

Determinación del tamaño racional del bloque para la estimación de recursos minerales en el yacimiento Mariel

Orestes Gómez González
José Quintín Cuador Gil
Elmidio Estévez Cruz

Resumen

La calidad de la estimación de recursos minerales es uno de los temas más importantes en la industria geológica-minera actual. El desarrollo de los sistemas automatizados en este campo ha permitido un incremento en la calidad de las estimaciones en diferentes tipos de yacimientos, pero aún existen elementos de carácter subjetivo que influyen directamente en la precisión y exactitud de los cálculos, uno de ellos es el tamaño del bloque de estimación. Para la selección de éste se han utilizado fundamentalmente criterios de carácter económico y minero. En este trabajo se demuestra la influencia del tamaño del bloque de estimación en la precisión y exactitud de los recursos estimados, utilizando procedimientos conjuntos de estimación y simulación geoestadística. El procedimiento se aplica en el yacimiento Mariel de materia prima para cemento y la metodología propuesta puede ser aplicable a otros casos de estudio.

Palabras clave

Estimación; exactitud; precisión; tamaño del bloque; unidad de selección minera; krigeaje; simulación geoestadística.

Rational block size determination to estimate the resources contained in the Mariel ore body

Abstract

The accuracy of mineral resource estimation is nowadays one of the most important issues in Geology and Mining industry. The development of automated systems in this field has contributed to improving the quality of the estimation of several types of mineral deposits. There even exist elements with a subjective approach having a direct influence on the precision and accuracy of calculations: one of them is the size of the estimation block. The selection of the size of the estimation block is based mainly on economic and mining criteria. This work presents the influence of the estimation block size on the precision and accuracy of resource estimation using geostatistics estimation and simulation procedures. The procedure is applied to the Mariel deposit of raw materials for cement making. The proposed methodology can be applied to other study cases.

Keywords

Estimation; accuracy; precision; block size; selected mining unit; kriging; geostatistics simulation.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo cada vez mayor de métodos automatizados para la estimación de recursos minerales ha permitido el uso de herramientas modernas de estimación como la geomatemática y, en particular, los métodos geoestadísticos (Gómez-González 2007). Consecuentemente, se ha incrementado la precisión y exactitud de los estimados por lo que la utilización de estos métodos ha tomado auge. Aún cuando se ha constatado un desarrollo vertiginoso en el procesamiento automatizado de la información en el campo de las geociencias, específicamente en la geología y la minería, existen elementos de carácter subjetivo que afectan la precisión y exactitud de los estimados. Tal es el caso de la selección del tamaño del bloque de estimación.

En el yacimiento Mariel se han utilizado, fundamentalmente, métodos clásicos en la estimación de recursos minerales. En estos métodos no se tiene en cuenta de una forma racional la influencia de las muestras, más bien se utilizan consideraciones geométricas (Gómez-González *et al.* 2000). En los sistemas automatizados se define un modelo geométrico que posteriormente es empleado para aplicar control geológico a la estimación. La diferencia fundamental radica en la definición del tamaño del bloque de estimación; los métodos tradicionales emplean bloques de grandes dimensiones, definidos sobre la base de la aplicación de la geometría descriptiva y proyectiva, y de aspectos geológicos mientras que los métodos computarizados permiten realizar la estimación en bloques locales, teniendo en cuenta la correlación y la variabilidad espacial de los parámetros estudiados, es decir, se sustenta en la distribución espacial de las leyes (Journel & Huijbregts 1978; Isaaks & Srivastava 1989; Deutsch & Journel 1998).

Debe destacarse que el tamaño del bloque de estimación lo determina el especialista que realiza los cálculos, quien, de manera subjetiva, se apoya en la variabilidad de las leyes, la continuidad geológica de las mineralizaciones, el tamaño y espaciamiento entre las muestras, la capacidad de los equipos mineros y la altura de diseño de los taludes de explotación. Por lo anterior, la experiencia acumulada por el especialista es trascendental.

1.1. Efecto del tamaño del bloque en la exactitud y la precisión de la estimación de recursos

Existen variados criterios que proporcionan la estimación de un fenómeno bajo estudio. Lo que realmente hace la diferencia entre un criterio y otro es la exactitud de las estimaciones y la precisión que las afecta. Por exactitud se entiende la aproximación entre el valor de la estimación y el valor real desconocido que se espera medir. Se conoce como precisión la fluctuación de las estimaciones con respecto a su valor esperado. Así un estimador puede ser exacto y estar afectado por una gran imprecisión, y viceversa, un estimador puede ser inexacto y a la vez tener gran precisión (Tulcanaza 2000).

Exactitud y Precisión. En la teoría del muestreo de minerales se utilizan las nociones de exactitud y precisión. En términos estadísticos, estos conceptos corresponden respectivamente a la media, la cual debe ser insesgada, sin desviación sistemática (exactitud) y a la varianza del error, la cual debe ser pequeña (precisión). Exactitud \Leftrightarrow Media, Precisión \Leftrightarrow Varianza.

En términos de estimación, el krigeaje consiste en encontrar el mejor estimador lineal de una variable en una región del espacio (Journel & Huijbregts 1978). El krigeaje asigna un peso al valor asociado a cada muestra involucrada en el proceso de estimación; los pesos son calculados a partir de la continuidad espacial de la variable de manera que hacen mínima la varianza de estimación, aprovechando al máximo la información disponible, en otras palabras, obteniendo la estimación más precisa posible en los bloques de estimación.

La obvia necesidad de conciliación entre los recursos estimados (*in situ*) y las reservas minables o recuperables es básicamente económica; toda desviación entre leyes o contenidos produce una pérdida económica (Tulcanaza 2000) como lo indican las relaciones expuestas en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las estimaciones

| | | |
|--------------------------------|----------------------|--|
| Bloque de mineral rico | Subestimación | Pérdida debido a la postergación de la extracción de bloque de mineral más rico. |
| | Sobreestimación | Pérdida debido a la anticipación de la extracción de mineral menos rico de diferentes características y diferentes relaciones costo/ingreso. |
| Bloque de mineral pobre | Subestimación | Pérdida debido a un posible envío a estéril. |
| | Sobreestimación | Pérdida debido a la anticipación de la |

Todas las pérdidas descritas anteriormente pueden ser calculadas y evaluadas en términos económicos. Entre los factores que influyen en la magnitud de estas pérdidas se encuentran el grado de información (en la exploración, en la estimación, en el nivel de selectividad, en el frente de explotación) y el grado de selectividad minera (tamaño del bloque de estimación y ley de corte).

La determinación del tamaño del bloque de estimación es un tema que no ha sido abordado suficientemente y no se conocen al respecto resultados concluyentes a nivel internacional. No está disponible una metodología definida para seleccionar el tamaño de los bloques de forma racional; tampoco ha sido abordado suficientemente la influencia que pueda tener el tamaño del bloque de estimación en la precisión y exactitud de la estimación de los recursos geológicos *in situ*.

En este artículo se propone la utilización conjunta de procedimientos de estimación y simulación geoestadística para demostrar la influencia del tamaño del bloque de estimación en la precisión y exactitud de los recursos estimados. Este procedimiento se aplica en el yacimiento Mariel de materia prima para cemento.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar esta investigación se utilizó información del yacimiento Mariel, del cual se extrae materia prima para la fabricación de cemento desde 1918 (Barkác & Hasch 1976). La cantera está situada en la parte norte y oeste del yacimiento. Se seleccionó un sector en el cual se aplicaron los pasos siguientes:

1. Generación de un modelo numérico simulado de la zona de estudio que respete la variabilidad espacial de los parámetros geológico-industriales, lo cual constituye un patrón de comparación con la realidad desconocida.
2. Definición de varios modelos de recursos con diferentes tamaños de bloques de estimación.
3. Cálculo de los promedios de los valores simulados para cada bloque en los modelos de recursos definidos.
4. Realización de estimaciones por krigeaje de bloque en cada modelo de recursos.
5. Comparación de los resultados de las estimaciones con los correspondientes promedios obtenidos para cada tamaño de bloque.
6. Comparación de los errores de la estimación.

2.1. Generalidades y fuente de los datos disponibles

Los datos disponibles para este trabajo fueron:

- Datos de los pozos de perforación realizados en el yacimiento hasta la actualidad.
- Interpretación geológica del yacimiento representada en perfiles verticales y horizontales, según Barkác & Hasch (1976) y Gómez-González et al. (2000).
- Actualización topográfica de la cantera Mariel a escala 1:1000
- Datos del reconocimiento geológico-minero realizado por PROYEST y sus asesores.
- Proyecto minero del yacimiento Mariel, según Gómez-González *et al.* (2000)

La Tabla 2 detalla las campañas de perforación realizadas en el yacimiento. No se utilizaron 167 pozos en la estimación de recursos para el proyecto minero, fundamentalmente por las causas siguientes:

1. Existencia de muchos pozos fuera de los límites de la propiedad minera.
2. Existencia de pozos repetidos (igual posición espacial).
3. La campaña del año 1988 fue eliminada en su totalidad debido a que solamente se realizó para el estudio de elementos nocivos en un pequeño sector de arcillas del centro del yacimiento.
4. Existencia de ambigüedad en la información proveniente de pozos muy cercanos.

Tabla 2. Campañas de perforación en el yacimiento Mariel

| Año | Cantidad de Pozos | Metros Perforados | Red utilizada | Pozos utilizados en el proyecto minero |
|-------|-------------------|-------------------|--|--|
| 1976 | 296 | 10 517,0 | Cuadrada 100x100 m, rómbica 50x100 m y cuadrada 50x50 m. | 261 |
| 1980 | 50 | 1 059,9 | Aprox. rectangular 50x25 m. | 33 |
| 1982 | 110 | 2 619,8 | Por perfiles de forma aleatoria | 66 |
| 1984 | 20 | 677,7 | Aprox. cuadrada 25x25 m. | 7 |
| 1988 | 58 | 2 275,6 | Cuadrada 25x25 m. | 0 |
| 1995 | 19 | 342,31 | Cuadrada 100x100 m. | 19 |
| Total | 553 | 17 490,0 | | 386 |

Los pozos de superficie se perforaron todos de forma vertical y están dispuestos en secciones verticales este-oeste, separadas cada 50 m. Los cortes están dispuestos transversalmente al rumbo del yacimiento.

2.2. Datos utilizados y sector de trabajo

Se tomaron para la estimación y la simulación datos localizados en dos sectores del depósito (Figura 1). En la Tabla 3 se ofrecen las coordenadas del área de la estimación.

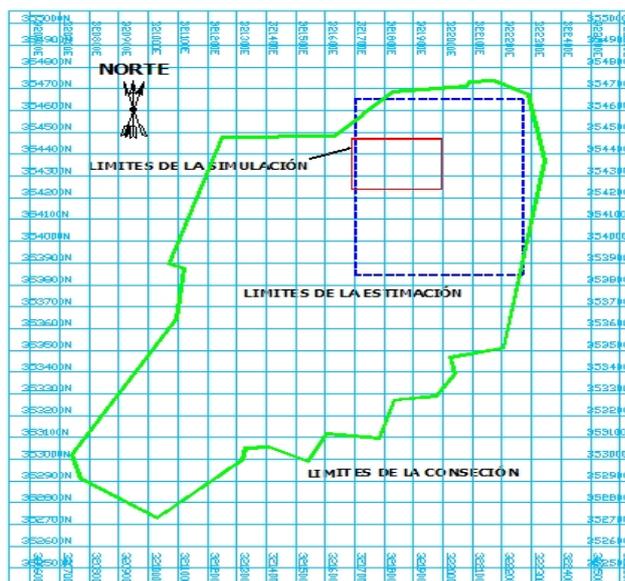


Figura 1. Límites de las áreas de trabajo.

Tabla 3. Coordenadas para la estimación

| X | | Y | |
|-----|-----------|-----|-----------|
| MIN | 321702,41 | MIN | 353846,66 |
| MAX | 322270,75 | MAX | 354652,84 |

Se estudiaron 124 pozos ubicados en el interior del sector, los que incluyeron un total de 715 muestras para CaO, ubicadas solamente en las calizas del depósito. En la Figura 2 se representan los pozos y las muestras utilizadas para la estimación.

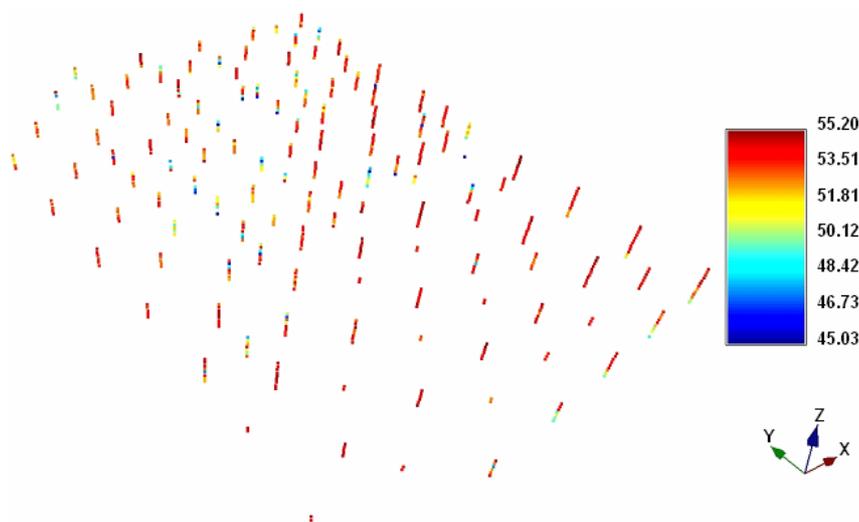


Figura 2. Representación esquemática de los pozos utilizados en la estimación.

Para este trabajo solo se tuvo en cuenta el tipo geológico-tecnológico clasificado como calizas, según las especificaciones en la fábrica de cementos Mariel: Caliza \Rightarrow entre 45,1–56,0 % de CaO

2.3. Límites físicos del modelo geológico

Los límites físicos del modelo geológico del sector del yacimiento se obtuvieron con base en las secciones verticales transversales y teniendo en cuenta el diseño de polígonos que envuelve la zona de calizas en cada perfil o corte. De este modo, se interpretaron 17 secciones verticales transversales espaciadas a 50 m. Para la determinación de los límites físicos del modelo geológico de las materias primas existentes en este sector del yacimiento se utilizaron las especificaciones recogidas en la tarea técnica del proyecto minero del yacimiento.

En la Figura 3 se muestra un ejemplo de los perfiles utilizados para modelar en 3D el sólido de los recursos, que en este caso corresponde al corte 354200N.

En el diseño de los límites físicos del modelo geológico sólo se tuvieron en cuenta los recursos medidos, por lo que no se representan los recursos extrapolados.

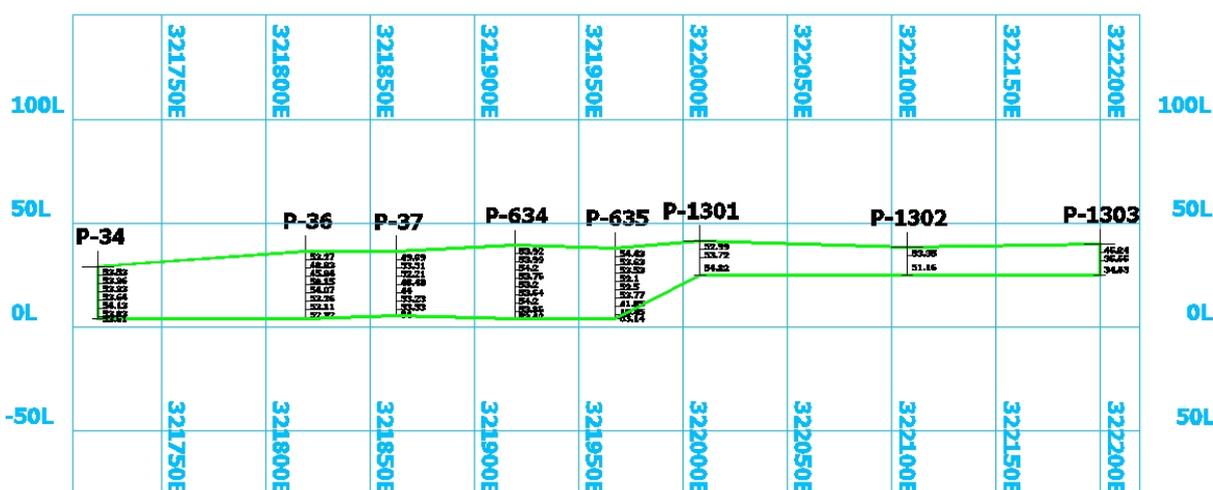


Figura 3. Límites físicos de modelo geológico. Perfil N° 354200N

2.4. Obtención del sólido tridimensional de los recursos

Para obtener el sólido tridimensional de los recursos se unieron los diferentes polígonos digitalizados (Figura 4) y, posteriormente, fue cortado con el modelo digital de terreno (Figura 5). Las depresiones que se observan en el gráfico de la Figura 5 corresponden a las intercalaciones de margas o arcillas, las cuales fueron extraídas del mismo para que no interfirieran en el estudio de las calizas, objeto de estudio de este trabajo.

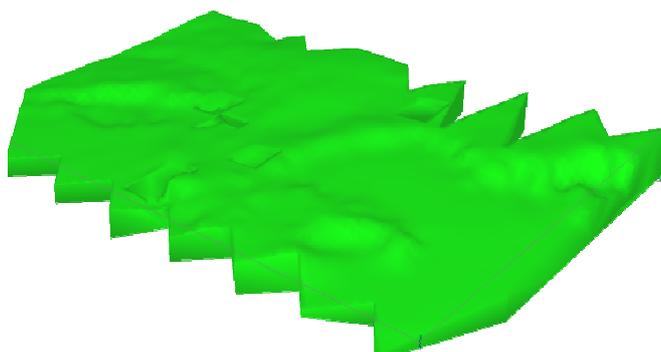


Figura 4. Sólido tridimensional de los recursos.

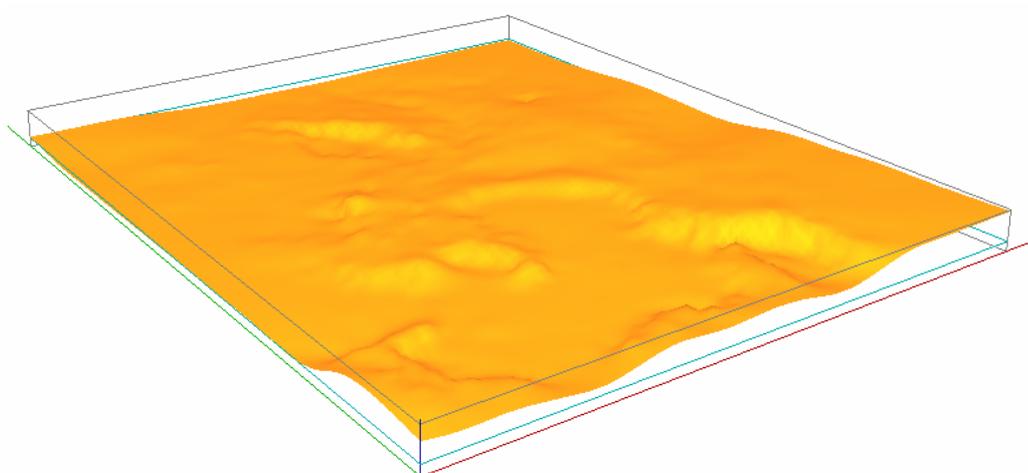


Figura 5. Modelo digital del terreno.

3. RESULTADOS

Teniendo en cuenta que la longitud promedio de la muestra para los 124 pozos utilizados es de 3,82 m se decidió regularizar la información usando un intervalo de 5 m. La estadística descriptiva del componente CaO para el sector utilizado se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Estadística descriptiva del CaO

| Datos válidos | 715 | Máximo | 55,15 |
|------------------|-------|-------------------------|-------|
| Media aritmética | 52,94 | Rango | 10,11 |
| Moda | 53,67 | Varianza | 3,38 |
| Mínimo | 45,03 | Desviación estándar | 1,84 |
| Cuartil inferior | 52,64 | Coficiente de variación | 0,03 |
| Mediana | 53,50 | Asimetría | -2,00 |
| Cuartil superior | 54,05 | Curtosis | 4,17 |

Puede observarse que los valores de la media y la mediana son muy cercanos, el coeficiente de variación es menor que uno y no existen valores anómalos que puedan influir desfavorablemente en el análisis de variabilidad espacial; todo lo anterior indica estacionaridad en la información, por lo que pueden ser aplicados los métodos geoestadísticos, según Isaaks & Srivastava (1989) y Clark & Harper (2001).

En el histograma (Figura 6) se observa una distribución asimétrica y leptocúrtica que no sigue una distribución normal. La ligera presencia de subpoblaciones puede tener una explicación geológica. Existe una cola a la izquierda que litológicamente pudiera corresponder a interca-

laciones de arcilla, marga, marga calcárea y caliza margosa, hasta llegar a las muestras de caliza en el extremo derecho. Hay que destacar que las calizas están representadas, desde el punto de vista litológico, por calizas blandas, calizas coralinas, calizas recristalizadas, calizas organógenas y calizas duras, pero como todas las clasificaciones litológicas mencionadas se pueden agrupar en un tipo tecnológico utilizado en la estimación de recursos se decidió no separar las poblaciones.

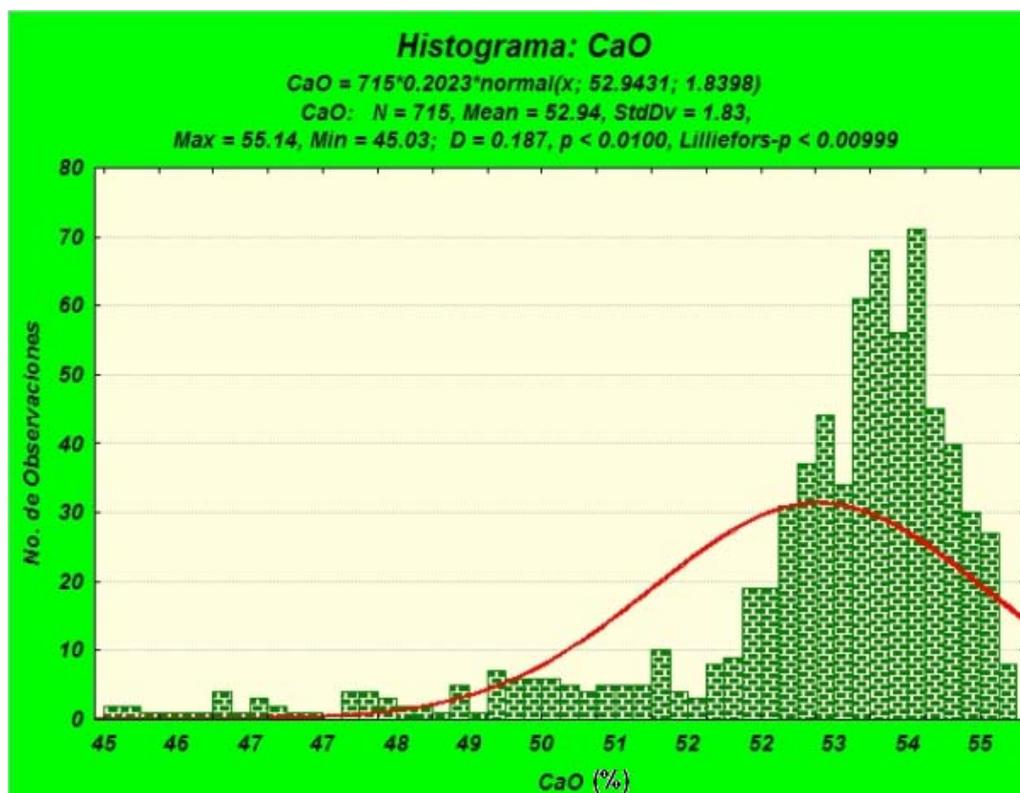


Figura 6. Histograma para el CaO.

3.1. Análisis estructural

El cálculo de los semivariogramas experimentales fue realizado utilizando la información perteneciente a la población de caliza en las tres direcciones preferenciales (según el rumbo, el buzamiento y a lo largo de los pozos de perforación). Estos fueron calculados utilizando los parámetros que se recogen en la Tabla 5. Los semivariogramas para el CaO se observan en la Figura 7.

Tabla 5. Parámetros utilizados para el cálculo de los semivariogramas

| Parámetros | Global | Rumbo (AS) | Buzamiento (DD) | Vertical (DH) |
|------------------------------|--------|------------|-----------------|---------------|
| Incremento | 50 | 50 | 50 | 5 |
| Tolerancia lineal | 25 | 25 | 25 | 2,5 |
| Número de puntos | 10 | 10 | 10 | 8 |
| Azimut | 90 | 45 | 45 | 0 |
| Tolerancia del azimut | 45 | 22,5 | 22,5 | 10 |
| Inclinación | 0 | 0 | 0 | 90 |
| Tolerancia de la inclinación | 0 | 0 | 0 | 0 |



Figura 7. Semivariogramas del CaO.

En la Figura 7 se puede observar el semivariograma omnidireccional o global el cual no muestra muchas diferencias con respecto a los semivariogramas direccionales por el rumbo y el buzamiento, esto constata que la variable CaO presenta un comportamiento isotrópico en el plano horizontal. En los semivariogramas direccionales se observan estructuras espaciales definidas en las direcciones horizontales (rumbo y buzamiento), en los que se alcanza la meseta en los primeros puntos del semivariograma, lo que impide describir el

comportamiento estructural del contenido de CaO a pequeñas distancias. Los horizontales muestran aparentemente la existencia de efecto de pepita puro, no siendo así en el semivariograma, según la dirección vertical, el cual no muestra efecto de pepita.

Lo anterior indica que la red de exploración utilizada para el estudio de este sector del yacimiento no permite describir el comportamiento de la variabilidad espacial a distancias cercanas al origen en el plano horizontal. Puede hablarse entonces de la existencia de una anisotropía geométrica entre el plano de la mineralización y la dirección vertical.

3.2. Modelo de recursos

Como los semivariogramas direccionales no muestran diferencias en el comportamiento espacial se decidió utilizar el semivariograma omnidireccional para realizar el ajuste, conjuntamente con el semivariograma en la dirección vertical o a lo largo de los pozos. El ajuste y el modelo estructural obtenido se presentan en la Figura 8. Para la estimación de los recursos del yacimiento se utilizaron varios modelos de bloques, cuyas características se recogen en la Tabla 6.



Figura 8. Modelo teórico de semivariograma de CaO.

Tabla 6. Características de los modelos de bloques

| Modelos | Dimensiones del bloque (metros) | Dimensiones de los sub-bloques (m) | Cantidad de bloques | | |
|----------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------|----|---|
| | | | X | Y | Z |
| Modelo 1 | 10*10*10 | 3,33*3,33*3,33 | 61 | 82 | 6 |
| Modelo 2 | 15*15*10 | 5,00*5,00*3,33 | 41 | 55 | 6 |
| Modelo 3 | 20*20*10 | 6,66*6,66*3,33 | 31 | 41 | 6 |
| Modelo 4 | 25*25*10 | 8,33*8,33*3,33 | 25 | 33 | 6 |
| Modelo 5 | 30*30*10 | 10,00*10,00*3,33 | 21 | 28 | 6 |
| Modelo 6 | 35*35*10 | 11,66*11,66*3,33 | 18 | 24 | 6 |
| Modelo 7 | 40*40*10 | 13,33*13,33*3,33 | 16 | 21 | 6 |
| Modelo 8 | 45*45*10 | 15,00*15,00*3,33 | 14 | 19 | 6 |
| Modelo 9 | 50*50*10 | 16,66*16,66*3,33 | 13 | 17 | 6 |

Para la estimación se utilizó un sistema de sub-bloques, dividiendo los bloques a razón de 6x6x6 en las tres direcciones del espacio, X, Y, y Z (Journel & Huijbregts 1978). Esto se hizo para lograr la estimación racional en el krigeaje de bloques. Las dimensiones que alcanzaron los bloques y los sub-bloques así como la cantidad de bloques en las tres direcciones del espacio se pueden observar en la Tabla 6.

En cada modelo se crearon las siguientes variables: CaO para la estimación por krigeaje; CaO_VAR_KRIG para la varianza de krigeaje; CaO_SIM para la variable simulada y CaO_VAR_SIM para la varianza de los promedios móviles de la simulación.

Para la estimación se utilizó un sistema de sub-bloques, dividiendo los bloques a razón de 6x6x6 en las tres direcciones del espacio, X, Y, y Z (Journel & Huijbregts 1978). Esto se hizo para lograr la estimación racional en el krigeaje de bloques. Las dimensiones que alcan-

zaron los bloques y los sub-bloques así como la cantidad de bloques en las tres direcciones del espacio se pueden observar en la Tabla 6.

En cada modelo se crearon las siguientes variables: CaO para la estimación por krigeaje; CaO_VAR_KRIG para la varianza de krigeaje; CaO_SIM para la variable simulada y CaO_VAR_SIM para la varianza de los promedios móviles de la simulación.

3.3. Metodología de estimación

La variable bajo estudio fue estimada utilizando el krigeaje ordinario de bloques, teniendo en cuenta el modelo de variabilidad obtenido para el CaO. El elipsoide de búsqueda utilizado para la estimación fue de 160, 160 y 40 m en las direcciones X, Y y Z, respectivamente, lo que permite localizar, para la estimación por krigeaje, datos suficientes utilizando como mínimo 2 y un máximo de 24 muestras dentro del volumen de búsqueda. Aquellos bloques que no fueron estimados con el elipsoide mencionado anteriormente se evaluaron utilizando un elipsoide dos veces mayor que el anterior.

De esta forma se procedió a la estimación de los 9 modelos de bloques definidos en la Tabla 5. Los resultados de la estimación se utilizaron posteriormente para comparar con posibles datos reales.

3.4. Simulación geoestadística

El sector utilizado para realizar la simulación de la variable CaO es más pequeño que el área de los datos y está situado en la cota +15,0 m sobre el nivel medio del mar, se puede localizar en las coordenadas planas de la Tabla 6 y se visualiza en la Figura 1.

Tabla 7. Coordenadas del sector simulado

| | |
|------------------------|------------------------|
| $X_{\min} = 321690,00$ | $X_{\max} = 321995,00$ |
| $Y_{\min} = 354240,00$ | $Y_{\max} = 354470,00$ |
| $Z_{\min} = 15,00$ | $Z_{\max} = 25,00$ |

Para obtener una representación equivalente a la realidad de este sector del depósito se utilizó la simulación geoestadística con el método de la simulación secuencial gaussiana, la cual aporta una herramienta

útil para reproducir la distribución espacial de los datos (Deutsch & Journel 1998). Esta consiste en generar, primero, valores con iguales características de dispersión que los datos originales, lo que se alcanza a través de la simulación no condicional y posteriormente condicionando los valores obtenidos a los datos reales, esto es la Simulación Condicional (Cuador & Quintero 2001). De esta forma se obtiene una de las posibles realizaciones del sector en estudio, de la cual, la información real también es considerada como una realización.

En la Figura 9 se muestra una representación en tres dimensiones de los resultados de la simulación secuencial gaussiana realizada en una red de $1 \times 1 \times 1 \text{m}^3$. Posteriormente se obtienen los posibles valores reales como el promedio para cada tamaño de celda utilizado en los modelos descritos previamente. Para realizar la simulación se utilizó el sistema SGeMS (*Geostatistics Modeling Software*) v. 1.4 y GSLib90 (*Geostatistics Library*), para calcular los promedios móviles se empleó el programa Celda 3D v. 1.0 (Arias 2006).

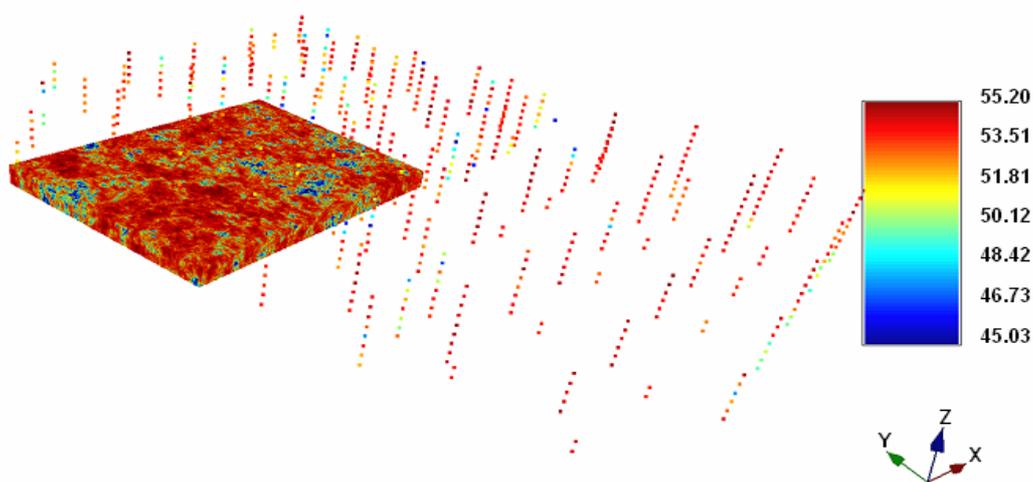


Figura 9. Simulación condicional.

La simulación geoestadística obtenida fue verificada, pudiéndose comprobar que posee las mismas características de dispersión de los datos originales. La estadística básica entre los datos reales y los simulados es similar, y los histogramas muestran igual comportamiento. Los semivariogramas de los datos reales y simulados reflejan igual comportamiento de la variabilidad espacial. Estos tres elementos permiten asegurar que se ha obtenido una realización representativa de

la realidad estudiada. Los resultados de cualquier procesamiento que se realice sobre la misma serían similares a los que se obtendrían si se utilizaran los datos reales.

La simulación obtenida anteriormente es suficientemente densa para promediar los datos por cada tamaño de bloque, según los modelos geométricos confeccionados, y de esta forma proponer un posible dato real por cada bloque que pueda ser comparado con los correspondientes valores estimados.

Para la comparación se utilizó fundamentalmente el error cuadrático medio. La Figura 10 muestra un nomograma del promedio de los errores cuadráticos medios contra tamaños de unidades de selección minera. En la misma se puede observar que no existe un comportamiento lineal de los errores. Presenta errores mínimos, primero para un tamaño de 25 m y posteriormente para otros valores cercanos al tamaño de la red de exploración. Este mismo razonamiento se puede hacer para el error porcentual y el error medio.



Figura 10. Error cuadrático medio.

Los errores anteriores nos permiten valorar sólo las diferencias en la precisión para los diferentes tamaños de bloques. Ahora bien, si se analizan las diferencias de la estimación por krigeaje de los contenidos promedios globales para el sector estudiado contra el promedio aritmético de la simulación, considerado como posible valor real, se obtiene la curva que se muestra en la Figura 11, donde se observa un comportamiento similar al análisis realizado anteriormente; en este caso se hace referencia a la exactitud de los cálculos. Lo anterior demuestra la influencia del tamaño del bloque de estimación en la precisión y exactitud de la estimación.

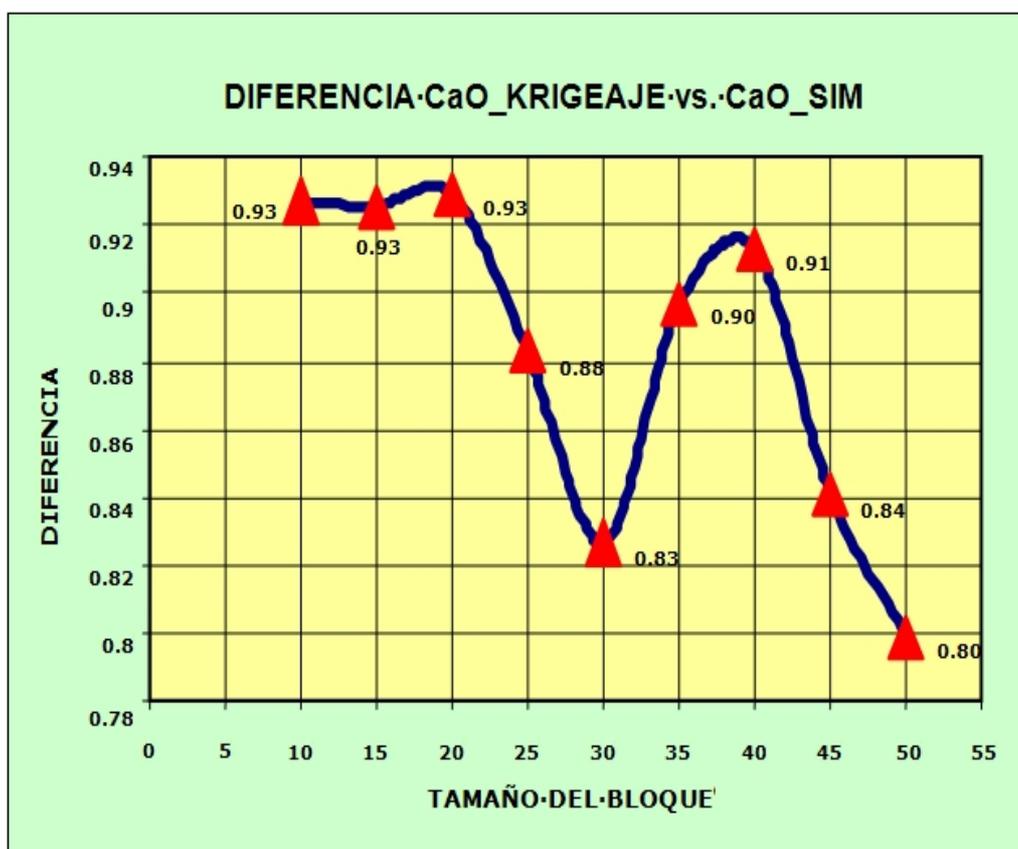


Figura 11. Diferencias entre valores estimados por krigeaje vs promedio de la simulación.

4. CONCLUSIONES

La metodología propuesta es aplicable, tanto a yacimientos minerales sólidos metálicos como no metálicos, al utilizar procedimientos conjuntos de estimación y simulación geoestadística que permiten demostrar la influencia del tamaño del bloque, en la precisión y exactitud de la estimación de los recursos minerales *in situ*.

La aplicación de la metodología al yacimiento Mariel permite asegurar que existe influencia del tamaño del bloque en la precisión y exactitud de la estimación de los recursos minerales *in situ*.

Para el yacimiento Mariel es necesario estimar con bloques de 25x25x10 m, con el objetivo de maximizar la precisión y la exactitud de la estimación.

5. REFERENCIAS

- ARIAS, J. 2006:** CELDA 3D v. 1.0. Instrucciones para el usuario, Ayuda del sistema.
- BARKÁC, Z. & HASCH, J. 1976:** Informe de la exploración detallada del yacimiento "Mariel". Oficina Nacional de Recursos Minerales. La Habana.
- CLARK, I. & HARPER, W. 2001:** *Practical geostatistics*. Second Edition, Ecosse North America Llc, publishers. Kinkos, Westerville, Ohio USA, 318 p.
- CUADOR, J. & QUINTERO, A. 2001:** Simulación condicional de variables regionalizadas y su aplicación al comportamiento de la porosidad efectiva en un yacimiento fracturado-poroso, *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, LIV:19-27.
- DEUTSCH, C. V. & JOURNEL, A. G. 1998:** *GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide*, Second Edition, Oxford University Press, 369 p.
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, O.; GONZÁLEZ-ACOSTA, M.; SUÁREZ-CABRERA, C.; MEDINA-REYES, I.; VILLIERS-JIMÉNEZ, E.; RODRÍGUEZ-FERNÁNDEZ, R.; HERNÁNDEZ-CAPOTE, C.; HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, J.; FUENTES-SALABARRÍA, J. L.; ÁGUILA-SALAZAR, E.; DÍAZ-DÍAZ, E. A.; CASTAÑEDA-TORRES, E. A.; MARTÍNEZ-NARANJO, G.; VARELA-MASIP, J. R.; ESTÉVEZ-CRUZ, E.; CUADOR-GIL, J. Q.; MIRANDA-GARRIDO, J. S.; SERRANO-DREKE, J.; Y MALLESA-PIÑEIRO, L. A. 2000:** Proyecto Minero del yacimiento Mariel. Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, 99 p.
- GÓMEZ-GONZÁLEZ, O. 2007:** Determinación de la influencia del tamaño de la unidad de selección minera en la exactitud y precisión de la estimación de los recursos del yacimiento "Mariel". Tesis en opción al grado de Master en Geología, Universidad de Pinar del Río, Cuba, 88 p.

ISAACS, E. H & SRIVASTAVA, R. M. 1989: *Applied Geostatistics*, New York Oxford, Oxford University Press, 561 p.

JOURNEL, A. G. & HUIJBREGTS, C. J. 1978: *Mining Geostatistics*, Academic Press, New York, 600 p.

TULCANAZA, E. 2000: *Evaluación de recursos y negocios mineros*. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, Impresos Universitarios, S. A., Chile. 347 p.

Orestes Gómez-González

Máster en Geología. Profesor Auxiliar.
Departamento de Yacimientos Minerales,
Instituto de Geología y Paleontología, Cuba,

oregomez43@igp.gms.minbas.cu

José Quintín Cuador-Gil

Doctor de Ciencias Técnicas. Profesor Titular
Departamento de Física, Universidad de Pinar del Río, Cuba

cuador@info.upr.edu.cu

Elmidio Estévez-Cruz

Doctor de Ciencias Técnicas. Profesor Titular
Departamento de Geología, Universidad de Pinar del Río, Cuba

estevez@geo.upr.edu.cu