

ESTIMACION GEOESTADISTICA DEL PLOMO EN ANTAMINA

Rómulo Salirrosas P.; Lucio Canchis P.

Av. El Derby 055, Torre 1 oficina 801 Santiago de Surco, Lima.
rsalirrosas@antamina.com; lcanchis@antamina.com

RESUMEN

El Plomo es considerado un metal sub-producto en Antamina. Se presenta en forma de galena en las zonas elevadas o zona de picos en el yacimiento, a veces asociado a leyes altas de Zinc. Pueden existir valores que sobrepasan el 1 o 2% Pb, pero en general en el Skarn los valores fluctúan alrededor de 0.1% de Pb.

Leyes mayores a 0.3% Pb pueden causar un impacto operacional en la flotación, ya que el Plomo excesivo sobrecarga los circuitos de flotación de Cobre, Zinc y Molibdeno disminuyendo la calidad de concentrado. Los hornos de refinación aplican una penalidad por la presencia de Plomo en el concentrado de Molibdeno.

De allí la relevancia en considerar una estimación geoestadística para las leyes de Plomo y la importancia de contar con una distribución y ubicación espacial precisa en las distintas áreas y fases operacionales del yacimiento. También resulta importante para fines de planificación de minado, para los objetivos de clasificación de los distintos tipos de materiales y para la identificación de objetivos en futuras campañas de perforación.

El Plomo que comercializa Antamina se encuentra en el concentrado de PbBi y eso representa menos del 1% del total de concentrados comercializados anualmente.

No existe un control geológico y/o estructural definido para el plomo, sin embargo en las zonas este y oeste del depósito se presentan zonas con altas leyes asociadas al contacto entre el skarn y la caliza y/o mármol/hornfels que bordean al yacimiento. En la zona norte del tajo la mineralización de Plomo está asociada al dique Oscarina. Esta zonación de las ocurrencias de Plomo es considerada como un control geológico en la estimación. Considerando que la estimación debe centrarse en determinar zonas de altas y bajas leyes de Plomo, ha sido necesario utilizar un modelo probabilístico basado en kriging de indicadores, incluyendo la interpolación de leyes, para la estimación de la ley final de Plomo.

Softwares especializados fueron utilizados para la mayoría de los procesos del modelo, tales como: elaboración del modelo geológico, elaboración de modelos determinísticos, composición, codificación, interpolación, visualización gráfica y variografía. Programas personalizados en Fortran y Python fueron utilizados para los procesos de análisis estadístico.

ESTRATEGIA DE ESTIMACION

Se generaron compósitos a 7.5 m por el método de longitud fija y un modelo de bloques de 10x10x15 m, rotado a 45° de azimuth que coincide con la dirección estructural mayor del depósito. Sobre esta información se realizaron los análisis y cálculos, utilizando 74,241 compósitos para el estudio del Plomo.

Un threshold de 0.1% Pb fue considerado para definir los indicadores, subdividiendo así la población en alta y baja ley.

Debido a que no existe un control geológico definido para el Plomo, se elaboró un modelo probabilístico. Además, se observa valores altos de Plomo cerca del contacto entre el skarn y los metasedimentos y que decrecen más o menos sistemáticamente con la distancia hacia adentro del skarn y/o se incrementan hacia fuera del skarn o metasedimentos; por esta razón, el término Dclass o distancia por clase se introdujo como un control importante en la distribución espacial de ocurrencias del Plomo.

El modelo de bloques y los compósitos fueron codificados con los códigos Delass, teniendo en cuenta un código para cada 20 m de distancia a partir del contacto entre los metasedimentos y el skarn y considerando un código creciente positivo para distancias hacia el interior del skarn que se alejan de la caliza y un código negativo decreciente para distancias fuera del skarn o interior de la caliza, que se alejan del skarn.

La estimación final fue basada sobre 1 estimación de indicadores y 2 estimaciones para leyes denominados como:

- PBIND Estimado de indicadores en base a un threshold de 0.1% Pb
- PBLO Baja ley de Plomo para la categoría debajo del threshold (IND1=0)
- PBHI Baja ley de Plomo para la categoría por encima del threshold (IND1=1)

La ley final estimada para el Plomo (PBKR) se obtiene de la siguiente expresión:

$$PBKR = (1 - PBIND) * (PBLO) + (PBIND) * (PBHI)$$

Con el fin de obtener agrupamientos estadísticamente homogéneos y modelos de variogramas satisfactorios, fue necesario dividir el depósito en varios dominios:

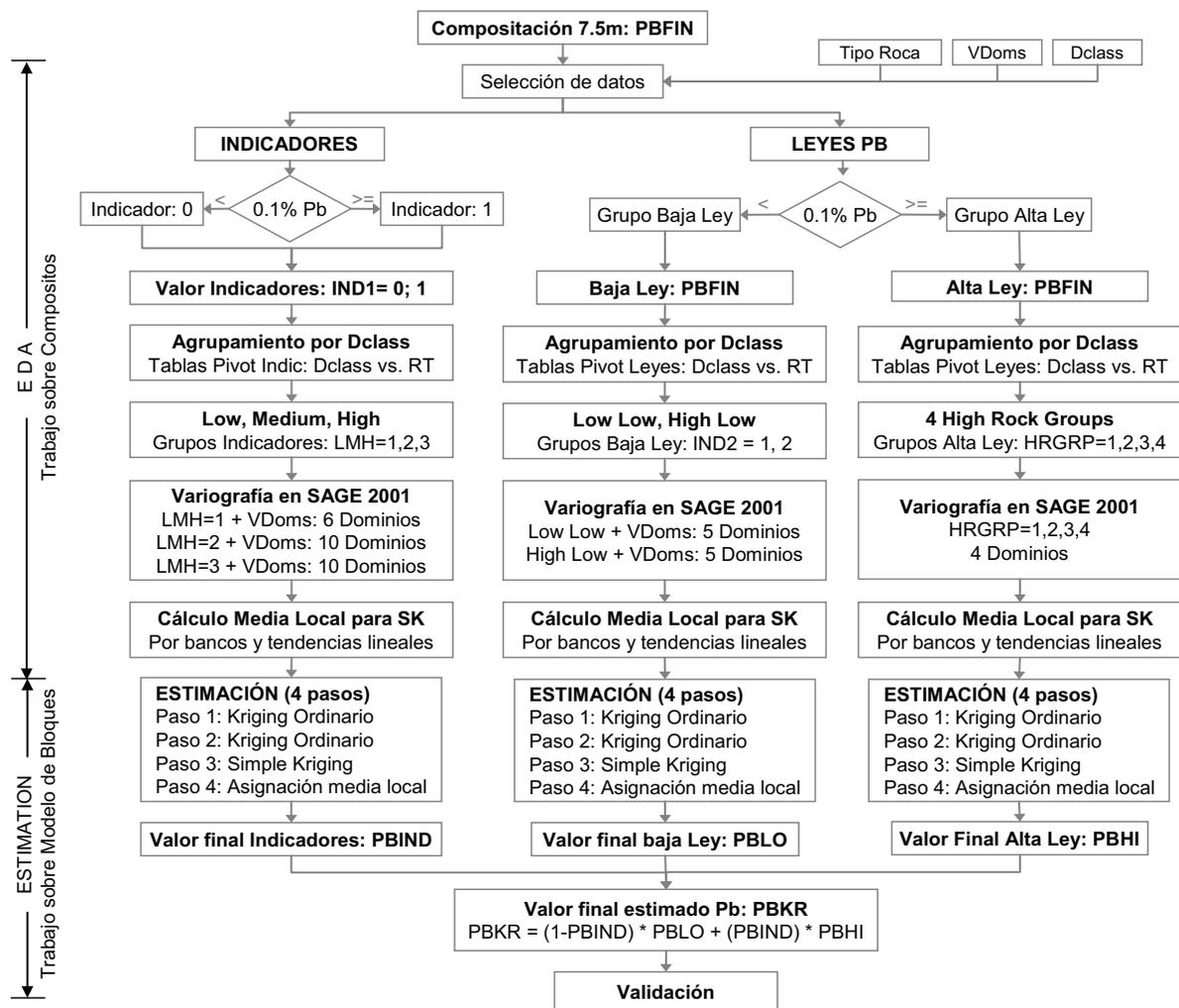
Grupos para Indicadores: 3 clases de indicadores (IND1), Low, Medium, High almacenados en la variable LMH con valores de 1, 2 y 3 respectivamente.

Grupos para Baja Ley, para la estimación del Plomo en los valores < 0.1% Pb, 2 grupos fueron referenciados como Low-Low y High-Low y que fueron almacenados en IND2 con valores de 1 y 2 respectivamente.

Grupos para Alta Ley, para la estimación del Plomo en valores $\geq 0.1\%$ Pb, 4 grupos fueron referenciados como grupos de roca para alta ley y almacenados en HRGRP con valores 1,2,3 y 4 respectivamente.

Se definieron también zonas con relativa estacionariedad y alineamientos estructurales en diferentes zonas a través del yacimiento denominadas dominios variograficos (VDoms). La superposición de estos controles, grupos y VDoms, definen los dominios para la estimación.

La siguiente figura resume en un diagrama de flujo la estrategia y el proceso de estimación para el Plomo, desde el análisis exploratorio de datos (EDA), definición de dominios, variografía, interpolación, hasta la validación de los resultados mostrando también las variables descritas.



Los resultados del EDA muestran poblaciones lognormales-asimétricas relativas a los grupos litológicos. Coeficientes de variación elevados indican una no estacionariedad con respecto a los diferentes tipos de roca. Esto soporta la idea de que las unidades litológicas por si solas no constituyen dominios para la estimación sino más bien una superposición de controles cuyas unidades puedan mostrar una menor heterogeneidad.

La variografía muestra una pobre continuidad espacial a escala local. Los variogramas muestran un alto efecto de pepita y corto alcance. Esto disminuye la predictibilidad local del modelo. En los planos y secciones se observan los parches erráticos de alta ley.

INTERPOLACIÓN

La interpolación realiza 4 pasos tanto para indicadores como para leyes.

- Paso1: Kriging Ordinario mediante un elipsoide de dimensiones (50,75,100) m.
- Paso2: Kriging Ordinario mediante un elipsoide de dimensiones (75,110,150) m.
- Paso3: Kriging Simple mediante un elipsoide de dimensiones (150,150,300) m.
- Paso4: Asignación de la media local a los bloques no interpolados.

Las medidas del elipsoide de búsqueda deben ser proporcionales a los variogramas.

Los datos se analizan por dominios, por bancos y por tendencias para determinar la media local que posteriormente será ingresado a los bloques con el fin de ser utilizados en los pasos 3 y 4 de la interpolación.

Para controlar la interpolación en dominios donde los bloques y los compósitos interactúan, fue necesario utilizar el estudio de contactos entre las diferentes rocas, tales como: suaves, firmes y duros, además, de codificar los bloques y los compósitos con los dominios previamente escogidos.

El mínimo y el máximo número de compósitos a utilizar en la interpolación, así como el máximo número de compósitos por taladro fueron 5, 8 y 2 respectivamente. No fue necesario aplicar restricción por valores altos. Estos valores provienen de estudios previos de validación cruzada variando los parámetros de interpolación, hasta hallar el menor sesgo condicional.

La orientación del elipsoide de búsqueda varía con cada dominio. Sin embargo, los ejes del elipsoide estuvieron alineados con la interpretación de la dirección de mayor continuidad.

Los bloques que fueron interpolados en los pasos 1 y 2 se encuentran en áreas de menor espaciamiento entre las perforaciones. Bajo estas condiciones los datos más cercanos a los bloques suelen tener alta correlación, entonces el Kriging Ordinario resulta más adecuado.

VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Se genera una serie de comparaciones sobre el rango del depósito con mayor concentración de taladros (pasos 1 y 2). Esto constituye el conjunto de datos importante para realizar la calibración del modelo de bloques.

Para determinar las variaciones locales y validar los resultados de la estimación obtenida, frente a otros métodos existentes, es necesario generar un modelo de bloques de 10x10x7.5 m. Sobre este modelo se interpola los indicadores y las leyes por el método del vecino más cercano (Nearest Neighbor o NN), el cual utiliza 150 m de radio de búsqueda en un solo paso debido a que la validación se realiza en los pasos 1 y 2 de la estimación y esta tiene como máximo una influencia de 150 m. Este método refleja la distribución local de los datos desagrupados.

La ley final estimada para el Plomo (PBNN) por este método es obtenida de manera similar:

$$PBNN = (1 - NNIND) * (LONN) + (NNIND) * (HINN)$$

Los resultados del modelo krigado, del NN y los compósitos son comparados en gráficos comparativos, cuadros estadísticos y posteriormente en forma visual en secciones verticales y en plantas.

Los resultados muestran generalmente una concordancia entre ambos modelos. Cuando existen diferencias significativas entre los compósitos y el modelo krigado, los valores del NN están más cerca de los valores krigados. Esto puede significar el agrupamiento de los datos de compósitos.

El análisis estadístico, muestra poblaciones más suavizadas y más simétricas en el modelo krigado comparado con el modelo NN. Las medias globales se corresponden para ambos modelos. La diferencia global entre los valores del NN y los valores estimados es inferior al 3%. Además todas las unidades litológicas, excepto el Exoskarn Diópsido muestran menos del 2% de diferencia relativa.