

Validación de correlación de cu, au de sondajes históricos mediante la conciliación con planta

Ronald Juarez Diaz

ronald.juarez@unmsm.edu.pe

Alumno UPG -FIGMMG- UNMSM.
Av. Venezuela S/N Cuadra 34 Ciudad Universitaria
Lima - Perú.

Jaime César Mayorga Rojas

jaime.mayorga@unmsm.edu.pe

Docente UPG -FIGMMG- UNMSM.
Av. Venezuela S/N Cuadra 34 Ciudad Universitaria
Lima - Perú.

RESUMEN

El incremento de recursos minerales es fundamental en toda operación minera, para el caso de estudio se buscó identificar nuevos recursos minerales en niveles antiguos, donde se tiene información antigua de sondajes diamantinos que en muchos casos no cuenta con análisis por todos los elementos.

Se clasificó la información por dominios, donde se buscó una correlación entre los elementos Cu, Au y Ag, realizando los análisis de regresión se obtuvo las ecuaciones para cada dominio y cada elemento. Luego de obtener los valores ausentes por regresión, se procedió a realizar las estimaciones de estos recursos minerales en los niveles antiguos y se realizó una validación por medio de la conciliación con planta.

El resultado que se obtuvo fue de un factor de conciliación de 89% el cual se encuentra dentro de los valores aceptables, generando una disminución de costos respecto a la ejecución de nuevos sondajes diamantinos y una mejor utilización a la información histórica que se tiene del yacimiento.

Palabras clave: validación; sondajes; conciliación

Correlation validation of cu, au of historical drills through the conciliation with plant

ABSTRACT

The increase in mineral resources is fundamental in every mining operation, for the case study it was sought to identify new mineral resources at old levels, where there is old information on diamond drilling that in many cases does not have analysis for all elements.

The information was classified by domains, where a correlation was sought between the elements Cu, Au and Ag, performing the regression analysis, the equations were obtained for each domain and each element. After obtaining the missing values by regression, we proceeded to make the estimates of these mineral resources at the old levels and a validation was carried out through the reconciliation with the plant.

The result obtained was a reconciliation factor of 89% which is within acceptable values, generating a reduction in costs with respect to the execution of new diamond drillings and a better use of the historical information available on the deposit.

Keywords: validation; soundings; conciliation

Artículo recibido: 10 Setiembre. 2021

Aceptado para publicación: 15 Octubre. 2021

Correspondencia: ronald.juarez@unmsm.edu.pe

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

1. INTRODUCCION

En el Perú tenemos muchas minas las cuales tienen la clasificación de antiguas por tener ya más de 15 años o más

de vida, la información con la que se cuenta de estas minas de sondajes y canales es un acumulado de varios años, que se pudieron haber realizado en diferentes campañas, bajo objetivos diferentes y quizá solo teniendo en cuenta el análisis por un solo elemento mineral debido al conocimiento geológico o contexto económico.

Con la aplicación de la geoestadística para mejorar la estimación de recursos, se implementa herramientas con el fin de poder predecir con mayor exactitud las leyes minerales, tomando en cuenta la relación que poseen los elementos entre uno o más elementos, tenemos el caso de predecir los resultados de un elemento B (Au) a través de un elemento A (Cu), esto bajo el mejor análisis de los dominios que se podrían tener en un yacimiento que estarán relacionados a litología, alteración y mineralización.

La apropiada definición de los dominios de estimación es tarea importante en la evaluación de recursos. El mezclar las poblaciones dentro del depósito producirá generalmente un estimado de recursos subestándar que subestime o sobreestime leyes y tonelajes. Es muy raro que alguna técnica geoestadística compense la pobre definición de estacionariedad. Una buena definición de dominios de estimación significa que sólo se deben usar las muestras relevantes para estimar cada ubicación (Rossi & Deutsch, 2014).

La reconciliación se puede dividir en etapas, cada etapa representa el desempeño de una operación minera, tales como: estimación a largo plazo, estimación a corto plazo, planificación, minería y procesamiento de minerales (Chierigati et al., 2011). En este caso veremos en una operación minera que por lo general tiene información de sondajes recientes y antiguos; un porcentaje de esta información no cuenta con análisis por todos los elementos. Uno de los criterios para validar si existe la corrección de un elemento A y un elemento B, es la reconciliación de estos resultados obtenidos y determinar si estos datos son confiables. El fin será poder evaluar si pueden ingresar estas reservas en un plan de producción con estas leyes obtenidas mediante correlación y la reducción de costos en perforación diamantina.

2. MARCO TEORICO

2.1 Regresión Lineal

La curva de regresión representa el promedio de la variable “y” para un valor de “x”. En general $m(x)$ es una función de “x”. Si esta función es una recta se dice que la regresión es lineal (Alfaro M. et al., 2017). Cuando no existe correlación entre “x” e “y”, la curva de regresión es una constante (Fig. 1).

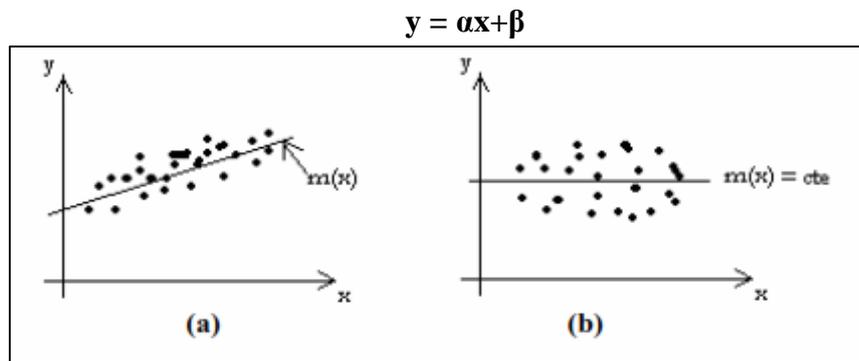


Fig. 1 Grafica de correlación (Fuente: Alfaro M).

2.2 Estimación de Recursos

Todo recurso tiene que estar soportado por un conocimiento geológico del yacimiento y la información (data); la cual será utilizada como sustento de estos recursos y posteriores reservas generadas (JORC et al., 2012). A continuación, se detalle las definiciones y el diagrama de la categorización de recursos y reservas (Fig. 2).

Recurso Mineral: Es una concentración natural de algún elemento o compuesto de la corteza terrestre, que puede ser extraído o procesado con los medios tecnológicos disponibles.

Reserva Mineral: Es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido o indicado. En el que se han realizado estudios técnicos y económicos que justifican su extracción.

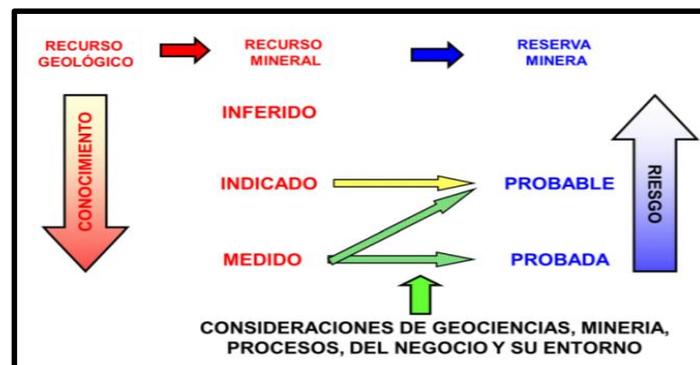


Fig. 2 Se tendrá una mayor clasificación entre más información se tenga del recurso-reserva (Fuente: JORC).

Para esto todo recurso y posterior reserva deberán cumplir los requerimientos de los códigos internacionales (JORC, NI 43-101, etc). El objetivo de estos códigos es validar la información que se entrega en términos de tonelaje y ley a la operación minera; para la producción a corto, mediano y largo plazo.

2.3 Reconciliación

La verificación, validación y reconciliación deben asegurar una consistencia interna del modelo, así como la reproducción de la producción anterior si hubiera. Algunas de las verificaciones más básicas son:

- El promedio global del modelo debe coincidir con el promedio de la distribución de los datos desagrupados, es necesario que esta verificación se realice por cada dominio de estimación.
- Las relaciones espaciales y estadísticas entre las variables modeladas tienen que corresponder con las relaciones observadas en el conjunto de datos originales.
- Los estimados deben ser comparados con estimados anteriores. Esto se debe hacer con cautela y considerando las diferencias en la cantidad y calidad de datos, así como también, la metodología usada para el estimado de recursos diferente.

Se debe realizar una reconciliación de la producción pasada basada en volúmenes de interés predefinidos y de acuerdo con criterios específicos de aceptación de error. Adicionalmente, la producción puede proporcionar una indicación inicial de la incertidumbre esperada del modelo de recursos. Esta incertidumbre esperada debe ser expresada en la forma clásica de “within x% confidence limit p% of the time” (Rossi & Deutsch, 2014).

En una operación minera, la conciliación de leyes es la comparación entre los valores de la ley estimada calculada en la etapa de exploración y la ley real obtenida a partir de datos más confiables, como muestras de sondajes (Parhizkar et al., 2012). En la (Fig. 3) se muestra el rango de relaciones de reconciliación que se deben considerar en la mayoría de las operaciones mineras (Morley, C. 2003).

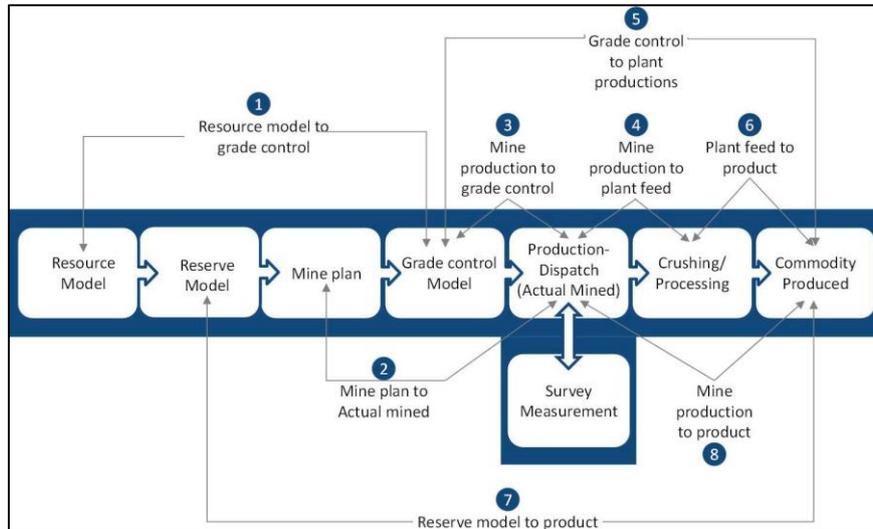


Fig. 3 Reconciliación a lo largo de la cadena de valor de la minería que describe una variedad de comparaciones que ocurren comúnmente (Morley, C. 2003).

3 CORRELACION DE LEYES

3.1 Análisis exploratorio de datos

La geoestadística busca estudiar una o varias variables regionalizadas conocidas vía una toma de muestra. Previo al uso de métodos geoestadísticos propiamente tal, conviene realizar un estudio exploratorio de los datos disponibles (Emery M, 2007). Una vez definidos los dominios a utilizar, su aplicación en datos nuevos puede ser realizada en base a las proporciones de variables geológicas asociadas a cada dominio (Rosales, 2014). Se debe identificar los dominios para tener un mejor análisis de la correlación de elementos, tomando en cuenta características litológicas, alteración y mineralización. A continuación, se muestra el análisis exploratorio de datos el cual se realizó tomando en cuenta los dominios que se identificaron; para posteriormente realizar el análisis de correlación y la ecuación que se utilizara para determinar las leyes de los tramos ausentes.

Tabla 1. Análisis exploratorio de datos por dominios y elementos, Min/Max: Ley mínima y máxima; VAR: Varianza; STD: Desviación Estándar; CV: Coeficiente de Variación

Fuente: Elaboración propia.

ELEMENTOS	DOMINIOS	#MUESTRAS	MIN	MAX	VARIANZA	STD	CV
Cu	DOMINIO 1	70173	0.01	10.90	0.09	0.30	3.34
	DOMINIO 2	41931	0.01	8.35	0.16	0.39	2.17
	DOMINIO 3	36276	0.01	10.89	0.12	0.35	2.56
	DOMINIO 4	23902	0.01	6.90	0.16	0.39	3.26
Au	DOMINIO 1	70173	0.01	3.65	0.02	0.12	3.56
	DOMINIO 2	41931	0.01	3.85	0.10	0.31	2.23
	DOMINIO 3	36276	0.01	8.89	0.18	0.43	4.25
	DOMINIO 4	23902	0.01	0.90	0.01	0.08	2.39
Ag	DOMINIO 1	70173	0.50	139.90	8.33	2.89	2.63
	DOMINIO 2	41931	0.50	89.85	7.55	2.75	2.07
	DOMINIO 3	36276	0.50	85.80	5.80	2.41	2.08
	DOMINIO 4	23902	0.50	39.90	6.92	2.63	1.46
Fe	DOMINIO 1	70173	0.01	40.24	6.51	2.55	1.58
	DOMINIO 2	41931	0.01	34.85	5.28	2.30	1.50
	DOMINIO 3	36276	0.01	43.89	18.52	4.30	1.60
	DOMINIO 4	23902	0.01	39.90	11.74	3.43	1.53

Sin embargo, es necesario ajustar los histogramas y el resumen estadístico para que sean representativas de todo el volumen de interés (Deutsch, C. 2016).

3.2 Análisis de Regresión

Con el análisis por dominios se pudo identificar que existe una buena, regular y baja correlación entre los elementos Cu, Au, Ag y Fe (Fig. 4), tomando estos resultados se procede a determinar la ecuación para obtener los valores de Au a través de la variable Cu.

DOMINIO 1					DOMINIO 2				
	Cu	Au	Ag	Fe_ %		Cu	Au	Ag	Fe_ %
Cu	1.00				Cu	1.00			
Au	0.85	1.00			Au	0.89	1.00		
Ag	0.79	0.26	1.00		Ag	0.68	0.31	1.00	
Fe_ %	0.29	0.11	0.11	1.00	Fe_ %	0.28	0.12	0.21	1.00
DOMINIO 3					DOMINIO 4				
	Cu	Au	Ag	Fe_ %		Cu	Au	Ag	Fe_ %
Cu	1.00				Cu	1.00			
Au	0.92	1.00			Au	0.72	1.00		
Ag	0.76	0.21	1.00		Ag	0.66	0.17	1.00	
Fe_ %	0.24	0.17	0.20	1.00	Fe_ %	0.23	0.15	0.14	1.00

Fig. 4 De las correlaciones obtenidas podemos indicar que se tiene una buena: rojo; regular: amarillo y baja: verde (Fuente: Elaboración propia).

Se tomo en cuenta la regresión lineal como ecuación para determinar las leyes de Au para este caso y se determinó las ecuaciones para cada dominio (Fig. 5).

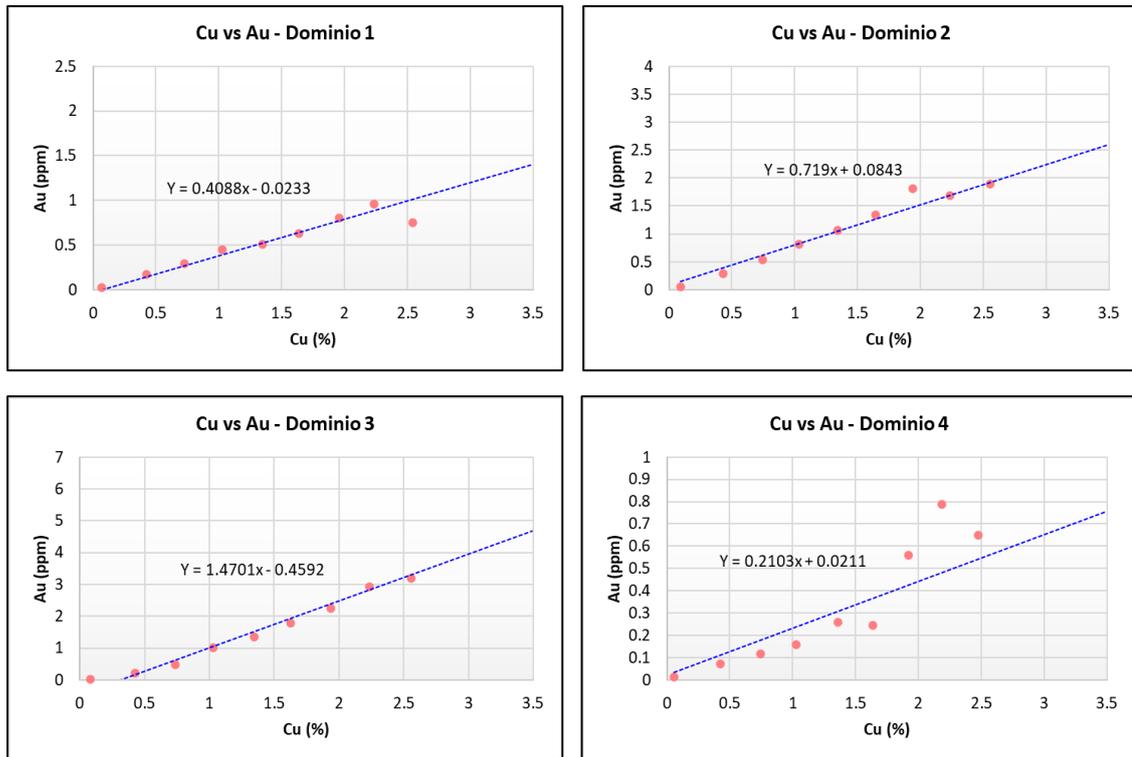


Fig. 5 Ecuaciones para cada determinar la variable “y” (Au) en cada dominio (Fuente: Elaboración propia).

Entonces para realizar la estimación de recursos se procedió a determinar las leyes de Au en tramos donde no se tenía los resultados por este elemento (Fig. 6); posteriormente se evaluó la confiabilidad de estos resultados realizando reconciliaciones entre la ley programa y el resultado en planta.

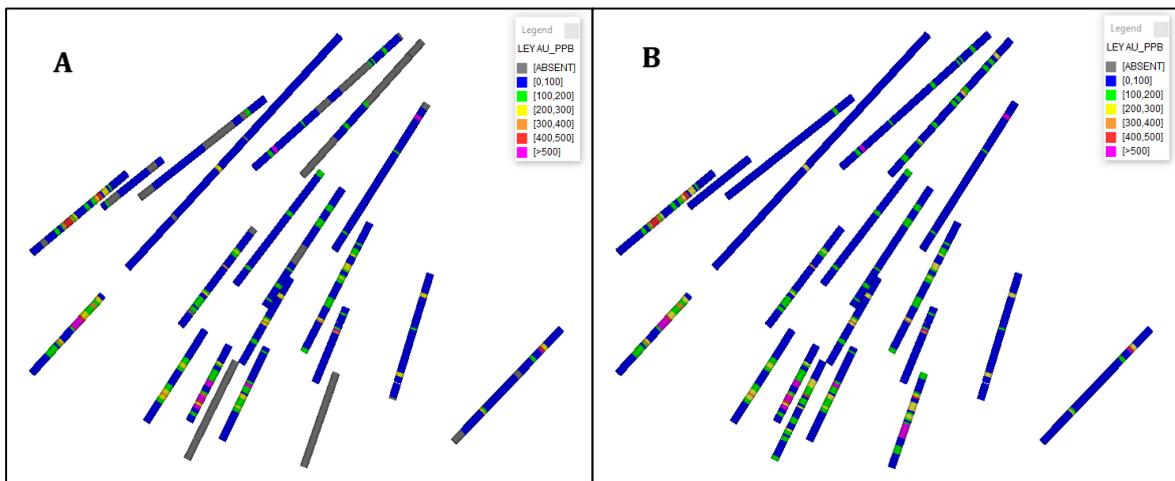


Fig. 6 A: tramos de sondajes con valores ausentes de Au en gris, B tramos de sondajes con leyes de Au estimados por correlación (Fuente: Elaboración propia).

4. CONCILIACION

La reconciliación de la producción de información con los modelos pronosticados usados es muy importante para evaluar su efectividad y puede permitir la optimización del proceso de modelado de recursos (Rossi & Camacho 1999; Schofield 2001; Parker 2012). Las motivaciones para validar el modelo de recursos provienen de diferentes causas. En todos los casos, se debe realizar un número mínimo de verificaciones para asegurar que el modelo es adecuado y está desarrollándose como se espera, independientemente del propósito del modelo. Además, puede que haya factores internos o externos que contribuyan y determinen la necesidad de más verificación y validación de un modelo de recursos, incluyendo la participación en este proceso de auditores independientes. Aunque las motivaciones pueden ser diferentes, la validación es similar en todos los casos. Cada vez más la industria minera requiere y enfatiza el trabajo de validación y en los modelos de recursos (François-Bongarçon 1998; Vaughan 1997).

La reconciliación se realizó comparando la estimación de la reserva de la zona explotada y los reportes de producción de planta durante un mes de producción (Balance metalúrgico). Partiendo de que en muchos casos se programa una ley “a” (Fig. 7) y se extrae un “a-b” ó “a+b” (Fig. 8); entonces se tendrá que tomar en cuenta el porcentaje de la recuperación y la dilución que se realiza sobre las reservas programadas en el mes.

El método de estimación utilizado fue el de Kriging ordinario. El interés práctico más importante del krigado, proviene, no del hecho que asegura la mejor precisión posible, sino más bien porque permite evitar un error sistemático. En la mayoría de los depósitos mineros, se deben seleccionar, para la explotación, un cierto número de bloques, considerados como rentables y se deben abandonar otros bloques considerados no-explotables (Alfaro, M. 2007).

La dilución minera operacional que ocurre en el momento del minado. El blasteo de la roca es un factor importante, puesto que el material cambia de posición. La operación de cargado también es causa de dilución y pérdida de mena puesto que el cargador nunca puede excavar precisamente los límites de la mena (Rossi & Deutsch, 2014).

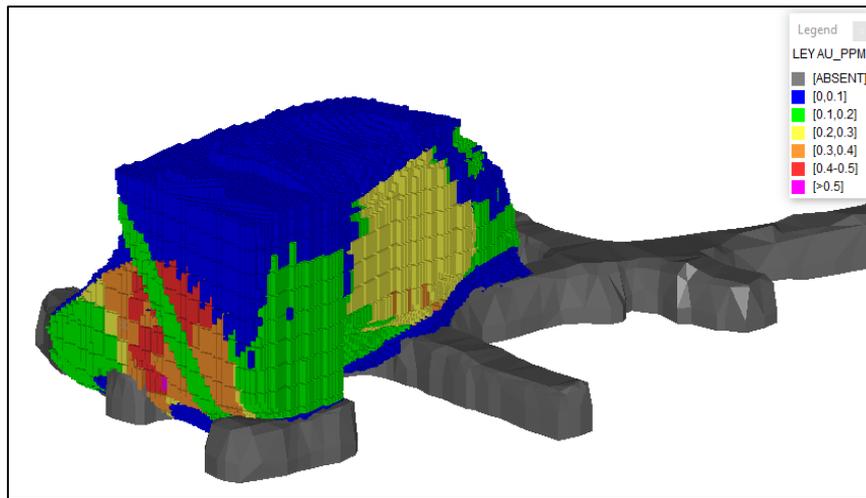


Fig.7 Reserva programa en el mes donde se aprecia las leyes de Au (Fuente: Elaboración propia).

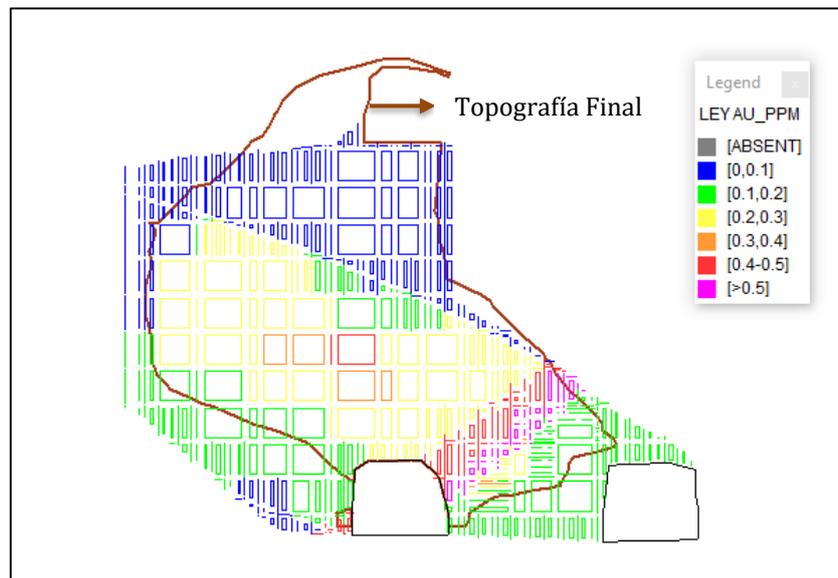


Fig. 8 Zona explotada según la topografía final, se aprecia zonas diluidas y zonas que están quedando pendiente de explotar (Fuente: Elaboración propia).

Cabe indicar que para el cálculo de la conciliación se tuvo que tomar en cuenta solo la topografía de la zona explotada, para obtener una información más precisa para realizar la conciliación.

El proceso de conciliación implica ajustar los datos de producción mensual para igualar las toneladas y ley informadas por la fábrica, más el cambio en las existencias (McCormack & Berryman, 2006).

5. DISCUSION

La expectativa común es que los modelos de recursos generalmente se correlacionan con la producción pasada. Esto está basado en la asunción de que, si el modelo no estima bien las leyes y tonelajes de las áreas de la producción pasada, es válido cuestionar sus capacidades predictivas. Sin embargo, hay otros aspectos que pueden ser considerados. Estos están relacionados con la calidad y confiabilidad de la información de producción y con posibles sesgos sistemáticos usados en los datos (Rossi & Deutsch, 2014).

A pesar de que existe una correlación de 89% entre los elementos, la cual es aceptable aún se tiene que evaluar zonas donde se presentan un sesgo (Fig. 9); donde se tiene valores con un factor de correlación bajos, que pueden afectar al programa de producción; para esto se debe revisar todos los procesos, desde la toma de muestra hasta la definición de los dominios. El margen deberá estar dentro de un rango de error relativo de $\pm 10\%$.

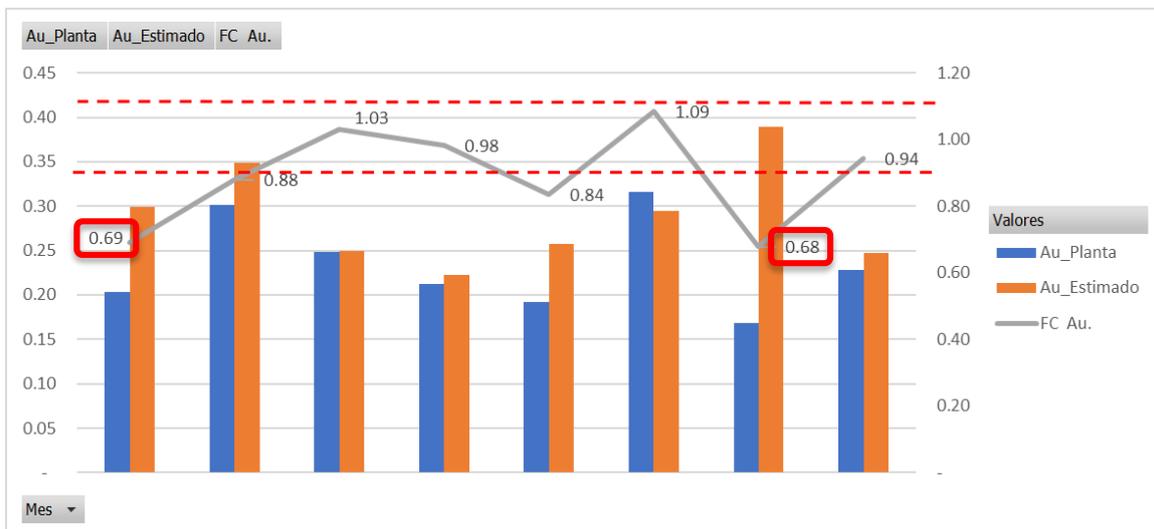


Fig. 9 Factor de conciliación del Au hallado por correlación (Fuente: Elaboración propia).

6. CONCLUSIONES

- La determinación de leyes de Au por correlación es una alternativa para poder estimar recursos, donde ya no se tienen registro de testigos y una forma de reducir costos.
- Es necesario poder definir los dominios para tener un buen análisis de los datos y que estos representen al dominio y evitar sesgos durante la utilización de esta información.
- Mediante la conciliación se pudo validar los resultados obtenidos de Au por correlación, tomando en cuenta que la última comparación de los resultados es con los que se obtiene en la planta en cualquier operación minera.

7. REFERENCIAS

- Alfaro, M. (2000) Estadística Curso de Evaluación de yacimientos-Universidad de Chile.
- Alfaro, M. (2007) Estimación de Recursos Mineros-Universidad de Chile.
- Chieregati, A., Campos, L., & Delboni, H. (2011). Resumo Mineração Mining Novo modelo de reconciliação para a indústria do ouro New reconciliation model for gold industry. 64(2), 237–243. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672011000200017>.
- Deutsch, C. (2016) Geostatistics for Mineral Resources Uncertainty Assessment-University of Alberta • Edmonton, Alberta, Canada.
- Emery, X. (2007) Apuntes de Geoestadística-Universidad de Chile.
- François-Bongarçon DM (1998) Due-diligence studies and modern trends in mining. Unpublished internal paper, Mineral resources development, Inc
- Gutiérrez, J. (2014) Conciliación en minería subterránea: Procesos y Aplicaciones.
- McCormack, R., & Berryman, T. (2006, August 21). Reconciliation at KCGM fimiston operation. [https://doi.org/10.1016/0002-8703\(78\)90377-0](https://doi.org/10.1016/0002-8703(78)90377-0)
- Morley, C. (2003) Beyond reconciliation – a proactive approach to using mining data, in *Proceeding Fifth Large Open Pit Conference, pp 185-191* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy:Melbourne).
- Parhizkar, A., Ataei, M., Moarefvand, P., & Rasouli, V. (2012). A probabilistic model to improve reconciliation of estimated and actual grade in open-pit mining. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(6), 1279–1288. <https://doi.org/10.1007/s12517-010-0275-2>
- Parker, H. (2012) Reconciliation principles for the mining industry. The Australasian Institute of mining and metallurgy. *Mining Tech* 121(3):160–176.
- Rossi, M. & Camacho V (1999) Using meaningful reconciliation information to evaluate predictive models, Preprint, SME Annual meeting, March 1–3, Denver.
- Rosales, D. (2014). Implementación de metodología para determinar dominios geometalúrgicos de estimación. https://bibliotecadigital.uchile.cl/permalink/56UDC_INST/litqr/alma991007557551903936

Schofield, N. (2001) The myth of mine reconciliation. In: Edwards AC (ed) Mineral resource and ore reserve estimation—the AusIMM guide to good practice. Vic., AusIMM, Melbourne, pp 601–610.

The mineral Institute AusIMM (2012) The JORC code.

Vaughan, W. (1997) (July) Due diligence issues for mining investors post Bre-X. Randol conference on sampling and assaying of gold and silver, Vancouver.