



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

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS
DE RECURSOS DE CODELCO, CHILE.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGA

CLAUDIA ANDREA CUEVAS COLOMA

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
VÍCTOR MAKSAEV JURCHUC
JOSÉ SAAVEDRA-ROSAS

Este trabajo ha sido financiado por CODELCO

SANTIAGO DE CHILE
2017

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE RECURSOS DE CODELCO, CHILE.

Este trabajo fue solicitado por Codelco, específicamente por la Gerencia de Recursos Mineros, con el fin de mejorar la base del proceso de planificación minera que sustenta los planes mineros e inventario de la empresa. Parte de esta base son los modelos de recursos junto a modelos de geometalurgia, hidrogeología y geotecnia.

El modelo de recursos consta de tres pilares fundamentales, éstos son: base de datos de información básica, modelos geológicos y modelo de bloques. La captura de información básica e interpretación geológica está en constante e iterativa actualización, provocando confusión con los archivos que oficialmente constituyen el modelo de recursos, no pudiendo reproducirlo para su revisión. Además, en la Corporación no existe un procedimiento formal único para todas las Divisiones, que estandarice los plazos, los productos mínimos de entrega y el contenido mínimo de los informes del modelo de recursos.

Por esto, mediante la revisión de material bibliográfico interno, tales como informes, normas, auditorías de los Modelos de Recursos de años anteriores, revisión de base de datos, sólidos de modelos geológicos, modelos de bloques que conforman los Modelos de Recursos y reuniones con las Divisiones, se recopiló toda información para realizar un procedimiento estandarizado para la actualización de los modelos de recursos conjuntamente con su aprobación, reglamentando el repositorio de los modelos, solicitando archivos mínimos para revisión, contenido mínimo de los informes del modelo y chequeos mínimos para asegurar la calidad y completitud de la información.

De tal manera, que con esta propuesta se presentaría una mejora a largo plazo en el proceso de planificación minera y el modelo de recurso por División resulta trazable, auditable y reproducible, aunque esta metodología puede presentar contratiempos en la etapa de desarrollo e implementación en las Divisiones.

Tabla de contenido

1	Introducción	1
1.1	Formulación del estudio propuesto	1
1.2	Objetivos.....	2
1.2.1	Objetivo General.....	2
1.2.2	Objetivo Específico	2
1.3	Hipótesis de Trabajo	2
1.4	Metodología.....	2
2	Recursos y Reservas	4
2.1	Conceptos	4
2.2	Inventario.....	6
3	Proceso Planificación Minera	8
4	Modelo de Recursos	10
4.1	Información básica.....	11
4.2	Modelos Geológicos	13
4.3	Modelo de Bloques	15
4.4	Entidades involucradas.....	16
5	Proceso Estandarización Modelo de Recursos	18
5.1	Repositorio	18
5.2	Flujo de Trabajo.....	20
5.3	Mínimos Entregables Modelo de Recursos.....	37
5.3.1	Introducción	37
5.3.2	Actualización Información básica.....	37
5.3.3	Actualización Modelos Geológicos	52
5.3.4	Actualización Modelo de Bloques	55
6	Evaluación Costo/Beneficio	76
7	Discusiones	78
8	Conclusiones	82
9	Bibliografía	83
	Anexos	84

Índice de Tablas

Tabla 1: Inventario de recursos geológicos in situ. Extraído de Memoria anual Codelco 2015....	7
Tabla 2: Inventario de recursos en depósitos artificiales. Extraído de Memoria anual Codelco 2015.	7
Tabla 3: Identificación de los procedimientos o protocolos.....	39
Tabla 4: Precisión aceptada en el proceso de medio testigo.....	40
Tabla 5: Estadística global de las muestras control medio testigo.....	41
Tabla 6: Identificación de valores fuera de rango en el control de medio testigo.....	41
Tabla 7: (a) Valores certificados Materiales de Referencia. (b) Estadística global por Material de Referencia.	43
Tabla 8: Ejemplo de listado de componentes de la base de datos.	45
Tabla 9: Listado de variables de cada componente de la base de datos.....	45
Tabla 10: Estadística por población de datos.....	46
Tabla 11: (a) Información tipos de muestreo de la base de datos. (b) Identificación de información histórica por tipo de muestreo.....	46
Tabla 12: Recuento de muestras en la base de datos analizadas por QAQC.	46
Tabla 13: (a) Recuento de sondajes con y sin información de collar. (b) Recuento de sondajes con y sin certificado de topografía.....	47
Tabla 14: Clasificación de sondajes según largo total.....	47
Tabla 15: Recuento muestras según si el muestreo cuenta o no con medida de desviación. ...	48
Tabla 16: (a) Recuento de sondajes según si el muestreo cuenta o no con medida de desviación. (b) Recuento de sondajes con y sin certificado de trayectoria.	48
Tabla 17: Recuento de muestras según la recuperación.....	48
Tabla 18: (a) Recuento de las muestras según la categoría de calidad. (b) Recuento de las muestras según categoría de calidad y por tipo de información.	50
Tabla 19: Recuento de muestras según medida de densidad.....	50
Tabla 20: Recuento de muestras según remapeo y medición de leyes.....	50
Tabla 21: Lista de chequeo base de datos.....	51
Tabla 22: Recuento sondajes utilizados en los modelos geológicos.	53
Tabla 23: Lista de chequeo de modelos geológicos.....	54
Tabla 24: Recuento compósitos por rango de largo de soporte original.	56
Tabla 25: Cantidad de compósitos por elemento principal.	56
Tabla 26: (a) Cantidad de muestras según tipo de muestreo. (b) Cantidad de muestras según si pertenece a sondajes históricos.....	57
Tabla 27: Lista de chequeo base de datos de estimación.....	57
Tabla 28: Información datos escapados.....	62

Tabla 29: Cantidad de bloques y sub-bloques según la dirección.....	64
Tabla 30: Variables del Modelo de Bloques	64
Tabla 31: Parámetros para el cálculo de variogramas.	65
Tabla 32: Método de Estimación por cada elemento.....	66
Tabla 33: Recuento de valores de ley asignados por elemento.	68
Tabla 34: Recursos clasificados como medidos, indicados e inferidos (Curva tonelaje – Ley Recursos)	70
Tabla 35: Comparación estadística global entre compósitos y valores estimados.....	75
Tabla 36: Lista de chequeo del modelo de bloques.	75

Índice de Ilustraciones

Figura 1: Relación general entre los Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Mineras. Extraído de Código JORC, 2012.	5
Figura 2: Transformación de recursos a reservas, como parte de un plan minero.	9
Figura 3: Esquema del proceso de planificación minera.	9
Figura 4: Secuencia de Componentes del Modelo de Recursos.	10
Figura 5: Ejemplos de interpretación geológica de secciones, vistas en 2D y 3D (izquierda) y de la Unidad Geológica 2D de Litología (derecha).....	14
Figura 6: (a) Ejemplo ilustrativo de un Modelo de Bloques. (b) Ejemplo de un bloque con sus variables.	15
Figura 7: Esquema organizacional de entidades relacionadas con el proceso de actualización del modelo de recursos, (a) a nivel Corporativo (b) a nivel Divisional.....	17
Figura 8: Flujo de Trabajo General para la actualización del Modelo de Recursos.	22
Figura 9: (a) Ciclo de Actualización Información básica, inicio Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Información básica.	26
Figura 10: (a) Ciclo de Actualización Modelos Geológicos, Segundo Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Modelos Geológicos.	28
Figura 11: (a) SubCiclo de Base de Datos Compositada, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Base de Datos Compositada. ...	30
Figura 12: (a) SubCiclo de Sólidos de Estimación, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Sólidos de Estimación.....	32
Figura 13: (a) SubCiclo de Estimación y Categorización, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Estimación y Categorización.	34
Figura 14: (a) Ciclo Incorporación de la Topografía y/o Recursos Artificiales al Modelo de Bloques, Cuarto Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Incorporación de la Topografía y/o Recursos Artificiales al Modelo de Bloques.	36
Figura 15: Leyenda del Flujo de Trabajo.....	36
Figura 16: Ejemplos gráficos control para CuT (a) Dispersión. (b) Diferencia relativa v/s ley promedio. (c) Diferencia relativa absoluta por porcentaje de datos. (d) Diferencia relativa en el tiempo.....	41
Figura 17: Ejemplo de gráfico control estándares para CuT (a) Ley certificada v/s ley reportada por el laboratorio. (b) Número batch v/s ley reportada por el laboratorio. (c) Ley reportada por el laboratorio en el tiempo. (d) Desviaciones estándar del estándar por fecha de envío.	44
Figura 18: (a) Parámetros para clasificar la calidad de las muestras, según NCC-31. (b) Criterio para asignar la calidad de las muestras, según NCC-31.....	49
Figura 19: Ejemplo de Unidades de Alteración.	53
Figura 20: Porcentaje de coincidencia de los sólidos con el mapeo geológico, para la litología.	54
Figura 21: Ejemplo de análisis de la longitud soporte original de las muestras. Los compósitos utilizados corresponden a muestras de longitud de 10 m.....	56

Figura 22: (a) Definición de dominios de estimación para CuT. (b) Definición de dominios de estimación para Mo. (c) Criterio de definición de Unidades de Estimación Cobre.	59
Figura 23: (a) Ley media de CuT por Unidad de Estimación. (b) Ley media v/s desviación estándar para las Unidades de Estimación de CuT. (c) Distribución de probabilidad acumulada para las Unidades de Estimación de CuT. (d) Gráfico del límite de contacto entre dos Unidades de Estimación de CuT (e) Serie de gráficos de ley de Cobre por tipo de grava y ubicación.	62
Figura 24: Resumen de Modelos de variogramas, por sector de estimación (Andina)	65
Figura 25: Ejemplos de gráficos de variogramas experimental y teóricos, para una Unidad de Estimación de CuT (izquierda) y para una Unidad de Estimación de Mo (derecha) (Auditoria RT 2015 Magri)	66
Figura 26: Método de estimación para CuT, Mo, As según Unidades de Estimación. (Modelo Chuqui Subte).....	66
Figura 27: (a) Estrategia de búsqueda para Mo (b) Ejemplo de asignación de leyes de Cu en bloques no estimados. (Andina).....	68
Figura 28: Ejemplo de definición y valores de Unidades de densidad.	69
Figura 29: Criterio de clasificación entre recursos medidos e indicados.....	70
Figura 30: Revisión visual en una sección, entre la información de sondajes y bloques del Modelo de Mo.	72
Figura 31: Ejemplo de gráfico swath plot de CuT en la dirección Este, para una unidad de estimación.	72
Figura 32: Distribuciones leyes CuT muestras originales (verde) y ley CuT estimadas bloques (azul). (a) Gráfico de probabilidad acumulada (b) Gráfico scatter plot (c) Gráfico cuantiles.	74
Figura 33: Resultados de un back flagging entre compósitos y modelo de bloques, por unidad de estimación.....	74

1 Introducción

1.1 Formulación del estudio propuesto

En la Corporación Nacional del Cobre (Codelco), anualmente cada División, realizan los modelos de recursos, que sustenta la transformación de recursos a reservas y, por ende, el inventario de recursos y reservas. En consecuencia, realizar un adecuado modelo de recursos es esencial para implementar coherentemente cualquier proceso de planificación minera de un proyecto o mina. De esta manera, la validación de los modelos de recursos cobra gran relevancia, la Gerencia de Recursos Mineros (GRM) de Codelco, es la encargada de almacenar, validar y autorizar el uso de cada modelo que se genere en la Corporación.

La generación de un modelo de recursos involucra cuatro etapas: captura de información geocientífica, modelamiento geológico, estimación de leyes y categorización de recursos. Las etapas de captura de información geológica y modelamiento geológico están continuamente actualizándose o adquiriendo nuevos datos, en cambio, los procesos de estimación y clasificación de recursos son actualizados anualmente. Entonces, al momento de requerir la información básica y modelos geológicos, que sustentan la estimación y clasificación de recursos, en algunas oportunidades, no se tiene claridad con cual información fue utilizada, la cantidad y fuente. Lo que afecta a la realización de auditorías externas al modelo de recursos de una división, ya que las empresas que las llevan a cabo necesitan tener toda la información del proceso para hacer el modelo.

Cada División entrega su modelo de recursos junto a un informe, sin embargo, no existe, a nivel corporativo y divisional, un procedimiento formal que normalice, bajo condiciones estandarizadas, los plazos, los productos de entrega de los modelos y el contenido mínimo de los informes del modelo.

Se ha intentado abarcar esta problemática de transversalidad en la Corporación, elaborando guías de mejores prácticas, pero no se ha logrado tener éxito. Sabaleta y Fuenzalida (2007) proponen un primer estándar, sistematizando las actividades de captura, almacenamiento y acceso de la información geológica. Mientras que, Sullivan et al. (2004) da un enfoque a la clasificación del recurso asociado a los niveles de riesgo de cada etapa.

Por lo tanto, se propone definir un proceso estandarizado que reglamente plazos, entidades que validen el modelo, productos de entrega de la información oficial utilizada en el modelo de recursos y el contenido mínimo de los informes del modelo, además, debe implementar un repositorio con el total de la información del proceso. El informe deberá describir detalladamente la metodología, conceptos usados y poseer

comprobaciones que aseguren la calidad, consistencia y completitud de la información. De este modo, la Gerencia de Recursos Mineros podrá administrar un modelo de recursos único por división, validado, trazable y auditable.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Generar una propuesta metodológica estandarizada para la entrega, almacenamiento y validación de los modelos de recursos de Codelco, referente al manejo de la información utilizada, plazos, revisión de la calidad y completitud de los datos.

1.2.2 Objetivo Específico

1. Mejorar la trazabilidad del proceso de actualización del modelo de recursos.
2. Proponer un procedimiento de aprobación de la base de datos, modelo geológico y modelo de bloques.
3. Establecer contenidos mínimos para la entrega de la información del modelo de recursos.
4. Indicar chequeos a la base de datos, modelos geológicos y modelo de bloques.
5. Establecer la importancia del modelo de recursos.

1.3 Hipótesis de Trabajo

Es una mejora desarrollar un procedimiento normativo general para las Divisiones de Codelco que establezca plazos de entrega, almacenamiento de información correcta y completa y revisiones del modelo de recursos, produciendo un beneficio para el proceso de planificación minera.

1.4 Metodología

1. Revisión bibliográfica de los informes de modelos de recursos realizados por las Divisiones y auditorías o revisiones externas a los modelos, enfocándose en la estructura del informe, metodologías de revisión de la información y criterios de validación de datos, modelos geológicos y modelos de bloque.
2. Revisión de los archivos que conforman los distintos modelos de recursos de Codelco con el fin de analizar la información que entrega cada División, la generación del modelo y estudiar el software para cargar el modelo.

3. Analizar los protocolos y normas aplicados por Codelco para la información que integra la base de datos y para llevar a cabo los modelos.
4. Recopilación de los criterios en que se basa las validaciones de la base de datos, los modelos geológicos, estimaciones y categorización de recursos.
5. Reuniones multidisciplinarias con las Divisiones.
6. Integración de la información recopilada.

2 Recursos y Reservas

2.1 Conceptos

Codelco explora, desarrolla y procesa recursos mineros para comercializarlos en Chile y el mundo. El concepto de recursos engloba a los recursos minerales y reservas mineras, es este último el que sustenta el negocio y, por lo tanto, define el valor de una compañía.

Para utilizar la misma terminología y reportar públicamente los recursos minerales y reservas mineras la industria minera ha desarrollado estándares mínimos, uno de ellos es el Código australiano Joint Ore Reserves Committee, JORC, a partir del cual Codelco estableció un criterio de clasificación de recursos y reservas mineras para sus yacimientos, denominada Norma Corporativa Codelco N° 31 (NCC31, 2011). En este documento el recurso es definido como:

La concentración u ocurrencia de material, tales que su forma, cantidad -tonelaje y ley - están basadas en evidencias geológicas específicas o el conocimiento, que permite calcular la cantidad, ley y calidad del material con cierto nivel de confianza. Se clasifican en recursos inferidos, indicados y medidos.

Para Codelco los recursos geológicos in situ corresponden a recursos a ley de corte 0,2% de CuT (Memoria Anual Codelco, 2012). Como subconjunto de los recursos geológicos se encuentran los recursos minerales, que son, según Código JORC, 2012:

Una concentración u ocurrencia de material sólido de interés económico en o sobre la corteza terrestre, en tal forma, ley (calidad) y cantidad que hay perspectivas razonables para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, ley (calidad), continuidad y otras características geológicas de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimientos geológicos específicos, incluyendo muestras. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en Inferidos, Indicados y Medidos.

Por su parte, las reservas mineras en el Código JORC, 2012 se definen de la siguiente manera:

Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido y/o Indicado. Incluye los materiales diluyentes y tolerancias por pérdidas, que puedan ocurrir cuando el material es minado o extraído y es definido por estudios que incluyan la aplicación de Factores Modificadores. Tales estudios demuestran que, al momento

del reporte, la extracción podría estar razonablemente justificada. Las Reservas Mineras se subdividen en orden creciente de confianza en Reservas Mineras Probables y Reservas Mineras Probadas.

La relación entre los recursos y reservas se muestra en la figura 1, donde se refleja diferentes niveles de confianza geológica y grados diferentes de evaluaciones técnica y económica.



Figura 1: Relación general entre los Resultados de Exploración, Recursos Minerales y Reservas Mineras. Extraído de Código JORC, 2012.

Este trabajo se enfoca en los recursos, base de los recursos minerales y, por tanto, de las reservas mineras.

2.2 Inventario

Una compañía minera debe realizar un conteo de sus activos mineros e informarlo de manera pública anualmente, de acuerdo a las normativas vigentes de la industria. En el inventario se indica la cantidad de tonelaje de recursos minerales y reservas mineras, con sus respectivas clasificaciones mostradas en la figura 1, en Codelco, además, se reporta los recursos geológicos, para mostrar el potencial de los yacimientos identificados a la fecha (Memoria Anual Codelco, 2015), en la tabla 1 se da a conocer el inventario de recursos geológicos en Codelco para del año 2015.

Para Codelco el inventario de recursos minerales consolida la información de todas las divisiones, a partir de la cubicación de las envolventes finales de las minas a rajo abierto y los volúmenes de mineral de las minas subterráneas, a leyes de corte variable (Memoria Anual Codelco, 2015). Conjuntamente, incorpora el reporte de los recursos en los depósitos artificiales conformados por material quebrado y stock, correspondiente a recursos a ley de corte 0,0% CuT, el contenido en Codelco, de estos recursos se puede ver en la tabla 2. Específicamente, estos materiales se definen como (Memoria Anual Codelco, 2012):

Material Quebrado: Recurso no extraído, remanente de la extracción de sectores explotados mediante minería subterránea.

Stock: Recurso extraído y que se encuentra apilado en zonas debidamente identificadas, es producto de la explotación de la minería a rajo abierto y depende de las leyes de corte del plan minero (de corto y largo plazo). Dentro del término stock, también se informan como depósitos artificiales los relaves y ripios.

El inventario de recursos minerales y reservas mineras se determina a partir de un plan minero de largo plazo (esto se detallará en la sección 3), dado que corresponde a una proyección del mineral a explotar a futuro. Este plan contiene evaluaciones de factores de explotación y económicos.

Tabla 1: Inventario de recursos geológicos in situ. Extraído de Memoria anual Codelco 2015.

División	Recursos medidos			Recursos indicados			Recursos inferidos			Recursos geológicos		
	Mineral Mt	Ley CuT %	Cu Fino Mt	Mineral Mt	Ley CuT %	Cu Fino Mt	Mineral Mt	Ley CuT %	Cu Fino Mt	Mineral Mt	Ley CuT %	Cu Fino Mt
Radomiro Tomic	1.395	0,50	7,0	1.699	0,44	7,4	4.250	0,38	16,0	7.344	0,42	30,5
Chuquicamata	2.874	0,66	19,0	1.761	0,52	9,1	9.502	0,37	35,6	14.137	0,45	63,7
Ministro Hales	265	1,07	2,8	374	0,85	3,2	1.250	0,68	8,5	1.889	0,77	14,6
Gabriela Mistral	414	0,36	1,5	84	0,30	0,3	510	0,33	1,7	1.008	0,34	3,4
Salvador	479	0,51	2,4	535	0,42	2,2	2.474	0,42	10,4	3.488	0,43	15,0
Andina	2.826	0,73	20,7	2.348	0,66	15,6	16.572	0,59	97,0	21.745	0,61	133,3
El Teniente	2.816	0,85	23,9	2.796	0,56	15,5	9.713	0,48	46,9	15.325	0,56	86,4
Exploraciones, negocios y filiales	161	0,26	0,4	138	0,27	0,4	2.701	0,35	9,6	3.000	0,35	10,4
Total	11.230	0,69	77,8	9.735	0,55	53,7	46.971	0,48	225,6	67.936	0,53	357,2

Tabla 2: Inventario de recursos en depósitos artificiales. Extraído de Memoria anual Codelco 2015.

División	Mineral Mt	Ley CuT %	Cu Fino Mt
Chuquicamata	1.016	0,25	2,5
Salvador	1.390	0,24	3,3
El Teniente	2.525	0,52	13,2
Total	4.930	0,39	19,0

3 Proceso Planificación Minera

La categorización en reservas mineras es el resultado de aplicar un plan minero de largo plazo, generado a partir del diseño de la explotación y beneficio del mineral, a la totalidad de los recursos. Para transformar los recursos en reservas mineras, es necesario incorporar la información de factores técnicos - económicos, del negocio minero y su entorno, como ya se mencionó en la sección 2.1, con sus correspondientes grados de confiabilidad, de acuerdo a un escenario productivo, tecnológico y de sustentabilidad, inserto en el plan minero, ver figura 2.

Este plan minero constituye un plan estratégico, formulado anualmente en la compañía, que contiene la proyección del negocio a lo largo de toda la vida de una división (Memoria Anual Codelco, 2015). El conocimiento y confianza que se tenga sobre los factores que se requieren para explotar las reservas mineras, juegan un papel importante a la hora de comprometer el beneficio, permitiendo realizar definiciones y diseños mineros (NCC31, 2011).

En este contexto, uno de los factores fundamentales para el desarrollo de la planificación minera, que afecta la base del negocio es la geociencia, que agrupa disciplinas de geometalurgia, geomecánica e hidrogeología del depósito, expresadas en modelos, que junto al modelo de recursos constituyen uno de los puntos de partida para la generación de planes mineros y de las reservas, ver figura 3. Estos aspectos geológicos son importantes para definir el tipo, forma, tamaño y calidad del yacimiento.

Por lo tanto, para la ejecución del proceso interactúan distintas disciplinas y estamentos de la empresa que, al tener una relación fluida y permanente, permitirá mejorar los modelos.

El enfoque de este trabajo radica en la actualización del modelo de recursos, el que aborda en la sección 4.

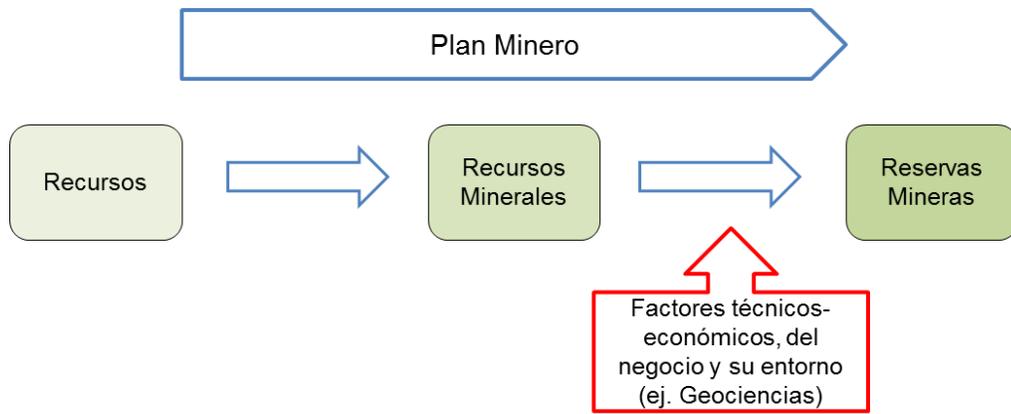


Figura 2: Transformación de recursos a reservas, como parte de un plan minero.

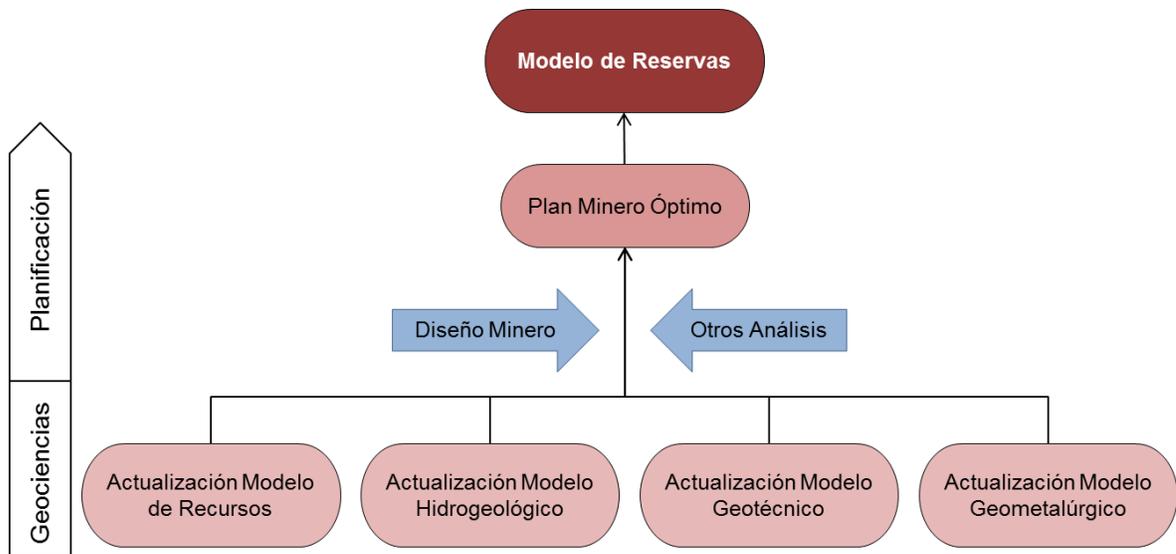


Figura 3: Esquema del proceso de planificación minera.

4 Modelo de Recursos

Como se señaló anteriormente, ver figura 3, los modelos de recursos, geometalúrgico, geotécnico e hidrogeológico son los principales datos de entrada para el proceso de planificación minera. Estos cuatro modelos se construyen en base a los modelos geológicos, por lo tanto, la calidad de los modelos geológicos resulta fundamental para la ejecución de los planes mineros.

El modelo de recursos está constituido por tres pilares fundamentales (los cuales se muestran en la figura 4): información geocientífica básica, modelos geológicos y el modelo de bloques. Este último es el producto final del modelo de recursos, que contiene la estimación de las variables más relevantes del depósito.

A medida que se avanza en el estudio del yacimiento, se adquieren nuevos conocimientos producto de la captura de nueva información geológica y la interpretación de esta información, lo que permite ir corrigiendo y validando los modelos para disminuir la incertidumbre del negocio. Esta actividad resulta ser constante e iterativa.

A continuación, se verán en detalle los pilares para actualizar el modelo de recursos.

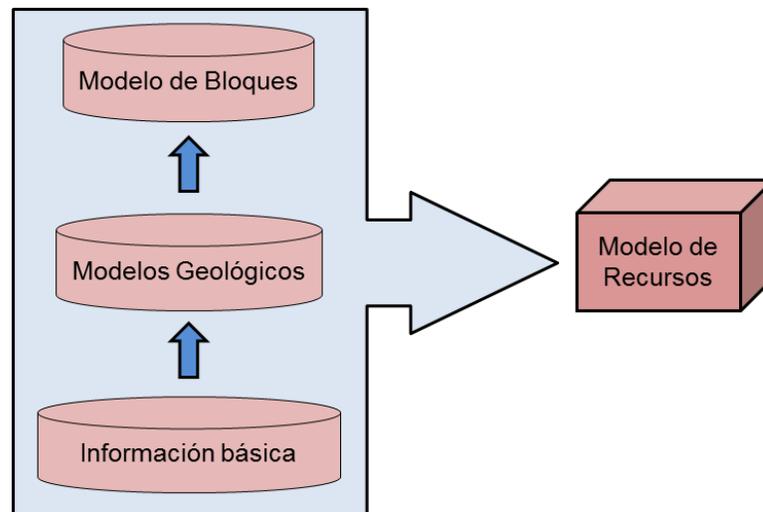


Figura 4: Secuencia de Componentes del Modelo de Recursos.

4.1 Información básica

Se refiere a la información capturada mediante muestreos de sondajes, pozos de tronadura, canaletas, muestras superficiales, entre otros, realizados dependiendo del objetivo que se quiere conseguir, para el modelo de recursos de largo plazo son principalmente sondajes.

La obtención de los datos desde estos muestreos, busca registrar los aspectos y variables geológicas desde la naturaleza para su uso posterior en la interpretación y construcción, en una primera instancia, del modelo geológico y, posteriormente, del modelo de estimación. Se les llama datos duros a todos aquellos datos que no tienen procesamiento desde el momento en que fueron generados, es decir, las mediciones y observaciones se consideran dato duro, en cambio, las interpretaciones, resúmenes y datos calculados no se consideran dato duro (Sabaleta y Fuenzalida, 2007).

Para mejorar la categorización de los recursos minerales se realizan campañas de sondajes que entregan información adicional que permite ir materializando, de manera robusta, las distintas etapas de ingeniería (Memoria Anual Codelco, 2015).

La información obtenida es almacenada en una base de datos y puede ser aportada por generadores internos, así como generadores externos a Codelco. La base de datos puede estar integrada por información actual e información histórica, dependiendo de la División. Se denomina Información Histórica a los datos capturados con anterioridad al año 2000 y, por lo tanto, la Información Actual son los datos obtenidos posterior a esa fecha. La definición de esta fecha está relacionada al momento en que Codelco inició la implementación de las metodologías de Control y Aseguramiento de calidad (QAQC).

Control y Aseguramiento de calidad (QAQC)

El QAQC asociado al procesamiento de los sondajes se aplica al corte del testigo, preparación mecánica (reducción, división y pulverizado) y análisis químico, con la finalidad de asegurar que la información de las leyes utilizadas para la estimación de leyes a largo plazo tengan precisiones y exactitudes dentro de los niveles aceptados.

Se efectúa mediante la inserción sistemática de duplicados y materiales de referencia, en forma ciega para el 5% de las muestras en cada orden de trabajo enviada a análisis. Los duplicados consisten en rechazos de testigos que se utilizan en los controles de corte, preparación mecánica y análisis químicos, a fin de chequear la precisión y para el control de la exactitud analítica, se incluyen materiales de referencia de leyes bajas, medias y altas. A fin de evaluar la existencia de contaminación se utilizan materiales blancos.

El proceso es verificado a través de los resultados de estos duplicados y materiales de referencia, basándose en la norma interna de Codelco denominada SGP-GT-GEO-NOR-010: Verificación de resultados de análisis químico, y además existen otras normas y protocolos que abarcan los temas de obtención, preparación y certificación de materiales de referencia para minerales, aseguramiento de calidad en preparación de muestras para análisis químico y aseguramiento de calidad en el corte de testigo de sondajes de diamantina.

4.2 Modelos Geológicos

Concepto de Modelo Geológico

En términos generales, un modelo corresponde a una representación de las características esenciales de algún objeto o evento que existe en la realidad.

Se puede definir un modelo geológico como la representación tridimensional de una serie de parámetros geológicos específicos de un volumen rocoso, tales como litología, alteración, mineralización, estructuras, entre otras, cuya relación permite delimitar espacialmente características físicas y químicas del macizo rocoso y explicar la formación del depósito mineral (Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico, 2006). Esto requiere haber realizado un estudio previo de los eventos geológicos que llevaron a la formación del depósito.

Construcción de los Modelos Geológicos

Henley & Berger (1993) exponen que los modelos constituyen redes de información que se deben actualizar acorde al aporte de nuevos datos, por lo que el modelamiento es un proceso cíclico y repetitivo, producto de nuevas ideas o entrada de nueva información.

Una forma de efectuar el modelamiento geológico es mediante la interpretación en dos dimensiones de la información básica en secciones y plantas, para posteriormente, a partir de estas, generar el volumen tridimensional del yacimiento, ver figura 5. Las secciones y plantas se pueden construir en papel o directamente en el computador y deben visualizar los parámetros geológicos del cuerpo.

La utilización de secciones se da preferentemente cuando los controles geológicos o los datos de origen (sondajes) son subverticales y, por consiguiente, las plantas se utilizan cuando son subhorizontales. Usualmente el espaciamiento entre secciones tiene directa relación con la densidad de la información presente en el sector a modelar, mientras que las plantas se desarrollan preferentemente en intervalos regulares (por ejemplo, por altura de bancos en minería de rajo abierto) hasta la máxima profundidad que alcancen los sondajes, mediante la intersección de planos a intervalos regulares, con las secciones (Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico, 2006).

Esta metodología es llamada modelamiento explícito. A diferencia del modelamiento implícito que genera los cuerpos geológicos 3D en forma automática directamente desde los datos, mediante un software especializado.

La interpretación geológica en 2D o 3D de un parámetro o variable geológica constituye una unidad geológica (UG). En el contexto de estimación de recursos, la suma e interacción de las distintas unidades geológicas es usada para caracterizar las concentraciones minerales del yacimiento, con el fin de guiar en forma correcta los cálculos de estimación de tonelaje y ley. Un modelo geológico define una unidad geológica. En la figura 5 (derecha) se muestra como ejemplo la Unidad Geológica 2D de Litología.

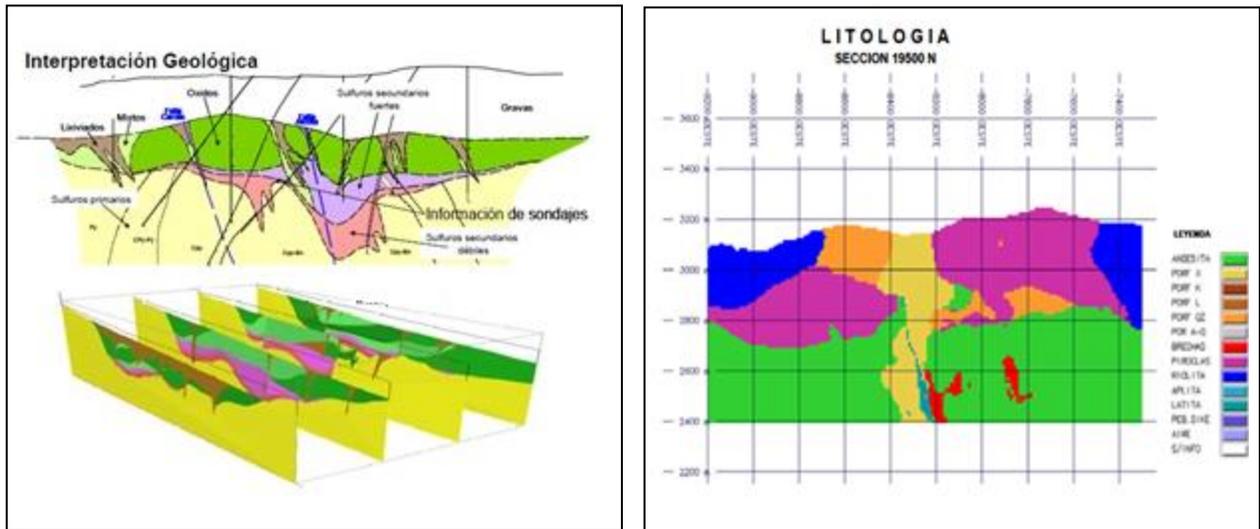


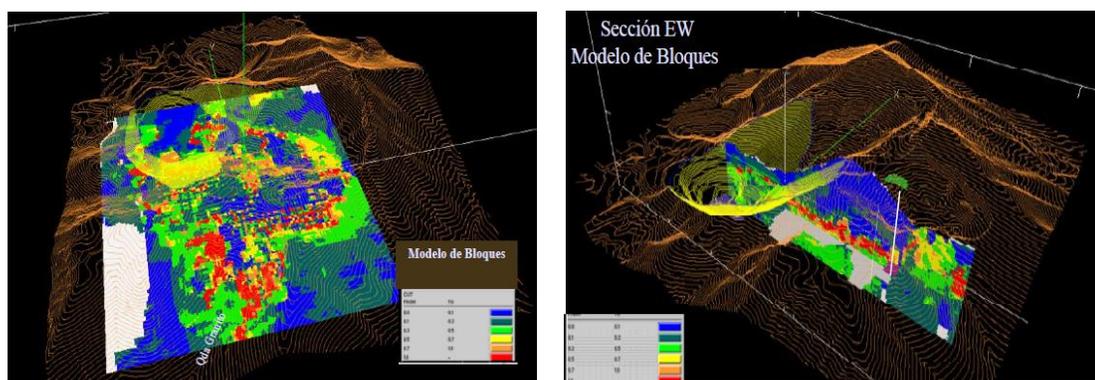
Figura 5: Ejemplos de interpretación geológica de secciones, vistas en 2D y 3D (izquierda) y de la Unidad Geológica 2D de Litología (derecha).

4.3 Modelo de Bloques

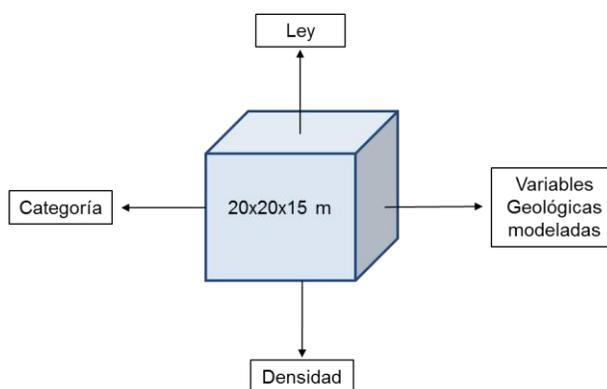
El modelo de bloques en términos simples, es el resultado de la partición del volumen del depósito en cubos o bloques, ver figura 6 (a), donde cada uno de los cubos contiene información de los variables geológicas interpretadas, los valores estimados de ley, tonelaje y otros atributos característicos del depósito modelado.

El tamaño de cada bloque no es al azar, su determinación depende de la variabilidad, continuidad de las leyes y de la geología, la densidad de información, la dimensión de los equipos mineros y la estabilidad de taludes, y puede estar acompañado de un estudio geoestadístico para conocer el tamaño óptimo (Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico, 2006). En la figura 6 (b) se observa el ejemplo de un bloque de dimensión 20 x 20 x 15 metros, que contiene las variables del modelo.

El modelo en conjunto constituye una representación razonable y objetiva del recurso geológico, que debe conservar las zonas, contactos y volúmenes definidos por los modelos geológicos, respetar los datos y aplicar las densidades específicas de cada UG.



(a)



(b)

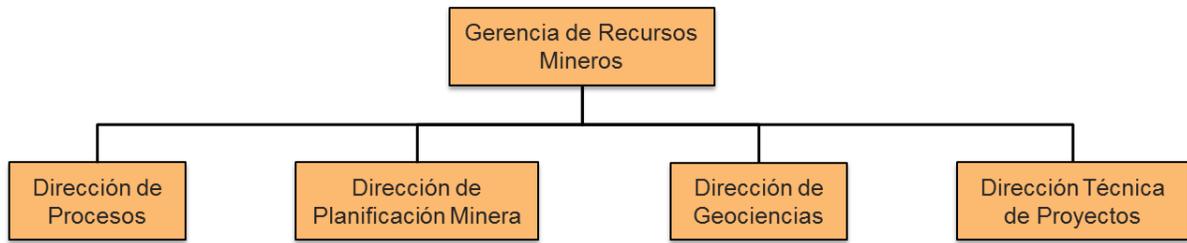
Figura 6: (a) Ejemplo ilustrativo de un Modelo de Bloques. (b) Ejemplo de un bloque con sus variables.

4.4 Entidades involucradas

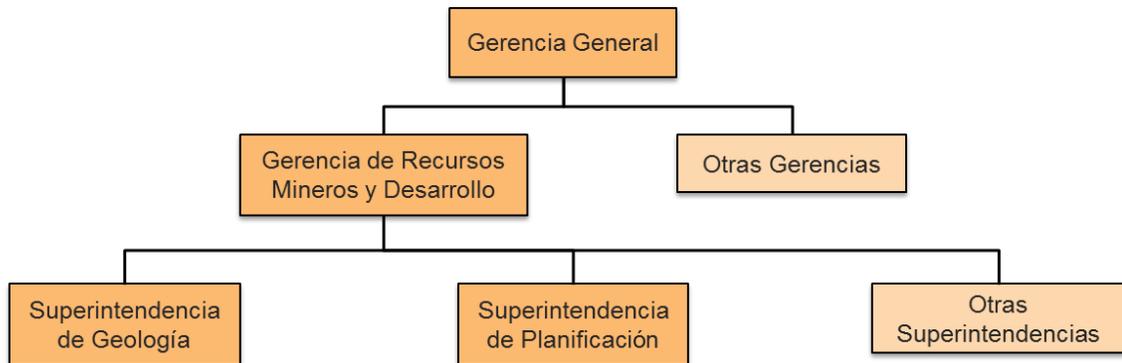
En Codelco, a nivel de la Corporación, la llamada Gerencia de Recursos Mineros (GRM) es la encargada de administrar el inventario de recursos y reservas, asegurando la oportuna transformación de estos recursos en reservas, y de apoyar en la correcta formulación y optimización de los planes mineros. A su vez, la GRM tiene Direcciones para llevar a cabo estos objetivos, en la figura 7 (a) se muestran las distintas direcciones. La Dirección de Geociencias y la Dirección de Planificación están vinculadas directamente con recibir el modelo de recursos de cada División, con los cuales trabajan.

En la División, la administración consta de una Gerencia General (GG), que es la conexión de varias otras gerencias, una de ellas es la Gerencia de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD), la cual tiene la misión de gestionar el desarrollo y explotación de los recursos mineros. Dentro de esta gerencia se encuentran las Superintendencias, particularmente la Superintendencia de Geología (SGL) gestiona el conocimiento geológico, geotécnico y geometalúrgico, para sustentar la base minera e incrementar el inventario de recursos geológicos, por consiguiente, se encarga del proceso de actualización del modelo de recursos, mientras que, la Superintendencia de Planificación Minero Metalúrgica (SPL) es la que utiliza el modelo de recursos para gestionar los recursos mineros en el mediano y largo plazo. La figura 7 (b) es un esquema general simplificado, a nivel divisional, de entidades vinculadas al proceso de actualización de los modelos de recursos.

Las Divisiones Chuquicamata, Gabriela Mistral, Radomiro Tomic, Ministro Hales y Salvador pertenecen al distrito norte. La planificación para estas divisiones se hace a nivel de distrito, por lo que existe una gerencia que se asegura de lograr el óptimo del conjunto, esta se llama Gerencia de Desarrollo Distrito Norte.



(a)



(b)

Figura 7: Esquema organizacional de entidades relacionadas con el proceso de actualización del modelo de recursos, (a) a nivel Corporativo (b) a nivel Divisional.

5 Proceso Estandarización Modelo de Recursos

5.1 Repositorio

Una parte de la propuesta para poner en funcionamiento el proceso de estandarización del modelo de recursos, es seleccionar un repositorio para reunir los componentes de los modelos de recursos de todas las Divisiones, de tal modo que, se almacenen en un solo lugar, constituyendo el modelo de recursos oficial, se visualicen en un mismo software para facilitar su manipulación y que el administrador sea la Gerencia de Recursos Mineros para así realizar las validaciones correspondientes. El software escogido es Leapfrog, este es un programa de modelado geológico en 3D y ofrece soluciones para las industrias mineras, de exploración y de otras áreas¹.

La herramienta de modelado en 3D se llama Leapfrog Geo, trabaja con modelamiento implícito, es decir, produce modelos directamente de la fuente, tales como sondajes, puntos y superficies, y permite que los modelos se actualicen automáticamente cuando hay nueva información disponible. Tiene la característica de importar y exportar puntos, polilíneas, mallas y modelos de bloques en los más variados formatos estándar de la industria.

Este software tiene una plataforma especializada en gestión de modelos llamada Leapfrog Central, haciendo que la revisión de los modelos sea más eficaz. Es un repositorio que almacena los proyectos, con un sistema centralizado para administrar los usuarios y modelos en 3D, contiene una herramienta asociada, denominada Leapfrog Browser, cuya función es visualizar, controlar y tomar nota de los modelos almacenados en Leapfrog Central¹. A partir de Leapfrog Geo, los geólogos pueden publicar sus proyectos en Leapfrog Central.

En Leapfrog Geo, un proyecto es una colección de datos y modelos dependientes, representa la comprensión del modelador de la geología en un momento en el tiempo, mientras que en Leapfrog Central, un proyecto es la historia de un proyecto Leapfrog Geo, con un seguimiento a través del tiempo. Un proyecto de Leapfrog Central tiene una historia que muestra cómo el modelo ha cambiado a lo largo del tiempo. La historia de un proyecto se documenta y guarda a cada paso.

¹ Fuente: página web Leapfrog

De esta forma, Leapfrog Central permite:

1. Almacenar, ver y revisar todos los proyectos de modelado geológico, en un único lugar.
2. Comparar las versiones de los modelos aprobados a lo largo del tiempo.
3. Revisar los datos utilizados para generar el modelo.
4. Agregar y responder comentarios o sugerencias y añadir etiquetas geográficas para resaltar alguna característica en el modelo, fomentando una conversación entre equipos de trabajo.
5. Adjuntar documentos al modelo.
6. Explorar el modelo y los datos utilizados, con unas avanzadas herramientas de visualización en 3D.
7. Designar a la Gerencia de Recursos Mineros como administrador del acceso de usuarios a Leapfrog Central.
8. Todos los profesionales interesados pueden estar conectados a Leapfrog Central, por lo tanto, navegar por los modelos, acceder a los archivos adjuntos y exportar los modelos, en diferentes extensiones para utilizarlos con otro software.
9. Descargar el último modelo aprobado y trabajar en el mismo con Leapfrog Geo.

5.2 Flujo de Trabajo

Se diseñó un flujo de trabajo, que representa el proceso estándar para llevar a cabo la actualización de los modelos de recursos de largo plazo, este flujo conceptualiza el proceso, mientras que la automatización del mismo es independiente de este trabajo.

El flujo consiste en estructurar la secuencia de acciones que se deben ejecutar para actualizar el modelo de recursos, se ordena el proceso en ciclos que incluyen la entrega de archivos y documentos entre profesionales encargados de su aprobación, a nivel divisional y corporativo, para finalmente formalizar el modelo de recursos y continuar el proceso de planificación minera. Está conformado, de manera general, de cuatro ciclos, (1) Actualización Información básica, (2) Actualización Modelos Geológicos, (3) Actualización Modelo de Bloques e (4) Incorporación de la topografía y/o recursos artificiales al Modelo de Bloques, cada uno con su propio proceso de aprobación, diseñado de tal manera que una vez aprobado un ciclo se puede continuar con el siguiente. Particularmente, el ciclo de actualización del modelo de bloques, se divide en tres subciclos, el primero llamado Base de Datos compositada, el segundo Sólidos de Estimación y, por último, la Estimación y Categorización, siendo aprobado un subciclo se procede con el sucesor.

El flujo general se muestra en la figura 8, se inicia el proceso con la interrogante de existencia de actualización en el modelo de recursos, para esto debe darse cualquiera de estos escenarios: entrada de nueva información a la base de datos, modificación de los modelos geológicos, modificación de la estimación y/o categorización o la realización de una auditoría independiente a algún proyecto de la mina. En el caso que no exista o no se requiera actualización en alguno de estos escenarios, dentro del período de un año, el flujo pasa directamente al punto de incorporación de topografía y/o recursos artificiales al modelo de bloques, que se detalla en la figura 14.

Como se mencionó anteriormente, en cada ciclo se producen entregas de archivos e informes en un servidor, denominados entregables, para que exista un traspaso de los productos entre los profesionales, en la División y Corporación, a cargo de aprobarlos. El servidor oficial y final es Leapfrog Central, por cada modelo de recursos se crea un proyecto, donde todos los entregables se van agregando al mismo proyecto, a medida que avanza el flujo. Para llevar a cabo cada ciclo, es necesario ocupar los entregables del ciclo anterior que son dependientes al proyecto de Leapfrog Geo, por esto se extrae el paquete de entregables acumulados desde el proyecto, por ejemplo, para desarrollar la base de datos compositada se requiere, como mínimo, la base de datos original y además se descarga los modelos geológicos, y así sucesivamente.

En los tres primeros ciclos, la Gerencia de Recursos Mineros (GRM) es la encargada del proceso de aprobación, ya sea revisando o asignando revisores, sin embargo, en el caso de las divisiones del distrito norte, el Gerente de Desarrollo Distrito Norte puede reemplazar a la GRM en esta labor.

En cuanto a la calendarización de actividades, la División debe organizarse para cumplir con la fecha de entrega del modelo de recursos actualizado y con todos sus componentes aprobados, para el 31 de diciembre, de cada año. Fecha en la cual la GRM carga el modelo de recursos final en la base de datos Corporativa y el Gerente de Recursos Mineros y Desarrollo (GRMD) inicia el proceso de Planificación Minera.

Dependiendo de la metodología de trabajo, puede darse que en la División se desarrolle y utilice la base de datos compositada antes de actualizar los modelos geológicos, si se da este caso, el flujo se reordena para dar solución a esto, mientras que las acciones en los ciclos se mantienen, por lo tanto, después de aprobar la actualización de la base de datos original (punto B, figura 9 (b)) se procede a generar la base de datos compositada y su proceso de aprobación.

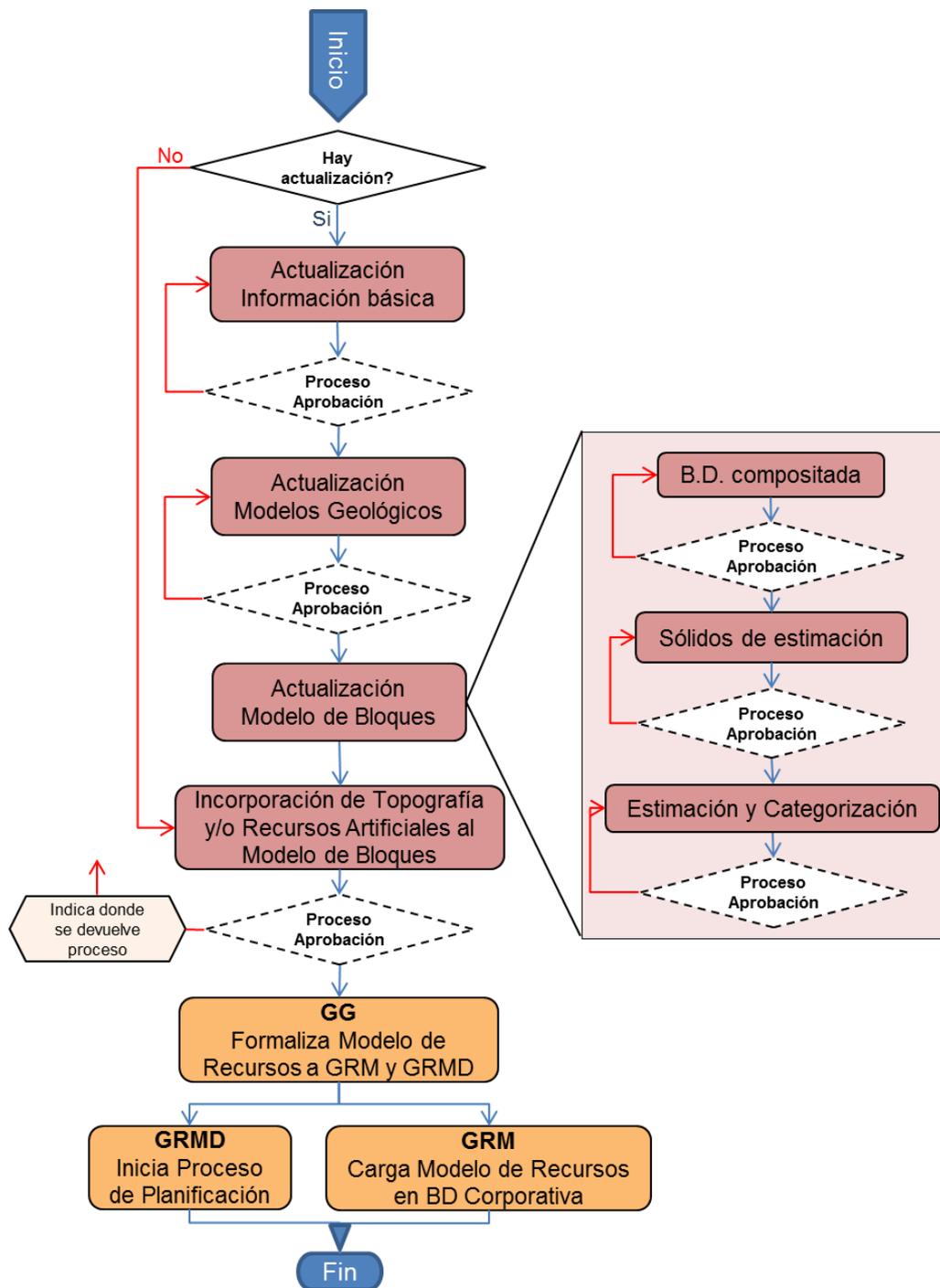


Figura 8: Flujo de Trabajo General para la actualización del Modelo de Recursos.

Los ciclos de la actualización de Información básica, actualización Modelos Geológicos y los subciclos de actualización del Modelo de Bloques, junto con sus procesos de aprobación, tienen las mismas características debido a que las acciones apuntan al mismo objetivo. Por esto, a continuación, se examinará en detalle las acciones del primer y último ciclo, el flujo completo se muestra desde las figuras 9 a 14 y en la figura 15 se presenta la leyenda.

❖ Primer ciclo: Actualización de la Información básica (figura 9 (a))

En primer lugar, el geólogo/a comienza la actualización, cargando la base de datos con la información básica, a un servidor, definido por la División. Esta acción implica que la base de datos se congela, para que no se ingrese información adicional ya que puede existir la necesidad de agregar datos capturados o volver a capturar nuevos datos desde la fuente de origen, para dar respuesta a nuevas exigencias del proceso, lo que generaría confusión con la base de datos definitiva a utilizar para el proceso. Luego, el geólogo redacta el informe de la base de datos y lo entrega en el servidor. Ambos archivos conforman el primer entregable.

Una vez disponible el primer entregable para ser revisado, le llega una notificación al Superintendente de Geología de la División. El Superintendente tiene la responsabilidad de descargar la base de datos con su informe, aprobar ambos y publicarlos, como un paquete, en Leapfrog Central.

❖ Proceso de aprobación Corporativa de la Actualización de la Información básica (figura 9 (b)):

Cumplido lo anterior, recibe una notificación el Director de Geociencias de la Gerencia de Recursos Mineros, para que asigne los revisores del entregable en Leapfrog Central. La cantidad de revisores depende de las temáticas a revisar, las cuales también son escogidas por el Director de Geociencias. En la figura 9 (b), se puede observar que los tópicos a revisar de la base de datos son Análisis Estadístico de Datos, QAQC y Diferencias con el Modelo vigente². Sin embargo, éstos son sólo ejemplos, el Director de Geociencias tendrá flexibilidad para agregar o cambiar tópicos, al igual que a los revisores.

El/los revisor/es, puede ser un profesional o una empresa, pertenecer a la GRM, GRMD o ser externos a la Corporación. Cada revisor descarga la información necesaria para desarrollar su tarea, revisa y toma la decisión de si aprobar o rechazar.

El revisor puede aprobar, pero tener observaciones. Estas observaciones son de nivel 1 o 2, es decir, son recomendaciones de mejoras o errores leves, que no influyen drásticamente en el proceso pero que se deben arreglar. Derivan a un flujo de trabajo paralelo, en el cual se hace un seguimiento a las observaciones y permite dar un término cuando las observaciones estén resultas. Si todos los revisores aprueban, se puede continuar con el siguiente ciclo, en este caso, la actualización de modelos geológicos. Basta que un revisor no apruebe para que el ciclo se devuelva hasta la acción de cargar la base de datos, punto número 2 de la figura 9 (a), debiendo entregar una justificación por la cual rechazó.

² Es el último Modelo de Recursos oficial. Por ejemplo, si se está desarrollando el proceso de actualización para el período 2018, el modelo vigente corresponde al del año 2017.

Las observaciones de nivel 3 o 4, es decir, errores fatales o gravísimos, constituyen razones de no aprobación y deben arreglarse en el corto plazo, éstas se entregan al geólogo con copia al Superintendente de Geología, para que las resuelva.

- ❖ Cuarto ciclo: Incorporación de la topografía y/o recursos artificiales al modelo de bloques y su aprobación.

Esta parte del proceso es una interacción de las disciplinas de Geología y Planificación, para que exista retroalimentación entre las dos áreas y concuerden en la generación de un Modelo de Bloques óptimo para desarrollar sus funciones.

Este ciclo empieza posterior a la aprobación de la estimación y categorización de recursos (punto J figura 13 (a)), Planificación debe publicar la topografía (al período de diciembre) y/o modelo de bloques de los recursos artificiales a un servidor definido por la División. Las acciones de descargar estos entregables, junto al modelo de bloques del ciclo anterior (entregable E5F, figura 13 (a)), integrarlos para generar el modelo de bloques con topografía y/o recursos artificiales y entregarlos, pueden ser realizadas por el área de Planificación o Geología de la División, sin embargo, se recomienda que lo realice Planificación.

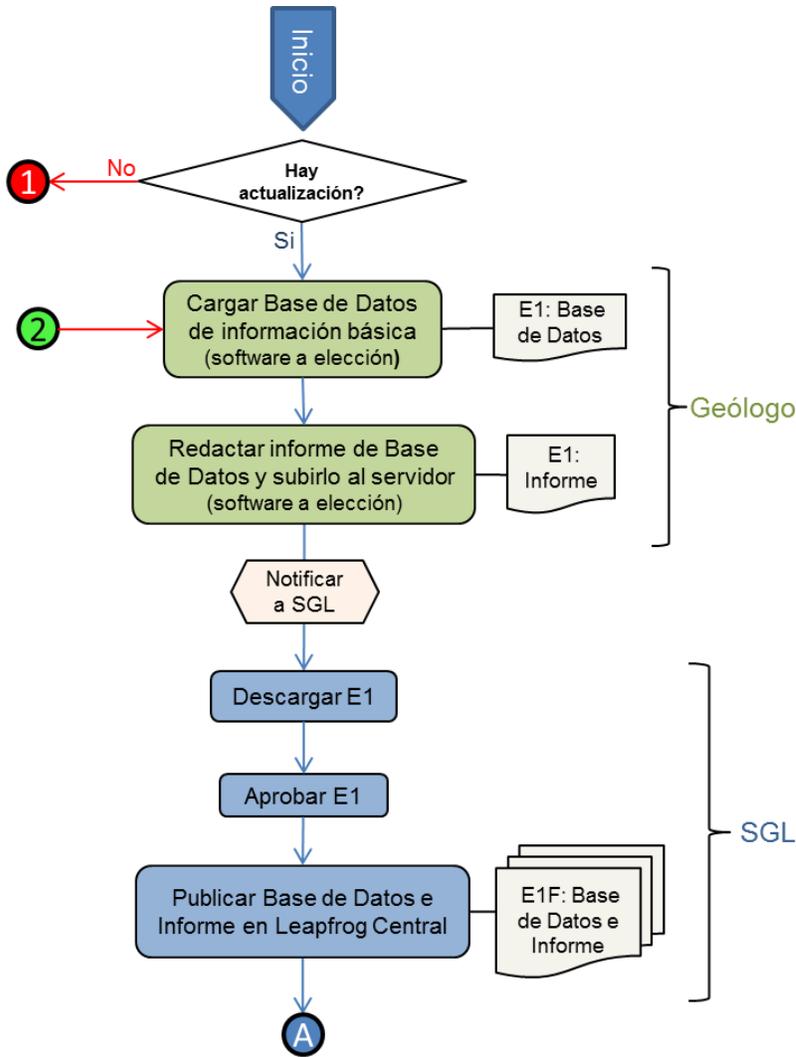
- a. Si lo genera Planificación, inmediatamente decide si hacer observaciones respecto al modelo de bloques integrado (entregable E6), el flujo sigue el punto K de la figura 14 (b).
- b. En cambio, si lo ejecuta el Geólogo, se le notifica al Superintendente de Geología, para que descargue y apruebe el modelo de bloques integrado, que luego, siguiendo el punto L de la figura 14 (b), Planificación deberá revisar y decidir si realizar observaciones.

En el caso que se haga una o más observaciones, el Superintendente de Geología las analizará para tomar la decisión si devolver el flujo para realizar cambios, indicando el punto del ciclo en que se retrocede el proceso, o no hacer cambios y justificar la decisión. Las acciones a seguir, por parte del SGL, una vez que Planificación resuelve no efectuar observaciones o el SGL decide no realizar cambios en el modelo, son preparar un resumen ejecutivo del modelo de bloque y publicarlo en Leapfrog Central con el Modelo de Bloques Integrado.

La última aprobación es responsabilidad del Gerente General de la División. Para esto, el Gerente de Recursos Mineros y Desarrollo le da aviso para que revise el Modelo de Bloques Integrado y, posteriormente, formalizar el Modelo para ser utilizado o rechazarlo, devolviendo el proceso.

Cuando el flujo comienza por el punto número 1 de la figura 14 (a), se requieren todos los entregables que constituyen el modelo de recursos vigente, es decir, base de datos, modelos geológicos y modelo de bloques, para efectuar este ciclo y las acciones son las explicadas anteriormente.

Como se vio en estos ciclos y en todo el flujo, se reitera la acción de descargar los entregables ya que se busca asegurar que los profesionales ocupen los archivos oficiales, que son entregados en el proceso y no por intercambio por otros medios que puede llevar a errores. Además, por otro lado, se da libertad en todo el proceso para que cada División trabaje con el software que estime conveniente, pero el entregable oficial debe ser cargado en Leapfrog Central.



(a)

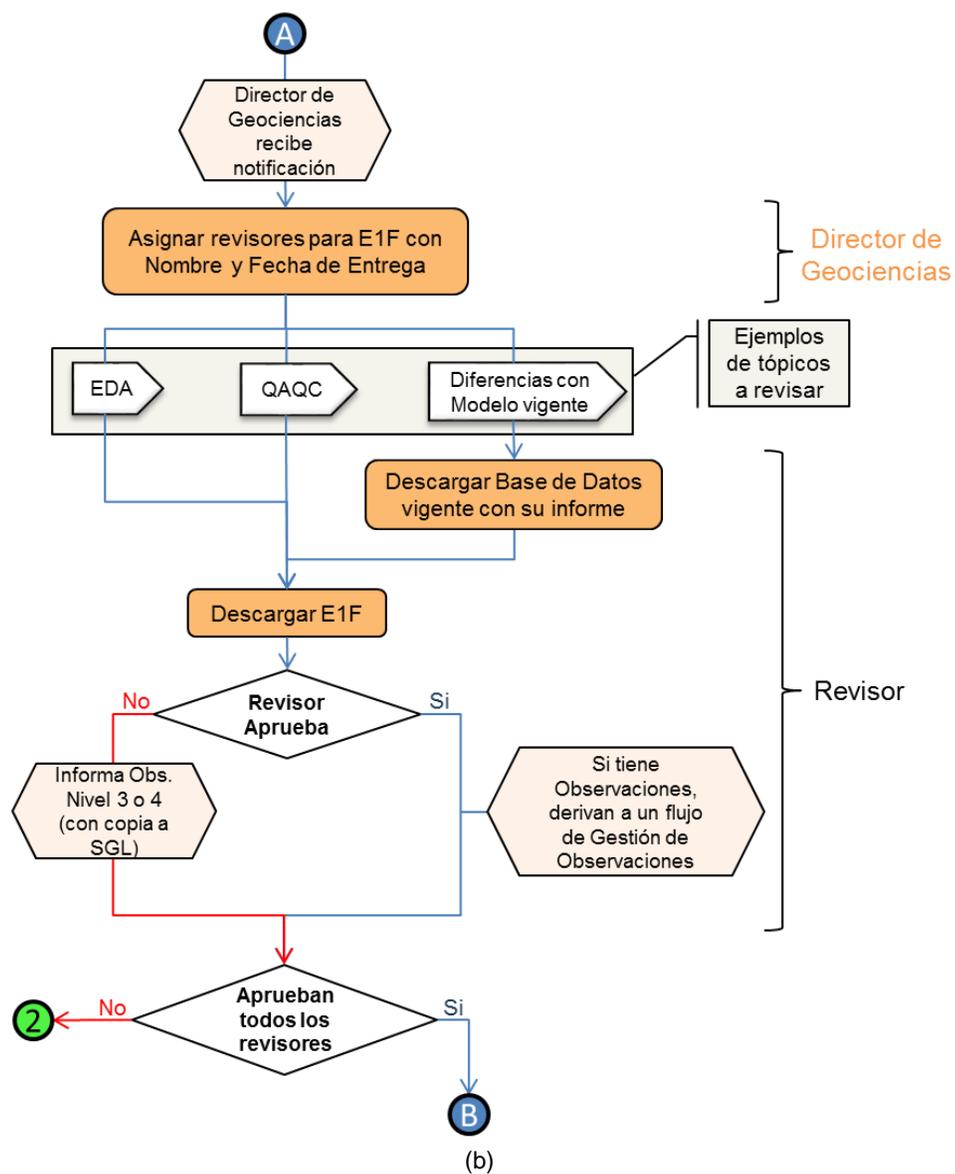
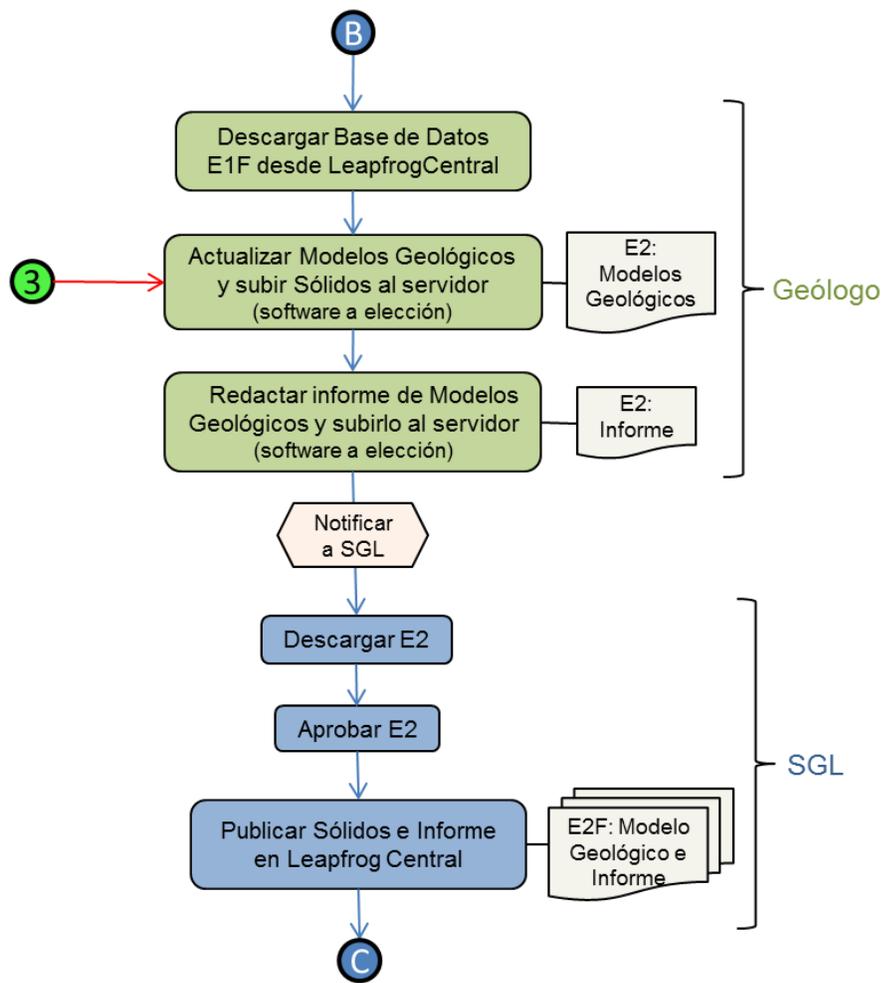
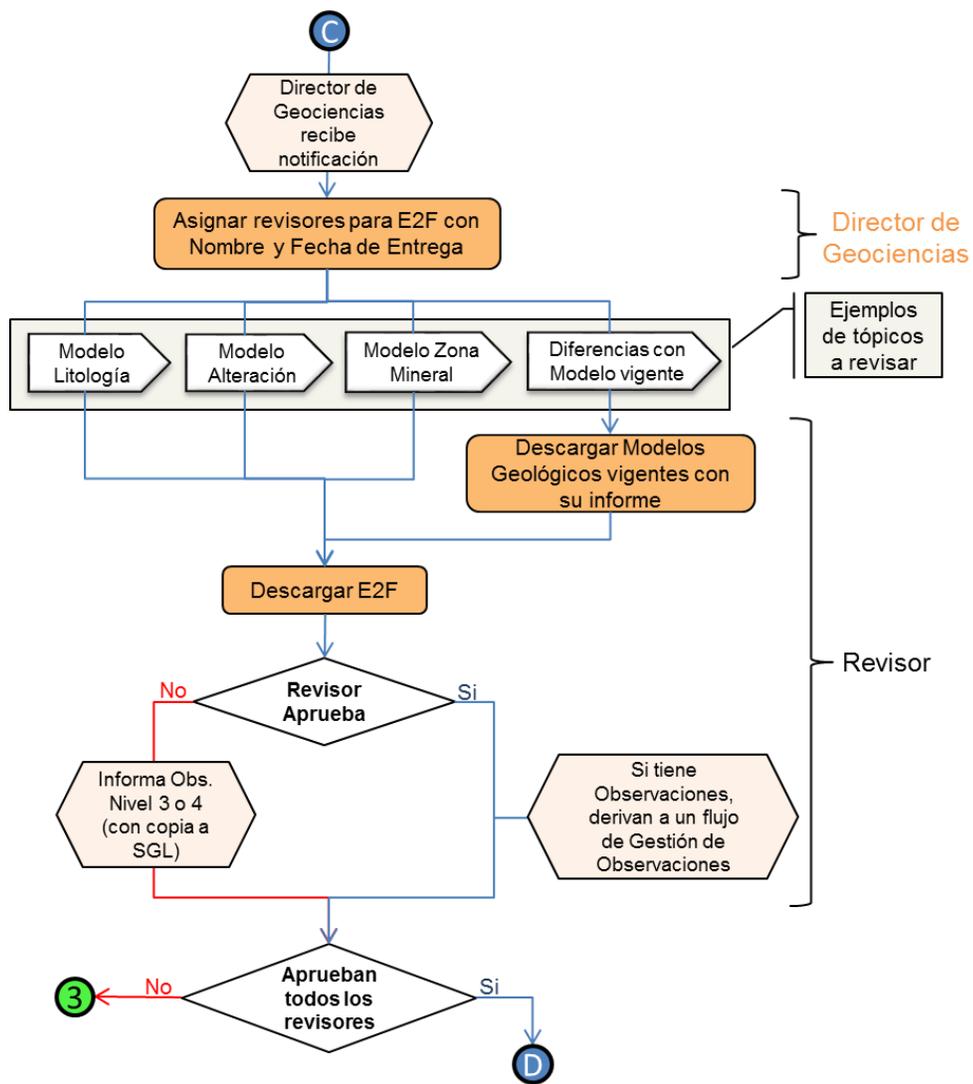


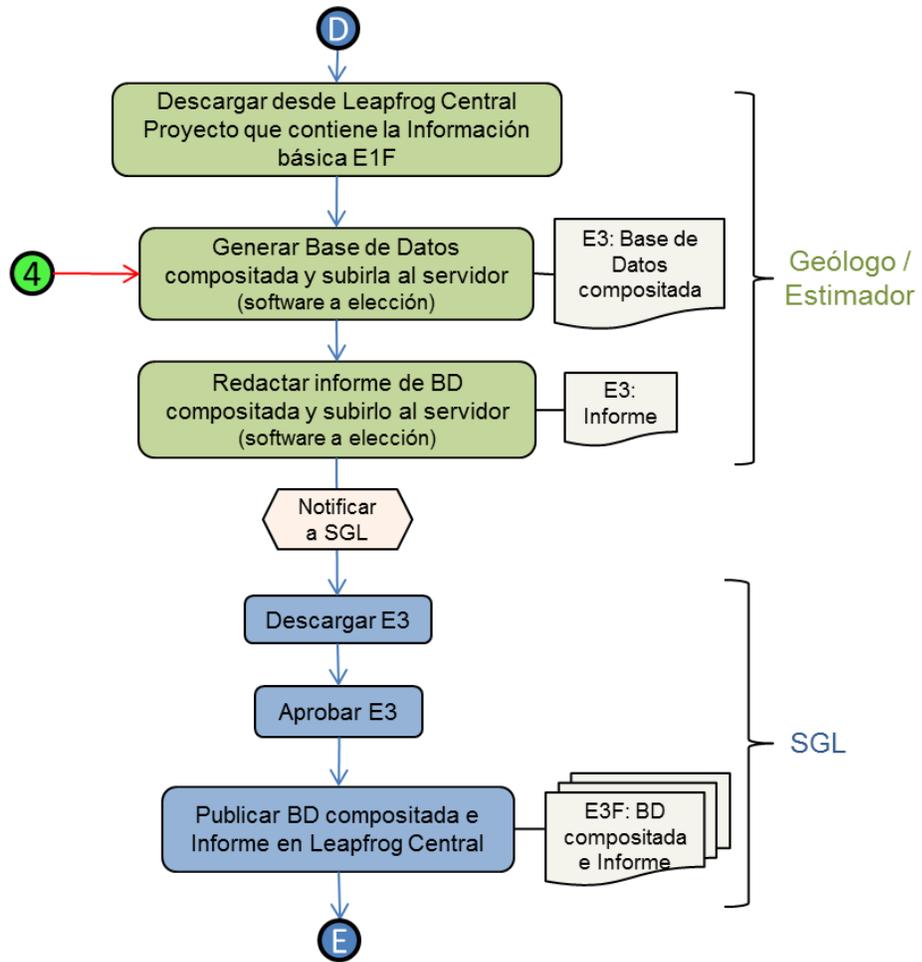
Figura 9: (a) Ciclo de Actualización Información básica, inicio Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Información básica.





(b)

Figura 10: (a) Ciclo de Actualización Modelos Geológicos, Segundo Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Modelos Geológicos.



(a)

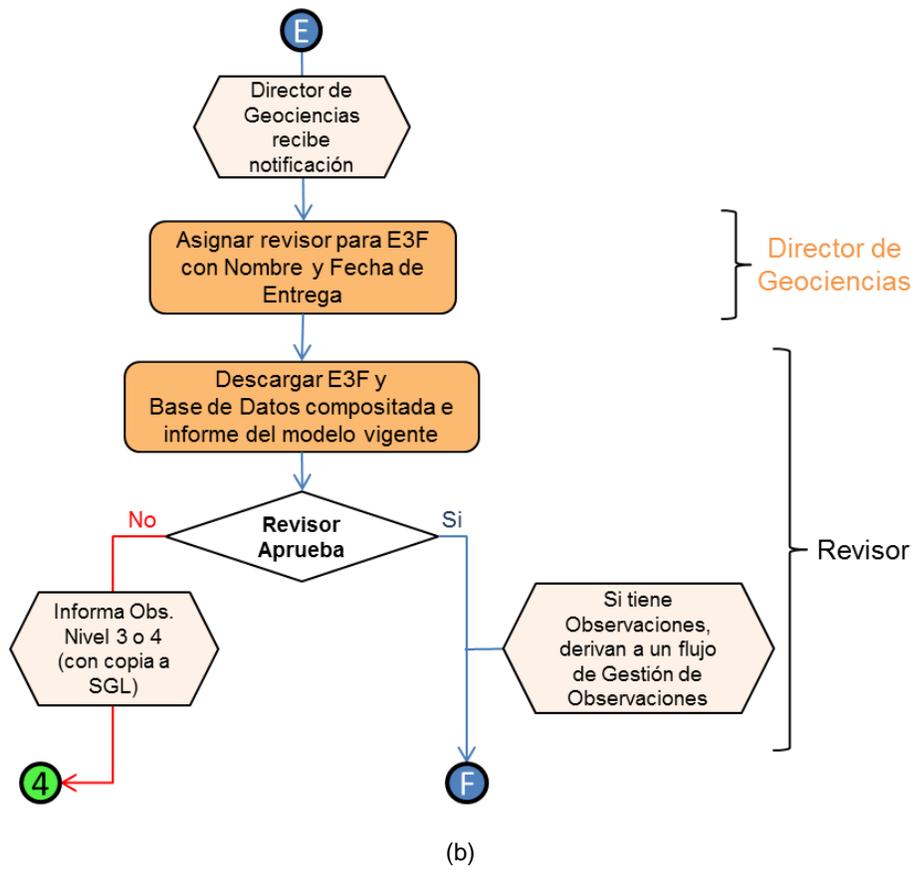
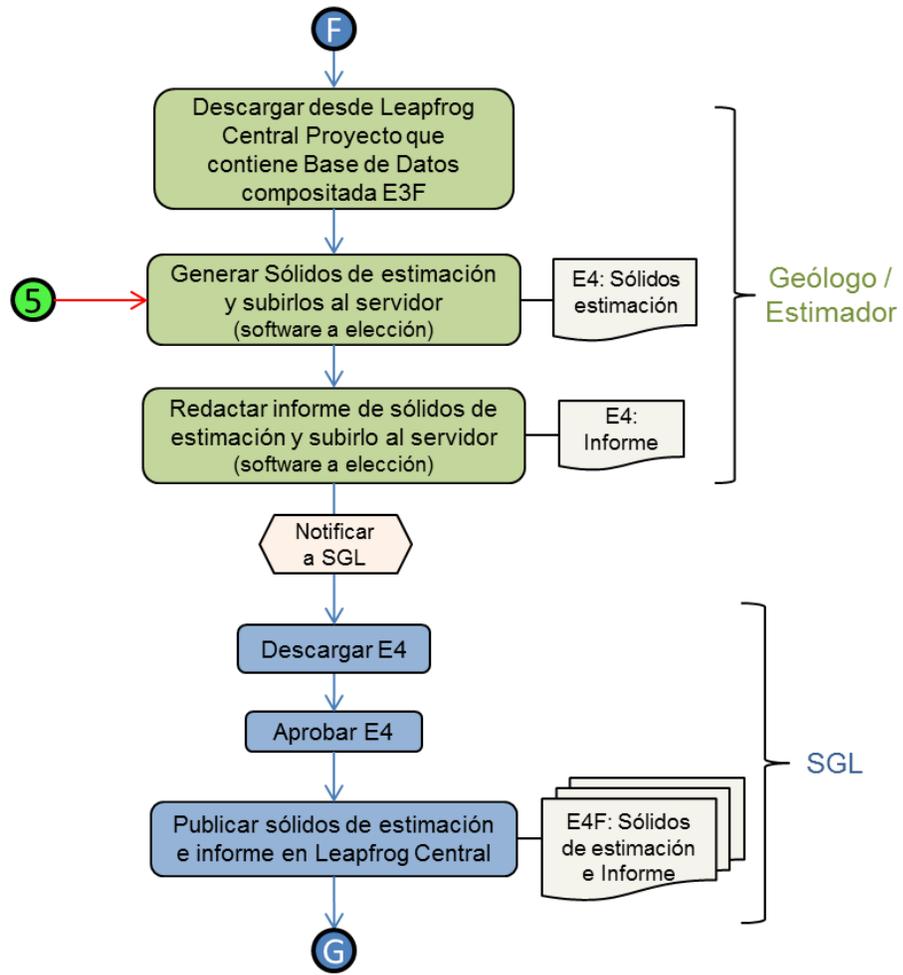


Figura 11: (a) SubCiclo de Base de Datos Compositada, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Base de Datos Compositada.



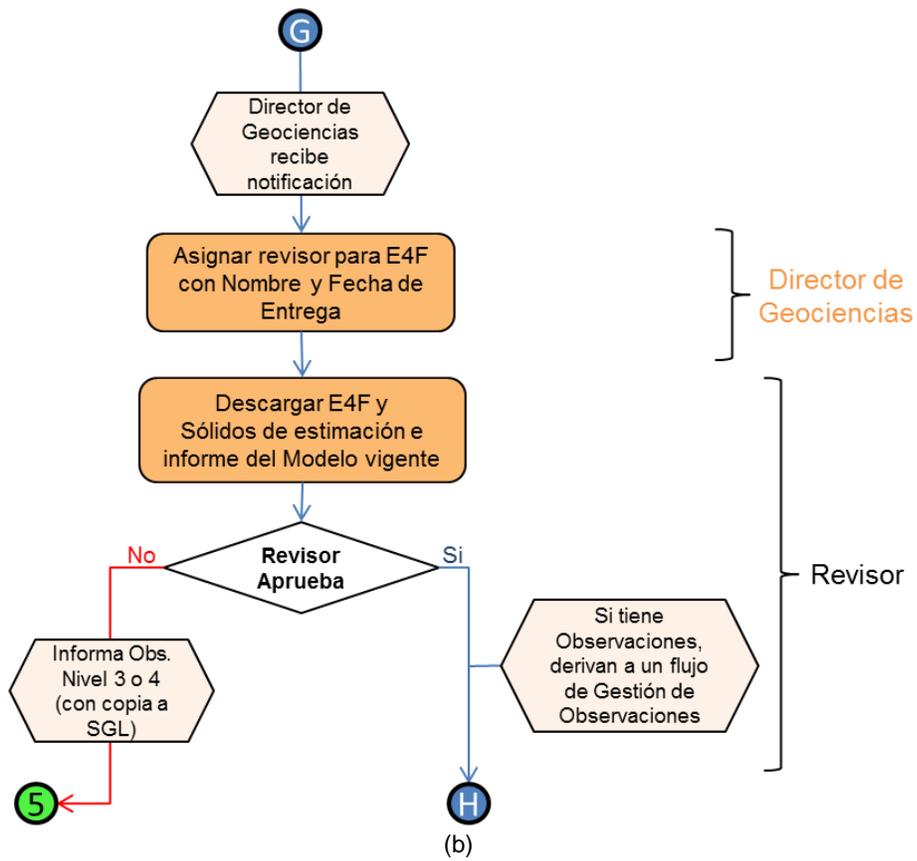
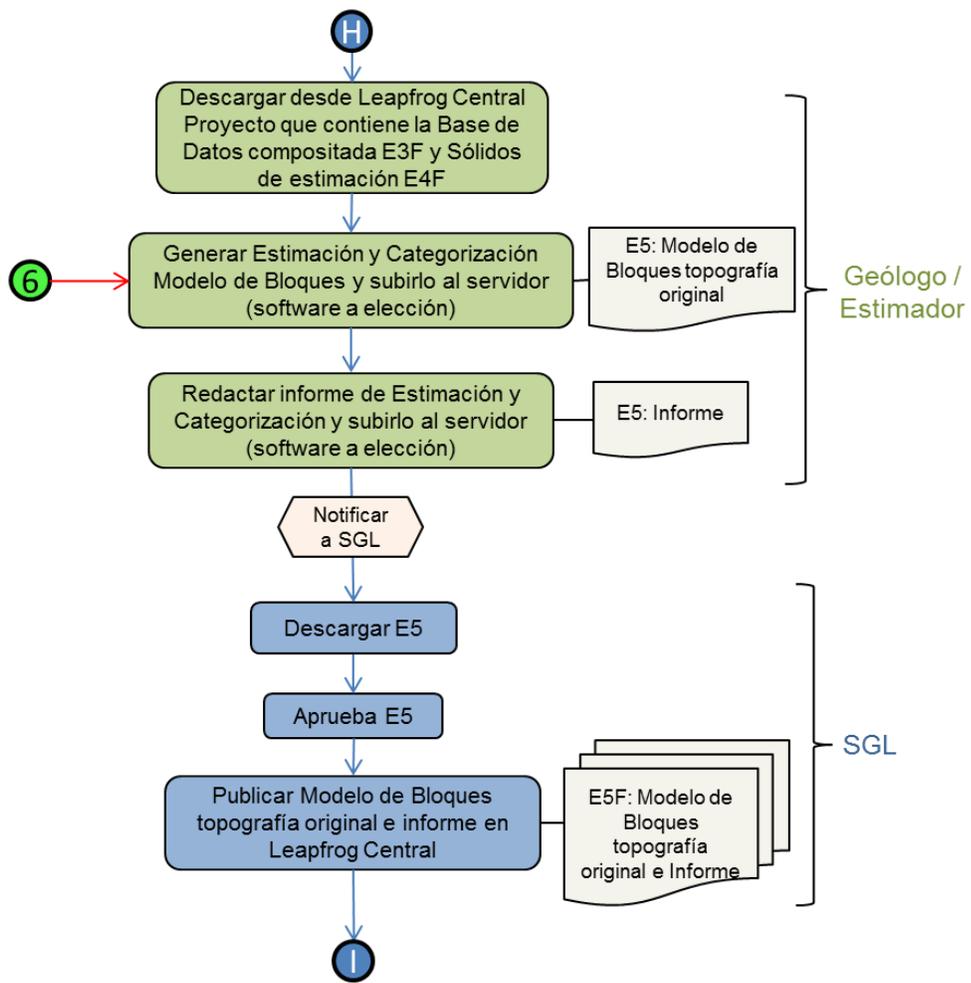


Figura 12: (a) SubCiclo de Sólidos de Estimación, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Sólidos de Estimación.



(a)

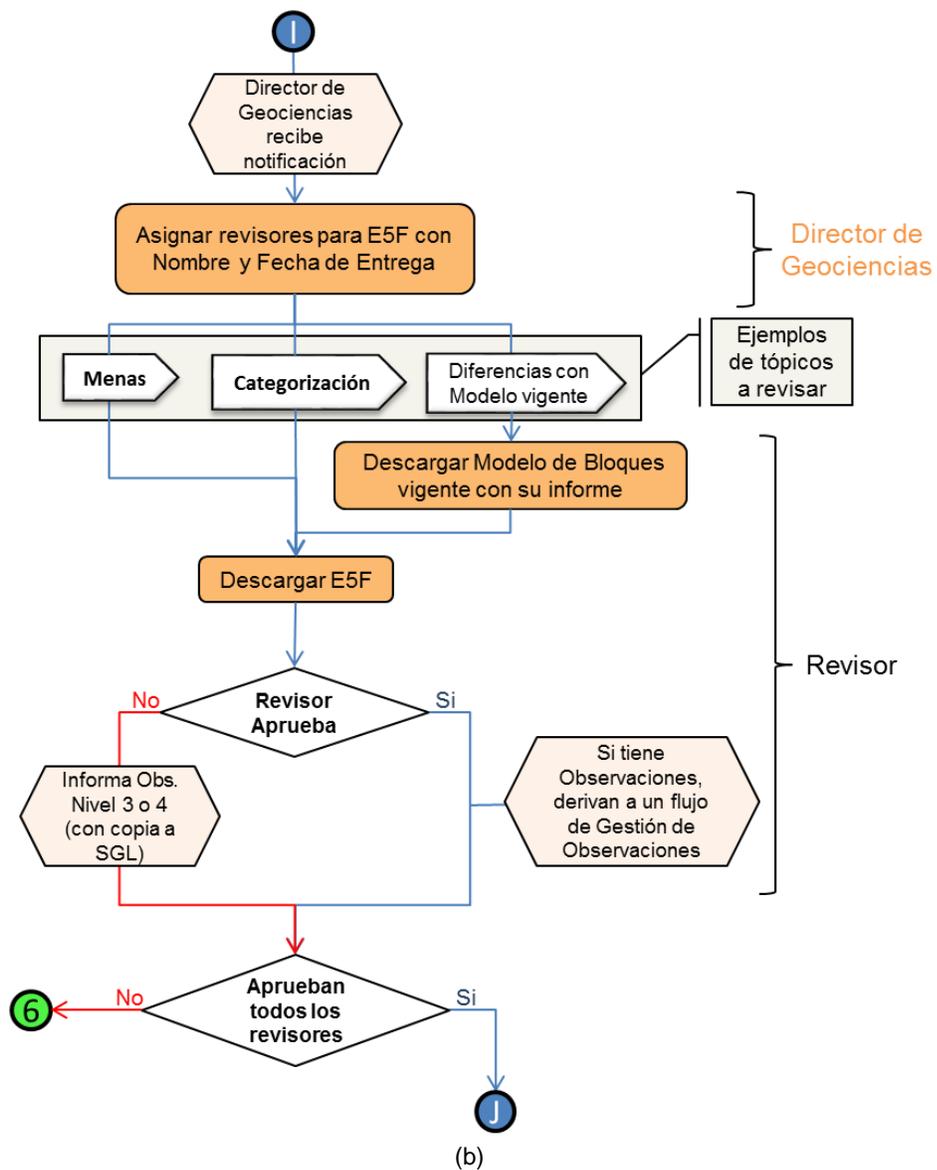
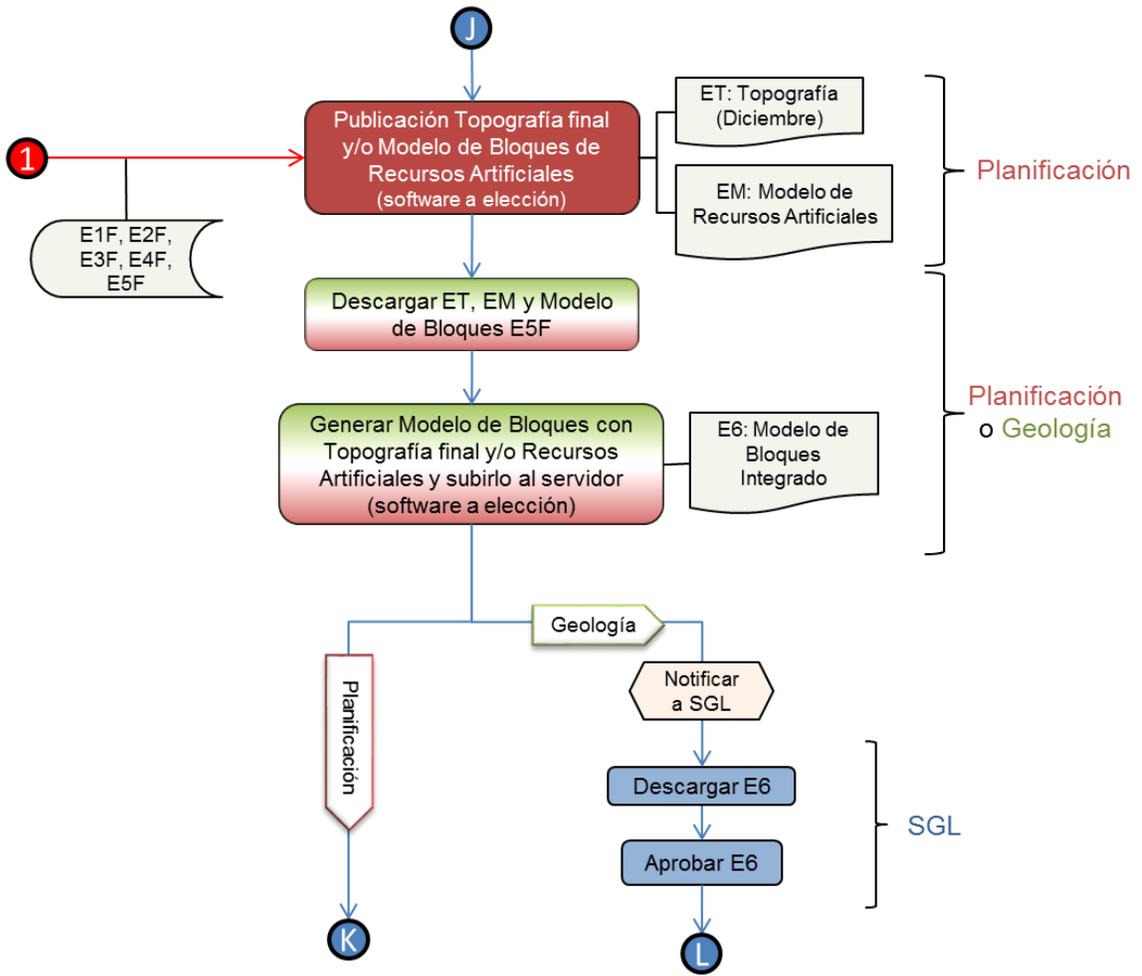
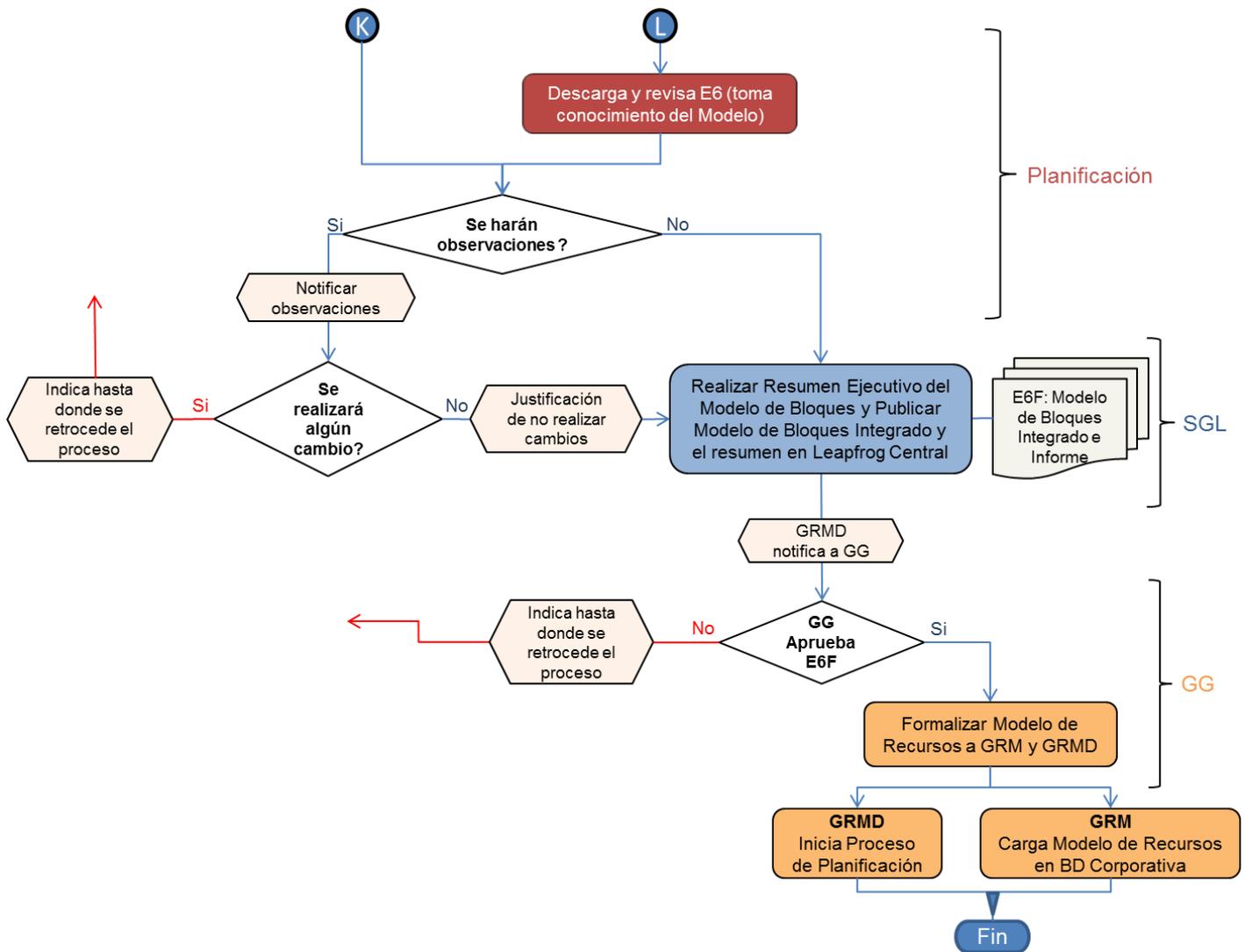


Figura 13: (a) SubCiclo de Estimación y Categorización, Ciclo Actualización Modelo de Bloques, Tercer Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Estimación y Categorización.





(b)

Figura 14: (a) Ciclo Incorporación de la Topografía y/o Recursos Artificiales al Modelo de Bloques, Cuarto Ciclo del Flujo de Trabajo. (b) Proceso de Aprobación Incorporación de la Topografía y/o Recursos Artificiales al Modelo de Bloques.

Legenda:

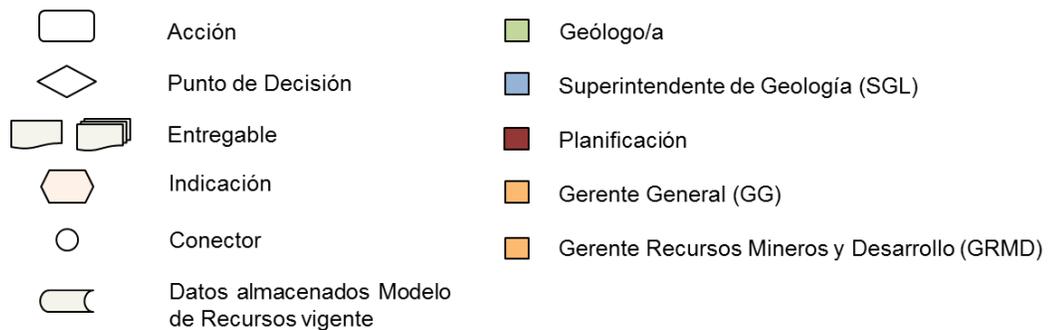


Figura 15: Legenda del Flujo de Trabajo.

5.3 Mínimos Entregables Modelo de Recursos

5.3.1 Introducción

Con el fin que los entregables del flujo de trabajo contengan toda la información necesaria para que cualquier profesional, externo o interno a la Corporación, sea capaz de entender y reproducir el modelo de recursos de la División y, además, sea útil para los planes mineros, se desarrollan los mínimos entregables. Estos constituyen los requerimientos mínimos de entrega de archivos y las temáticas a presentar en los informes.

Los mínimos entregables de los informes se presentan como un documento guía para reportar cada procedimiento de actualización del modelo de recursos y verificaciones mínimas que se deben cumplir para la validación. El informe quedará guardado en Leapfrog Central, adjuntándolo al proyecto, a través de la herramienta *Attachments* de Leapfrog.

En los siguientes capítulos se exponen los mínimos entregables del modelo de recursos.

5.3.2 Actualización Información básica

La Base de Datos se carga en Leapfrog Central con la totalidad de la información geológica básica que sustente la realización de los modelos geológicos y el proceso de estimación de recursos, los cuales constituirán el modelo de recursos actualizado por el período de un año. Puede contener otro tipo de información, pero no es necesario que se cargue y deben quedar claramente identificados los datos que se usaron y los que no. A su vez, los datos que se utilizaron en la actualización del modelo de recursos deben clasificarse según su uso en modelamiento geológico y/o estimación.

La base de datos, debe incluir información referente a:

1. Tipo de perforación (DD, AR, canaleta, otro).
2. Nombre de las muestras o sondajes.
3. Campaña / año.
4. Fecha de inicio y término del sondaje.
5. Diámetro testigos por metros perforados.
6. Largo total del sondaje.
7. Collar.

8. Trayectoria.
9. Recuperación de la muestra.
10. Humedad de la muestra.
11. Densidad de la muestra.
12. Atributo con la identificación si las leyes de las muestras han sido analizadas por QAQC.
13. Atributos geológicos por tramo, que sean necesarios para construir los modelos.
14. Identificación de los sondajes que son históricos.
15. Incluir un atributo o variable de la calidad de la muestra, según las categorías de la norma NCC31 (ver sección 5.3.2.2.9).
16. Las fotografías del testigo no se cargan en la base de datos, sin embargo, se debe dejar un inventario de los sondajes que cuentan con fotografías y que se ocupan para la actualización, en el Anexo del informe.

Informe Base de Datos

A continuación, se detalla la estructura del informe y su contenido mínimo:

1. Primeramente, se anotan los responsables del informe y los profesionales participantes en el proceso con nombre, cargo y firma.
2. Requerimientos Básicos: las imágenes y los gráficos incorporados al informe deben ser visibles y la información escrita que contengan debe ser legible.

5.3.2.1 Programa Control Calidad

5.3.2.1.1 Procedimientos

Completar la tabla 3 con los procedimientos o protocolos que se ocupan a lo largo del proceso de actualización del modelo de recursos, desde que se recolecta la muestra hasta que el dato es almacenado en la base de datos, identificando los que son parte de la División y los que hacen empresas externas.

Tabla 3: Identificación de los procedimientos o protocolos.

Procedimiento	Interno	Externo
Mediciones Topográficas	✓	
Mediciones de Desvíos de Trayectoria		✓
...		

5.3.2.1.2 Resultados Control y Aseguramiento de la Calidad

Informar antecedentes y resumen de los resultados del control y aseguramiento de calidad para las leyes de las nuevas muestras o batch asociadas al procesamiento de los sondeos, incorporados a esta actualización del modelo de recursos, de la siguiente manera:

1. Indicar el laboratorio(s) involucrado(s) en los procesos de corte de testigo, preparación mecánica y análisis químico para este período.
2. Señalar la frecuencia en que se realiza el proceso de QAQC.

A continuación, se deben presentar los resultados del QAQC dividido por el tipo de control, con el fin de verificar que las muestras ingresadas a la base de datos están dentro de los rangos permitidos.

5.3.2.1.2.1 Control de Medio Testigo

1. Indicar como se controla (metodología de control) el proceso de corte de medio testigo, para cumplir con los protocolos asociados.

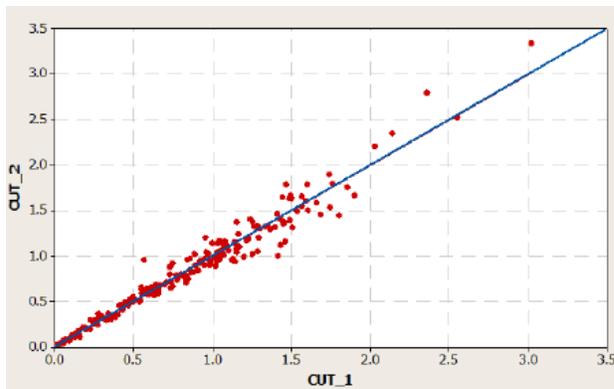
2. Presentar el análisis estadístico y gráficos por elemento principal, del control global de medio testigo, siguiendo estos puntos:
 - a. En la tabla 4, señalar los rangos de precisión aceptada, por elemento principal.
 - b. En la tabla 5, presentar la estadística de las muestras control para cada elemento principal.
 - c. Gráficos:
 - i. Dispersión (correlación muestra original v/s muestra duplicado) para elementos principales, ver figura 16 (a).
 - ii. Diferencia relativa v/s ley promedio de la muestra par para elementos principales, ver figura 16 (b).
 - iii. Diferencia relativa absoluta por porcentaje de datos para elementos principales, ver figura 16 (c).
 - iv. Diferencia relativa en el tiempo para elementos principales, ver figura 16 (d).
 - v. Se pueden agregar otros gráficos que estimen conveniente.
3. Conclusión de los resultados
 - a. Redactar la conclusión de los resultados sobre el análisis de los controles de medio testigo, referirse a la precisión y sesgo.
 - b. En el caso que, durante la revisión de los resultados de este control, se detectó valores fuera de rango o sesgo, mencionar la gestión efectuada en la tabla 6.
 - c. Se debe buscar el origen de los valores fuera de rango o con sesgo, por esto, si es necesario, realizar el análisis y gráficos anteriores dividiendo los resultados por laboratorio, por rango le leyes o por tipo de sondaje.

Tabla 4: Precisión aceptada en el proceso de medio testigo.

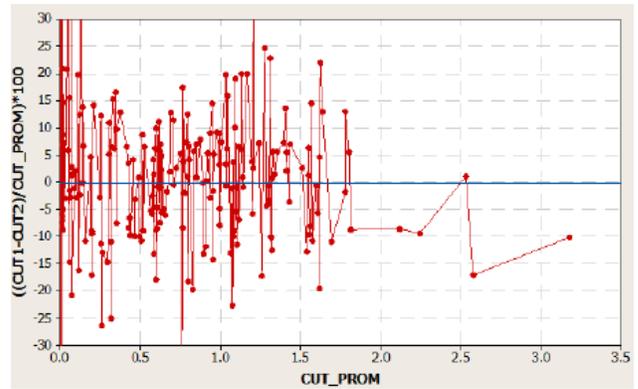
Elemento	Precisión Aceptada
CuT	
Mo	
As	

Tabla 5: Estadística global de las muestras control medio testigo.

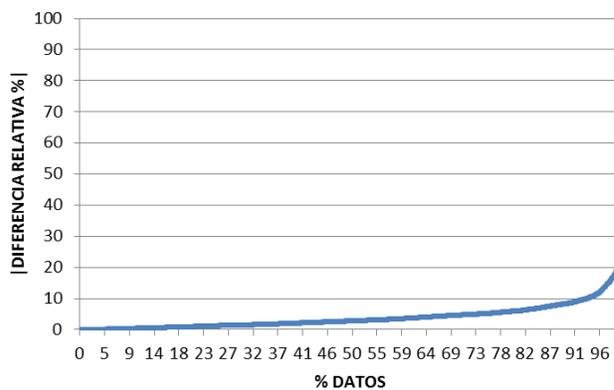
	(Elemento)	
	Original	Duplicado
N		
Mínimo		
Máximo		
Promedio		
Desviación estándar		
Varianza		
CV		
Error relativo medio		
t (student)		
% Sesgo		



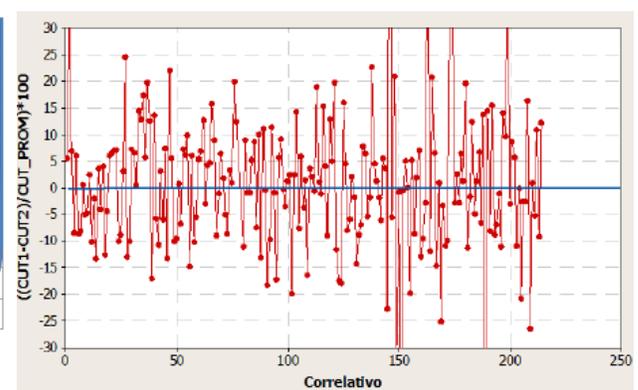
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 16: Ejemplos gráficos control para CuT (a) Dispersión. (b) Diferencia relativa v/s ley promedio. (c) Diferencia relativa absoluta por porcentaje de datos. (d) Diferencia relativa en el tiempo.

Tabla 6: Identificación de valores fuera de rango en el control de medio testigo.

ID Muestra con problemas	Gestión

5.3.2.1.2.2 Control de Preparación Mecánica

1. Indicar como se controla (metodología de control) el proceso de preparación mecánica, para cumplir con los protocolos asociados.
2. Presentar los resultados del control global de preparación mecánica, de la misma forma que la expuesta en el punto 2 de la sección 5.3.2.1.2.1 del Control de Medio Testigo, es decir, incorporar la tabla 4, tabla 5 y figura 16.
3. Concluir sobre los resultados, como se expuso en el punto 3 de la sección 5.3.2.1.2.1 del Control de Medio Testigo.

5.3.2.1.2.3 Control de Análisis Químico

5.3.2.1.2.3.1 Duplicados

1. Indicar como se controla (metodología de control) el proceso de preparar el duplicado de análisis químico, para cumplir con los protocolos asociados.
2. Presentar los resultados por elemento principal, del control global de duplicado para análisis químico, de la misma forma que la expuesta en el 2 de la sección 5.3.2.1.2.1 del Control de Medio Testigo punto, es decir, incorporar la tabla 4, tabla 5 y figura 16.
3. Concluir sobre los resultados, como se expuso en el punto 3 de la sección 5.3.2.1.2.1 del Control de Medio Testigo.

5.3.2.1.2.3.2 Materiales de referencia

1. Indicar como se controla (metodología de control) el proceso de preparar los materiales de referencia, para cumplir con los protocolos asociados.
2. Señalar la cantidad de estándares y blancos utilizados, por elemento principal.
3. En el certificado de estándar, debe existir un ítem con la justificación de la elección de las muestras destinadas a materiales de referencia, con el fin de demostrar que las muestras se escogieron conforme a los criterios geológicos de la norma SGP-GT-GEO-NOR-009.
4. Presentar por elemento principal, el análisis estadístico y gráficos para las lecturas de los materiales de referencia, siguiendo estos puntos:
 - a. Indicar en la tabla 7 (a), el valor recomendado o certificado y límites permitidos, por estándar y elemento principal.
 - b. En la tabla 7 (b), presentar la estadística global para cada material de referencia.

c. Gráficos:

- i. Ley certificada v/s ley reportada por el laboratorio para cada elemento principal, ver figura 17 (a).
- ii. Número batch v/s ley reportada por el laboratorio, ver figura 17 (b).
- iii. Ley reportada por el laboratorio en el tiempo, ver figura 17 (c).
- iv. Desviaciones estándar de los Estándares por fecha de envío, ver figura 17 (d).
- v. Se pueden agregar otros gráficos que estimen conveniente.

5. Conclusión de los resultados:

- a. Redactar el estudio del análisis de los materiales de referencia para el control de análisis químico y concluir respecto a la exactitud y sesgo.
- b. En el caso que, durante la revisión de los resultados de este control, se detectó valores fuera de los límites permitidos o sesgo, incluir la gestión efectuada, usando la tabla 6.
- c. Se debe buscar el origen de los valores fuera de rango o con sesgo, por esto, si es necesario, realizar el análisis y gráficos anteriores dividiendo los resultados por laboratorio, por rango de leyes o por tipo de sondaje.

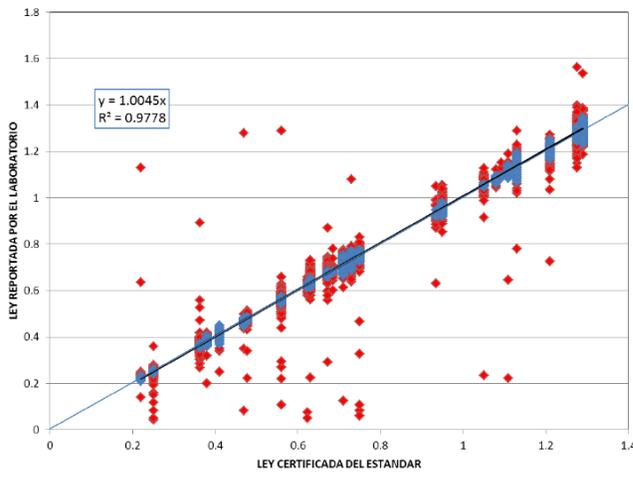
Tabla 7: (a) Valores certificados Materiales de Referencia. (b) Estadística global por Material de Referencia.

(a)

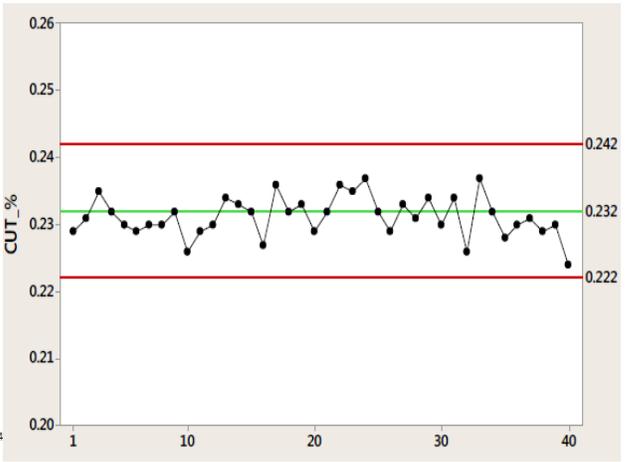
ID Estándar	Cu			Mo			As		
	Valor certificado	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Valor certificado	Lim. Inf.	Lim. Sup.	Valor certificado	Lim. Inf.	Lim. Sup.
...									

(b)

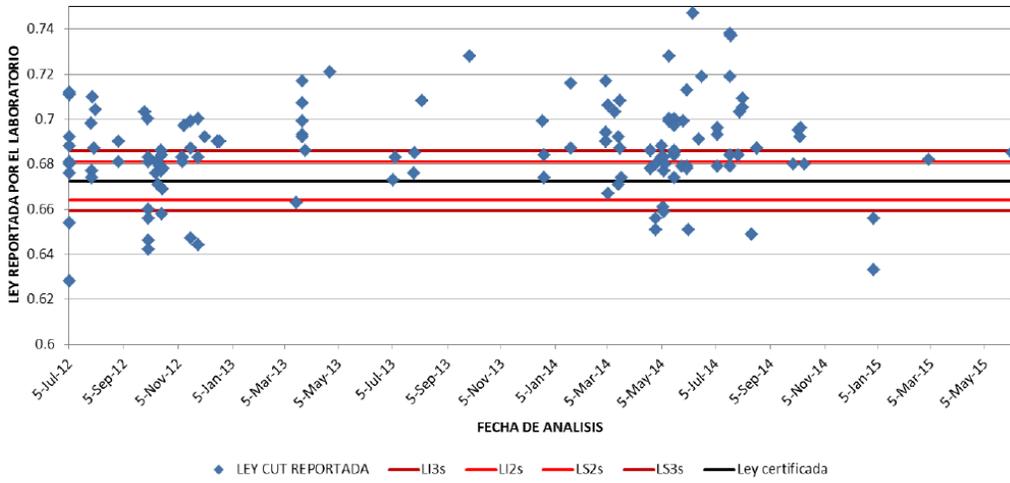
ID Estándar	N	Mín.	Máx.	Promedio	Desv. Est.	Coef. Var.	Nº de outlier	% de outlier	% Sesgo



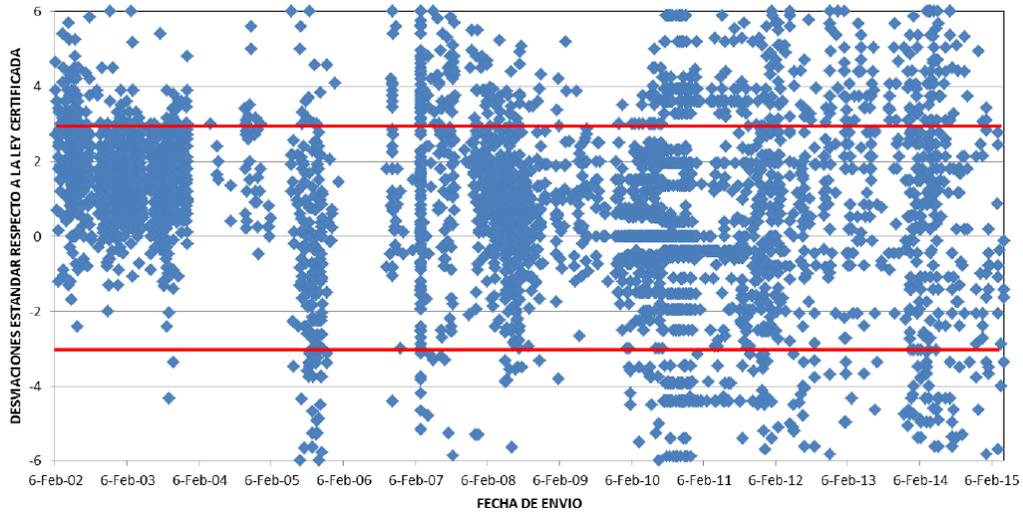
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 17: Ejemplo de gráfico control estándares para CuT (a) Ley certificada v/s ley reportada por el laboratorio. (b) Número batch v/s ley reportada por el laboratorio. (c) Ley reportada por el laboratorio en el tiempo. (d) Desviaciones estándar del estándar por fecha de envío.

5.3.2.2 Base de Datos

Este ítem del informe recopila características de la información que contiene la base de datos. Se estructura de la siguiente manera:

5.3.2.2.1 Antecedentes

1. Listado, tabla 8, de los componentes o archivos en la base de datos, junto a la cantidad de muestras por componente.
2. Por componente de la base de datos, informar las variables que lo constituyen en una tabla (ver tabla 9). Además, en el caso de variables numéricas, indicar la unidad, cantidad de cifras significativa y el rango de valores en la misma tabla.
3. Señalar el identificador (ID) usado para los casos de datos con tramo sin información o no existencia de valor y bajo límite de detección, como se muestra abajo. Agregar si se da otro caso.
 - a. Tramo sin información o dato no existe: _____
 - b. Valor bajo límite de detección: _____
 - c. Otro: _____

Tabla 8: Ejemplo de listado de componentes de la base de datos.

Componente	N° de muestras
Litología	
Zona Mineral	
Leyes	
...	

Tabla 9: Listado de variables de cada componente de la base de datos.

Nombre de la variable	Descripción	Unidad	Cantidad cifras significativas	Rango de valores
...	

5.3.2.2.2 Estadística de datos

1. Realizar un análisis estadístico de las poblaciones de datos para los elementos relevantes (CuT, Mo, As) y exponerlo en la tabla 10.
2. Analizar las poblaciones de datos por atributos geológicos para los elementos relevantes (CuT, Mo, As), y exponerlo en una tabla con los mismos estadígrafos de la tabla 10. Por ejemplo, análisis de CuT por las litologías existentes.

Tabla 10: Estadística por población de datos.

Estadígrafos	N° Datos	Mínimo	Máximo	Promedio	Desviación estándar	Varianza	Coef. Var.
Ley de CuT							
Ley de Mo							
Ley de As							
Otro elemento							

5.3.2.2.3 Tipo de muestreo

1. Informar en la tabla 11 (a) los tipos de muestreo registrados en la base de datos.
2. Además, en la tabla 11 (b), identificar cuántos de estos sondeos son históricos, con su equivalente en metros.

Tabla 11: (a) Información tipos de muestreo de la base de datos. (b) Identificación de información histórica por tipo de muestreo.

(a)

Tipo de muestreo	N° sondeos	Longitud (metros)	N° de muestras
Sondeo DD			
Sondeo AR			
Canaleta			
Otro			
Total			

(b)

Tipo de sondeo	N° sondeos históricos	Longitud (metros)
DD		
AR		
Otro		
Total		

5.3.2.2.4 QAQC

Registrar el conteo en la tabla 12, de las muestras que han sido analizadas por QAQC y las que no. Además, incluir el equivalente de muestras que pertenecen a sondeos históricos y a sondeos no históricos.

Tabla 12: Recuento de muestras en la base de datos analizadas por QAQC.

	N° de muestras	Metros muestras	% Muestras	Sondeos históricos	Sondeos no históricos
Con Control					
Sin Control					
Total					

5.3.2.2.5 Collar

1. Realizar un recuento de sondajes con y sin información de collar, junto a la longitud en metros a la que corresponde (ver tabla 13 (a)).
2. En el caso de sondajes sin collar, se debe indicar la identificación (ID) del sondaje y describir las causas por las que no existe este dato.
3. Elaborar una tabla resumen del conteo de los certificados de topografía para el levantamiento de collares de sondajes que se tengan (tabla 13 (b)). En el caso de sondajes sin certificado, indicar la identificación (ID) del sondaje.

Tabla 13: (a) Recuento de sondajes con y sin información de collar. (b) Recuento de sondajes con y sin certificado de topografía.

(a)

	N° sondajes	Longitud (metros)	% Sondajes (que representa del total)
Con collar			
Sin collar			
Total			

(b)

	N° sondajes
Con certificado	
Sin certificado	
Total	

5.3.2.2.6 Largo Total

Informar la cantidad de muestreos en la tabla 14, con largo total entre los siguientes rangos: largo total menor a 200 metros, entre 200 y 400 metros y mayor que 400 metros.

Tabla 14: Clasificación de sondajes según largo total.

Tipo de muestreo	Largo < 200 m	200 m ≤ Largo ≤ 400 m	Largo > 400 m
Sondajes DD			
Sondajes AR			
Otro			
Total			

5.3.2.2.7 Trayectoria

1. Realizar resumen, en la tabla 15, de las muestras con y sin información de desviación, separadas por la clasificación de la NCC31, ver figura 18 (a).

2. Realizar la tabla 16 (a) con el número de sondajes por tipo de perforación, con y sin información de desviación.
3. Elaborar una tabla resumen de los certificados de trayectoria que se tengan (tabla 16 (b)). En el caso de sondajes sin certificado, indicar la identificación (ID) del sondaje.

Tabla 15: Recuento muestras según si el muestreo cuenta o no con medida de desviación.

Categoría		N° de muestras	Metros muestras	% Muestras
D0 (Con desviación)				
Sin desviación	D1			
	D2			
	D3			
Total				

Tabla 16: (a) Recuento de sondajes según si el muestreo cuenta o no con medida de desviación. (b) Recuento de sondajes con y sin certificado de trayectoria.

(a)

Tipo de sondaje	Sin desviación	D0	D1	D2	D3
DD					
AR					
Otro					

(b)

	N° sondajes
Con certificado	
Sin certificado	
Total	

5.3.2.2.8 Recuperación

Informar el recuento de las muestras con y sin información de recuperación, en la tabla 17. Agregar en la misma tabla, los resultados de la recuperación por rangos, según los criterios de la NCC31 de la figura 18 (a).

Tabla 17: Recuento de muestras según la recuperación.

Categoría	N° de muestras	Metros muestras	% Muestras
Sin información			
Con información			
R1			
R2			
R3			

5.3.2.2.9 Calidad de las muestras

La clasificación de la calidad de las muestras indicadas en la norma NCC31 (2011) consiste en clasificar, muestra a muestra (en estimación se utilizan compósitos), en tres categorías: Bueno (A), Moderado (B) o Pobre (C). Los parámetros que utiliza se exponen en la figura 18 (a) y el criterio para asignar la calidad aparece en la figura 18 (b).

1. Tabla resumen (tabla 18 (a)) con la cantidad de muestras que pertenecen a cada clasificación.
2. Comparar la cantidad de muestras, por clase, para sondajes históricos y los que no son históricos, en la tabla 18 (b).
3. Como resolución de la Gerencia de Recursos Mineros se ha permitido a una Persona Competente³ subir la clasificación de una muestra, especificando si el up-grade de calidad de muestra puede ser utilizada en estimación- categorización o en modelamiento geológico. Cada up-grade debe ser documentado y justificado en un informe de la Persona Competente. Para este informe, indicar la cantidad de muestras que han sido modificadas en calidad, debido a un up-grade.
 - a. N° muestras modificadas: _____
 - b. N° total muestras en la Base de Datos: _____

Sondaje (tipo)	DD: Diamantina AR: Aire Reverso CH: Canaletas (otros)	Recuperación	R1: >80% R2: 50 – 80% R3: <50%
QA/QC	1: Con control de calidad 2: Sin control de calidad	Humedad	0: Sin humedad 1: Con humedad
Desviación	D0: Con desviaciones registradas D1: No hay registro de desviación largo < 200 m D2: No hay registro de desviación largo 200 - 400 m D3: No hay registro de desviación , largo > 400 m		

(a)

SONDAJE	QA/QC	REC.	DESV.	HUM	CLASE
DD	1	R1	D0 ó D1	-	A
DD	0 ó 1	R1 ó D2		-	B
DD	0 ó 1	R3 ó D3		-	C
AR	1	R1	D0 ó D1	0	B
AR	0 ó 1	(R2 ó R3) ó (D2 – D3) ó 1			C
CH	0 ó 1	-	-	-	C

(b)

Figura 18: (a) Parámetros para clasificar la calidad de las muestras, según NCC-31. (b) Criterio para asignar la calidad de las muestras, según NCC-31.

³ Una persona inscrita en el Registro de Personas Competentes, el cual es nombrado y habilitado para tal efecto, por la Comisión Calificadora de Competencias en Recursos y Reservas Mineras, de acuerdo a Ley de la República de Chile N° 20.235.

Tabla 18: (a) Recuento de las muestras según la categoría de calidad. (b) Recuento de las muestras según categoría de calidad y por tipo de información.

(a)

Clase	N° muestras	Metros muestras	% Muestras (que corresponde del total)
A			
B			
C			
Total			

(b)

Clase	Sondajes históricos	Sondajes no históricos
A		
B		
C		

5.3.2.2.10 Densidad

1. Indicar la metodología de medición de densidad in situ.
2. Realizar resumen, en la tabla 19, de las muestras con y sin medida de densidad.

Tabla 19: Recuento de muestras según medida de densidad.

	N° de muestras	% Muestras del total
Con densidad		
Sin densidad		
Total		

5.3.2.2.11 Atributos Geológicos

1. Resumen en la tabla 20, de la cantidad de muestras con cualquier cambio realizado en la base de datos debido a un remapeo.
2. En la misma tabla, realizar un resumen de las muestras con mapeo y sin información de leyes (Las muestras que presentan mapeo geológico y no presentan leyes o no están validadas, se podrán utilizar en la construcción de los Modelos Geológicos).

Tabla 20: Recuento de muestras según remapeo y medición de leyes.

	N° muestras	% del total de muestras
Remapeadas		
Con mapeo sin leyes		

5.3.2.2.12 Revisión Base de Datos

Asegurarse que la base de datos cumpla con los siguientes puntos y entregar la lista de chequeo de la tabla 21.

Tabla 21: Lista de chequeo base de datos.

✓	La identificación de las muestras o sondajes, debe ser única en la base de datos. Por esto, revisar que no existan sondajes con igual identificación.
✓	Coherencia en los tramos del sondaje, que no exista sobreposición de estos.
✓	Último intervalo de datos del sondaje coincide con el largo total del mismo.
✓	Largo total del sondaje coincide entre las tablas de componentes del sondaje. (Por ejemplo, igual largo entre zona mineral y litología del sondaje)
✓	La variable alfanumérica debe ser alfanumérica para toda la base de datos y no hay realizar mezclas con valores numéricos, o viceversa.
✓	Un tipo de variable está expresada en la misma unidad para toda la base de datos.
✓	El identificador, alfanumérico o numérico, es único para sin información/no existencia de valor y bajo limite detección.
Respecto a la información de collares:	
✓	El sistema de coordenadas del collar es coherente según la campaña, es decir, sólo usa un sistema de coordenadas y no mezcla por sondaje.
✓	Revisar que no exista duplicidad de collares entre sondajes.
✓	No existen discrepancias entre la información del sondaje en la base de datos y el certificado de topografía.
Con respecto a la trayectoria:	
✓	El dato de azimuth y dip es coherente a lo largo del sondaje (por ejemplo, que no sea constante desde el collar al fondo del sondaje y que no presente desvíos excesivos de trayectoria entre intervalos de medida)
✓	No existen discrepancias entre la información del sondaje en la base de datos y el certificado de trayectoria.
QAQC	
✓	Revisar que no existan discrepancias entre el certificado de los batch de análisis químico y la base de datos.

5.3.2.2.13 Comparación Bases de Datos

Redactar la diferencia con la base de datos anterior o vigente, respecto a la base de datos actualizada.

5.3.3 Actualización Modelos Geológicos

Para esta etapa, entregar en Leapfrog Central, los archivos que conforman los modelos geológicos actualizados y, además, el material que se haya ocupado para la interpretación geológica, es decir, los sólidos con las secciones y plantas que sustentan el modelo in situ.

Informe Modelos Geológicos

A continuación, se detalla la estructura del informe y su contenido mínimo:

1. Anotar los responsables del informe y los profesionales participantes en el proceso con nombre, cargo y firma.
2. Requerimientos Básicos: las imágenes y los gráficos incorporados al informe deben ser visibles y la información escrita que contengan debe ser legible.

5.3.3.1 Geología

Realizar descripción de:

1. Geología regional y local del yacimiento (este ítem no varía con las sucesivas actualizaciones del modelo de recursos).
2. Variables geológicas que definan el depósito y que se usen en la estimación de recursos, ya sea litología, alteración, zonas minerales u otras.
3. Distribución de la mineralización en el depósito.
4. Procesos geológicos que son parte y que interactuaron en la génesis del depósito mineral y su secuencia temporal.

5.3.3.2 Modelos Geológicos

5.3.3.2.1 Datos utilizados

Breve reporte de los datos utilizados por cada modelo geológico que definen las unidades de estimación por elemento, indicando:

1. En la tabla 22, indicar la cantidad total de sondajes utilizados para construir los modelos, la cantidad de esos que corresponde a nueva información ingresada a la base de datos y su equivalente en metros.
2. Cantidad de sondajes descartados, respecto a la base de datos completa, identificación (ID) del sondaje y explicación de la razón por la cual se descarta.

Tabla 22: Recuento sondajes utilizados en los modelos geológicos.

Tipo	N° sondajes	N° muestras (nueva info.)	Longitud muestras (metros)
Sondajes DD			
Sondajes AR			
Otros			

5.3.3.2.2 Antecedentes Modelamiento

1. Especificar el software utilizado para realizar el modelamiento.
2. Metodología para construir los sólidos y descripción del proceso para elaborarlos, detallando criterios de interpretación.
3. Si se ha ocupado modelamiento implícito, deben explicarse y registrar los parámetros utilizados y la secuencia para generar los sólidos.
4. En el caso de modelamiento explícito, indicar la cantidad de secciones y plantas utilizadas, el espaciamiento entre ellas y orientación.
5. Registrar las unidades modeladas con sus respectivos códigos, por cada modelo geológico y para cada elemento principal, como se muestra en el ejemplo de la figura 19.

Unidades Alteración		
Descripción	Abreviación	Código
Cuarzo sericita Pervasiva	QSP	301
Cuarzo sericita Transicional	ZT	303
Clorita	CMH	305
Potásico Intenso	PI	307
Sericita Gris Verde	SVG	307A
Ksil	KSIL	307B
Sericita gris verde + Ksil		307C
Potásico Intenso Relicto	PIR	309
Vetas de Qz- Molibdeno (>40%)	VQzMo	312
Potásico de Fondo	PF	318

Figura 19: Ejemplo de Unidades de Alteración.

5.3.3.2.3 Revisión

Efectuar las siguientes revisiones a los modelos geológicos y entregar la lista de chequeo de la tabla 23. Si no se realiza alguna de estas revisiones redactar la justificación. Cualquier otro estudio efectuado también debe quedar registrado en la tabla 23.

Tabla 23: Lista de chequeo de modelos geológicos.

✓	1. Revisión visual, en secciones y plantas, del grado de correspondencia entre los sólidos y la información de la base de datos, con la cual fueron interpretados. Comentar si existe consistencia en los sólidos y el mapeo geológico de los sondajes.
✓	2. Verificar la continuidad en los cuerpos interpretados. Exponer si se encuentran sólidos que no son continuos.
✓	3. Las secciones y/o plantas, deben ser consistentes entre ellas, es decir, las plantas no deben sobrepasar los límites interpretados en las secciones y viceversa. Identificar los casos que no se cumpla con la consistencia.
✓	4. Realizar back-flagging (ver figura 20) para determinar el grado de coincidencia entre las muestras de la base de datos y los sólidos, y presentar los resultados en una tabla como la expuesta en la figura 20. Identificar la unidad que tenga un bajo porcentaje de coincidencia (< 80%) e indicar el porcentaje que representa esa unidad del total de muestras.
✓	5. Se deben identificar aquellas zonas que presentan contactos geológicos dudosos y áreas con una baja densidad de perforación.

Litología		Sólidos									
		CMET	Diorita	Dacita	Talus	BXI Dacita	BXI Diorita	Volcánicos	BX Anh-Qz	BX Ser	BX Chl
Mapeo Geológico	CMET	98%	0%	1%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	0%
	Diorita	16%	78%	0%	0%	0%	1%	0%	4%	0%	0%
	Dacita	9%	0%	83%	0%	6%	0%	0%	2%	0%	0%
	Talus	0%	0%	0%	99%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	BXI Dacita	2%	0%	7%	0%	87%	0%	0%	3%	0%	0%
	BXI Diorita	31%	0%	2%	0%	8%	54%	0%	6%	0%	0%
	Volcánicos	9%	0%	0%	0%	0%	0%	90%	0%	0%	1%
	BX Anh-Qz	16%	0%	1%	0%	2%	0%	0%	80%	0%	0%
	BX Ser	0%	2%	5%	0%	0%	0%	0%	2%	92%	0%
	BX Chl	31%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	67%

Figura 20: Porcentaje de coincidencia de los sólidos con el mapeo geológico, para la litología.

5.3.3.2.4 Comparación

Realizar una comparación de los modelos geológicos actualizados con los modelos geológicos vigentes.

5.3.4 Actualización Modelo de Bloques

5.3.4.1 Base de Datos Compositada

En Leapfrog Central, se carga la base de datos compositada, la cual contiene la información compositada para la estimación de leyes.

Debe incluir:

1. Nombre de las muestras o sondajes.
2. Desde y hasta del tramo compositado.
3. Largo de compósitos.
4. Coordenadas x, y, z del centro del tramo compositado.
5. Leyes compositadas.
6. Código de los atributos geológicos del tramo compositado.
7. Unidades de Estimación utilizadas para la estimación de leyes, según el elemento que se desea estimar.

Informe Base de Datos Compositada

A continuación, se detalla la estructura del informe y su contenido mínimo:

1. Anotar responsables del informe y los profesionales participantes en el proceso con nombre, cargo y firma.
2. Requerimientos Básicos: las imágenes y los gráficos incorporados al informe deben ser visibles y la información escrita que contengan debe ser legible.

5.3.4.1.1 Compositación

Descripción del proceso de compositación:

1. Indicar la longitud de los compósitos, por elemento si es necesario, y describir los criterios para escogerla.
2. Describir la metodología de compositación de la base de datos.
3. En la tabla 24, hacer el análisis de la longitud soporte original de las muestras, por rangos, dependiendo de la longitud del compósito. Un ejemplo de esto se observa en la figura 21.

4. Realizar un conteo del total de compósitos, en la tabla 25.

Tabla 24: Recuento compósitos por rango de largo de soporte original.

Tipo de Sondaje	Soporte de Muestras			
	Rango	Rango	Rango	Total (m)
DD				
AR				
Otros				
Total				
%				

Tipo Sondaje	Soporte de Muestras con %CuT>0		
	< = 5 m	> 5 m	Total (m)
Aire Reverso	41,320	91,456	132,776
Diamantina	528,289	159,036	687,324
DTH	48,865	30,791	79,656
Sonica	10		10
Total	618,483	281,283	899,766
Proporción	69%	31%	

Figura 21: Ejemplo de análisis de la longitud soporte original de las muestras. Los compósitos utilizados corresponden a muestras de longitud de 10 m.

Tabla 25: Cantidad de compósitos por elemento principal.

Elemento	Total compósitos	
	Número	Longitud (m)
Cu		
Mo		
As		

5.3.4.1.2 Base de Datos de Estimación

Breve resumen de la base de datos que se utiliza en la actualización de la estimación de leyes, indicando:

1. Cantidad de muestras por tipo de muestreo que se utilizó para la estimación, junto con la cantidad de sondajes y metros perforados que correspondan, en la tabla 26 (a).
2. Resumir, en la tabla 26 (b), la cantidad de sondajes históricos que componen la base de datos de estimación.
3. Indicar la cantidad de sondajes descartados, respecto a la base de datos completa, identificación (ID) del sondaje y explicación de la razón por la cual se descartan.

Tabla 26: (a) Cantidad de muestras según tipo de muestreo. (b) Cantidad de muestras según si pertenece a sondajes históricos.

(a)

Tipo	N° muestras			N° sondajes			Largo (metros)		
	CuT	Mo	As	CuT	Mo	As	CuT	Mo	As
Sondajes DD									
Sondajes AR									
Otros									

(b)

Tipo	N° muestras			N° sondajes			Largo (metros)		
	CuT	Mo	As	CuT	Mo	As	CuT	Mo	As
Sondajes total									
Sondajes históricos									

5.3.4.1.3 Estadística de datos

Realizar análisis estadístico de los compósitos para las poblaciones de datos de leyes de elementos principales (CuT, Mo, As) y agregar los resultados a una tabla, tal como se muestra en la tabla 10.

5.3.4.1.4 Revisión

Revisar los siguientes aspectos y entregar la lista de chequeo de la tabla 27 en el informe.

Tabla 27: Lista de chequeo base de datos de estimación.

✓	Los datos contienen información de ley para la estimación del elemento en que se vayan a utilizar.
✓	Toda muestra utilizada en la estimación de leyes cuenta con codificación de unidades de estimación.

5.3.4.2 Sólidos de Estimación

Entregar en Leapfrog Central, los archivos que generan los sólidos o volúmenes, por unidad de estimación, utilizados para la estimación de leyes.

Informe Sólidos de Estimación

A continuación, se detalla el contenido mínimo y estructura del informe:

1. Anotar los responsables del informe y los profesionales participantes en el proceso con nombre, cargo y firma.
2. Requerimientos Básicos: las imágenes y los gráficos incorporados al informe deben ser visibles y la información escrita que contengan debe ser legible.

5.3.4.2.1 Definición Unidades de Estimación

Este capítulo del informe se divide en los siguientes ítems.

5.3.4.2.1.1 Controles de ley

Explicar en detalle los controles de ley de cada elemento principal y, si existen, los estudios que avalen los quiebres de ley mediante argumentos geológicos.

5.3.4.2.1.2 Unidades de Estimación

1. Informar el proceso para originar las Unidades de Estimación (UE), mencionar las variables geológicas o modelos geológicos y los criterios que definen las UE de los elementos a estimar.
2. Presentar en una tabla el resumen de las unidades de estimación para cada elemento principal, con las características que la definen. Diferentes ejemplos de definiciones de unidades de estimación se observan en las tablas de la figura 22.

UGE	Descripción Dominio	Tipo Alteración	Tipo Mineralización	Zona Mineral	Dominio Estructural
2	Zona de vetas de cuarzo-moly	312	Cualquiera	207+409	Todos
3	QSP, Enriquecimiento débil, dominio 1 y 2	301	222	207	1+2
4	QSP, Primario, dominio 1 y 2	301	222	409	1+2
6	QSP o ZT, alta pirita, bajos sulfuros de cobre	301+303	212	207+409	Todos
8	ZT, Primario, dominio 1	303	222	409	1
9	Zona PI	307	Cualquiera	207+409	Todos
11	CMH	305	Cualquiera	207+409	Todos
12	Alta calcopirita en vetillas, baja pirita	301+303	219	207+409	Todos
34	QSP, Enriquecimiento débil y primario, dominio 3	301	222	207+409	3
51	Zona PIR, Calcopirita vetillas, halos de sericita	309	219	207+409	Todos
52	Zona PIR, Otras asociaciones de sulfuros	309	222	207+409	Todos
78	ZT, Enriquecimiento débil y primario, dominio 2 y 3	303	222	207+409	2+3
102	Enriquecimiento fuerte, dominio 2 y 3	Cualquiera	206	206	2+3
1002	PF, dominio 2 y 3	318	Cualquiera	207+409	2+3

(a)

UG Mo	Vetas y vetillas de Qz (%)	Mo (%)
511	5 - 15%	0.03 - 0.10
512	15 - 30%	>=0.10
513	>= 30%	>=0.01
516	(510) <5% + (514) Alto Qz(>15%, Bajo Moly (vetillas A)	<0.01

(b)

Región	Grupo de Roca	En Proximidad con	Unidad de Estimación	Distancia para Bloques	Distancia para Datos	Tipo de Búsqueda
(1)	300	500+600+700	13050	16	25	Anisotrópica
	100	500+600+700	11050	23	32	Anisotrópica
	500+600+700	300	300	16	25	Anisotrópica
	500+600+700	100	100	23	32	Anisotrópica
	500+600+700		567	Limite duro	-	Anisotrópica
	350		350	Limite duro	-	Fija
	900		900	Limite duro	-	Fija
	910		910	Limite duro	-	Fija
	950		950	Limite duro	-	No hay (asignado)
	990		990	Limite duro	-	No hay (asignado)
(2)	300	57	23050	22	32	Anisotrópica
	600	57	26050	16	25	Anisotrópica
	500+700	300	23050	22	32	Anisotrópica
	500+700	600	26050	16	25	Anisotrópica
	100		100	Limite duro	-	Anisotrópica
	300		300	Limite duro	-	Anisotrópica
	350		350	Limite duro	-	Fija
	351		351	Limite duro	-	Fija
	57		57	Limite duro	-	Anisotrópica
	600		600	Limite duro	-	Anisotrópica
950		950	Limite duro	-	No hay (asignado)	
990		990	Limite duro	-	No hay (asignado)	
(3)	300	57 (Brechas)	33050	16	25	Anisotrópica
	600	57 (Brechas)	36050	22	32	Anisotrópica
	500+700	300	33050	16	25	Anisotrópica
	500+700	600	36050	22	32	Anisotrópica
	100		100	Limite duro	-	Anisotrópica
	300		300	Limite duro	-	Anisotrópica
	350		350	Limite duro	-	Fija
	351		351	Limite duro	-	Fija
	57		57	Limite duro	-	Anisotrópica
	600		600	Limite duro	-	Anisotrópica
	950		950	Limite duro	-	No hay (asignado)
	990		990	Limite duro	-	No hay (asignado)

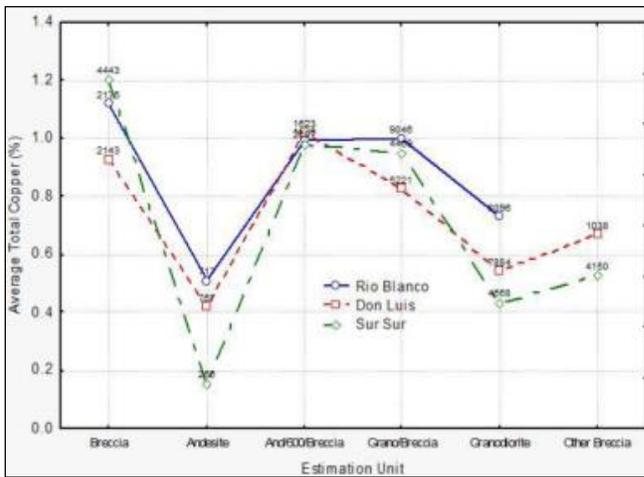
(c)

Figura 22: (a) Definición de dominios de estimación para CuT. (b) Definición de dominios de estimación para Mo. (c) Criterio de definición de Unidades de Estimación Cobre.

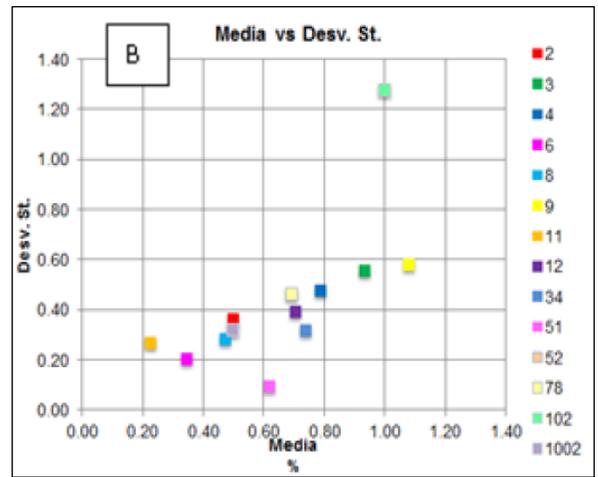
5.3.4.2.1.3 Análisis de las Unidades de Estimación

Realizar los siguientes análisis a las unidades de estimación para asegurar que sean coherentes y que no existan mezclas de poblaciones. Cualquier otro estudio efectuado también debe quedar registrado. En el caso que se presenten unidades de estimación con similitudes geológicas y de distribución de leyes, debe estudiarse la agrupación de éstas, dejando registro y justificación de las modificaciones realizadas. Si no se realiza alguno de estos análisis redactar la justificación.

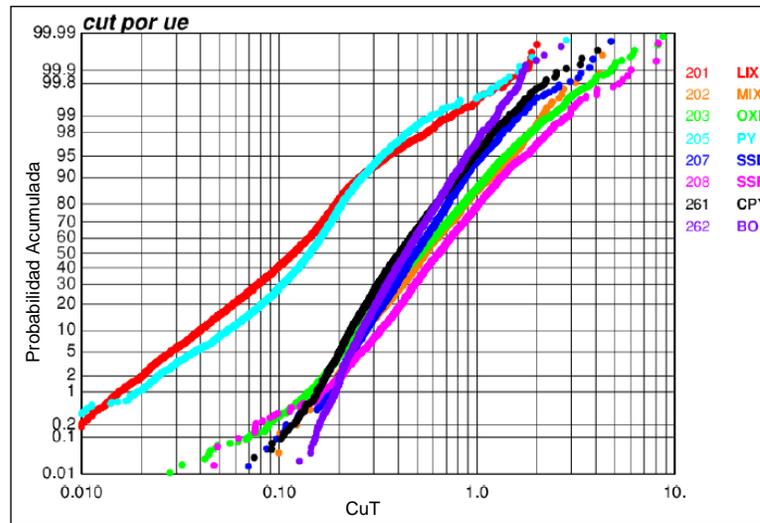
1. Estudio de la estadística general de las unidades de estimación, por elemento principal. Utilizar los mismos estadígrafos que en la tabla 10.
2. Gráfico de la ley media como función de las unidades de estimación, para cada elemento principal. Un ejemplo se muestra en la figura 23 (a), donde se presenta la ley media de cobre de los compósitos en los diferentes sectores de estimación de Andina (Río Blanco, Don Luis y Sur Sur).
3. Gráfico de la desviación estándar v/s ley media para las unidades de estimación, por elemento principal. La figura 23 (b) es un ejemplo de este tipo de gráfico para CuT, por UE.
4. Gráfico de la distribución de probabilidad acumulada de las unidades de estimación por elemento principal, utilizando datos desagrupados. Ejemplo en la figura 23 (c).
5. Si se observan datos escapados, debe realizarse un estudio de estos datos.
 - a. Señalar el origen de los datos escapados.
 - b. Informar el tratamiento de estos datos, si se requirió aplicar cutting o capping u otra metodología y evaluar el impacto en la cantidad de metal que representan, para esto rellenar la tabla 28.
6. Presentar el análisis de contacto entre dos o más unidades de estimación, construyendo gráficos de la ley promedio en función de la distancia al contacto. La figura 23 (d) muestra el límite duro entre dos unidades (zonas).
7. Presentar el análisis de derivas de leyes con gráficos de ley promedio respecto a la distancia en cierta dirección que se estime conveniente. En el ejemplo de la figura 23 (e) los datos fueron agrupados de este a oeste, espaciadas cada 50 metros y las leyes promedio se calcularon observando los cambios en la ley promedio como una función de la dirección norte.



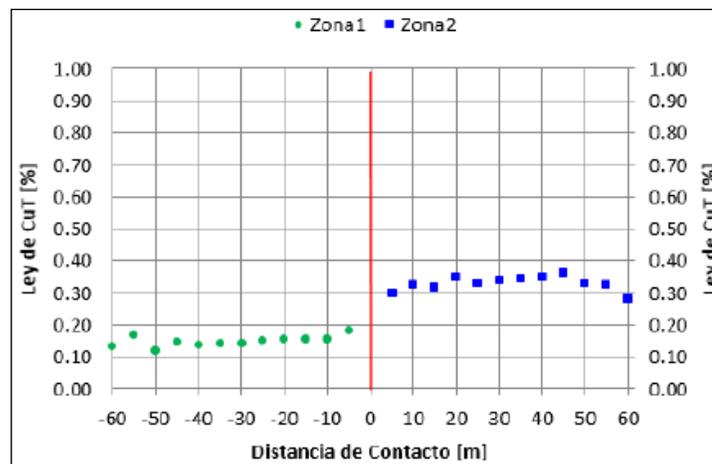
(a)



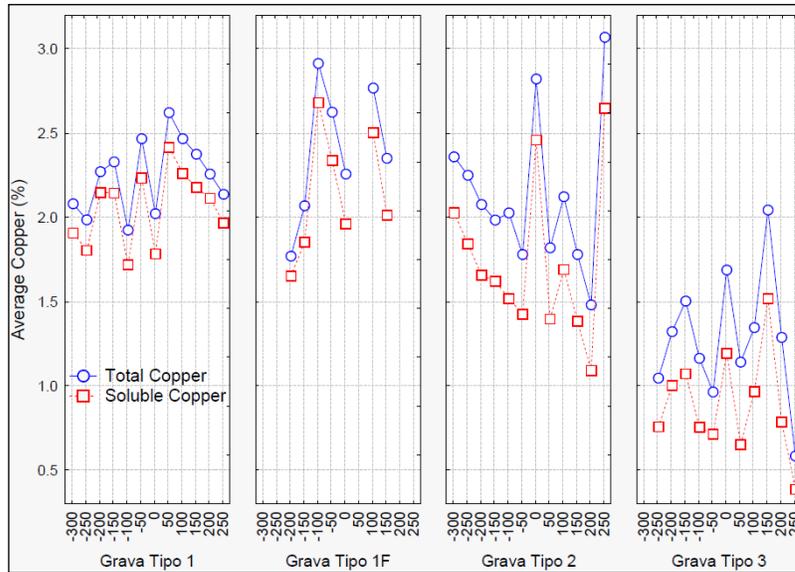
(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 23: (a) Ley media de CuT por Unidad de Estimación. (b) Ley media v/s desviación estándar para las Unidades de Estimación de CuT. (c) Distribución de probabilidad acumulada para las Unidades de Estimación de CuT. (d) Gráfico del límite de contacto entre dos Unidades de Estimación de CuT (e) Serie de gráficos de ley de Cobre por tipo de grava y ubicación.

Tabla 28: Información datos escapados.

Número de datos escapados	% del total de datos que representan	% de metal que representan	Tratamiento

5.3.4.2.2 Comparación de UE

Comparación de las Unidades de Estimación por elemento principal, entre Modelos de Recursos.

5.3.4.3 Estimación y Categorización de Recursos

Para esta parte se entrega, en Leapfrog Central, el archivo del Modelo de Bloques con sus variables y los archivos que respalden la información de estimación y categorización de recursos, es decir, archivos de parámetros, archivos de salida y, si son utilizados, los scripts.

El modelo de bloques debe incluir:

1. Coordenadas x, y, z de los centros de los bloques.
2. Tamaño de bloque en x, y, z.
3. Variables geológicas interpretadas
4. Unidades de Estimación interpretadas para cada elemento
5. Densidad
6. Leyes estimadas para cada elemento
7. Pasada de estimación para cada elemento
8. Varianza de kriging para cada elemento
9. Número de muestras utilizadas para estimar cada elemento
10. Distancia del bloque a la muestra más cercana para cada elemento
11. Clasificación (Inferido, Indicado, Medido)
12. Indicar en una variable, si la ley es estimada o asignada.

Informe Estimación y Categorización de Recursos

A continuación, se detalla el contenido mínimo y estructura del informe:

1. Anotar los responsables del informe y los profesionales participantes en el proceso con nombre, cargo y firma.
2. Requerimientos Básicos: las imágenes y los gráficos incorporados al informe deben ser visibles y la información escrita que contengan debe ser legible.

5.3.4.3.1 Estimación de Recursos y Modelo de Bloques

5.3.4.3.1.1 Definición Modelo de Bloques

Informar las características generales que definen el modelo de bloques, siguiendo los puntos:

1. Dimensiones, coordenadas de origen del Modelo de Bloques y orientación.
2. El tamaño de bloque seleccionado y, si utiliza sub bloques, indicar el tamaño de subdivisión.
3. Resumir en la tabla 29 el número de bloques en cada dirección y de sub bloques, si es el caso.
4. Resumir en la tabla 30, las variables que considera el modelo de bloques, con nombre y descripción.
5. Cualquier otra información importante sobre particularidades del modelo de bloques, deben quedar registrada.

Tabla 29: Cantidad de bloques y sub-bloques según la dirección.

Dirección	Nº de bloques	Nº de sub bloques
...		

Tabla 30: Variables del Modelo de Bloques

Nombre	Abreviatura	Descripción
...		

5.3.4.3.1.2 Variografía

1. Nombrar el software utilizado para hacer los variogramas.
2. Registrar el estudio de la variografía por elemento principal, indicando si es un caso isótropo o anisótropo, el análisis de las direcciones preferenciales e identificar el tipo de variogramas experimentales y teóricos seleccionados.
3. Tabular los parámetros utilizados por elemento principal, para la construcción de los variogramas, dependiendo de la aproximación que se utilice y si es un caso isótropo o anisótropo. En general según Emery (2017), los parámetros a especificar para el cálculo de variogramas experimentales se presentan en la tabla 31, estos son: dirección de interés (azimut y dip), distancia de interés (lag), tolerancia en la dirección (tolerancia angular y ancho de banda) y tolerancia en las distancias.

- Resumir en una tabla los modelos de variogramas para cada elemento principal, dependiendo del tipo de variograma utilizado, si es un caso isótropo o anisótropo. La figura 24 es un ejemplo de modelos de variogramas aplicados para CuT, con tres estructuras anidadas de variogramas experimentales relativos por pares.
- Mostrar los gráficos de variogramas para las unidades de estimación, por elemento principal, tal como se ve en la figura 25.

Tabla 31: Parámetros para el cálculo de variogramas.

Parámetro	Direcciones	
	Horizontal	Vertical
Azimut		
Dip		
Tolerancia angular		
Tolerancia en distancia		
Espaciamiento (lag)		
Ancho de banda		
Otro		

Sector	Unidad	Código de Unidad	Ángulo de Rotación de Azimut	Efecto Pepita Co	Rango de Estructura 1, Modelo Esférico				Rango de Estructura 2, Modelo Esférico				Rango de Estructura 3, Modelo Esférico			
					Eje X	Eje Y	Eje Z	Varianza C	Eje X	Eje Y	Eje Z	Varianza C	Eje X	Eje Y	Eje Z	Varianza C
Río Blanco	Andesita	100	60	0.060	71	57	41	0.150	237	238	200	0.080	0	0	0	0.000
	Granodiorita	300	60	0.056	44	38	48	0.043	518	507	497	0.094	2500	600	2500	0.145
	Pórfidos	350	60	0.090	91	32	61	0.057	193	251	159	0.077	5000	253	5000	0.075
	Brechas	567	60	0.028	31	44	40	0.091	58	123	400	0.063	220	5000	6000	0.020
	Chimenea	900	0	0.111	37	37	37	0.092	161	161	161	0.125	422	422	422	0.276
	Brechas de Chimenea	910	0	0.161	27	27	27	0.085	89	89	89	0.104	388	388	388	0.201
Don Luis	Granodiorita	300	60	0.073	30	105	64	0.070	769	669	757	0.1285	90000	355	1000	0.112
	Porfidos	350	0	0.061	37	37	37	0.089	163	163	163	0.1335	0	0	0	0.000
	Pórfidos Alta	351	0	0.110	41	41	41	0.100	89	89	89	0.1234	509	509	509	0.220
	Brechas	57	30	0.036	44	47	24	0.060	139	89	274	0.0464	210	900	50000	0.027
	Brecha Monolito	600	60	0.060	65	65	47	0.090	41	169	600	0.1500	1000	202	5000	0.155
Sur Sur	Andesitas	100		0.175	99	99	99	0.152	258	258	258	0.2079	0	0	0	0.000
	Granodioritas	300	60	0.060	112	32	32	0.111	232	218	500	0.1358	280	5000	5000	0.161
	Pórfidos	350	60	0.069	33	33	33	0.100	176	176	176	0.1491	0	0	0	0.000
	Brechas	57	60	0.056	30	42	54	0.068	196	64	217	0.0230	173	190	175	0.094
	Brecha Monolito	600	60	0.032	49	41	39	0.132	182	266	400	0.1280	272	5000	5000	0.137

Figura 24: Resumen de Modelos de variogramas, por sector de estimación (Andina)

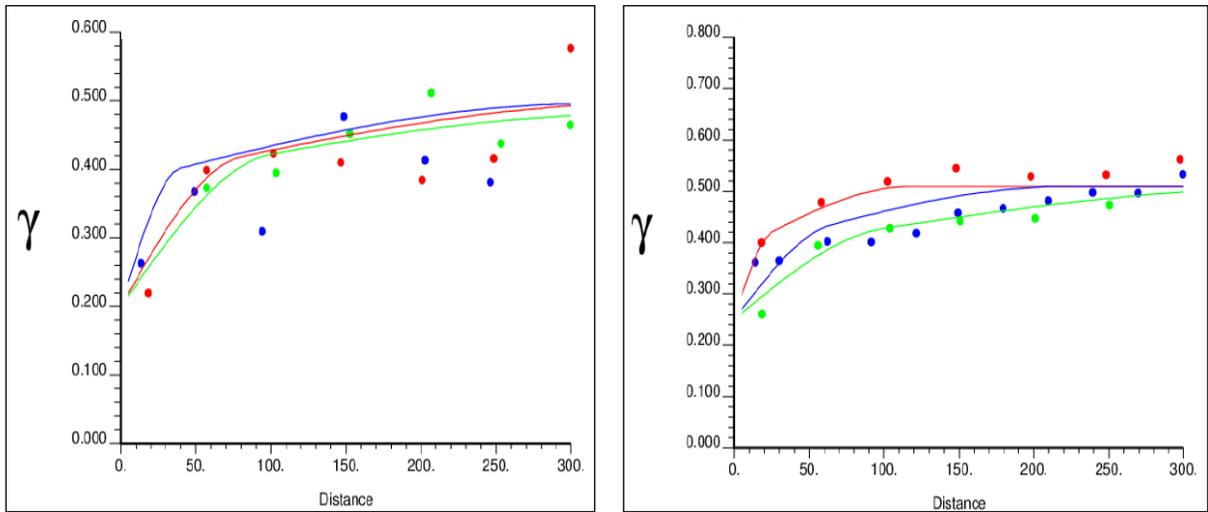


Figura 25: Ejemplos de gráficos de variogramas experimental y teóricos, para una Unidad de Estimación de CuT (izquierda) y para una Unidad de Estimación de Mo (derecha) (Auditoria RT 2015 Magri)

5.3.4.3.1.3 Metodología de Estimación

1. Especificar el software utilizado para el cálculo de la estimación.
2. Indicar en la tabla 32, la metodología de estimación para cada elemento principal, por cada pasada (búsqueda) y/o, si es el caso, por unidad de estimación. En el ejemplo de la figura 26 se separa por UE, mientras que en la figura 27 (a) se incluye la metodología por número de expansión de búsqueda.

Tabla 32: Método de Estimación por cada elemento.

Elemento (CuT, Mo, As)	
Nº de pasada/UE	Método
...	

CuT				Mo		As	
UGE	Método	UGE	Método	UG Mo	Método	UG As	Método
2	KO	12	KO	511	KO	610	KO
3	KO	34	KO	512	KO	611	KO
4	KO	51	KO	513	KO	612	KO
6	KO	52	IDS	516	KO	613	KO
8	KO	78	KO			614	KO
9	KO	102	KO			615	KO
11	KO	1002	KO			617	KO

Figura 26: Método de estimación para CuT, Mo, As según Unidades de Estimación. (Modelo Chuqui Subte)

5.3.4.3.1.4 Estrategia de Búsqueda de Estimación

1. Señalar por elemento principal, la estrategia de búsqueda para la estimación de leyes, mencionar restricciones o tratamientos a las unidades de estimación y resumir en una tabla los parámetros de búsqueda utilizados para cada elemento (ver ejemplo de la figura 27 (a)). Especificar la asignación de leyes en bloques no estimados, ejemplo en la figura 27 (b).

Dependiendo de la estrategia, los parámetros generales son:

- a. Número de pasadas.
 - b. Radios de búsqueda.
 - c. Orientación azimut.
 - d. Direcciones de búsqueda anisotrópica.
 - e. Rotación de ángulos.
 - f. Distancias de búsqueda.
 - g. Número mínimo/máximo de muestras para krigear.
 - h. Octantes.
 - i. Número mínimo/máximo de muestras por octantes.
 - j. Máximo número de compósitos por sondaje.
 - k. Máximo número de muestras por sondaje.
 - l. Número mínimo/máximo de sondajes.
2. Realizar un recuento de la cantidad de valores asignados por elemento principal, en la tabla 33.

Expansión de Búsqueda	Método de Estimación	Azimut de Búsqueda	Radios de Búsqueda			Número de Octantes (número, Mín, Máx.)	Número de Datos (Mín., Máx.)	Máx. de Datos por sondaje
			X	Y	Z			
1	Kriging Ordinario	-60,-30,0 (*)	90	60	90	3,1,6	4,20	3
2	Kriging Ordinario	-60,-30,0 (*)	180	120	180	3,1,6	4,20	3
3	Kriging Ordinario	-60,-30,0 (*)	360	240	360	3,1,6	4,20	3
4	Kriging Ordinario	-60,-30,0 (*)	270	180	270	0	4,20	3
5	Kriging Simple		400	400	400	0	3,20	3
6	Media Local según puntos de zona Moly							
7	Valor Asignado (0.0008% Mo)							

(*) -60° Rio Blanco, -30° Don Luis y 0° en Sur Sur

(a)

Grupo de Roca	Código de Grupo de Roca	% CuT Asignado
Pórfido	350	0.25
Pórfido Baja ley	351	0.10
Chimeneas	900	0.09
Brechas de chimenea	910	0.30
Morrena	950	0.01
Sobrecarga	990	0.10
Otras unidades no estimadas	-	0.05

(b)

Figura 27: (a) Estrategia de búsqueda para Mo (b) Ejemplo de asignación de leyes de Cu en bloques no estimados. (Andina)

Tabla 33: Recuento de valores de ley asignados por elemento.

	CuT	Mo	As
Cantidad			
%			

5.3.4.3.1.5 Densidad

1. Describir el método para designar los valores de densidad a los bloques, ya sea por asignación o estimación.
2. Indicar en una tabla resumen, la definición de unidades de estimación de densidad y valores asignados (si es el caso), tal como en la figura 28.
3. Si los valores son estimados:
 - a. Realizar la variografía y resumir los modelos de variogramas, como se vió en el ítem 5.3.4.3.1.2.
 - b. Especificar la estrategia de estimación, siguiendo lo expuesto en el ítem 5.3.4.3.1.3
4. Efectuar un análisis de las unidades de densidad.
 - a. En una tabla presentar la estadística básica por unidades de densidad, siguiendo los estadígrafos de la tabla 10.
 - b. Graficar la distribución de probabilidad acumulada de la densidad y la media v/s desviación estándar, ver los ejemplos de la figura 23 (b y c).

Unidad	Alteración	Dominio Estructural	Techo de Sulfato	Valor Asignado
UD 1	301 Y 309	1,2,3,y 4	sobre	2.67
UD 2	301	1,2 y3	bajo	2.72
UD 3	301	4	bajo	2.7
UD 4	309	2 y 3	bajo	2.73
UD 5	309	4	bajo	2.7
UD 7	303	1	sobre	2.57
UD 8	303	2	bajo	2.6
UD 9	303	3	bajo	2.65
UD 10	303	4	bajo	2.66
UD 11	303	1,2,3,y 4	bajo	2.59
UD 13	305 Y 318	1,2,3,y 4	bajo	2.59
UD 14	307	1,2,3,y 4	-	2.58
UD 15	312	1,2,3,y 4	-	2.65
UD 16	318	1,2,3,y 4	sobre	2.5
UD 17	-	5	-	2.44
UD 18	-	6	-	2.59

Figura 28: Ejemplo de definición y valores de Unidades de densidad.

5.3.4.3.2 Categorización de Recursos

5.3.4.3.2.1 Metodología

1. Registrar y describir el método con los criterios empleados, para clasificar los bloques en medido, indicado o inferido.
2. Resumir los parámetros utilizados, en una tabla, dependiendo de la metodología escogida. En la figura 29 se ve un ejemplo.
3. En el caso de utilizar suavizamiento de categorizaciones, para evitar el efecto “Sal y Pimienta”, mencionar como se lleva a cabo.

Categoría	Mín. # de Muestras	Mín. # de Octantes	Mín. # de Sondajes	Distancia (m) de la 4ª Muestra mas cercana	Indicador de Extrapolación	Elipsoide de Búsqueda (m) Y,X,Z
Medido	10	3	4	55	Si (22.5 m)	140, 70, 160
Indicado	5	3	4	-	Si (22.5 m)	140, 70, 160

Obs: El indicador de extrapolación se aplica a los bloques con distancia promedio superior a 22.5 m (1,5 bloque)

Figura 29: Criterio de clasificación entre recursos medidos e indicados.

5.3.4.3.2.2 Resumen de Recursos

Presentar en la tabla 34, un reporte general de los recursos categorizados in situ.

Tabla 34: Recursos clasificados como medidos, indicados e inferidos (Curva tonelaje – Ley Recursos)

Ley de Corte	Medidos			Indicados			Inferidos			Total		
	Mineral (Mt)	%CuT	%Mo									
...												

5.3.4.3.3 Revisión del Modelo de Bloques

Realizar las siguientes revisiones al modelo de bloques y entregar la lista de chequeo de la tabla 36. Justificar si no se realiza alguno de estos chequeos.

1. Revisión visual exhaustiva por elemento principal, entre el resultado de las estimaciones del modelo de bloques y los datos de sondajes, en secciones y plantas. Imagen ilustrativa de una sección en la figura 30.
2. Por elemento principal, comparar las estadísticas globales entre los compósitos desagrupados y los valores estimados, para cada unidad de estimación. Registrar los resultados en la tabla 35.
3. Elaborar gráficos de deriva (swath plot) por unidades de estimación para cada elemento principal, con el fin de evaluar las fluctuaciones medias de las leyes de bloques con las leyes de los compósitos según la dirección. Entregar los gráficos confeccionados, un ejemplo se observa en la figura 31.
4. Comparar las distribuciones de leyes de muestras y leyes estimadas de bloques, mediante gráficos de distribución acumulada en escala logarítmica, scatter plot y gráfico Q-Q (cuantil-cuantil). Ejemplos en la figura 32.
5. Elaborar un back-flagging, para verificar la correspondencia en la codificación del modelo de bloques y los compósitos. Registrar en una tabla, la comparación de los porcentajes de coincidencias entre las unidades de estimación para cada elemento principal, como se muestra en la figura 33.
6. Si quedan zonas o áreas donde no se pudo realizar correctamente la validación, debe quedar explícitamente identificada la zona.

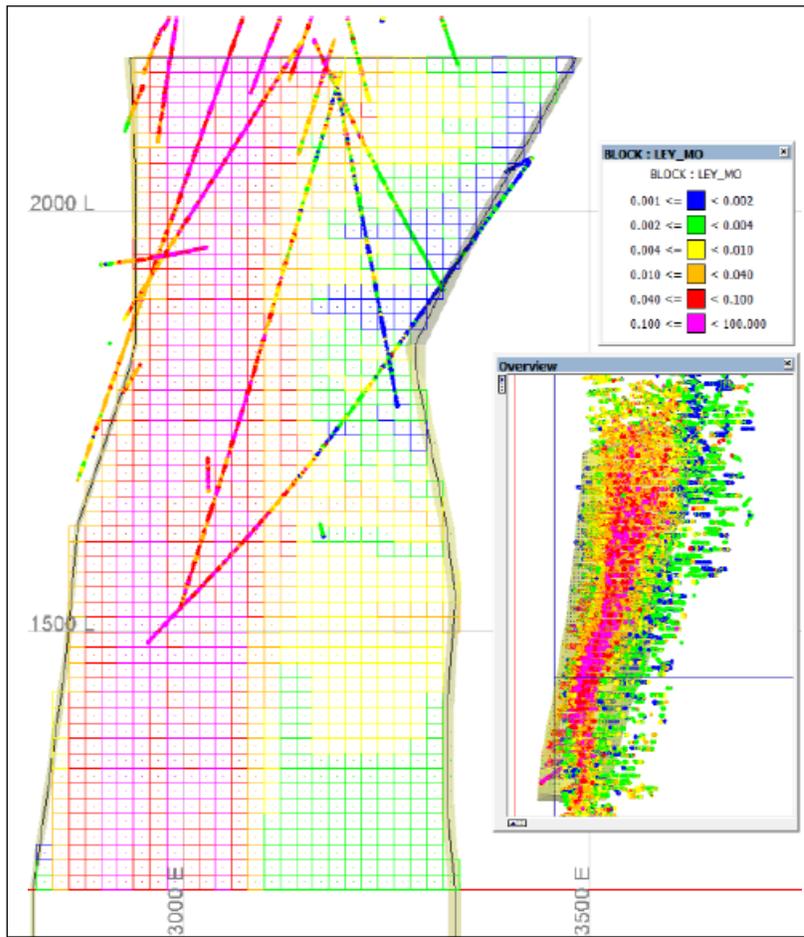


Figura 30: Revisión visual en una sección, entre la información de sondajes y bloques del Modelo de Mo.

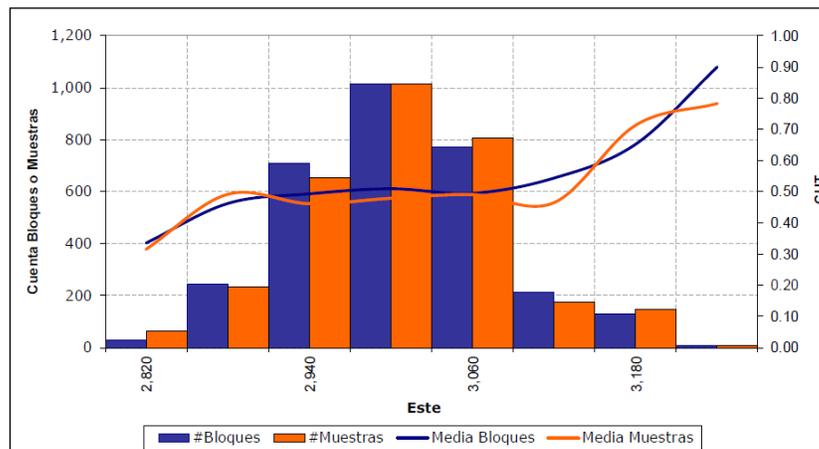
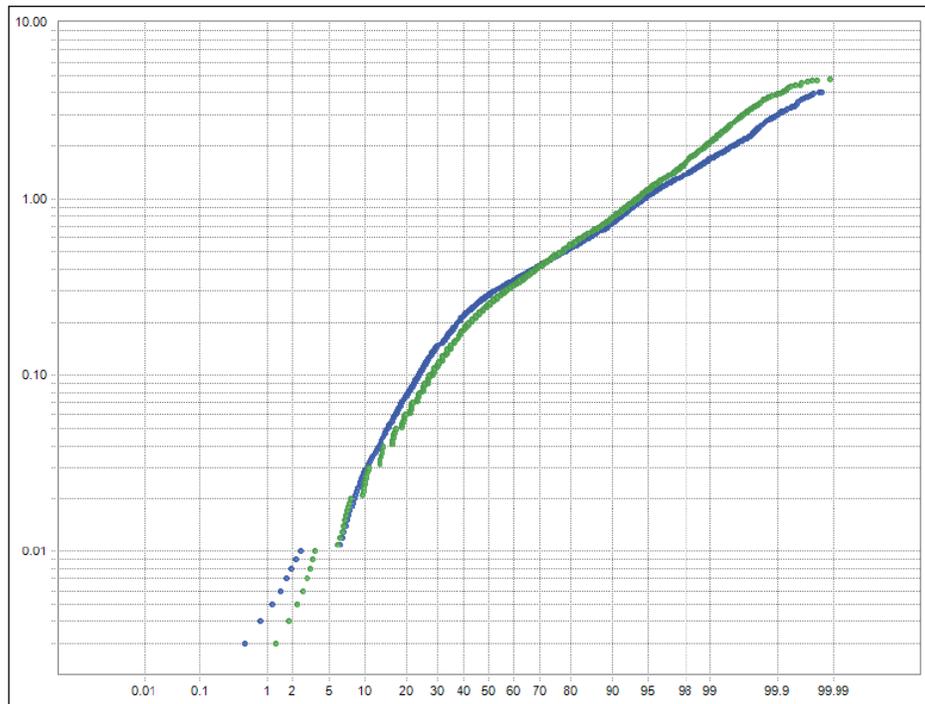
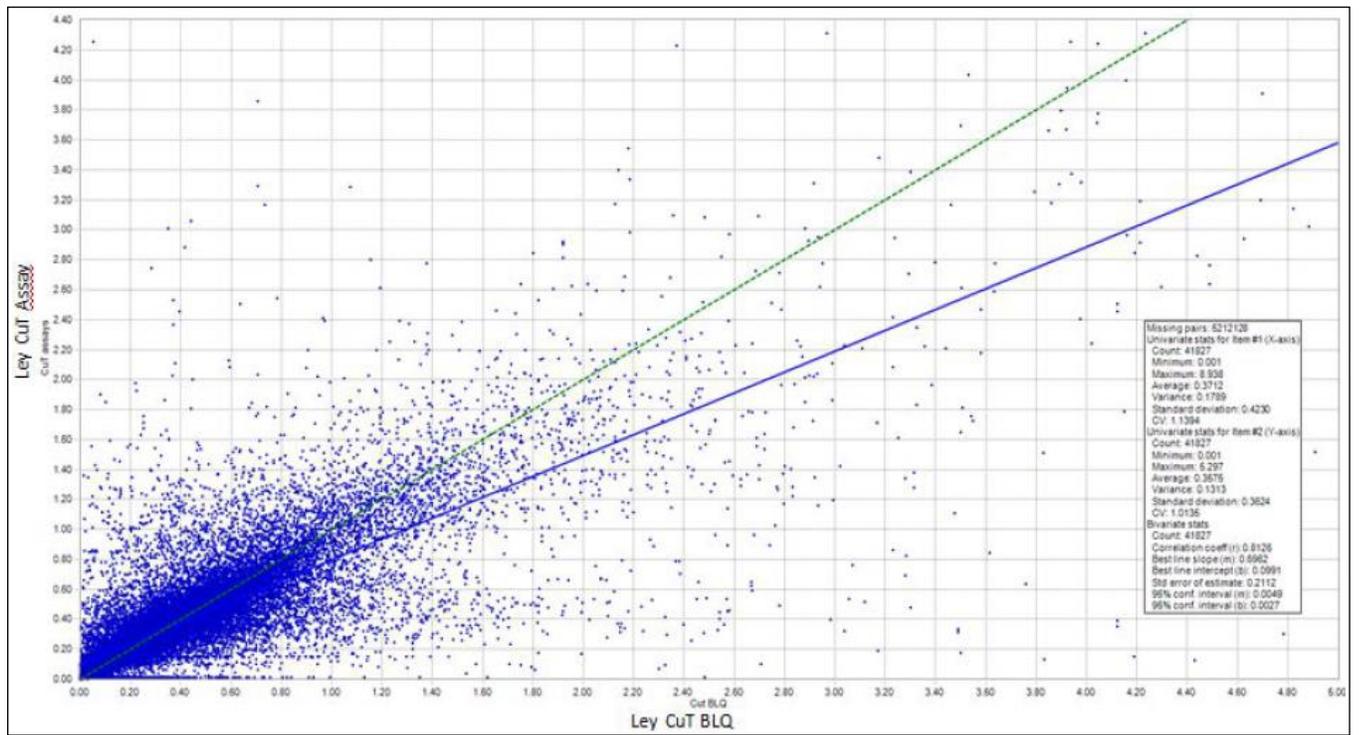


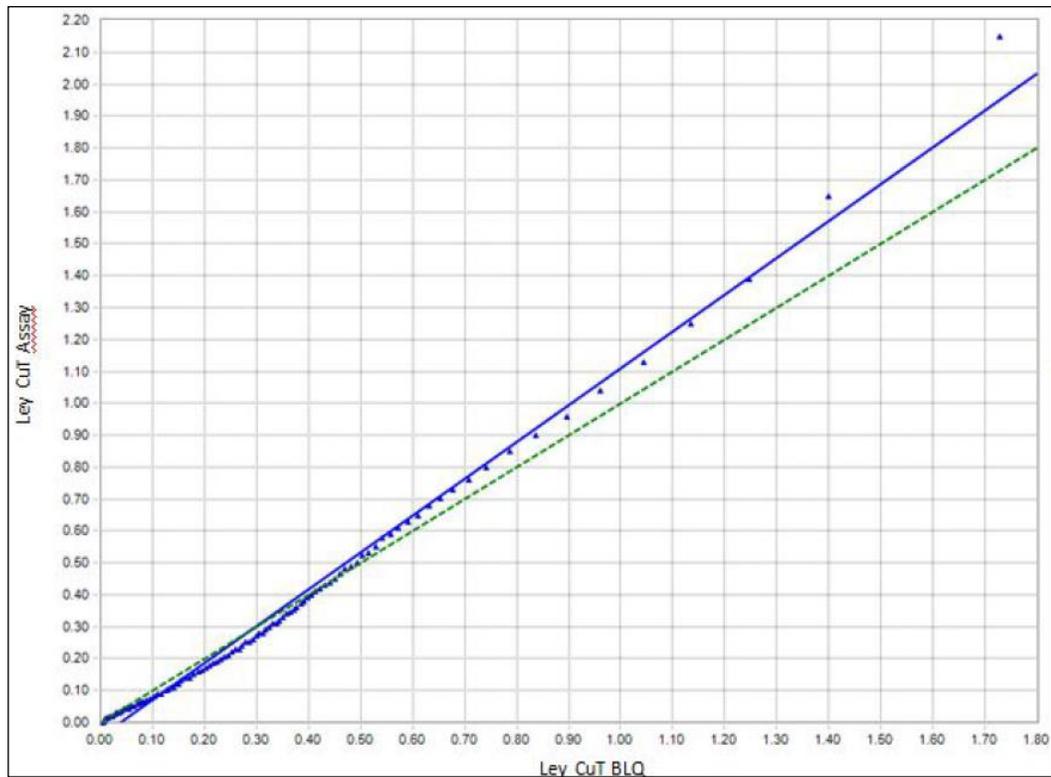
Figura 31: Ejemplo de gráfico swath plot de CuT en la dirección Este, para una unidad de estimación.



(a)



(b)



(c)

Figura 32: Distribuciones leyes CuT muestras originales (verde) y ley CuT estimadas bloques (azul). (a) Gráfico de probabilidad acumulada (b) Gráfico scatter plot (c) Gráfico cuantiles.

UG (composites)	UG from non-regular model (mans_scabr2006_send.bmf)									Total	Proportion
	BXC	BXCS	BXCW	C1	C5	EST	EXOTIC	MY	PMM		
BXC	4,782 77.3%	0 0.0%	0 0.0%	89 1.4%	1,189 19.2%	6 0.1%	0 0.0%	0 0.0%	123 2.0%	6,189 100.0%	7.84%
BXCS	0 0.0%	591 68.4%	0 0.0%	54 6.3%	200 23.1%	9 1.0%	0 0.0%	0 0.0%	11 1.2%	864 100.0%	1.09%
BXCW	0 0.0%	0 0.0%	59 66.1%	3 3.4%	27 30.5%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	89 100.0%	0.11%
C1	134 0.4%	123 0.4%	6 0.0%	27,460 84.8%	2,939 9.1%	1,559 4.8%	0 0.0%	110 0.3%	34 0.1%	32,363 100.0%	41.02%
C5	809 2.7%	129 0.4%	12 0.0%	2,833 9.5%	24,966 84.0%	224 0.8%	0 0.0%	237 0.8%	514 1.7%	29,723 100.0%	37.67%
EST	12 1.1%	0 0.0%	0 0.0%	8 0.7%	0 0.0%	68 6.4%	962 91.7%	0 0.0%	0 0.0%	1,049 100.0%	1.33%
MY	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	70 3.3%	326 15.4%	11 0.5%	0 0.0%	1,699 80.3%	11 0.5%	2,116 100.0%	2.68%
PMM	80 1.2%	11 0.2%	0 0.0%	29 0.4%	623 9.6%	6 0.1%	0 0.0%	5 0.1%	5,761 88.5%	6,513 100.0%	8.25%
Sum mts	5,816	854	77	30,544	30,269	1,881	962	2,050	6,453	78,906	
Sum %	7.4%	1.1%	0.1%	38.7%	38.4%	2.4%	1.2%	2.6%	8.2%	100.0%	

Figura 33: Resultados de un back flagging entre compósitos y modelo de bloques, por unidad de estimación.

Tabla 35: Comparación estadística global entre compósitos y valores estimados.

Unidades de Estimación	UE		UE		...	
	compósitos	bloques	compósitos	bloques		
N°						
Media						
Mínimo						
Máximo						
Varianza						
Sesgo						

Tabla 36: Lista de chequeo del modelo de bloques.

✓	1. Revisión visual muestra que los bloques estimados honran la data.
✓	2. No se muestran diferencias significativas en la comparación de las estadísticas globales (La ley media del modelo debe ser igual o similar a la de los datos desagrupados, ya que el modelo no debería estar sesgado).
✓	3. Swath plot: las leyes de los bloques y compósitos muestran una buena concordancia.
✓	4. Las distribuciones son parecidas (Dos distribuciones muy similares se graficarían sobre la línea de 45 grados en estos diagramas). Comentar los casos en que se muestre mucha diferencia.
✓	5. Las unidades deben presentar un alto porcentaje de coincidencia. Identificar la unidad que tenga un bajo porcentaje de coincidencia (< 80%) e indicar el porcentaje que representa la unidad del total de muestras y la cantidad de metal que representa.

5.3.4.3.4 Comparación Modelos de Bloques

Se debe realizar un cuadro comparativo con las diferencias de los Modelos de Bloques de la estimación en este proceso de actualización y la estimación vigente.

6 Evaluación Costo/Beneficio

En esta sección se hace un análisis simplificado del costo versus beneficio de llevar a cabo este proceso.

1. Primero, en el caso de no realizar esta propuesta se generan los siguientes riesgos:

- ❖ Generación de planes minero metalúrgicos sin el respaldo adecuado que de robustez a las estimaciones de las producciones y costos proyectados.
- ❖ Déficit en la calidad del inventario recursos geológicos, presentando inconsistencias y errores.

Esto debido que se han verificado errores en los datos o en el proceso y generación de distintas versiones del modelo de recursos, produciendo a Codelco:

- ❖ Costo por más horas por persona para rehacer la planificación, lo que se traduce en 3000 horas/hombre (h/h) a 100 dólares la h/h, es decir, 300 mil dólares.
- ❖ Hacer auditoría externa, con un costo de alrededor de 230 mil dólares.
- ❖ Costo oportunidad por el retraso en la realización de la planificación, con lo que se deja de ganar 700 millones de dólares (medido por la tasa de descuento: 8% anual VAN Codelco).

2. En el caso de realizar la propuesta, se presentan las siguientes consecuencias:

Costos

- ❖ Costo del software (Leapfrog Central) depende de la cantidad de proyectos y usuarios, siendo de aproximadamente 60 mil dólares.
- ❖ Costo del diseño-programación del flujo de trabajo (workflow) aprox. de 50 mil dólares.
- ❖ El costo para hacer operativo el flujo se reduce a financiar las h/h de los revisores de cada etapa ya que es la diferencia con el caso de no realizar la propuesta, lo que corresponde a 25 mil dólares por revisor, en el supuesto que sean 8 revisores es de 200 mil dólares.
- ❖ Adecuarse al nuevo método de trabajo, es decir, al software y flujo.

- ❖ Organizar el tiempo para cumplir con el calendario.

Beneficios

- ❖ Eliminar o disminuir errores en los datos y proceso.
- ❖ Garantizar el cumplimiento de las etapas del proceso.
- ❖ Actividades ordenadas en el tiempo y siguiendo reglas específicas.
- ❖ Reduce pérdidas de información ya que la información única se traspasa a través de los distintos participantes siguiendo el flujo definido.
- ❖ Asegura que las personas obtengan la versión correcta del modelo con la información correcta.
- ❖ Conectar áreas o disciplinas de trabajo separadas geográficamente.

7 Discusiones

Con el fin de fortalecer el proceso de planificación minera, en Codelco se decidió desarrollar un proyecto para mejorar la sustentabilidad de la base de la planificación minera, es decir, de los modelos de Geociencias. El modelo de recursos constituye una parte de esta información base, por lo que se busca generar una propuesta metodológica para mejorar el proceso, estandarizando la entrega, almacenamiento, plazos, revisión de la calidad y completitud de los datos de los modelos.

Se sabe que cada División utiliza diferentes metodologías de trabajo ya que cada yacimiento es diferente, es decir, tiene su propia distribución espacial de leyes, patrón de correlación espacial, distribución estadística de leyes, y, por supuesto, sus propios controles geológicos de la mineralización. Lo que dificulta la estandarización del procedimiento de actualización del modelo de recursos, sin embargo, esta propuesta no apunta a generalizar e imponer metodologías en el proceso de construcción del modelo de recursos, sino que a guiar su correcta elaboración y correcto flujo de la información entre los participantes. En este sentido, se da respuesta mediante la estructuración de un flujo de trabajo y un documento con los estándares del contenido mínimo para informar los modelos de recursos.

En cuanto a los resultados:

1. Flujo de Trabajo

A partir de reuniones con las áreas involucradas de cada División hubo una retroalimentación donde se recogieron las opiniones e información sobre la modalidad de trabajo de cada una de estas, obteniendo así un flujo de trabajo que reúne de manera general las acciones a seguir en la actualización del modelo. Este flujo puede verse entorpecido por las particularidades de cada División que no se podrán abarcar, ya que cada una es distinta.

Se constató, además, que las divisiones ya aplicaban las acciones de este flujo, pero no en un procedimiento oficial, por lo que documentar este proceso exigiría un orden de labores.

Esta herramienta administra todas las tareas humanas relacionadas con el proceso empresarial de aprobación y el traspaso de archivos y documentos para ser revisados, realiza un seguimiento del estado actual del procedimiento rutinario y proporciona un registro del proceso una vez que se ha completado.

Los flujos de trabajo están diseñados para optimizar y automatizar tareas que se realiza de forma regular en la empresa para ahorrar tiempo y esfuerzo, eliminando trabajo,

conjeturas y aleatoriedad de los procesos de trabajo. Si alguien está retrasado en completar una acción, tarea, o si surgen algunos problemas se genera una notificación para informarle acerca de él.

Este proceso se plantea de acuerdo a la estructura organizacional de cada División y la Corporación, los entregables pasan por la revisión de ambas partes y la decisión de aprobar implica que se asume responsabilidad por la calidad de la información. Las revisiones son para evitar que pasen errores fatales y crear oportunidades de mejora.

Por otro lado, se estandariza el repositorio en que se almacenará los archivos y documentos, ya que de esta manera se mejora la trazabilidad del proceso, diferentes profesionales pueden acceder a los modelos y permite conocer la evolución del modelo de recursos en el tiempo.

El flujo presentado en este trabajo, es una pauta o guía para que posteriormente, los profesionales idóneos realicen la automatización de éste. Por lo que, probablemente se presentarán dudas y problemas a medida que se programe.

El diseño del flujo en etapas secuenciales y con aprobaciones en cada una de ellas para poder continuar con la siguiente etapa, puede ser una limitación para el trabajo de la División, ya que se tendría que esperar la aprobación para continuar.

El uso de Leapfrog Central se está recién implementando, por lo que se tiene que analizar con la práctica, los requerimientos que necesita, tales como hacer protocolos de carga de los archivos, estandarización de los nombres, reglas para evitar la duplicidad de información. Además, utilizar un único software para dejar archivos puede conllevar a más tiempo de trabajo, por ejemplo, transformaciones a extensiones compatibles con el software, lo que demoraría la entrega.

2. Estándar para informe

Uno de los estándares internacionales para reportar los recursos minerales y reservas mineras es el código JORC, que establece estándares mínimos, recomendaciones y normas para informar sobre los recursos y reservas, pero sólo se refiere a los informes públicos y no lo hace para los informes internos de las empresas, de todos modos, éste código se puede utilizar como una guía, usando los principios que rigen los contenidos de los informes según el código JORC.

Anteriormente por División, se hacía la entrega del modelo de recursos completo junto con su informe, sin embargo, en oportunidades no se realizaba el informe o era entregado con posterioridad. Con esta propuesta, por cada paso o etapa del proceso de

actualización del modelo, se hace la entrega de los archivos que conforman la base de datos, modelos geológicos y modelo de bloques, al mismo tiempo que su informe, lo que favorece a una dinámica más rápida de entrega de datos del proceso.

El contenido del informe tampoco estaba regulado, dificultando la revisión del modelo de recursos, debido a que no se encontraba toda la información requerida para ser revisado. Por lo tanto, se estandariza la información requerida que conforma el modelo y el informe, separada por base de datos, modelos geológicos y de bloques, a partir de las guías de mejores prácticas, informes de modelos de recursos de años anteriores y auditorías o revisiones independientes a los modelos.

Se toma como base el documento interno de Codelco de prácticas recomendadas para el modelamiento geológico (2006), que presenta un temario con los principales puntos que deben estar contenidos en el informe final, estos son principalmente (ver temario completo en Anexo 1): Profesionales, Metodología de Trabajo, Geología, Estimación de Recursos y Categorización de Recursos.

El contraste entre la tabla de contenido de un informe real del modelo de recursos de Andina (2015), ver Anexo 2, con los de auditorías (ejemplo en el Anexo 3) se hace notar las similitudes de contenidos, que deben ser incluidos en los mínimos entregables.

Además, las auditorías al constituir revisiones a los modelos, informan los hallazgos de errores o no conformidades, por lo que éstos son una buena base para extraer los principales puntos a cumplir o áreas a revisar y que tipo de chequeos realizar. En esta misma línea, la guía de mejores prácticas de estimación de recursos geológicos (2006) da pautas de revisiones, definiendo aspectos estadísticos y geológicos para chequear la estimación.

Tener documentos explícitos y oficiales por División proporciona muchos beneficios tales como, proporcionar un registro permanente para Codelco, permitir reproducir el proceso de modelamiento y estimación, conocer las diferencias del modelo de recursos en el tiempo, facilita las revisiones y respaldar la declaración interna y pública de los recursos minerales y su calidad.

Los informes internos de los modelos de recursos son escasos o no informan de todos los aspectos, por lo que el análisis de éstos se vio limitado y sólo se trabajó con el informe de Andina (2015) ya que es el más completo. Pero, además, se consideró varios informes de auditorías realizadas a los modelos de las diferentes Divisiones.

Recomendaciones

Se recomienda seguir con el mejoramiento continuo del proceso estandarizado, debido a que está recién en etapa de implementación a nivel divisional, por lo que probablemente surjan dudas o contratiempos a medida que se avanza en las tareas. Como parte del mejoramiento, evaluar la opción de realizar la estandarización por cada División o separado por yacimientos que posea más características en común, como por ejemplo dividir en mina rajo abierto y subterránea, junto con asesoramiento de profesionales que conozcan al detalle el yacimiento y el modelo de recursos, para adecuar de mejor manera el proceso.

Realizar reuniones técnicas periódicamente entre las Divisiones y la Corporación para facilitar la retroalimentación entre ambas.

El proceso de estandarización de los modelos de geotecnia, hidrogeológico y geometalurgia deberían seguir la misma línea que el de modelo de recursos y continuar la estandarización hasta reservas mineras, para que el proceso de planificación minera mejore.

8 Conclusiones

Para el proceso de actualización y validación del modelo de recursos se obtuvo esta propuesta estandarizada, con dos principales aristas: 1) la estructuración de un sistema de flujo de trabajo, cuya plataforma de trabajo es única con atributos como formatos únicos, calendarización de actividades a nivel corporativo y divisional, información oficial única, aprobaciones explícitas, seguimiento de los hallazgos y recomendaciones y trazabilidad de todas las etapas del proceso. Además, se escogió un solo servidor para almacenar los entregables, que incluye la capacidad para controlar las versiones del modelo y auditarlo. 2) Al mismo tiempo, dentro de este procedimiento, se incorpora la regulación de los contenidos mínimos en la entrega de archivos e informe, estableciendo un documento guía con los mínimos entregables. Como parte de estos mínimos entregables, se incluyen chequeos para la revisión de la calidad de la base de datos, modelos geológicos y de bloques.

Cualquier cambio o exigencia en la forma de trabajar, en un principio, implica una lentitud en el proceso y un problema para su normal fluidez, por lo que es obstáculo que se debe superar con la práctica y aprendizaje. Uno de los impedimentos para la rapidez del procedimiento radica en el diseño del flujo de trabajo, dado que es restrictivo y no es posible salirse del diagrama pero que garantiza el cumplimiento de las etapas, el orden y trazabilidad del proceso.

Basado en el análisis costo-beneficio de la ejecución de esta propuesta, si se presentaría una mejora a largo plazo en el proceso de planificación minera, por las múltiples ventajas que este proceso entrega.

9 Bibliografía

Andina. 2015. Informe de Modelo e Inventario de Recursos Geológicos. Corporación Nacional del Cobre. División Andina. Documento interno.

Australian Joint Ore Reserves Committee. 2012. The JORC Code [online] <http://www.jorc.org/docs/jorc_code_2012.pdf>

Corporación Nacional del Cobre de Chile. 2006. Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico. Documento interno.

Corporación Nacional del Cobre de Chile. 2011. Normas Corporativas Codelco NCC 31. Documento interno.

Corporación Nacional del Cobre de Chile. 2012, 2015. Memoria Anual 2012, 2015. Santiago Chile.

Emery, X. 2007. Apunte de Geoestadística. Departamento de Ingeniería en Minas. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.

Henley, R.W. & Berger, B.R., 1993. What is a Model Anyway? – An Analysis of the Cognitive Development and Use of Models in Mineral Exploration. In: Kirkham et al. (editors) Mineral Deposit Modeling, Geological Association of Canada, Special Paper 40, p. 41-67.

Sabaleta, M y Fuenzalida, J. 2007. Guía de mejores prácticas para el tratamiento de la información geológica. Documento interno.

Sullivan, J. et al. 2004. Guía de mejores prácticas estimación de recursos geológico. Documento interno.

Anexos

1. Estructura Informe Final (Codelco. 2006. Prácticas Recomendadas en Modelamiento Geológico)

- Introducción: debe incluir objetivos y alcances.
- Ubicación: indicar coordenadas y características generales de zona estudiada.
- Personal: indicar profesionales y su responsabilidad en las diferentes tareas desarrolladas.
- Costos Generales
- Metodología de Trabajo: señalar aspectos relacionados a la topografía, perforación de sondajes, mapeos geológicos, análisis químicos, control de calidad, medición de desviación de sondajes, construcción de secciones y plantas geológicas.
- Geología: debe incluir en forma detallada de litología, alteración, estructuras, mineralización, superficies de pisos y techos, estudios de apoyo (geocronología, microscopía, rayos X, otros).
- Factores de Riesgo (manejo, mitigación).
- Estimación de Recursos (si existen estimaciones anteriores, se debe incluir un cuadro comparativo que refleje las diferencias y se explique en detalle las causas que las provocan)
- Categorización de Recursos
- Evaluación Económica
- Conclusiones
- Recomendaciones

2. Tabla de Contenidos del Informe de Modelo e Inventario de Recursos Geológicos 2015 - División Andina

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	BASE DE DATOS	2
2.1	Sistema de Información y Almacenamiento Digital.....	2
2.2	Sondajes	2
2.3	Pozos de Tronadura	5
3	CONTROL DE CALIDAD	6
3.1	Test de Heterogeneidad	6
3.1.1	Selección y Extracción de Muestras	6
3.1.2	Preparación Mecánica y Análisis Químico de las Muestras.....	7
3.1.3	Análisis y cálculo de las Constantes de Muestreo:	7
3.1.4	Cálculo del Error Fundamental y Confección de Nomogramas.....	8
3.2	Control y Aseguramiento de Calidad	10
3.2.1	Control de Análisis Químico	10
3.2.2	Control de Preparación Mecánica	19
3.2.3	Control Muestreo	21
4	SOFTWARE.....	25
5	TOPOGRAFÍA DE SUPERFICIE.....	25
6	GEOLOGÍA.....	26
6.1	Introducción	27
6.2	Descripción Geológica de los Cuerpos Mineralizados	29
6.2.1	Sector Río Blanco.....	29
6.2.2	Sector Don Luis	29
6.2.3	Sector Sur Sur	30
7	MODELAMIENTO GEOLOGICO.....	32
7.1	Litologías.....	36
7.2	Estilos de Modelamiento	37
7.3	Techo de roca.....	38
7.4	Techo de Sulfatos	38
7.5	Piso de Limonitas	38
8	ESTIMACIÓN DE RECURSOS	40
8.1	Definición del Modelo de Bloques	40
8.2	Regiones de Estimación.....	42

8.3	Base de Datos	43
8.3.1	Tratamiento de Sondajes Aire Reverso y DTH sin mapeo	43
8.3.2	Tratamiento de la Unidad de Brechas de Pórfidos	44
8.3.3	Tratamiento de los Pórfidos	44
8.3.4	Base de Datos Los Bronces	45
8.3.5	Sondajes No utilizados	45
8.4	Compósitos	46
8.5	Estimación de Cobre	48
8.5.1	Conceptualización	48
8.5.2	Modelamiento de la Deriva	50
8.5.3	Agrupamiento Litológico	52
8.5.4	Unidades de Estimación	52
8.5.5	Varigrafía	58
8.5.6	Criterios de Búsqueda y Estrategia de Estimación	59
8.6	Estimación de Molibdeno	63
8.6.1	Introducción	63
8.6.2	Conceptualización	63
8.6.3	Modelamiento y Unidades de Estimación	65
8.6.4	Varigrafía	66
8.6.5	Criterio de Búsqueda y Estrategia de Estimación	67
8.7	Estimación de Arsénico	69
8.7.1	Conceptualización	69
8.7.2	Base de Datos	70
8.7.3	Estadística	70
8.7.4	Procedimiento de Estimación y Estrategia de Búsqueda	71
8.7.5	Varigrafía	73
8.8	Estimación de Pesos Específicos	77
8.8.1	Introducción	77
8.8.2	Base de Datos	77
8.8.3	Agrupación de Roca para Estimación de Peso Específico	78
8.8.4	Varigrafía	81
8.8.5	Criterio de Búsqueda y Estrategia de Estimación	83
9	CATEGORIZACIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICOS	85
10	REGULARIZACIÓN DEL MODELO DE BLOQUES	87
11	RESUMEN DE RECURSOS GEOLÓGICOS	88
11.1	Sector Río Blanco	89
11.2	Sector Don Luis	89
11.3	Sector Sur - Sur	90
11.4	Recursos Geológicos Totales	90
12	COMPARACIÓN DE RECURSOS GEOLÓGICOS 2015 Y 2014.....	93
12.1	Recursos Geológicos Totales	93
12.2	Recursos Geológicos Medidos e Indicados.....	95

3. Tabla de Contenidos del Informe Final Revisión y/o Auditoría de Recursos Minerales Proyecto Rajo Inca – Cobre 2016 por EMI-Ingenieros y Consultores S.A.

CONTENIDO

1.- INTRODUCCION	13
2.- GEOLOGIA.....	14
2.1.- Antecedentes Generales.....	14
2.2.- Ubicación.....	15
2.3.- Trabajos Anteriores.....	15
2.4.- Marco Geológico Regional.....	17
2.5.- Marco Geológico Local.....	17
2.6.- Geología Estructural.....	19
2.7.- Alteración y Mineralización.....	21
2.8.- Modelamiento Geológico (Codelco, 2015 b).....	23
2.9.- Auditoría del 5-10% de los Sondajes.....	26
2.9.1.- Información auditada.....	26
2.9.2 Revisión y Observaciones.....	27
2.10.- Conclusiones y Recomendaciones.....	32
3.- BASE DE DATOS.....	34
3.1.- Auditoría de la Base de Datos modelo insitu.....	34
3.1.1.- Introducción.....	34
3.1.2.- Antecedentes.....	34
3.1.3.- Recuperaciones.....	41
3.1.4.- Trayectoria.....	42
3.2.- Auditoría de la Base de Datos Estimación Recursos Material	44
Quebrado	44
3.3.- Auditoría al 10% de la Base de Datos modelo insitu.....	45
3.3.1.- Antecedentes del Collar	46
3.3.2.- Trayectoria o Desviación	46
3.3.3.- Recuperación.....	50
3.3.4.- Calidad de las Muestras.....	52
3.3.5.- Análisis Químico.....	54
3.3.6.- Conclusiones y Recomendaciones	55
a) Sobre la Base de Datos in-situ	55
b) Sobre densidadIn-Insitu	55
c) Sobre recuperación de muestras en sondajes.....	56
d) Sobre trayectoria o desviación.....	57
c) Sobre la auditoría 5 al 10% de la BD modelo insitu	58
Collar.....	58
Trayectoria	58
Recuperación.....	58
d) Sobre Base Datos Quebrado.....	59
4.- ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.....	60
4.1.- Muestreo y Preparación de muestras.....	60
4.1.1.- Sondaje Diamantina: 2011-2012 material in situ	60
a) Protocolos de corte de testigo.....	60
b) Manipulación y almacenamiento:	60
c) Control de masa MedioTestigo - Lab.....	60
d) Protocolos de Preparación	62
e) Duplicados de Muestreo	62
g) Duplicados de Preparación.....	62
h) Duplicados de Análisis Químico.....	63
a) Protocolos de muestreo y preparación de muestras.....	66
b) Duplicados de muestreo y preparación.....	66
c) Duplicados de análisis químico	67
4.2.- Verificación de datos.....	69
4.3 Análisis Químico.....	69
4.4. Procedimientos QA/QC.....	69
Precisión.....	69
Exactitud.....	69
Verificación de datos.....	69
4.5.- Conclusiones y Recomendaciones	72
5.- ESTIMACION DE RECURSOS MINEROS.....	73

5.1.- Modelo de Bloques	73
5.2.- Información de Leyes	73
5.3.- Análisis Exploratorio de Datos	73
5.4.- Composición	75
5.5.- Tratamiento de Valores Extremos	75
5.6.- Revisión de la Variografía	77
5.7.- Back Flagging	79
5.8.- Contactos Unidades Geológicas de Estimación	81
5.9.- Estimación de Recursos Geológicos	81
5.9.1.- Parámetros de Estimación y Procedimientos de Estimación	81
5.9.2.- Densidad	81
5.9.3.- Reporte de Tonelajes	82
5.10.- Análisis de Resultados	84
5.10.1.- Análisis modelo In situ Sector Fuera Quebrado	85
a) Gráfico de probabilidad acumulada	85
b) Gráfico Scatter Plot	85
c) Gráfico Q-Q Plot	86
5.10.2.- Análisis Modelo In situ Sector Dentro Quebrado	88
a) Gráfico de probabilidad acumulada	88
b) Gráfico Scatter Plot	89
c) Gráfico Q-Q Plot	90
5.11.- Gráficos de Tendencia	91
5.11.1.- Tendencia para Leyes en CuT Sector Fuera Quebrado	91
5.11.2.- Tendencia para Leyes en CuT Sector Dentro Quebrado	93
5.12.- Conclusiones y recomendaciones	94
7.- AUDITORÍA MODELO DE BLOQUES MATERIAL QUEBRADO	96
7.1.- Objetivos de la Auditoría del Material Quebrado	96
7.2.- Síntesis de las Observaciones del Consultor	96
7.3.- Conclusiones y Recomendaciones	97
REFERENCIAS	101