of Mineralization in the Indio Muerto District, El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **96**: 325-350.
- HARDING, J. 1920. El Desarrollo de la *Andes Copper Mining Company*, en Potrerillos “Chile”. *Boletín minero*. Sociedad Nacional de Minería. Serie III. N° 252: 218-220. Santiago.
- HARRINGTON, H. 1961. Geology of parts of Antofagasta and Atacama provinces of northern Chile. *American Association of Petroleum Geologists, Bulletin*. Vol. **45**. N° 2: 169-197.
- HARTLEY, A. & JOLLEY, E. 1995. Tectonic Implication of Late Cenozoic Sedimentation from the Coastal Cordillera of Northern Chile (22°-24° Lat. S). *Journal of the Geological Society*. Vol. **152**: 51-63. Londres.
- HEDENQUIST, J.; WATANABE, Y. & ARRIBAS, A. 2020. Hypogene Alunite from the El Salvador district, Chile, Indicates potencial for a blind Prophyry Copper Center. *Society of Economic Geologists: Economic Geology*. Vol. **115** (2): 231-239. Texas.
- HERRERA, S.; BOBADILLA, P. & PINTO, L. 2015. Sedimentación y deformación durante el Mioceno Superior en la Cordillera Occidental a los 19° 15’S (norte de Chile). Congreso Geológico Chileno N°14. Vol. **1**: 759-762. La Serena.
- HERSCHEL, M.; DIESTELKÄMPER, R. & BEN LAHMAR, H. 2017. A survey on provenance: What for? What form? What from?. *The VLDB Journal*. Vol. **26**: 881-906.
- HONGN, F.; MONTERO-LÓPEZ, C.; GUZMÁN, S. & ARAMAYO, A. 2018. La Puna Argentina: naturaleza y Cultura. Geología. *Serie Conservación de la Naturaleza*. Vol. **24**: 17 pp.
- IBM. s.f. What is data provenance?. <https://www.ibm.com/docs/en/watsonx-data/1.1.x?topic=governance-data-provenance>
- INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS. s.f. Mine closure. <https://www.icmm.com/en-gb/environmental-stewardship/mine-closure>
- ISACKS, B. 1988. Uplift of the central Andean plateau and bending of the Bolivian orocline. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*. Vol. **93** (B4): 3.211-3.231.
- JACOBS, M. 2018. NI 43-101: A guide for the non-expert. CIM Magazine. <https://magazine.cim.org/en/voices/ni-43-101-a-guide-for-the-non-expert-en/>
- JOINT ORE RESERVES COMMITTEE. 2012. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code). [https://www.jorc.org/docs/JORC\\_code\\_2012.pdf](https://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf)
- KEHEW, A. E. 2006. Geologic logging. In *Geology for engineers and environmental scientists*. Pearson Prentice Hall. 586-591.

- LEE, G. 2008. Genesis of the El Salvador copper deposit, Chile and Distribution of epithermal alteration at Lassen Peak, California. PhD Thesis, Oregon State University: 321 pp. Oregon.
- LEE, G.; DILLES, J.; TOSDAL, R.; WOODEN, J. & MAZDAB, F. 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*. Vol. **112** (2): 245-273.
- MARSH, T.; EINAUDI, M. & 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): 784-806.
- MARÍN, S. 1920. La industria del cobre y el mineral de Potrerillos. *Boletín Minero*. Sociedad Nacional de Minería Año III, N° 249: 11-36. Santiago.
- MARINOVIC, N.; SMOJE, I.; HERVÉ, M. & MPODOZIS, C. 1995. Hoja Aguas Blancas. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. N° 70: 150 pp. 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- MARQUARDT, C.; LAVENU, A.; ORTLIEB, L.; GODOY, E. & COMTE, D. 2004. Coastal Neotectonics in Southern Central Andes: Uplift and Deformation of Marine Terraces in Northern Chile (27°S). *Tectonophysics*. Vol. **394**: 193-219.
- MARTICONERA, L. & TAPIA, I. 1981. Geología, facies y bioestratigrafía del área de la Mina Potrerillos. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito): 299 pp. Santiago.
- MARSH, T.; EINAUDI, M. & 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): 784-806.
- MATTHEWS, S.; CORNEJO, P.; MPODOZIS, C. & TOMLINSON, A. 2000. El Salvador Porphyry Copper System, Chile: A Magmatic response to the Middle Eocene Incaic Deformation Phase. GSA Cordilleran Annual Meeting. Vancouver.
- MERCADO, M. 1978. Mapas Geológicos preliminares de Chile. Avance Geológico de las Hojas de Chañaral y Potrerillos, región de Atacama. Instituto de Investigaciones Geológicas. N°2: 28 pp. 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- MERCADO, M. 1982. Hoja Laguna del Negro Francisco, Región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, No. 56: 73 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- MICON INTERNATIONAL. 2023. A tale of two mining codes: JORC vs NI 43-101. <https://www.micon-international.com/a-tale-of-two-mining-codes-jorc-vs-ni-43-101/>

- MICROSOFT. s.f. What is SQL Server? <https://learn.microsoft.com/en-us/sql/sql-server/sql-server-technical-documentation>
- MORTIMER, C. & SARIC, N. 1975. Cenozoic Studies in Northernmost Chile. *Geology Rundsch.* Vol. **64** (2): 395-420. Calama.
- MOTE, T.; BECKER, T.; RENNE, P. & BRIMHALL, G. 2001a. Chronology of Exotic Mineralization at El Salvador, Chile, by  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Dating of Copper Wad and Supergene Alunite. *Economy Geology*. Vol. **96**: 351-366.
- MOTE, T.; BRIMHALL, G.; TIDY-FINCH, E.; MÜLLER, G. & CARRASCO, P. 2001b. Application of Mass-Balance Modeling of Sources, Pathways, and Sinks of Supergene Enrichment to Exploration and Discovery of the Quebrada Turquesa Exotic Copper Orebody, El Salvador District, Chile. *Economy Geology*. Vol. **96**: 367-386.
- MPODOZIS C. & CORNEJO P. 2012. Cenozoic Tectonics and Porphyry Copper Systems of the Chilean Andes. In: *Geology and genesis of major copper deposits and districts of the world: (a tribute to Richard H. Sillitoe)*. *Special Publication*. Vol. **16**: 329-360.
- MPODOZIS, C.; TOMLINSON, A. & CORNEJO, P. 1994. Acerca del Control Estructural de Intrusivos Eocenos y Pórfidos Cupríferos en la región de Potrerillos-El Salvador. Congreso Geológico Chileno N°7. Actas **2**: 1.596-1.600. Concepción.
- MÜLLER, G., & PERELLÓ, L. 1982. Geología regional y bioestratigrafía del Jurásico marino al occidente del Salar de Pedernales (26°15' – 26°24'S, 69°15' - 69°30'W). Región de Atacama, Chile. Tesis para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología y Geofísica (Inédito): 316 pp. Santiago.
- MÜNCHMEYER, C. 1996. Chapter 4: Exotic deposits-products of lateral migration of supergene solutions from porphyry copper deposits. In *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny*. (editores: Camus, F.; Sillitoe, R. & Petersen, R). *Society Economy Geologists. Special publication*. N°5: 43-58. Santiago.
- NARANJO, J. 1978. Zona interior de la cordillera de la Costa entre los 26°00' y 26°20'. Región de Atacama. Carta Geológica de Chile N°34. Instituto de Investigaciones Geológicas. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- NARANJO, J. & PASKOFF, R. 1980. Evolución Geomorfológica del Desierto de Atacama entre los 26° y 33° latitud sur: Revisión cronológica. *Revista Geológica de Chile*. N°10: 85-89. Santiago.
- NARANJO, J. & PUIG, A. 1984. Hojas Taltal y Chañaral, Regiones de Antofagasta y Calama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Carta Geológica de Chile. N°92-6. 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.

- NIEMEYER, H. & MUNIZAGA, R. 2008. Structural control of the emplacement of the Potrerillos porphyry copper, central Andes of Chile. *Journal of South American Earth Sciences*. Vol. **26** (3): 261-270.
- NOVOA, J.; TRACOL, Y. & LÓPEZ, D. 2008. Capítulo 2. Paisajes eco-geográficos de la región de Atacama. Libro rojo de la Flora Nativa y de los Sitios Prioritarios para su Conservación: región de Atacama (Squeo, F.; Arancio, G. & Gutiérrez, J. editores). *Ediciones Universidad de La Serena*. Vol. **2**: 13-24. La Serena.
- OLSON, S. 1984. Geology of the Potrerillos District, Atacama, Chile. *PhD Thesis. Stanford University (Unpublished)*: 204 pp. California.
- OLSON, S. 1989. The Stratigraphic and Structural setting of the Potrerillos Porphyry Copper District, Northern Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **16** (1): 3-29. Santiago.
- ORACLE. s.f. What is data provenance?. <https://www.oracle.com/au/database/what-is-data-provenance/>
- OREAS. s.f. What are CRMs?. <https://www.ore.com.au/what-are-crms>
- ORELLANA, H. 2010. Aspectos Geodinámicos del Desierto Costero de Atacama, sector Alto Patache (oasis de Niebla) y Bajo Patache. Tesis para optar al Título de Geógrafo, Universidad de Chile, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Escuela de Geografía (Inédito): 93 pp. Santiago.
- OYARZÚN, M. & CUADRA, P. 2003. Caracterización Mineralógica de la Mena Oxidada de Cobre, Proyecto San Antonio, III región, Chile. Congreso Geológico Chileno N°10: 10 pp. Concepción.
- PARSONS, A. 1938. La Andes Copper Mining Company. *Boletín Minero*. Sociedad Nacional de Minería. Año LIV, N° 453: 34-40. Santiago.
- PASKOFF, R. 1978-1979. Sobre la Evolución Geomorfológica del Gran Acantilado Costero del Norte Grande de Chile. *Revista de Investigación Geográfica*, Universidad Católica de Chile. Vol. **6**: 7-22.
- PÉREZ, E. 1978. Bioestratigrafía del Jurásico de quebrada Asientos, norte de Potrerillos. Memoria para optar al título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (inédito): 188 pp. Santiago.
- PÉREZ, E. 1980. La fauna fósil de Quebrada Don Roe, este de Altamira. Informe Paleontológico preliminar. Inst. Invest. Geol (inédito): 4 pp.
- PÉREZ, E. 1982. Bioestratigrafía del Jurásico de quebrada Asientos, norte de Potrerillos, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería. Boletín N° 37: 149 pp. Santiago.

- PÉREZ, E. & REYES, R. 1983. *Paranditrigonia*, subgénero nuevo de *Anditrigonia* Levy (Mollusca; Bivalvia). *Revista Geológica de Chile*, N° 19-20:57-79. Santiago.
- PÉREZ, E. & REYES, R. 1986. Presencia de *Buchotrigonia* (*Syrotrigonia*) Cox, 1952 (Bivalvia, Trigoniidae) en Sudamérica y descripción de dos especies nuevas. *Revista Geológica de Chile*, N° 28-29: 77-93. Santiago.
- 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 7.069.100 n Proyecto San Antonio-Potrerrillos. Informe Inédito, CODELCO, Chile.
- PROCHASKA, W., & PESA. s.f. Mineral law and policies in Chile. University of Leoben.
- REID, D. 2002. Geological databases. AIG Journal. Paper 2002-03. <https://www.aig.org.au/wp-content/uploads/2016/09/AIG-Journal-Paper-2002-03-Reid.pdf>
- REID, D. & VEARNCOMBE, J. 2003. Lithcode and other data-entry standards. AIG Journal. Paper 2003-01. <https://www.aig.org.au/wp-content/uploads/2016/09/AIG-Journal-Paper-2003-01-Reid-Vearncombe.pdf>
- REYES, R. & PÉREZ, E. 1985. *Myophorella* (*M.*) *hillebrandti* sp. nov. (Bivalvia; Trigoniidae) del Neocomiano, norte de Chile. *Revista Geológica de Chile*, N° 24: 93-101. Santiago.
- RIVERA, A. 2011. Evaluación Económica del Proyecto Minero San Antonio Óxidos. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial. Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Industrial (Inédito): 154 pp.
- RIVERA, O. 2017. Marco Geodinámico para los Pórfidos Cupríferos Mio-Pliocenos de Chile Central: Rol de Estructuras Translitosféricas y Anomalías Gravimétricas en la Metalogénesis Andina. Memoria para optar al grado de Magister en Geología Económica, Mención Exploración Minera. Universidad Católica del Norte, Departamento de Ciencias geológicas (Inédito): 214 pp. Antofagasta.
- RIVERA, S.; VILA, T. & OSORIO, J. 2004. Geologic Characteristics and Exploration Significance of Gold-rich Porphyry Copper Deposits in the El Salvador region, Northern Chile. *Society of Economic Geologists. Special publication*. Vol. 11: 97-111. Santiago.
- RODRÍGUEZ, J. 2012. Informe Geometalurgia. CODELCO, División Salvador, Proyecto San Antonio Óxidos (inédito): 8-50.
- 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.
- SEEQUENT. s.f. Central: Data room. <https://www.seequent.com/products-solutions/seequent-central/data-room/>

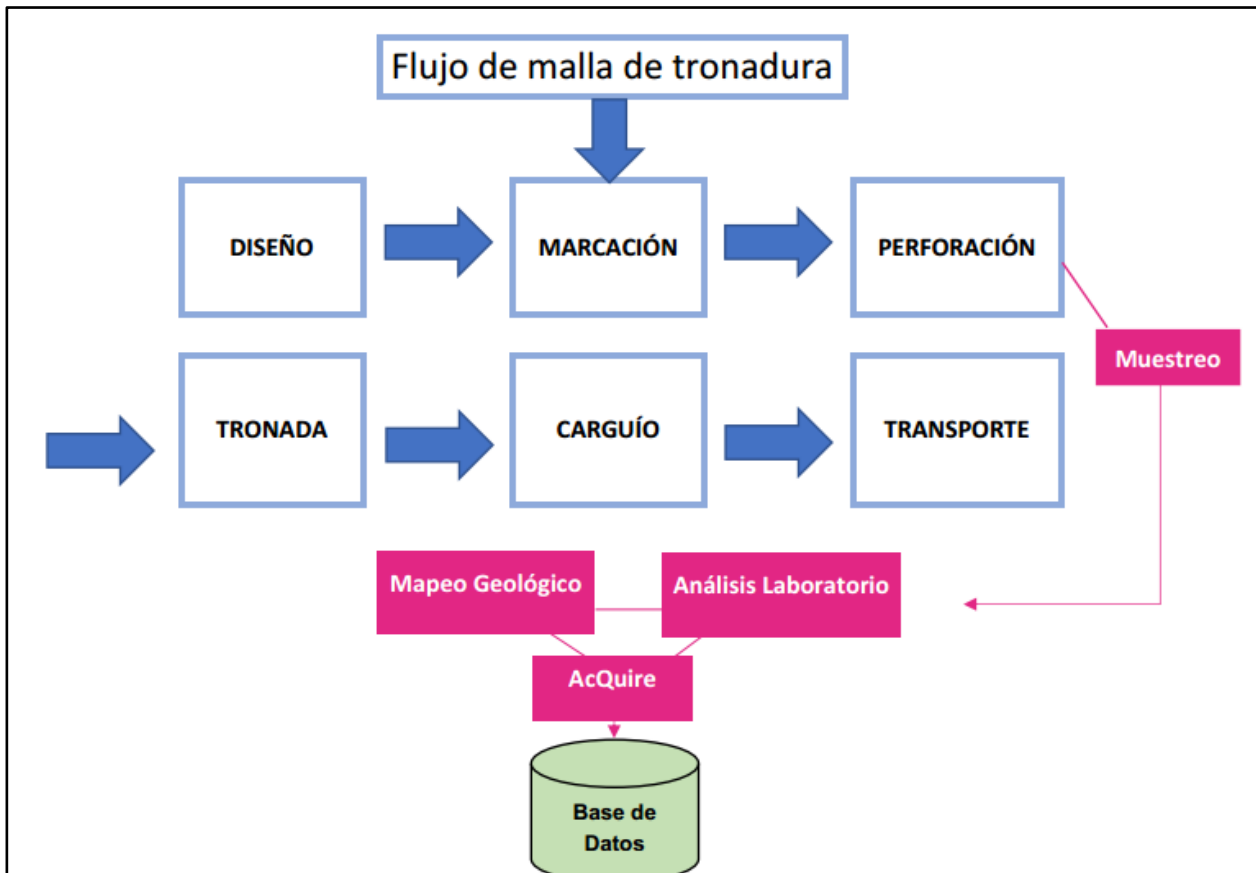
- SEEQUENT. s.f. Seequent Central. <https://www.seequent.com/products-solutions/seequent-central/>
- SEEQUENT. s.f. What is geological logging?. <https://www.seequent.com/resources-and-learning/geological-logging/>
- SEPÚLVEDA, P. & NARANJO, J. 1982. Hoja Carrera Pinto (Región de Atacama). Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile. N° 53: 61 pp. 1 mapa escala 1:250.000. Santiago.
- SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINERÍA. s.f. Geología. <https://www.sernageomin.cl/geologia/>
- SHEPPARD, S. & GUSTAFSON, L. 1976. Oxygen and Hydrogen Isotopes in the Porphyry Copper Deposit at El Salvador, Chile. *Economic Geology*. Vol. **71**: 1.549-1.559.
- SKARMETA, J. 2005. Application of conceptual targeting approaches in porphyry copper exploration: Examples from the Cordillera de Domeyko, northern Chile. *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*: 1493-1496.
- SILLITOE, R. 2005. Supergene Oxidized and Enriched Porphyry Copper and Related Deposits. *Society of Economic Geologists, Economic Geology*. Vol. **100**: 723-768.
- SILLITOE, R. 2010. Porphyry Copper Systems. *Society of Economic Geologists, Economic Geology*. Vol. **105**: 3-41.
- SILVA, S. d. & FRANCIS, P. 1991. Volcanoes of the central Andes. *Springer Verlag*: 216 pp.
- SMEE, B. 2018. Data verification is a QP responsibility. CIM Magazine. <https://magazine.cim.org/en/voices/data-verification-is-a-qp-responsibility-en/>
- SNOWDEN OPTIRO. 2023. Geologists are not data managers. <https://snowdenoptiro.com/perspectives/geologists-are-not-data-managers/>
- SRK CONSULTING. s.f. Data management and QA/QC. <https://www.srk.com/en/services/resource-geology/data-management-and-qaqc>
- SRK CONSULTING. s.f. Mineral resource and reserve reporting. <https://www.srk.com/en/services/geology/mineral-resource-and-reserve-reporting>
- SWAYNE, W. & TRASK, F. 1960. Geology of El Salvador. *Mining Engineering*. Vol **12**, N° 4. 344-348.
- THE GEOLOGICAL SOCIETY. s.f. Logging core. [https://www.geolsoc.org.uk/ks3/gsl/education/resources/rock\\_cycle/page3562.html](https://www.geolsoc.org.uk/ks3/gsl/education/resources/rock_cycle/page3562.html)
- TOLORZA, V.; MARQUARDT, C. & VARGAS. G. 2009. Sobre la edad del Gran Escarpe Costero. Congreso Geológico Chileno N°12: 4 pp. Santiago.

- TOMLINSON, A. 1994. Relaciones entre el Pórfido Cuprífero y la falla inversa de la Mina de Potrerillos: un caso de Intrusión Sintectónica. Congreso Geológico Chileno N°7. Actas 2: 1.629-1633. Concepción.
- TOMLINSON, A.; CORNEJO, P. & MPODOZIS, C. 1999. Hoja Potrerillos, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Mapas geológicos N°14. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- TOMLINSON, A.; CORNEJO, P. & MPODOZIS, C. 2003. Geología de la Hoja Potrerillos, región de Atacama. Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile). Publicación geológica digital N°2: 55 pp. 1 mapa escala 1:100.000. Santiago.
- TOSDAL, R.; CORNEJO, P.; MPODOZIS, C.; RIVERA, O. & TOMLINSON, A. 1997. Geological and Geochronologic framework El Salvador (Chile) Porphyry Copper Deposit Revisited. GAD-MAC Annual Meeting. Ottawa.
- ULLOA, R. & ORTIZ DE ZÁRATE, P. 1989. Geografía III región de Atacama. Colección Geografía de Chile, Ediciones Instituto Geográfico Militar: 206 pp. Santiago.
- URTUBIA, V. 2020. Implementación y Optimización de Actividades de Geología de Producción, Control de Calidad Mineral en el corto plazo, Mina San Antonio, División Salvador, CODELCO, región de Atacama, Chile. Memoria para optar al Título de Geóloga. Universidad de Concepción, Departamento Ciencias de la Tierra (Inédito): 144 pp. Concepción.
- VALENZUELA, M.; OLIVARES, D.; GUERRERO, M. & TAPIA, M. 2018. Geología y estilos de mineralización del Distrito Minero San Antonio, Vallenar, Región de Atacama. ¿Depósito tipo Skarn, IOCG o Pórfido?. Congreso Geológico Chileno N° 15. Actas: 461-464. Concepción.
- WATANABE, Y. & HEDENQUIST, J. 2001. Mineralogic and Stable Isotope Zonation at the Surface over the El Salvador Porphyry Copper Deposit, Chile. *Economic Geology*. Vol. 96: 1.775-1.797.
- YUAN, X.; SOBOLEV, S. & KIND, R. 2002. Moho topography in the central Andes and its geodynamic implications. *Earth and Planetary Science Letters*. Vol. 199 (3): 389-402.
- ZAPPETTINI, E.; MIRANDA-ANGLES, V.; RODRÍGUEZ, C.; PALACIOS, O.; COCKING, R.; GODEAS, M.; URIBE-ZEBALLOS, H.; VIVALLO, W.; PAZ, M.; SEGGIANO, R.; HEUSCHMIDT, B.; GARDEWEG, M.; BOULANGGER, E.; KORZENIEWSKI, L.; MPODOZIS, C.; CARPIO, M. & RUBIOLO, D. 2001. Mapa Metalógeno de la Región Fronteriza entre Argentina, Bolivia, Chile y Perú (14°S-28 °S). Servicio Nacional de Geología y Minería, Publicación Geológica Multinacional, N° 2. 1 mapa escala 1:1.000.000. Santiago.

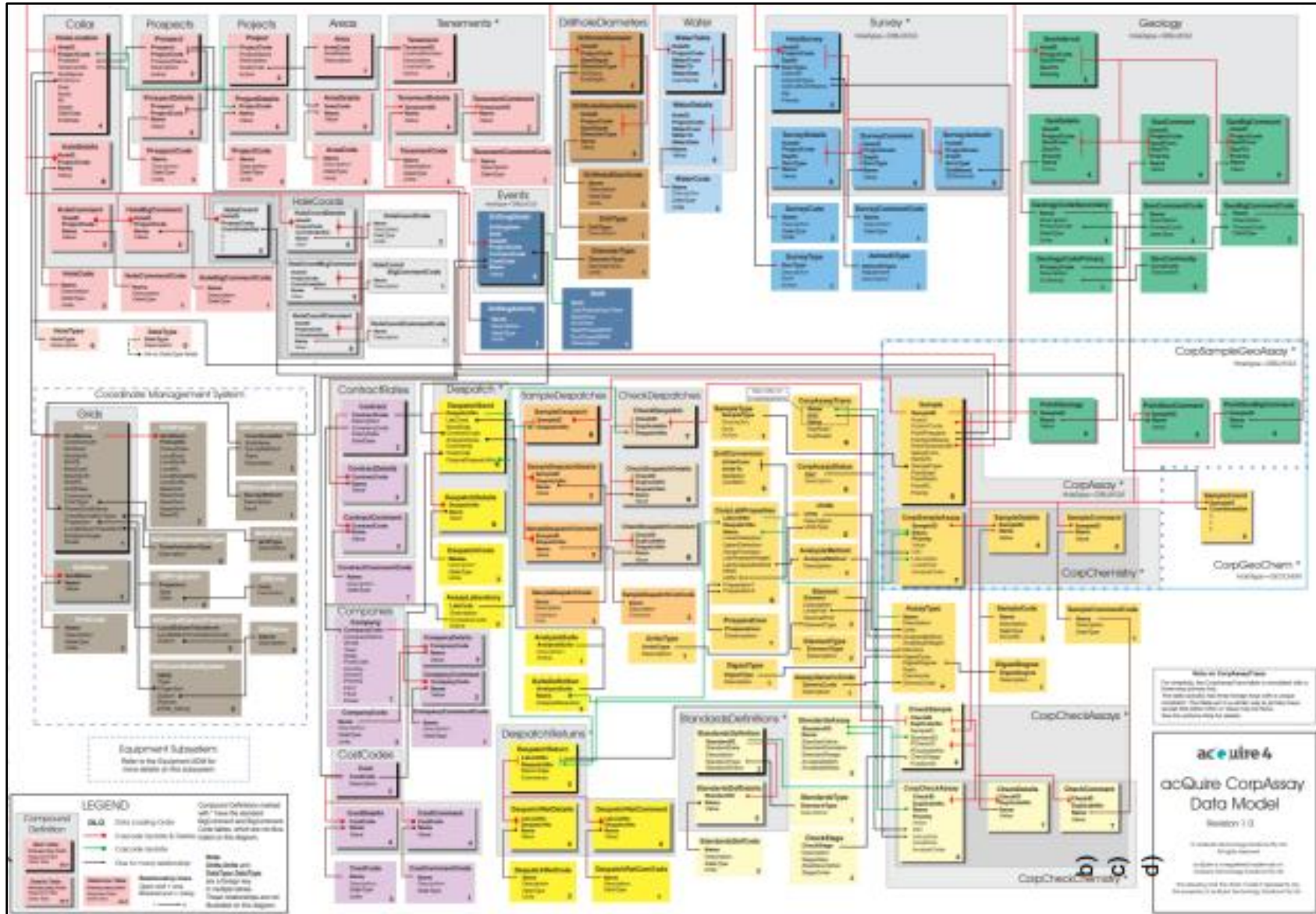
# **ANEXOS**

## Anexo 1. Flujogramas

### 1. Flujograma *Ore Control*.



## 2. Flujograma de Software AcQuire Data Model. V10.



## Anexo 2. Mapeos geológicos

### Tabla 1. Litología

LITOLOGÍA											
PROYECTOS	REGISTROS	LT_LITO1	LT_LITO1_pct	LT_LITO2	LT_LITO2_pct	LT_LITO3	LT_LITO3_pct	LT_LITO4	LT_LITO4_pct	LT_LITO_TOTAL	INTERV. SIN ERRORES
- BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA	339	172	0	0	0	0	0	0	0	0	172
- CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- ESC_BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- HIST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM	217	9	0	1	0	0	0	0	0	0	9
- QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QW	411	29	0	29	0	29	0	0	0	0	29
- REL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- RI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- SA	1530	1527	0	546	0	0	0	0	0	1530	1527
- ST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2497	1737	0	576	0	29	0	0	0	1530	1737

### Tabla 2. Alteración

ALTERACIÓN											
PROYECTOS	REGISTROS	ALT_ALTE1	ALT_ALTE1_Int	ALT_ALTE2	ALT_ALTE2_Int	ALT_ALTE3	ALT_ALTE3_Int	ALT_ALTE4	ALT_ALTE4_Int	ALT_ALTE_TOTAL	INTERV. SIN ERRORES
- BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA	340	340	339	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- ESC_BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- HIST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM	217	130	130	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QW	411	411									
- REL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- RI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- SA	1530	1526	1513	1301	1288	177	177	1	1	0	0
- ST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2498	2407	1982	1301	1288	177	177	1	1	0	0

Tabla 3. Mineralización de óxidos

MINERALIZACIÓN ÓXIDOS											
PROYECTOS	REGISTROS	MIN_MINEOX1	MIN_MINEOX1_pct	MIN_MINEOX2	MIN_MINEOX2_pct	MIN_MINEOX3_pct	MIN_MINEOX3_pct	MIN_MINEOX4	MIN_MINEOX4_pct	MIN_MINEOX5	INTERV. CON ERRORES
- BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA	48	48	19	9	9	5	0	0	0	0	0
- CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- ESC_BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- HIST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM	217	88	63	29	29	29	29	0	0	0	0
- QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QW	411	88	63	29	29	29	29	0	0	0	0
- REL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- RI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- SA	1530	1527	1527	1515	1515	1436	1436	790	792	210	2
- ST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2206	1751	1672	1582	1582	1499	1494	790	792	210	2

Tabla 4. Mineralización sulfuros

MINERALIZACIÓN SULFUROS											
PROYECTOS	REGISTROS	MIN_MINESF1	MIN_MINESF1_pct	MIN_MINESF2	MIN_MINESF2_pct	MIN_MINESF3_pct	MIN_MINESF3_pct	MIN_MINESF4	MIN_MINESF4_pct	MIN_MINESF5	INTERV. CON ERRORES
- BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA	340	286	278	217	213	26	15	3	3	3	0
- CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- ESC_BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- HIST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM	217	87	175	173	166	149	149	126	126	126	88
- QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QW	411	88	63	29	29	29	29	0	0	0	0
- REL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- RI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- SA	1530	1527	1527	1515	1515	1436	1436	790	792	210	0
- ST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2498	1988	2043	1934	1923	1640	1629	919	921	339	88

Tabla 5. Ganga

GANGA											
PROYECTOS	REGISTROS	GA_GANGA1	GA_GANGA1_pct	GA_GANGA2	GA_GANGA2_pct	GA_GANGA3_pct	GA_GANGA3_pct	GA_GANGA4	GA_GANGA4_pct	GA_GANGA5	INTERV. CON ERRORES
- BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA	334	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- DO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- ESC_BOT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- HIST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM	217	215	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- QW	411	411	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- REL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- RI	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- SA	1530	1527	1526	1526	1526	1528	1519	1326	1326	45	REVISAR CAMPO pct CON ERRORES
- ST	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TQ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	2492	2153	1526	1526	1526	1528	1519	1326	1326	45	0

Tabla 6. Intervalos de muestras con resultados analíticos EAA

PROJECTCODE	FE_EAA_pct	Mo_EAA_pct	As_EAA_ppm	Au_EAA_μt	CuSCIT_EAA_pct	CuSF_EAA_pct	CuSFe_EAA_pct	CuT_EAA_pct	Mo_EAA_ppm	Al_EAA_pct	Ca_EAA_pct	ConsAc_VOL_kk	ConsAc_VOL_kt	CuSC_EAA_pct	CuSfri_EAA_pct	Pb_EAA_ppm	Mg_pct	Mn_pct	S_pct	Zn_pct	X_Este	Y_Norte	Z_Cota
· BOT	0	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	0	0	0
· CA	0	4545	53	0	126254	11002	0	241406	203	0	0	0	0	199242	1526	0	0	0	0	0	494287	494287	494287
· CA_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
· CC	0	0	0	0	16	0	0	374	12	0	0	0	0	24	359	0	0	0	0	0	18869	18869	18869
· CON	0	0	0	0	1722	0	0	1722	1722	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	0	0
· DA	0	0	0	0	6	0	0	351	6	0	0	0	0	0	351	0	0	0	0	0	0	0	0
· DC	0	0	0	0	200	0	0	5306	0	3	0	0	0	968	4282	0	3	0	0	0	4775	4775	4775
· DO	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	8	14	0	0	0	0	0	17	17	17
· ESC_POT	0	0	0	0	410	0	0	410	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
· HIST	0	0	0	0	20	0	0	170	19	0	0	0	0	0	170	0	0	0	0	0	0	0	0
· QM	0	343	52	0	27663	7910	0	53206	0	1	2	0	0	33256	3082	0	2	2	0	0	90565	90565	90565
· QM_OLD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
· QW	0	0	0	0	126	0	0	1752	0	0	0	0	0	0	449	0	0	0	0	0	1576	1576	1576
· REL	0	0	0	0	50	0	0	136	50	0	0	0	0	0	86	0	0	0	0	0	0	0	0
· RI	0	0	10	0	15	0	0	15	5	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	91	91	91
· SA	0	0	12	0	58	14409	21	40396	42	0	0	52	165	16169	2592	0	0	0	0	0	47723	47723	47723
· ST	0	56	0	0	327	0	0	905	279	0	0	0	0	47	583	0	0	0	0	0	0	0	0
· TQ	0	0	0	0	0	653	0	2808	0	0	0	0	0	2606	46	0	0	0	0	0	2770	2770	2770
· TT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTALES</b>	<b>0</b>	<b>4944</b>	<b>127</b>	<b>0</b>	<b>156867</b>	<b>33974</b>	<b>21</b>	<b>349030</b>	<b>2748</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>52</b>	<b>165</b>	<b>252320</b>	<b>13718</b>	<b>0</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>660673</b>	<b>660673</b>	<b>660673</b>