

MODELAMIENTO DE RECURSOS EN EL DOMO: YACIMIENTO VMS TIPO KUROKO (CU-ZN-AU-AG-PB), ECUADOR

Hamilton Matías 1, Gustavo Calvo 1, Rodrigo Uribe 1, Flor Rojas 1 y Francisco Soria 2

(1) Buenaventura Ingenieros S.A., Larrabure y Unanue 146, Jesús María, Lima, Perú

(2) Salazar Resources Limited, 10 de Agosto N37-232, Quito, Ecuador

RESUMEN

El Domo, proyecto desarrollado por Salazar Resources Ltd, es el yacimiento de sulfuros masivos volcanogénicos (VMS), rico en oro, más grande de la Cordillera Occidental del Ecuador. La mayor parte de la mineralización se desarrolla en grandes lentes estratoligados en el contacto entre un complejo de domos riódacíticos y flujos volcanoclasticos de la Unidad Macuchi (Eoceno). La mineralización, masiva a semimasiva, diseminada y en stockwork, consiste de pirita, calcopirita, esfalerita, con contenidos variables de galena, bornita, tennantita, estromeyerita y proustita (Uribe et al, 2014). BISA ha completado el modelamiento geológico 3D del yacimiento y la estimación de recursos como parte de un Estudio Conceptual NI 43-101 (Calvo y Jonsthor, 2014). La estimación observa la interpretación de un total de 168 sondajes diamantinos (31,770 m) perforados en cuatro campañas durante el periodo 2007-2012, hasta completar una malla aproximada de 50x50m. El modelo geológico 3D considera nueve unidades litológicas, dos dominios estructurales, y los modelos determinísticos de Cu, Zn, Au y Pb. Para la interpolación se utilizaron las técnicas de Kriging Ordinario e Inverso a la Distancia. Además se utilizó un modelo de bloques sub-celda con re-bloqueo (regularización) posterior a un modelo estándar. A modo de control se han realizado procesos de validación durante el manejo de la data, el modelamiento geológico y la estimación de recursos, además de otras verificaciones rutinarias. Los recursos Cu-Zn-Au-Ag-Pb estimados en El Domo consideran dos categorías: Mineral Indicado: 6.080 millones de toneladas con una ley promedio de 2.33% Cu, 3.06% Zn, 0.28% Pb, 2.99 g/t Au, y 55.81 g/t Ag, y Mineral Inferido: 3.882 millones de toneladas con una ley promedio de 1.56 % Cu, 2.19% Zn, 0.16 % Pb, 2.03 g/t Au, y 42.92 g/t Ag; aplicando un cutoff de NSR (Net Smelter Return) de US\$30 por tonelada para las cuatro unidades mineralizadas (VMS, Grainstone, Brecha y Yeso).

INTRODUCCIÓN

BISA ha llevado a cabo el modelamiento geológico 3D y la estimación de recursos del yacimiento de sulfuros masivos volcanogénicos Cu-Zn-Au-Ag-Pb de El Domo, ubicado en las provincias de Los Rios y Bolivar (Ecuador). La actualización del modelo de recursos del 2011 (Lavigney McMonnies, 2011) se ha desarrollado en dos etapas (Figura 1). Como paso previo de las mismas, se ha llevado a cabo la validación de la data geológica y geoquímica de 168 sondajes diamantinos (31,770 m) que generaron un total de 7,736 muestras.

1. **Modelamiento Geológico 3D:** incluye la construcción de sólidos de las nueve unidades litológicas descritas, considerando dos dominios estructurales, y los dominios determinísticos de los principales metales, con los siguientes umbrales (*thresholds*): Cu ($\geq 0.3\%$), Zn ($\geq 0.3\%$), Au ($\geq 0.2\text{g/t}$) y Pb ($\geq 0.05\%$), considerando la continuidad en las cuatro unidades mineralizadas (VMS, Grainstone, Brecha y Yeso).
2. **Estimación de Recursos:** de los elementos Cu, Zn, Pb, Au y Ag. Incluye el análisis exploratorio de data, análisis de tendencias espaciales con variografía, desarrollo de estrategias de interpolación con las técnicas de Kriging Ordinario y/o del Inverso a la Distancia, validación de estimados, y finalmente, la clasificación de recursos.

MODELAMIENTO DE RECURSOS - EL DOMO

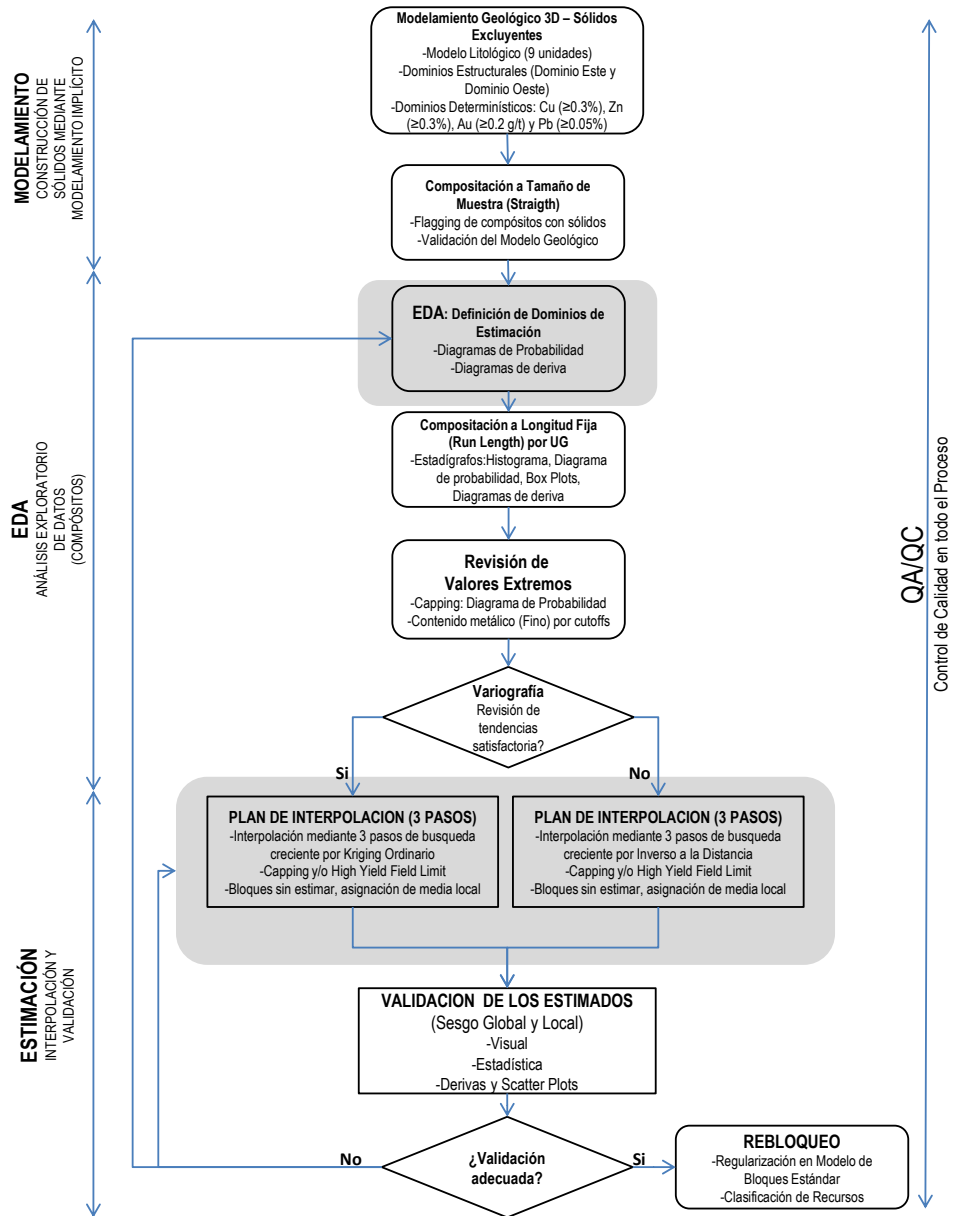


Figura 1. Proceso de Estimación de Recursos en El Domo

MODELAMIENTO GEOLÓGICO 3D

El modelamiento geológico 3D de El Domo se realizó de manera implícita con la data generada por 168 sondajes, con el software Leapfrog, utilizando la continuidad espacial de la interpretación del depósito entregada por Salazar. El modelo incluye nueve unidades litológicas y dos dominios estructurales: Dominio Este y Dominio Oeste; Además se construyeron dominios determinísticos de Cu ($\geq 0.3\%$), Zn ($\geq 0.3\%$), Au ($\geq 0.2 \text{ g/t}$) y Pb ($\geq 0.05\%$). La validación del modelo geológico, se llevó a cabo tomando en cuenta la reproducibilidad de la interpretación geológica y la comparación de intervalos registrados con los sólidos generados, empleando para ello compositos a tamaño de muestreo (Figura 2).

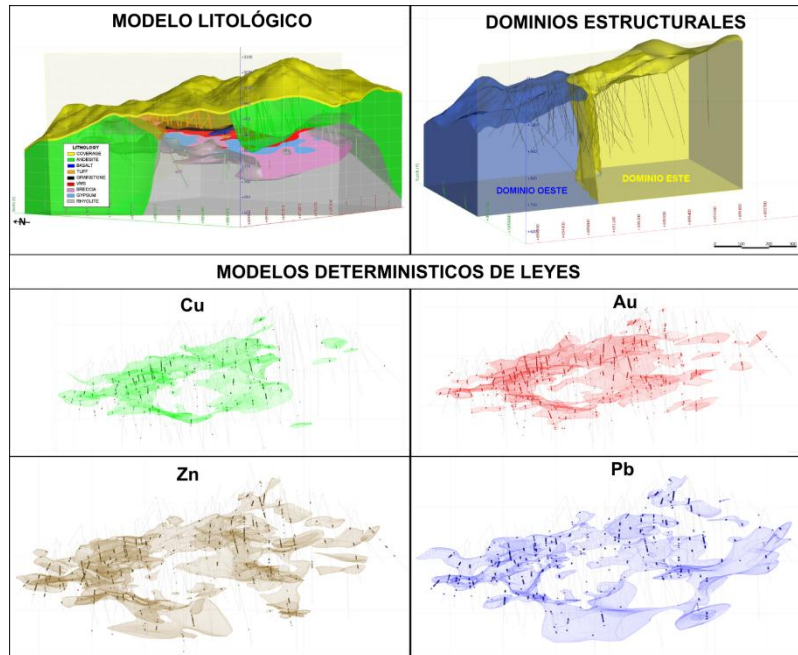


Figura 2. Controles geológicos utilizados durante el proceso de modelamiento

ESTIMACIÓN DE RECURSOS

El proceso de estimación de recursos se inicia con la definición de los “Dominios de Estimación” denominados UG. Durante el análisis exploratorio de datos se empleó la codificación usada en los compósitos a tamaño de muestreo desde los sólidos generados en el modelamiento geológico 3D. La definición de las UG se realizó usando estadígrafos (diagramas de probabilidad, histogramas) y análisis espaciales con diagramas de deriva.

Posteriormente a la definición de las UG por cada elemento metálico, se realizó una compositación a longitud fija, regularizándose las muestras a compósitos de 1.25 m y quebrándolos en la frontera de cada dominio de estimación. A continuación, se prepararon un conjunto de gráficos estadísticos para cada UG usando los compósitos. La revisión de tendencias por variografía (correlogramas inversos estandarizados a la unidad) fue realizada para cada UG. En los casos donde fue posible generar un correlograma adecuado se tomaron los parámetros (pepa, alcances, rotaciones y mesetas) para ser utilizados durante la interpolación, usando la técnica de Kriging Ordinario; en caso contrario, se empleó la técnica del Inverso a la Distancia y/o asignación de la media local.

La restricción de valores extremos de los metales fue estudiada con diagramas de probabilidad y gráficos de contenido metálico por leyes de corte; los valores establecidos fueron aplicados directamente durante la interpolación, utilizando *capping* y también restricción de valores extremos a una distancia dada (*High Yield Field Limit*). El proceso de interpolación fue realizado mediante una estrategia de radios de búsqueda creciente en tres pasadas. El proceso de validación de estimados se llevó a cabo de manera interactiva durante la estimación en cada pasada de cada UG. El proceso de validación considera: 1) validación visual de estimados comparados con los compósitos; 2) validación estadística de estimados y compósitos para cada UG; 3) validación con diagramas de deriva por cada UG; y 4) validación de estimados y compósitos con diagramas *scatter* (Figura 3).

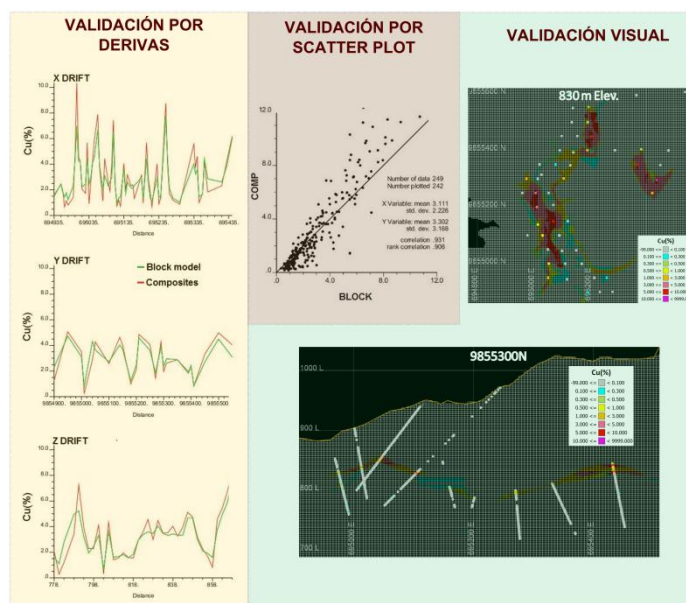


Figura 3. Técnicas de Validación para cada UG de los metales estimados (e.g. UG01 de cobre)

La clasificación de recursos en El Domo (Tabla 1) se ha realizado tomando en cuenta la continuidad espacial de Cu y Zn en las cuatro unidades mineralizadas, utilizando para ello los parámetros almacenados en los bloques durante la interpolación: 1) Paso en el que fue interpolado el bloque; 2) Número de sondajes que aportan compósitos al bloque estimado; 3) Número total de compósitos utilizados para estimar el bloque y 4) La distancia promedio ponderada por el peso del interpolador.

Tabla 1. Depósito El Domo – Recursos Minerales Estimados (cutoff de NSR de US\$30 por tonelada)

Unidades Mineralizadas	Categoria	Tonelaje	Copper	Zinc	Plomo	Oro	Plata
		(Mt)	(%)	(%)	(%)	(g/t)	(g/t)
VMS	Indicado	5.468	2.52	3.27	0.3	3.23	59.19
Grainstone	Indicado	0.216	0.92	1.01	0.12	1.09	27.91
Brecha	Indicado	0.345	0.49	1.33	0.13	0.76	26.91
Yeso	Indicado	0.051	0.94	0.39	0.03	0.34	7.4
Total Indicado		6.08	2.33	3.06	0.28	2.99	55.81
VMS	Inferido	3.093	1.75	2.59	0.19	2.38	49.45
Grainstone	Inferido	0.17	0.96	0.69	0.1	1	19.24
Brecha	Inferido	0.37	0.53	0.83	0.07	0.78	24.89
Yeso	Inferido	0.249	1.13	0.26	0.01	0.27	4.8
Total Inferido		3.882	1.56	2.19	0.16	2.03	42.92

Notas:

- Las definiciones del CIM (Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum) fueron seguidas para la estimación de recursos.
- Los Recursos Minerales Estimados son basados en el modelamiento geológico 3D para el depósito tipo VMS El Domo. Cuatro unidades mineralizadas con un cutoff de NSR de US\$30 por tonelada son considerados como recursos minerales.
- Los precios de los metales usados son: US\$2.95/lb Cu, US\$0.91/lb Zn, US\$0.91/lb Pb, US\$1,200/oz Au, and US\$20.00/oz Ag
- Los Factores de Recuperación Metalúrgica asumidos se basan en tres tipos minerales definidos por el ratio metálico Cu/(Zn+Pb):
 Mineral de Zinc $Cu/(Pb+Zn) < 0.3$: 15% Cu, 90% Zn, 40% Pb, 50% Au y 65% Ag
 Mineral Mixto $0.3 \leq Cu/(Pb+Zn) \leq 3$: 75% Cu, 50% Zn, 0% Pb, 55% Au y 65% Ag
 Mineral de Cobre $Cu/(Pb+Zn) > 3.0$: 90% Cu, 0% Zn, 0% Pb, 30% Au y 40% Ag
- Se asumieron términos estándares para la industria de fundición.
- La densidad aparente (bulk density) fue estimada en base a determinaciones de gravedad específica para cada unidad litológica.

REFERENCIAS

1. Calvo, G. and Jonsthor, A. (2014) Curipamba Project - El Domo Deposit Preliminary Economic Assessment, Central Ecuador, Salazar Resources. pp. 355.
2. Lavigne, J., and McMonnies, E. (2011) Technical Report on the Curipamba Project, Ecuador, RPA, Salazar Resources, pp. 166.
3. Uribe, R., Tornos, F., Calvo, G., Matias, H., Rojas, F., Soria, F. (2014) Volcanic Stratigraphy and Geological Setting of the El Domo VMS Deposit, Ecuador, XVII Congreso Geológico Peruano. pp. 4.