

ESTIMACION GEOESTADISTICA DEL MOLIBDENO EN ANTAMINA

Hamilton Matías D. & Lucio Canchis P.

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

RESUMEN

El Molibdeno es considerado un subproducto para Antamina, y su contribución para la rentabilidad es calculada dentro del valor por hora del mineral (OVPHR) del sistema de valuación de Antamina. El Molibdeno es encontrado en relativas altas concentraciones en algunas partes del yacimiento, dichas concentraciones de Molibdeno son controladas por estructuras y tipos de roca y varía a través del depósito. Debido a su implicancia económica en la definición del mineral la estimación de leyes de Mo requiere un procedimiento que controle la distribución de las leyes altas y evitar el suavizamiento hacia zonas estériles.

Gracias a extensas campañas de perforación, el conocimiento de la distribución del Molibdeno en el depósito ha sido considerablemente incrementado. Para la estimación de leyes se ha decidido usar un modelo determinístico siguiendo controles tanto litológicos como estructurales. El valor threshold que separa las zonas de alta ley con las de baja ley es 0.02% Mo que a su vez define un threshold económico. El modelo determinístico de Molibdeno es un eficaz control de la sobreestimación o mezcla de leyes altas con leyes bajas especialmente dentro del núcleo intrusivo. Una comparación con el modelo del vecino más próximo indica la efectividad en la estimación y la carencia de sesgo global. Se presenta la metodología de estimación y los resultados de la validación del método que comprueban su eficacia.

INTRODUCCIÓN

El Molibdeno es uno de los metales con la mayor continuidad vertical, alrededor de 1,000m de profundidad. Esta continuidad es confirmada por la perforación profunda y por la interpretación de la zona de alta ley mostrada en la Figura 1-1.

La perforación profunda muestra la expansión de corredores dentro de zonas de aproximadamente 100 m de ancho en el intrusivo en ambos lados del depósito. Este material típicamente presenta leyes bajas en cobre, menores a 0.3%. En particular, el tipo de roca Endoskarn de Granate Rosa es favorable para la mineralización de Molibdeno con valores mayores a 0.1% Mo. Las leyes más altas (>0.1% Mo) son encontradas en el área del tajo pero no en la zona de Usupallares. Las zonas de Exoskarn y de Brechacion Enriquecida presentan leyes más bajas, mientras que la Caliza-Mármol y Hornfels son considerados estériles para el Molibdeno (<0.001% Mo). Debido al zonamiento metálico vertical, Antamina se convertiría gradualmente de una operación de Cobre-Zinc a una operación predominante de Cobre-Molibdeno.

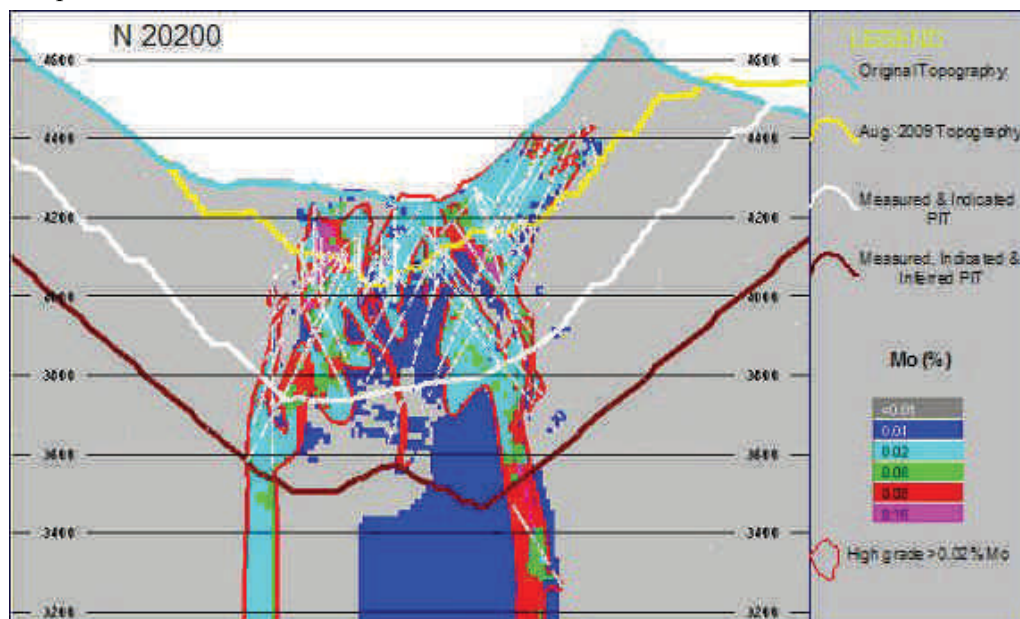


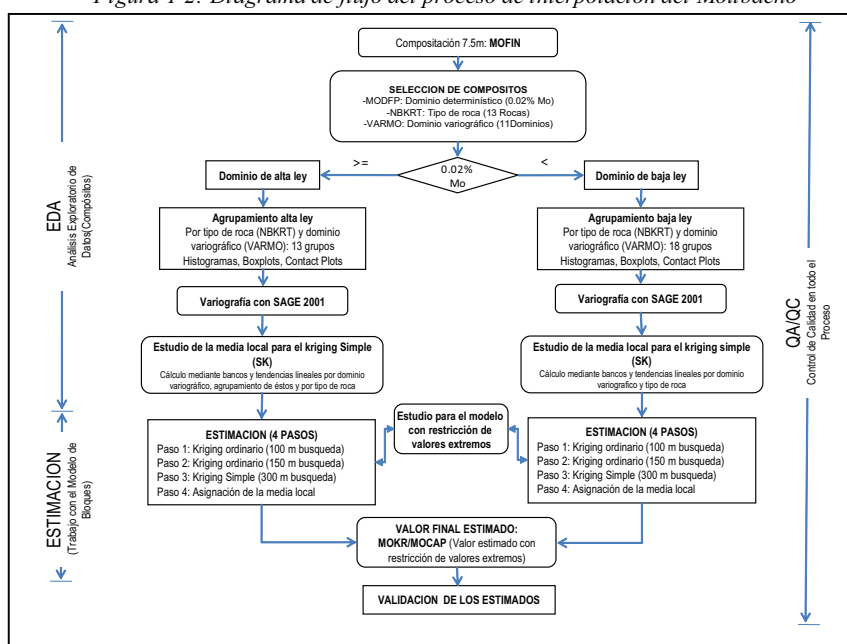
Figura 1-1: Sección mostrando el modelo determinístico (línea roja) definiendo la zona de alta ley de Mo

PROCESO DE ESTIMACIÓN

La primera etapa fue la de compositar las muestras a 7.5 m por el método de distancia fija y asignando el código de roca por mayoría dentro del segmento compositado, obteniéndose un total de 74,248 compósitos. Las leyes de molibdeno también fueron compositadas en los mismos intervalos. Con los compósitos obtenidos se elaboró el modelo determinístico del molibdeno en secciones Norte, Este y vistas de Planta usando un threshold de 0.02% Mo. Obtenido el modelo determinístico se procedió a codificar los bloques y compósitos con los polígonos de las vistas de planta, para de esta manera obtener las zonas de alta ley tanto en bloques como en compósitos. Para la definición de los parámetros de estimación se desarrollan las siguientes tareas:

- Análisis Exploratorio de Datos (EDA)
 - Histogramas y diagramas de probabilidad: ayuda en la definición de grupos de estimación por similitudes poblacionales y define los valores anómalos
 - Diagramas de cajas: visualiza las similitudes en las poblaciones de manera global
 - Diagramas de contactos: ayuda a establecer la estrategia de mezcla de compósitos entre diferentes unidades litológicas
 - Variografía de leyes: mediante grupos de estimación establece los parámetros del kriging propiamente dicho
 - Estudio de la media local: proporciona los valores medios a ser usados en el kriging simple y la asignación global cuando no existen suficientes muestras
- Estudio de la restricción de valores extremos en la estimación: en la estimación se restringe el uso de leyes extremas hasta una distancia de 30m. El valor extremo es mayor o igual al valor obtenido en los diagramas de probabilidad a un percentil de 98% para cada tipo de roca.
- Modelamiento e interpolación del modelo geoestadístico de molibdeno
 - Compositación a una distancia fija de 7.5 m de los ensayos
 - Codificación de los compósitos con los tipos de contactos Suave-Firme-Duro (Matriz SFH) e importadas en MineSight®, para controlar la interpolación y no mezclar leyes altas y dentro de zonas con baja ley.
 - Asignación de las leyes de medias locales
 - Interpolación: Tres pasos de kriging sin restricción (variable MOKR) con elipsoide de búsqueda de: 100, 150 y 300 m [SC1], proporcionales a los alcances de los variogramas, y un paso de asignación de media local.
 - Interpolación: Tres pasos de kriging con restricción de valores extremos (variable MOCAP) con elipsoide de búsqueda de: 100, 150 y 300 m y un paso de asignación de media local.
 - Interpolación: Un paso de estimación con el método del Nearest Neighbor (variable MONS) con elipsoide de búsqueda de 300 m.

El proceso de estimación para el Molibdeno se resume en la Figura 1-2 [SC2].
 Figura 1-2: Diagrama de flujo del proceso de interpolación del Molibdeno



PROCESO DE VALIDACIÓN

Como parte final de la estimación, después del proceso de interpolación, todos los estimados necesitan ser validados y verificar si realmente éstos guardan la relación con los valores obtenidos con los ensayos de las campañas de perforación, para ello los valores obtenidos con el método del Kriging sin restricción son comparados con los compósitos y el modelo estimado mediante el método de Nearest Neighbor sin restricción, para ello se cumple con el siguiente proceso:

- Validación del modelo geoestadístico de estimación
 - Tabla comparativa entre compósitos, estimados del Kriging sin restricción y estimados con el método del Nearest Neighbor sin restricción para los pasos 1 y 2, Tabla 1-1.
 - Histogramas y diagramas de probabilidad de los estimados MOKR y MONS
 - Diagramas de cajas de los Estimados MOKR y MONS
 - Diagramas de contactos de los estimados MOKR y compósitos
 - Diagramas Swath de los estimados MOKR, MONS y compósitos
 - Validación por el cambio de soporte Hermitiano (Herco)
 - Histogramas para las residuales entre el paso 3 y las medias locales

Tabla 1-1: Comparación del estimado de Mo y el modelo Vecino Más Próximo (Nearest Neighbor) (SC3)

Tipo de Roca	7.5m Compósitos (MOFIN)			Modelo krigado (MOKR)			Modelo del vecino mas cercano (MONS)			%Dif. Rel. KR-NS
	Cantidad	Promedio (Media Mo %)	Coefficiente de Variación (CV)	Cantidad	Promedio (Media Mo %)	Coefficiente de Variación (CV)	Cantidad	Promedio (Media Mo %)	Coefficiente de Variación (CV)	
Intrusive	11,115	0.0530	0.8409	108,879	0.0552	0.5786	217,758	0.0542	0.8088	1.81
LS/M	97	0.0389	0.7608	650	0.0383	0.3109	1,300	0.0349	0.6033	8.88
Hfls	1	0.0294	0.0000	0	0.0000	0.0000	0	0.0000	0.0000	--
Cafe Endo	6,364	0.0481	0.9350	62,715	0.0463	0.5222	125,430	0.0467	0.9402	-0.86
Rosa Endo	4,653	0.0874	1.3168	43,701	0.0830	0.7801	87,402	0.0830	1.2555	0.00
CVExo	1,217	0.0460	0.9848	9,112	0.0457	0.4686	18,224	0.0453	0.9140	0.88
VExo	476	0.0410	0.7233	3,557	0.0431	0.3799	7,114	0.0444	0.7447	-3.02
DiopExo	300	0.0501	0.9126	2,402	0.0512	0.4519	4,804	0.0550	0.8443	-7.42
CWolExo	107	0.0526	1.4913	903	0.0550	0.4863	1,804	0.0607	1.1190	-10.36
VWolExo	346	0.0465	1.4394	2,470	0.0542	0.6522	4,940	0.0506	1.2412	6.64
EBxCEndo	1,815	0.0438	1.0674	6,297	0.0467	0.6652	12,594	0.0448	1.0140	4.07
EBxExo	238	0.0427	0.7522	507	0.0447	0.3926	1,014	0.0439	0.7870	1.79
EBxREndo	256	0.0537	0.8227	990	0.0493	0.5531	1,980	0.0492	0.7974	0.20
EBxInt	226	0.0385	1.1575	932	0.0388	0.4687	1,864	0.0380	0.9822	2.06
All	27,211	0.0562	1.1477	243,115	0.0569	0.7023	486,228	0.0566	1.0759	0.53

Se verifica la eficacia en la estimación del molibdeno usando el método determinístico con kriging ordinario. Nótese que las diferencias entre los estimados (MOKR) y el modelo del Vecino Más Próximo (NN) son menores al 10% en la mayoría de las unidades.