

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD  
CATÓLICA DEL PERÚ**

**Escuela de Posgrado**



Uso de la reconciliación para reducir la incertidumbre de la ley en la estimación de recursos minerales en la Mina San Rafael

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de Maestro en Regulación, Gestión y Economía Minera que presenta:

***Xavier Charlton Vila Ortega.***

Asesor:

***Emilio Gómez de la Torre Gutierrez***

Lima, 2023.

## Informe de Similitud

Yo, Emilio Gómez de la Torre Gutierrez, docente de la Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor(a) de la tesis/el trabajo de investigación titulado

Uso de la reconciliación para reducir la incertidumbre de la ley en la estimación de recursos minerales en la mina San Rafael, del/de la autor(a) / de los(as) autores(as)

Xavier Charlton Vila Ortega dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 6%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 15/06/2023.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis o Trabajo de Suficiencia Profesional, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

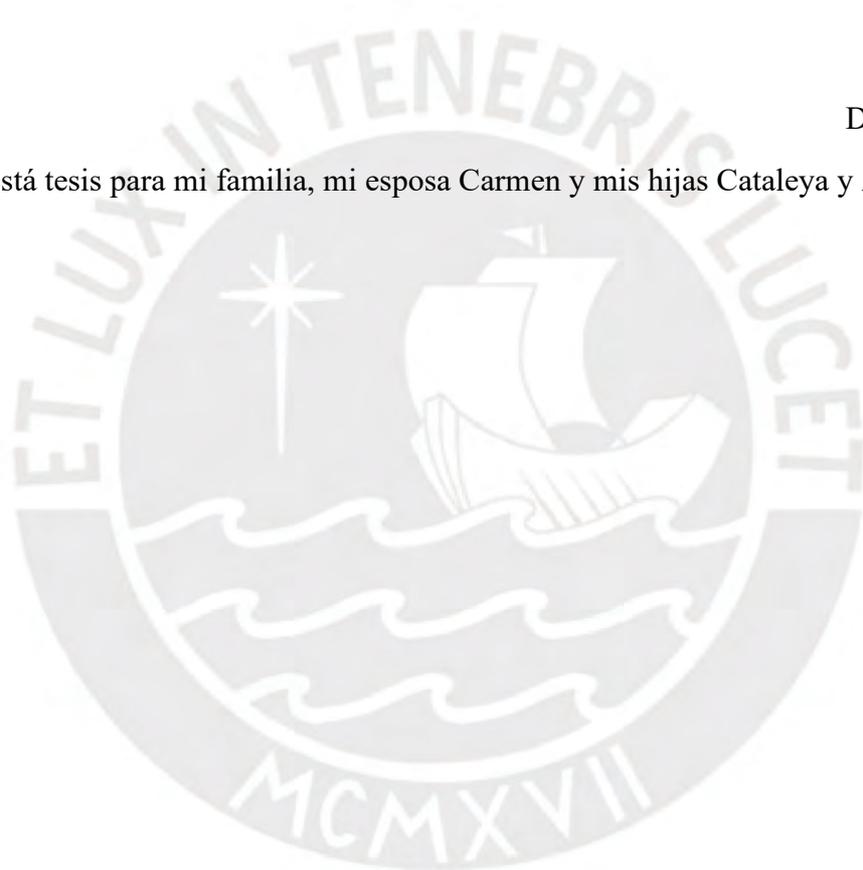
Lugar y fecha:

Lima, 11 de julio 2023

Apellidos y nombres del asesor / de la asesora: Gómez de la Torre Gutierrez, Emilio	
DNI: 42240563	Firma 
ORCID: 0000-0002-1181-3379	

Dedicatoria.

Dedico esta tesis para mi familia, mi esposa Carmen y mis hijas Cataleya y Altagracia.





Agradecimiento.

Para el ingeniero Jerry Vila y Aldo Torres.

## RESUMEN

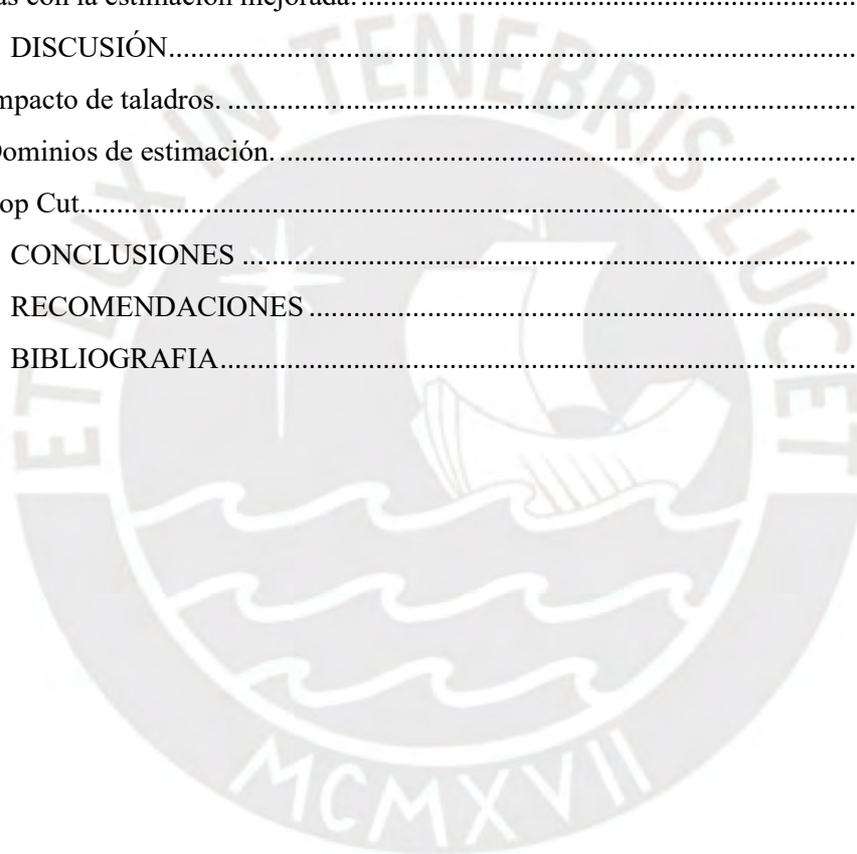
En una actividad minera existe la reconciliación de leyes, la cual nos permite identificar la incertidumbre de la ley (entre la ley de las reservas y la ley real) para cada veta. Luego se hace un análisis de los posibles errores que puedan haber ocurrido en todo el proceso minero; que empieza en geología, pasando por planeamiento, mina y finalmente termina en la planta. En este estudio nos vamos a centrar en la geología, específicamente en la estimación de los recursos; es aquí donde se encuentra malas reconciliaciones en las leyes, por eso, se decide implementar recomendaciones de buenas prácticas (las cuales están evidenciadas en los libros de estimación de recursos, códigos internacionales, manuales de buenas prácticas, recomendaciones de prácticas satisfactorias utilizadas en otras minas) para poder usarlas y generar una nueva estimación, las cuales van a ser monitoreadas en las próximas reconciliaciones, evidenciando una reducción de las brechas en la incertidumbre de las leyes. Dentro de las mejoras está: (1) el uso de impactos de taladros en la generación del sólido geológico; (2) el uso de dominios geológicos en vetas; (3) y el ajuste del valor de top cut usando una combinación de tablas de cuantiles más gráficos estadísticos, para posteriormente hacer el monitoreo con las reconciliaciones.

Finalmente se genera un flujo de caja con dos escenarios, uno con las leyes estimadas, y otro con las leyes que tienen las mejoras en su estimación; evidenciando un beneficio económico de \$30M en el VAN usando las leyes con mejoras en la estimación.

## ÍNDICE

1	INTRODUCCION .....	9
1.1	TEMA Y PROBLEMA .....	9
1.2	HIPOTESIS .....	10
1.3	OBJETIVOS .....	10
1.4	ENFOQUE METODOLOGICO .....	11
2	ESTÁDO DEL ARTE .....	11
2.1	La minería en el Perú. ....	11
2.2	Economía Minera. ....	13
2.3	Proyecto minero. ....	13
2.4	Estimación de recursos minerales. ....	15
2.4.1	Base de datos. ....	15
2.4.2	Conjunto de datos que se validan de forma rutinaria. ....	15
2.4.3	Elaboración de planos. ....	16
2.4.4	Interpretación geológica. ....	17
2.4.5	Georreferenciación y digitalización de planos. ....	17
2.4.6	Generación del modelo geológico. ....	17
2.4.7	Selección de muestras dentro del modelo geológico. ....	17
2.4.8	Análisis estadístico de la data. ....	18
2.4.9	Capeo de leyes. ....	18
2.4.10	Compositación. ....	19
2.4.11	Generación de prototipos. ....	19
2.4.12	Llenado de modelo de bloques en el sólido ....	19
2.4.13	Interpolación de leyes. ....	19
2.4.14	Clasificación de recursos. ....	20
2.4.15	Validación de estimación. ....	20
2.4.16	Retirar el recurso minado. ....	21
2.4.17	Reporte de recursos. ....	21
2.5	Categoría de recursos .....	22
2.5.1	Recurso Inferido .....	22
2.5.2	Recurso Indicado .....	22
2.5.3	Recurso Medido .....	23
2.6	Reconciliación .....	23
2.6.1	Material Roto y Material Extraído: .....	23
2.6.2	Material Reserva de Corto Plazo y Material Extraído: .....	24
2.6.3	Recurso de Largo Plazo y Recurso de Corto Plazo: .....	24

2.7	Flujo de caja.....	24
2.7.1	Valorización de minerales.....	26
2.8	Marco Teórico.....	27
3	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	29
3.1	Incertidumbre de las leyes y tonelajes.....	29
3.1.1	Falta de conocimiento de la estructura mineralizada.....	31
3.1.2	Resultados del uso de impacto en el modelo geológico.....	31
3.1.3	Resultados del uso de dominios de estimación.....	34
3.1.4	Resultados con el ajuste de valor de capeo.....	37
3.1.5	Elaboración del flujo de caja para una reserva sin mejoras en la estimación y con reservas con la estimación mejorada.....	38
4	DISCUSIÓN.....	39
4.1	Impacto de taladros.....	39
4.2	Dominios de estimación.....	41
4.3	Top Cut.....	42
5	CONCLUSIONES.....	44
6	RECOMENDACIONES.....	45
7	BIBLIOGRAFIA.....	46



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla de las leyes sin mejoras en la estimación y con mejoras en la estimación. Elaboración propia.....	11
Tabla 2. Tabla de validación para el ingreso de información a la base de datos de un taladro. Elaboración propia.....	16
Tabla 3. Fórmula del interpolador inverso a la distancia. Fuente: Marco Alfaro, 2007. 20	
Tabla 4. Fórmula del interpolador <i>kriging</i> . Marco Alfaro, 2007. ....	20
Tabla 5. Fórmula para calcular los ingresos de una empresa minera, o valorización del mineral. ....	27
Tabla 6. Diferencias de ley entre una veta con interpretación y otra con interpretación más impactos. Elaboración propia.....	33
Tabla 7. En la tabla Assay, de ingresarse la información del tramo del impacto con el nombre de la veta que corresponde. Elaboración propia.....	34
Tabla 8. Leyes de estaño correspondientes a cada escenario y tonelaje ajustado a un año de producción. Elaboración propia. ....	38
Tabla 9. Resultados de flujos de caja de los 3 escenarios, el valor del VAN está expresado en millones de dólares. Elaboración propia.....	39
Tabla 10. Flujograma para la determinación de los dominios de estimación. Elaboración propia.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Clasificación de recursos minerales. Fuente: Código de JORC, 2012.....	22
Figura 2.	Flujo de caja típico de un proyecto minero. Fuente y elaboración: Fernando Gala.	25
Figura 3.	Vista en planta de dos taladros de perforación ejecutado. Elaboración propia.	32
Figura 4.	Sección vertical, en el eje de interpretación. Elaboración propia. ....	32
Figura 5.	Muestra la sección a lo largo del taladro 1. La veta en color naranja contiene información de interpretación (solamente). La veta en color gris contiene información de interpretación más impacto de taladro. Elaboración propia. ....	33
Figura 6.	Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para el Cuerpo Eliana de la mina San Rafael. Elaboración propia.....	34
Figura 7.	Sección longitudinal de la veta Carmen mostrando los dominios de estimación: A, B, C y D. Elaboración propia. ....	35
Figura 8.	Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para la veta Carmen. Elaboración propia.....	36
Figura 9.	Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para Cuerpo Vicente. Elaboración propia.....	37

## 1 INTRODUCCION

### 1.1 TEMA Y PROBLEMA

El objetivo del modelo actual del negocio minero es generar el mejor aprovechamiento de los recursos naturales para satisfacer la demanda de estos productos hacia las industrias que lo requieren, y así contribuir a la creación de valor y beneficio económico para la misma empresa minera, los stakeholders y las áreas de influencia. El actual modelo de negocio minero hace intervenir en su funcionamiento a: Comunidades, colaboradores, competidores, ONG, clientes, gobierno, accionistas, medio ambiente y proveedores.

Es importante mencionar que el Perú tiene buen ranking de producción minera a nivel Latinoamérica y a nivel mundial. Primero a nivel latinoamericano en la producción de Oro, Zinc, Plomo y Estaño. Segundo a nivel mundial en la producción de Cobre, Plata, Zinc. (Ministerio de Energía y Minas, 2019). Además, las exportaciones en el Perú para el año 2020 representa el 59.3% para el sector económico Minero metálica. (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

La estimación de la variable ley y tonelaje de un yacimiento de mineral es lo más importante en la evaluación de un proyecto minero. Con esta información se inicia la cadena de valor en la minería, empezando con la exploración, explotación, beneficio y ventas. En el proceso de las ventas, se forman los precios de los minerales, tomando como referencia los precios de los metales de las bolsas de valores, luego pasa a una cadena logística (unidad minera, transporte, almacén, embarque, traslado marítimo y destino) y culminamos con la valorización del mineral. Dentro de los componentes de una valorización de minerales está la cantidad de toneladas secas (TMS) y las toneladas húmedas (TMH); calidad del mineral expresada en ley de los elementos químicos, la que corresponde a los ensayos químicos; en los términos comerciales tenemos las fórmulas pagables, gastos de tratamiento y escaladores, gastos refinación y penalidades, periodo de cotización (Q/P); finalmente el precio de los metales. Los componentes más importantes y que ocasionan la variabilidad de los ingresos de una empresa minera está; la ley del concentrado, el precio del metal y la cantidad de concentrado.

El proceso de la reconciliación es la comparación entre la ley estimada y la ley real, medido en el mineral extraído de un mismo lugar y de un mismo espacio geográfico de una mina. La ley estimada es una aproximación de ley de una veta, con información de muestras como canales o taladros, éstas pasan de manera perpendicular a la veta, y sacan información de leyes, densidad y atributo geológico, para este proceso (ley estimada) la veta está en su lugar de origen (*insitu* o que aún no se extrae). Por otro lado, la ley real, es el muestreo del mineral extraído (mineral roto) que es depositado en una cancha de mineral y es ahí donde se obtiene la ley real (muestreo de rumas); y se obtiene el peso de este mineral con los resultados de mediciones en balanza.

El problema empieza cuando se obtiene una variación entre la ley estimada y la ley real, y cuando esta variación porcentual excede el 15% positivo o negativo; a esto se le denomina la incertidumbre de las leyes.

En el caso que estas leyes sean semejantes, nos indican que nuestra estimación está bien ejecutada. Pero en el caso que exista una diferencia entre la ley estimada y la ley real, debemos identificar la causa o las causas que originan esta diferencia. La ley estimada es

el resultado de una cadena de varios procesos, donde están involucrados las áreas de planeamiento, geología y mina; lo que hace un poco complicado la identificación de la desviación, pero con un trabajo en equipo podemos lograr identificarlas.

## 1.2 HIPOTESIS

Se ha identificado tres metodologías que nos ayuda a disminuir el sesgo de las leyes estimadas con respecto a las leyes reales. Como primer punto se recomienda utilizar los dominios de estimación para el sinceramiento de leyes, esto empieza al identificar varios dominios diferenciados por sus cualidades geológicas y finalmente se expresa en distintas calidades de la ley; es preciso decir que una estimación por dominios de estimación genera un sinceramiento de las leyes estimadas y además, es más similar a la ley real.

En segundo lugar, para el proceso de elaboración de modelos 3D de una veta se recomienda utilizar dos fuentes de información siendo una de éstas y la más común el uso de interpretaciones (secciones en planta y secciones verticales), adicionando el impacto de los taladros (el segmento de taladro que corresponde a la veta). Usando únicamente la primera fuente de información se tiende a perder tramos de buena ley y se ganan tramos de baja ley, lo cual es controlado usando los impactos de los taladros. La utilización de esta metodología genera un sinceramiento de las leyes, y se obtiene una mayor cantidad en el valor de las leyes, en comparación de usar únicamente la primera fuente de información.

Y como tercera opción, elegir un valor de top cut haciendo la combinación y contraste entre los resultados de un método cuantitativo y otro método gráfico. Es común utilizar el resultado del método cuantitativo o del gráfico estadístico para obtener el resultado el top cut, en este estudio de investigación se recomienda usar una combinación de estos dos métodos, para obtener un solo valor. El proceso de la elección del valor de capeo es delicado, ya que, al elegir un valor muy alto de capeo provoca una sobre estimación de las leyes y, por el contrario, si se elige un valor muy bajo de capeo provoca una subestimación de la ley.

Estas metodologías anteriormente mencionadas siguen los lineamientos y recomendaciones de códigos internacionales de estimación de recursos y reservas, entre ellas tenemos: JORC (Australia), NI 43 101 (Canadá), SAMREC (Sudáfrica), SME (Estados Unidos), IMM (Europa). Así como guías de las mejores prácticas en la estimación de recursos minerales (CIM). Además, de informes que muestran los beneficios en aplicar estos lineamientos, recomendaciones y guías de las mejores prácticas en otras operaciones mineras.

## 1.3 OBJETIVOS

Para elaborar la estimación de recursos de un proyecto minero se evidencia la intervención de muchos factores, unos inherentes al tipo de yacimiento mineral (tipo de roca caja, tipo de alteración, tipo de mineralización, fracturamiento en la roca caja, temperatura del flujo mineralizante) y otros correspondiente al proceso de obtención de las muestras. Ambos son únicos, de características particulares a un sólo yacimiento, por tanto, debe encontrarse un procedimiento de estimación de recursos adecuado y específico para dicho yacimiento, el cual guardará relación y estará alineado con los lineamientos internacionales de reportes de recursos y reservas.

El objetivo principal se encuentra en demostrar que existen procesos que se acomodan muy bien en la estimación de recursos minerales de un determinado yacimiento, las cuales bajan la incertidumbre de las leyes, que fueron identificadas en la reconciliación de las leyes. Además, demostrar un sinceramiento de las leyes a medida que se tiene más información de muestreo geológico.

Otro objetivo (secundario) es el de identificar mediante un flujo de caja los beneficios económicos entre un escenario de recurso estimado (sin mejoras en la estimación) y otro escenario de recurso estimado (con mejoras en la estimación).

Este objetivo se materializa cuando se demuestra que las leyes (con mejoras en la estimación) son más altas que las leyes (sin mejoras en la estimación) y la evidencia de esta demostración es que las leyes (con mejoras en la estimación) son leyes que se parecen mucho más a las leyes reales (extraídas). Ver tabla 1. La variación entre la ley (sin mejoras) y la ley (con mejoras) es de 6% y la ley con mejoras son más similares a las leyes reales (con una variación entre ellas de 7%).

	%Sn
Reservas (sin mejoras en su estimación)	1.15
Reservas (con mejoras en su estimación)	1.22
Extraído Real	1.31

Tabla 1. Tabla de las leyes (sin mejoras en la estimación), leyes (con mejoras en la estimación) y leyes reales (extraídas). Elaboración propia.

#### 1.4 ENFOQUE METODOLOGICO

Se revisarán los códigos internacionales que sirven para elaborar los reportes de recursos y reservas, como es el caso del código de JORC y el código NI 43-101. Además del uso de buenas prácticas para la estimación de recursos y la exploración minera, en este caso el CIM (Canada Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum) y el *Mineral Resource and Ore Reserve Estimation, The Ausimm Guide to Good Practice*. Además de la revisión de libros y estudio de investigación relacionados a la estimación de recursos minerales, reconciliación minera e incertidumbre de leyes.

También de reportes de reconciliaciones históricos de la mina San Rafael, para las vetas con alta incertidumbre de leyes. Este reporte es de frecuencia mensual, y los resultados de incertidumbre se van a poder observar de manera sencilla y de forma gráfica.

## 2 ESTÁDO DEL ARTE

### 2.1 La minería en el Perú.

La minería en el país representa la mayor cantidad de las exportaciones (Boletín Estadístico Minero Ministerio de Energía y Minas, 2022). Es un generador de divisas, contribuye al crecimiento económico, además de una capacidad de generación de ahorro al país, genera y estimula al desarrollo regional, genera desarrollo industrial, inversiones de desarrollo social. Por ejemplo, una mina que opera en una región proporciona trabajo a todos los pobladores de las zonas de influencia directa e indirecta, genera trabajo a una diversidad de profesionales de carreras afines directamente relacionadas a una operación

minera, hace proyectos de capacitación y generación de empresa para las mujeres y niños de las comunidades cercanas a la mina, trabaja con empresas contratistas para la operación de la mina, construye vías de acceso desde las comunidades hacia las ciudades cercanas; y contribuye a la región y el Estado con el pago de regalías, canon minero, gravamen minero, impuesto especial a la minería y derecho de vigencia. Según un reporte del Boletín Estadístico Minero Ministerio de Energía y Minas del año 2022 se han generado 222,485 empleos de manera directa (compañía y contratistas) por parte de la minería correspondiente al año 2022.

En el Perú la minería es la principal fuente de exportaciones del país entre los recursos metálicos y no metálicos (59%). Luego se tiene las exportaciones de petróleo y gas que llega a ser el 9%; seguidamente está la exportación pesquera con el 4%. Otra actividad significativa en porcentaje de participación está la agropecuaria con 13%. (Boletín Estadístico Minero, 2022).

Como se puede apreciar que la principal actividad económica que tiene nuestro país es la metálica, En nuestro país tenemos minas productoras de cobre, oro, plomo, plata, estaño, etc. el gobierno pone como prioridad en su agenda, por tanto, se preocupa por incrementar las inversiones internacionales en la ejecución de proyectos mineros. (Boletín Estadístico Minero, 2022).

La minería tiene muchos factores que pueden frenar su ejecución como es la estabilidad política de un país, seguridad interna del país, nivel de exigencia de las regulaciones ambientales, incertidumbre concerniente a la propiedad de tierras.

Los factores anteriormente mencionados se tienen que tomar en cuenta para incrementar la cantidad de proyectos mineros en un país y es necesario recibir inversión extranjera, para el año 2011, a nivel mundial, hubo una inversión mundial de US\$ 16.3 billones, recibiendo la mayor inversión Canadá con el 18%, la menor inversión con 3% (Colombia, Brasil, Rusia) y Perú con un 5%, al igual que Chile. (Metal Economic Group, 2012).

Todavía se puede explorar en el Perú, el área total del Perú es de 120,000,000 Ha., área de derechos mineros titulados 12,962,000 Ha. y área de derechos mineros en trámite 5,735,100 Ha. además, hay un área restringida a la actividad minera con un área de 81,007,998 Ha. En conclusión, el 17 % del área total del Perú está libre para realizar exploraciones y encontrar algún yacimiento de mineral, hay bastante área por explorar lo cual se provoca atraer más inversiones extranjeras para la ejecución de un proyecto minero. (Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2021).

Para que pueda existir una mina en una región, tiene que existir ley en el yacimiento de mineral encontrado dentro de esa región. “La ley del mineral se refiere a la concentración de oro, plata, cobre, estaño, etc., que está presente en las rocas y en el material mineralizado de un yacimiento” (Codelco Educa, 2017). Esta concentración se puede medir de diferentes formas en porcentaje (%), partes por millón (ppm), onzas por tonelada (oz/t), etc., otra característica de estas concentraciones de elementos, es que tiene un valor económico en el mercado.

El Perú, está presente en el ranking mundial en la producción minera de varios productos mineros. En producción de cobre, a nivel Latinoamérica está en el segundo lugar, y a nivel mundial también en segundo lugar. En producción de plata, a nivel Latinoamérica está en el segundo lugar, y a nivel mundial también en tercer lugar. En producción de zinc

está en primer lugar a nivel Latinoamérica, y en segundo lugar a nivel mundial. En producción de oro, está en segundo lugar a nivel Latinoamérica, y en el onceavo lugar a nivel mundial. En producción de Plomo, está en primer lugar a nivel Latinoamérica y en el cuarto lugar a nivel mundial. En producción de estaño, está en el primer lugar a nivel Latinoamérica, y en el tercer lugar a nivel mundial. (United States Geological Survey, 2021).

## 2.2 Economía Minera.

El funcionamiento de un proyecto minero dentro de una determinada región es economía minera. La economía minera es una subdivisión de la economía, esta disciplina puede describirse en tres grandes aspectos, los cuales deben ir bien interrelacionados, estos son: A. La teoría económica, principios administrativos y técnicas en la toma de decisiones. La teoría económica se centra en la realización de políticas de gobierno y lo relacionado al sector público. B. Principios administrativos, trabaja dentro del sector privado haciendo funciones de planificación en empresas. C. Y técnica de toma de decisiones, este punto está inclinado en la elaboración de proyectos de diferentes ramas, como es la ingeniería, administración, contabilidad, etc. (Mackenzie, 1992).

La economía es una ciencia social que examina como las personas eligen entre las alternativas disponibles para ellos. Las tres preguntas económicas fundamentales son: ¿Qué debería ser producido?, ¿Cómo deben producirse los bienes y servicios? y ¿Para quién deben producirse los bienes y servicios? (Mankiw, 2001).

Para dar una mejor explicación de lo anterior, vamos a tratar la economía minera, donde expresa que es un proceso donde los minerales se convierten de recursos geológicos a recursos negociables o vendibles. Todo esto empieza desde una exploración, desarrollo, producción y finalmente el mercado de minerales. ¿Por qué hacer una definición específica en economía minera? Es una actividad que se basa en un ambiente geológico, lo que le hace distinta a las otras actividades económicas.

## 2.3 Proyecto minero.

Un proyecto minero empieza desde la exploración, iniciando el proceso con una prospección, la prospección tiene como objetivo identificar una anomalía mineralizada, en este proceso nos ayudaremos de muchas herramientas, las cuales tienen un alto precio, en donde podemos mencionar a la ciencia geológica, geoquímica, geofísica, fotografías aéreas, mapas geológicos con información de ubicación de minas antiguas y modernas.

Luego viene el proceso de la exploración, el objetivo de una exploración es conocer las dimensiones de la zona mineralizada (modelo geológico); las características que se deben conocer de un modelo geológico son: azimut de la estructura, rumbo de la estructura, potencia de la estructura, altura de la estructura, minerales económicos, leyes de los minerales, densidad de mineral. Pero ¿cómo se obtienen los valores de ley?, es ahí donde utilizamos las técnicas de muestreo, el más usual, barato y fácil de ejecutar, es el muestreo de trincheras, zanjas y túneles (laboreo minero). Otra técnica, que implica más inversión económica es la perforación, se puede hacer perforación por aire reverso y perforación diamantina. La exploración significa un largo periodo de inversión, además de mucho dinero y un alto riesgo a perder todo en el caso no se encuentre un yacimiento mineral.

El paso siguiente, consiste en utilizar toda esta información y se procede a realizar la estimación global del modelo geológico, aquí se usa la geoestadística como herramienta

para obtener la ley promedio de los recursos minerales del modelo geológico. Además de esto procedemos a realizar un estudio de pre- factibilidad, donde se toma la decisión de seguir o abandonar el proyecto. En el caso que siga el proyecto, lo que era un proyecto se convierte a yacimiento. Un reporte de recursos minerales se rige a un código internacional, varias minas del Perú usan el Código de JORC (Joint Ore Reserves Committee), donde explica y especifica las características que debe de cumplir una categoría de recurso (medido, indicado e inferido). Un recurso mineral es una concentración de roca de interés económico dentro o sobre la corteza terrestre, que tiene perspectivas razonables para ser explotado. Los recursos minerales se dividen en medido, indicado e inferido. La categoría medido, es aquella parte del yacimiento que tiene un alto nivel de confianza, la confianza la brinda los lugares de muestreo, los cuales se encuentran cerca el uno con el otro. La categoría indicado es aquella parte del yacimiento que tiene un razonable nivel de confianza, las muestras están un poco más alejadas unas con otras. Y el recurso inferido, es aquella parte del yacimiento cuya confianza es de bajo nivel, hay poca evidencia geológica y necesita de más muestreo para que suba a una categoría indicado o medido. Finalmente, al otro nivel al que pasa un recurso es una reserva, siendo la reserva la parte económicamente explotable de un recurso (recurso más confiable) medido e indicado, pero tomando otros factores para su explotación, como es el factor social, factor metalúrgico, factor minero, factor ambiental, factor gubernamental, factor legal. Las reservas se dividen en reservas probables y probadas, donde un recurso medido pasa a ser una reserva probada, mientras un recurso indicado tiene dos opciones, puede ser reserva probada o probable. (Código de JORC, 2012.).

El desarrollo es el proceso donde sabiendo la cantidad de mineral de tratamiento, procedemos a realizar la construcción de la planta concentradora, en paralelo se realiza el desarrollo y preparación de la mina, también se construyen las oficinas, los campamentos, las vías de acceso, taller de mantenimiento mecánico, tópicos y comedores.

La producción consiste en la extracción del mineral con métodos de explotación de mina subterránea o mina a tajo abierto. Los métodos de explotación por mina subterránea son varios, entre los más principales se listan: corte y relleno ascendente, corte y relleno descendente, *shrinkage* (almacenamiento provisional), *sublevel stoping* (tajeo por subniveles), *room and pillar* (cámaras y pilares), *sublevel caving* (hundimiento por subniveles), *block caving* (hundimiento por bloques). Los métodos de explotación en tajo abierto tenemos: Cortas, descubiertas, terrazas, contornos, canteras, graveras, lixiviación. Este material explotado es trasladado a la planta concentradora, para lo cual se necesita acarreo (línea amarilla), aquí empieza el proceso de chancado, molienda, flotación, concentrado y fundición. El material no valioso, después de la flotación es el relave, teniendo como destino final, la relavera.

Comercialización de minerales, los precios de minerales se cotizan por las bolsas, una de ellas es la Bolsa de Nueva York (COMEX) y la Bolsa de Metales de Londres (LME), estas cotizaciones están en dólares americanos. En las bolsas se llevan a cabo las transacciones de compra y venta, las cuales pueden ser inmediatas o a un periodo de tiempo de 5 a 10 años. Otra utilidad de las bolsas es que se hacen especulaciones de los precios de los metales y se realizan inversiones. La comercialización de los metales se realiza de dos maneras, una es la venta entre comprador y vendedores, fijando los precios establecidos en la bolsa de valores al momento de la venta. Es importante mencionar la calidad de la mercadería, estableciendo premios y castigos en el precio. La otra forma de

comercializar es mediante un intermediario (*trader*), ya que el *trader* ofrece el financiamiento a ser pagado en el embarque.

## 2.4 Estimación de recursos minerales.

### 2.4.1 Base de datos.

Para realizar la estimación de una variable en un lugar donde no se tiene muestra es necesario utilizar la información de leyes de las muestras adyacentes, el valor de esta estimación tiende a ser muy cercano al valor real, en caso contrario la estimación tiene algún error en su ejecución. Si no tenemos la ley de la muestra, entonces no podemos realizar la estimación de esta ley, pero antes se debe tener la certeza que el valor de esta ley es la correcta, para esto se usa la herramienta del aseguramiento y el control de las leyes. El aseguramiento de la calidad diferencia los errores en tres tipos: los del tipo I, ocasionados por omisión o negligencia; los del tipo II, de muestreo o medición y; los del tipo III, de naturaleza sistemática (Long Scoot, 2020). A continuación, se describirán los errores más comunes:

- Heterogeneidad geológica: Estos problemas son generados por personal que no tiene la experiencia necesaria para realizar la actividad (poco calificado).
- Toma de muestra: En una ruma de material, al momento de muestrear se toma mayor cantidad del material más fino y frágil, dejando de muestrear el material más grueso y consistente, debido a que se tiene que romper. En el caso del muestreo de canales sólo se extrae fragmentos grandes cuando el material duro. Para los testigos de taladros el incorrecto marcado de la línea de corte, para el marcado del inicio y fin de la muestra no se toma en cuenta los contactos litológicos, la variación de alteración, el cambio de línea, etc. Errores en la codificación de los datos o también conocido como cruce de muestras; etc.
- Medición de parámetros: Durante la preparación, mala ejecución de cuarteo; no se usa estándares certificados; para el cálculo de la densidad no se considera la porosidad de la muestra; el uso de diferentes unidades de medida para las distintas variables (ley, peso, densidad, etc.); ausencia de información de los límites inferiores y límites superiores de los elementos químicos.
- Preparación de la Base de Datos: esto se debe a los errores en la alimentación de información en una hoja de Excel; como es la mala digitación de datos; la ausencia de inserción de data de importancia, nombre de muestrero, nombre de la veta, nombre del análisis químico.

### 2.4.2 Conjunto de datos que se validan de forma rutinaria.

Cada día se genera mucha información de taladros, la cual debe ser ingresada en una base de datos con frecuencia diaria, la cual está comprendida por una variedad de tablas, entre ellas tenemos: la tabla recuperación, la tabla litología, la tabla diámetro, la tabla alteración, la tabla mineralización, la tabla assay, la tabla *survey*, etc. Una manera de comprobar la tabla recuperación, *rock type* y diámetro es comparar la sumatoria de sus tramos con la longitud total del taladro; los cuales deben ser iguales, en el caso que sea diferente, entonces se ha cometido un error.

Para las tablas recuperación, *rock type* y diámetro; la sumatoria de los tramos debe ser menor o igual a la longitud final del taladro. Caso contrario se ha incurrido en un error.

Para el caso de la tabla *survey*, la última medición de *survey*, tiene que ser menor a la longitud final del taladro. Además, se puede revisar si se realizó la ejecución de todas las mediciones *survey* en el taladro. Finalmente, también para la tabla *survey*, la variación angular entre dos mediciones consecutivas (en una distancia de 10 m.) no debe exceder los 3°, si ocurre esta desviación, se debe hacer la corrección del error; cuando un taladro tiene un dip mayor a los 90°, entonces es común que la variación en el ángulo azimuth sea mayor a los 3°. (Informe de base de datos Mina San Rafael de AMEC, 2014).

BHID	Long. total (m.)	Recuperación (Σ tramos; m.)	Rock Type (Σ tramos; m.)	Diametro (Σ tramos; m.)	Alteración (Σ tramos; m.)	Mineralización (Σ tramos; m.)	Assay (Σ tramos; m.)	Survey 1 (Ultima lectura cada 3 m.)	Survey 2 (variación angular de lecturas consecutivas)
DDH-101020 (Incorrecto)	305	299	305	295	150	200	250	297	SI
DDH-101020 (Correcto)	305	305	305	305	150	200	250	303	NO

Tabla 2. Tabla de validación para el ingreso de información a la base de datos de un taladro. Elaboración propia.

### 2.4.3 Elaboración de planos.

En una operación minera subterránea en funcionamiento a medida que se avanza con la preparación de la mina se realiza muestreo sistemático de canales (en galerías mineras) y perforación diamantina de exploración e *infill*, con esta información actualizada de data de muestreo y de topografía, procedemos a elaborar los planos. Se prepara tres bloques de planos:

- Planos en planta, son planos horizontales elaborados a la corona de un avance lineal (galería) y deben tener información de: muestras sistemáticas de canales con valores de leyes, silueta de la topografía, silueta de las vetas con nombre de vetas, silueta de los tajos (minado), grilla de coordenadas general y grilla de coordenadas local.
- Planos verticales, o también denominado sección transversal, tiene como orientación ser perpendicular a la orientación de la veta, y se realizan cada 12.5 metros. Este plano debe contener: muestras sistemáticas de taladros con valores de leyes, silueta de la topografía con nombres de niveles, silueta de las

vetas con nombre de vetas, silueta de los tajos (minado), grilla de coordenadas general y grilla de coordenadas local.

- Planos a lo largo de taladro, comúnmente se elaboran taladros orientados en los ejes verticales para facilitar las interpretaciones, pero en el caso que estén en otra dirección se elabora una sección a lo largo del taladro. Este plano debe tener la información de: muestras sistemáticas de taladros con valores de leyes, silueta de la topografía con nombres de niveles, silueta de las vetas con nombre de vetas, silueta de los tajos (minado), grilla de coordenadas general y grilla de coordenadas local.

#### 2.4.4 Interpretación geológica.

Las secciones se entregan a los geólogos de mina para que procedan a realizar la interpretación, para ello utilizan las secciones de leyes (explicado en el punto anterior) y las secciones geológicas en planta; con respecto a las secciones geológicas se refiere a los mapeos geológicos a la corona de la labor; y con respecto a las secciones verticales (con información de taladros) se utiliza los logueos geológicos de taladros. En los logueos se encuentra la información de la litología, la mineralización, las alteraciones, la línea de perforación, la recuperación, la desviación a lo largo del taladro.

Con estos dos conjuntos de planos se producen una silueta de la veta. Para que posteriormente se genere la georreferenciación y digitalización de la silueta de la veta.

#### 2.4.5 Georreferenciación y digitalización de planos.

La georreferenciación es un proceso del área de modelamiento y consiste en marcar cuatro puntos de un plano de preferencia con números de coordenadas enteras, para luego ubicarlo en las coordenadas correspondientes dentro del software minero. Esto se realiza para los planos horizontales y para los planos verticales.

En esta etapa se detectan los errores en las interpretaciones, ya que la silueta de la veta en un plano horizontal no amarra con la silueta del plano vertical. En este caso se procede a devolver los planos a los geólogos de ore control para que procedan con las correcciones, para luego hacer nuevamente el proceso de georreferenciación.

La digitalización es un proceso posterior a la georreferenciación, para hacer la digitalización se debe tener la seguridad que las siluetas de las vetas interpretadas en planos horizontales y verticales cuadren exactamente. La digitalización consiste en dibujar en el software minero las siluetas de las vetas de los planos horizontales y verticales georreferenciados.

#### 2.4.6 Generación del modelo geológico.

Luego de realizar las digitalizaciones de los planos obtenemos las líneas de la silueta de la veta interpretada, esta silueta la separamos en dos partes, las siluetas del piso y las siluetas del techo, a cada una de estas se le denomina panel. También se adicionan los impactos de los taladros interpretados por los geólogos de ore control, estos impactos contienen una longitud que va del piso al techo de la veta o viceversa. Luego se procede a elaborar el modelamiento de cada panel, para finalmente obtener el sólido 3D de la veta.

#### 2.4.7 Selección de muestras dentro del modelo geológico.

Con la ayuda del software minero se puede hacer la selección de todas las muestras (de canales y taladros) que están dentro del sólido 3D, esta selección de muestras puede tener

tolerancia, se recomienda usar una tolerancia de cero metros, debido a que se tiene una confianza muy alta a las interpretaciones. Suele usarse una tolerancia en el caso que haya habido un movimiento topográfico de labores mineras.

#### 2.4.8 Análisis estadístico de la data.

Este proceso consiste en realizar el análisis estadístico de la data seleccionada dentro el sólido 3D de la veta, primero se realizan las verificaciones:

- Como es que la cantidad de muestras coincida con la cantidad de leyes de la o las variables a estimar, si estos números no coinciden se conversa con el área que corresponda para que complete la información incompleta, si coinciden los números procedemos con el siguiente paso.
- Los valores de las leyes de la o las variables a estimar deben estar dentro del siguiente rango, deben ser mayores al límite inferior de análisis químico, y deben ser menores al límite superior de análisis químico, esto dependiendo del método de análisis.
- Las longitudes de las muestras (canales y taladros) deben estar en el rango no menores a la longitud mínima de muestreo, y no mayores a la longitud máxima de muestreo.
- Las muestras deben contener el nombre correcto del origen de la veta, así como el nivel de la labor de donde se extrajeron.

Además, en el análisis estadístico de las muestras se sacan los valores de los estadígrafos de las diferentes variables a analizar, como es: la cantidad de muestras, la media, la moda, la mediana, el coeficiente de variación, la varianza, los percentiles, los deciles. También se realizan gráficos estadísticos como son: los histogramas y la probabilidad acumulada.

#### 2.4.9 Capeo de leyes.

El capeo de leyes consiste en identificar los altos valores de ley de una variable, las cuales están ubicados por encima del cuantil 95 (valor de capeo) y, además, estén alejados de una familia o agrupación de datos. Las leyes altas se pueden eliminar o igualar al valor de capeo, en esta investigación se iguala al valor de capeo.

Se debe controlar el valor de capeo, en el sentido que no sea muy bajo, y que no sea menor al cuantil 95, ya que afecta directamente al tonelaje de finos a estimar, provocando una subestimación de las leyes. De igual manera si se toma un valor muy alto de capeo, se puede incurrir en una sobreestimación de las leyes, lo cual afecta directamente al tonelaje de finos.

Siendo la ley de capeo un valor que afecta directamente a los finos estimados se debe tener mucho cuidado al momento de calcularlo, es por lo que hay varias metodologías para poder obtenerlo. Dos de ellos son tablas, como el análisis de deciles, otro es el análisis de discrepancias; y también métodos gráficos, como es la probabilidad acumulada logarítmica, los histogramas normales y el coeficiente de variación acumulado. Una buena combinación de herramientas para obtener el valor de capeo es usar una tabla y un gráfico, como es la tabla de análisis de discrepancia acompañado del gráfico de histogramas y la probabilidad acumulada logarítmica.

#### 2.4.10 Composición.

Un canal está conformado por varias muestras de diferentes longitudes, la composición es el proceso de homogenizar a una longitud determinada, y esta longitud puede ser la media, la moda o la mediana.

La muestra es una porción de material que se extrae en dirección perpendicular al rumbo de la estructura mineralizada, además tiene una forma lineal. En el campo cuando se extraen las muestras de canales en la corona de la labor o al frente de la labor, estas tienen diferentes tamaños, el objetivo de una composición es la homogenización de estas longitudes. De la misma forma se sucede con las muestras de los taladros de una perforación diamantina.

La longitud de composición proviene de un estadígrafo ya sea la media, la moda o la mediana. Es común usar la moda ya que es la longitud que más se repite.

Para realizar una estimación es importante ingresar la data de canales y/o taladros con longitudes homogenizadas.

#### 2.4.11 Generación de prototipos.

El prototipo es un paralelepípedo que contiene a la veta mineralizada, que contiene la información de las coordenadas del origen del prototipo, la coordenada mínima y máxima de las abscisas, la coordenada mínima y máxima de las coordenadas, la coordenada mínima y máxima de la cota, el tamaño de las aristas de la celda, los ángulos de giro de la celda, la cantidad de celdas en cada eje y que estén dentro del paralelepípedo (prototipo).

#### 2.4.12 Llenado de modelo de bloques en el sólido

Para llenar las celdas dentro de un sólido se requiere del prototipo y del sólido de la veta. Es común utilizar las celdas con doble giro, siendo el primer giro paralelo al rumbo de la veta, y el segundo giro orientado al buzamiento de la veta. El tamaño del modelo de bloque está ligado al método de extracción del mineral.

#### 2.4.13 Interpolación de leyes

En un inicio para realizar una interpolación de leyes es necesario realizar un desagrupamiento de las muestras, para esto utilizamos el elipsoide búsqueda, adicional a ello unas restricciones de mínimo y máximo de compuesto por elipsoide, y también el uso de octantes. Con estas restricciones hacemos el desagrupamiento de muestras. Si en una primera búsqueda no se satisface con las restricciones entonces pasamos a una próxima búsqueda con características de elipsoide de mayor tamaño.

Se usan varios interpoladores para calcular las leyes en los lugares donde se requiere estimar, cada interpolador usa una fórmula distinta para calcular los valores de leyes a estimar. Por ejemplo, el interpolador vecino más cercano asigna la ley del lugar donde se requiere estimar el valor de la ley más cercana a esta dentro del elipsoide de búsqueda.

El interpolador inverso a la distancia es una fórmula donde se calcula la ley del lugar donde se requiere estimar, para esto se utilizan las leyes conocidas con su respectiva distancia que se separa del lugar donde se requiere estimar, además, se puede cambiar el exponente asignado a la distancia. Los datos que participan se pueden discriminar utilizando una elipse de búsqueda. Siendo  $z$  la variable ley,  $d$  la variable distancia,  $N$  la cantidad de datos,  $\alpha$  el exponente.

$$\hat{z}_s = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{d_i^\alpha}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\alpha}} \quad (\alpha > 0)$$

Tabla 3. Fórmula del interpolador inverso a la distancia. Fuente: Marco Alfaro, 2007.

El interpolador *kriging* comprende otra fórmula para calcular la ley que se requiere estimar, donde lambda es un ponderador de *kriging* y tiende a ser más alto si está más cerca de la muestra que se requiere estimar y más bajo si está más lejos. Los datos que participan se pueden discriminar utilizando una elipse de búsqueda.

El valor para estimar en un lugar cualquiera responde a la sumatoria de las leyes conocidas en los lugares conocidos y los ponderadores  $\lambda$  y el coeficiente  $\alpha$  son incógnitas desarrolladas por el *kriging*.

$$z^*(\mathbf{x}_0) = a + \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha z(\mathbf{x}_\alpha).$$

Tabla 4. Fórmula del interpolador *kriging*. Marco Alfaro, 2007.

#### 2.4.14 Clasificación de recursos.

Los recursos se clasifican en tres categorías, según la confiabilidad geológica, siendo éstas: medido, indicado e inferido.

Es de categoría medido cuando se requiere estimar una ley en un lugar determinado y se utiliza un elipsoide de dimensiones pequeñas y se encuentra compósitos, a pesar de tener restricciones de rangos de compósito (mínimo, máximo) y uso de octantes. Es de categoría indicado cuando se requiere estimar una ley en un lugar determinado y se utiliza un elipsoide de dimensiones medianas y se encuentra compósitos, a pesar de tener restricciones de rangos de compósito (mínimo, máximo) y uso de octantes. Es de categoría inferido cuando se requiere estimar una ley en un lugar determinado y se utiliza un elipsoide de dimensiones grandes y se encuentra compósitos, a pesar de tener restricciones de rangos de compósito (mínimo, máximo) y uso de octantes.

#### 2.4.15 Validación de estimación.

Luego de realizar la estimación de leyes se debe tener la certeza que los resultados obtenidos son los correctos, para esto existen diferentes de procesos de validación. En caso de que se encuentren desviaciones en cualquier proceso de validación, se tiene que volver a realizar la estimación de los recursos hasta minimizar las desviaciones.

##### 2.4.15.1 Validación visual.

Está validación consiste en evidenciar la correspondencia y semejanza en la comparación entre los compósitos que participaron en la estimación con leyenda de rangos de ley y el modelo de bloques estimado con leyenda de rangos de ley. La leyenda de rangos de leyes

para los compósitos y para el modelo de bloques debe ser el mismo, para que sea comparable.

Si está correspondencia y semejanza existe, entonces se puede concluir que la estimación está bien hecha, por tanto, podemos proceder con el siguiente proceso. En el caso que está correspondencia y semejanza no exista, entonces se concluye que la estimación está errada, por tanto, se debe realizar nuevamente el proceso de estimación desde el inicio.

#### 2.4.15.2 Validación local.

Esta validación realiza una comparación entre las leyes de los diferentes interpoladores, la ley de la muestra seleccionada y la ley de la composición; esta comparación es zonificada en franjas verticales en la dirección del rumbo de la veta y en franjas horizontales en cota; se debe tener en cuenta la correspondencia entre los valores comparados, los cuales son comparables ya que corresponden a una misma variable; en el caso que exista una correspondencia entre los valores, se concluye que la estimación es correcta; en el caso que no exista correspondencia entre los valores, se concluye que la estimación está errada y se tiene que volver a realizar el proceso de estimación desde el inicio.

Los datos que se comparan se grafican en un *swath plot* (es un gráfico estadístico que muestra la evolución de una variable al largo de una dirección, siendo esta el norte, sur o cota) donde se puede observar de manera más sencilla la correspondencia entre los valores mencionados. En estos gráficos también puedes incluir el tonelaje del recurso.

#### 2.4.15.3 Validación global.

Esta validación realiza una comparación entre las leyes de los diferentes interpoladores, dicha comparación es de manera global (toda la veta), se debe cumplir que la variación porcentual entre las leyes promedio de los distintos interpoladores no exceda el 5%, si excede este valor, se concluye que la estimación está errada y se tiene que volver a realizar el proceso de estimación desde el inicio.

Por otro lado, la variación porcentual entre la ley promedio de la muestra seleccionada y la ley promedio de los compósitos es distinto a cero, debido a que las muestras compositadas tienen valores de leyes capeadas.

#### 2.4.16 Retirar el recurso minado.

Para poder reportar los recursos estimados *insitu* se tiene que hacer una diferencia entre el recurso total menos el recurso minado.

El recurso minado está comprendido por los tajos, laboreos lineales (galerías, chimeneas, estocadas, etc.) expresado en sólidos. En una explotación de cuerpos es común que el sólido de explotación sea más pequeño que el sólido de la veta, quedando un recurso en forma de costras pegadas a la roca caja, este recurso no debe ser contabilizado, por tanto, usamos perímetros de minado (para eliminar estas costras), estos perímetros son bordes de los tajos en sección longitudinal, las cuales son proyectadas en la misma vista, eliminando todo lo que encuentre en su proyección.

#### 2.4.17 Reporte de recursos.

Para reportar los recursos, es recomendable homogenizar la categoría de recursos estimada, tomando en cuenta el plano longitudinal de recursos estimados más el plano

longitudinal de compósitos. Además de identificar las zonas interpretadas y con poca cantidad de compósitos, para dejar de reportarlo.

En el reporte es necesario declarar el tonelaje del mineral, la ley de los diferentes elementos tanto económicos como contaminantes, el volumen, la densidad, categoría del recurso, zona mineralizada, todo esto separado en bloques con identificador “cota – sección”.

## 2.5 Categoría de recursos

El recurso mineral es la concentración de material (en estado sólido) con una calidad de ley y tonelaje y expectativa para una extracción económica. Estos recursos se clasifican en tres, las cuales están diferenciadas por su confianza geológica, el recurso inferido tiene una baja confianza geológica, el recurso indicado tiene una mediana confianza geológica y el recurso medido tiene una alta confianza geológica. La confianza geológica está definida por la evidencia geológica, el conocimiento geológico y el muestreo; además, esta confianza geológica demuestra la ubicación, cantidad, ley y continuidad del recurso (Código de JORC, 2012).

En la figura 4.2 se observa la clasificación de los recursos minerales.

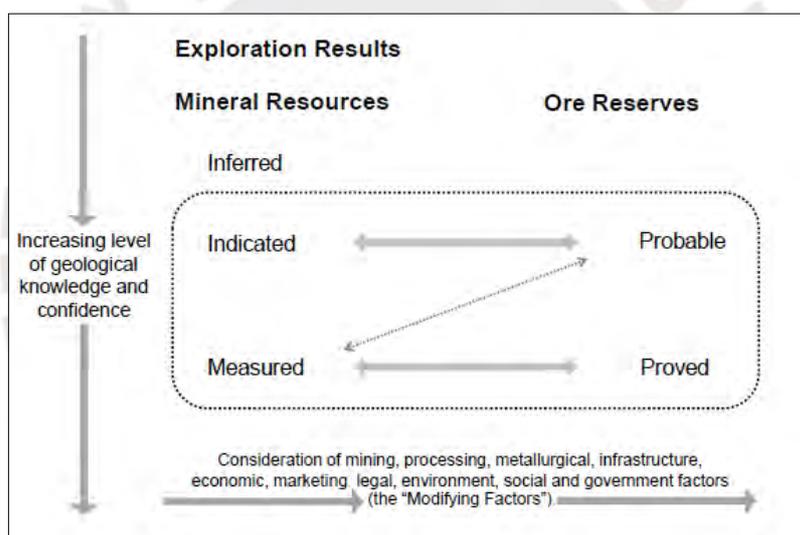


Figura 1. Clasificación de recursos minerales. Fuente: Código de JORC, 2012.

### 2.5.1 Recurso Inferido

Es un recurso cuya ley al ser estimada tiene una evidencia geológica y muestreo limitado, la cual nos permite suponer, mas no verificar la continuidad geológica ni la continuidad de las leyes. Es importante aclarar que un recurso inferido tiene menos confianza geológica que un recurso indicado y no puede convertirse en una reserva. Pero si puede pasar a un recurso indicado con una continua exploración (Código de JORC, 2012).

### 2.5.2 Recurso Indicado

Es un recurso cuya ley al ser estimada conserva una evidencia confiable en la continuidad geológica y de muestreo, como este recurso ya puede convertirse a reserva probable, ya se pueden aplicar los factores modificadores para que formar parte del planeamiento de minado. La evidencia geológica es detallada y confiable lo que representa una continuidad

geológica, la evidencia geológica es el muestreo. El recurso indicado tiene menos confianza geológica que un recurso medido y solo puede convertirse a una reserva probable (Código de JORC, 2012).

### 2.5.3 Recurso Medido

Es un recurso cuya ley al ser estimada conserva una evidencia suficiente en la continuidad geológica y de muestreo. La evidencia geológica es detallada, confiable y suficiente para confirmar la continuidad geológica y las leyes. El recurso medido es el recurso de mayor confianza geológica, además, puede convertirse a reserva probable o a reserva probado (Código de JORC, 2012).

## 2.6 Reconciliación

La reconciliación es la comparación entre los valores de una predicción (tonelaje y ley de una estimación) versus valores medidos (valores de tonelaje y ley de un reporte oficial) en un mismo espacio y en un periodo de tiempo determinado.

Si en el proceso de reconciliación se evidencia alguna desviación o variación de los resultados, se debe identificar en que parte del proceso existe un error, luego identificar la causa raíz, para culminar con la corrección del error y volver a evaluar los resultados. La identificación de las variaciones en la reconciliación y la corrección de las desviaciones en este proceso genera una mejora continua en los procesos y mejora la cadena de valor en la operación de la mina, si no se mide las variaciones no se puede pensar en oportunidades de mejora (R. Hargreaves y C. Morley, 2014).

### 2.6.1 Material Roto y Material Extraído:

El material roto está conformado tanto por el mineral y por el desmonte. Siendo el mineral el modelo de recursos estimado con las muestras de soporte (canales y taladros) y siendo el desmonte el material que se ubica al piso y al techo del recurso estimado, necesariamente en estructuras delgadas como las vetas se extrae con desmontes hacia las cajas. Existen varios problemas al momento de elaborar el sólido o envolvente de la rotura, ya que está resulta de la elaboración manual (elaboración e interpretación de secciones cada metro) de sólidos imperfectos emitidos por el equipo Optech.

El material extraído es el total del material roto que es trasladado por los volquetes desde interior mina hacia los stocks de superficie, además este material es muestreado para obtener las leyes y es pesado por una balanza antes de ingresar a el lugar de descarga, para finalmente ingresar a la planta concentradora. Para poder contabilizar este material vamos a encontrar varios problemas, la confusión en la nomenclatura de los tajos extraído por los volquetes; la combinación de material extraído de dos tajos adyacentes que salen por una misma transferencia y con un solo nombre de tajo; la inoperatividad de la balanza originando resultados vacíos de pesos; realizar la medición de perdida de material que no se pudo extraer por el equipo debido a su ubicación como es en los vértices del tajo, así como de las aristas inferiores del tajo; se realiza una sobrelimpieza de material en una zona de recuperación de pilares, aumentando la dilución del material extraído; también se observa material remanente en la tolva de los volquetes luego de realizar la descarga del material.

Partiendo de la premisa que la variación de las leyes entre el material estimado y el material extraído debe ser lo más parecido posible, la problemática puede dividirse en 2 partes:

- La ley del material roto es mayor que la ley del material extraído. En la interpretación no se tomó en cuenta unas vetas muy delgadas y mineralizadas hacia el piso o hacia el techo de la veta principal, además estas vetas muy delgadas están dentro de la zona minada.
- La ley del material roto es menor que la ley del material extraído. Dentro de la interpretación de la veta mineralizada también se ha interpretado desmonte, los cuales se ha sobre dimensionado.

#### 2.6.2 Material Reserva de Corto Plazo y Material Extraído:

El tonelaje de la reserva de corto plazo es el recurso de corto plazo más una dilución hipotética hacia el piso y el techo, además de tomar en cuenta el ancho mínimo de minado. Para el caso de un cuerpo la dilución disminuye y hasta puede acercarse a cero.

Para identificar las variaciones en la variable tonelaje, es mejor realizar una comparación entre la reserva de corto plazo versus el material extraído, de igual forma, las variaciones que superan un 10%, son las que deben prestar una mayor atención en el análisis de conciliación. La problemática se divide en 2 partes:

- El tonelaje de la reserva de corto plazo es mayor que el tonelaje del material extraído. Puede ocurrir que un taladro perforado no ha llegado a volar, lo cual origina una menor extracción de material en el tajo.
- El tonelaje de la reserva de corto plazo es menor que el tonelaje del material extraído. La sobre rotura de un tajo hacia el piso o el techo de la estructura mineralizada determina un mayor tonelaje de extracción respecto al tonelaje de la reserva de corto plazo.

#### 2.6.3 Recurso de Largo Plazo y Recurso de Corto Plazo:

El recurso de largo plazo es el mineral interpretado con información de perforación diamantina de exploración y también con labores de exploración, las cuales contienen canales sistemáticos.

El recurso de corto plazo es el mineral interpretado con mayor cantidad de información que el modelo de largo plazo, como una perforación diamantina de exploración, una perforación diamantina *infill* y además labores de preparación, las cuales contienen muestreo sistemático de canales.

Por otro lado, también podemos identificar las variaciones entre los resultados de los recursos de largo plazo versus los recursos de corto plazo, donde se pueden encontrar dos tipos de diferencias:

- La ley del recurso a largo plazo es mayor a la ley del recurso a corto plazo. Las leyes realizadas en una malla de perforación de exploración tienen mejores valores que las muestras sistemáticas de canales
- La ley del recurso a largo plazo es menor a la ley del recurso a corto plazo. En una malla de perforación más angosta y con más información de un muestreo sistemático de canales, se realizan nuevas interpretaciones, originando un nuevo modelo de corto plazo, que se diferencia del modelo de corto plazo.

#### 2.7 Flujo de caja.

En el actual modelo de negocio minero se ve el involucramiento de: Clientes, comunidades, accionistas, proveedores, colaboradores, medio ambiente, ONG,

competidores y gobierno. El objetivo del modelo actual del negocio minero es generar el mejor aprovechamiento de los recursos naturales para satisfacer la demanda de estos productos hacia las industrias que lo requieren, y así contribuir a la creación de valor y beneficio económico para la misma empresa minera, los stakeholders y las áreas de influencia. Según el Banco Central de Reserva del Perú a noviembre del 2020, dentro de las exportaciones, la minería (metálico y no metálico) hace un total de 60.4%, siendo el minero metálico de 59.3%. Así mismo también se muestra los principales destinos de exportación minero metálicas, encabezando China (40%), Suiza (8%), Canadá (7%), India y Corea del Sur (6%), Japón (5%), Estados Unidos (4%), etc. (Ministerio de Energía y Minas, 2019). Principal destino de Exportación de cobre es China, principal destino de exportación de zinc es China, Corea del Sur y España; principal destino de exportación de oro es Canadá, Estados Unidos, Suiza, Emiratos Árabes Unidos. (Ministerio de Energía y Minas, 2020).

Un flujo de caja es un involucramiento de muchas variables resumido en los ingresos y egresos de dinero a lo largo de la vida útil de un proyecto minero, con el objetivo de mostrar la rentabilidad de este.

El flujo de caja típico de un proyecto minero empieza con la pre inversión y la inversión, los cuales son egresos; luego cuando empieza la operación es donde se evidencian los ingresos, que tiene que ser mayores de los egresos para hacer rentable el proyecto; y finalmente los egresos correspondientes al cierre de mina.

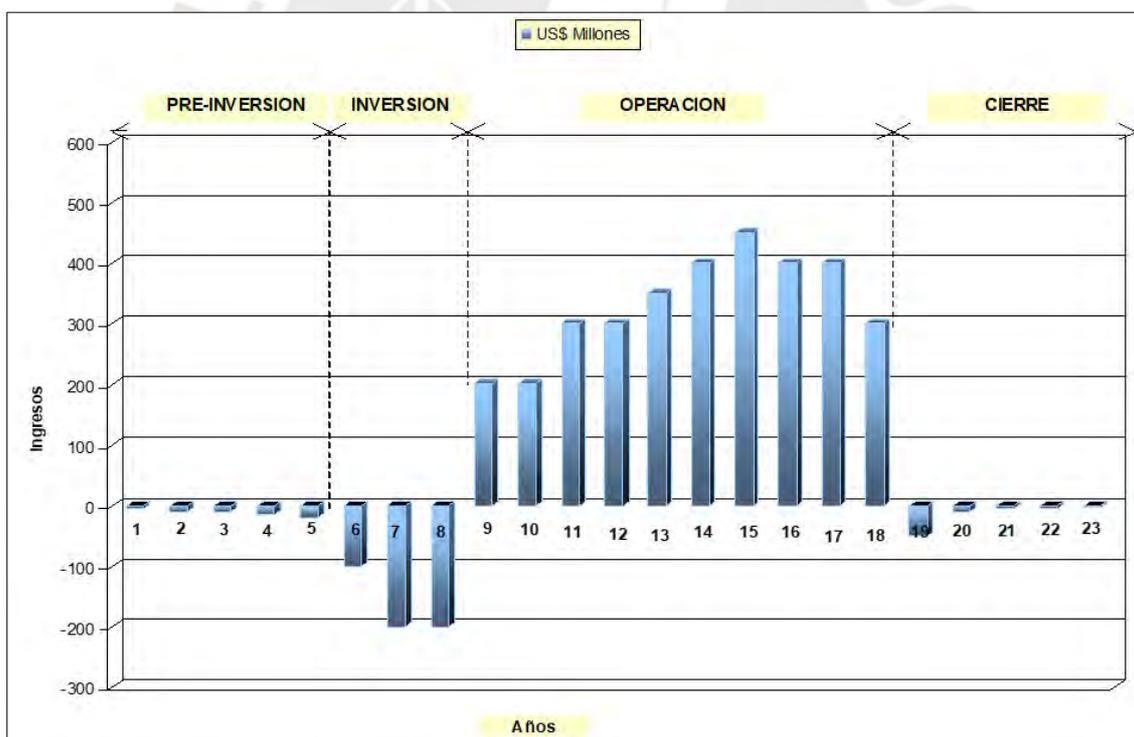


Figura 2. Flujo de caja típico de un proyecto minero. Fuente y elaboración: Fernando Gala.

Existen varios métodos para elaborar el flujo de caja como son: 1. Método de Ingresos y Egresos en efectivo. 2. Método del flujo de fondos. 3. Método del escudo fiscal.

El primero requiere calcular el impuesto a la renta a partir del estado de ganancias y pérdidas. Dentro de los ingresos está los préstamos y las ventas de mineral; y dentro de

los egresos está la inversión, los costos de ventas, los gastos administrativos, gastos de venta, gastos financieros, amortización de deuda, otros gastos, otros impuestos, participación de trabajadores e impuesto a la renta (este es el que se usa en este estudio de investigación).

### 2.7.1 Valorización de minerales.

La formación de precios de los metales empieza con la ley de la oferta y la demanda, el precio de los commodities metálicos está determinado por la demanda, el aumento de la demanda está relacionado inversamente con los inventarios, ósea, a la demanda de un commodities metálicos aumenta debido a una disminución del inventario (poco stock). El precio de los commodities se basa en los traders, operadores financieros, bancos, fondos de inversión (se explica líneas abajo), especuladores, y las bolsas de metales. Actualmente con la presencia de los fondos de inversión (hedge funds) la especulación de precios es un factor que afecta en la formación de los precios de los metales, hace 25 años el precio de los commodities se regían únicamente por la ley de la oferta y la demanda. Otro factor que afecta en la formación de los precios de los metales está la situación económica de los países productores y consumidores, situación geopolítica mundial, desastres naturales, huelgas, tasa de interés y tecnología.

Una de las principales funciones de las bolsas de los metales es la protección de las fluctuaciones de los precios de los metales a través de las operaciones de cobertura que se realizan a través de los mercados de futuro hacia los productores, consumidores, intermediarios y especuladores. Dentro de las principales bolsas de metales para la toma de precios de metales básicos está: London Metal Exchange (LME), Chicago Mercantile Exchange (CME), Shanghai Future Exchange (SFE) y para metales preciosos (oro, plata) se toma los precios de la bolsa London Bullion Market Association (LBMA).

La cadena logística comercial para el concentrado de minerales inicia en la unidad minera, se realiza el transporte hacia el almacén, luego del almacenaje se realiza el embarque, para el posterior traslado marítimo y finalizando en su destino.

Dentro de los componentes de una valorización de minerales está la Cantidad con las toneladas secas (TMS) y las toneladas húmedas (TMH); Calidad del mineral expresada en ley de los elementos químicos, la que corresponde a los ensayos químicos; en los Términos comerciales tenemos las fórmulas pagables, gastos de tratamiento y escaladores, gastos refinación y penalidades, periodo de cotización (Q/P); finalmente el precio de los metales.

Con respecto a los términos comerciales son los pagos o deducciones usados para la valorización de productos mineros. Las fórmulas pagables son fórmulas asociadas a los principales metales contenidos que generan valor a los concentrados de los minerales. Para las deducciones está: Maquila o gastos de tratamiento, son los gastos desarrollados durante el proceso de fundición y/o refinación, además, los gastos por energía y mano de obra en los procesos antes mencionados; Escaladores, es un factor de aumento o reducción de la maquila o gasto de tratamiento con respecto al precio base de la maquila, estos se aplican para el plomo y el zinc; Penalidades, se definen por cada impureza o insoluble que se presenta en los concentrados y que sean elementos perjudiciales en la fundición y/o refinación.

$$V = (Lc * p * Rmf * Rmr) - Tc) * Qc$$

Tabla 5. Fórmula para calcular los ingresos de una empresa minera, o valorización del mineral.

Siendo:

V: Ventas (US\$).

Lc: ley del concentrado.

p: precio del mineral.

Rmf\*Rmr: recuperaciones metalúrgicas en fundición y refinación (pérdidas metalúrgicas).

Tc: costo de los procesos faltantes para obtener mineral refinado expresado en \$/TM (maquilas de fundición y refinación, penalidades).

Qc: cantidad del concentrado obtenido.

## 2.8 Marco Teórico

Para poder conceptualizar mejor el estudio de investigación, se detallan la bibliografía que me ayudo a generar mis sustentos:

- El código de Australia para el reporte de resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral establece estándares mínimos, recomendaciones y guías para el reporte público de resultados de exploración, recursos y reservas minerales. Las buenas prácticas para realizar una estimación de recursos minerales y su respectivo reporte (Código de JORC, 2012) permite identificar las desviaciones o errores que se puede incurrir en una estimación de recursos mineros. Este estudio de investigación contribuye con los lineamientos del código de JORC para generar las mejoras en la estimación relacionadas a la incorporación de los impactos de los taladros en la elaboración del sólido de la estructura mineralizada.
- La Guía para la Mejores Prácticas en la estimación de Recursos Minerales y Reservas Minerales es una guía para para ayudar a los geocientíficos profesionales e ingenieros a preparar estimaciones de alta calidad y que incorporen prácticas geocientíficas, de ingeniería, de evaluación y de diseño sólidas; estas guías están diseñadas para proporcionar pautas generales de las mejores prácticas para la estimación de recursos y reservas. Explicación de recomendaciones y pautas de mejores prácticas para la estimación de recursos y reservas mineras (CIM, Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo, 2019) permite identificar las desviaciones o errores que se puede incurrir en la elaboración de una estimación de recursos mineros. El objetivo de este estudio de investigación son los lineamientos de cómo se debe escoger la máxima ley de corte de una variable, así como la forma de controlar la cantidad de leyes a disminuir para no afecte en la sobreestimación ni subestimación de las mismas.
- La Guía para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera se ha desarrollado para ayudar a los profesionales de la ciencia de la tierra para que realicen un

trabajo de alta calidad de manera consistente, con el fin de mantener la confianza pública. Estas guías de exploración tienen por objetivo ayudar a los geocientíficos y exploradores en la planificación, supervisión y ejecución de programas de exploración. Explicación de recomendaciones y pautas de mejores prácticas en la exploración minera (CIM, Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo, 2018) permite identificar las desviaciones o errores que se puede incurrir en una estimación de recursos mineros. Esta guía contribuye con sus lineamientos para elaborar y mantener una base de datos al más alto nivel, y que funcione de manera directa con la elaboración del sólido de la veta.

- Modelo y explicación de un reporte con lineamientos del Código NI 43-101 (Reporte de Estimación de Recursos Minerales de la Mina San Rafael, 2020) donde se puede identificar en que proceso podríamos verificar en el caso de un posible error que se esté ejecutando. El objetivo de este tipo de informe de investigación es identificar si en el proceso de la presentación del informe de recursos minerales se está obviando un proceso de validación referente a los dominios, elección de alto errático de leyes o elaboración de sólidos de las vetas.
- Práctica dirigida a la conciliación de recursos y reservas, menciona sobre la importancia de recopilar y almacenar datos consistentes y confiables que sirvan para el análisis de la reconciliación, de comprender las fuentes de error, y finalmente, presentar los datos claros a los otros departamentos. Proporciona pautas para la correcta elaboración de reportes finales de una reconciliación de recursos minerales (I. Glacken & C. Morley, 2004) también enuncia en que parte del proceso de reconciliación se encuentran los errores más comunes de este proceso. La contribución de este estudio de investigación es el de brindar las herramientas adecuadas para poder obtener los mejores resultados de un análisis de reconciliación.
- Una estrategia para minimizar los problemas de conciliación de la ley del mineral entre la mina y la planta, este material ofrece 18 recomendaciones para minimizar los problemas de reconciliación, identificar y minimizar los problemas de la reconciliación para finalmente poder tomar decisiones proactivas. Menciona y recomienda una estrategia para minimizar los problemas de conciliación de la ley de mina y la ley de planta (F. Pitard, 2001) además, identifica las causas y sus efectos económicos en una operación minera. El objetivo del estudio de investigación es enunciar los principales errores que se encuentran en las reconciliaciones de diferentes minas, para que no vuelvan a ser realizadas.
- El estudio de investigación que lleva como título Reconciliación minera, una descripción general de los puntos de recolección de datos y análisis de datos, la cantidad y calidad de los datos recopilados tendrá un impacto significativo en la calidad de las reconciliaciones. Los resultados desfavorables deben conducir a un análisis detallado para poder identificar la causa raíz para luego poder corregir. Muestra las variables que afectan la confiabilidad de los resultados en la conciliación en cada proceso de estimación de recursos minerales (R. Hargreaves & C. Morley, 2014) cuando una empresa minera realice el monitoreo de los factores clave relacionados con la reconciliación, esta mina logrará una mejora continua de sus procesos y pasará a un nivel de control y prevención que la culpa y presentaciones de informes.

- La guía para la creación de un código de prácticas para la reconciliación se sitios mineros. Generar un código que incluyan: relaciones clave de reconciliación, definiciones de recopilación y validación de datos, metodologías y cálculos, descripción de informes y productos, responsabilidades; con el objetivo de tener la posibilidad de que las prácticas de reconciliación brinden beneficios de manera continua, también para obtener una mejor precisión en los modelos estimados, para una mejor rentabilidad de la mina. Establece y documenta las buenas prácticas en la reconciliación (C. Morley, 2014) recomendando guías para elaborar reconciliaciones correctas, además, de recomendar un proceso de mejora continua, corrigiendo los errores de la reconciliación, para así, agregar valor significativamente a una empresa minera.
- Con título Incertidumbre de la ley y su impacto en la reconciliación de la ley de mineral entre el modelo de recursos y la mina, expone que la mala conciliación entre valores estimados y reales puede causar pérdidas económicas en la industria minera, dentro de los factores de la incertidumbre de las leyes está: La naturaleza del yacimiento, la incertidumbre aleatoria y los errores sistemáticos. Explicación y cuantificación de la incertidumbre de la ley, además, de la explicación de las fuentes de incertidumbre (A. Parhizkar & M. Atei & P. Moarefvand & V. Rasoli, 2011).
- El estudio de investigación de Categorización de recursos y reservas mineras menciona que la categorización de recursos explica que el grado de confiabilidad de estos, además, expone que la cuantificación de la incertidumbre de la ley en los recursos minerales y los aspectos que se consideran al definir la calidad del valor estimado. La incertidumbre de las leyes está relacionado al conocimiento geológico del yacimiento, características geométricas de la disposición de las muestras y continuidad espacial de la ley. (J. Ortiz & X. Emery, 2004).
- La definición y explicación de la reconciliación minera y de los procedimientos para validar y actualizar una base de datos para generar una estimación (M. Rossi, C. Deutsch, 2014). También menciona de los pasos para poder elaborar una estimación por dominios de estimación,

### 3 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Incertidumbre de las leyes y tonelajes.

La incertidumbre de las leyes puede generar pérdidas millonarias en la elaboración de proyectos mineros, un estudio realizado por el Banco Mundial para Estados Unidos y Canadá evidencia que el 73% de los proyectos han fracasado (debido a problemas con la estimación de las reservas minerales) perdiendo US\$ 1,106 millones de dólares de inversión (Vallee, 2000; Dimitrakopoulos, 2007). También se ha demostrado que, de 39 estimaciones de diferentes minas, 20 estimaciones no tuvieron una buena precisión en la estimación (Rossi & Parker, 1993). Lo mismo ocurre con malas conciliaciones, para la variable ley, en las estimaciones de diferentes minas (Baker y Giacomo, 1998).

Existe malas conciliaciones en minas de oro, las cuales generan perdidas irreparables en muchos tajos abiertos en Australia (Snowden, 2000). Existe un caso particular de subestimación de ley en una variación de 50% de las onzas extraídas, para la mina de Sunrise (Haren & Williams, 2000). Por el lado contrario, de sobreestimación de ley, se

hizo un análisis de conciliación para 35 minas de oro, encontrándose sobreestimación de ley, hasta una variación porcentual de 58% en el peor de los casos evaluados.

Se puede distinguir tres fuentes de incertidumbre para la ley en la etapa de exploración.

- Primero la naturaleza del yacimiento, la variabilidad de las leyes está relacionado con el tipo de yacimiento, es importante detallar los factores que afectan en la formación de un yacimiento: la roca caja, la temperatura de los fluidos, el fracturamiento de la roca, la presión, la composición química de los fluidos, todos estos generan un yacimiento de características propias, y de variabilidades de leyes propias.
- En segundo lugar, tenemos a la incertidumbre aleatoria. La cual está relacionada con la cantidad insuficiente de muestras para realizar la estimación de los recursos. A medida que aumenta la cantidad de muestras, se reduce la incertidumbre aleatoria.
- Y en tercer lugar encontramos a los errores sistemáticos, está consiste en la ejecución de otra forma de sacar muestras (distinta a la inicial), o también se puede explicar como el cambio de soporte a medida que avanza el proyecto minero. Esto se da cuando se avanza y se cambia en la ejecución de una operación minera, específicamente cuando se pasa de la fase de exploración (uso de soporte: taladros de perforación) hacia la fase de preparación (uso de soporte: canales sistemáticos).

Una etapa crítica en la evaluación de proyectos mineros es la definición de un recurso, específicamente en la asignación de la categoría del recurso, ya que está acompañada del grado de confiabilidad geológica. (Vallée, 1999). La incertidumbre relacionada a la categorización de un recurso: criterio geológico, criterio geométrico y criterio geoestadístico (J. Ortiz & X. Emery, 2004).

- Dentro de los criterios geológicos, se encuentra la incertidumbre en la interpretación geológica, donde se define la continuidad geológica de la mineralización. Esto se controla con un buen conocimiento de la geología regional y local del yacimiento por parte del geólogo. La interpretación geológica debe utilizarse en conjunto con otro criterio que se tenga consistencia y se repita, como es el caso de las leyes de las muestras en dicha estructura (J. Ortiz & X. Emery, 2004).
- En el criterio geométrico, la incertidumbre está en la delimitación del recurso razonablemente estimado, o la delimitación del recurso inferido. El grado de confianza de un recurso varía según la cantidad y distribución de muestras que tiene para realizar su estimación. Es distinto asignar una categoría de recursos a un bloque que tiene una sola muestra, que otro bloque que tiene más de una muestra para desarrollar su interpolación, en el primero caso hay menos confiabilidad geológica que el segundo. Una buena práctica es definir una longitud de recurso extrapolado, la cual debe estar acompañada con el grado de continuidad espacial de las leyes (J. Ortiz & X. Emery, 2004).
- Con respecto al criterio geoestadístico, la incertidumbre se encuentra en establecer una dirección espacial de las leyes, la cual es definida por medio de herramientas geoestadísticas como son los variogramas, el correlograma o la covarianza, las cuales permiten hacer una cuantificación repetible de la ley. Para generar una mejor asignación de la categoría es necesario considerar la abundancia y

redundancia de la información al momento de estimar (J. Ortiz & X. Emery, 2004).

La clasificación del recurso tiene que obedecer al análisis y control de las incertidumbres de los tres criterios de líneas arriba, para poder obtener la mejor clasificación del recurso estimado.

### 3.1.1 Falta de conocimiento de la estructura mineralizada.

La mejor forma de tener el conocimiento exacto de la forma de la estructura mineralizada es:

- a. Obtener la mayor cantidad de información, con perforación diamantina, canales de muestreo sistemático, etc.
- b. Aseguramiento de la calidad para la topografía de muestreo y control de calidad para la variable ley.
- c. Conocimiento del yacimiento por parte del geólogo para realizar las interpretaciones.

En el primer punto, a medida que se obtiene la mayor cantidad de información se puede hacer una mejor delimitación la estructura mineralizada. Para esto se puede usar información que provenga de diferente soporte como es la perforación diamantina, la perforación de aire reversa, el muestreo sistemático de canales, elaboración de calicatas, elaboración de trincheras. Por otro lado, es importante mencionar que, a mayor cantidad de información, mayor inversión de dinero.

Para el segundo punto. Es necesario tener un aseguramiento de la calidad de la topografía, para tener la seguridad de trabajar con la verdadera ubicación de los soportes. Además, es necesario un control de la calidad de las leyes, para tener la seguridad de trabajar con la verdadera ley de la muestra.

En último punto, a medida que un geólogo tiene mayor experiencia y conocimiento con respecto a un yacimiento es muy probable obtener una mejor interpretación a comparación de un geólogo nuevo en el mismo yacimiento.

### 3.1.2 Resultados del uso de impacto en el modelo geológico.

Para la elaboración de un modelo en tres dimensiones, es necesario las líneas de interpretación y los impactos de los taladros. Comúnmente se realiza la elaboración del sólido 3D únicamente con las líneas interpretadas, en ejes horizontales, verticales y a lo largo de taladro; más no usando los impactos de los taladros. Las ventajas de usar estos dos datos, aparte de ser el mejor proceso para elaborar los sólidos 3D, es que refleja una estimación con leyes más reales, ya que, está tomando en la selección de muestras todo el impacto que corresponde a la estructura mineralizada.

Uno de los principales problemas en la falta de conocimiento de la estructura mineralizada son los errores en las interpretaciones (H. M. Parker, 2011).

En el estudio de investigación se refuerza y se comparte la conclusión de que la falta de conocimiento de la estructura mineralizada son los errores en las interpretaciones. Para demostrar dicha conclusión se muestra como ejemplo un caso real de una interpretación con taladros en la mina. En la figura 3 se muestra una sección en planta con dos taladros, en el programa de perforación estos taladros están siguiendo una misma dirección, pero

en el ejecutado los taladros no tienen una misma dirección, hacia el oeste los taladros empiezan en un mismo punto, hacia el este se van separando; esto ocurre debido a factores de la misma perforación diamantina, como son el tipo de roca, la velocidad de perforación, la presencia de fallas geológicas. Para realizar la sección vertical se tiene que elaborar un eje de interpretación, el cual se recomienda elaborarlo al medio de los taladros.

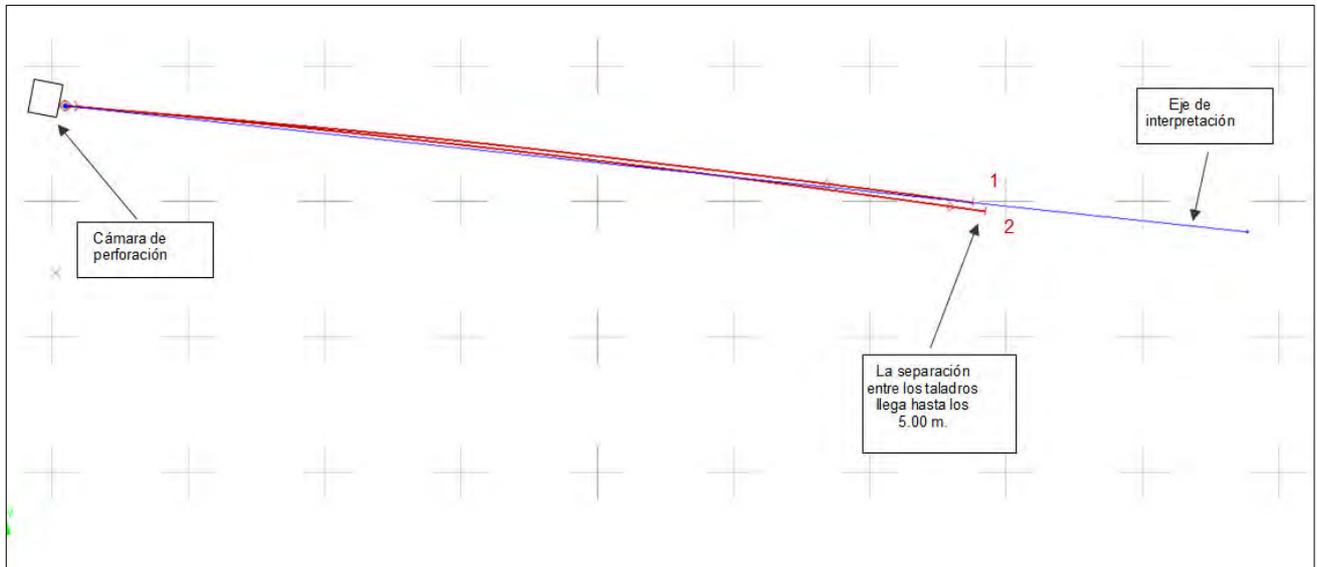


Figura 3. Vista en planta de dos taladros de perforación ejecutado. Elaboración propia.

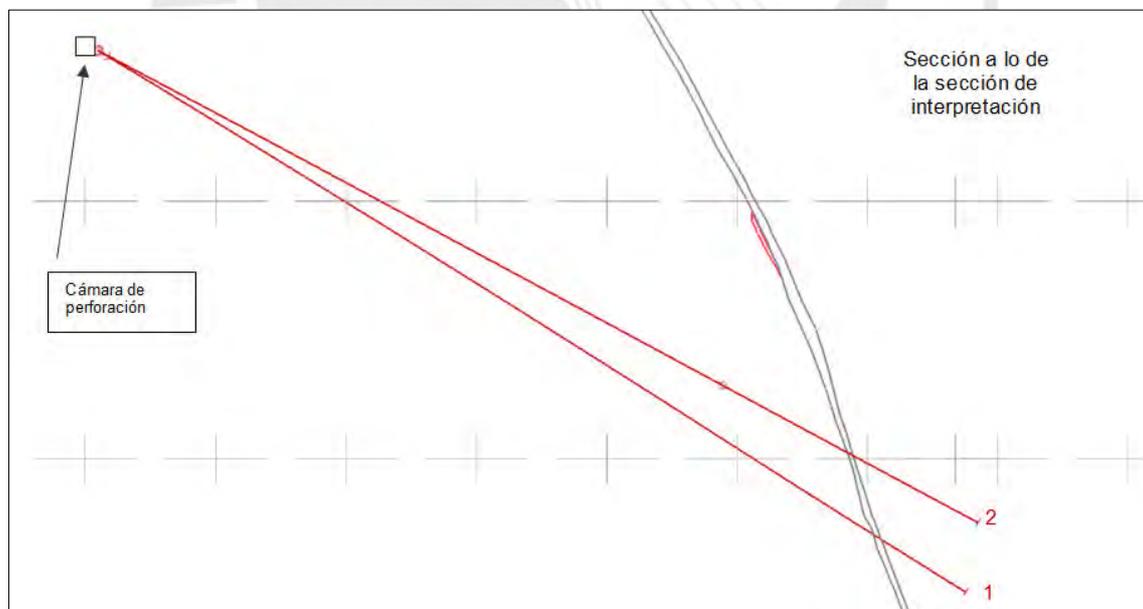


Figura 4. Sección vertical, en el eje de interpretación. Elaboración propia.

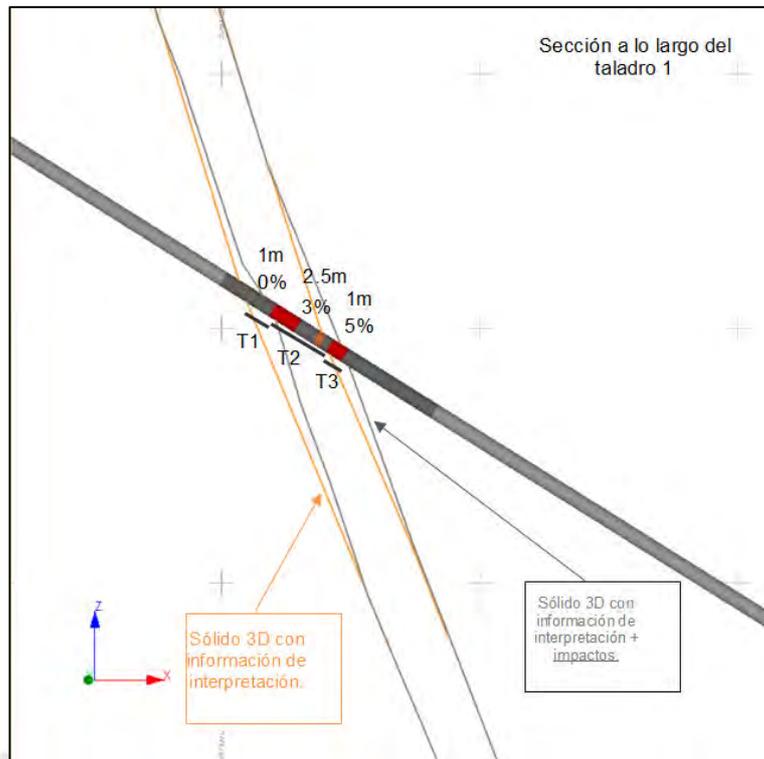


Figura 5. Muestra la sección a lo largo del taladro 1. La veta en color naranja contiene información de interpretación (solamente). La veta en color gris contiene información de interpretación más impacto de taladro. Elaboración propia.

Tipo	Longitud (m)	%Sn
Interpretación	3.50	2.14
Interpretación + Impactos	3.50	3.57

Tabla 6. Diferencias de ley entre una veta con interpretación y otra con interpretación más impactos. Elaboración propia.

En la tabla 6 se observa la ley de estaño de una veta con interpretación obteniendo 2.14 %Sn; por otro lado, la ley de estaño de la veta con interpretación más impacto obteniendo de 3.57%Sn.

En resumen, la ley de la veta con interpretación más impactos varía con respecto de la veta con solamente interpretación, en superior en 40%.

Cada tramo que ha sido muestreado, luego de la interpretación, forma parte de la interpretación de una estructura mineralizada; se recomienda generar un campo

“IMPACTO” donde contenga el nombre de la veta. De la forma que se explica en la tabla 6.

BHID	FROM	TO	Ley(%)	PROYECTO	IMPACTO
DHU_E_1_2022	10	11.5		CONQUI	
DHU_E_1_2022	11.5	11.8	3	CONQUI	SEDUC
DHU_E_1_2022	11.8	12.1	4	CONQUI	SEDUC
DHU_E_1_2022	12.1	12.5		CONQUI	

Tabla 7. En la tabla Assay, de ingresarse la información del tramo del impacto con el nombre de la veta que corresponde. Elaboración propia.

Dentro de los resultados obtenidos al utilizar las vetas elaboradas con las interpretaciones más impacto de taladros podemos observarlo en la figura 6.

Desde inicios de extracción se observa una subestimación de la ley. Es donde se toma la decisión de desarrollar y ejecutar la mejora en la estimación de la ley a partir de enero de 2020, donde se observa que disminuye la brecha entre las leyes (con mejoras) y las leyes reales. Además, es bueno resaltar que las leyes (con mejoras) son más cercanas a la ley real en comparación de las leyes (sin mejoras).

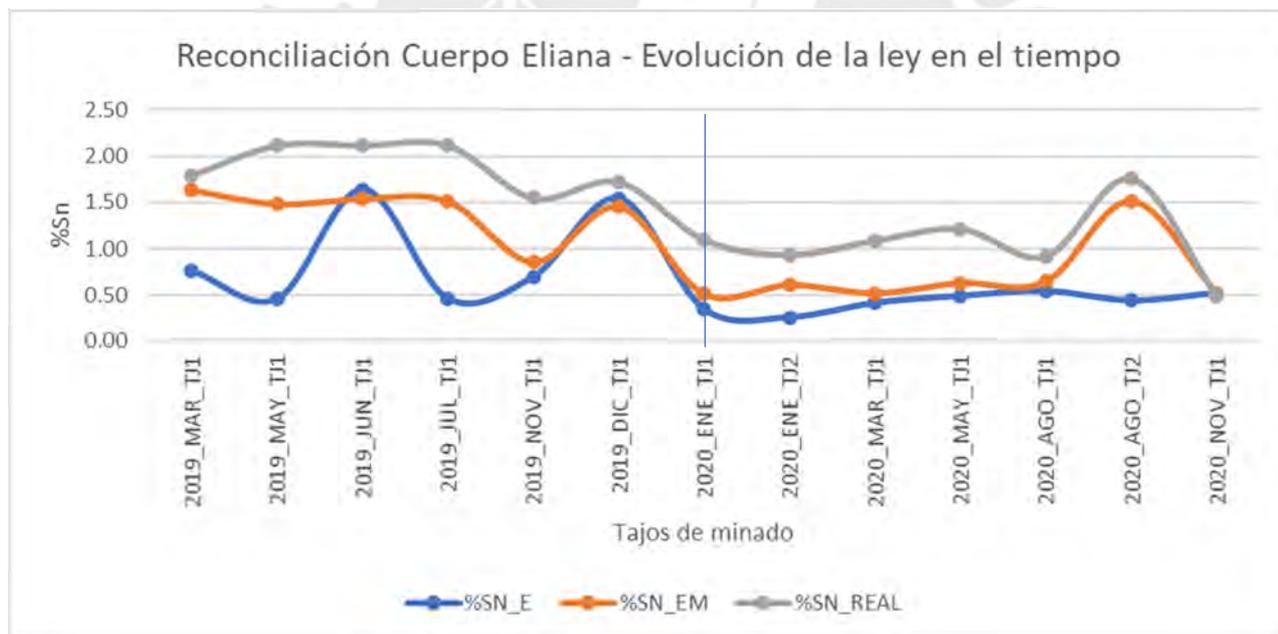


Figura 6. Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para el Cuerpo Eliana de la mina San Rafael. Elaboración propia.

### 3.1.3 Resultados del uso de dominios de estimación.

En el caso de la veta Carmen, desde sus inicios de explotación se observa una sobreestimación de la ley de estaño, en conversación con los geólogos, ellos comunican que existía una diferenciación de leyes a lo largo de la sección longitudinal, es aquí donde se decide realizar una estimación por dominios de estimación que están relacionados a la

geología del yacimiento y a la diferenciación de calidad de las leyes. La división de dominios de estimación se realiza en 4 partes, siendo la característica más clara de su diferenciación la calidad de ley de estaño, siendo el dominio de leyes altas en el dominio “A”, una distribución de leyes intermedia alta en el dominio “B”, una distribución de leyes intermedias bajas en el dominio “C” y una distribución de leyes bajas en el dominio “D”.

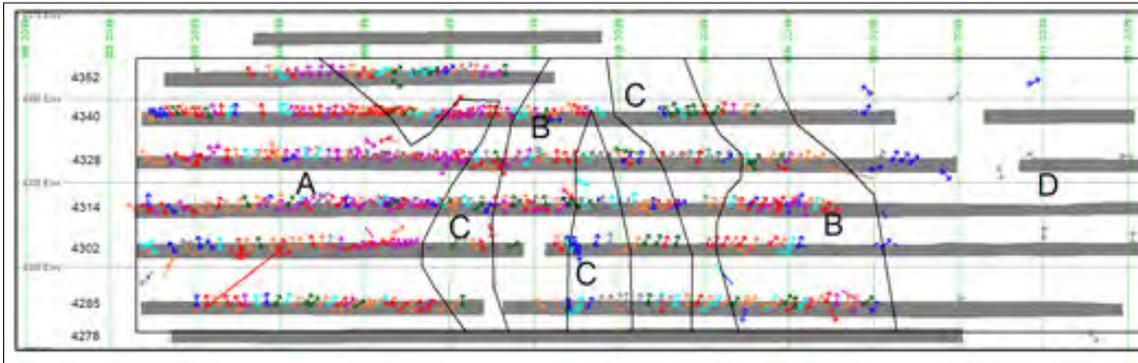


Figura 7. Sección longitudinal de la veta Carmen mostrando los dominios de estimación: A, B, C y D. Elaboración propia.

A partir de diciembre de 2018 se empieza a ejecutar la estimación por dominios de estimación, donde se observa que las leyes (con mejoras) se acercan bastante a las leyes reales. Y se pasa de un periodo donde había sobreestimación de leyes a otro periodo donde existe una subestimación de leyes. Es cierto que la ley (sin mejoras) se acerca bastante a la ley real, pero tiene mejor performance la ley (con mejoras).

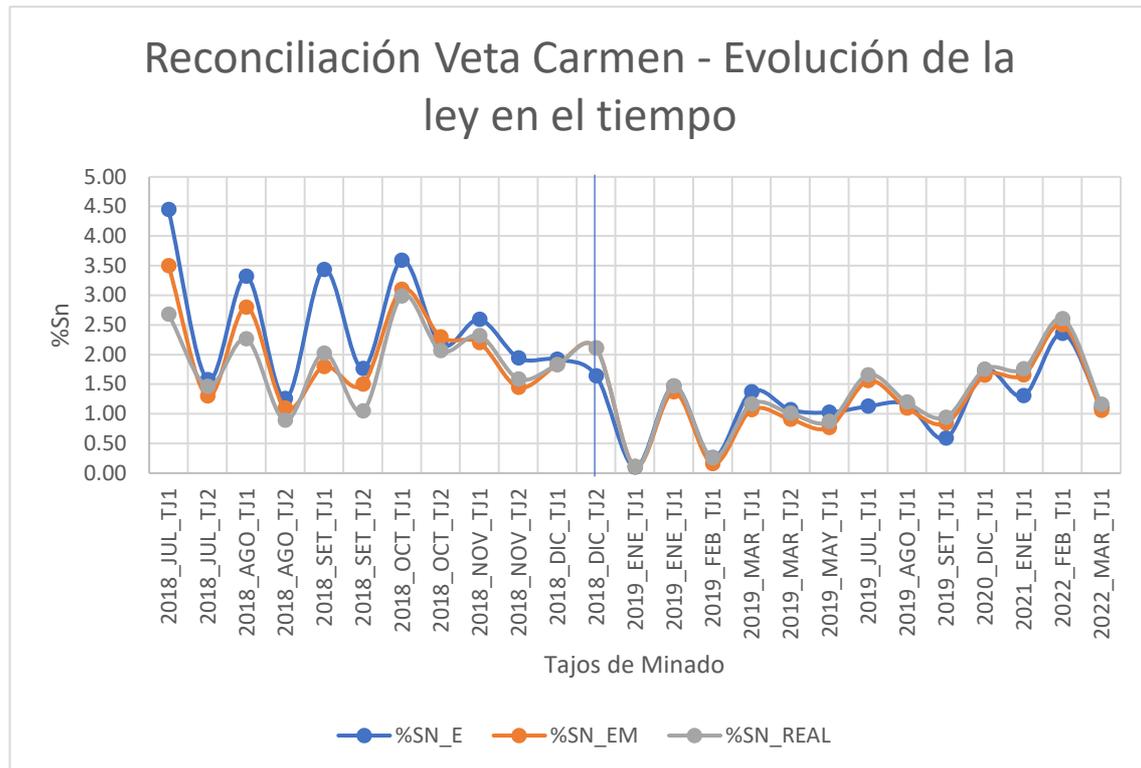


Figura 8. Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para la veta Carmen. Elaboración propia.

### 3.1.4 Resultados con el ajuste de valor de capeo.

Anteriormente se obtenía el top cut con una metodología de análisis de discrepancias, que es un proceso de evaluación que se obtiene mediante una tabla, y se ordenan los valores de mayor a menor y las discrepancias están representados por los saltos más fuertes que hay entre dos valores continuos.

En el estudio de investigación se recomienda realizar una combinación de dos metodologías para lograr obtener el top cut, una es la tabla de discrepancias y se adiciona los gráficos estadísticos (histograma y *log probability plot*), respetando siempre que la cantidad de muestras capeadas no exceda el 5% del total de muestras de la veta.

Se ha desarrollado este caso con el Cuerpo Vicente, representando el escenario azul la ley (sin mejoras), la línea anaranjada representa la ley (con mejoras) y el escenario de color gris representa la ley real.

En el caso del Cuerpo Vicente desde mayo de 2021 se muestra una subestimación en la estimación de las leyes, a partir de abril de 2022 se pone en ejecución la mejora en la estimación donde con el ajuste de valor de capeo, observándose una reducción de la brecha entre la ley (con mejoras) y la ley real. Mientras que la ley (sin mejoras) sigue siendo subestimada en comparación de la ley real.

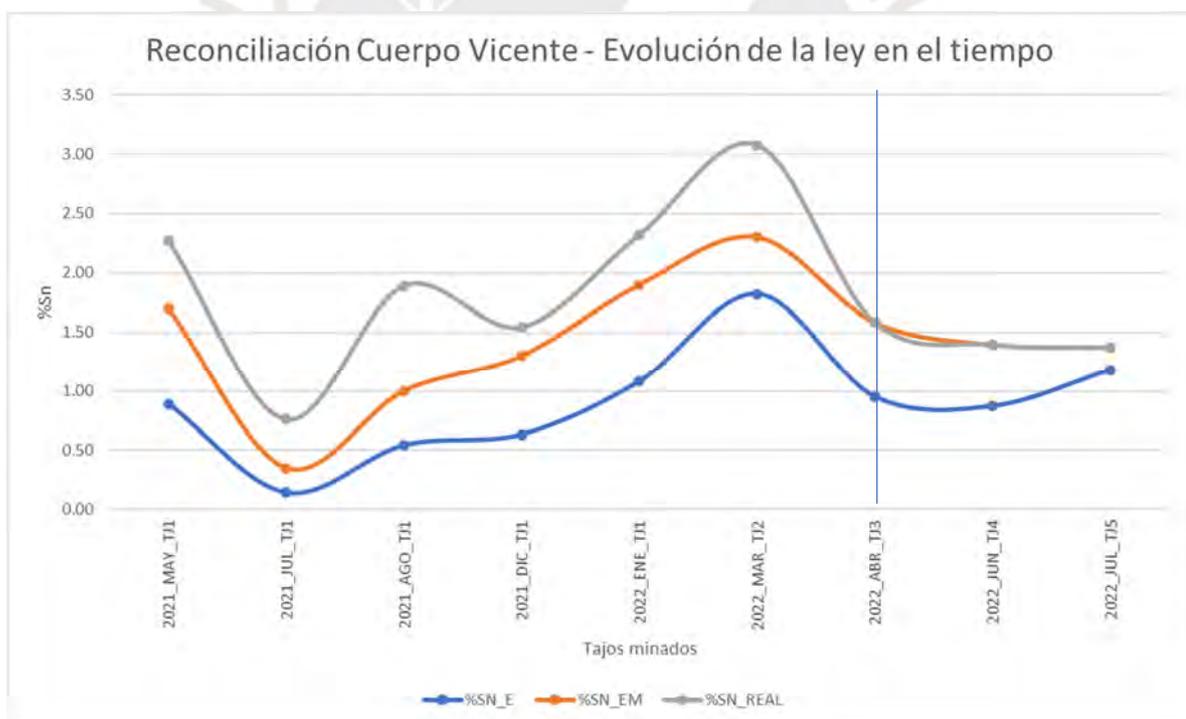


Figura 9. Reconciliación entre la ley (sin mejoras) en la azul, ley (con mejoras) en anaranjado y la ley (real) en gris. Para Cuerpo Vicente. Elaboración propia.

### 3.1.5 Elaboración del flujo de caja para una reserva sin mejoras en la estimación y con reservas con la estimación mejorada.

Se procederá a elaborar los flujos de caja para los siguientes escenarios: Un escenario con la ley de las reservas (sin mejoras en la estimación de recursos), un segundo escenario con la ley de las reservas (con las mejoras en la estimación) y un tercer escenario que representa la ley real (ley de mineral extraído).

Se van a generar el VAN para cada uno de estos escenarios con el objetivo de poder compararlos y definir cuál es el escenario más conveniente, la variable que se va a diferenciar en cada flujo de caja es la ley de estaño, manteniéndose los mismos valores para los demás parámetros (precios, plan de minado, balance metalúrgico, valor de concentrado, opex, capex, gastos de venta, participación de trabajadores, regalías mineras, impuesto especial minero, impuesto a la renta, depreciaciones), este flujo se elaboró para un periodo de 12 años empezando en el 2023 hasta el 2024, y se ajusta el tonelaje a la producción anual de la mina San Rafael.

	T	%Sn	TMF
Reservas (sin mejoras en su estimación)	900,000	1.15	10,338
Reservas (con mejoras en su estimación)	900,000	1.22	10,988
Extraído Real	900,000	1.31	11,788

Tabla 8. Leyes de estaño correspondientes a cada escenario y tonelaje ajustado a un año de producción. Elaboración propia.

Si decidimos el día de hoy vender la mina San Rafael se vendería a \$ 40,058M con la ley (sin mejoras de estimación), y a \$ 72,884M si vendemos con el escenario de la ley (aplicando las mejoras en la estimación), por tanto, se estaría dejando de ganar un monto de \$ 32,826M.

El control continuo de las reconciliaciones mensuales e identificando incertidumbre de las leyes y procedemos a usar la implementación de otras prácticas de estimación hace que nos acerquemos a la ley real, sincerando las leyes y eliminando la incertidumbre de éstas.

	%Sn	VAN (US\$ 000)
Reservas (sin mejoras en su estimación)	1.15	40,058
Reservas (con mejoras en su estimación)	1.22	72,884
Extraído Real	1.31	114,638

Tabla 9. Resultados de flujos de caja de los 3 escenarios, el valor del VAN está expresado en millones de dólares. Elaboración propia.

#### 4 DISCUSIÓN

La incorporación de procesos que recomiendan un mejor control y mitigación de la incertidumbre de las leyes en la estimación de recursos minerales, son procesos que ya están declarados en los lineamientos (JORC, NI 43-101), también se mencionan en las pautas de mejores prácticas de los códigos internacionales (CIM, AusIMM) y finalmente, son escritos y mencionados a detalle en los reportes de recursos minerales (Reporte de recursos minerales de la Mina San Rafael a diciembre de 2020 y 2021), libros de estimación de recursos (Rossi & Deutsch, 2014) y documentos de investigación relacionados a la reconciliación de recursos minerales (Parker, 2011).

Cuando se junten varias reconciliaciones mensuales y empecemos a analizar los resultados se podrá identificar buenas reconciliaciones, como también malas reconciliaciones de la ley (debido a las incertidumbres de las leyes), para reducir las brechas de la incertidumbre de las leyes es necesario incorporar otros pasos dentro del procedimientos de estimación que mejor se acomoden con la estimación de recursos de un determinado yacimiento.

##### 4.1 Impacto de taladros.

En la sección 1 del Código de JORC, sobre las técnicas y datos de muestreo, menciona sobre la técnica de registro, lo que significa que la información de logueo (mineralización, litología, alteración, recuperación, RQD, línea, etc.) de los taladros diamantinos debe ingresarse a una base de datos con un nivel de detalle que pueda satisfacer una buena estimación de recursos minerales. También menciona que debe registrarse la longitud del tramo y la ley del tramo relevante, el tramo relevante viene a ser el impacto del taladro. (Código de JORC, 2012). Pero lo que no menciona es que cada impacto de taladro corresponde a una veta y es este nombre tiene que ir guardado en la base de datos

Dentro de los errores más usuales en un proceso, es el error humano, una interpretación geológica está realizado en su totalidad por uno o más humanos que deben tener conocimientos en un yacimiento determinado, donde hay una intervención manual extrema, la cual se ve reflejada en la interpretación de una buena cantidad de planos que son interpretados (en secciones en planta, secciones verticales y/o secciones a lo largo de taladro), una buena práctica para aliviar los errores es la coincidencia en la intersección de las líneas interpretadas en las diferentes secciones, si se obtiene estas observaciones, las secciones son devueltas al geólogo hasta obtener las coincidencias correspondientes,

y es de esta manera que se validan las interpretaciones y también se ajustan los impactos de taladros (I. Glacken & C. Greig, 2004).

Para poder identificar los impactos económicos de una veta, debe realizarse el proceso de la interpretación geológica, y para generar una buena interpretación se requiere que el geólogo tenga bastante conocimiento del yacimiento en estudio. Los riesgos de una mala interpretación: Se van a mostrar en la inversión de mucho más tiempo en la nueva elaboración de las interpretaciones; los resultados de una mala reconciliación; una selección errada de un impacto genera una dilución en la estimación de la veta. (R. Hargreaves & C. Morley, 2014).

El geocientífico debe tener conocimientos de la geología a escala local y regional, y el tipo de mineralización que ocurre en el yacimiento. Para comprobar la existencia del yacimiento mineralizado se debe tener el soporte de datos de campo, además de una revisión exhaustiva de la información (datos de campo). El geocientífico debe elaborar el plan de exploración, así como buscar y elegir los métodos de exploración favorables para probar las premisas geológicas. El geocientífico debe tener la certeza de usar prácticas de exploración aceptados por la industria, o que sean demostrados de manera razonable en bases científicas. A medida que se encuentra más información geológica debido a un avance en la exploración, podemos encontrar cambios drásticos en las interpretaciones iniciales, por eso es conveniente realizar una revisión sistemática con la nueva información adquirida y si existen cambios en las interpretaciones, hacer una documentación y discutir las inconsistencias. (CIM Guía para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera, 2018).

Los impactos económicos de los taladros están directamente relacionados con una interpretación geológica, si existe un error en el proceso de interpretación este es catalogado como un riesgo en la eficacia de la estimación de recursos, lo que provoca una reevaluación de los parámetros, o volver a generar la interpretación. Juntamente con estos riesgos encontramos la técnica de estimación y los factores de conversión de recursos a reservas (I. Glacken & C. Greig, 2004).

En la clasificación de los problemas de una mala reconciliación se menciona: Causas del control de la ley del mineral y dentro de esto se encuentran las perforaciones paralelas a la mineralización. Cuando se realiza un proyecto de perforación diamantina, ya se debe tener el conocimiento aproximado de la orientación (rumbo) y buzamiento de la veta, en el diseño de los taladros debemos tener como premisa de realizar estos de tal forma que crucen a la veta de manera perpendicular, para así obtener la potencia real de impacto, la potencia corregida del impacto y la ley del impacto. Es en este punto del proceso donde debemos hacer el filtro de la data con la que vamos a generar los reportes, informes y estimaciones; quedándonos con los taladros que impactaros de manera perpendicular a la veta y retirando los impactos paralelos a la veta, ya que estos brindan una mala información sobre la potencia de la veta. (FF. Pitard, 2001).

Antes de realizar una perforación diamantina en un proyecto de perforación se debe elegir el tipo o método de perforación, el diámetro de la perforación para poder realizar una correcta descripción geológica, un correcto análisis químico y un correcto almacenamiento de una muestra de un testigo de respaldo. El uso del GPS (Sistema de Posicionamiento Global) puede ser utilizado para determinar las coordenadas del collar de los taladros en un proceso de exploración minera, pero cuando ya nos encontramos en

un proceso de explotación de la mina, es recomendable utilizar métodos más precisos de localización del punto inicial de perforación. Se recomienda generar secciones a lo largo del taladro donde se pueda observar el taladro programado y mostrar la evolución del taladro ejecutado, para verificar la semejanza entre ambas direcciones de perforación. De todos los métodos de medición de desviación de pozos se debe tomar en cuenta el diámetro de agujero, ángulo, longitud de sondaje y la naturaleza magnética del yacimiento en exploración. (CIM Guía para las Mejores Prácticas en la Exploración Minera, 2018).

Toda muestra de perforación diamantina debe ser reconocida geológicamente (agregado en una base de datos, descripción geológica, este presente en la elaboración de planos para que sea interpretado) para poder participar en la estimación de recursos minerales (Código de Jorc, 2012).

Se debe generar un registro con la longitud y porcentaje de ley de las intercesiones relevantes (Código de JORC, 2012). A lo anterior debe adicionarse el nombre de veta a la que corresponde la intersección relevante.

#### 4.2 Dominios de estimación.

En un ensayo para la mina Antamina, se observó una mala reconciliación relacionada a sus leyes estimadas versus sus leyes reales, se decidió realizar una perforación con una malla más angosta para poder superar esta desviación. Luego de realizar 100,000 m. de perforación se observaron mejoras en la reconciliación, pudiendo identificar un límite entre dos dominios, uno con buenas calidades de ley de cobre y el otro con leyes bajas de Cobre. (H. M. Parker, 2012). Por tanto, se anuncia que el uso de dominios geológicos realiza un sinceramiento de las leyes en una operación minera.

Con respecto a los dominios de estimación, en el proceso de la elección de los dominios, están presentes como punto de partida las variables geológicas (litología, mineralización, alteración, dominios estructurales, etc.). (M. Rossi & C. Deutsch, 2014). Más no se menciona la participación de la calidad de las leyes lo cual es favorable en el caso de una mina que tenga bastante información de leyes, así como una buena distribución de las muestras a lo largo de la sección longitudinal de la veta.

En la definición de dominios de estimación de un yacimiento, se empieza por todos los dominios que son los atributos geológicos, siendo estos los siguientes: litología, mineralización, alteración, dominios estructurales, etc. lo que permite obtener una buena cantidad de dominios, estos atributos geológicos a través de estadística de datos debemos relacionarnos entre ellos, para poder obtener los dominios de estimación. En el análisis de datos, vamos a identificar atributos geológicos que son irrelevantes para poder hacer la determinación de dominios de estimación. Es importante mencionar que los atributos geológicos más representativos (debido a consideraciones geológicas, cantidad de información) son los que van a ser mejor guía para la definición de los dominios de estimación. Luego de definir los dominios de estimación final, donde se muestra la reducción de dominios con respecto a la cantidad de dominios teóricos, como el caso: puede haber 2 alteraciones con distribuciones de leyes similares, graficadas en un *QQ plot*, lo que hace que éstas se junten en un solo dominio de estimación (M. Rossi & C. Deutsch, 2014).

La identificación de dominios de estimación en una veta es un componente importante para luego poder hacer la estimación de sus recursos. Para poder definir la cantidad de dominios de estimación se debe tener un buen conocimiento sobre los controles de mineralización en la veta, un buen análisis estadístico, como son los gráficos de correlaciones, y debe estar incluido en esta correlación la variable que se requiere estimar con una variable geológica consistente (CIM, Instituto Canadiense de Minería, Metalurgia y Petróleo, 2019).

La identificación del límite entre una zona de ley alta con respecto a una zona de ley baja y su posterior explotación, demuestran mejores resultados en la reconciliación (la ley estimada es semejante a la ley real). Con respecto a una explotación sin identificación de dominios, donde se obtuvieron resultados de reconciliación malos (Parker, 2012).

Dentro de las buenas prácticas o mejoras en el proceso de estimación está la definición de dominios, adicionando la práctica verificando el modelo de recursos, usando herramientas estadísticas y gráficos para obtener el mejor grado de consistencia del modelo (M. Rossi & C. Deutsch, 2014).

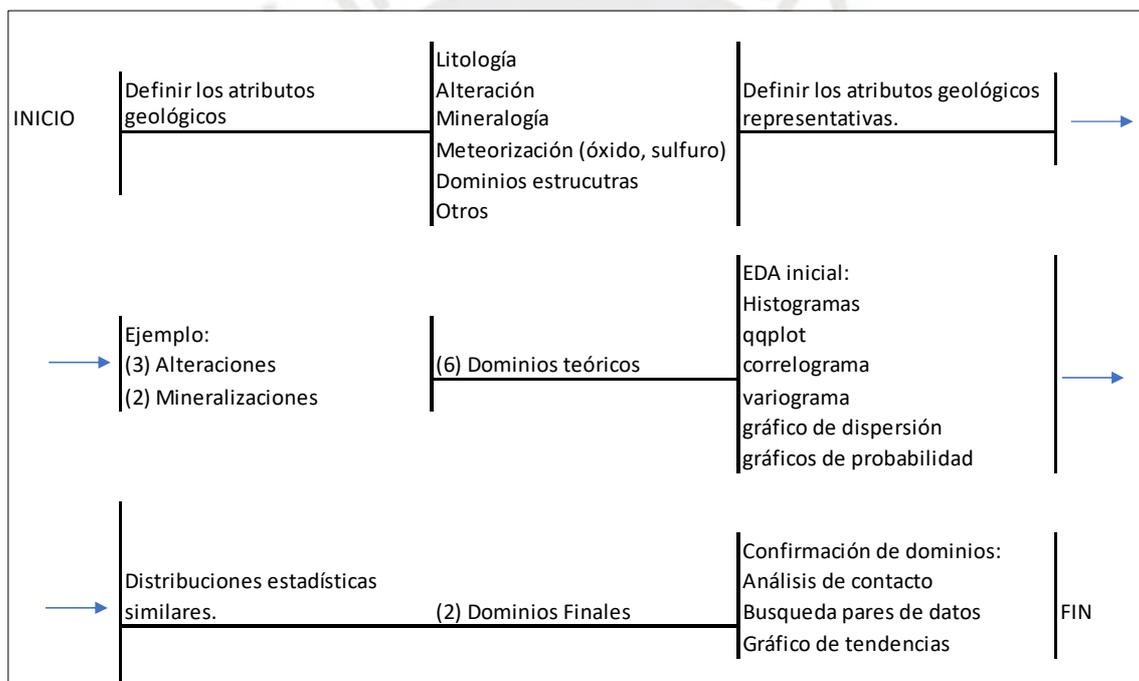


Tabla 10. Flujograma para la determinación de los dominios de estimación. Elaboración propia.

### 4.3 Top Cut.

El Top Cut es una ley alta de una variable y cuyo valor es elegido por procesos estadísticos, estas metodologías estadísticas te brindan varias opciones de elegir un valor de top cut, y para elegir la mejor opción debe cumplir algunos requerimientos como que los valores capeados de ley no deben exceder el 5% del total de muestras.

Como menciona F. F. Pitard un problema en la reconciliación entre las leyes estimadas y las leyes reales dentro del aspecto de causas del modelo geológico está el rechazo excesivo de los valores atípicos. Cuando se habla de un rechazo excesivo de valores

atípicos, significa que se está dejando de tomar varios valores de altas leyes, lo que ocasionaría en una estimación de recursos, una subestimación de las leyes.

Hay unos lineamientos que mencionan que solamente y como máximo debemos sacar un 5% del total de muestras para proceder a realizar un capeo, en el caso que excedamos de este valor estamos en un riesgo de generar una subestimación de calidades de leyes. De la forma inversa si capeamos poca cantidad de muestras, existe el riesgo que la estimación de las leyes sea sobreestimada. Es por lo antes mencionado que se sugiera usar 2 herramientas para hacer una buena elección de la ley de capeo y con está la cantidad de muestras a ser capeadas, una de ellas es el uso de tablas de discrepancia, donde podemos elegir el valor de capeo adecuado, y también el porcentaje de muestras capeadas. La otra herramienta es el uso de gráficos estadísticos, donde por medio de quiebres en la línea de *log probability plot* nos indica los probables valores de capeo, dichos valores son comparadas con los valores de capeos obtenidos por el método de tablas, para así poder obtener un solo valor, la cual elimina los riesgos en una estimación de recursos relacionado con la subestimación de leyes, así como la sobreestimación de leyes.

Dentro de las variables que afectan la confiabilidad de los resultados de una reconciliación se lee el rechazo excesivo de valores atípicos, además, menciona que su causa es la pérdida de finos. Efectivamente un rechazo excesivo de valores atípicos genera un descarte exceso de buenas calidades de ley y esto se representa en una subestimación de leyes en el proceso de estimación de recursos (R. Hargreaves & C. Morley, 2014).

Es una buena práctica usar la reconciliación de las leyes de los modelos de bloques estimados y compararlos con los resultados de la información de la producción para poder tratar los valores atípicos. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum.

Una de las causas que generan problema de reconciliación dentro del proceso de modelo geológico estimado es el rechazo excesivo de los valores atípicos, lo que genera una subestimación de las leyes. Así como el poco rechazo de los valores atípicos, que genera una sobreestimación de las leyes (Pitard, 2001).

Existe una mala reconciliación en el momento que se utiliza una ley de corte demasiado alta y la precisión de los análisis químicos no es suficientemente buena, originando una sobreestimación de las leyes (R. Hargreaves & C. Morley, 2014).

Existe una forma de eliminar muestras, primero se hace una diferenciación de toda la población, siendo estas: residual donde están las muestras de efecto pepita puto; ponderado que corresponde a las leyes por encima de la ley de corte; y el truncado que son las muestras superiores a las residuales y menores a la ponderada; finalmente la elección del topcut se hace en el entorno del espacio truncado. Resultando una buena práctica para capear leues en los pozos de voladura en una mina del oro. (Rivoirard, J. & Demange, C. & Freulon, X. & Bellot, N., 2012).

## 5 CONCLUSIONES

El controlar de forma continua (mensual) la reconciliación de las leyes (ley de reservas versus leyes reales) te permite revisar tus procesos, y en el caso de encontrar un error, implementar buenas prácticas en los procesos, para evitar la incertidumbre de las leyes. Además, una ley de reserva con una estimación mejorada en comparación de una ley de reserva con estimaciones sin mejora genera un beneficio económico de \$32M en el VAN.

En relación con la base de datos, esta debe ser realizada, alimentada y actualizada dentro de un formato digital, cuyo ingreso debe ser electrónico usando un formato estándar, y que sea confiable de realizar un almacenamiento seguro. Todo cambio ejecutado dentro de la base de datos debe ser debidamente explicado y documentado. Toda información recopilada desde un inicio de un proyecto minero debe incluirse en la base de datos, inclusive la que no se va a utilizar para la estimación de los recursos minerales. Se debe crear códigos únicos para poder distinguir los diferentes soportes de tipo de muestra. Es una buena práctica realizar protocolos para cada actividad que culmina en la alimentación de información de una base de datos, estos protocolos deben ser actualizados permanentemente y debe contener en su elaboración información relacionada a validación de la base de datos, verificaciones en la base de datos, con el objetivo de tener la seguridad y certeza de ingresar buena información en el organizador de base de datos. También se recomienda generar copias de seguridad de la base de datos para fines de referencias y auditorías.

Es un hecho que la geología está por encima de la geoestadística y la estadística, pero estas últimas te brindan información para facilitar el trabajo de la geología. Un plano longitudinal (verdadera magnitud) con rangos de leyes (estadística) te brinda información de la distribución de las calidades de leyes en toda la magnitud de la veta mineralizada, a esto le incrementamos las apreciaciones de un geólogo de campo (con conocimientos del yacimiento), y se logra la generación de dominios de estimación, los cuales se diferencian por atributos geológicos y encima por las calidades de leyes, obteniendo estimaciones de recursos diferenciadas por zonas (dominios) cuya característica principal es obtener una ley estimada más sincera y más parecida con la ley real. En este estudio de investigación, el uso de dominios generó una estimación de ley inferior a la estimación sin uso de dominios, lo que encajaba mejor con los datos de las leyes reales, mejorando los resultados de la reconciliación de ley.

Se muestran las reconciliaciones, donde de forma continua y por varios meses la ley estimada está por debajo de la ley real, esto se repite en un periodo de 12 meses, estos resultados nos indican que se debe hacer una revisión en el proceso de interpretación, modelamiento y/o estimación de recursos, ya que hay una desviación evidente en alguno de estos procesos. En el caso de estudio esto evidencia para el Cuerpo Vicente, donde se generó una revisión de todo el proceso, iniciando en la obtención de las muestras y culminando en la elaboración de reportes, observando una desviación en el proceso de capeo de leyes, luego de corregir este proceso, se continúa con la evaluación de las reconciliaciones, obteniendo una mitigación de los sesgos en menos de 15% de variación en la variable ley, lo que nos indica que los gráficos de reconciliación pueden avisarnos y mostrarnos signos de que algo está mal en nuestro proceso geológico para la obtención de las leyes estimadas.

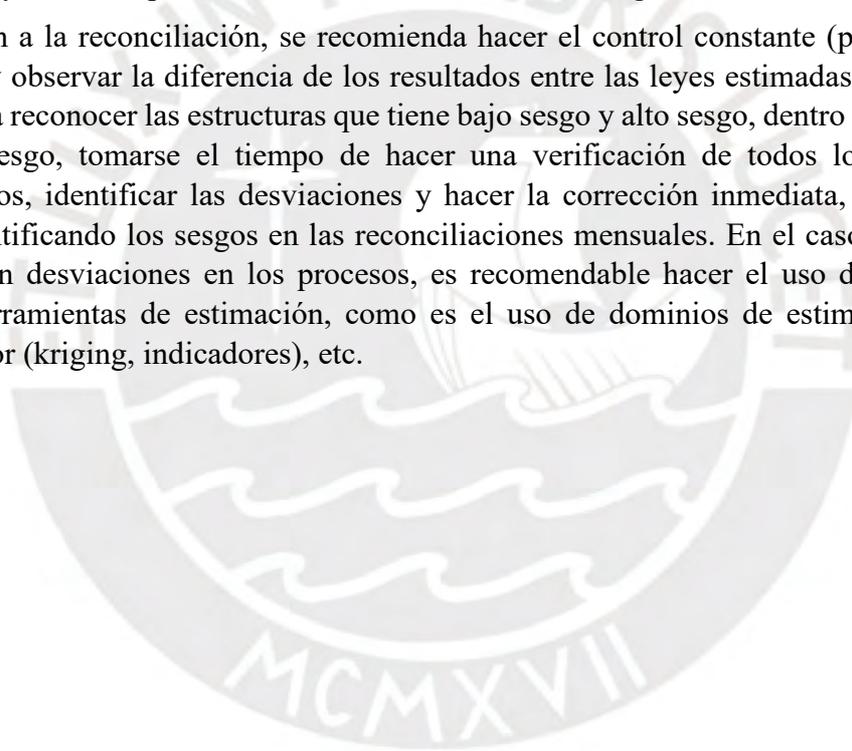
## 6 RECOMENDACIONES

En el proceso de la elaboración del sólido geológico económico, es recomendable usar las interpretaciones geológicas horizontales y verticales, y además los impactos de los taladros, para obtener la mayor cantidad de mineral.

Es cierto que para realizar los dominios de estimación debe tomar como referencia un control geológico (como variable principal), pero si se tiene una buena cantidad de muestras distribuidas proporcionalmente a lo largo de toda la veta, y se tiene un geólogo con mucho conocimiento sobre el yacimiento, entonces es recomendable hacer una diferenciación de dominios en función a la calidad de las leyes (como variable principal). Luego cada dominio tendrá un análisis estadístico de datos de forma independiente, así como un análisis de top cut independiente (por dominio).

Para el cálculo de los top cut (altos erráticos) es recomendable utilizar tablas numéricas en combinación con gráficos estadísticos. Es común usar únicamente tablas numéricas (como es la tabla de deciles y tabla de discrepancias), obteniendo muchas opciones de capeo de leyes, estas opciones se reducen cuando se usa los gráficos estadísticos.

En relación a la reconciliación, se recomienda hacer el control constante (periodicidad mensual) y observar la diferencia de los resultados entre las leyes estimadas y las leyes reales, para reconocer las estructuras que tiene bajo sesgo y alto sesgo, dentro de las vetas con alto sesgo, tomarse el tiempo de hacer una verificación de todos los procesos involucrados, identificar las desviaciones y hacer la corrección inmediata, para luego seguir identificando los sesgos en las reconciliaciones mensuales. En el caso que no se identifiquen desviaciones en los procesos, es recomendable hacer el uso de otras y/o nuevas herramientas de estimación, como es el uso de dominios de estimación, otro interpolador (kriging, indicadores), etc.



## 7 BIBLIOGRAFIA

Alfaro. M. (2007). Estimación de Recursos Minerales.

Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. (2012). AusIMM the minerals institute.

Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2018). Mineral Exploration Best Practice Guidelines.

Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2019). Estimation of Mineral Resources and Mineral Reserves Best Practice Guidelines.

Emery. X. (2008). Apuntes de Geoestadística.

Glacken. I., & Morley C. (2004), Leading practice in resource and reserve reconciliation.

Hargraves, R. & Morley C. (2014). Mining reconciliation – an overview of data collection points and data análisis, in mineral Resource and Ore Reserves Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice, second edition, 739-748.

Morley, C. (2014), Guide to creating a mine site reconciliation code of practice, in mineral Resource and Ore Reserves Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice, second edition, 755-764.

Rivoirard, J. & Demange, C. & Freulon, X. & Bellot, N. (2012). A Top Cut Model for Deposits with Heavy-Tailed Grade Distribution.

Ortiz, J., & Emery, X. (2004). Categorización de recursos y reservas mineras.

Parhizkar. A., & Atei. M., & Moarefvad. P., & Rasouli.V., (2011). Grade uncertainty and its impact on ore grade reconciliation between the resource model and the mine.

Parker, H. (2012), Reconciliation principles for the mining industry, Mining Technology, 121(3):160-176.

Pitard, F. (2001), A strategy to minimise ore grade reconciliation problems between the mine and the mill, in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation – The AusIMM Guide to Good Practice (ed: A C Edwards), pp 557-566 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).

Rivoirard, J. & Demange, C. & Freulon, X. & Bellot, N. (2012). A Top Cut Model for Deposits with Heavy-Tailed Grade Distribution.

