

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“DETERMINACIÓN DE LA ALTURA DE BANCO ÓPTIMO
COMPARANDO LOS ALGORITMOS DE LERCHS-
GROSSMANN Y CONO FLOTANTE EN EL SOFTWARE
MINEPLAN EN UN YACIMIENTO DE COBRE, CUZCO 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Edgardo Julinio Leon Espinoza

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado la sabiduría en aquellos momentos difíciles, a mis padres, Rodil León y Maribel Espinoza por haberme dado la vida, apoyado en cada peldaño de mi vida personal y profesional, siendo mi soporte frente a cualquier situación adversa. A mi enamorada Liggia, quien con sus consejos me ha permitido centrar e ir cumpliendo mis objetivos. A mis familiares, amigos, que me han brindado su apoyo y han sido partícipes en mi vida.

Edgardo Julinio

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme iluminado y brindando la sabiduría para enfrentar cualquier reto.

Mi gratitud infinitamente al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por haber sido mi soporte económico y haberme brindado las pautas necesarias para realizar mi objetivo de vida.

Mi reconocimiento a los docentes de la Universidad Privada del Norte quienes me inculcaron sus conocimientos y valores para superarme día a día.

Finalmente, mi especial agradecimiento Al Ing. Víctor Álvarez León, a quien estimo y agradezco su apoyo en mi formación universitaria, siendo asesor de la presente investigación.

Edgardo Julinio

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ANEXOS	9
RESUMEN.....	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	24
1.3. Objetivos.....	24
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	24
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	24
1.4. Hipótesis	25
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	25
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	26
2.1. Tipo de investigación.....	26
2.2. Población y muestra.....	27
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	27
2.3.1. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	27
2.3.2. <i>Técnicas e instrumentos de análisis de datos</i>	28
2.4. Procedimiento	28
CAPÍTULO III. RESULTADOS	42
3.1. Estimación del modelo de recursos mediante kriging ordinario.....	42
3.2. Evaluación de diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Lerchs-Grossmann	44
3.3. Evaluación de diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Cono Flotante.....	45
3.4. Análisis comparativo entre los indicadores del algoritmo de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.....	46
3.4.1. <i>Resultados del número de bloques de la evaluación de altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante</i>	46

3.4.2.	<i>Resultados del tonelaje de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.....</i>	<i>47</i>
3.4.3.	<i>Resultados de la ley media de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.....</i>	<i>48</i>
3.4.4.	<i>Resultados del valor neto de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.....</i>	<i>49</i>
3.4.5.	<i>Resultados de la altura óptima de banco por zona mineralizada mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.....</i>	<i>50</i>
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES		54
4.1.	Discusión.....	54
4.2.	Conclusiones.....	56
REFERENCIAS		58
ANEXOS		62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites del proyecto y dimensiones del bloque	33
Tabla 2. Volumen por cada mineralización del yacimiento de cobre	36
Tabla 3. Parámetros de interpolación del ajuste de variograma esférico	37
Tabla 4. Parámetros económicos para utilizar los algoritmos de optimización	39
Tabla 5. Reporte de recursos mineros del yacimiento de cobre según el grado de confiabilidad.....	43
Tabla 6. Reporte de las evaluaciones con el algoritmo de Lerchs-Grossmann.....	44
Tabla 7. Reporte de las evaluaciones con el algoritmo de Cono Flotante	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sección de bloques.....	21
Figura 2. Sección del límite económico del pit.....	21
Figura 3. Sección del pit optimizado con Lerchs-Grossmann	21
Figura 4. Perfil de bloques	22
Figura 5. Representación gráfica de la aplicación del algoritmo del cono flotante	23
Figura 6. Representación gráfica de la extracción de bloques con Cono Flotante.....	23
Figura 7. Archivo collar de la base de datos de exploración.....	29
Figura 8. Archivo Survey de la base de datos de exploración	30
Figura 9. Archivo Assay de la base de datos de exploración.....	31
Figura 10. Archivo Geology de la base de datos de exploración.....	32
Figura 11. Visualización 3D de los sondajes de exploración del yacimiento de cobre (Ver anexo 33).	34
Figura 12. Modelo de mineralización del yacimiento de cobre en 2D	35
Figura 13. Visualización de la composición por banco.....	36
Figura 14. Vista NE del Modelo de leyes de Cu representado en un modelo de bloques (Ver anexo 34).	38
Figura 15. Optimización con el algoritmo de Lerchs-Grossmann	40
Figura 16. Optimización con el algoritmo de Cono Flotante	41
Figura 17. Modelo de recursos según en grado de confiabilidad.....	42
Figura 18. Número de bloques según la altura de banco	46
Figura 19. Tonelaje según la altura de banco	47
Figura 20. Ley media de Cu según la altura de banco	48

Figura 21. Valor Neto del yacimiento según la altura de banco	49
Figura 22. Valor Neto por mineralización para una altura de banco de 10 metros.....	50
<i>Figura 23.</i> Tonelaje por mineralización para una la altura óptima de banco de 10 m.....	51
Figura 24. Ley media de Cu por mineralización para la altura óptima de banco de 10 m..	52
Figura 25. Valor por tonelada mineralización para una altura óptima de banco de 10 m...	53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Base de datos de exploración en documento de texto	62
Anexo 2. Box Plot de leyes de Cu según el tipo de mineralización.....	63
Anexo 3. Vista 3D de sondajes diamantinos de un yacimiento cuprífero.....	64
Anexo 4. Compositación por banco de 15 metros para muestras de cobre.....	65
Anexo 5. Generación del modelo geológico, que puede mostrar la representación tridimensional de la litología, alteración.	66
Anexo 6. Modelo de bloques, matriz tridimensional que permite estimar valores.....	67
Anexo 7. Interpolación de leyes mediante el método geoestadístico de kriging ordinario.	68
Anexo 8. Estimación de recursos a través del nivel de confiabilidad o certeza.....	69
Anexo 9. Pit económico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann.	70
Anexo 10. Pit económico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración mediante el algoritmo de Cono Flotante.....	71
Anexo 11. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 5 m.....	72
Anexo 12. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 6 m.....	73
Anexo 13. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 7 m	74
Anexo 14. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 8 m.....	75
Anexo 15. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 9 m.....	76
Anexo 16. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 10 m.....	77
Anexo 17. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 11 m.....	78
Anexo 18. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 12 m.....	79
Anexo 19. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 13 m.....	80

Anexo 20. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 14 m.....	81
Anexo 21. Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 15 m.....	82
Anexo 22. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 5 m.....	83
Anexo 23. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 6 m.....	84
Anexo 24. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 7 m.....	85
Anexo 25. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 8 m.....	86
Anexo 26. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 9 m.....	87
Anexo 27. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 10 m.....	88
Anexo 28. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 11 m.....	89
Anexo 29. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 12 m.....	90
Anexo 30. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 13 m.....	91
Anexo 31. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 14 m.....	92
Anexo 32. Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 15 m.....	93
Anexo 33. Visualización 3D de sondajes de exploración del yacimiento de cobre.....	94
Anexo 34. Modelo de leyes de Cu representado en un modelo de bloques.....	95

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal determinar la altura de banco óptimo comparando los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante en el software MinePlan en un yacimiento de cobre, Cuzco 2021. En la metodología se ha realizado una investigación con un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, tipo descriptivo, porque se realizó un detalle comparativo de algoritmos de optimización para determinar la altura óptima de banco. La recopilación de información documentaria se obtuvo de buscadores científicos confiables como Redalyc, Repositorios de Universidades y la base de datos de la empresa minera en estudio. El procedimiento comparativo consistió en simular en el software MinePlan la base de datos del yacimiento, la aplicación de la composición por banco, el modelamiento geológico de la mineralización, la interpolación del modelo de leyes, la estimación del modelo de recursos, para posteriormente realizar las evaluaciones con los algoritmos; se usaron alturas de banco desde 5 a 15m. Se concluye que, al realizar las comparaciones entre los algoritmos de optimización, el modelo de Lerchs-Grossmann permitió determinar una altura de banco óptimo de 10m, con un máximo valor neto del yacimiento de US\$ 2,519'257,455 con un tonelaje estimado de 529'563,300 Tm y una ley media de Cu de 0.4312%. Por otro lado, el algoritmo del Cono Flotante permitió determinar una altura de banco óptimo de 10m, con un valor neto del yacimiento de 2,496'558,561 US\$ con un tonelaje estimado de 516'149,300 Ton, y una ley media de Cu de 0.433%.

Palabras clave: Lerchs-Grossmann, Cono Flotante, altura de banco, valor neto, yacimiento.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Hoy en día, las empresas mineras buscan mejores resultados en sus etapas, operaciones, en relación con el transcurso del tiempo; el avanzado paso del desarrollo de la ciencia, tecnología, al igual que el exigente mercado mundial, presionan a las empresas a estar involucradas en la optimización. Es por ello, que las empresas vienen implementando modelos de investigación en todas sus áreas funcionales, haciendo uso de tecnología, hardware, software, algoritmos que solucionen diversos problemas. Asimismo, los resultados óptimos se ven reflejados en términos económicos, ambientales, sociales; lo cual garantiza la sostenibilidad empresarial.

En tal contexto, se cree pertinente analizar la principal problemática presentada en la etapa de prefactibilidad de un yacimiento de cobre, donde se busca determinar la altura óptima de banco para maximizar el valor económico. Para ello, es relevante emplear el software MinePlan que presenta los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante. Cabe resaltar, que la etapa antes mencionada es determinante, puesto que abarcan desde la estimación de recursos, evaluación técnica-económica de reservas, lo cual responde que tan viable es explotar un yacimiento; facilitando así un análisis financiero en sus diversos indicadores de evaluación.

De acuerdo a lo mencionado, el yacimiento de la presente investigación es un pórfido cuprífero, que presenta tres dominios de mineralización; óxidos, sulfuros primarios y sulfuros secundarios, en los cuales, el cobre es el metal de principal interés económico.

La determinación de la altura de banco tiene un carácter imprescindible, puesto que no sólo depende de parámetros geotécnicos, geométricos, técnicos, operativos, sino de una evaluación económica que está directamente relacionada con la estimación de recursos (Buendia, 2020). Para llevar a cabo ese proceso y determinar la altura de banco óptimo, se utiliza la comparación de los algoritmos Lerchs-Grossmann y Cono Flotante; los cuales son los más conocidos y aplicados en minería a cielo abierto. La comparación se basa en medir los resultados de cada algoritmo en indicadores como valor neto, tonelaje, ley media, valor por tonelada.

La aplicación de los algoritmos de optimización como Lerchs-Grossmann y Cono Flotante son fundamentales dentro de la optimización económica en prospectos a cielo abierto. El primer algoritmo se aplica para la optimización del pit respecto a los niveles de explotación buscando siempre el mayor beneficio económico. Por el contrario, el algoritmo del Cono Flotante consiste en fijar una ley de corte y buscar desde la superficie el primer bloque o conjunto de bloques que lo supere. Una vez encontrado, se suma el valor neto de todos los bloques que le corresponde (Yucra, 2013).

Para autentificar lo establecido en la presente investigación, se cuenta con diversos antecedentes basados en estudios de carácter científico realizados con anterioridad, que se rigen en la aplicación de algoritmos matemáticos como Lerchs-Grossmann y Cono Flotante haciendo uso de un software minero, en búsqueda de resultados óptimos que repercuten en indicadores de desempeño financiero de diversas unidades mineras a cielo abierto, con el fin de dar validez a la presente investigación.

Buendia (2020) en su tesis, “Aplicación de simulación geoestadística utilizando software minero para la determinación de altura óptima de banco en Tajo Chaquicocha – Minera Yanacocha”. Cuyo objetivo fue determinar el tamaño de banco óptimo a través de la simulación geoestadística para obtener el mayor beneficio. Los resultados muestran que se utilizó el algoritmo de Lerchs-Grossmann en el software MineSight, determinando la altura óptima de banco de seis metros (6m) con el máximo valor neto para el proyecto aurífero con US\$ 699’006,994. En conclusión, la tesis demuestra que la altura óptima de banco depende del máximo valor neto de un yacimiento.

Chura (2019) en su tesis titulada “Optimizar el planeamiento a largo plazo de la mina a tajo abierto Tacaza – CIEMSA empleando los softwares mineros Gemcom Whittle y MineSight”. Los resultados indican que mejoró la valorización del yacimiento de cobre habiéndose utilizado el algoritmo de Lerchs-Grossmann en los softwares MineSight y Whittle, optimizando el planeamiento a largo plazo con una rentabilidad operativa de US\$ 43’466,233 un VAN operativo de US\$ 3’692,765 una rentabilidad financiera de US\$ 33’106,283 un Valor Actual Neto Financiero de US\$ 4’960,628 con un TIR del 18%, para una altura de banco de cinco metros (5m).

Chara (2018) en su tesis titulada “Optimización del NPV aplicando la temporalidad del modelo económico para incrementar el beneficio en Compañía Minera Antapaccay S.A.”. La modalidad de la investigación es cuantitativa con un alcance de investigación exploratorio. Dentro de los resultados se logró optimizar el NPV en US\$ 69’000,000 mejorando en un 2% respecto al plan base, utilizando el algoritmo de Lerchs-

Grossmann en el software MineSight para una altura de banco de quince metros (15m) en el yacimiento de cobre. En conclusión, el algoritmo de Lerchs-Grossman permitió determinar el Pit Shell con mayor retorno económico.

Jambo & Tasilla (2019) en su tesis titulada “Cálculo de reservas y diseño de pit, mediante el procesamiento de data de perforación diamantina en un depósito epitermal de alta sulfuración, Hualgayoc 2019”. Los resultados muestran que se utilizó el algoritmo de Lerchs-Grossmann en el software MineSight para determinar 15'838,700.04 Tm con una ley media del 1.096 gr/Tm de Au en el depósito epitermal de alta sulfuración, estimando 16.46 Tm de reservas totales de Au para una altura de banco de diez metros (10m). Se concluye que, la aplicación del algoritmo de Lerchs-Grossmann es fundamental para la evaluación las reservas y el diseño del pit final.

García (2016) en su investigación titulada “Evaluación de un yacimiento de sulfuros complejos mediante el paquete informático RecMin”. Tuvo como objetivo describir la modelización y evaluación de reservas de un yacimiento de sulfuros completos mediante el método de bloques, haciendo uso de herramientas informáticas. Los resultados reflejan que se utilizó el algoritmo de optimización de Cono Flotante en el software minero RecMin, lo que permitió la determinación de una altura de banco óptima de siete metros (7m) repercutiendo en el máximo valor bruto con 52'561,115.84 € del yacimiento de sulfuros.

Barrios (2019) en su investigación, “Estimación de recursos y evaluación de reservas con el uso de software minero para la explotación del proyecto minero Don Javier”. Concluye que el cálculo de recursos y reservas mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann en el software MineSight tiene una aceptación alta debido a la exactitud de sus programas y la confiabilidad de los datos. Asimismo, se estimó un total de 437'175,659 Tm de reservas probadas con un valor neto de 1'176,763.98 US\$ para bancos con una altura de quince metros (15m) en el yacimiento cuprífero.

Retto (2015) en su investigación, la cual se denomina “Determinación de altura de banco óptimo con simulación geoestadística”. Tiene como objetivo, determinar la altura de banco óptimo basado en simulación geoestadística. Los resultados muestran que la altura de banco de 10 m es la alternativa con mayor valor neto del proyecto de US\$ 4,045'185,361 con un tonelaje de 174'864,362 Tm y una ley media de 0.556% de Cu, siendo la alternativa óptima frente a otros escenarios. A partir de ello, se concluye que el estudio demuestra que las herramientas de simulación geoestadística pueden ser empleadas también para optimizar procesos en proyectos mineros.

Asimismo, es importante abordar el sustento teórico con respecto a las variables, metodologías de la presente investigación, identificadas en fuentes confiables como: Google Académico, Redalyc, Repositorios de universidades nacionales y extranjeras, Pearson, entre otros.

Un yacimiento del tipo pórfido de cobre, son depósitos de baja ley, gran tonelaje y forma irregular. Como subproducto presentan molibdeno; también, contienen otros elementos metálicos como Ag, Pb, Zn, siendo los minerales más comunes la calcopirita, piritita y cuarzo; alrededor se emplazan yacimientos hidrotermales polimetálicos, las cuales son formadas a menor temperatura que los pórfidos (Vidal, 2010).

La base de datos de una campaña de exploración es representada por la información que proviene del logueo y de los sondajes de exploraciones; que pueden ser perforaciones diamantinas, de aire reverso. La base de datos contiene el archivo collar, coordenadas iniciales de los sondajes y la profundidad; survey, almacena la información de las desviaciones e inclinaciones; assay, muestra la información de los ensayos químicos; geo, contiene la información de litología, alteración, geomecánica u otra, proveniente del logueo (Ruiz, 2015). La base de datos de un proyecto generalmente se almacena en Microsoft Excel, SQL, Torque.

La composición de muestras es un método para regularizar las leyes de los sondajes y resulta de la aplicación de la media ponderada de cierto tramo de sondaje. Existen diversos métodos de regularización de muestras como composición por banco, composición por sondaje, composición geológica (Marco, 2007). Para la presente investigación se usará la composición por banco, donde las muestras se regularizan a medidas que coincidan con la altura de banco, ya que se emplean para modelar y estimar extensos yacimientos diseminados de gran tonelaje y baja ley.

Un modelo geológico, es la representación tridimensional de un volumen de rocas con un grado de incertidumbre, este puede representar la litología, mineralización, alteración u otro tipo de característica geológica, que cumple un papel fundamental para realizar la evaluación económica del yacimiento (Centeno, 2014). Para generar un modelo geológico 3D, se puede aplicar un modelamiento explícito, implícito.

Un modelo de bloques se define como una matriz tridimensional que presenta dimensiones unitarias para cada bloque; es decir, tamaños para este, norte, elevación (corresponde a la altura de banco). Los bloques permiten estimar leyes; esto una vez configurado los parámetros de interpolación, a partir de las muestras compositas mediante un método geoestadístico (Ruiz, 2015). Esto nos muestra que la fase de estimación de leyes, sea por el kriging u otra técnica geoestadística, es la más delicada en todo proceso, ya que el acierto de sus resultados depende del preciso análisis estructural, en relación con el modelo geológico del yacimiento.

El modelo de bloques presenta la dimensión de la altura de banco, que se conceptúa como la diferencia vertical entre la cresta y el toe, cuya estimación se efectúa principalmente en base a la naturaleza del yacimiento (variabilidad en sentido vertical), por el tamaño del equipo de perforación, carguío y acarreo, que va a ser utilizado primordialmente por la altura máxima del frente de minado (Mayhua, 2009). Lo mencionado refleja que la altura de banco no sólo depende de parámetros geotécnicos, técnicos, operativos, sino también económicos.

Un recurso mineral es una concentración u ocurrencia de interés económico intrínseco dentro y fuera de la corteza terrestre en forma y cantidad tal como para demostrar que hay perspectiva razonable para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad de un recurso mineral se conocen, estiman o interpretan desde una evidencia y conocimientos geológicos. Los Recursos Minerales se subdividen en, según su confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados, Medidos (JORC, 2004). En suma, los recursos se estiman a través de un modelo de bloques o hexaedros.

Un recurso mineral medido es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en la exploración detallada e información confiable sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley (JORC, 2004).

Un recurso mineral indicado es aquella parte de un recurso mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como pueden ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para

confirmar la continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad (JORC, 2004).

Un recurso mineral inferido es aquella parte de un recurso mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume, pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta (JORC, 2004).

El algoritmo de Lerchs-Grossmann se considera el algoritmo más utilizado por los programas mineros, cuyo objetivo es buscar maximizar el valor total de un yacimiento, basado en el beneficio neto de cada bloque y su ubicación. El beneficio neto de un bloque es la diferencia entre el ingreso total del bloque con el costo de extracción del material de la mina y el procesamiento del bloque en la planta. La ubicación física del bloque es importante porque los bloques bajo el nivel de la mina no pueden ser extraídos hasta que los bloques sobre éstos sean removidos (Chara, 2018). Se considera el algoritmo con mayor precisión por la metodología que aplica.

En el siguiente esquema de figuras se muestran en dos dimensiones las secuencias a optimizar el diseño de la explotación mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann.

-1,4	-1,4	-1,4	-1,4	0	-1,4	56,9	0	0	65,1	32,1	0	0	15,6	-1,4	0	-1,4	-1,4	-1,4
-2,8	-2,8	-2,8	-2,8	-1,4	47,2	72,5	89,9	0	114	122	73,4	23,9	72,5	5,93	0	-2,8	-2,8	-2,8
-4,2	-4,2	-4,2	-4,2	-2,8	62,8	71,1	139	-1,4	204	179	122	31,2	105	13,3	0	-4,2	-4,2	-4,2
-5,6	-5,6	-5,6	-5,6	-4,2	61,4	111	146	5,93	228	219	146	46,8	153	20,6	-1,4	-5,6	-5,6	-5,6
-7	-7	-7	-7	-5,6	60	119	153	62,8	235	218	144	54,1	152	19,2	-2,8	-7	-7	-7
-8,4	-8,4	-8,4	-8,4	-7	58,6	117	152	61,4	233	216	143	52,7	150	17,8	-4,2	-8,4	-8,4	-8,4
-9,8	-9,8	-9,8	-9,8	-8,4	57,2	116	150	60	232	215	142	51,3	149	16,4	-5,6	-9,8	-9,8	-9,8
-11	-11	-11	-11	-9,8	55,8	115	149	58,6	231	214	140	49,9	148	15	-7	-11	-11	-11
-13	-13	-13	-13	-11	54,4	113	148	57,2	229	212	139	48,5	146	13,6	-8,4	-13	-13	-13

Figura 1. Sección de bloques

Al realizar la secuencia de arcos estructurales, se tiene como resultado el límite económico óptimo.

0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1	2	0	1	2	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	3	2	2	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2. Sección del límite económico del pit

En la Figura 3 se puede observar la perspectiva no gradual de Lerchs-Grossman respecto al algoritmo de Cono Flotante.

0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3. Sección del pit optimizado con Lerchs-Grossmann

El algoritmo de Cono Flotante consiste en el estudio económico de los bloques mineralizados y estériles que caen dentro de un cono invertido, el cual se mueve sistemáticamente a través de una matriz de bloques, con el vértice del cono ocupando, seguido de los centros de bloques. El fundamento es que los beneficios netos obtenidos por explotar la mineralización que se encuentra dentro del cono, deben superar los costos de extraer el estéril existente en dicho cono. Los conos, individualmente, pueden no ser económicos, pero, cuando dos o más conos se superponen, existe una parte importante de estéril que es compartida por los diversos conos, lo que genera un cambio en su estatus económico (Yucra, 2013).

El siguiente esquema se presenta un corte o perfil de modelo de bloques sometido al algoritmo del Cono Flotante, donde cada bloque está definido por un valor económico; en otras palabras, lo que equivale económicamente su extracción. Es así como los bloques con valor negativo representan a los bloques de estéril con su costo de extracción asociado (-10) y los bloques de mineral son representados por el beneficio global que reporta su extracción.

- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
- 10	- 10	- 10	+ 800	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10
- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10	- 10

Figura 4. Perfil de bloques

Fuente: Ruiz, 2015

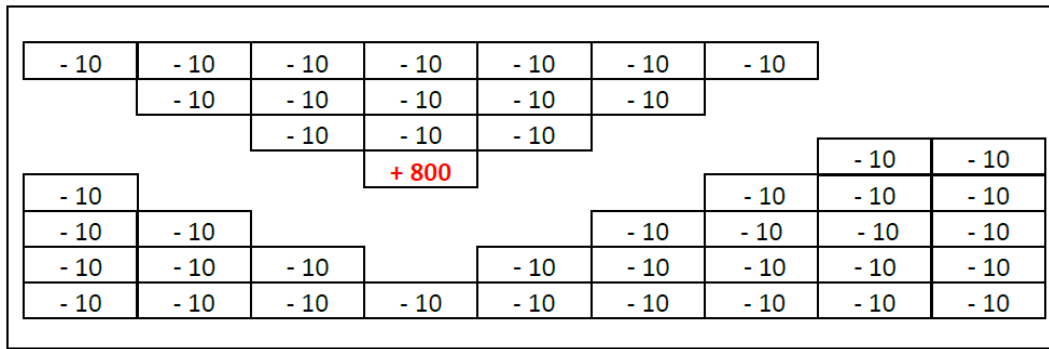


Figura 5. Representación gráfica de la aplicación del algoritmo del cono flotante
Fuente: Ruiz, 2015

(Beneficio Global = Ingresos – Costos = 810 – 10 = 800). Ver Figura 6.

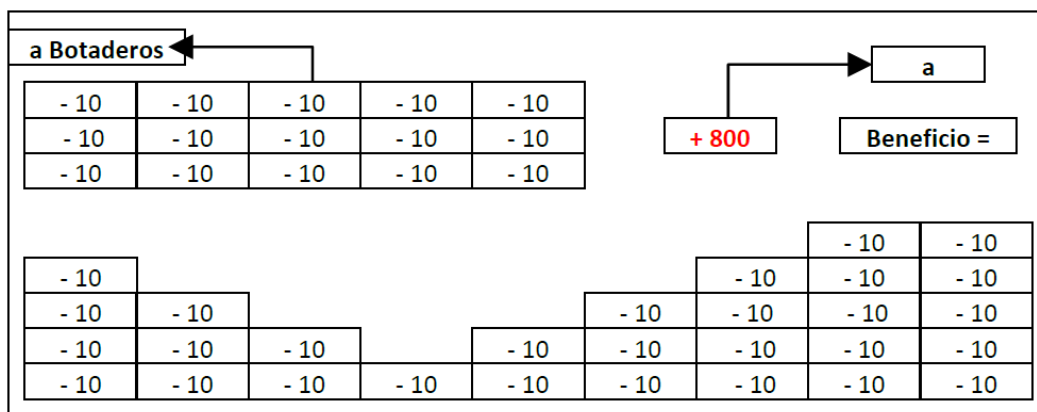


Figura 6. Representación gráfica de la extracción de bloques con Cono Flotante
Fuente: Ruiz, 2015

En el ejemplo anterior, podemos observar que el extraer el bloque de valor positivo (+800) y sus 15 bloques de estéril asociado (-10 a cada uno), genera un beneficio final de +650, correspondiente al beneficio de extraer dicho bloque con su sobre carga asociada.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la altura de banco óptimo de la comparación de los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante en el software MinePlan en un yacimiento de cobre, Cuzco 2021?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la altura de banco óptimo comparando los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante en el software MinePlan en un yacimiento de cobre, Cuzco 2021.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estimar el modelo de recursos mediante kriging ordinario.
- Evaluar diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Lerchs-Grossmann.
- Evaluar diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Cono Flotante.
- Realizar un análisis comparativo entre los indicadores del algoritmo de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

La comparación de los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante utilizando el software MinePlan permitirá la determinación de altura de banco óptimo en un yacimiento de cobre, Cuzco 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación presenta un enfoque cuantitativo, diseño no experimental, tipo descriptivo, ya que el objetivo principal es determinar la altura de banco óptimo comparando los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante, tomando como muestra la base de datos de exploración en estudio, para simular y analizar diversas alturas de banco, por lo que no se manipulará ninguna variable.

Según, (Sampieri, 2018) se considera investigación cuantitativa, cuando esta se dedica a recoger, procesar y analizar datos sobre variables previamente determinadas. Asimismo, siguen un patrón predecible y estructurado con el fin de la construcción y de la demostración de teorías. Es por ello, que la presente investigación busca determinar indicadores con atributos cuantitativos.

Por un lado, (Sampieri, 2018) considera una investigación no experimental, debido a que no se manipulan deliberadamente las variables independientes, la cual se basa en fundamentalmente en la observación de fenómenos tal y como se dan en su contexto natural para analizarlos; es decir, sucesos que ya ocurrieron o se dieron sin la intervención del investigador. De tal manera, en la presente investigación no se manipulará ninguna variable.

Finalmente, (Sampieri, 2018) define que, una investigación con enfoque descriptivo cuando pretende especificar las propiedades, fenómenos, variables o hechos en un

contexto determinado que se someta a un análisis. Es decir, miden o recolectan datos y reportan información para analizarla. Es por ello, que en la presente investigación, se recopilará la información para realizar comparaciones de manera analítica en búsqueda de resultados óptimos.

2.2. Población y muestra

Población

Base de datos de campañas de exploraciones de yacimientos mineros en el Perú.

Muestra

Base de datos de una campaña de exploración de un yacimiento de cobre, Cuzco 2021.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la presente investigación se aplicó la técnica de análisis documental que consistió en investigar antecedentes relacionados con la aplicación de algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante en los diversos tipos de yacimientos a nivel nacional e internacional, repercutiendo en indicadores como el valor neto, tonelaje, ley media, valor por tonelada, para lo cual se utilizó los buscadores científicos confiables como Redalyc, Repositorios de Universidades. La base de datos fue proporcionada por la empresa en estudio.

2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

La base de datos fue integrada y procesada de manera digital mediante el software MinePlan, con la finalidad de evaluar los resultados de los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante. Asimismo, los resultados obtenidos fueron analizados en Microsoft Excel mediante tablas y gráficos que permitió determinar la altura óptima de banco del yacimiento con repercusión en indicadores como el valor neto, tonelaje, ley media, valor por tonelada.

2.4. Procedimiento

Paso 1: Estructuración de la base de datos de exploración

Se estructuró la base de datos de exploración del yacimiento de cobre a través de los archivos collar, survey, assay, geo; en Microsoft Excel, de tal manera que pueda ser utilizado en el software MinePlan.

- **Header:** El archivo collar almacenado en Excel, abarca la información topográfica de los sondajes de la campaña de exploración, lo cual se registró en coordenadas este, norte, elevación y la longitud de cada uno. En total se registran 128 sondajes de exploración.

	A	B	C	D	E
1	DHID	LOCATIONX	LOCATIONY	LOCATIONZ	LENGTH
2	B225	3030.9	1783.98	494.05	524
3	B226	3010.93	2037.64	518.96	527
4	B227	2582.59	2183.7	523.88	490
5	B228	2820.16	1874.34	496.39	443
6	B229	2943.51	2210.39	499.36	300
7	B230	2700.24	2007.97	532.26	493
8	B231	3191.31	2027.99	458.85	481
9	B232	2959.91	2422.13	443.21	482
10	B234	2748.67	2408.73	523.91	484
11	B235	2537.13	2409.99	573.23	500
12	B236	2811.07	1893.33	508.38	437
13	B237	2500.57	2037.97	500	282
14	B238	2763.08	2197.52	549.48	291
15	B239	3015.85	1917.73	474	500
16	B240	2855	2017.12	507.27	500
17	B241	3114.7	1660.89	470.2	441
18	B242	3118.03	1764.04	496.19	424
19	B243	3109.63	1908.49	463.1	432
20	B244	3110.83	2037.89	492.82	481
21	B245	3051.46	2188.69	477.12	490
22	B246	3047.35	2285.92	456.29	445
23	B247	2944.66	2312.04	486.76	450
24	B248	2764.21	2302.47	529.19	430
25	B249	2578.02	2289.17	551.16	428
26	B250	2479.09	2182.63	520.04	393
27	B251	2602.16	2007.86	498.79	366
28	B252	2603.81	2097.07	511.93	411
29	B253	2713.08	1904.42	525.18	380
30	B254	2703.26	2094.65	535.05	370
31	B255	2801.9	2097.5	544.94	260

Figura 7. Archivo collar de la base de datos de exploración

- **Survey:** El archivo survey almacenado en Excel, registra la información de la desviación de los sondajes, considerando un azimut de 0° a 360° y una inclinación de 0° a -90°.

	A	B	C	D	E	
1	DHID	FROM	TO	AZ	DIP	
2	B225	0	524	0	-90	
3	B226	0	527	0	-90	
4	B227	0	490	0	-90	
5	B228	0	443	0	-90	
6	B229	0	300	0	-90	
7	B230	0	493	0	-90	
8	B231	0	481	0	-90	
9	B232	0	482	0	-90	
10	B234	0	484	0	-90	
11	B235	0	500	0	-90	
12	B236	0	437	0	-90	
13	B237	0	282	0	-90	
14	B238	0	291	0	-90	
15	B239	0	500	0	-90	
16	B240	0	500	0	-90	
17	B241	0	441	0	-90	
18	B242	0	424	0	-90	
19	B243	0	432	0	-90	
20	B244	0	481	0	-90	
21	B245	0	490	0	-90	
22	B246	0	445	0	-90	
23	B247	0	450	0	-90	
24	B248	0	430	0	-90	
25	B249	0	428	0	-90	
26	B250	0	393	0	-90	
27	B251	0	366	0	-90	
28	B252	0	411	0	-90	
29	B253	0	380	0	-90	
30	B254	0	370	90	-40	
31	B255	0	50	0	-90	

Figura 8. Archivo Survey de la base de datos de exploración

- **Assay:** El archivo assay almacenado en Excel, registra la información de los ensayos químicos del Cu. El metal principal para la evaluación económica es el Cu con leyes desde 0.01% a 8.55%.

	A	B	C	D
1	DHID	FROM	TO	CU
2	B225	0	3	0.005
3	B225	3	6	0.005
4	B225	6	9	0.005
5	B225	9	12	0.005
6	B225	12	15	0.01
7	B225	15	18	0.01
8	B225	18	21	0.005
9	B225	21	24	0.005
10	B225	24	27	0.005
11	B225	27	30	0.005
12	B225	30	33	0.005
13	B225	33	36	0.1
14	B225	36	39	0.58
15	B225	39	42	0.52
16	B225	42	45	1.33
17	B225	45	48	1.12
18	B225	48	51	1.04
19	B225	51	54	1.66
20	B225	54	57	0.68
21	B225	57	60	1.38
22	B225	60	63	0.53
23	B225	63	66	1.08
24	B225	66	69	0.03
25	B225	69	72	0.023
26	B225	72	75	0.029
27	B225	75	78	0.021
28	B225	78	81	0.041
29	B225	81	84	1.15
30	B225	84	87	1.41
31	B225	87	90	1.27

ASSAYS (+)

Figura 9. Archivo Assay de la base de datos de exploración

- **Geology:** El archivo geo almacenado en Excel, registra la información del logeo geológico. Para el presente estudio, se trabajan con 3 alteraciones de mineralización: LZ = Lixiviable, PZ = Sulfuros Primarios, SZ = Sulfuros Secundarios.

	A	B	C	D	E
1	DHID	FROM	TO	ROCKA	ROCK
2	B225	0	33	LZ	1
3	B225	33	65.64	SZ	3
4	B225	65.64	80.5	DYKE	4
5	B225	80.5	524	PZ	2
6	B226	0	58.55	LZ	1
7	B226	58.55	86.54	SZ	3
8	B226	86.54	99.09	SILL	5
9	B226	99.09	104.49	SZ	3
10	B226	104.49	136.29	PZ	2
11	B226	136.29	170.53	DYKE	4
12	B226	170.53	527	PZ	2
13	B227	0	34	LZ	1
14	B227	34	50	SZ	3
15	B227	50	261.38	PZ	2
16	B227	261.38	269.61	SILL	5
17	B227	269.61	490	PZ	2
18	B228	0	13.01	LZ	1
19	B228	13.01	28.41	SZ	3
20	B228	28.41	173.96	PZ	2
21	B228	173.96	180.88	SILL	5
22	B228	180.88	443	PZ	2
23	B229	0	43	LZ	1
24	B229	43	76	SZ	3
25	B229	76	158.27	PZ	2
26	B229	158.27	168.74	SILL	5
27	B229	168.74	300	PZ	2
28	B230	0	24	LZ	1
29	B230	24	70.95	SZ	3
30	B230	70.95	82.59	DYKE	4
31	B230	82.59	87.16	SZ	3

Figura 10. Archivo Geology de la base de datos de exploración

Paso 2: Determinación de los límites del proyecto

Posteriormente, haciendo uso de la información del archivo Collar, se calculan los límites del proyecto, los cuales son parte fundamental en la configuración del proyecto del software MinePlan (Ver Tabla 1). Asimismo, la altura de banco representa la dimensión de la elevación del bloque, lo que va a permitir realizar las comparaciones y el análisis respectivo.

Tabla 1.
Límites del proyecto y dimensiones del bloque

Este*	Norte*	Elevación*
2200	1500	105
3400	2600	600
10	10	15

*Coordenadas topográficas cortas

Paso 3: Visualización de los sondajes de exploración del yacimiento de cobre en el software MinePlan

Se realiza la importación de los archivos Collar, Survey, Assay, Geo al software MinePlan, que permite la visualización de los 128 sondajes de exploración del yacimiento de cobre con leyes desde 0.01% a 8.55% de Cu. Ver Figura 11.

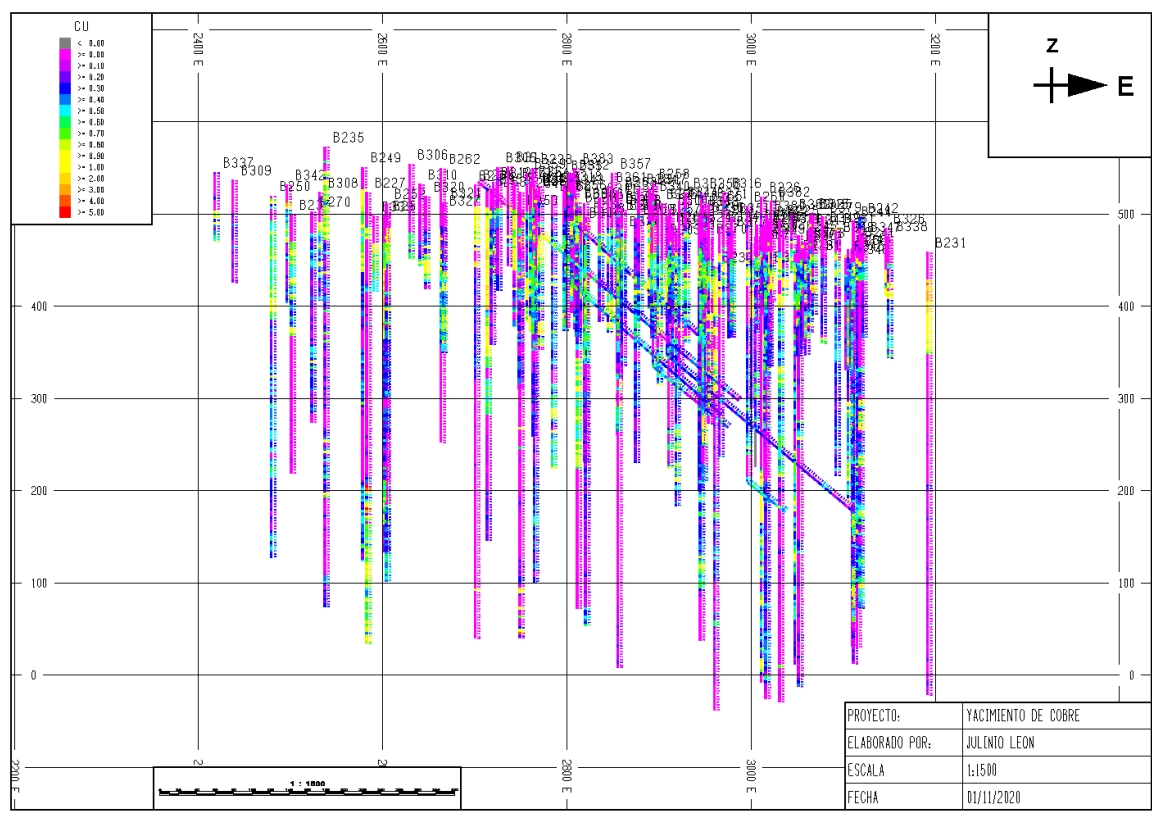


Figura 11. Visualización 3D de los sondajes de exploración del yacimiento de cobre (Ver anexo 33).

Paso 4: Representación del modelamiento del yacimiento de cobre

En la Figura 12, se visualiza un corte en 2D, vista ZE, del modelamiento de mineralización explícito, el cual representa las 3 zonas de mineralización del yacimiento: 1 = Lixiviable (Magenta), 2 = Sulfuros Secundarios (Verde), 3 = Sulfuros Primarios (Rojo). El modelo fue discretizado en un modelo de bloques.

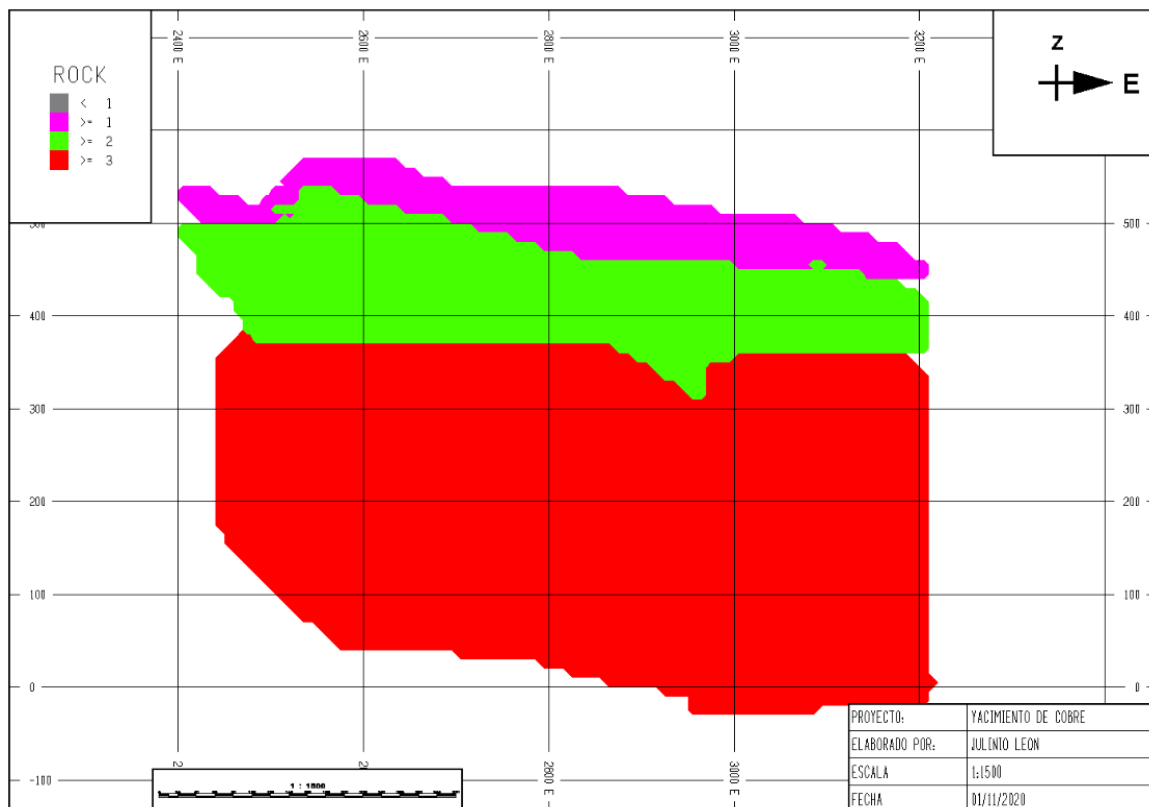


Figura 12. Modelo de mineralización del yacimiento de cobre en 2D

El modelo de mineralización presentado es el más representativo, el cual se utilizó para todas las configuraciones de banco con los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante. Asimismo, fue conveniente estimar el volumen para cada mineralización (Ver Tabla 2).

Tabla 2.

Volumen por cada mineralización del yacimiento de cobre

Lixiviable (m3)	Sulfuros Secundarios (m3)	Sulfuros Primarios (m3)
19'563,208	33'191,333.33	136'494,583.33

Paso 5: Composición de muestras

En la Figura 13 se visualizan los histogramas de las muestras (al lado izquierdo) y los histogramas de la composición por banco de 15 metros (al lado derecho).

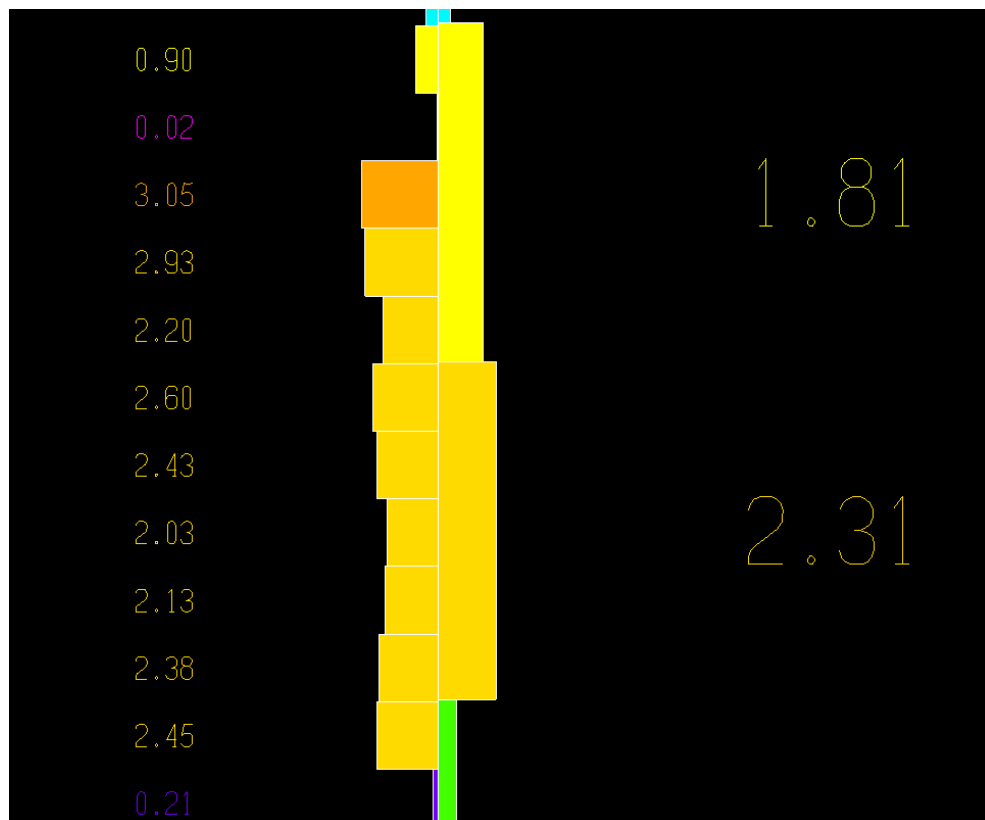


Figura 13. Visualización de la composición por banco

Paso 6: Estimación de leyes de Cu aplicando kriging ordinario para el yacimiento de cobre

Para la discretización de bloques y la estimación del modelo de leyes de Cu, se realizó la compositación por banco y un análisis variográfico de las mineralizaciones en el software MinePlan, asignando los siguientes parámetros de interpolación por mineralización (Ver Tabla 3).

Tabla 3.
Parámetros de interpolación del ajuste de variograma esférico

	Lixiviable	Sulfuros Secundarios	Sulfuros Primarios
Nugget effect	0.2	0.3	0.1
Sill	0.8	0.7	0.9
Range along major axis	93.1020	100.0000	166.6940
Range along minor axis	51.9320	60.0000	138.5670
Range along vertical axis	24.1730	37.6430	138.9620
Direction major axis	-63.9160	-31.6910	-55.9890
Plunge Major axis	5.2570	3.2450	-2.4650
Dip easterly	177.2030	175.1630	53.0350

En la Figura 14 se visualiza el modelo de leyes de Cu, con valores estimados desde 0.01% a 8.55% de Cu.

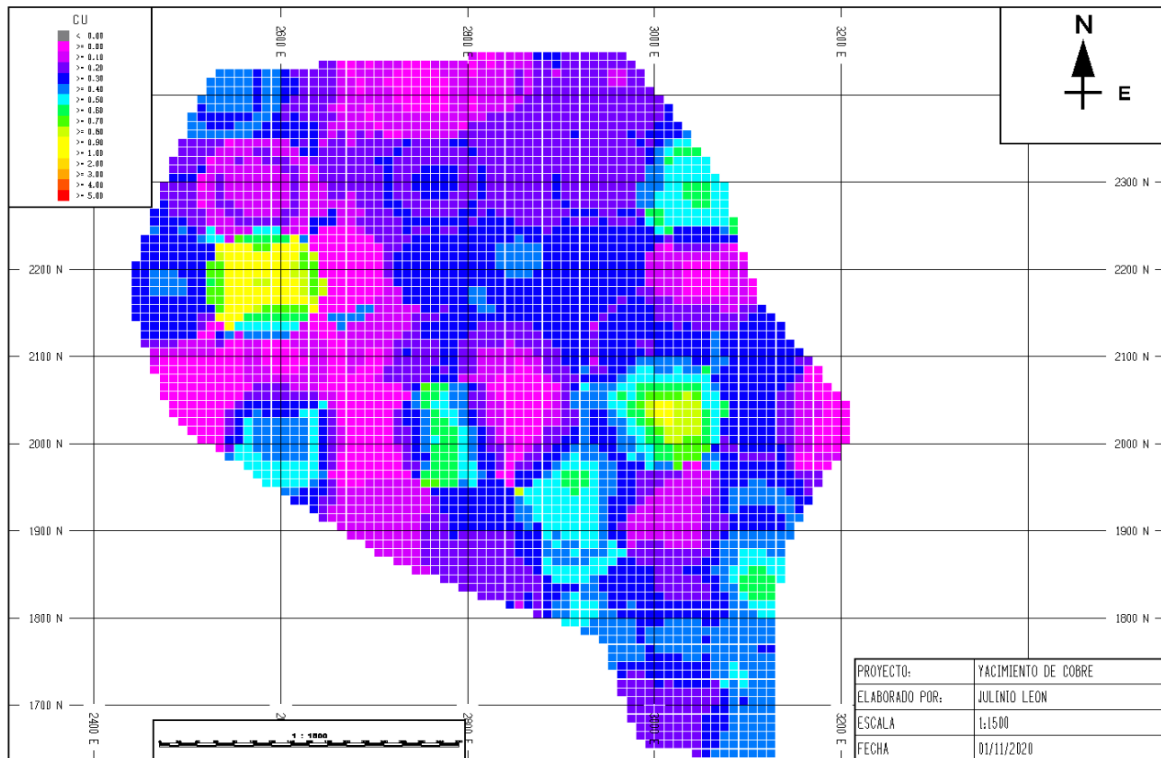


Figura 14. Vista NE del Modelo de leyes de Cu representado en un modelo de bloques (Ver anexo 34).

Paso 7: Definición de parámetros económicos para la evaluación de los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

En la Tabla 4 se observan los parámetros económicos definidos a partir de información de empresas mineras con similares características al yacimiento investigado de la presente tesis, estos fueron usados para evaluar los algoritmos de optimización de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.

Tabla 4.

Parámetros económicos para utilizar los algoritmos de optimización

Destino	Material	Costo de Procesamiento (\$/Ton)	Costo de Minado (\$/Ton)	Peso específico	Recuperación Metalúrgica (%)
Chancadora	Lixiviable	5	2.5	2.5	75
Chancadora	Sulfuros Primario	5	2.5	2.7	80
Chancadora	Sulfuros Secundarios	5	2.5	2.7	80
Botadero	Lixiviable	0	2	2.5	0
Botadero	Sulfuros Primario	0	2	2.7	0
Botadero	Sulfuros Secundarios	0	2	2.7	0

Para la presente investigación se consideró el precio del Cu de 3 \$/lb y una ley de corte de 0.2% de Cu. Para calcular el valor neto de cada bloque.

Paso 8: Optimización con el algoritmo de Lerchs-Grossmann

En la Figura 15, se visualiza la envolvente económica del tajo obtenido a la cargar los parámetros económicos al software MinePlan y usando el algoritmo de Lerchs-Grossmann para la determinación del valor neto del yacimiento.

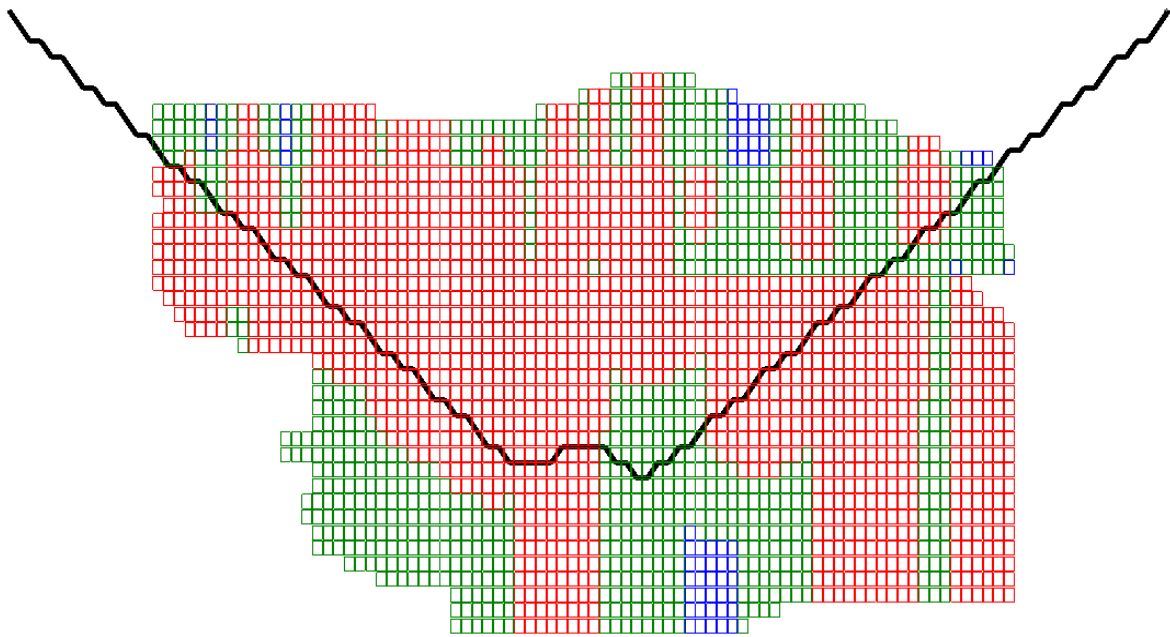


Figura 15. Optimización con el algoritmo de Lerchs-Grossmann

Paso 9: Optimización con el algoritmo de Cono Flotante

En la Figura 16, se visualiza la envolvente económica del tajo obtenido a la cargar los parámetros económicos al software MinePlan y usando el algoritmo de Cono Flotante para la determinación del valor neto del yacimiento.

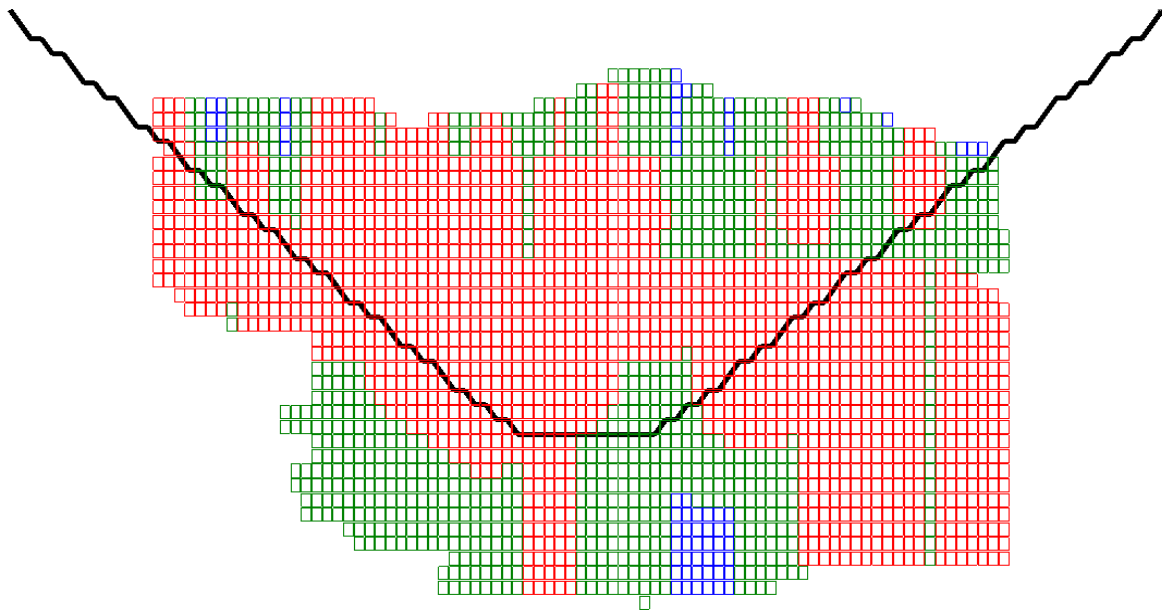


Figura 16. Optimización con el algoritmo de Cono Flotante

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Estimación del modelo de recursos mediante kriging ordinario.

En la figura 17 se observa el modelo de recursos del yacimiento de cobre estimado mediante kriging ordinario; es decir, se han clasificado en Recursos Medidos = 1 (Rojo), Recursos Indicados = 2 (Verde), Recursos Inferidos = 3 (Azul).

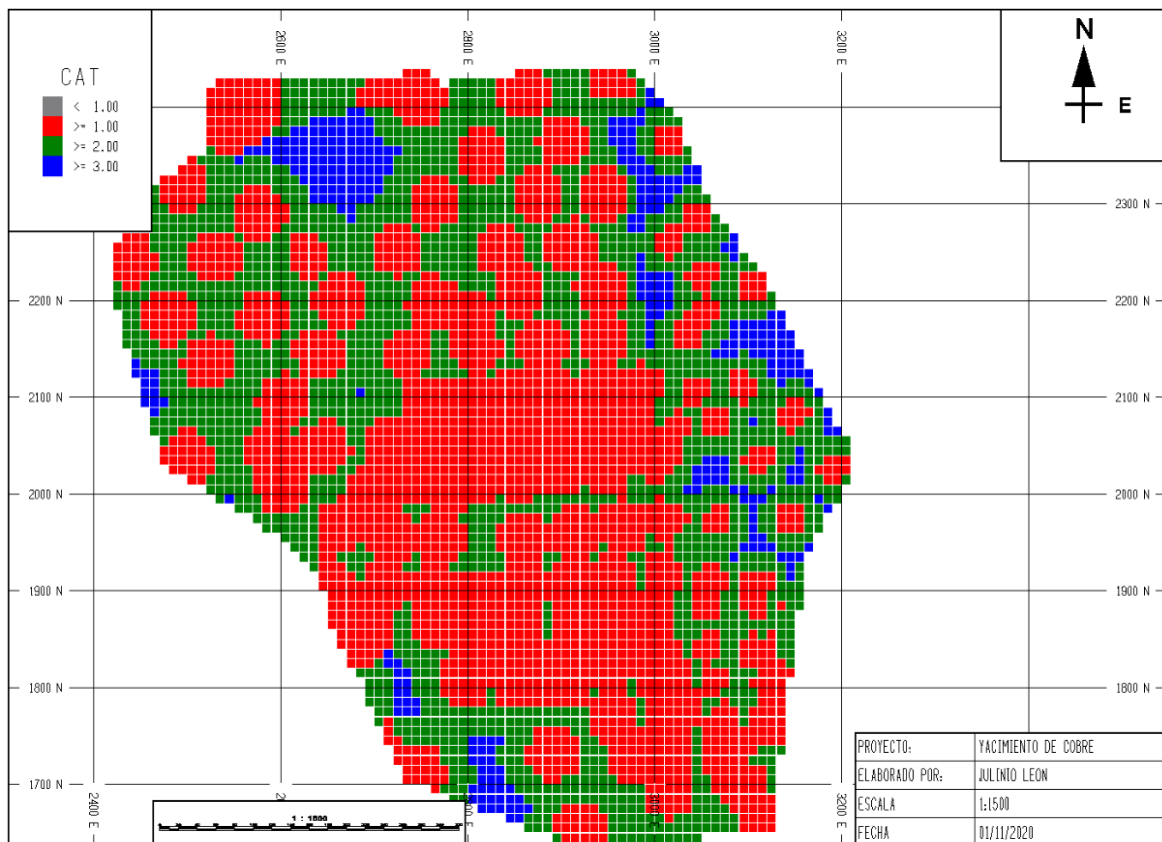


Figura 17. Modelo de recursos según en grado de confiabilidad

En la tabla 5 se visualiza el reporte de la categorización de recursos mineros del yacimiento de cobre en base al grado de confiabilidad de la estimación de kriging ordinario, clasificando en Recursos Medidos, Recursos Indicados, Recursos Inferidos a partir del reporte del modelo de bloques.

Tabla 5.

Reporte de recursos mineros del yacimiento de cobre según el grado de confiabilidad

	Recursos Medidos	Recursos Indicados	Recursos Inferidos
Tonelaje (Tm)	337'398,750	156'317,850	1'545,750
Ley media (%)	0.344	0.332	0.197

3.2. Evaluación de diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Lerchs-Grossmann

Tabla 6.

Reporte de las evaluaciones con el algoritmo de Lerchs-Grossmann

Altura de banco (m)	N° de bloques	Tonelaje (Tm)	Ley media de Cu (%)	NV (US\$)
5	375,394	533'665,900	0.431	2,499'614,969
6	311,979	531'647,220	0.439	2,365'161,350
7	267,421	531'758,360	0.437	2,371'931,165
8	233,013	528'874,560	0.4332	2,422'809,682
9	209,327	534'542,130	0.4289	2,501'319,532
10	186,817	529'563,300	0.4312	2,519'257,455
11	170,883	533'999,290	0.4282	2,427'824,902
12	157,989	538'975,560	0.4287	2,408'477,506
13	146,777	541'885,890	0.4248	2,483'631,968
14	136,348	544'094,460	0.432	2,350'187,035
15	128,699	549'409,950	0.4253	2,465'250,690

La tabla 6 muestra los resultados de las evaluaciones con el algoritmo de Lerchs-Grossmann, de tal manera se puede observar que a una altura de banco de 10 metros se tiene el mayor Valor Neto del yacimiento con US\$ 2,519'257,455 una ley media de 0.4312% Cu con un tonelaje de 529'563,300 Tm, en 186,817 bloques en el yacimiento de cobre evaluado.

3.3. Evaluación de diferentes alturas de banco mediante el algoritmo de optimización de Cono Flotante.

Tabla 7.

Reporte de las evaluaciones con el algoritmo de Cono Flotante

Altura de banco (m)	N° de bloques	Tonelaje (Tm)	Ley media de Cu (%)	NV (US\$)
5	366,628	520'865,300	0.434	2,482'632,778
6	305,052	519'705,000	0.441	2,335'043,373
7	262,624	522'016,110	0.4386	2,356'136,031
8	229,450	520'757,760	0.4351	2,405'612,454
9	201,157	513'539,910	0.4326	2,419'965,173
10	182,192	516'149,300	0.433	2,496'558,561
11	167,695	523'829,460	0.4299	2,409'749,998
12	155,237	529'411,680	0.4302	2,375'129,599
13	141,701	522'916,550	0.4279	2,467'327,049
14	134,994	538'595,120	0.4326	2,334'327,553
15	124,033	529'423,200	0.4285	2,428'853,537

La tabla 7 muestra los resultados de las evaluaciones con el algoritmo de Cono Flotante, de tal manera se puede observar que a una altura de banco de 10 metros se tiene el mayor Valor Neto del yacimiento con US\$ 2,496'558,561 una ley media de 0.433% Cu con un tonelaje de 520'865,300 Tm en 182,192 bloques en el yacimiento de cobre evaluado.

3.4. Análisis comparativo entre los indicadores del algoritmo de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante.

3.4.1. Resultados del número de bloques de la evaluación de altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

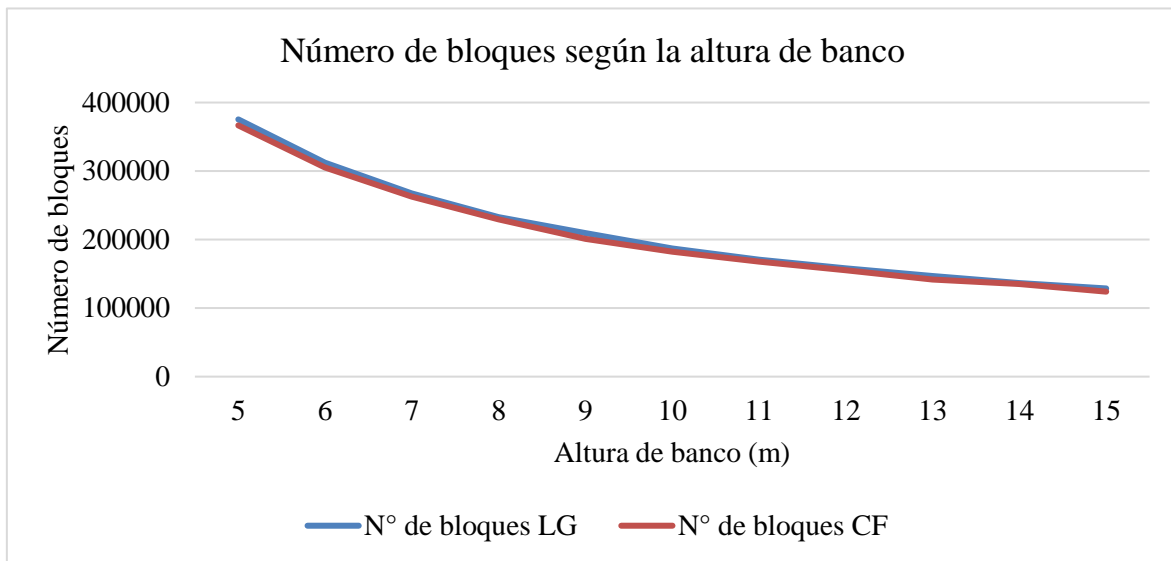


Figura 18. Número de bloques según la altura de banco

La Figura 18 muestra una tendencia negativa en función a la altura de banco; es decir, a medida que aumenta la altura de banco, la cantidad de bloques disminuyen. De acuerdo con ello, las evaluaciones con una altura de banco de 5 metros comprenden la mayor cantidad de bloques, mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann consideran 375,394 bloques y el algoritmo de Cono Flotante consideran 366,628 bloques.

3.4.2. Resultados del tonelaje de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

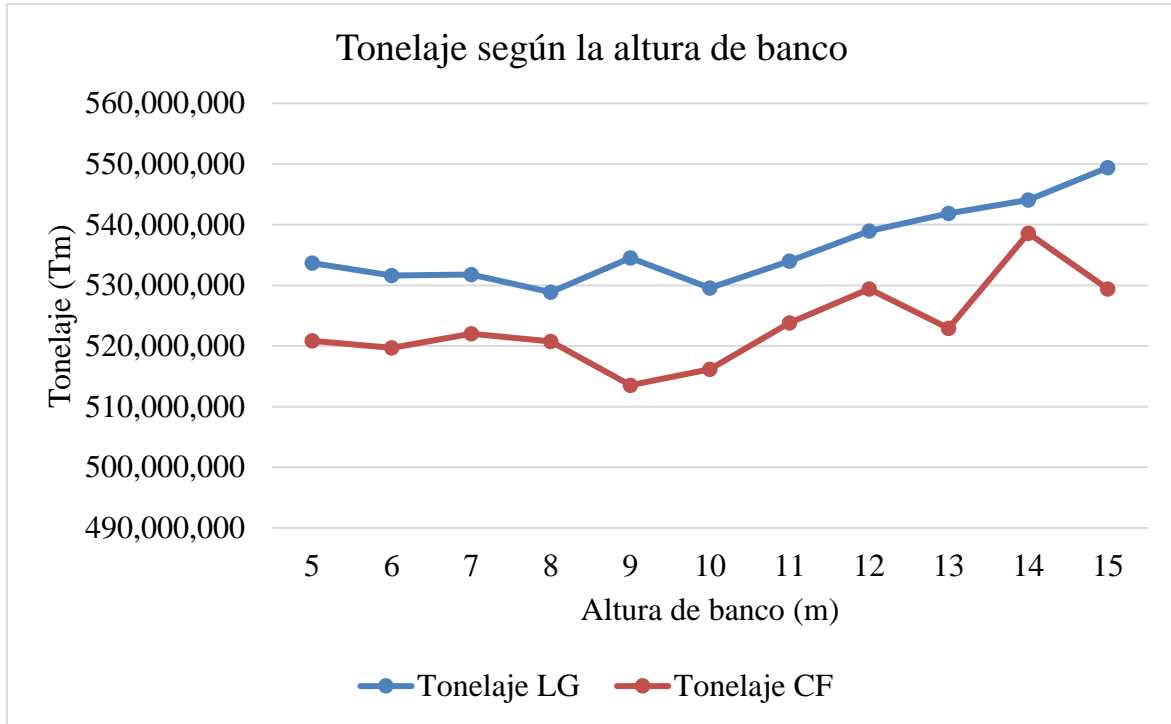


Figura 19. Tonelaje según la altura de banco

De acuerdo con la Figura 19, se muestran las evaluaciones mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann, donde se observa que la altura de banco de 15 metros abarca un tonelaje máximo con 549'409,950 Tm y el algoritmo de Cono Flotante considera que la altura de 14 metros comprende un tonelaje máximo de 538'595,120 Tm de todas las evaluaciones.

3.4.3. Resultados de la ley media de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

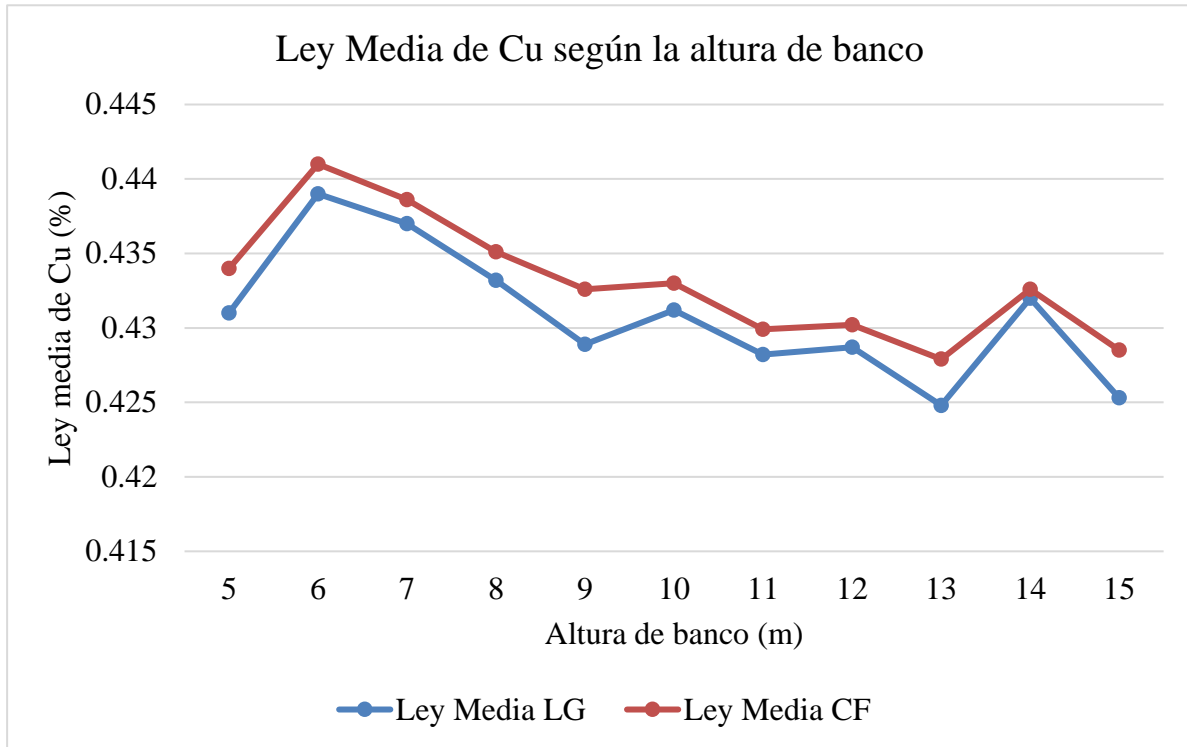


Figura 20. Ley media de Cu según la altura de banco

De acuerdo con la Figura 20, se muestran las evaluaciones mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann, donde se observa que las estimaciones mediante la altura de banco de 6 metros se estima la ley media máxima de Cu de 0.439 % y el algoritmo de Cono Flotante considera que mediante la altura de banco de 6 metros se estima una ley media máxima de Cu de 0.443%.

3.4.4. Resultados del valor neto de la evaluación por altura de banco mediante los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

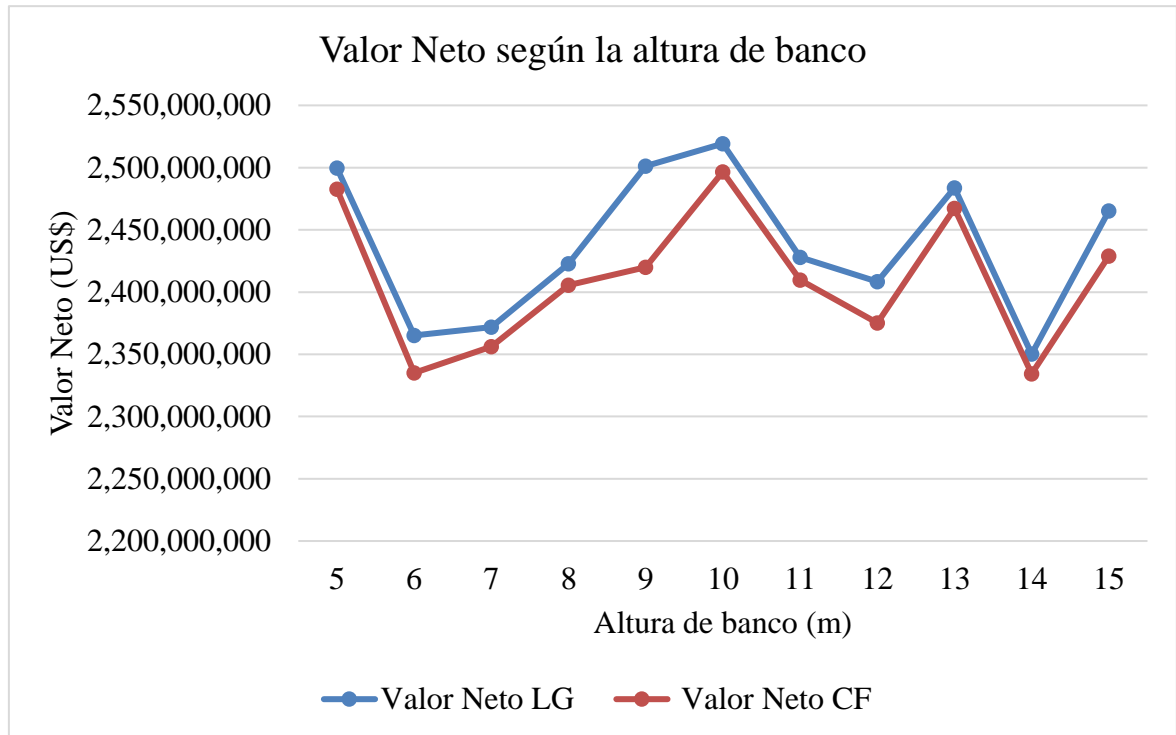


Figura 21. Valor Neto del yacimiento según la altura de banco

De acuerdo con la Figura 21, las evaluaciones muestran que mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann considera que la altura de banco de 10 metros estima el máximo Valor Neto de US\$ 2,519'257,455 y el algoritmo de Cono Flotante considera que la altura óptima de banco de 10 metros estima el máximo Valor Neto US\$ 2,496'558,561 siendo el indicador más importante dentro del análisis comparativo de cada algoritmo en la presente investigación.

3.4.5. Resultados de la altura óptima de banco por zona mineralizada mediante lo algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante

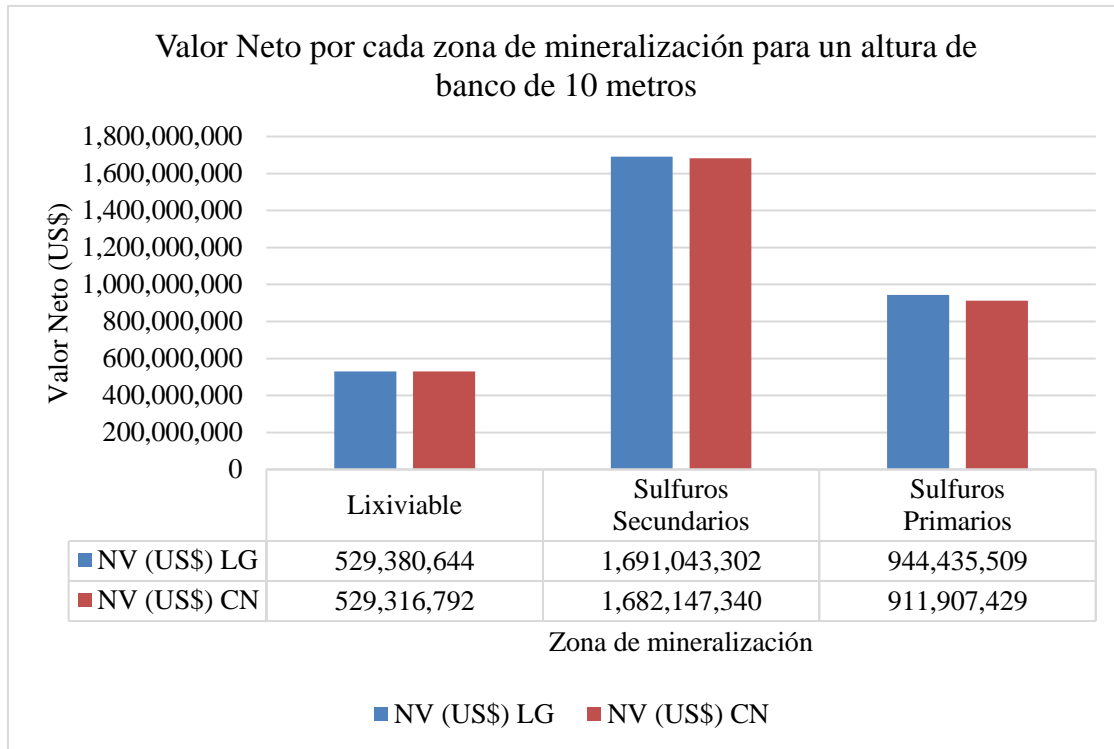


Figura 22. Valor Neto por mineralización para una altura de banco de 10 metros

De la Figura 22, se visualiza información del indicador del Valor Neto (US\$) por cada zona de mineralización configurado por la altura de banco óptimo de 10 metros del yacimiento de cobre. Se puede afirmar que, la mineralización de Sulfuros Secundarios confiere el máximo valor neto del yacimiento, mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann un valor de US\$ 1,691'043,302 y mediante el algoritmo de Cono Flotante un valor de US\$ 1,682'147,340, tales estimaciones representan el 53.43% o 53.85% del valor total del yacimiento de cobre, respectivamente.

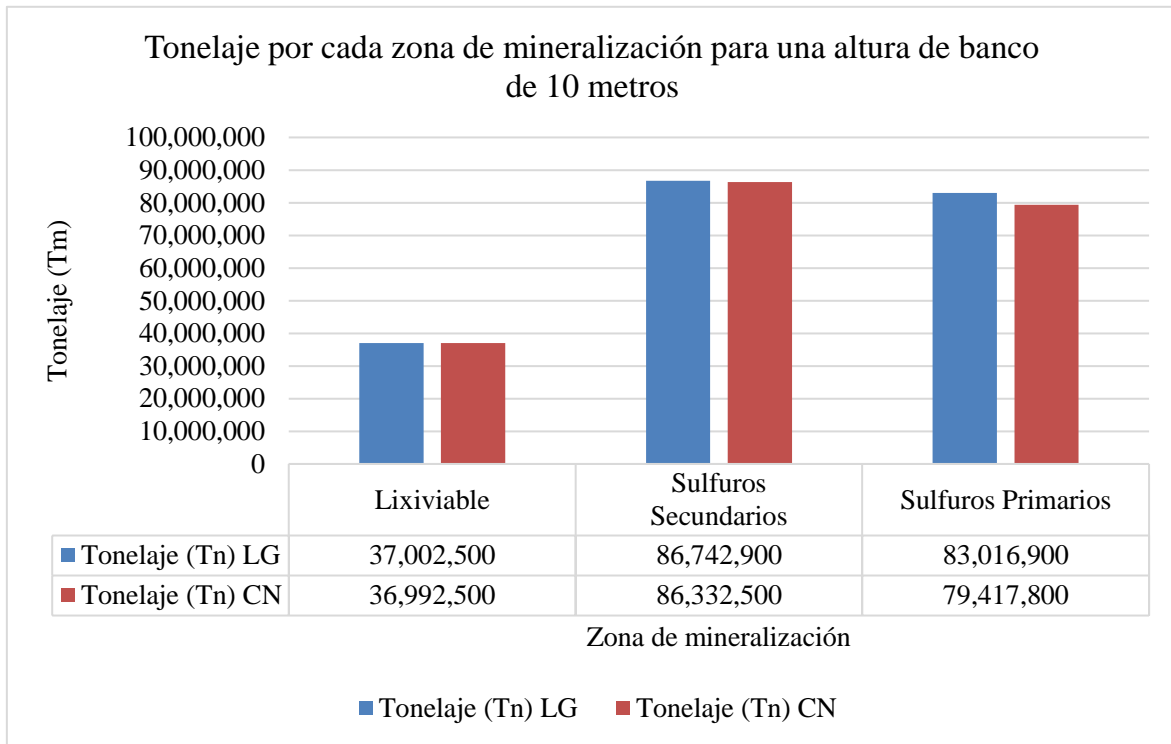


Figura 23. Tonelaje por mineralización para una la altura óptima de banco de 10 m

De la Figura 23 se visualiza información del indicador del Tonelaje (Ton) por cada zona de mineralización configurado por la altura de banco óptimo de 10 metros del yacimiento de cobre. Se puede afirmar que, la mineralización de Sulfuros Secundarios confiere el máximo tonelaje del yacimiento, mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann un valor de 86'742,900 Tm y mediante el algoritmo de Cono Flotante un valor de 86'332,500 Tm, tales estimaciones representan el 41.95% o 42.58% del tonelaje total del yacimiento de cobre, respectivamente.

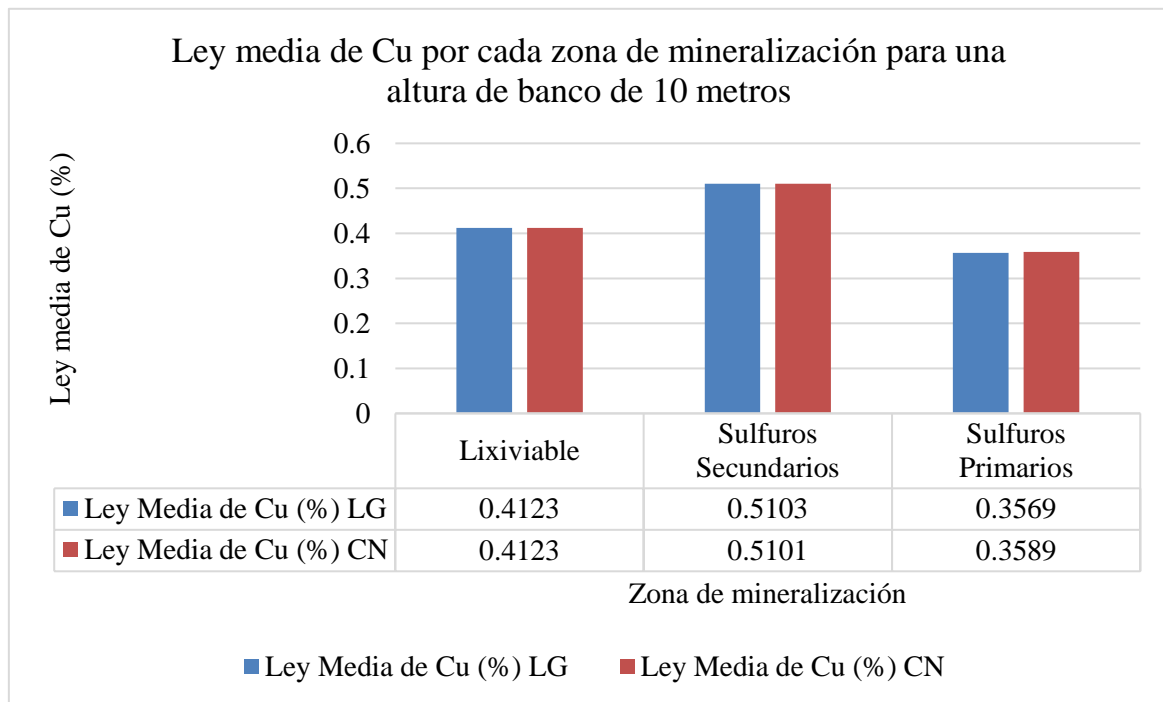


Figura 24. Ley media de Cu por mineralización para la altura óptima de banco de 10 m

De la Figura 24, se visualiza información del indicador de Ley Media de Cu (%) por mineralización configurado por la altura de banco óptimo de 10 metros del yacimiento de cobre. Se puede afirmar que, la mineralización de Sulfuros Secundarios confiere la ley media máxima del yacimiento de cobre, mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann un valor de 0.5103% y mediante el algoritmo de Cono Flotante un valor de 0.5101%.

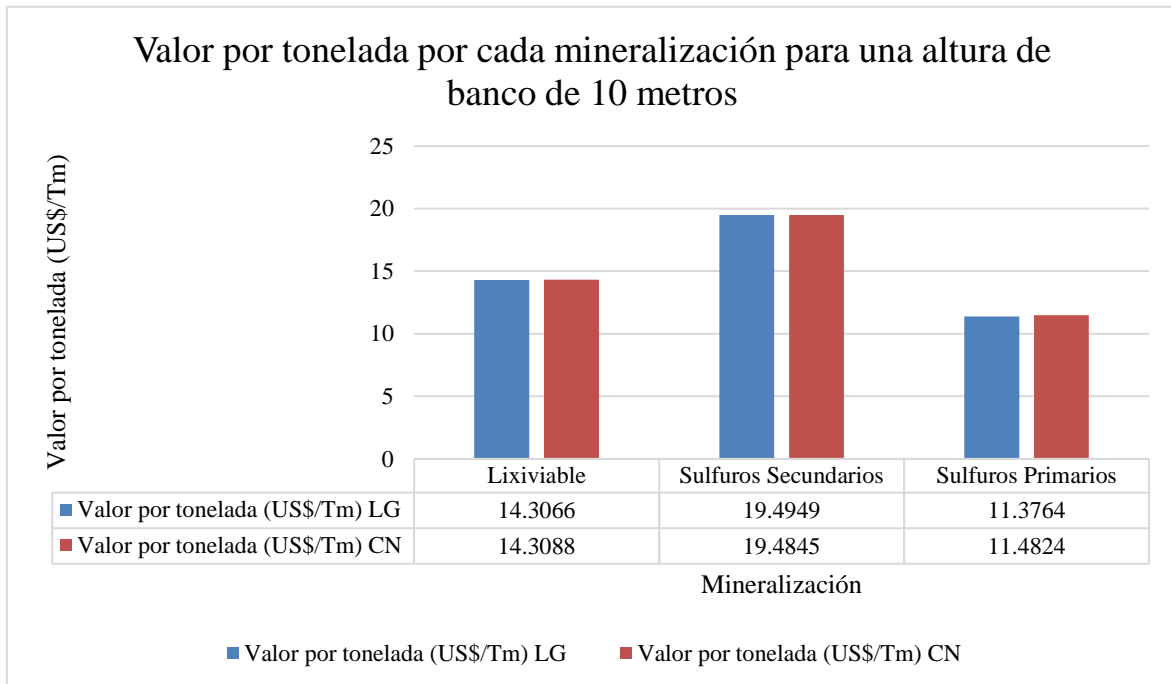


Figura 25. Valor por tonelada mineralización para una altura óptima de banco de 10 m

De la Figura 25, se visualiza información del indicador de Valor por tonelada (US\$/Ton) por cada zona de mineralización configurado por la altura de banco óptimo de 10 metros del yacimiento de cobre. Se puede afirmar que, la mineralización de Sulfuros Secundarios confiere el máximo valor por tonelada del yacimiento, mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann un valor de 19.4949 US\$/Tm y mediante el algoritmo de Cono Flotante un valor de 19.4845 US\$/Tm.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En la Figura 17 y Tabla 5 se muestra la estimación del modelo de recursos mediante kriging ordinario, obteniendo 337'398,750 Tm de Recursos Medidos, 156'317,850 Tm de Recursos Indicados y 1'545,750 Tm de Recursos Inferidos, esto se acepta tal como lo demostró (Barrios, 2019), quien utilizó kriging ordinario, ya que es el interpolador geoestadístico más confiable para estimar las leyes y categorizar los recursos, para el caso en un yacimiento de cobre, categorizando en Recursos Medidos con 484'971,680 Tm, Recursos Indicados con 261'133,721 Tm y Recursos Inferidos con 139'349,616 Tm, con el fin de utilizar el algoritmo de Lerchs-Grossmann para obtener la envolvente económica de explotación.

En la Tabla 6 se visualizan los resultados que se obtuvieron de las evaluaciones de altura de banco mediante las configuraciones desde 5 metros hasta 15 metros mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann en el software MinePlan, lo cual permitió la determinación de una altura máxima de banco para el yacimiento de cobre, cuyo valor es de 10 metros, el cual repercute directamente en el máximo valor neto del yacimiento con US\$ 2,519'257,455. Lo investigado se acepta y concuerda con la tesis de (Buendía, 2020) quien determinó la altura óptima para un yacimiento aurífero mediante simulaciones geoestadísticas, utilizando el algoritmo de Lerchs-Grossmann en el software MineSight, siendo la altura de 6 metros la que repercute en el valor neto del yacimiento con US\$ 699'006,994 maximizando el valor económico del proyecto.

En la Tabla 7 se visualizan los resultados que se obtuvieron de las evaluaciones de altura de banco mediante las configuraciones desde 5 metros hasta 15 metros mediante el algoritmo de Cono Flotante en el software MinePlan, lo cual permitió, la determinación de una altura máxima de banco para el yacimiento de cobre, cuyo valor es de 10 metros, el cual repercute directamente en el máximo valor neto del yacimiento con US\$ 2,416'558,56. Lo investigado se acepta y concuerda con la investigación de (García, 2016) quien propuso la altura de banco de 7 metros es la que repercute en el máximo valor bruto del yacimiento de sulfuros con 52'561,115.84 € mediante el algoritmo de Cono Flotante en el software minero RecMin.

En la Figura 21 se presenta la altura óptima con mayor rentabilidad económica obtenida de las evaluaciones de altura de banco, desde 5 metros hasta 15 metros mediante los algoritmos de optimización de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante, lo que nos permite analizar, interpretar y confirmar de que la altura óptima de banco es de 10 metros, con un valor neto máximo del yacimiento de US\$ 2,519'257,455 con un tonelaje estimado de 529'563,300 Ton, una ley media de Cu de 0.4312% según Lerchs-Grossmann, esto confirma que la comparación de algoritmos pueden ser empleados para obtener mejores resultados como lo demuestra (Retto, 2015) en su investigación, donde estimó un altura de banco óptimo de 10 metros, con mayor valor neto del proyecto de US\$ 4,045'185,361 con un tonelaje de 174'864,362 Ton y una ley media de 0.556% para un yacimiento de cobre.

4.2. Conclusiones

Se compararon los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante para determinar la altura de banco óptima de banco en un yacimiento de cobre, concluyendo que la altura óptima es de 10 metros el cual influye directamente en el máximo valor neto.

Se estimó el modelo de recursos del yacimiento de cobre mediante kriging ordinario para comparar los algoritmos de Lerchs-Grossmann y Cono Flotante, el cual se concluye con 337'398,750 Tm con una ley media de Cu de 0.344% para Recursos Medidos, 156'317,850 Tm con una ley media de Cu de 0.332% para Recursos Indicados y 1'545,750 Tm con una ley media de Cu 0.197% para Recursos Inferidos.

Se evaluaron modelos de bloques con alturas de banco desde 5 metros hasta 15 metros mediante el algoritmo de optimización de Lerchs-Grossmann utilizando software MinePlan, en la cual se concluye con la determinación de una altura óptima de 10 metros, el cual influye directamente en el valor neto del yacimiento de US\$ 2,519'257,455 con un tonelaje estimado de 529'563,300 Tm, una ley media de Cu de 0.4312%, con un total de 186,817 bloques.

Se evaluaron modelos de bloques con alturas de banco de un pit desde 5 metros hasta 15 metros mediante el algoritmo de optimización de Cono Flotante utilizando software minero, en la cual se concluye con la determinación de altura óptima de 10 metros, el cual influye directamente en el valor neto del yacimiento de US\$ 2,496'558,561 con

un tonelaje estimado de 516'149,300 Tm, una ley media de Cu de 0.433%, con un total de 182,192 bloques.

Se determinó la altura óptima de banco con mayor rentabilidad económica, concluyendo que, la altura óptima de banco es de 10 metros, donde la mineralización de sulfuros secundarios confiere el máximo valor mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann, con un valor neto de US\$ 1,691'043,302 con un tonelaje de 86'742,900 Tm con una ley media de Cu de 0.5103% y un valor por tonelada de 19.4949 US\$/Ton para el yacimiento de cobre.

Limitaciones

En la etapa de análisis de recolección de datos no se tuvo acceso completo a los datos obtenidos de las campañas de exploración, ya que es información confidencial por parte de la empresa minera.

REFERENCIAS

- Barrios, F. (2019). *Estimación de recursos y reservas con el uso de software minero para la explotación del proyecto minero Don Javier*. Universidad Nacional San Agustín, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10089/IMtobafa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buendia, J. (2020). *Aplicación de simulación geoestadística utilizando software minero para la determinación de altura óptima de banco en tajo Chaquicocha - Minera Yanacocha (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/11102/IMbubejw.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Centeno, E. (2014). *Optimización de la estimación de recursos y límite de explotación en el proyecto Michiquillay (Tesis de pregrado)*. Universidad Nacional "Jorge Basadre Grohmann", Tacna. Obtenido de http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2441/360_2014_centeno_velasquez_er_fain_ingenieria_de_minas.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chara, M. (2018). *Optimización del NPV aplicando la temporalidad del modelo económico para incrementar el beneficio en Compañía Minera Antapaccay S.A. (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/7316/MIchhams.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Chura, H. (2019). *Optimizar el planeamiento a largo plazo de la mina a tajo abierto Tacaza - CIEMSA empleando los softwares mineros Gemcom Whittle y MineSight (Tesis de Pregado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/10161/Chura_Torres_Henry.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- García, A. (2016). *Evaluación de un yacimiento de sulfuros complejos mediante el paquete informático RecMin*. España. Obtenido de <https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5640/tfe-gar-eva.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Jambo, S., & Tasilla, N. (2019). *Cálculo de reservas y diseño de pit, mediante el procesamiento de data de perforación diamantina en un depósito epitermal de alta sulfuración, Hualgayoc 2019 (Tesis de Pregrado)*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/22332/Jambo%20Gallardo%20Sara%20Iliana%20-%20Tasilla%20Llanos%20Nancy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- JORC. (2004). *Código de Estándares de Reporte para Informar sobre Recursos Minerales y Reservas de Mena*. Biblioteca UNMSM. Obtenido de <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/recursos/archivos/Legislacion/Peru/seccion6%20con%20el%20Link.pdf>
- Marco, A. (2007). *Estimación de recursos mineros*. Universidad de Chile, Santiago de Chile. Obtenido de http://cg.ensmp.fr/bibliotheque/public/ALFARO_Cours_00606.pdf

- Mayhua, I. (2009). *Cálculo de reservas de pit y programación anual en MineSight (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7483/Aroni_Mayhua_Ivan.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Retto, O. (2015). Determinación de Altura de Banco Óptimo con Simulación Geoestadística. *PERUMIN - 32 Convención Minera*. Obtenido de <https://docplayer.es/52942955-Determinacion-de-altura-de-banco-optimo-con-simulacion-geoestadistica-oscar-retto-magallanes-1.html>
- Ruiz, Y. (2015). *Aplicación de software libre para la estimación de recursos y para la evaluación técnica de reservas minerales (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional de Piura, Piura. Obtenido de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/975>
- Sampieri, R. (2018). *Metodología de la Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México, México: Editorial Mc Graw Hill Education. Obtenido de <http://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612>
- Vidal, M. (2010). *Estudio del cálculo de flota de camiones para una operación minera a cielo abierto (Tesis de Pregrado)*. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ, Lima. Obtenido de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/534/VIDAL_LOLI_MANUEL_CALCULO_CAMIONES_OPERACION_MINERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Yucra, W. (2013). *Optimización y planificación para la explotación del Tajo Minasampa (Tesis de Pregrado)*. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, Apurímac. Obtenido de

http://repositorio.unamba.edu.pe/bitstream/handle/UNAMBA/415/T_0026.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

Anexo 1.

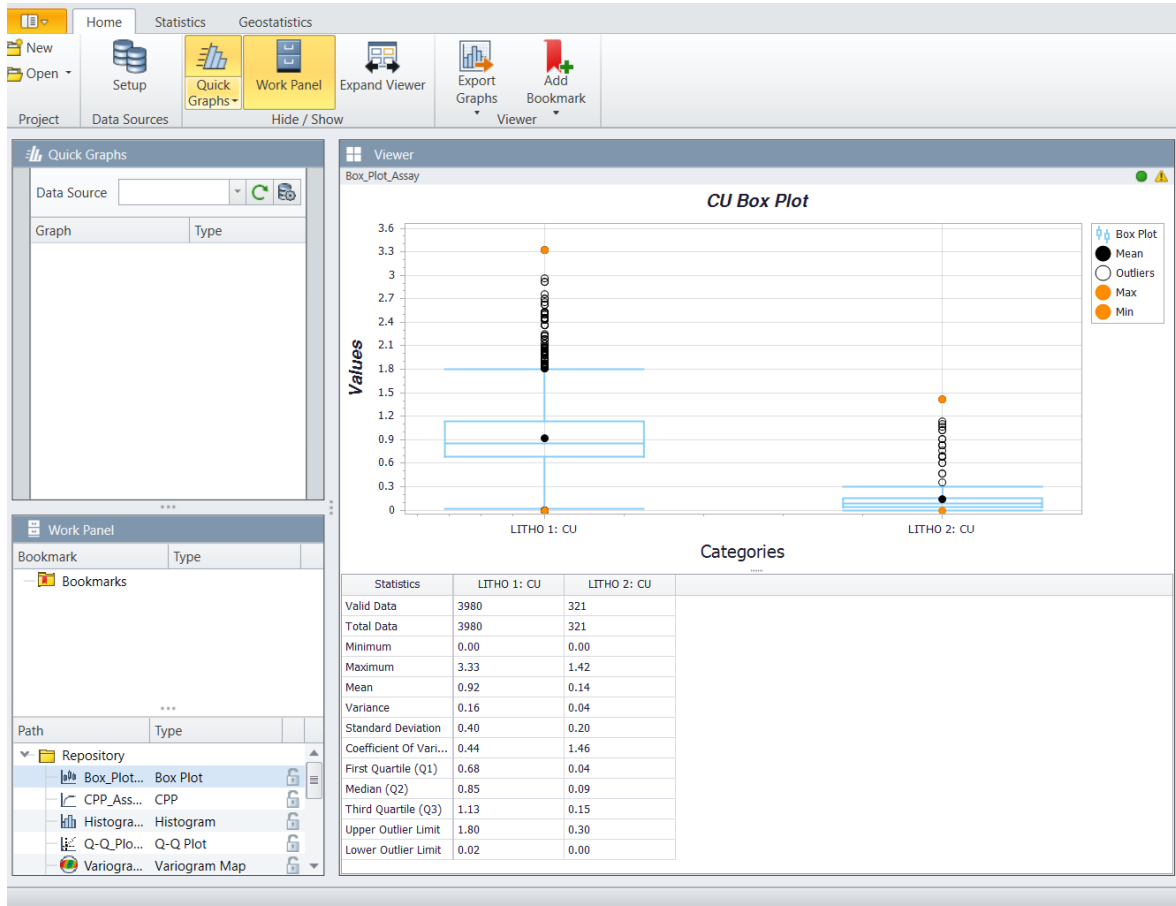
Base de datos de exploración en documento de texto

dat201.ia: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda				
B323		0.00	3.00	3.00	0.0190	12.3000	LZ	1.0000
B323		3.00	6.00	3.00	0.0240	12.4000	LZ	1.0000
B323		6.00	9.00	3.00	0.0220	19.8000	LZ	1.0000
B323		9.00	12.00	3.00	1.6800	0.5800	LZ	1.0000
B323		12.00	15.00	3.00	0.0370	1.2200	LZ	1.0000
B323		15.00	18.00	3.00	0.0310	2.1000	LZ	1.0000
B323		18.00	21.00	3.00	0.0280	4.6700	SZ	3.0000
B323		21.00	24.00	3.00	0.7900	0.0000	SZ	3.0000
B323		24.00	27.00	3.00	0.5100	0.0000	SZ	3.0000
B323		27.00	30.00	3.00	0.3350	0.0000	SZ	3.0000
B323		30.00	33.00	3.00	0.5600	0.0000	SZ	3.0000
B323		33.00	36.00	3.00	0.7000	0.0000	SZ	3.0000
B323		36.00	39.00	3.00	0.9350	0.0000	SZ	3.0000
B323		39.00	42.00	3.00	0.9100	0.0000	SZ	3.0000
B323		42.00	45.00	3.00	1.2250	0.0000	SZ	3.0000
B323		45.00	48.00	3.00	1.0950	0.0000	SZ	3.0000
B323		48.00	51.00	3.00	0.9150	0.0000	SZ	3.0000
B323		51.00	54.00	3.00	0.3300	0.0000	SZ	3.0000
B323		54.00	57.00	3.00	0.8500	0.0000	SZ	3.0000
B323		57.00	60.00	3.00	0.4550	0.0000	SZ	3.0000
B323		60.00	63.00	3.00	0.5050	0.0000	SZ	3.0000
B323		63.00	66.00	3.00	0.2200	0.0000	SZ	3.0000
B323		66.00	69.00	3.00	0.2400	0.0000	SZ	3.0000
B323		69.00	72.00	3.00	0.2650	0.0000	SZ	3.0000
B323		72.00	75.00	3.00	0.2350	0.0000	SZ	3.0000
B323		75.00	78.00	3.00	0.3450	0.0000	SZ	3.0000
B323		78.00	81.00	3.00	0.7200	0.0000	SZ	3.0000
B323		81.00	84.00	3.00	0.5600	0.0000	SZ	3.0000
B323		84.00	87.00	3.00	0.6450	0.0000	SZ	3.0000
B323		87.00	90.00	3.00	0.3250	0.0000	SZ	3.0000
B323		90.00	93.00	3.00	0.3650	0.0000	SZ	3.0000
B323		93.00	96.00	3.00	0.3350	0.0000	SZ	3.0000
B323		96.00	99.00	3.00	0.3550	0.0000	SZ	3.0000
B323		99.00	102.00	3.00	0.3450	0.0000	SZ	3.0000
B323		102.00	105.00	3.00	0.9950	0.0000	SZ	3.0000
B323		105.00	108.00	3.00	1.4500	0.0000	PZ	2.0000
B323		108.00	111.00	3.00	0.0280	0.1600	PZ	2.0000
B323		111.00	114.00	3.00	0.0290	0.1200	PZ	2.0000
B323		114.00	117.00	3.00	0.0450	0.6800	PZ	2.0000
B323		117.00	120.00	3.00	0.2800	5.9000	PZ	2.0000
B323		120.00	123.00	3.00	0.3800	4.5200	PZ	2.0000
B323		123.00	126.00	3.00	0.3500	5.1000	PZ	2.0000
B323		126.00	129.00	3.00	0.3550	5.9000	PZ	2.0000
B323		129.00	132.00	3.00	0.3200	5.1000	PZ	2.0000

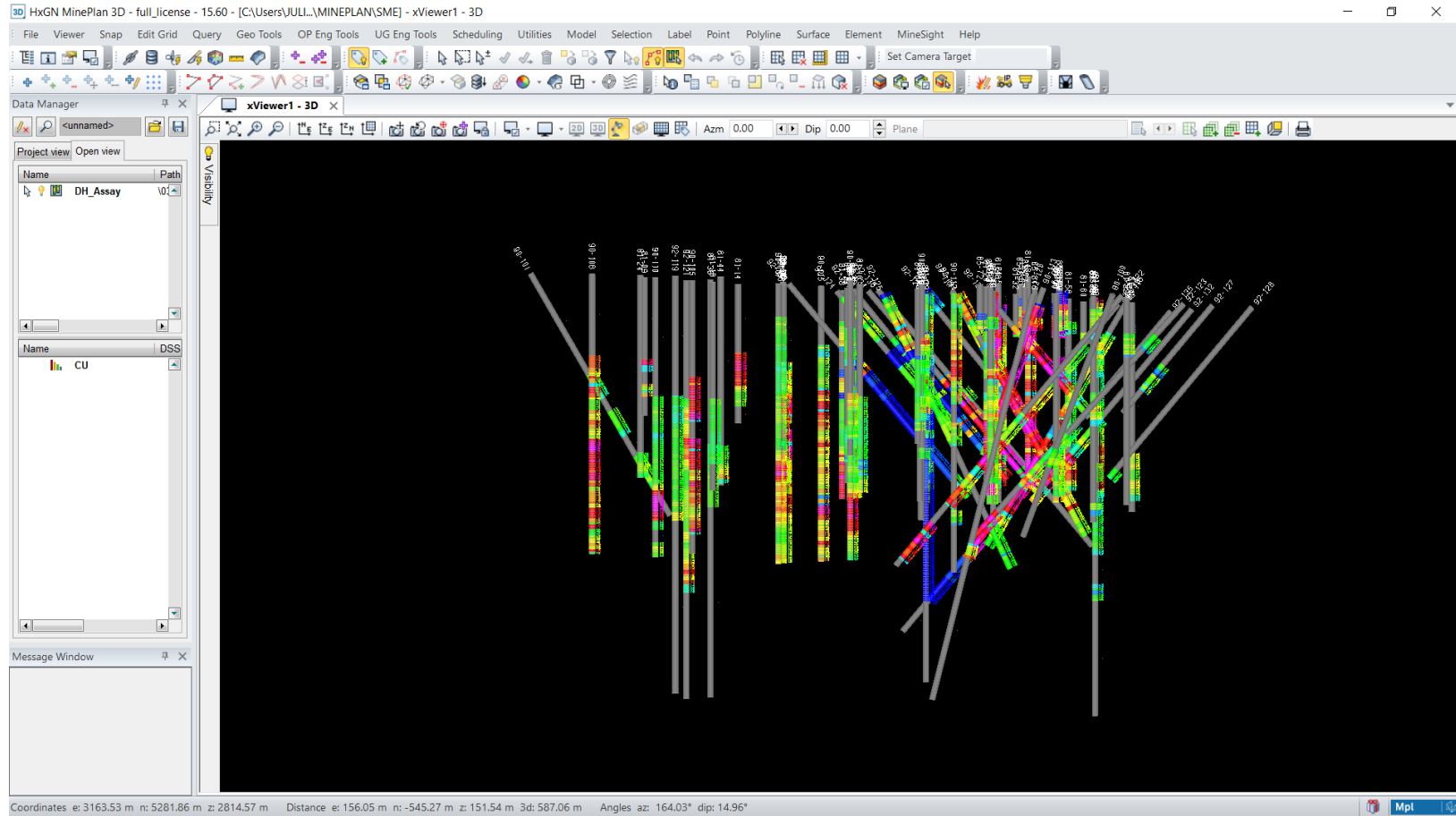
Anexo 2.

Box Plot de leyes de Cu según el tipo de mineralización



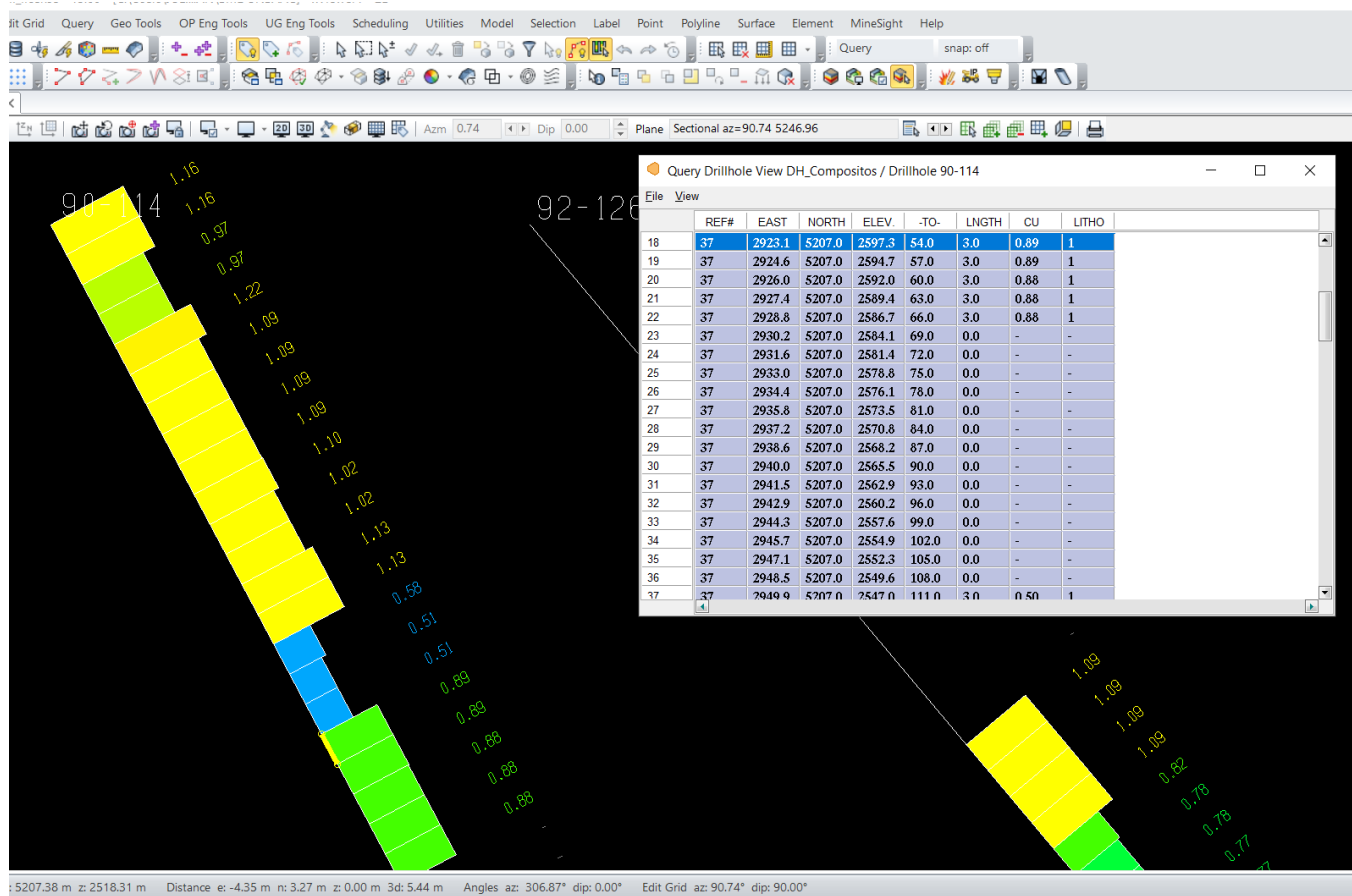
Anexo 3.

Vista 3D de sondajes diamantinos de un yacimiento cuprífero.



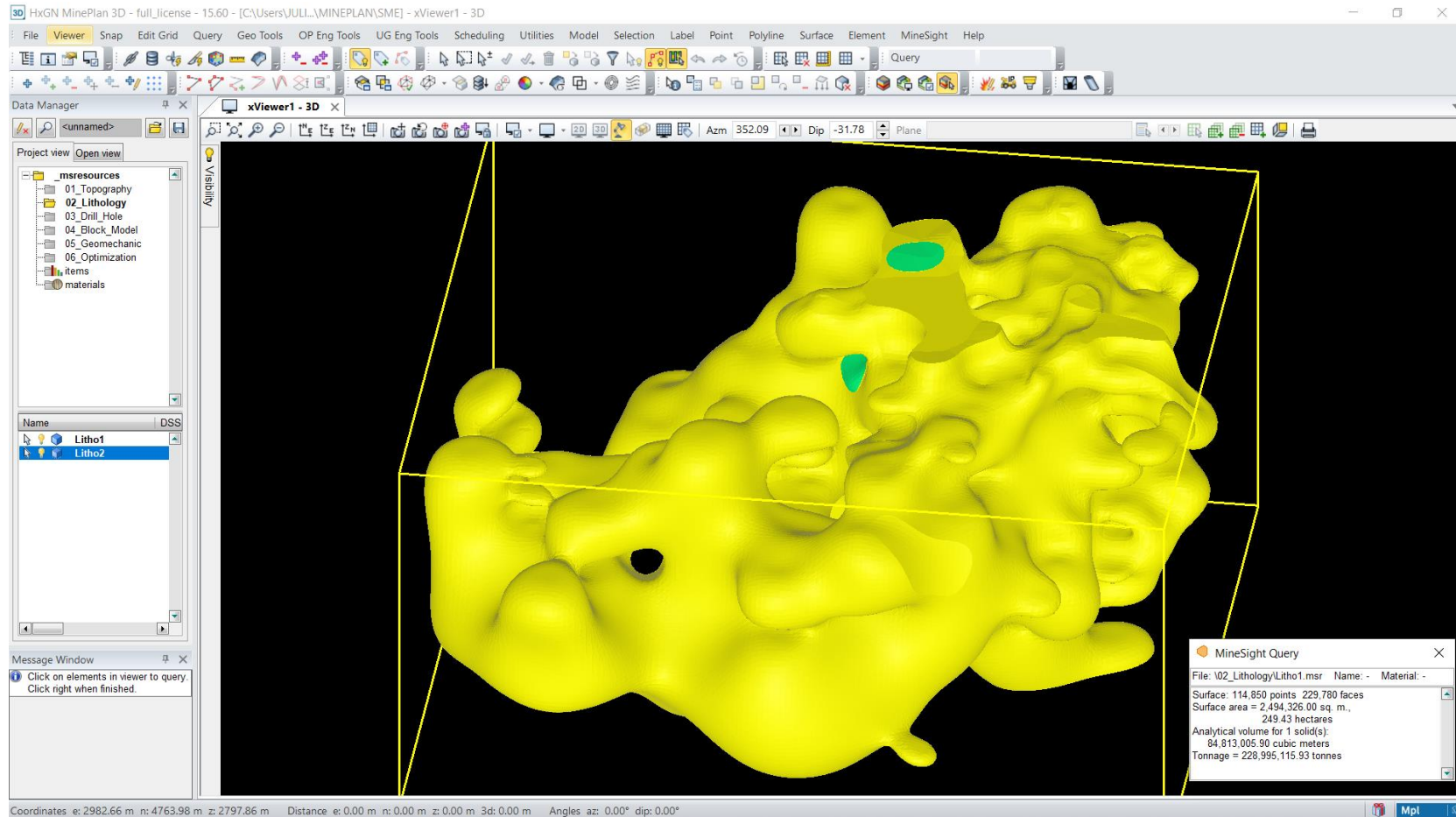
Anexo 4.

Composición por banco de 15 metros para muestras de cobre.



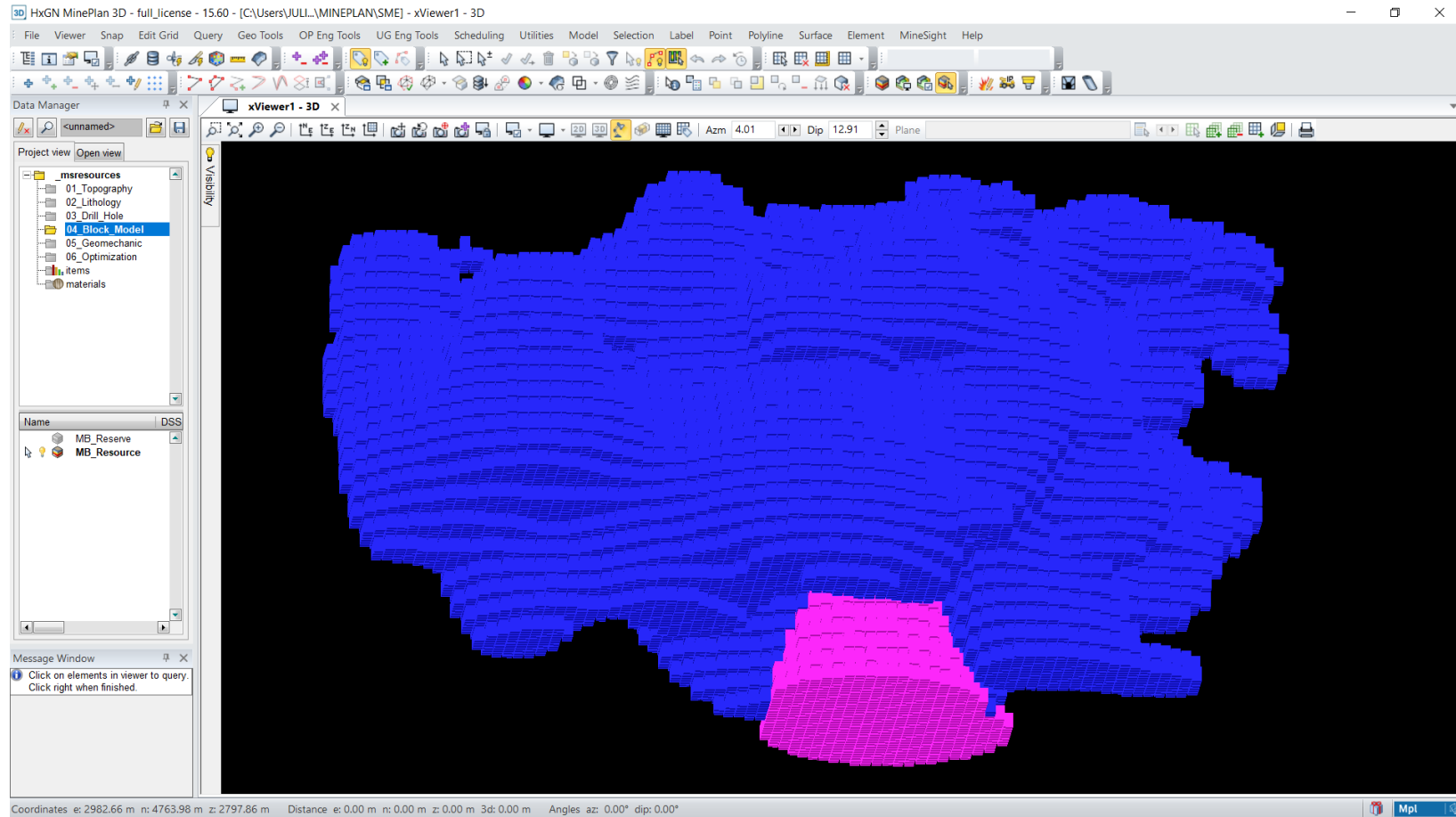
Anexo 5.

Generación del modelo geológico, que puede mostrar la representación tridimensional de la litología, alteración.



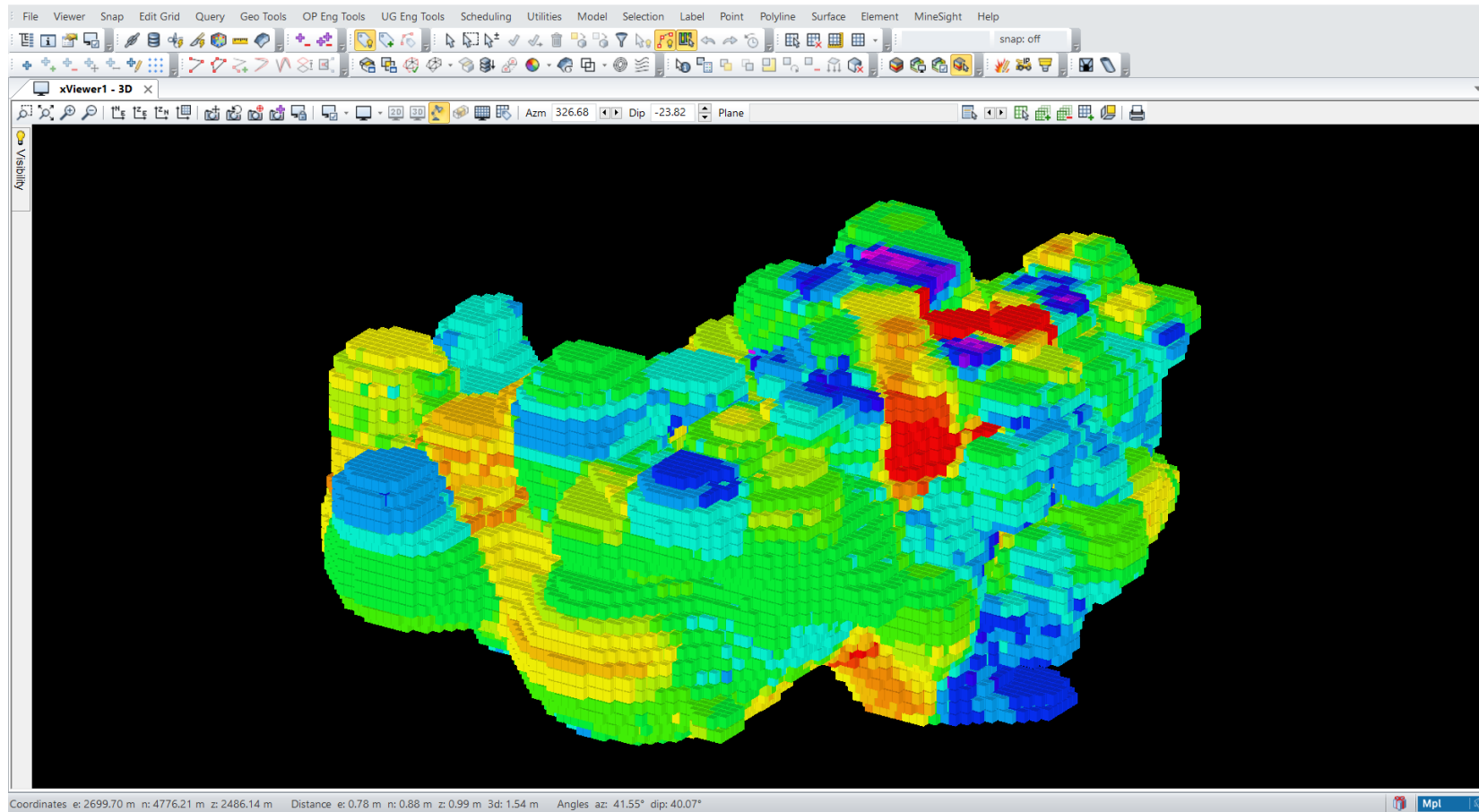
Anexo 6.

Modelo de bloques, matriz tridimensional que permite estimar valores.



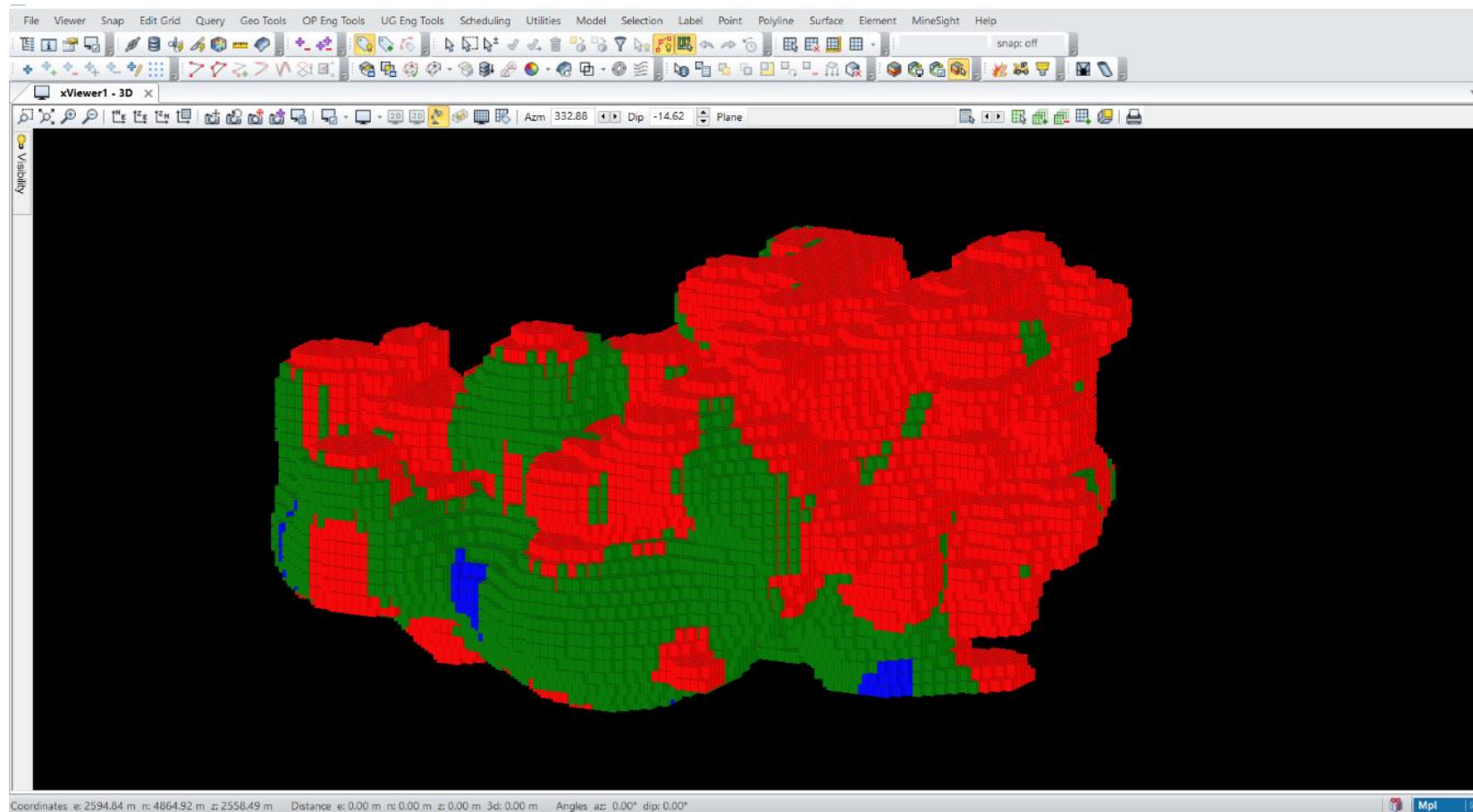
Anexo 7.

Interpolación de leyes mediante el método geostatístico de kriging ordinario.



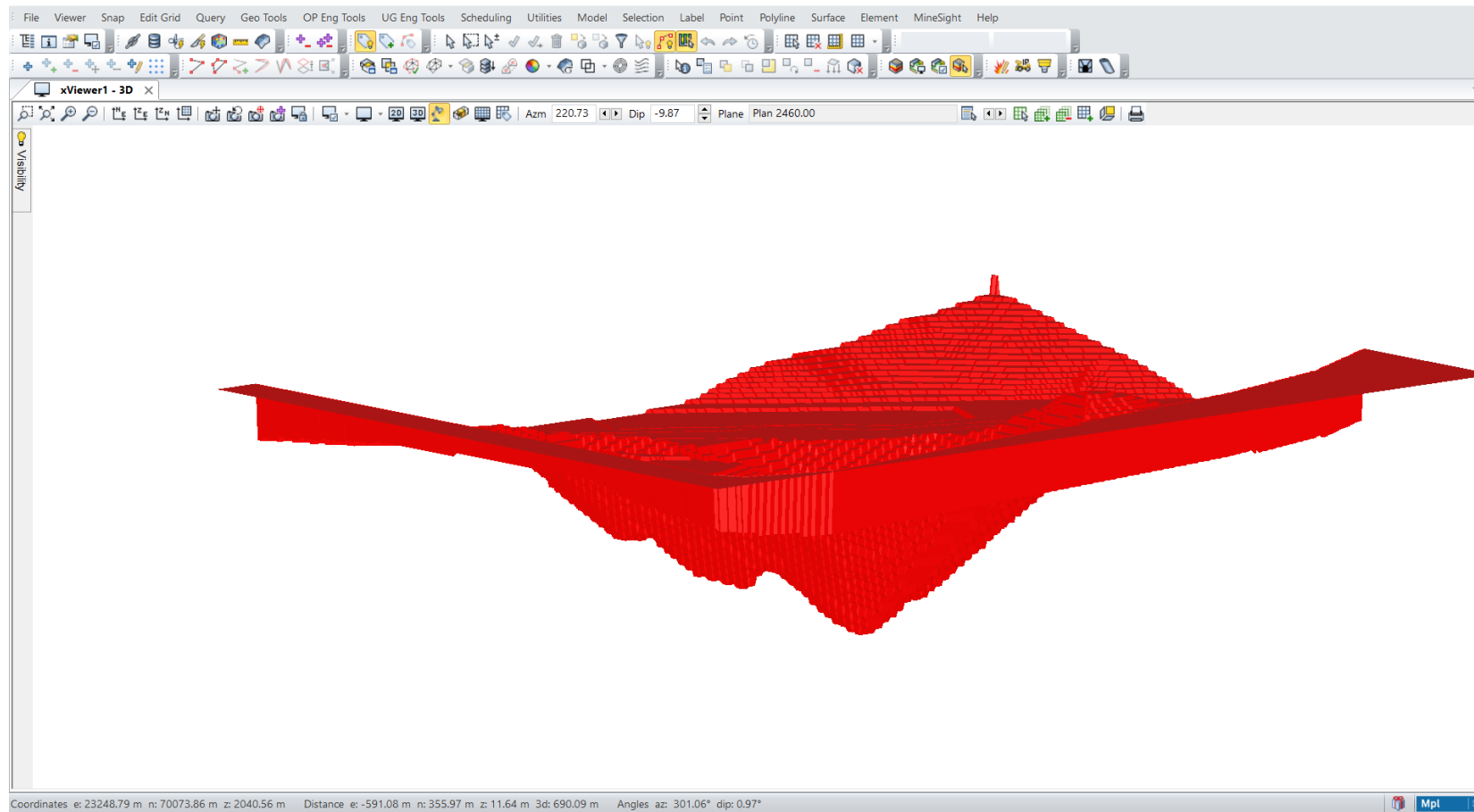
Anexo 8.

Estimación de recursos a través del nivel de confiabilidad o certeza.



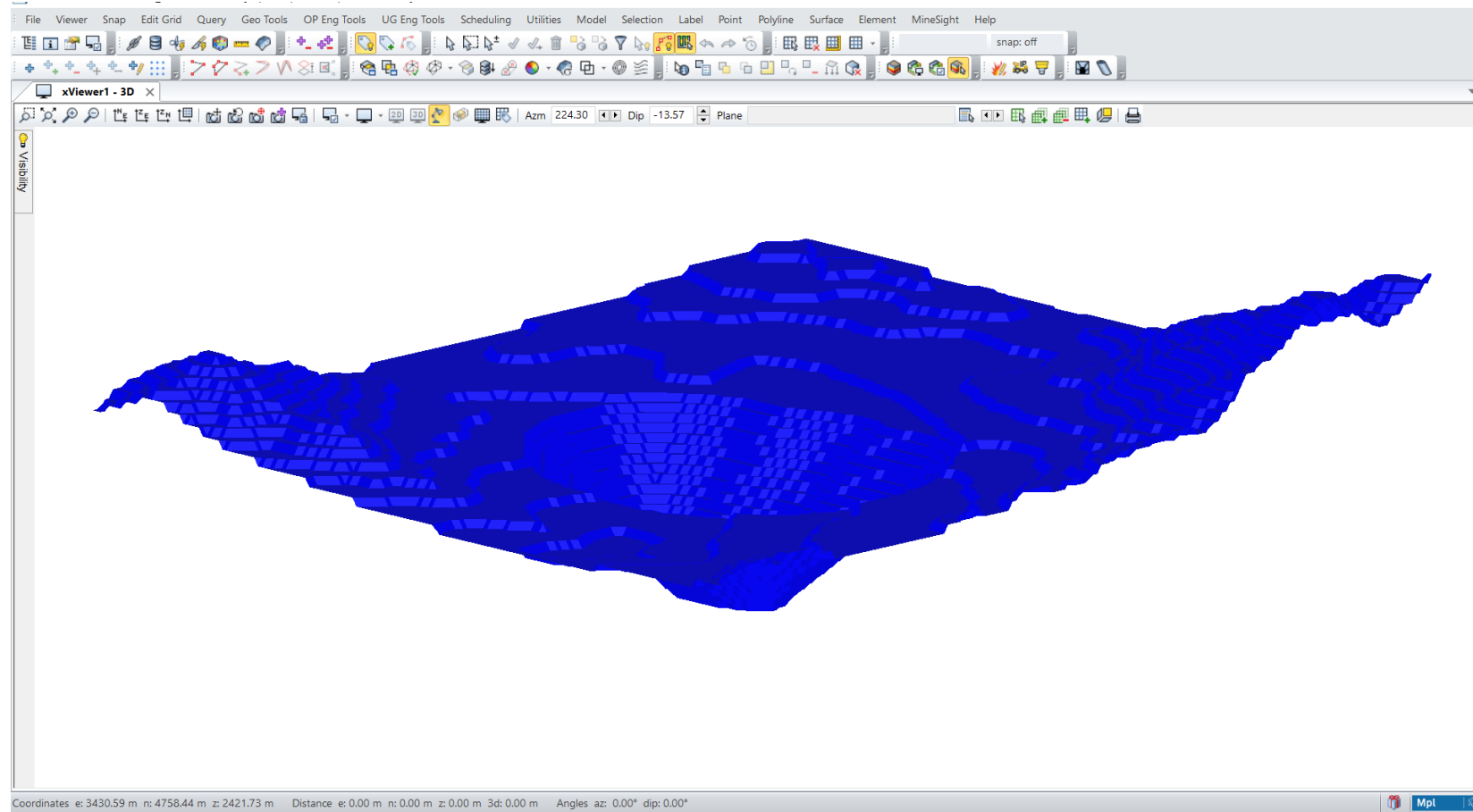
Anexo 9.

Pit económico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración mediante el algoritmo de Lerchs-Grossmann.



Anexo 10.

Pit económico de un yacimiento epitermal de alta sulfuración mediante el algoritmo de Cono Flotante.



Anexo 11.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 5 m.

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	437110010.	-678635500.
	Tons	19362500.	339317750.
	CU	0.5686	0.0030
	Value/ton	22.5751	-2.0000
2 PZ	Value	1790384896.	-18052200.
	Tons	77498100.	9026100.
	CU	0.5785	0.0405
	Value/ton	23.1023	-2.0000
3 SZ	Value	1014186663.	-45378900.
	Tons	65772000.	22689450.
	CU	0.4333	0.0379
	Value/ton	15.4197	-2.0000
Total	Value	3241681569.	-742066600.
	Tons	162632600.	371033300.
	CU	0.414	0.0060
	Value/ton	19.9325	-2.0000
Total value of Pit =	2499614969.		
Total tons in Pit =	533665900.		
Total blocks in Pit =	375394.		

Anexo 12.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 6 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	448825854.	-653646600.
	Tons	32029500.	326823300.
	CU	0.4067	0.0032
	Value/ton	14.0129	-2.0000
2 PZ	Value	1680843359.	-5249520.
	Tons	84904200.	2624760.
	CU	0.5160	0.0575
	Value/ton	19.7969	-2.0000
3 SZ	Value	911829177.	-17440920.
	Tons	76545000.	8720460.
	CU	0.3670	0.0539
	Value/ton	11.9123	-2.0000
Total	Value	3041498390.	-676337040.
	Tons	193478700.	338168520.
	CU	0.4390	0.0049
	Value/ton	15.7201	-2.0000
Total value of Pit =	2365161350.		
Total tons in Pit =	531647220.		
Total blocks in Pit =	311979.		

Anexo 13.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 7 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	437882275.	-651873600.
	Tons	31556000.	325936800.
	CU	0.4041	0.0032
	Value/ton	13.8764	-2.0000
2 PZ	Value	1672085226.	-4879980.
	Tons	84934710.	2439990.
	CU	0.5140	0.0562
	Value/ton	19.6867	-2.0000
3 SZ	Value	935451304.	-16734060.
	Tons	78523830.	8367030.
	CU	0.3670	0.0560
	Value/ton	11.9130	-2.0000
Total	Value	3045418805.	-673487640.
	Tons	195014540.	336743820.
	CU	0.4370	0.0049
	Value/ton	15.6164	-2.0000
Total value of Pit =	2371931165.		
Total tons in Pit =	531758360.		
Total blocks in Pit =	267421.		

Anexo 14.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 8 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	456853986.	-638001600.
	Tons	33108000.	319000800.
	CU	0.4027	0.0033
	Value/ton	13.7989	-2.0000
2 PZ	Value	1690549206.	-4916160.
	Tons	85624560.	2458080.
	CU	0.5150	0.0566
	Value/ton	19.7437	-2.0000
3 SZ	Value	933418330.	-15094080.
	Tons	81136080.	7547040.
	CU	0.3593	0.0573
	Value/ton	11.5044	-2.0000
Total	Value	3080821522.	-658011840.
	Tons	199868640.	329005920.
	CU	0.4332	0.0049
	Value/ton	15.4142	-2.0000
Total value of Pit =	2422809682.		
Total tons in Pit =	528874560.		
Total blocks in Pit =	233013.		

Anexo 15.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 9 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	420829292.	-634401000.
	Tons	32076000.	317200500.
	CU	0.3898	0.0034
	Value/ton	13.1198	-2.0000
2 PZ	Value	1723445780.	-4330260.
	Tons	86806890.	2165130.
	CU	0.5171	0.0554
	Value/ton	19.8538	-2.0000
3 SZ	Value	1010681340.	-14905620.
	Tons	88840800.	7452810.
	CU	0.3569	0.0570
	Value/ton	11.3763	-2.0000
Total	Value	3154956412.	-653636880.
	Tons	207723690.	326818440.
	CU	0.4289	0.0049
	Value/ton	15.1882	-2.0000
Total value of Pit =	2501319532.		
Total tons in Pit =	534542130.		
Total blocks in Pit =	209327.		

Anexo 16.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 10 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	529380644.	-625811000.
	Tons	37002500.	312905500.
	CU	0.4123	0.0034
	Value/ton	14.3066	-2.0000
2 PZ	Value	1691043302.	-5259600.
	Tons	86742900.	2629800.
	CU	0.5103	0.0576
	Value/ton	19.4949	-2.0000
3 SZ	Value	944435509.	-14531400.
	Tons	83016900.	7265700.
	CU	0.3569	0.0573
	Value/ton	11.3764	-2.0000
Total	Value	3164859455.	-645602000.
	Tons	206762300.	322801000.
	CU	0.4312	0.0051
	Value/ton	15.3068	-2.0000
Total value of Pit =	2519257455.		
Total tons in Pit =	529563300.		
Total blocks in Pit =	186817.		

Anexo 17.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 11 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	460521348.	-641058000.
	Tons	34507000.	320529000.
	CU	0.3941	0.0032
	Value/ton	13.3457	-2.0000
2 PZ	Value	1682252063.	-4835160.
	Tons	86418090.	2417580.
	CU	0.5098	0.0562
	Value/ton	19.4664	-2.0000
3 SZ	Value	945438251.	-14493600.
	Tons	82880820.	7246800.
	CU	0.3574	0.0580
	Value/ton	11.4072	-2.0000
Total	Value	3088211662.	-660386760.
	Tons	203805910.	330193380.
	CU	0.4282	0.0048
	Value/ton	15.1527	-2.0000
Total value of Pit =		2427824902.	
Total tons in Pit =		533999290.	
Total blocks in Pit =		170883.	

Anexo 18.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 12 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	490968683.	-654663600.
	Tons	36174000.	327331800.
	CU	0.3984	0.0033
	Value/ton	13.5724	-2.0000
2 PZ	Value	1627382605.	-4240080.
	Tons	83268000.	2120040.
	CU	0.5113	0.0571
	Value/ton	19.5439	-2.0000
3 SZ	Value	962145418.	-13115520.
	Tons	83523960.	6557760.
	CU	0.3596	0.0596
	Value/ton	11.5194	-2.0000
Total	Value	3080496706.	-672019200.
	Tons	202965960.	336009600.
	CU	0.4287	0.0047
	Value/ton	15.1774	-2.0000
Total value of Pit =	2408477506.		
Total tons in Pit =	538975560.		
Total blocks in Pit =	157989.		

Anexo 19.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 13 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	433074698.	-641037800.
	Tons	34024250.	320518900.
	CU	0.3824	0.0034
	Value/ton	12.7284	-2.0000
2 PZ	Value	1694501068.	-3938220.
	Tons	86096790.	1969110.
	CU	0.5139	0.0544
	Value/ton	19.6814	-2.0000
3 SZ	Value	1019347402.	-18315180.
	Tons	90119250.	9157590.
	CU	0.3556	0.0544
	Value/ton	11.3111	-2.0000
Total	Value	3146923168.	-663291200.
	Tons	210240290.	331645600.
	CU	0.4248	0.0051
	Value/ton	14.9682	-2.0000
Total value of Pit =	2483631968.		
Total tons in Pit =	541885890.		
Total blocks in Pit =	146777.		

Anexo 20.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 14 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	441373594.	-666817200.
	Tons	33635000.	333408600.
	CU	0.3899	0.0032
	Value/ton	13.1224	-2.0000
2 PZ	Value	1689962679.	-4490640.
	Tons	86803920.	2245320.
	CU	0.5098	0.0547
	Value/ton	19.4687	-2.0000
3 SZ	Value	887687880.	-13388760.
	Tons	75807900.	6694380.
	CU	0.3632	0.0564
	Value/ton	11.7097	-2.0000
Total	Value	3019024153.	-684696600.
	Tons	196246820.	342348300.
	CU	0.4326	0.0046
	Value/ton	15.3838	-2.0000
Total value of Pit =		2334327553.	
Total tons in Pit =		538595120.	
Total blocks in Pit =		134994.	

Anexo 21.

Evaluación con Lerchs-Grossmann para una altura de banco de 15 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	467184054.	-635427000.
	Tons	35235000.	317713500.
	CU	0.3925	0.0031
	Value/ton	13.2591	-2.0000
2 PZ	Value	1647950469.	-4017600.
	Tons	84734100.	2008800.
	CU	0.5095	0.0556
	Value/ton	19.4485	-2.0000
3 SZ	Value	966228914.	-13065300.
	Tons	83199150.	6532650.
	CU	0.3613	0.0591
	Value/ton	11.6134	-2.0000
Total	Value	3081363437.	-652509900.
	Tons	203168250.	326254950.
	CU	0.4285	0.0046
	Value/ton	15.1666	-2.0000
Total value of Pit =		2428853537.	
Total tons in Pit =		529423200.	
Total blocks in Pit =		124033.	

Anexo 22.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 5 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	436994326.	-659235500.
	Tons	19341250.	329617750.
	CU	0.5689	0.0031
	Value/ton	22.5939	-2.0000
2 PZ	Value	1783699556.	-18030600.
	Tons	77233500.	9015300.
	CU	0.5784	0.0405
	Value/ton	23.0949	-2.0000
3 SZ	Value	983835996.	-44631000.
	Tons	63342000.	22315500.
	CU	0.4354	0.0379
	Value/ton	15.5321	-2.0000
Total	Value	3204529878.	-721897100.
	Tons	159916750.	360948550.
	CU	0.5206	0.0061
	Value/ton	20.0387	-2.0000
Total value of Pit =	2482632778.		
Total tons in Pit =	520865300.		
Total blocks in Pit =	366628.		

Anexo 23.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 6 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	448480202.	-638603400.
	Tons	31984500.	319301700.
	CU	0.4069	0.0033
	Value/ton	14.0218	-2.0000
2 PZ	Value	1669066403.	-5249520.
	Tons	84337200.	2624760.
	CU	0.5159	0.0575
	Value/ton	19.7904	-2.0000
3 SZ	Value	878379128.	-17029440.
	Tons	72942120.	8514720.
	CU	0.3694	0.0547
	Value/ton	12.0421	-2.0000
Total	Value	2995925733.	-660882360.
	Tons	189263820.	330441180.
	CU	0.4410	0.0050
	Value/ton	15.8294	-2.0000
Total value of Pit =	2335043373.		
Total tons in Pit =	519705000.		
Total blocks in Pit =	305052.		

Anexo 24.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 7 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	437657040.	-638527400.
	Tons	31529750.	319263700.
	CU	0.4042	0.0033
	Value/ton	13.8808	-2.0000
2 PZ	Value	1665734482.	-4879980.
	Tons	84611520.	2439990.
	CU	0.5140	0.0562
	Value/ton	19.6869	-2.0000
3 SZ	Value	912538188.	-16386300.
	Tons	75978000.	8193150.
	CU	0.3688	0.0564
	Value/ton	12.0106	-2.0000
Total	Value	3015929711.	-659793680.
	Tons	192119270.	329896840.
	CU	0.4386	0.0050
	Value/ton	15.6982	-2.0000
Total value of Pit =	2356136031.		
Total tons in Pit =	522016110.		
Total blocks in Pit =	262624.		

Anexo 25.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 8 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	456431616.	-628353600.
	Tons	33066000.	314176800.
	CU	0.4027	0.0034
	Value/ton	13.8037	-2.0000
2 PZ	Value	1686454242.	-4916160.
	Tons	85335120.	2458080.
	CU	0.5154	0.0566
	Value/ton	19.7627	-2.0000
3 SZ	Value	910675717.	-14679360.
	Tons	78382080.	7339680.
	CU	0.3614	0.0579
	Value/ton	11.6184	-2.0000
Total	Value	3053561574.	-647949120.
	Tons	196783200.	323974560.
	CU	0.4351	0.0050
	Value/ton	15.5174	-2.0000
Total value of Pit =	2405612454.		
Total tons in Pit =	520757760.		
Total blocks in Pit =	229450.		

Anexo 26.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 9 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	419965628.	-611505900.
	Tons	31983750.	305752950.
	CU	0.3900	0.0035
	Value/ton	13.1306	-2.0000
2 PZ	Value	1694074132.	-4330260.
	Tons	85538430.	2165130.
	CU	0.5162	0.0554
	Value/ton	19.8048	-2.0000
3 SZ	Value	936341573.	-14580000.
	Tons	80809650.	7290000.
	CU	0.3608	0.0577
	Value/ton	11.5870	-2.0000
Total	Value	3050381333.	-630416160.
	Tons	198331830.	315208080.
	CU	0.4326	0.0051
	Value/ton	15.3802	-2.0000
Total value of Pit =		2419965173.	
Total tons in Pit =		513539910.	
Total blocks in Pit =		201157.	

Anexo 27.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 10 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	529316792.	-607265000.
	Tons	36992500.	303632500.
	CU	0.4123	0.0035
	Value/ton	14.3088	-2.0000
2 PZ	Value	1682147340.	-5259600.
	Tons	86332500.	2629800.
	CU	0.5101	0.0576
	Value/ton	19.4845	-2.0000
3 SZ	Value	911907429.	-14288400.
	Tons	79417800.	7144200.
	CU	0.3589	0.0578
	Value/ton	11.4824	-2.0000
Total	Value	3123371561.	-626813000.
	Tons	202742800.	313406500.
	CU	0.4330	0.0052
	Value/ton	15.4056	-2.0000
Total value of Pit =	2496558561.		
Total tons in Pit =	516149300.		
Total blocks in Pit =	182192.		

Anexo 28.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 11 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	460271775.	-627468600.
	Tons	34485000.	313734300.
	CU	0.3941	0.0033
	Value/ton	13.3470	-2.0000
2 PZ	Value	1675862286.	-4835160.
	Tons	86124060.	2417580.
	CU	0.5097	0.0562
	Value/ton	19.4587	-2.0000
3 SZ	Value	920229157.	-14309460.
	Tons	79913790.	7154730.
	CU	0.3595	0.0582
	Value/ton	11.5153	-2.0000
Total	Value	3056363218.	-646613220.
	Tons	200522850.	323306610.
	CU	0.4299	0.0049
	Value/ton	15.2420	-2.0000
Total value of Pit =		2409749998.	
Total tons in Pit =		523829460.	
Total blocks in Pit =		167695.	

Anexo 29.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 12 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	490370208.	-643194000.
	Tons	36126000.	321597000.
	CU	0.3984	0.0033
	Value/ton	13.5739	-2.0000
2 PZ	Value	1616829009.	-4240080.
	Tons	82794960.	2120040.
	CU	0.5110	0.0571
	Value/ton	19.5281	-2.0000
3 SZ	Value	928791023.	-13426560.
	Tons	80060400.	6713280.
	CU	0.3611	0.0595
	Value/ton	11.6011	-2.0000
Total	Value	3035990239.	-660860640.
	Tons	198981360.	330430320.
	CU	0.4302	0.0048
	Value/ton	15.2577	-2.0000
Total value of Pit =		2375129599.	
Total tons in Pit =		529411680.	
Total blocks in Pit =		155237.	

Anexo 30.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 13 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	441373594.	-666817200.
	Tons	33635000.	333408600.
	CU	0.3899	0.0032
	Value/ton	13.1224	-2.0000
2 PZ	Value	1689962679.	-4490640.
	Tons	86803920.	2245320.
	CU	0.5098	0.0547
	Value/ton	19.4687	-2.0000
3 SZ	Value	887687880.	-13388760.
	Tons	75807900.	6694380.
	CU	0.3632	0.0564
	Value/ton	11.7097	-2.0000
Total	Value	3019024153.	-684696600.
	Tons	196246820.	342348300.
	CU	0.4326	0.0046
	Value/ton	15.3838	-2.0000
Total value of Pit =		2334327553.	
Total tons in Pit =		538595120.	
Total blocks in Pit =		134994.	

Anexo 31.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 14 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	432964185.	-617438900.
	Tons	34011250.	308719450.
	CU	0.3824	0.0035
	Value/ton	12.7300	-2.0000
2 PZ	Value	1691638466.	-3938220.
	Tons	85896720.	1969110.
	CU	0.5141	0.0544
	Value/ton	19.6939	-2.0000
3 SZ	Value	978527618.	-14426100.
	Tons	85106970.	7213050.
	CU	0.3592	0.0582
	Value/ton	11.4976	-2.0000
Total	Value	3103130269.	-635803220.
	Tons	205014940.	317901610.
	CU	0.4279	0.0050
	Value/ton	15.1361	-2.0000
Total value of Pit =	2467327049.		
Total tons in Pit =	522916550.		
Total blocks in Pit =	141701.		

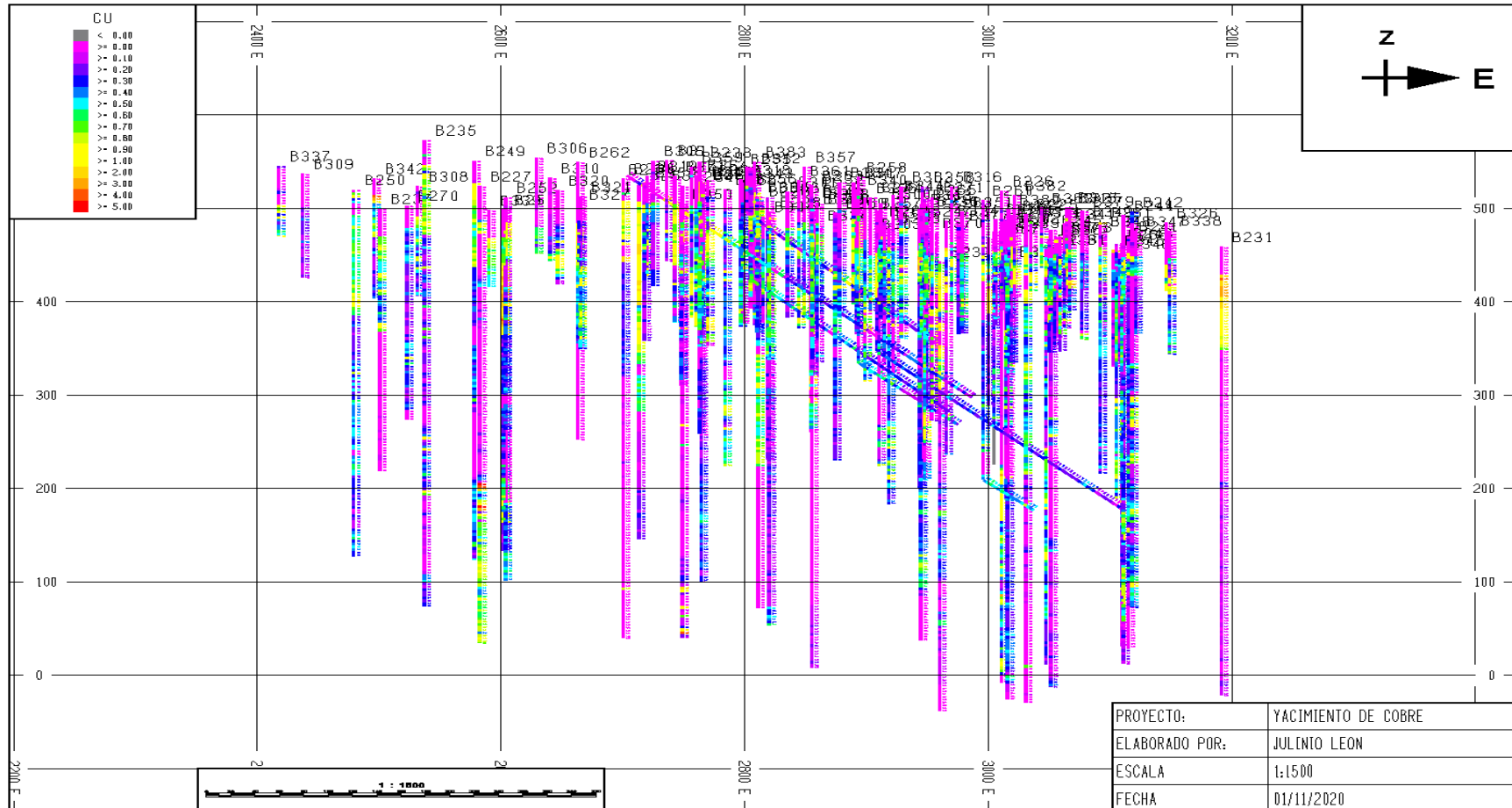
Anexo 32.

Evaluación con Cono Flotante para una altura de banco de 15 m

		MILL	DUMP
1 LZ	Value	467184054.	-635427000.
	Tons	35235000.	317713500.
	CU	0.3925	0.0031
	Value/ton	13.2591	-2.0000
2 PZ	Value	1647950469.	-4017600.
	Tons	84734100.	2008800.
	CU	0.5095	0.0556
	Value/ton	19.4485	-2.0000
3 SZ	Value	966228914.	-13065300.
	Tons	83199150.	6532650.
	CU	0.3613	0.0591
	Value/ton	11.6134	-2.0000
Total	Value	3081363437.	-652509900.
	Tons	203168250.	326254950.
	CU	0.4285	0.0046
	Value/ton	15.1666	-2.0000
Total value of Pit =	2428853537.		
Total tons in Pit =	529423200.		
Total blocks in Pit =	124033.		

Anexo 33.

Visualización 3D de sondajes de exploración del yacimiento de cobre



Anexo 34.

Modelo de leyes de Cu representado en un modelo de bloques

