



Comisión Calificadora de
Competencias en Recursos
y Reservas Mineras

TALLER EXPLORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RECURSOS MINERALES

APORTE DE VALOR DE LA CALIDAD Y TRAZABILIDAD DEL DATO EN LA EXPLORACIÓN

EM Exploraciones
Mineras

Patricio Cuadra Cárdenas
Martes 7 de mayo 2019

Cadena de Valor del Negocio Minero



Caracterización Yacimiento

- Modelo Geológico
- Morfología y límites
- Sobrecarga
- Tipo Mineral
- Caracterización geocientífica
- Tonelajes y Leyes
- Modelo de Bloques

Valorización Negocio

- Método explotación
- Proceso metalúrgico
- Capacidad producción
- Vida útil
- Restricciones
- CAPEX / OPEX
- Indicadores económicos
- Abastecimiento
- Construcción

Planes Mineros

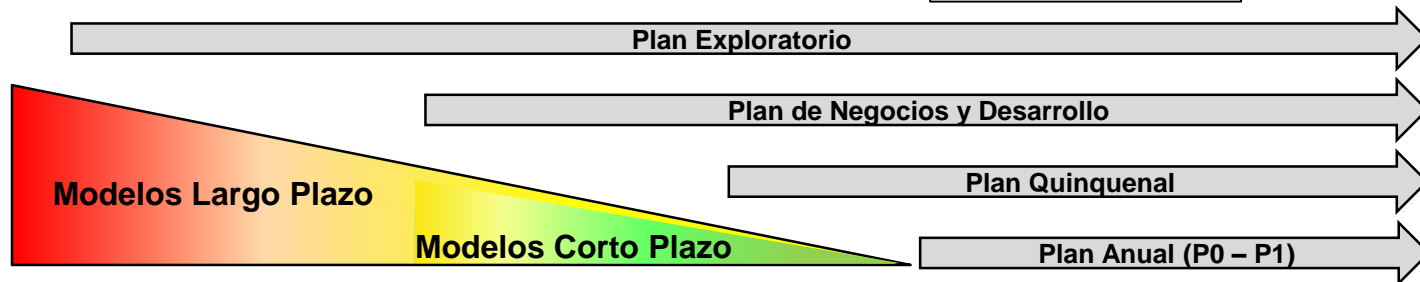
- Actualización Recursos
- Actualización Geotecnia
- Actualización Geometalurgia
- Diseño minero final
- Análisis capacidad plantas
- Planes Minero-Metalúrgicos
- Evaluación Económica
- Plan de Producción

Captura de Valor

- Extracción mineral / estéril
- Transporte
- Manejo Botaderos
- Chancado / Molienda
- Tratamiento mineral
- Relaves
- Mantenimiento
- Abastecimiento
- Gestión organizacional
- Costos de Producción

Materialización Valor Final

- Proyección mercados
- Plan de Ventas
- Cartera de productos
- Descuentos
- Precios de venta
- Costo final



Basada en Müller (2013), Freraut (2017) y Mansilla (2017)

Modelo Geológico : Referente fundamental del proceso de Exploración

El objetivo del proceso de exploración es **identificar y caracterizar nuevos recursos minerales**, en forma eficaz y eficiente en sus diferentes etapas, aportando **entregables geocientíficos de calidad, trazables y auditables** que sirvan de base para la realización exitosa de la planificación y operación del negocio minero.

El elemento clave de este proceso es el entendimiento y conceptualización de los procesos genéticos que dieron origen al cuerpo mineralizado, es decir el **MODELO GEOLÓGICO**.

Un buen modelo geológico constituye el principal aporte de valor al negocio minero, ya que permite proyectar la información disponible a partir de las muestras al volumen total del yacimiento con un adecuado nivel de certidumbre, optimizando de esta manera el uso de información fragmentaria.

Un modelo geocientífico es la representación espacio-temporal (4D) de una serie de unidades derivadas de la caracterización geológica in situ de un cuerpo mineralizado o del comportamiento de éste ante procesos de transformación física o química que forman parte de la cadena de valor del negocio minero.

Dichas unidades son definidas en función de parámetros observables, interpretadas en base a principios científicos fundamentales, las que, en conjunto y como un todo coherente, son explicadas a partir del entendimiento de la formación o génesis de dicho cuerpo.

La importancia de estos modelos radica en que permiten delimitar espacialmente y expresar en términos cuantitativos o cualitativos tanto concentraciones minerales como características físicas y químicas del macizo rocoso y su proyección en las operaciones de extracción y procesamiento de mineral.

Modificado en base a "Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico", Müller G. y Carrasco P., Codelco, 2006.

La inversión de capital en exploración resulta mínima al considerar su impacto en pérdidas o ganancias del negocio minero.

Algunos ejemplos...

Incremento del VAN que mostraron dos importantes proyectos de Codelco*, cuando se mejoró el modelo geológico, sin que hubiese habido un aumento de la información geológica:

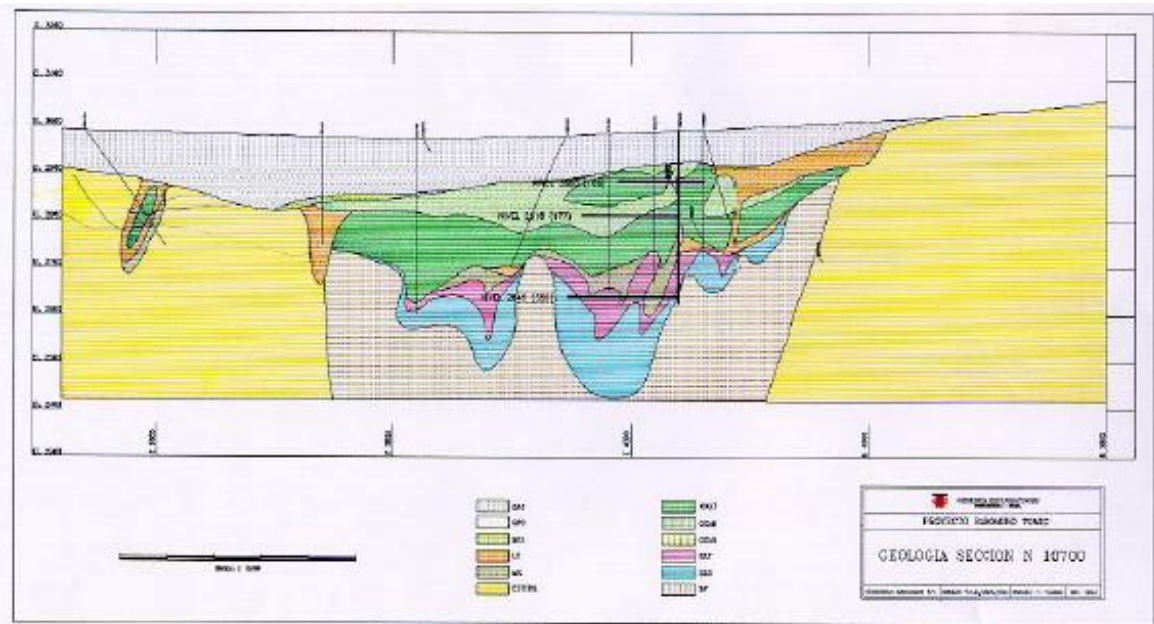
Radomiro Tomic	MUS\$ 200
Mina Ministro Hales	MUS\$ 900

* Tomado de "Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico", Müller G. y Carrasco P., Codelco, 2006.

Inadecuada definición de Unidades Geológicas

Los recursos de **Pampa Norte**, reportados en 1992 en base a las campañas de exploración ejecutadas a partir de 1952, indicaban un total de 807 Mt de óxidos con una ley media de 0,67% CuT, para una ley de corte de 0,4% Cu. Por otra parte, se reportaba una zona de lixiviado+óxido con 1.084 Mt con una ley media de 0,64% CuT.

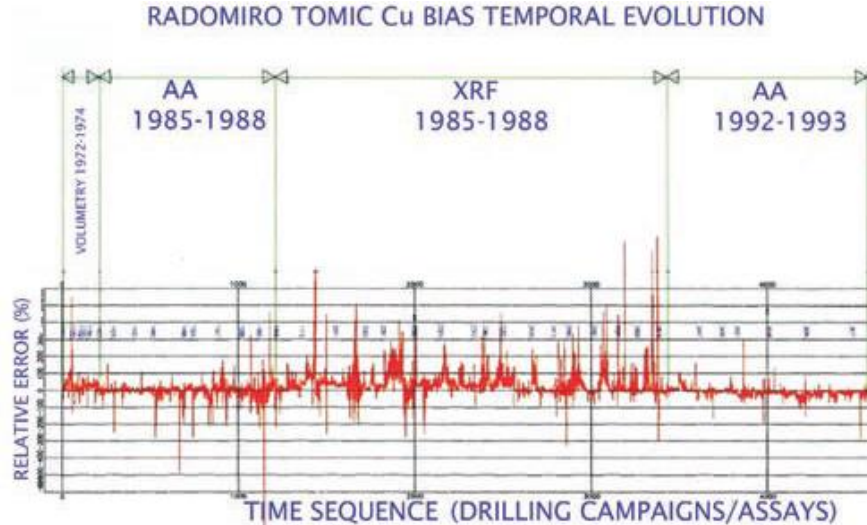
Una definición más estricta, realizada en la etapa de proyecto minero en 1994, permitió discriminar las zonas de óxidos de las zonas lixiviadas, complementando la de esta última, referida a su contenido de limonitas, con un límite superior de CuT < 0,2%.



UNIDAD	Mton	% CuT	Kton Cu Fino	Mton	% CuT	Kton Cu Fino
TOTAL	2.599	0,62	16.114	2.517	0,59	14.850
OXIDOS	807	0,67	5.407	973	0,61	5.935
OX-LIX	1.084	0,64	6.938			
LIXIVIADO				940	0,10	940
LIXIVIALES	1.891	0,65	12.345	973	0,61	5.935

Con esta última información se respaldó la inversión para la construcción, que luego llevaría a la formación de la **División Radomiro Tomic** de Codelco Chile.

Exactitud y Precisión de Análisis Químicos



This figure gives us many lessons:

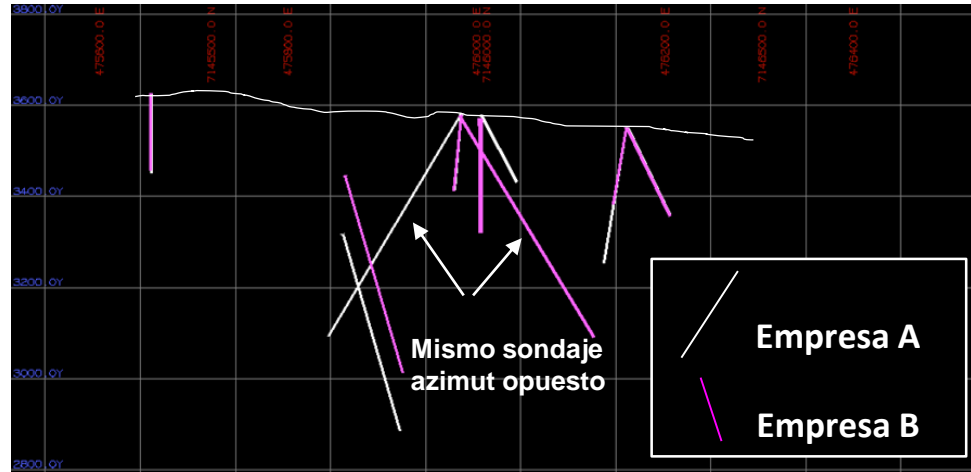
- Precision and accuracy are very variable over time. As a consequence a systematic QA/QC program must always exist.
- Precision is a function of the technique. In this case AA was always more precise than volumetry.
- XRF is very imprecise and highly biased.
- Atomic absorption is always more precise than the other techniques. Late AA, although biased, is more precise than the early AA.

(Carrasco, P., 2008, Some Key Facts and Concepts in the Evolution of Sampling Assaying Practices at Codelco).

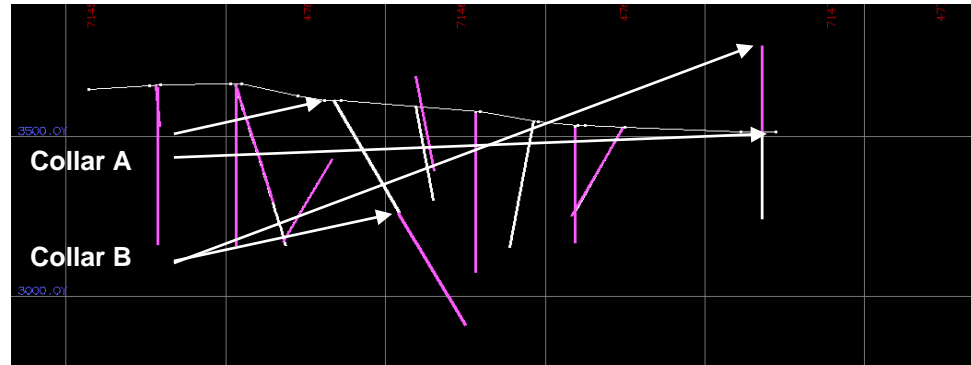
El reanálisis de 26.600 muestras históricas del proyecto Radomiro Tomic ratificó la existencia de un sesgo positivo de los análisis originales, siendo el mayor asociado a la aplicación de un método de análisis químico inapropiado para el tipo de mineral de este yacimiento.

- Este reanálisis sólo fue posible para el caso de CuT y no por CuS, debido a la posible degradación de las muestras (oxidación?).
- Sólo se encontró el 43 % de las muestras en estado aceptable de conservación, por lo que para el resto de los datos se aplicó una corrección estadística.
- Las muestras estaban dispersas en varios lugares, dado que no se dispuso de un almacenamiento normalizado.

Errores en Topografía y Trayectoria de Sondajes



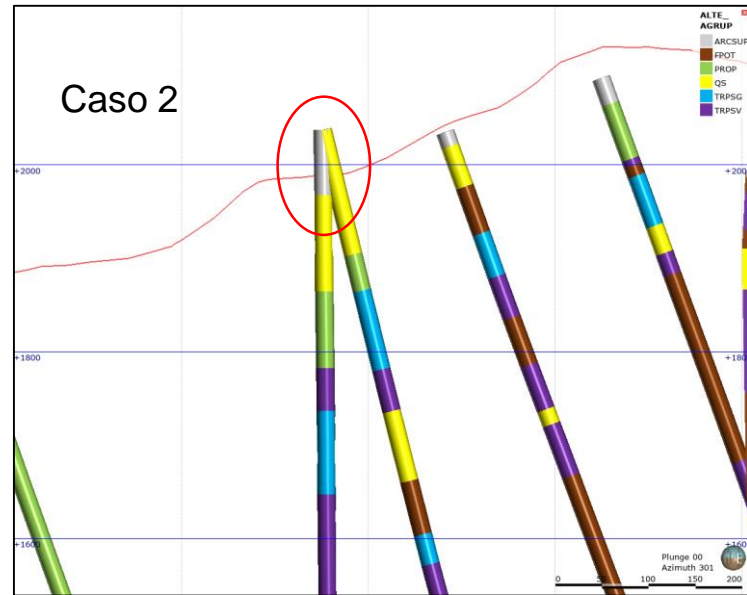
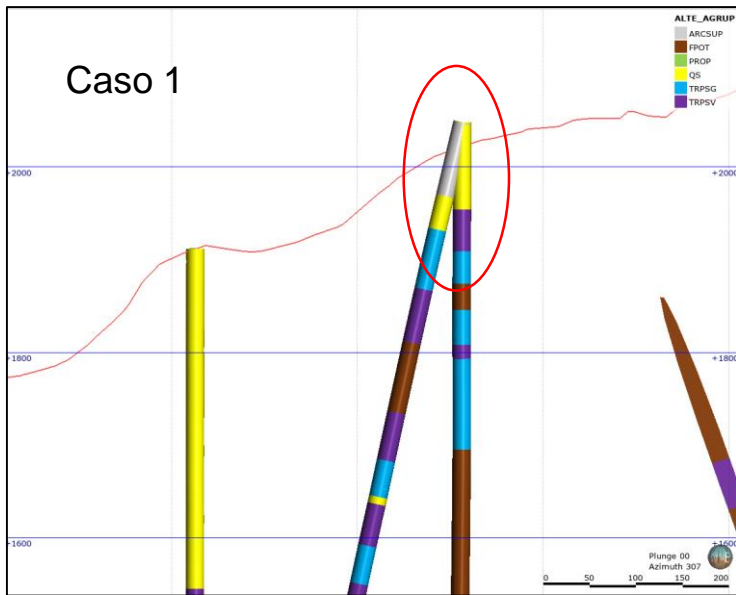
En un proyecto de exploración vigente, dos empresas registran datos distintos para los mismos sondajes en sus reportes de los años 1997 (Empresa A) y 2008 (Empresa B).



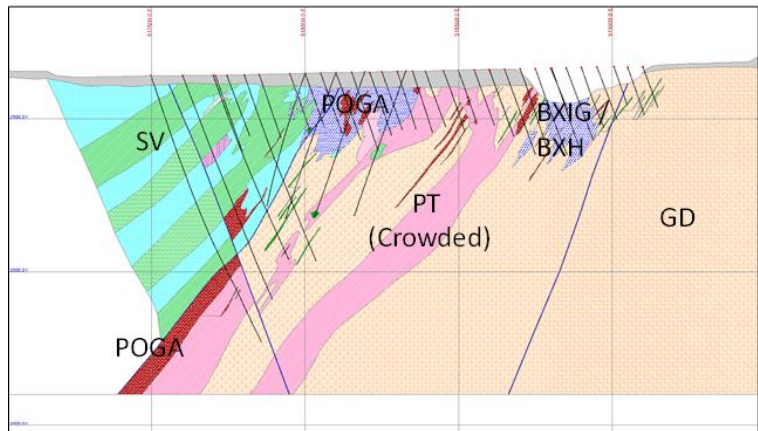
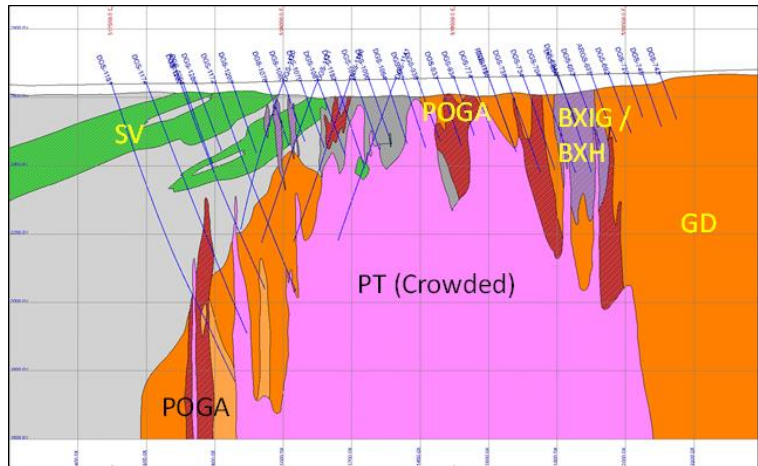
Diferencias en Mapeo Geológico

En la fase de revisión de bases de datos de un proyecto de exploración avanzada, se detectan diferencias en el registro de zonas de alteración, entre tramos contiguos de sondajes, lo que implica efectuar una revisión ex post de los testigos y recodificación de la base de datos.

También se observa una incongruencia entre la topografía de superficie y las coordenadas de collar.

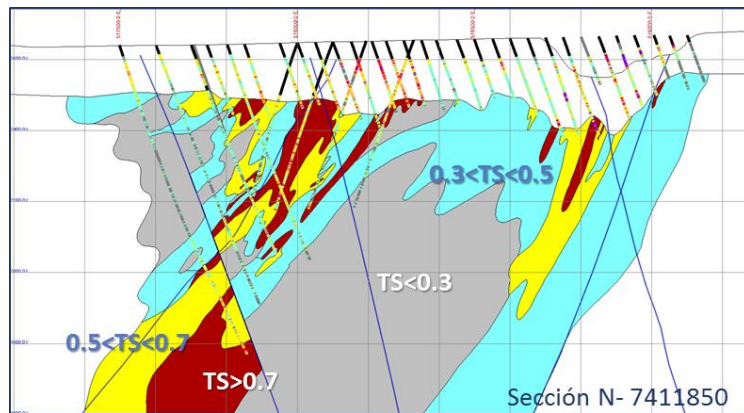


Sesgos de pensamiento / interpretación



El yacimiento Gaby muestra una interpretación geológica con un cuerpo de baja ley a estéril en su parte central, por lo que el reconocimiento geológico ha sido restringido en profundidad.

Una propuesta diferente abre una oportunidad de exploración en el lado Este, lo cual debe ser probado con sondajes angulados en esa dirección, dirigidos hacia la posible zona de alteración y mayor contenido de sulfuros en la roca de caja (GD).



Mala práctica en corte y muestreo de sondajes



En observación de la operación de corte y muestreo en proyecto de exploración avanzada en VI Región, se detecta una “compensación” del peso de muestra destinada al análisis químico, ya que el peso de mitad de testigo dispuesta en la bandeja era mayor que el de la bolsa, por sobre el rango permitido.

Casualmente, el trozo retirado de la bandeja y agregado a la bolsa presentaba la única mineralización de sulfuros del tramo muestreado.

Se realiza reinstrucción técnica del personal y se devuelve el trozo en cuestión a la bandeja, enfatizando que este tipo de correcciones no es aceptable.

En otro proyecto en ejecución en la III Región, también se efectuaba este tipo de “compensación”, dado que en la comparación de pesos no se descontaba el peso de la bandeja.



Gestión del dato en el proceso de Exploración

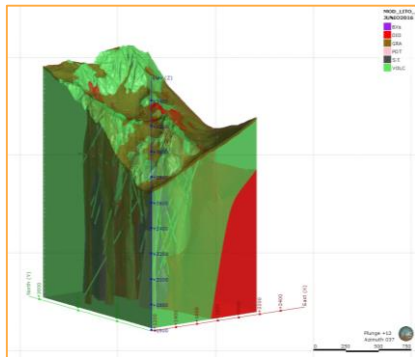
- La exploración es un proceso recurrente: las áreas son reconocidas en campañas discontinuas en el tiempo, por diferentes empresas y técnicas.
- Los objetivos y metodologías varían de acuerdo a diferentes impulsos: precio de los metales, innovaciones tecnológicas, avances en el conocimiento, etc.
- La oportunidad de capturar algunos datos relevantes es instantánea. Si no se toman a tiempo, no es posible reproducir el proceso para capturarlos.
- Los errores o faltas pueden ser corregidos más fácilmente en el momento en que se está realizando el trabajo de terreno o de laboratorio.
- Existe un costo adicional de rehacer o reconstruir resultados fuera del estándar: reanálisis, remapeos, topografía de collares, búsqueda de datos y muestras.
- La documentación de la metodología empleada y de los certificados originales permite comparar, homologar o desechar distintas fuentes de información. Los que no están debidamente documentados finalmente deben ser descartados, reemplazados o utilizados sólo en forma referencial.
- Las muestras sin identificación o almacenadas en forma inadecuada pierden su valor y sólo constituyen un pasivo para la empresa.
- El inadecuado resguardo de los datos e información puede implicar la pérdida o corrupción de éstos.
- La capitalización del conocimiento no debe depender de impulsos personales, sino que debe ser gestionada por la organización.

Gestión del dato en el proceso de Exploración

$$\text{DESEMPEÑO DEL DATO} = \frac{\text{CALIDAD + TRAZABILIDAD + AUDITABILIDAD}}{\text{RIESGOS + COSTOS + TIEMPOS}}$$

ORGANIZACIÓN

- Experticia
- Equipos Colaborativos
- Entendimiento de la Misión
- Foco en el Negocio Minero

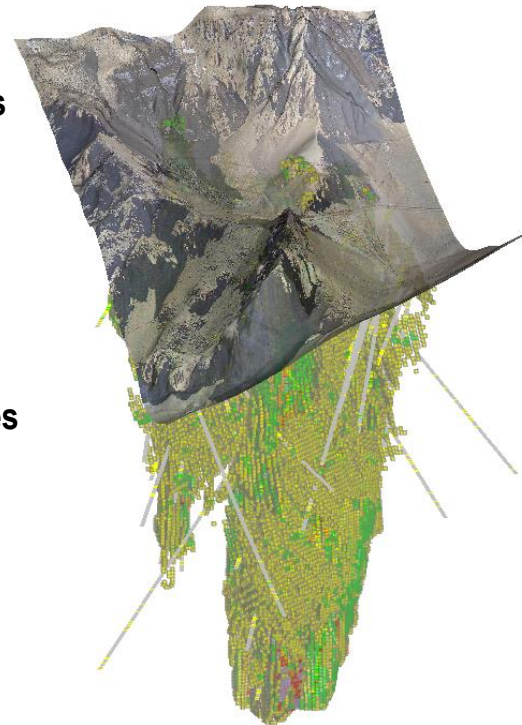


ESTÁNDARES

- Técnicos
- Seguridad
- Operacionales
- Sustentabilidad
- Costos
- Planificación

ENTREGABLES

- Prospecto/Blanco
- Potencial de Recursos
- Extensión y Límites
- Tipo de Roca
- Sobrecarga
- Tonelaje
- Ley de cobre
- Ley de Molibdeno
- Estructuras principales
- Alteración
- Minerales de cobre
- Fracturamiento
- Resistencia
- Dureza
- Recuperación
- Modelo de Bloques
- Calidad del Recurso/Reserva



CALIDAD: “Grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos”. Un objeto” es “cualquier cosa que pueda percibirse o concebirse”, como por ejemplo, un producto, un servicio, un proceso, un recurso, un sistema, una organización. Con respecto al **cumplimiento de los requisitos**, éstos son fijados por los clientes y **constituyen un estándar contra el cual se mide o contrasta la calidad**.

(Según la Norma ISO 9001-2015).

TRAZABILIDAD: Posibilidad de identificar el origen y las diferentes etapas del proceso de producción y reportabilidad de un entregable geocientífico, tal que permita la reproducción del proceso y de los resultados reportados.

(Según la RAE: Posibilidad de seguir un producto a lo largo de la cadena de suministros, desde su origen hasta su estado final como artículo de consumo).

AUDITABILIDAD: Disponibilidad de documentación y pruebas que permite realizar en forma oportuna y completa las auditorías de las actividades de captura, interpretación y modelamiento geocientífico, con el objetivo de evaluar el cumplimiento de los estándares y mejores prácticas a las que aquellas deben someterse.

Bases del Aseguramiento y Control de Calidad en Exploración

La exploración de un cuerpo mineralizado requiere definir, mediante muestreos representativos, su volumen, contenido y variabilidad de mineral y límites, priorizando las zonas de mayor interés para el negocio minero, para luego extender su alcance a zonas marginales, tanto lateralmente como en profundidad.

Los resultados de los diversos ensayos y análisis de laboratorio deben ser insesgados y con una precisión aceptable para realizar una estimación de potencial o una estimación de recursos y reservas, para lo cual es necesario controlar que no se produzcan errores en la obtención, manipulación, preparación mecánica y en la ejecución de los ensayos y análisis.

Elementos claves:

- **Conocimiento geológico del cuerpo mineralizado, tanto en su extensión como en la variabilidad de los parámetros de interés para el negocio minero.**
- **Conformación de equipo de trabajo multidisciplinario idóneo, comprometido con el objetivo final, bajo la supervisión y control del jefe de proyecto.**
- **Planificación adecuada de las operaciones de captura de datos y muestras, incluyendo la definición de los servicios propios y los externos.**
- **Ejecución de las actividades externas mediante servicios idóneos, siguiendo estándares técnicos, de seguridad y medioambientales.**
- **Instalaciones adecuadas para el manejo y tratamiento de las muestras.**
- **Personal responsable debidamente entrenado para operar en todas las etapas del proceso.**

Elementos claves:

- Densidad de muestreo, de acuerdo a la variabilidad geológica del depósito y de la etapa de exploración.
- Tipo de muestreo (superficial, sondajes aire reverso, sondajes diamantina).
- Obtención de muestras representativas (ubicación, espaciamiento, soporte, recuperación).
- Identificación exacta y rotulación de muestras.
- Embalaje y transporte adecuado, considerando la calidad mecánica de las muestras y las condiciones de la ruta.
- Documentación auditable de todas las operaciones que impactan en la caracterización geocientífica de las muestras.
- Control técnico de todas las operaciones, tomando acción en forma inmediata cuando se detecten desviaciones. Para lo cual se debe contar con procedimientos estándar comprometidos en las actividades.

Aseguramiento y Control de Calidad de Leyes

Elementos claves:

- Obtención de muestras que representen adecuadamente la variabilidad de las elementos de interés.
- Evitar la pérdida de masa de las muestras durante su obtención desde el macizo rocoso.
- Evitar cualquier contaminación entre muestras durante su manipulación.
- Realizar extracción de submuestras mediante métodos equiprobables.
- Realizar los procesos de reducción de masa y granulometría siguiendo protocolos establecidos en función de la heterogeneidad de las muestras.
- Introducir muestras de control (blancos grueso y fino, materiales de referencia y duplicados de preparación y análisis químicos) en los lotes enviados al laboratorio.
- Realizar el control de los resultados en línea, de manera de corregir en forma oportuna las desviaciones fuera de límites establecidos en procedimientos estándar acordados entre las partes.
- Dar conformidad a los datos correctamente obtenidos para su ingreso definitivo a las bases de datos respectivas.
- Documentar el proceso y los resultados mediante certificados e informes suscritos por el responsable del servicio o proceso.

Aseguramiento y Control de Calidad del Mapeo Geológico

El objetivo final del mapeo geológico es la construcción de un modelo geológico que reporte las características, distribución espacial y las relaciones temporales de los distintos eventos que controlan la mineralización de interés. Por ello, es fundamental el reconocimiento y caracterización de dichos eventos en forma sistemática a partir de la observación directa de las muestras, en la etapa de mapeo, apoyado con estudios de detalle en laboratorio.

El mapeo geológico debe ser realizado sobre bases científicas y sus observaciones registradas mediante una metodología estándar, de manera de capturar información de calidad, comparable y reproducible.

Elementos claves:

- **Identificación temprana de los principales controles geológicos por geólogos con experticia.**
- **Diseño de cartilla de mapeo y su instalación en plataforma digital, incluyendo controles de calidad.**
- **Conformación de equipo de trabajo idóneo, comprometido con el objetivo final, bajo la supervisión y control a cargo de geólogo(s) con experticia.**
- **Aplicación de sistemáticas objetivas (petrografía, relaciones de contacto, volumetría de minerales y asociaciones)**
- **Entendimiento cabal de los eventos mineralógicos y estructurales.**
- **Registro de características observables, no asignadas.**
- **Talleres iterados y participativos sobre principales características y controles.**
- **Disposición permanente a solucionar dudas y consultas frente a la muestra.**
- **Contraste de mapeo con secciones del modelo basado en sondajes anteriores.**
- **Revisión del despliegue completo del sondaje (strip log), para detectar variabilidad, omisiones, inconsistencias.**



El esquema de procesos de Exploraciones Mineras EMSA

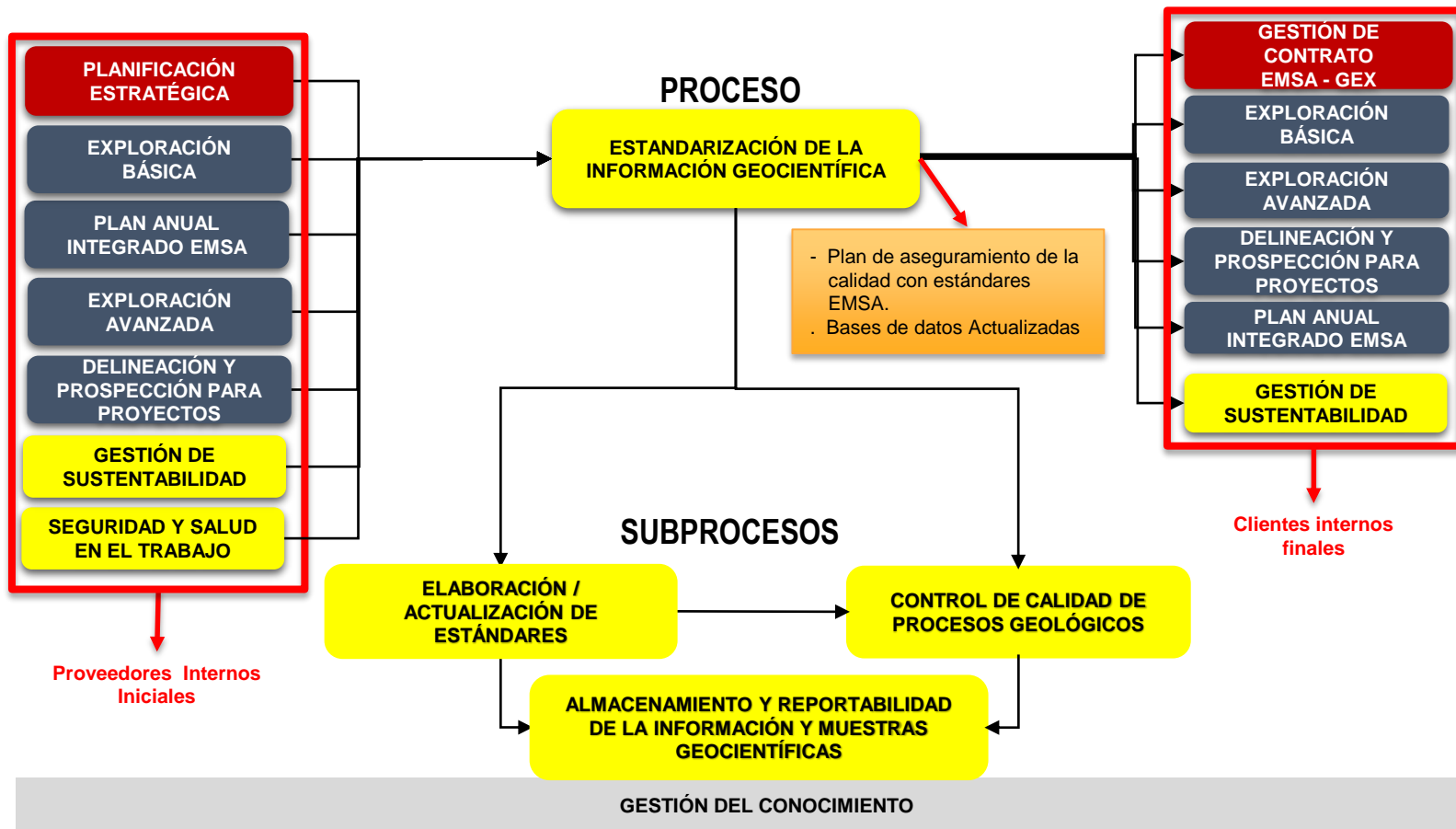


El proceso de exploración requiere de una organización orientada a la gestión del conocimiento.

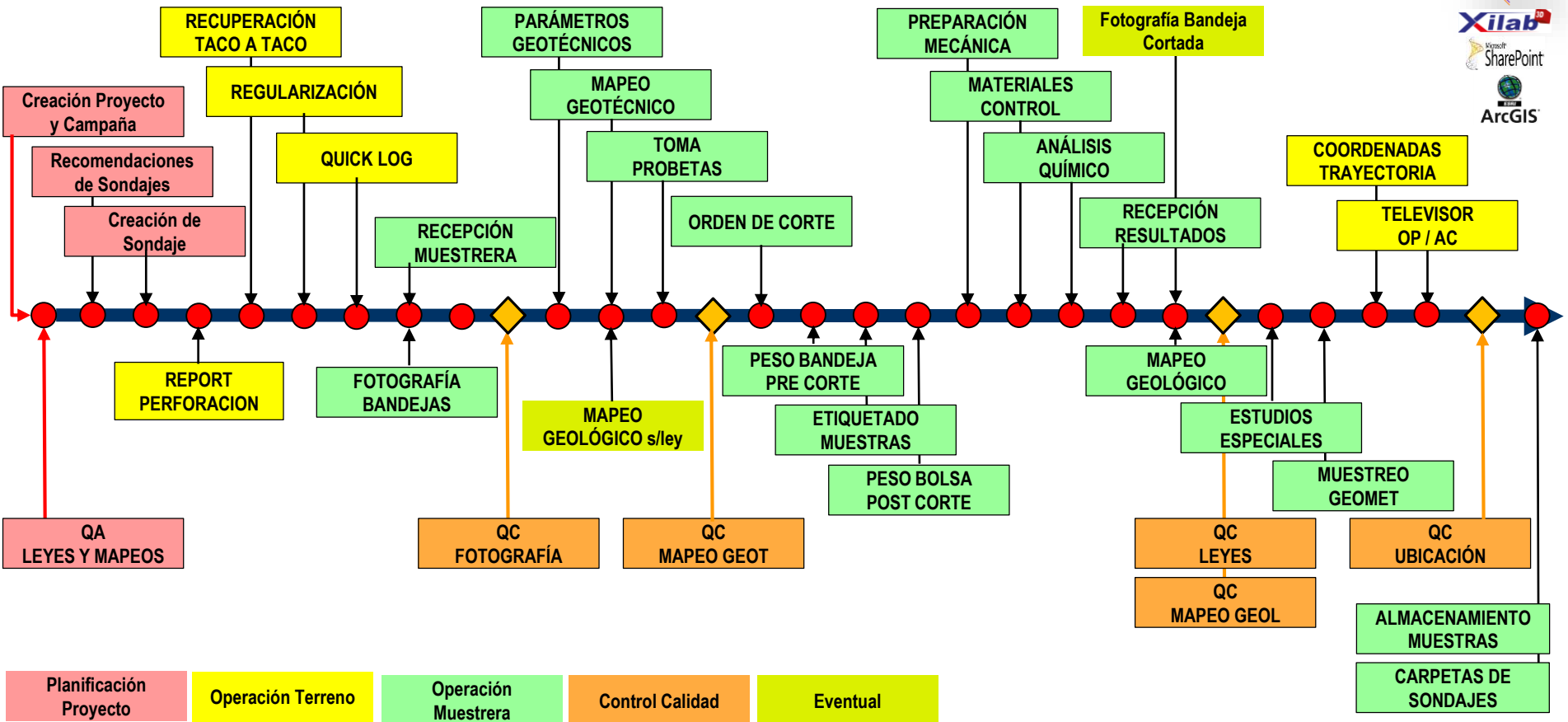
Trabajar mediante procesos permite:

- Alinear el desarrollo del negocio con la estrategia.
- Visualizar el proceso de exploración en forma integral.
- Entender cual es el aporte de valor que genera cada miembro de la organización.
- Trabajar en forma abierta, colaborativa y con sentido de anticipación.
- Facilitar el seguimiento y control de la gestión, mejorando el cumplimiento de la planificación anual y una distribución eficiente de los recursos
- ...y como idea global, jugar “de memoria”.

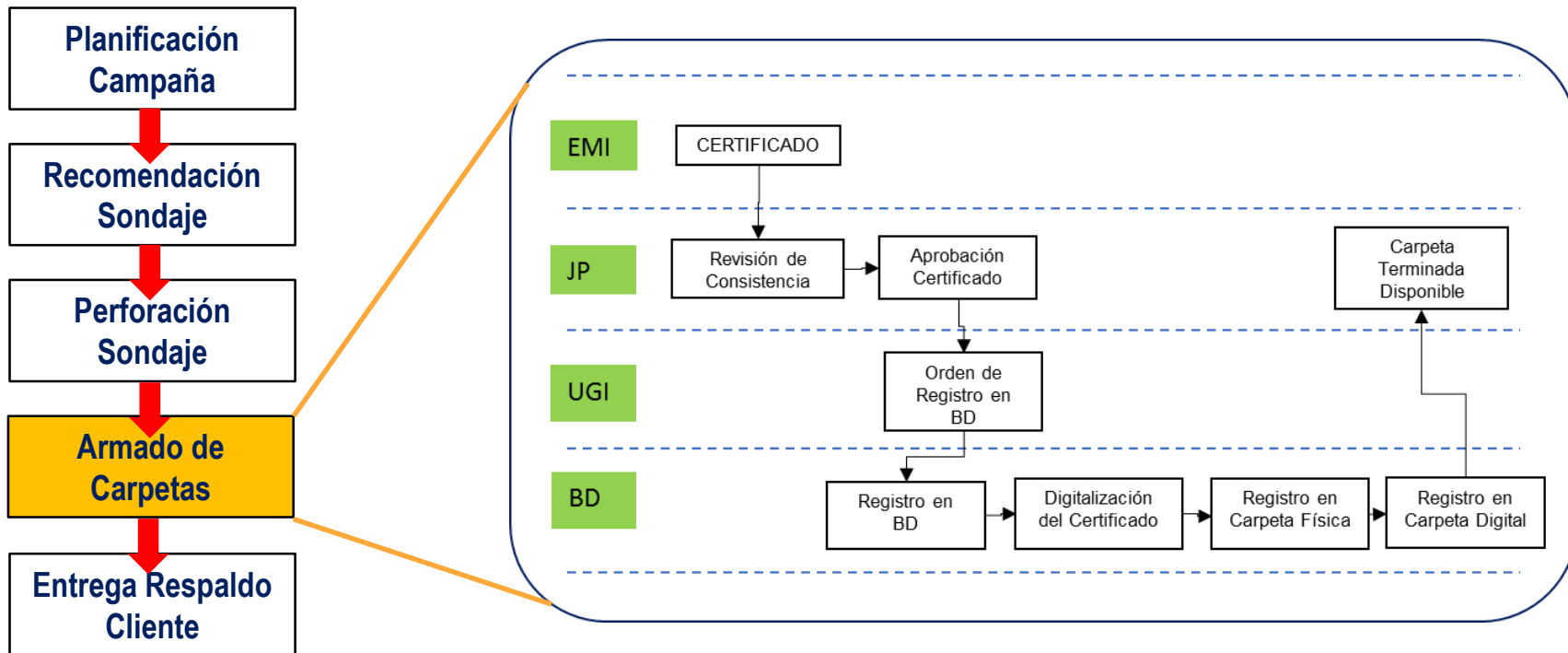
Despliegue del proceso de Estandarización de la Información Geocientífica



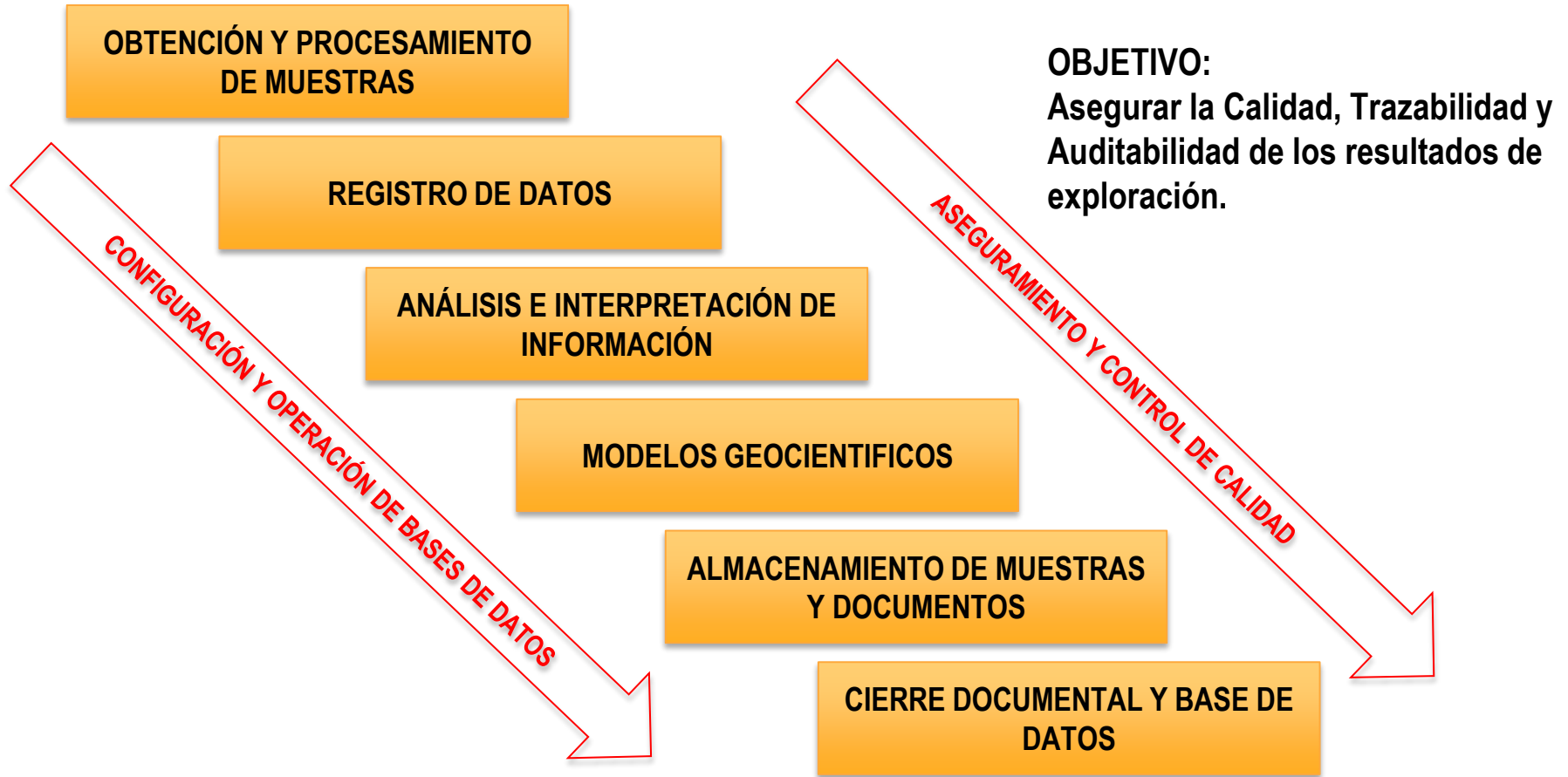
Flujo de Captura en Línea Sondajes Diamantina



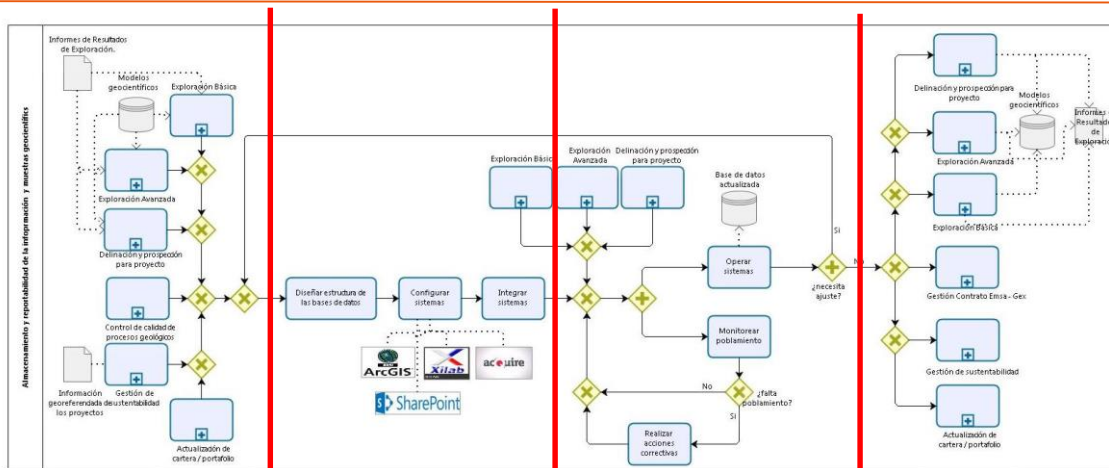
Carpetas Físicas y Digitales de Sondajes



Reportabilidad de Datos e Información Geocientífica



Subproceso Almacenamiento y Reportabilidad de la Información y Muestras Geocientíficas



Información Previa
Captura de Datos
Control de Calidad

Diseño Base Datos
Configuración e
Integración de Sistemas

Ingreso de Datos
Control Poblamiento
Actualización Base Datos

Almacenamiento Modelos
Geocientíficos e Informes
de Resultados de
Exploración

Base de Datos Geocientíficas

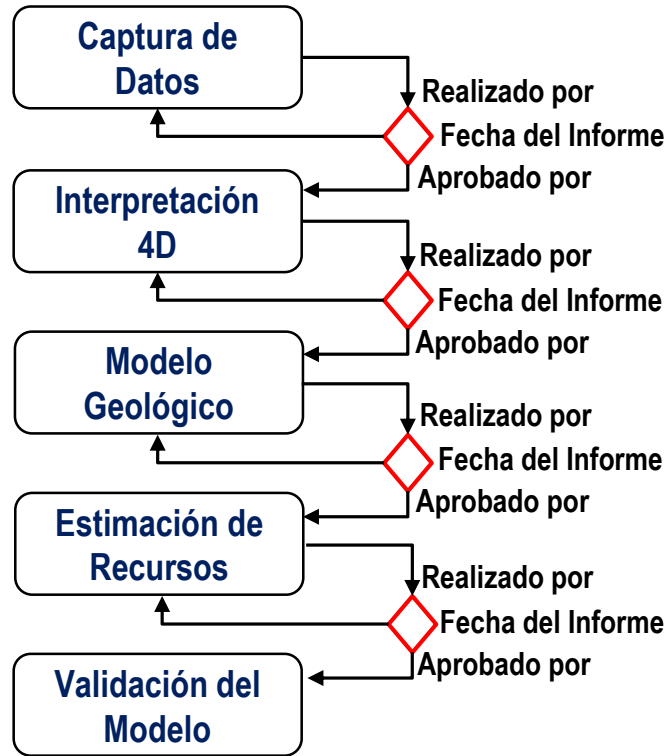
“Una **base de datos geológica** es el resultado de un **proceso cuidadoso** del tratamiento de la información en las áreas de geología de la Corporación, cuyo diseño, poblamiento y acceso siguen procedimientos eficientes de desarrollo y operación y sus contenidos son fuente **completa y confiable** para sustentar un modelo geológico, geotécnico, geometalúrgico y de estimación de recursos.”

“Las normas abarcan tres puntos fundamentales que representan pilares de todo el espectro relacionado con las bases de datos geológicas: **CAPTURA, ALMACENAMIENTO Y ACCESO** de la información.”

CAPTURA	Reúne todos los procesos de obtención de datos “duros” , relevantes de sondajes, pozos de tiro, muestras superficiales, galerías y bancos.	Generadores de datos auditables Responsabilidad de la recepción Procedimientos de validación actualizados y conocidos Niveles de automatización en los procesos
ALMACENAMIENTO	Reúne todos los procesos de estructuración física y digital de los datos desde las muestreras, pasando por los DATAROOM, hasta las bases de datos formales.	Administración dedicada y responsable del respaldo físico de los datos Contenidos de la información Estructura de los datos Niveles de seguridad
ACCESO	Reúne todos los procesos encargados de obtener información de los medios de almacenamiento de la base de datos geológica.	Facilidad de obtención de información Oportunidad en la entrega Flexibilidad a los cambios del negocio minero Políticas de soporte y mantenimiento de las aplicaciones/sistemas computacionales

* Extractado de “Guía de Mejores Prácticas para el Tratamiento de la Información Geológica.” (Codelco, Noviembre 2006)

Etapas Claves en la Revisión de la Información

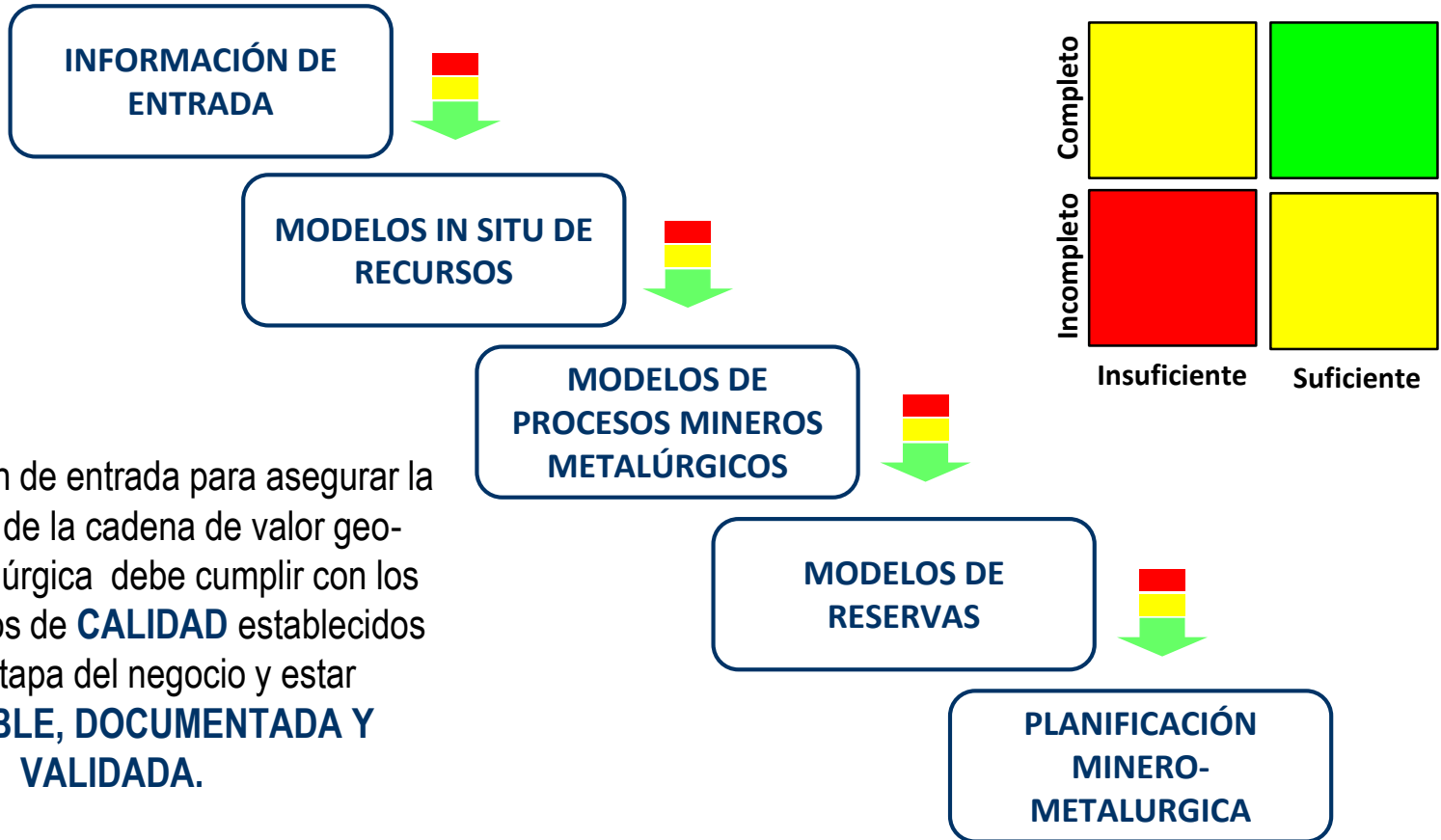


Revisión y Secuencia en un Informe de Clasificación de Recursos

- Con la finalización de las tareas más importantes en la preparación de un modelo geológico para una estimación de recursos, es necesario tener revisiones de los procesos y de los informes.
- Sin embargo, si se realiza una sola auditoría o una revisión final cuando se ha concluido el modelo de recursos, se pueden encontrar problemas que se hubiesen podido detectar y corregir tempranamente, algunos de los cuales pueden ser defectos fatales.
- Todos los temas que aparecen durante el proceso de la revisión deben ser tratados. El proceso de modelamiento no debe continuar antes de que sean resueltos.
- Todas las revisiones e informes deben especificar el nombre de la o las personas que realizaron el trabajo y las personas que revisaron y autorizaron el trabajo.

* Modificado en base a GUÍA MEJORES PRÁCTICAS ESTIMACIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICOS (Müller y Carrasco, CODELCO, Diciembre 2004)

Información de entrada Completa y Suficiente *



La información de entrada para asegurar la continuidad de la cadena de valor geominero-metalúrgica debe cumplir con los requerimientos de **CALIDAD** establecidos para la etapa del negocio y estar **DISPONIBLE, DOCUMENTADA Y VALIDADA.**

* Modificado en base a "Guía Corporativa de Geometalurgia." Revisión 0. CODELCO, Diciembre 2018.

Requerimientos de Calidad de los Entregables Geocientíficos*

Entregable: Cualquier producto y/o resultado verificable que debe producirse para desarrollar una etapa de un proyecto y que permite respaldar cada uno de los requerimientos técnico-económicos necesarios para la formulación del proyecto.

Calidad: Satisfacción en el cumplimiento de completitud y suficiencia.

Completitud: Calidad de completo, en cuanto al conjunto de entregables del proyecto necesario para asegurar el resultado previamente establecido.

Suficiencia: Calificación de la suficiencia, según la etapa de estudio, de cada Entregable del proyecto, necesario para asegurar el resultado, identificar y gestionar los riesgos de éste, de acuerdo a estándares previamente establecidos.

* Modificado en base a la “Guía Requerimientos de Calidad de los Entregables de las Geociencias”. Codelco, Vicepresidencia de Proyectos, Julio 2018)

Los procesos de exploración deben contar con protocolos de **seguimiento, control y validación** de los entregables geocientíficos, con el objetivo de estandarizar la calidad y disponibilidad de ésta, considerando los siguientes elementos claves:

- **Completitud y Suficiencia** de los entregables (estructura, claridad, consistencia, metodologías, captura y tratamiento de los datos, interpretación, modelos, conclusiones, recomendaciones, referencias, informes de respaldo)
- **Trazabilidad** del proceso de producción de información y resultados.
- **Auditabilidad** del proceso, referida a la documentación de procedimientos, datos, información y resguardo de muestras, asegurando su disponibilidad inmediata en plataformas corporativas (acQuire, Xilab, GVMapper, Sharepoint, Central Server, GIS).



Comisión Calificadora de
Competencias en Recursos
y Reservas Mineras

TALLER EXPLORACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE RECURSOS MINERALES

EM Exploraciones
Mineras

Exploraciones Mineras Andinas S.A.

www.exploracionesmineras.cl

