

Influencia y efectos de la dimensión espacial del soporte en la estimación de recursos minerales

Influence and effects of the support's space dimension on the estimation of mineral resources

Carlos Enrique Maldonado Escalante¹, Jaime César Mayorga Rojas²

Recibido: 22/12/2021 – Aprobado: 12/05/2022 – Publicado: 30/06/2022

RESUMEN

La estimación de recursos minerales es un asunto fundamental en la existencia de una empresa minero-metalúrgica. La cantidad de software y métodos actuales han permitido que la calidad de las estimaciones que se realizan aumente, sin embargo, aún hay variables que se determinan en base a criterio y experiencia que influyen en la certeza del modelo generado. En geoestadística el tamaño del soporte es de gran importancia para la creación del modelo. En este trabajo se comparan dos modelos de bloques de distinto soporte, creados a partir de la misma data, con los mismos criterios de estimación, para reconocer la diferencia entre ambos, y los datos reales de producción, concluyendo que en esta escala no se observa una variación significativa.

Palabras claves: geoestadística; modelamiento; recursos minerales; soporte; variable regionalizada.

ABSTRACT

The mineral resources' estimation is a fundamental issue in the existence of a mining-metallurgical company. The amount of current software and methods has allowed the quality of the estimates that are made to increase, however, there are still variables that are determined based on criteria and experience that influence the accuracy of the generated model. In geostatistics, the size of the support is of great importance for the creation of the model. In this work, two block models of different support are compared, created from the same data, with the same estimation criteria, to recognize the difference between the two, and the real production data, concluding that no significant variation is observed on this scale.

Keywords: geostatistics; modeling; mineral resources; support; regionalized variable.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

E-mail: carlos.maldonado6@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4238-8053>

2 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica. Lima, Perú.

Docente de la EPIG. E-mail: jaime.mayorga@unmsm.edu.pe - ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-3343>

I. INTRODUCCIÓN

La Geoestadística es una rama de la estadística, aplicada en un contexto espacial, que busca estudiar las variables regionalizadas, que corresponden a variables numéricas que se distribuyen en el espacio y presentan cierta continuidad espacial (Cahuana Ochoa, 2019).

La variable regionalizada se conoce sólo a través de datos en puntos concretos (limitados) como lo son las muestras de los taladros diamantinos en la exploración geológica o en la fase de operación de mina; entonces para tener un valor aproximado de ella en ubicaciones donde no se dispone de información, se construyen modelos, sin embargo, éstos nunca representan a la variable regionalizada perfectamente.

De acuerdo con Emery (2007), desde un punto de vista conceptual, una variable regionalizada es una función determinística, que presenta dos aspectos complementarios: por una parte, tiene “continuidad” espacial (zona de altos valores/ bajos valores), pero por otro, varía irregularmente y escapa a toda representación simple.

Pizarro Munizaga (2011), define a la variable regionalizada como un atributo asociado a un punto geográfico en específico como, por ejemplo, tipo de roca, calidad de geomecánica del punto descrito o, como en el caso de este estudio, leyes de ciertos metales.

La variable regionalizada puede ser considerada en el espacio (superficie o volumen), y éste es llamado soporte, generalmente en el ámbito minero el soporte inicial es el tramo de análisis químico del sondaje diamantino, el cual es posteriormente trabajado de acuerdo con la unidad selectiva de explotación, que considera tamaños de equipo de minado, capacidad de producción, etc.

La elección del soporte traerá consigo una variación en la estimación de los recursos, tanto en la ley como en la posterior categorización. El objetivo es determinar si un cambio de soporte generaría variaciones considerables en

un plan de minado; y a posterior, cómo se relaciona en un proceso de reconciliación de modelo.

II. MÉTODOS

Se ha usado información de perforación diamantina de un yacimiento tipo pórfido de cobre, en el sur del Perú, que se almacenó en una base de datos estructurada en SQL, cuya importación de información se realizó de manera automatizada para evitar errores por manipulación de data.

Se realizó el modelado de las variables geológicas usando de base el logueo de taladros diamantinos y mapeo de cara de taludes, a partir de los cuales se interpretaron los contactos entre unidades. Posteriormente, se realizó un análisis exploratorio de datos (EDA Exploratory Data Analysis), considerando las mencionadas variables geológicas, todo lo mencionado en el software Minesight y sus paneles. A partir del EDA, se determinaron y codificaron los dominios geoestadísticos, a los cuales se realizó una estadística descriptiva, mediante histogramas, gráficos de probabilidad acumulada, en las Figura 1 y Figura 2 se observan las distribuciones del elemento cobre y molibdeno en el contexto global.

Se construyeron dos modelos de bloques con soportes distintos, uno de 10m x 10m x 15m y el segundo de 20m x 20m x 15m (en vigencia), las coordenadas límites que se usaron son 547400 a 553600 para la coordenada este, 60400 a 66000 para la coordenada norte, y en la elevación 1750 y 4000. El número de bloques del modelo 10m x 10m x 15m es 52,080,000 y para el modelo de 20m x 20m x 15m son 13,020,000.

Para la interpolación de las leyes de cobre y molibdeno en el modelo de bloques se usó el método de Kriging ordinario. El mínimo y máximo número de compósitos utilizado para interpolar un bloque es 2 y 15 respectivamente, y con el uso de 3 compósitos como máximo por taladro.

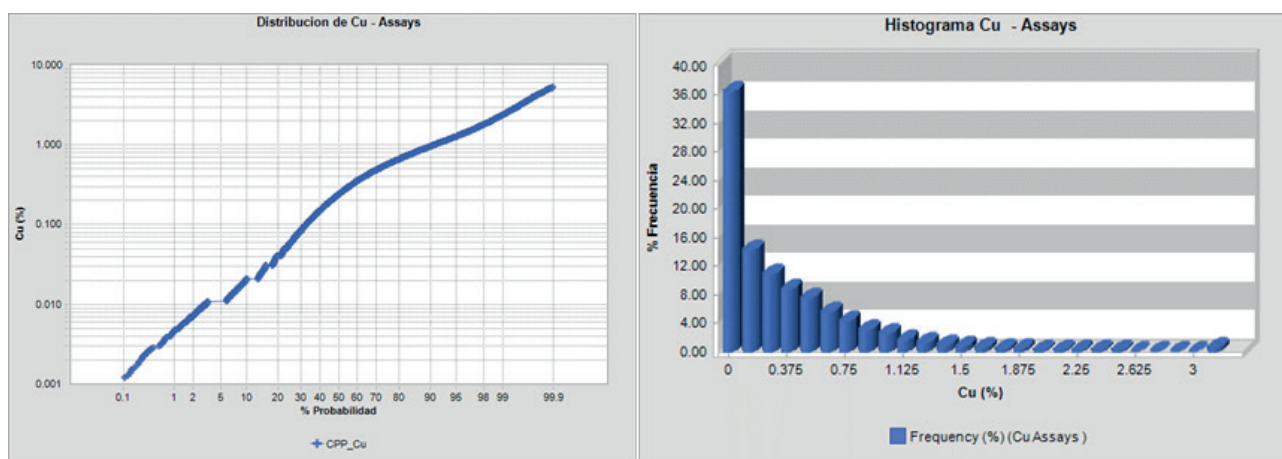


Figura 1. CPP e histograma de Cu (%).

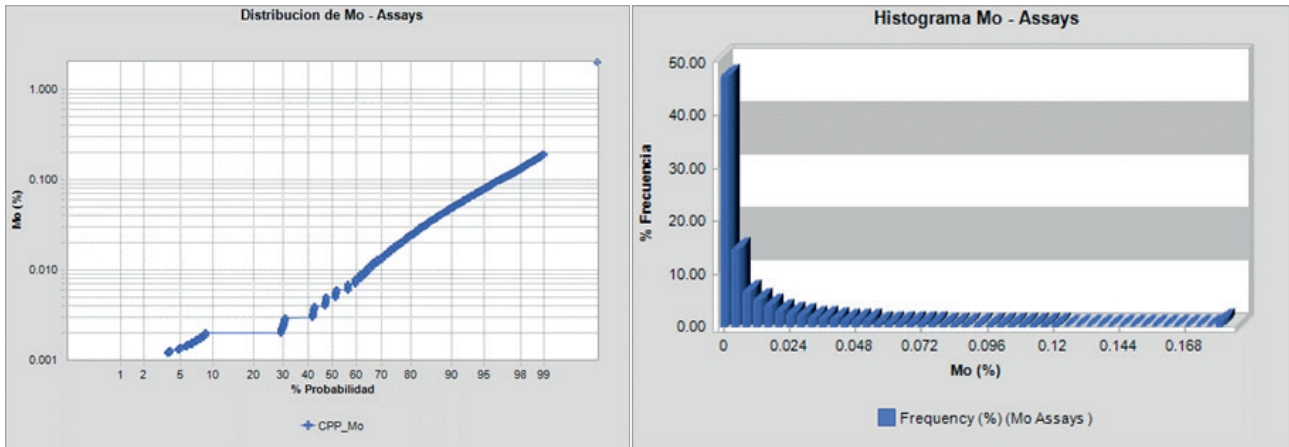


Figura 2. CPP e histograma de Mo (%).

La selección de los parámetros de búsqueda se ha basado en el análisis variográfico (el variograma es una estadística de segundo orden que cuantifica la continuidad espacial de una variable regionalizada) de los diferentes dominios geoestadísticos determinados en el EDA (Exploratory Data Analysis), el elipsoide de búsqueda de esta estimación se ajusta de acuerdo a las direcciones y los alcances de los variogramas obtenidos, que fueron construidos por separado para cada dominio geoestadístico determinado, obteniendo alcance, pepitas y umbrales distintos para cada dominio. Estos criterios fueron usados por igual en ambos modelos para realizar la comparación y se discretizaron los bloques del modelo en 4x4x1 en ambos casos.

En cuanto a la categorización de recursos, se usó el método de varianza combinada de Kriging e índice de confianza relativa de Bond (RCB), que se calcula para cada bloque en ambos modelos. Este método consiste en hallar la varianza combinada local de Kriging, se establecen los límites de confianza mínimo y máximo de acuerdo con su distribución estadística al 95% de confianza.

Según el Comité de Normas Internacionales para la Presentación de Informes sobre Reservas Minerales (Crirsc), dependiendo del nivel de confianza geológica, los recursos minerales son clasificados en medidos, indicados e inferidos.

A continuación, se describirán las definiciones de clasificación de recursos utilizadas por el Crirsc:

- Recurso mineral medido: parte de un recurso mineral cuya calidad, ley y características físicas se determinan con un nivel de confianza suficiente para permitir la utilización de factores modificantes que respalden la planificación de la mina y la consiguiente viabilidad de la explotación del yacimiento.
- Recurso mineral indicado: parte de un recurso mineral cuya calidad, ley y características físicas se determinan con un nivel de confianza suficiente para permitir la utilización de factores

modificantes con gran detalle para respaldar la planificación de la mina y la consiguiente viabilidad de la explotación del yacimiento.

- Recurso mineral inferido: parte de un recurso mineral cuya calidad, ley y características físicas están determinadas con insuficiente confianza geológica. Posee el nivel más bajo de confianza geológica. Cabe resaltar que un recurso mineral inferido podría convertirse en reserva siempre y cuando se realice un trabajo y sea explotado de manera más exhaustiva.

Con los modelos estimados se compara tonelajes y leyes entre ambos modelos de acuerdo al grado de confianza por cut-off de Cu(%). Posteriormente, se realiza una corrida de un plan de minado, comparando los resultados, para evaluar cuán significativa es la diferencia entre ambos, además se realizó una reconciliación entre los resultados reales para el material mineral y lixiviable con ambos modelos, para evaluar similitudes.

III. RESULTADOS

Se interpretó la litología a partir del logueo de sondajes y se codificó en ambos modelos de bloques, en la Figura 3 se observa una sección tipo E-W que atraviesa el yacimiento.

Con los variogramas por dominio geoestadístico y los parámetros de estimación definidos, se estimaron ambos modelos de bloques, cuyos recursos fueron categorizados en medidos, indicados e inferidos por su nivel de confianza, determinado mediante el RCB (Relative Confidence of Bond), que consiste en hallar la varianza combinada local de kriging, se establecen los límites de confianza mínimo y máximo de acuerdo con su distribución estadística al 95% de confianza.

Se ha realizado la comparación de los modelos de bloques de dimensiones 20m x 20m x15m y 10m x 10m x 15m, considerando una diferenciación por la categorización del material, que se observa en la Tabla 1.

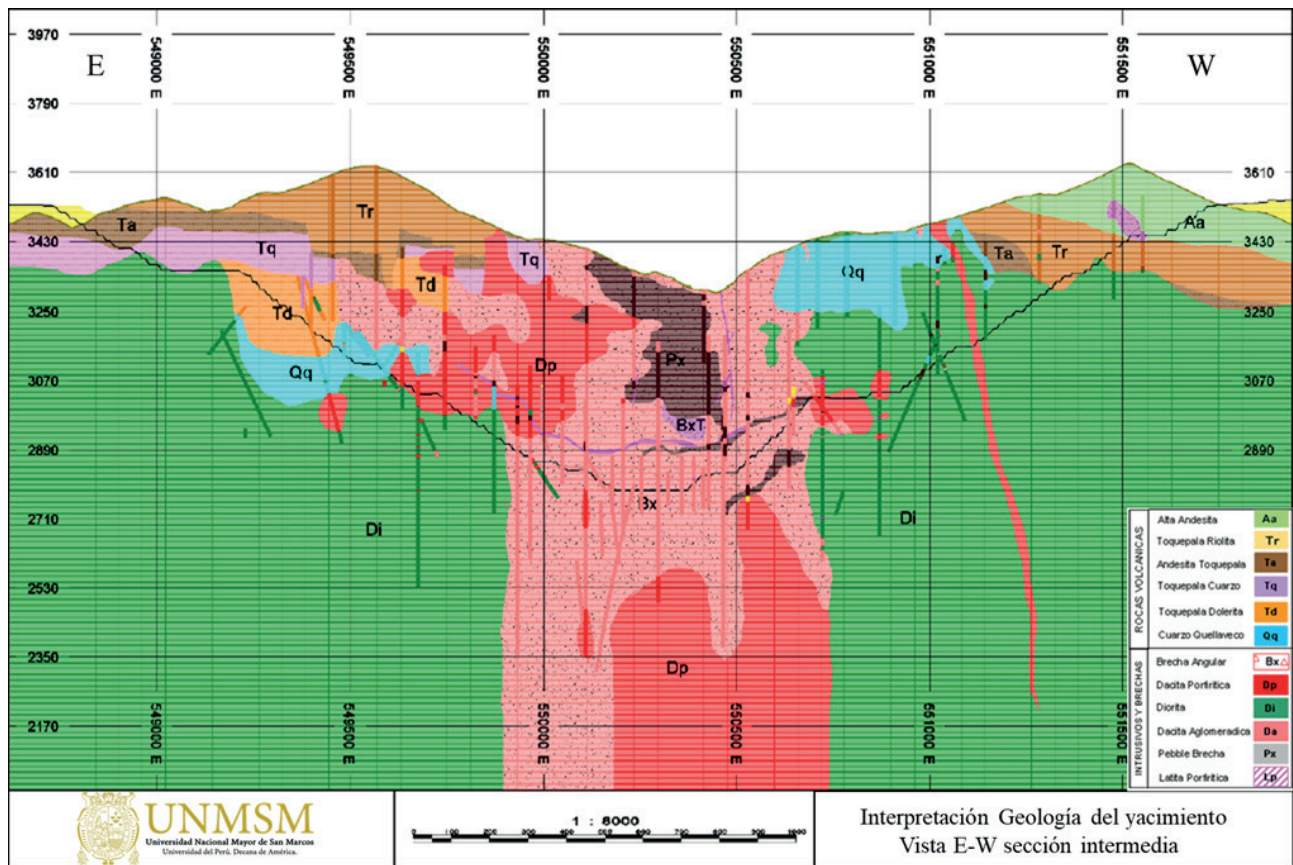


Figura 3. Sección E-W de la interpretación litológica del yacimiento.

Tabla 1. Tonelaje y leyes por nivel de confianza en modelos comparados

Confiabledad	MODELO 20 X 20 X 15			Confiabledad	MODELO 10 X 10 X 15		
	Cu (%)	Mo (%)	KTM		Cu (%)	Mo (%)	KTM
Medido	0.4655	0.0200	3,070,798	Medido	0.4661	0.0201	3,085,068
Indicado	0.1624	0.0046	2,516,494	Indicado	0.1618	0.0045	2,530,948
Inferido	0.0828	0.0033	10,323,770	Inferido	0.0825	0.0033	10,289,830
Total	0.1692	0.0067	15,911,062	Total	0.1695	0.0067	15,905,846

Los recursos minerales se clasifican con el criterio de alguno de los siguientes tres códigos, Crirscoc, CNMU-2009 y SCAE-2012 (OSINERGMIN, 2017).

Según el Comité de Normas Internacionales para la Presentación de Informes sobre Reservas Minerales (Crirscoc), dependiendo del nivel de confianza geológica, los recursos minerales son clasificados en medidos, indicados e inferidos.

Asimismo, los recursos estimados se han dividido por grado de confianza (medido, indicado e inferido en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente), y cut-off de cobre (Cu%), de 0.00% a 1.00%, en intervalos (gaps) de 0.1% de cobre, comparando la estimación en soportes distintos.

Dentro del análisis estadístico por dominios, se elaboraron histogramas (Figura 4), en donde se observa la

distribución de leyes por rangos, de una manera gráfica. Se observa a la izquierda el histograma del modelo con bloques de dimensiones 10 x 10 x 15; y a la derecha del modelo de bloques de dimensiones 20 x 20 x 15 (ambos únicamente para un dominio seleccionado).

Los resultados de la comparación de cortes al plan mensual considerados para el caso de estudio se han realizado con una división por “fases de minado”, y con una primera clasificación basada únicamente en el porcentaje de cobre presente, a diferencia del valor real, donde se consideran también otros conceptos como porcentaje de elementos nocivos, etc; en la Tabla 5 se observan los valores para un modelo de bloques de 10m x 10m x 15m, y en la Tabla 6 los mismos valores en un modelo de bloques con dimensiones de 20m x 20m x 15m.

A continuación (Figura 5), se observa el plano de distribución de Fases: Fase 04 (verde), Fase 05 (azul)

Tabla 2. Comparación de tonelaje y leyes por cut-off, para recursos medidos

20 X 20 X 15				10 X 10 X 15			
Medido				Medido			
Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM	Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM
>=0.00	0.4655	0.0200	3,070,798	>=0.00	0.4661	0.0201	3,085,068
>=0.10	0.4966	0.0212	2,980,470	>=0.10	0.4966	0.0212	2,997,380
>=0.20	0.5418	0.0236	2,769,756	>=0.20	0.5414	0.0236	2,785,151
>=0.30	0.6301	0.0293	2,088,803	>=0.30	0.6297	0.0293	2,099,039
>=0.40	0.7062	0.0337	1,561,731	>=0.40	0.7063	0.0337	1,565,338
>=0.50	0.7829	0.0360	1,108,131	>=0.50	0.7835	0.0361	1,108,823
>=0.60	0.8675	0.0374	733,057	>=0.60	0.8681	0.0375	734,972
>=0.70	0.9673	0.0388	429,476	>=0.70	0.9679	0.0388	430,042
>=0.80	1.0717	0.0395	240,258	>=0.80	1.0731	0.0396	240,390
>=0.90	1.1777	0.0383	131,452	>=0.90	1.1792	0.0383	131,241
>=1.00	1.2888	0.0358	70,748	>=1.00	1.2893	0.0358	71,130

Nota. Cu y Mo en porcentaje, TM representa 1000 toneladas métricas.

Tabla 3. Comparación de tonelaje y leyes por cut-off, para recursos indicados

20 X 20 X 15				10 X 10 X 15			
Indicado				Indicado			
Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM	Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM
>=0.00	0.1624	0.0046	2,516,494	>=0.00	0.1618	0.0045	2,530,948
>=0.10	0.2462	0.0061	1,625,886	>=0.10	0.2448	0.0060	1,633,623
>=0.20	0.3361	0.0092	896,093	>=0.20	0.3356	0.0091	889,781
>=0.30	0.4507	0.0130	359,908	>=0.30	0.4508	0.0128	352,973
>=0.40	0.5560	0.0160	167,084	>=0.40	0.5565	0.0157	163,349
>=0.50	0.7080	0.0173	56,973	>=0.50	0.7087	0.0170	55,648
>=0.60	0.7799	0.0177	38,567	>=0.60	0.7805	0.0175	37,393
>=0.70	0.8458	0.0171	24,542	>=0.70	0.8451	0.0171	24,365
>=0.80	1.0018	0.0167	3,019	>=0.80	0.9991	0.0163	2,786
>=0.90	1.0890	0.0162	1,632	>=0.90	1.0878	0.0162	1,599
>=1.00	0.0000	0.0000	0	>=1.00	0.0000	0.0000	0

Nota. Cu y Mo en porcentaje, TM representa 1000 toneladas métricas.

Tabla 4. Comparación de tonelaje y leyes por cut-off, para recursos inferidos

20 X 20 X 15				10 X 10 X 15			
INFERIDO				INFERIDO			
Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM	Cut-off	Cu (%)	Mo (%)	TM
>=0.00	0.0828	0.0033	10,323,770	>=0.00	0.0825	0.0033	10,289,830
>=0.10	0.3456	0.0143	1,896,234	>=0.10	0.3476	0.0144	1,870,319
>=0.20	0.4638	0.0235	1,248,771	>=0.20	0.4655	0.0237	1,238,334
>=0.30	0.5335	0.0303	957,292	>=0.30	0.5340	0.0304	954,780
>=0.40	0.5904	0.0352	744,117	>=0.40	0.5907	0.0352	742,761
>=0.50	0.6609	0.0427	496,332	>=0.50	0.6614	0.0427	495,983
>=0.60	0.7386	0.0498	299,731	>=0.60	0.7383	0.0499	300,706
>=0.70	0.8243	0.0515	152,040	>=0.70	0.8227	0.0516	154,019
>=0.80	0.9222	0.0644	70,096	>=0.80	0.9201	0.0644	70,279
>=0.90	0.9907	0.0669	36,852	>=0.90	0.9903	0.0670	36,122
>=1.00	1.0851	0.0655	11,793	>=1.00	1.0850	0.0663	11,585

Nota. Cu y Mo en porcentaje, TM representa 1000 toneladas métricas.

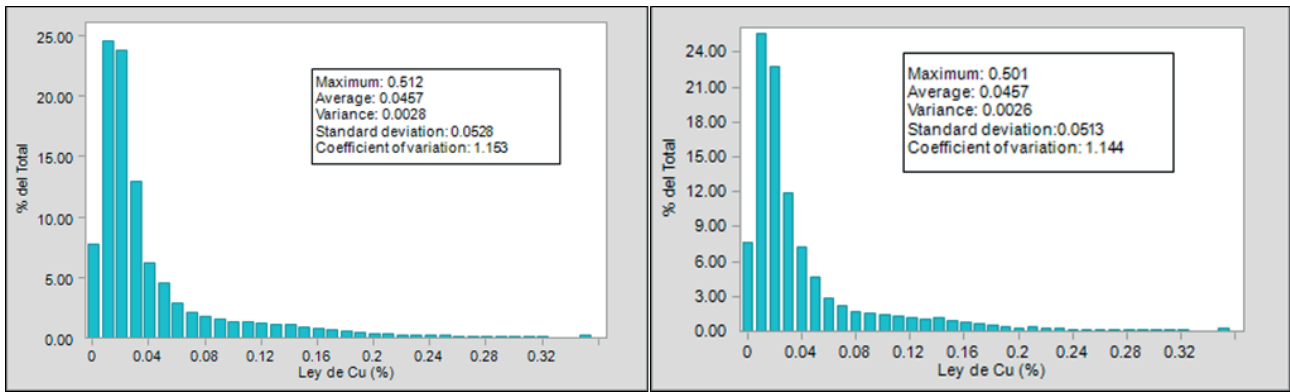


Figura 4. Histogramas del elemento Cu, para el dominio geostatístico 05.

Tabla 5. Valores proyectados en plan por fases, modelo 10m x 10m x 15m.

FASE	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)
FASE 04	0.00	-	0.000	0.000	0.08	-	0.000	0.000	0.30	2,367,882	0.622	0.039
FASE 05	0.00	-	0.000	0.000	0.08	6,901,207	0.205	0.003	0.30	1,640,664	0.384	0.008
FASE 06	0.00	6,388,442	0.019	0.001	0.08	-	0.000	0.000	0.30	-	0.000	0.000
TOTAL	0.00	6,388,442	0.019	0.001	0.08	6,901,207	0.205	0.003	0.30	4,008,546	0.525	0.027

Tabla 6. Valores proyectados en plan por fases, modelo 20m x 20m x 15m.

FASE	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)	Cutoff	TM	Cu (%)	Mo (%)
FASE 04	0.00	-	0.000	0.000	0.08	-	0.000	0.000	0.30	2,368,051	0.622	0.039
FASE 05	0.00	-	0.000	0.000	0.08	6,960,202	0.205	0.003	0.30	1,581,443	0.384	0.008
FASE 06	0.00	6,388,849	0.019	0.001	0.08	-	0.000	0.000	0.30	-	0.000	0.000
TOTAL	0.00	6,388,849	0.019	0.001	0.08	6,960,202	0.205	0.003	0.30	3,949,494	0.527	0.027

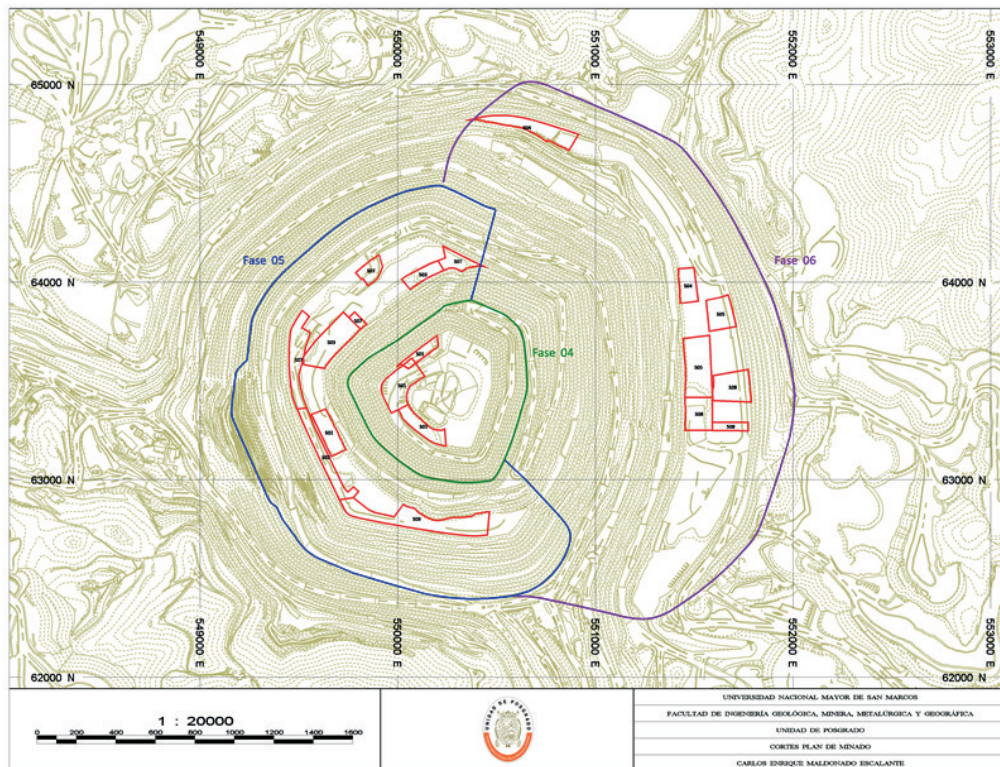


Figura 5. Cortes de minado planeados, por fase.

y Fase 06 (morado), donde los cortes se grafican con un color rojo. Para el presente estudio se ha dado énfasis a los cortes de Fase 04 y Fase 05; los cortes de Fase 06 carecen de presencia mineral económica, sin embargo, su minado es importante para continuar con el desbroce programado por el área de planeamiento. Como un punto adicional de comparación entre los modelos de distinto soporte, se ha realizado una reconciliación, comparando el minado real que se ha dado en el periodo de estudio con corridas en los cortes de minado efectuados en el lapso considerado.

En la Figura 6 se observan los cortes de minado realizados durante la etapa indicada, diferenciados por un color de acuerdo con el destino que se le asignó al material volado, de acuerdo con sus características geológicas. El rojo corresponde a mineral, el verde a lixiviable y el azul a desmonte.

Se ha realizado la comparación de resultados reales con los cortes a cada modelo, para el material clasificado como mineral y lixiviable, cuyas comparaciones se observan a continuación, en la Tabla 7 y la Tabla 8 respectivamente. Las diferencias en tonelaje, y cantidad de mineral están expresadas en porcentaje.

En el caso de la reconciliación, a diferencia de la comparación de planos de minado, se tiene un valor asumido como real, respecto al cual se realiza la comparación, tanto para el mineral como el lixiviable, en el caso del material llevado a los botaderos de desmonte, no se posee un valor real en cuanto a la ley, por lo que no es considerado dentro del análisis.

IV. DISCUSIÓN

De acuerdo con Emery (2007), existe una dependencia entre el soporte y la distribución estadística de los valores, denominado efecto soporte; los soportes voluminosos presentan una menor cantidad de valores extremos y una mayor cantidad de valores intermedios que los soportes puntuales; es así que la varianza depende del soporte en el cual está definida la variable regionalizada, este fenómeno se ejemplifica en la Figura 7.

Como se observa en la Tabla 1, el cambio en cuanto a tonelaje y leyes es pequeño, sin embargo está presente, y se observa también un cambio en la cantidad de material considerado dentro de las tres categorizaciones de recursos (medido, indicado e inferido), lo cual se explica principalmente por los alcances considerados en los parámetros de búsqueda del variograma para el kriging, que a pesar de el hipotético caso de ser “igual” puede que influya sólo en algunos bloques de menos tamaño, a diferencia del modelo con un soporte mayor.

Este efecto, se observa de la misma manera en las Tablas 2, 3 y 4, donde se detallan las diferencias por cut-off.

En la Figura 4, que usa datos de un dominio geoestadístico, se observa que la forma del histograma tiende a simetrizarse cuando aumenta el tamaño del soporte y, de acuerdo con el cuadro estadístico se verifica que tanto la desviación estándar como la varianza disminuyen, aunque se mantiene constante la media. Entrando en el análisis de los resultados para un plan de minado, observamos que

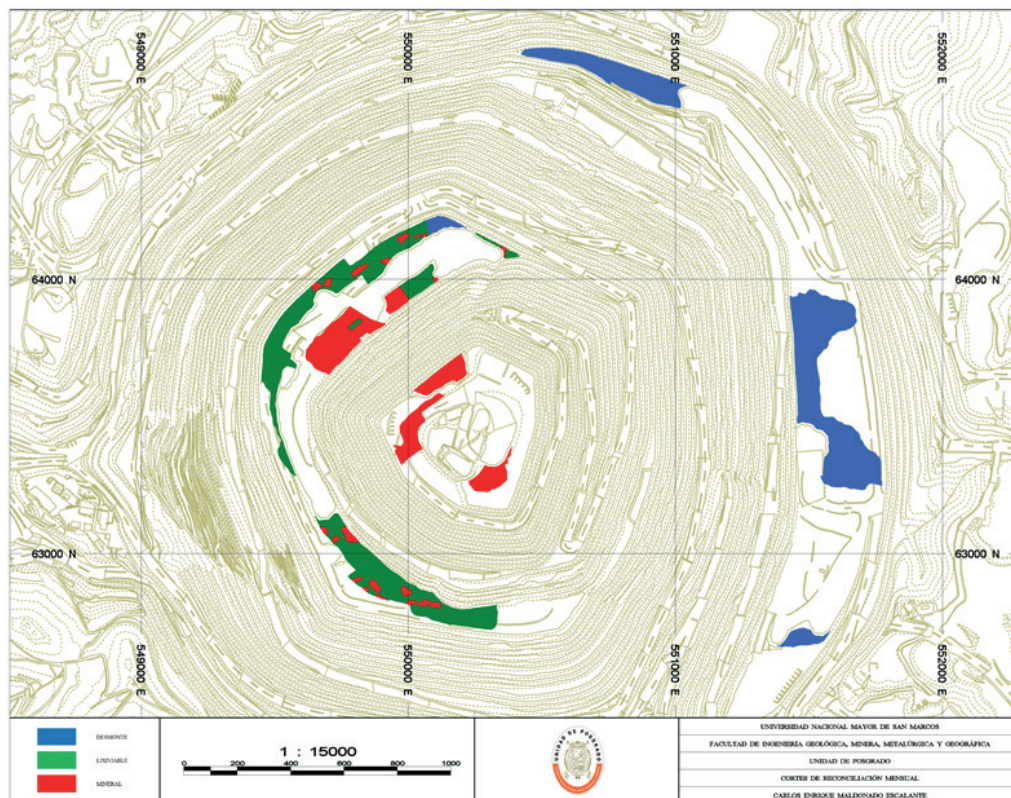


Figura 6. Cortes de minado por tipo de material del periodo en estudio.

Tabla 7. Reconciliación de material con destino mineral y sus diferencias porcentuales

Reconciliación mineral				
Datos	TM	Cu (%)	Mo (%)	Fe (%)
(1) 20 X 20 X 15	3,483,659	0.5040	0.0256	2.887
(2) 10 X 10 X 15	3,483,390	0.5038	0.0256	2.888
(3) DATO REAL	3,491,279	0.5260	0.0280	2.553
Diferencias mineral				
Diferencias (%)	TM (%)	Cu	Mo	Fe
(1) - (3)	-0.22	-4.18	-8.71	13.07
(2) - (3)	-0.23	-4.22	-8.71	13.12

Nota. Cu, Mo y Fe en porcentaje, TM significa tonelada métrica; en la segunda sección, las diferencias están representadas en porcentaje respecto al dato real.

Tabla 8. Reconciliación de material con destino lixiviable y sus diferencias porcentuales

Reconciliación lixiviable				
Datos	TM	Cu (%)	Mo (%)	Fe (%)
(1) 20 X 20 X 15	5,399,764	0.2210	0.0028	4.547
(2) 10 X 10 X 15	5,399,315	0.2208	0.0028	4.541
(3) DATO REAL	5,463,289	0.2290	0.0030	4.065
Diferencias lixiviable				
Diferencias (%)	TM (%)	Cu	Mo	Fe
(1) - (3)	-1.16	-3.49	-6.67	11.86
(2) - (3)	-1.17	-3.58	-6.67	11.72

Nota. Cu, Mo y Fe en porcentaje, TM significa tonelada métrica; en la segunda sección, las diferencias están representadas en porcentaje respecto al dato real.

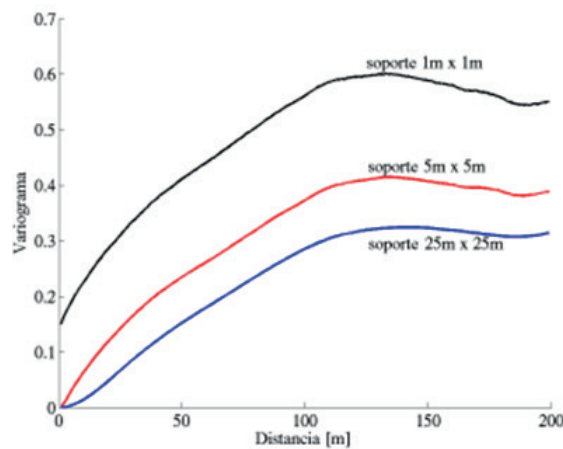


Figura 7. A mayor tamaño de soporte se observa un variograma con meseta menor.
Fuente: (Díaz Molina, 2017)

existen variaciones ligeras por cut-off (Tablas 5 y 6), esto debido a las diferencias en el tamaño de los bloques. Como se observa en la Figura 8, algunos bloques pequeños no coinciden en su totalidad con los bloques de mayor tamaño, dado que, al momento de su estimación, cada uno de los “sub-blocks” toma sus propios compósitos para interpolar.

Finalmente, en las Tablas 7 y 8 observamos resultados de cortes de reconciliación, en ambos modelos de bloques, el cobre y el molibdeno están subestimados respecto a valor

real, sin embargo, la variación entre ambos modelos no es significativo (menor a 1%).

La importancia de un correcto modelamiento y estimación de recursos se refleja en el envío de un bloque a planta o a botadero, lo cual se realiza a partir de la ley estimada del modelo de bloques, y no de la ley real. La búsqueda del estimador más preciso e insesgado y la determinación de un soporte son claves para una óptima operación minera. Esta afirmación va muy de la mano con Pizarro, quien indica

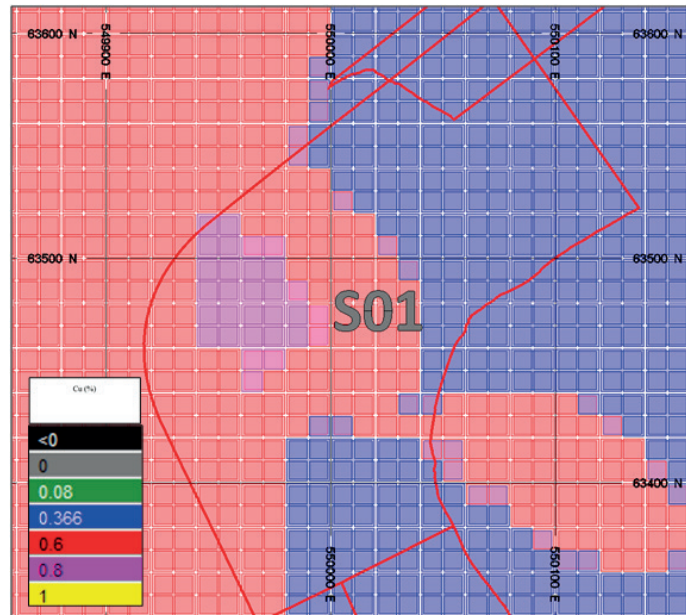


Figura 8. Visualización de ambos modelos de bloques en un corte planificado.

que la variación de una metodología de estimación puede presentar escenarios donde en promedio pueden perderse millones de dólares es estimación de reservas, esto ya sea subestimando bloques (no extrayéndolos o mandarlos a botadero) o sobrestimándolos (enviando material estéril a mineral).

V. CONCLUSIONES

- En el caso presentado el cambio de soporte genera una variación de 1.5% en el tonelaje de mineral >0.30% Cu para el periodo planificado.
- Al cambiar el soporte, la media se mantiene, sin embargo, un bloque más pequeño tiene una varianza (0.0028 a 0.0026) y desviación estándar mayor (0.0528 a 0.0513).
- En lo que respecta al análisis de una reconciliación, el modelo de 20x20x15 presenta 3,483,659 TM de mineral con 0.5040% Cu y el de 10x10x15 3,483,390 TM con 0.5038% Cu siendo una diferencia mínima, por lo que sería conveniente replicar el ejercicio en otro rango de tiempo.
- La correcta estimación de un yacimiento en un modelo de bloques permite reducir pérdidas, como el envío de estéril a planta y maximizar ganancias, evitando enviar mineral a botaderos, sin embargo, el tamaño de bloque (soporte) en el ejemplo no es un factor determinante.

VI. REFERENCIAS

- Cahuana Ochoa, W. N. (2019). *Aplicación de la simulación condicional a los dominios de estimación de recursos de la mina Cujone* [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2897>
- Díaz Molina, R. (2017). *Modelamiento y Análisis de la Data. Geoestadística*. <https://mine-class.com/wp-content/uploads/2017/03/geo1.pdf>
- Emery, X. (2007). *Apuntes de Geoestadística. Histograma | Variable aleatoria*. Universidad de Chile. Ingeniería de Minas. <https://es.scribd.com/document/162398445/Apuntes-de-Geoestadística>
- OSINERGMIN. (2017). *La industria de la minería en el Perú*. Organismo Supervisor de La Inversión En Energía y Minería. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Industria-Mineria-Peru-20años.pdf
- Pizarro Munizaga, S. H. A. (2011). *Modelamiento Geoestadístico de Leyes de Cobre Total y Soluble* [Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/102614>

Contribución de autoría:

Conceptualización, Análisis formal, Metodología, Administración del proyecto, Supervisión, Validación y Redacción - revisión y edición: Carlos Enrique Maldonado Escalante.

Curación de datos, Adquisición de fondos, Investigación, Recursos, Software, Visualización y Redacción - borrador original: Jaime César Mayorga Rojas.