

# **Validación de los modelos de estimación de la ley de oro en el sector Three Hills del yacimiento Golden Hill**

## **Validation of Au grade estimation models in a sector of the Golden Hill deposit**

José Alberto Arias-del Toro<sup>1\*</sup>, Alain Carballo-Peña<sup>2</sup>, Elmidio Estévez-Cruz<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Oficina Nacional de Recursos Minerales, La Habana, Cuba.

<sup>2</sup>Universidad de Moa, Holguín, Cuba.

<sup>3</sup>Universidad de Pinar del Río, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [josé@onrm.minem.gov.cu](mailto:josé@onrm.minem.gov.cu)

---

### **Resumen**

La validación de los modelos de estimación de leyes en el proceso de estimación de recursos minerales garantiza la calidad y confiabilidad de los resultados y la correcta definición de las reservas minerales, bases para una planificación minera más objetiva. La presente investigación expone los resultados de la validación de los modelos de estimación de la ley de Au en el sector Three Hills del yacimiento aurífero Golden Hill (provincia de Las Tunas), utilizado como caso de estudio. Se utilizó la información obtenida en las campañas de exploración detallada y de exploración de explotación, así como los modelos de estimación de la ley de Au; estos modelos fueron comparados con las curvas patrones de la ley, el tonelaje y la cantidad de metal, obtenidas por simulación geoestadística para 10 escenarios equiprobables simulados de la ley de Au. Se propuso un procedimiento que permitió validar los modelos de estimación de la ley Au en depósitos similares a partir de la pérdida o el exceso de la cantidad de metal entre las curvas tonelaje-ley, la obtenida en los modelos de estimación de dos momentos (etapas 1 y 2) de la exploración y explotación y las curvas patrones predictivas medias de la ley, el tonelaje y cantidad de metal simuladas. Se demuestra que el modelo de la etapa 1 subvalora los estimados por lo que no debe considerarse para definir los recursos de oro. El modelo de la

etapa 2, aunque se aproxima a las curvas-patrones simuladas, también debe ser reelaborado.

**Palabras clave:** validación; modelos de estimación; simulación geoestadística; tonelaje-ley; yacimiento aurífero Golden Hill.

### **Abstract**

Validation of grade estimation models in the mineral resource estimation process guarantees the quality and reliability of results and the correct definition of mineral reserves in the most objective mining planning possible. This research presents the results of the validation of Au grade estimation models in Three Hills sector of the Golden Hill gold deposit (Las Tunas province), used as a case study. We worked with the information obtained in the detailed exploration and exploitation exploration campaigns, as well as with the estimation models of the Au grade; these models were compared with the standard curves of grade, tonnage and metal quantity, obtained by Geostatistical simulation for 10 simulated equiprobable Au grade scenarios. A procedure is proposed that allows validating the Au grade estimation models in similar deposits, based on the loss or excess of the amount of metal between the tonnage-grade curves, those obtained in the estimation models in two moments (stages 1 and 2) of exploitation exploration and the average predictive standard curves of simulated grade, tonnage and amount of metal. It is shown that stage 1 model should not be considered for defining gold resources, since it undervalues the estimates, although the stage 2 model is close to the simulated pattern-curves, it must also be reworked.

**Keywords:** model validation; estimation models; Au grade; Geostatistical simulation; tonnage-grade curves; Golden Hill goldfield.

---

## **1. INTRODUCCIÓN**

La validación de los modelos de estimación de leyes constituye una etapa imprescindible del proceso de estimación de recursos mineros que permite evaluar la calidad y confiabilidad de los resultados como base para la definición de los recursos y reservas minerales y el desarrollo del proceso de planificación y explotación mineras.

Arisaca (2012) considera que deben conocerse y aplicarse metodologías de validación que aseguren la calidad de los resultados de una estimación de recursos. Rossi y Deutsch (2014) plantean que existen razones importantes que obligan a chequear y validar los modelos de recursos, que aseguren la

consistencia interna del modelo estimado y proporcionen, en lo posible, precisión con respecto a las variables estimadas.

De la misma manera, Abzalov (2016) cree que el modelo de recursos debe ser validado antes de que este sea publicado y utilizado para la evaluación de proyectos mineros y las tareas de planificación de la producción. De acuerdo con Freitas (2016), los resultados de la técnica de validación cruzada no son adaptables al modelo interpolado, debiéndose aplicar una auditoría, comparando el modelo de bloques interpolado con respecto a los datos duros o compósitos.

Entre las técnicas más utilizadas para la validación de los modelos de estimación de leyes a escala global se encuentra el análisis comparativo que se realiza con las curvas tonelaje-ley a partir del modelo de bloques, con curvas patrones predictivas donde se investiga el grado de "suavizamiento" o degradación de la ley estimada, usando la corrección por cambio de soporte a partir del modelo gaussiano discreto (Pincock 2010; Rossi y Deutsch 2014; Abzalov 2016; Sama 2016), mediante el método de polinomios de Hermite (Journel y Huijbregts 1978), la denominada validación "HERCO", o a través de las simulaciones condicionales, sirviendo en este último caso para la cuantificación del riesgo y la valoración de la incertidumbre de las inversiones mineras (Lopes, Fernandes y Vanzela 2011).

El objetivo fundamental de la investigación que aquí se reporta fue aplicar un procedimiento para la validación de los modelos de leyes y discutir los resultados en el sector Three Hills, del yacimiento aurífero Golden Hill, el cual es utilizado como caso de estudio.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Ubicación y características del Sector Three Hills del yacimiento Golden Hill**

El yacimiento aurífero Golden Hill se encuentra ubicado en el municipio Jobabo, unos 8 km al NE del poblado del mismo nombre en la provincia de Las Tunas (Figura 1).

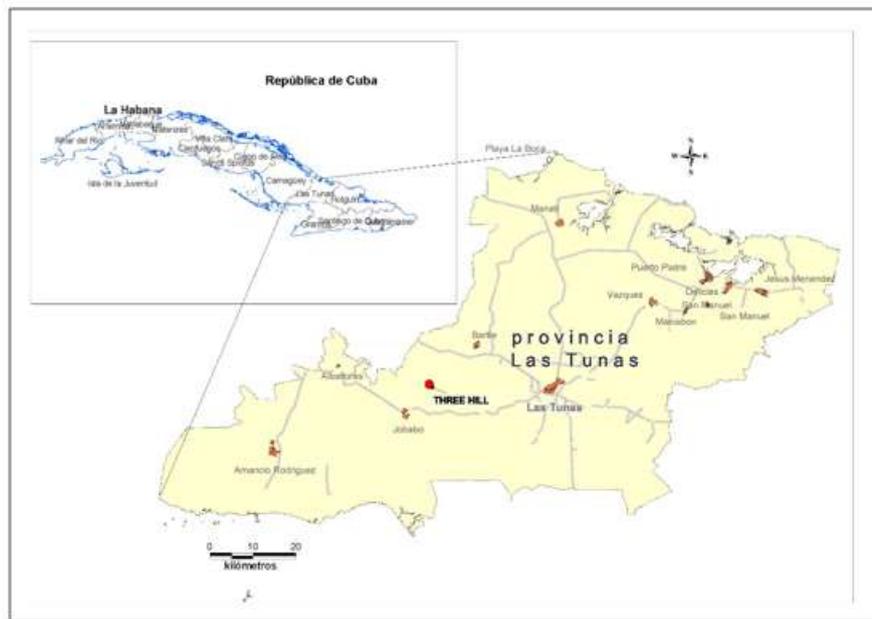


Figura 1. Mapa de ubicación geográfica del sector Three Hills.

Desde el punto de vista geológico, la mineralización aurífera se encuentra asociada a la zona de oxidación (gossan) de un depósito epitermal de Au-Cu de alta sulfuración (Vila-Placeres *et al.* 2018) emplazado en rocas volcánicas alteradas, tobas andesíticas fundamentalmente, conformada por cuerpos oxidados que sobreyacen las menas primarias de sulfuros masivos y semimasivos enriquecidos en oro y cobre.

El gossan es de consistencia blanda a medianamente dura, manchado de hematita color rojo oscuro, localmente atravesado por venas centimétricas de óxidos de hierro que cubren superficies de fracturas y como matriz en brechas angulares. Localmente se encuentran óxidos de hierro masivo (goethita y hematita) de textura porosa, con potencias mayores de un metro, formando corazas en afloramientos y en grandes bloques.

El cuerpo mineral se destaca por el predominio de rocas cuarzo-caoliníticas fuertemente oxidadas que forman cuerpos subverticales de 10 m a 20 m de espesor. Hacia los niveles inferiores aumenta el contenido de arcilla, presentándose, entre otras, montmorillonita y nontronita. El perfil de oxidación alcanza entre 35 m y 40 m y la ley de oro aumenta con la profundidad (López-Kramer *et al.* 2021).

## 2.2. Información de partida

Como información de partida para realizar el procesamiento estadístico, geoestadístico y la construcción de gráficos y tablas se utilizaron los modelos de estimación de la ley de Au de 788 unidades de selección minera (USM) de 5m x 5m x 5m, estimadas a partir de los datos provenientes de la

exploración de explotación de los bancos +80,0 m; +75,0 m; +70,0 m; +65,0 m y +60,0 m, del depósito aurífero oxidado Three Hills.

Dos modelos de estimación de la ley de Au fueron utilizados: el modelo de estimación de la etapa 1, denominado como EE1 y el modelo de estimación de la etapa 2, denominado como EE2 (Vila-Placeres *et al.* 2018). El modelo de estimación EE1 se hizo utilizando todos los compósitos, mientras que en EE2 se consideraron solo los compósitos dentro de la envoltura mineral con ley de borde 0,3 g/t de oro.

Para validar ambos modelos se emplearon en total 173 compósitos de 5 m de longitud ubicados dentro de la envoltura mineral. Como soporte informático para el procesamiento estadístico y geoestadístico se utilizaron los softwares GSLIB (Deutsch y Journel 1998) y SGeMS (Remy, Boucher y Wu 2009).

### **2.3. Procedimiento para validar los modelos de estimación EE1 Y EE2 del sector Three Hills**

El procedimiento desarrollado para validar los modelos de estimación constó de 3 fases (Figura 2):

1. Fase 1: Simulación geoestadística de la ley de Au para 10 escenarios equiprobables y cálculo de la ley media en bloques de 5m x 5m x 5m mediante cambio de soporte.
2. Fase 2: Construcción de las curvas: Tonelaje ( $T$ ), Ley media de Au ( $M$ ) y cantidad de metal ( $Q$ ) según leyes de corte.
3. Fase 3: Cálculo de la pérdida o el exceso de metal a partir de las curvas construidas para tonelaje-ley y cantidad de metal.

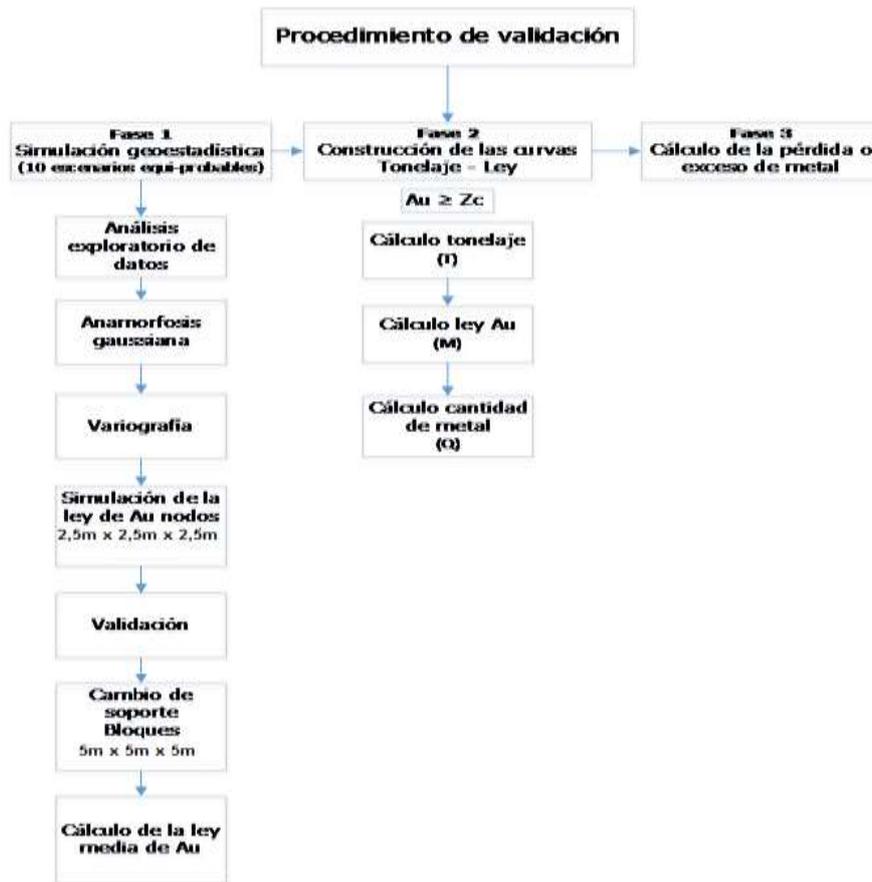


Figura 2. Diagrama de flujo del procedimiento de validación de los modelos de estimación EE1 y EE2, del sector Three Hills.

## Fase 1. Simulación de la ley de Au para 10 escenarios equiprobables

### *Simulación geoestadística*

La simulación geoestadística es el proceso de construcción de modelos equiprobables alternativos de la variable en cuestión, donde la reproducción de las características globales (la textura), estadística (el histograma) y variabilidad espacial (el variograma) toman precedencia sobre la exactitud local (Deutsch y Journel 1998; Arias del Toro 2008).

### *Simulación Secuencial Gaussiana*

La simulación secuencial gaussiana (SGS) se basa en el modelo de las funciones aleatorias multigaussianas, las cuales poseen media igual a cero y varianza unitaria ( $\sigma = 1$ ). Este método de simulación se realiza según el siguiente algoritmo (Deutsch y Journel 1998):

1. Transformación de los datos originales de la variable a simular al espacio normal.

$$y(u) = G^{-1}(F(Z(u))) \quad (1)$$

2. Establecimiento de una red de puntos (nodos) que cubran el espacio del dominio a simular.
3. Definición de un camino aleatorio en el cual los puntos de la red previamente establecida sean visitados solamente una vez.
4. Estimación en cada punto  $u$  de la red, de la media  $\mu_u$  y desviación estándar  $\sigma_u$  de la función de distribución condicional acumulada (FDCA), mediante Krigeaje a partir de los datos reales y los previamente simulados.
5. Obtención del valor simulado  $y_u$  a partir de la función de distribución condicional acumulada local (FDCA) determinada en el paso 4.
6. Adición del valor simulado a la serie de datos.

Los pasos 4 y 5 son repetitivos, hasta que todos los puntos (nodos) hayan sido simulados. Al final del proceso de simulación se transforman los valores gaussianos simulados al espacio real. La simulación secuencial gaussiana garantiza que los datos reales sean honorados en sus localizaciones. Cualquier número de tales realizaciones puede ser obtenido por repetición del proceso de simulación  $n$  veces con caminos aleatorios diferentes. La fase 1 se realizó según los siguientes pasos:

1. Análisis exploratorio de datos a los compósitos de la ley de Au (histogramas, diagramas de probabilidad, acotamiento de la ley de Au)
2. Anamorfosis gaussiana (normalización de los datos originales).
3. Variografía (cálculo y ajuste de los semi-variogramas experimentales de las gaussianas).
4. Simulación de la ley de Au en nodos de 2,5m x 2,5m x 2,5m (10 escenarios equiprobables) empleando el método secuencial gaussiano (Remy, Boucher y Wu 2009).
5. Validación (reproducción del histograma y los semi-variogramas gaussianos).
6. Cambio de soporte. Cálculo de la ley media del bloque de 5m x 5m x 5m m por promedio aritmético de los nodos de 2,5m x 2,5m x 2,5m ubicados dentro del bloque de 5m x 5m x 5m.

## Fase 2. Construcción de las curvas

Inicialmente se calcularon las curvas de la ley (M) y el tonelaje (T) para 21 leyes de corte (desde 0 g/t hasta 3,0 g/t), de cada uno de los 10 escenarios equiprobables simulados de la ley de Au del sector Three Hills. Se hizo uso del programa "GTcurve.exe" de la librería geoestadística GSLIB (Deutsch y Journel 1998) calculada de la siguiente manera:

El Tonelaje (T) se calculó como la fracción del total de bloques del modelo, cuya ley de Au es igual o superior a la ley de corte ( $Z_c$ ), donde  $I_{Z_c}$  es la variable indicadora, que es 1 si el valor  $Au \geq Z_c$ ; si no es cero y se calcula como:

$$T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_{Z_c} \quad (2)$$

La ley de Au (M) se determinó como la sumatoria del producto de la variable indicadora  $I_{Z_c}$  por la ley del bloque ( $m_{Z_c}$ ) y se expresa como:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n I_{Z_c} * m_{Z_c} \quad (3)$$

Donde  $n$  es la cantidad de bloques mayores o iguales a  $Z_c$ , y  $N$  la cantidad total de bloques del modelo.

Finalmente, se obtuvo la curva promedio del tonelaje y la ley de Au para los 10 escenarios equiprobables, promediando los valores obtenidos para cada ley de corte  $Z_c$  de cada curva simulada tonelaje-ley. La cantidad de metal se obtuvo como el producto del tonelaje medio y la ley media.

## Fase 3. Cálculo de la pérdida o el exceso de metal

En esta fase se evalúa la correspondencia entre el modelo simulado y el estimado, para lo cual se propone calcular la pérdida o el exceso del metal, además del método gráfico de comparación de las curvas. Para calcular el porcentaje de la pérdida o el exceso de metal a partir de las curvas obtenidas de la cantidad de metal, fue empleada la siguiente expresión:

$$(Q_{est} - Q_{sim}) / Q_{sim} \times 100\% \quad (4)$$

Donde:  $Q_{est}$ – Cantidad de Metal Estimado,  $Q_{sim}$ – Cantidad de Metal Simulado (curva promedio para 10 escenarios equiprobables simulados)

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El histograma de frecuencias de los valores de la ley de Au de los compósitos (Figura 3) evidencia que la distribución estadística presenta asimetría positiva, revelando una cola de valores altos hacia la derecha del gráfico,

típica de los metales preciosos como el oro y la plata, con alto coeficiente de variación.

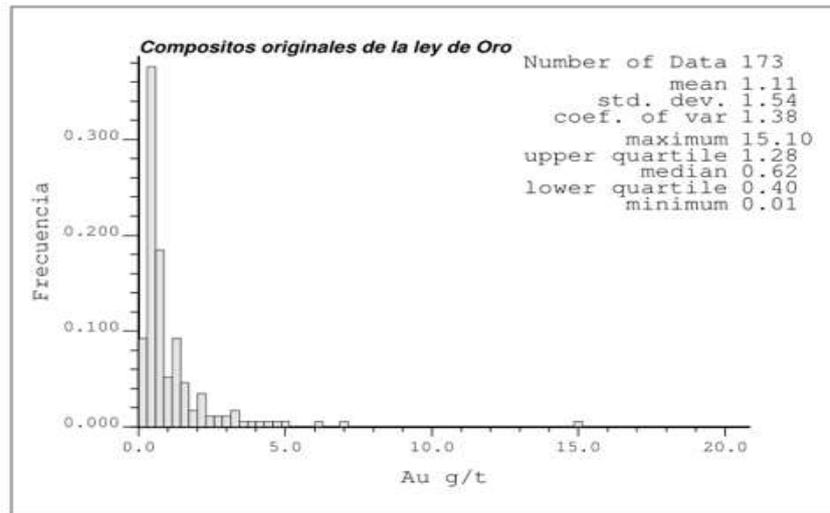


Figura 3. Histograma de frecuencias de la ley de Au correspondiente a 173 compósitos.

Como valor umbral para el acotamiento de la distribución estadística del oro se determinó el valor 5,06 g/t, que corresponde con el 98 % de probabilidad acumulada (Figura 4). Las leyes de Au que se encontraban por encima del umbral fueron remplazadas por ese valor.

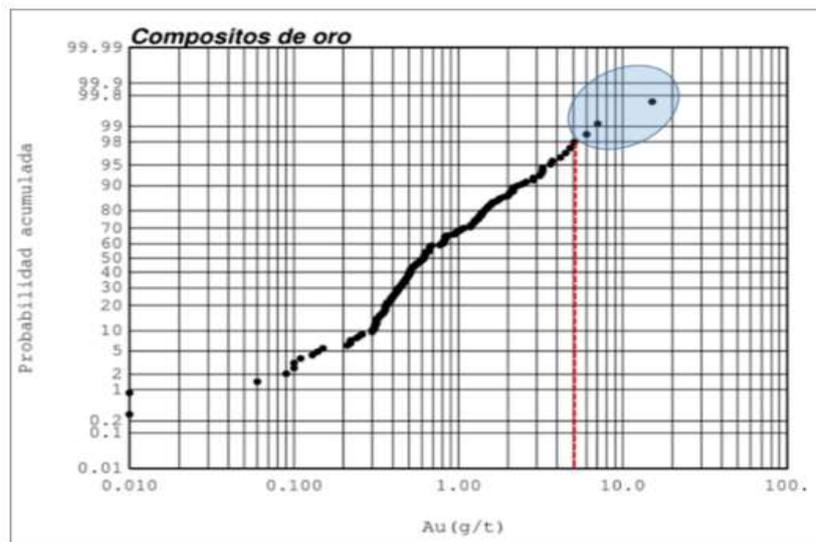


Figura 4. Gráfico de probabilidad log-normal de la ley de Au. Dentro de la elipse los valores huracanados de Au. La línea de puntos roja señala el valor umbral 5,06 g/t correspondiente al 98 % de probabilidad acumulada.

El coeficiente de variación de la ley de Au cortada a 5,06 g/t mostró una disminución considerable con respecto a ese mismo parámetro determinado para la ley de Au de las muestras compósito originales (Figura 5).

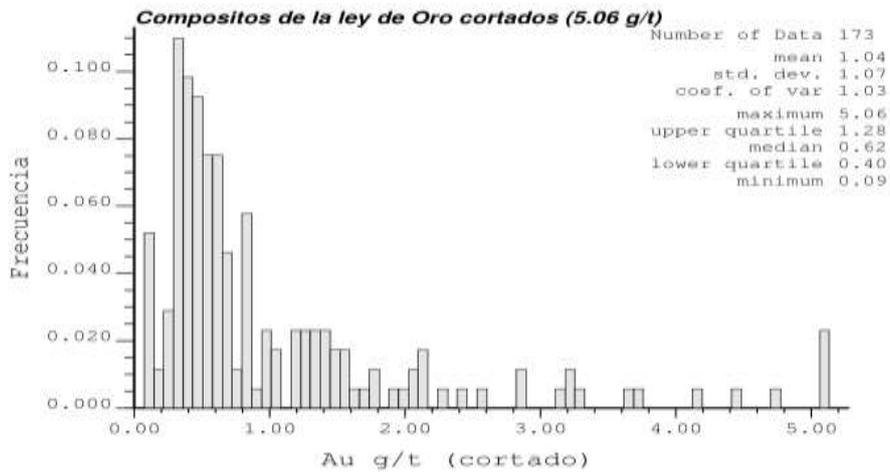


Figura 5. Histograma de frecuencias de la ley de Au correspondiente a 173 compósitos, cortada a 5,06 g/t.

El análisis variográfico realizado a los valores de la ley de Au transformados al espacio gaussiano a través de los correlogramas, no permitió definir direcciones de anisotropía evidentes, obteniéndose un alcance máximo observado de 30 m y un efecto pepita asumido relativamente bajo de alrededor del 20 % (0,2) con respecto a la meseta total (1,0).

El modelo teórico general tridimensional ajustado se compone de un efecto pepita y de dos estructuras esféricas con radios máximos de 10 m y 30 m (Figura 6).

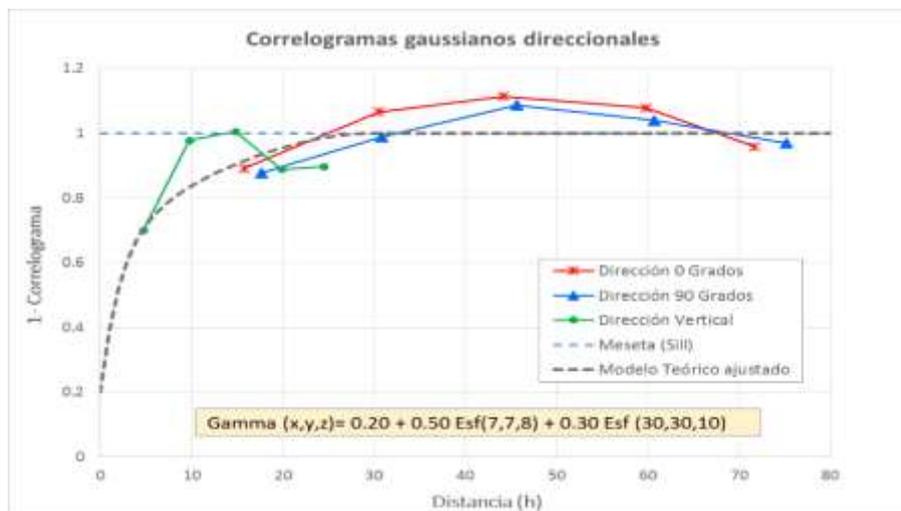


Figura 6. Correlogramas experimentales gaussianos de la ley de Au de los compósitos y modelo teórico ajustado.

La validación de los modelos simulados de la ley de Au para los 10 escenarios equiprobables mediante el método secuencial gaussiano, según la red de nodos de 2,5m x 2,5m x 2,5m, indica que fueron reproducidos satisfactoriamente la estadística (Tabla 1), las curvas de frecuencia

acumulada de la ley de Au (Figura 7), y el patrón de la variabilidad espacial del sector Three Hill, al coincidir favorablemente el modelo teórico ajustado al correlograma experimental con el correlograma gaussiano medio simulado de la ley de Au (Figura 8).

Tabla 1. Estadígrafos de la distribución original desagrupada (Au\_NN) versus estadígrafos de la distribución simulada para 10 escenarios equiprobables de la ley de Au

Modelo	Mínimo	P25	P50	P75	Máximo	Media	Varianza	Cvar
Au_NN	0,09	0,42	0,60	1,24	5,06	1,00	1,02	1,01
Au_sim_1	0,09	0,41	0,63	1,39	5,06	1,13	1,35	1,02
Au_sim_2	0,09	0,41	0,62	1,26	5,06	1,05	1,22	1,05
Au_sim_3	0,09	0,39	0,59	1,25	5,06	1,00	1,10	1,05
Au_sim_4	0,09	0,39	0,60	1,26	5,06	1,02	1,16	1,05
Au_sim_5	0,09	0,43	0,63	1,37	5,06	1,12	1,27	1,01
Au_sim_6	0,09	0,41	0,62	1,29	5,06	1,04	1,15	1,03
Au_sim_7	0,09	0,41	0,62	1,33	5,06	1,07	1,23	1,04
Au_sim_8	0,09	0,41	0,62	1,26	5,06	1,02	1,09	1,02
Au_sim_9	0,09	0,39	0,58	1,24	5,06	0,99	1,10	1,06
Au_sim_10	0,09	0,41	0,62	1,33	5,06	1,05	1,14	1,01

P25, P50 y P75-primer, segundo y tercer cuartil, respectivamente. Cvar-coeficiente de variación.

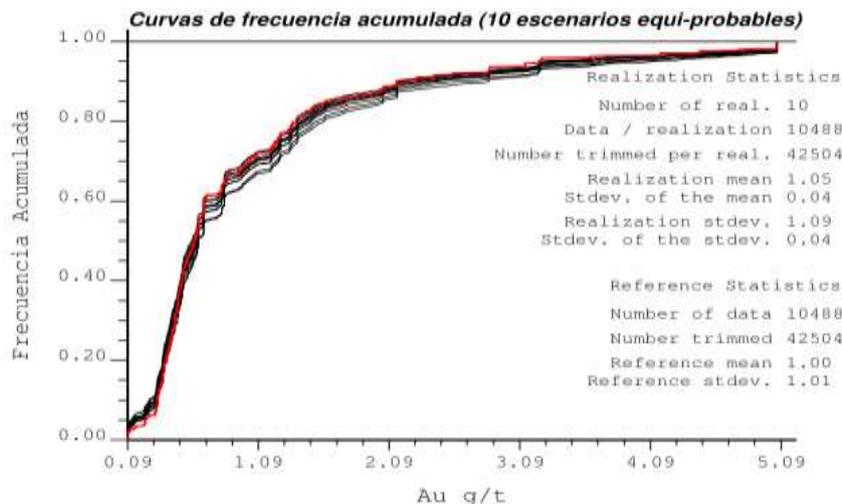


Figura 7. Curvas de frecuencia acumulada de la ley de Au simulada para 10 escenarios equiprobables. En color rojo curva de la ley de Au desagrupada de los compósitos (Au\_NN).

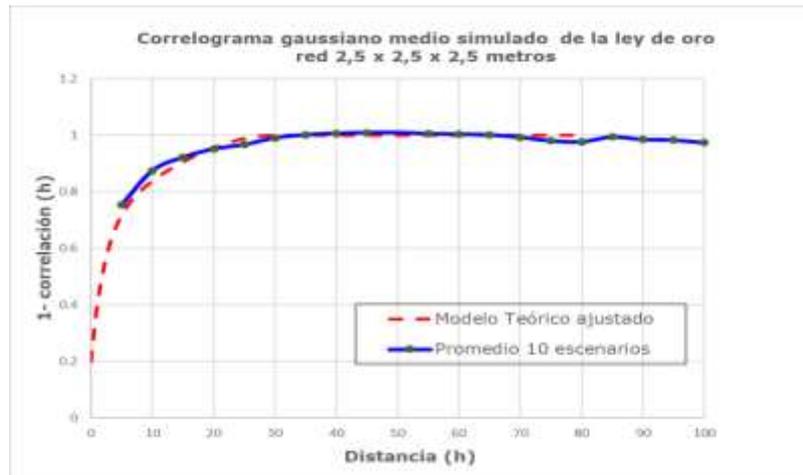


Figura 8. Correlograma gaussiano medio simulado de la ley de Au versus modelo teórico ajustado a los compósitos de Au (datos experimentales).

### 3.1. Análisis de las curvas ley- tonelaje y cantidad de metal

La comparación de las curvas tonelaje-ley de los modelos de estimación EE1 y EE2 con la curva media obtenida por simulación denota que el modelo de estimación de EE1, tanto en tonelaje como en ley, está subvalorado debido a que no fue usada una ley de borde para definir la envoltura mineral en el sector Three Hills en la etapa 1, por lo cual fueron utilizadas todas las muestras compósitos para la estimación de la ley de Au del modelo EE1, incluso las de muy bajo contenido de Au (menor de 0,1 g/t), diluyendo significativamente la ley de Au estimada.

Sin embargo, para el modelo EE2 la estimación se realizó dentro de la envoltura mineral 0,3 g/t de Au definida previamente, usándose exclusivamente los compósitos ubicados dentro de esa envoltura. De esa manera el tonelaje calculado para EE2 es más consistente, si se compara con la curva del tonelaje de la simulación media. No obstante, la ley media de Au diverge por encima de la curva media patrón obtenida por simulación indicando una sobrevaloración para el modelo EE2, debido a que se utilizó un valor umbral de 15,1 g/t de oro para crear el modelo de estimación en la etapa 2, valor de corte significativamente superior al empleado para limitar la ley de Au de los compósitos utilizados en la simulación que fue de 5,06 g/t de Au (Figura 9).

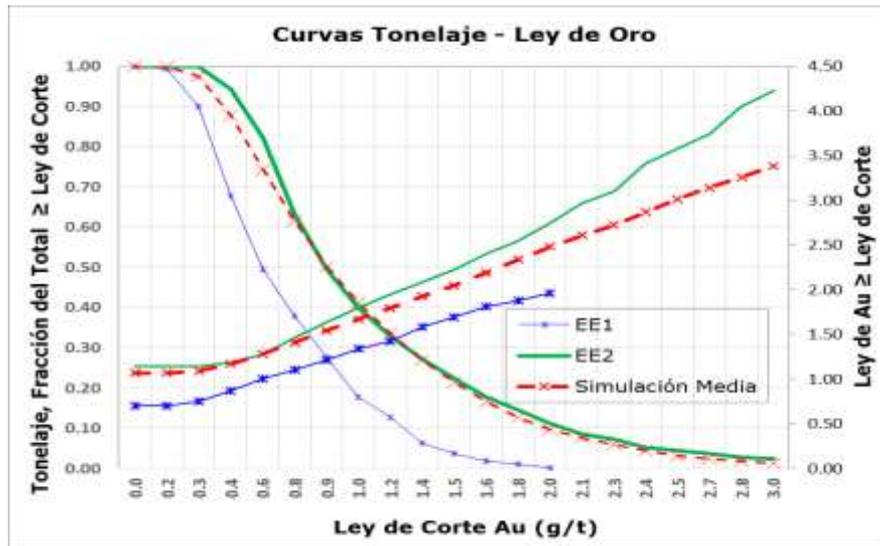


Figura 9. Curvas tonelaje-ley de Au de los modelos EE1, EE2 y la ley de Au simulada.

Consecuentemente, si se comparan las curvas de la cantidad de metal de los modelos de estimación en dos etapas (EE1 Y EE2) con la curva patrón de la cantidad de metal obtenida a partir del promedio de los 10 escenarios equiprobables simulados, existe para el modelo EE1 una subvaloración de la cantidad de metal, mientras que para el modelo EE2 existe una sobrevaloración de esta (Figura 10).

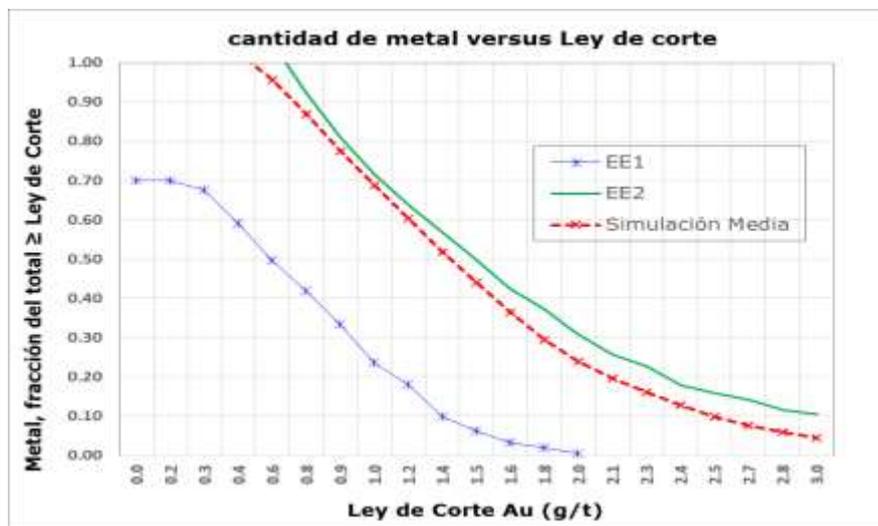


Figura 10. Curvas de la cantidad de metal para los modelos EE1, EE2 y la ley de Au simulada.

De acuerdo con las pérdidas o el exceso de metal calculados usando la expresión 4, el modelo EE1 exhibe pérdidas en todos los valores de cortes que van desde el 34,56 % hasta 97,85 % con respecto a la curva promedio de la cantidad de metal simulada (Tabla 2).

Tabla 2. Valores calculados de la pérdida de metal para el modelo de estimación EE1

Curva modelo de estimación de Au				Curva Promedio 10			Exceso/Pérdida (%)
Ley de corte	Tonelaje	Ley Au	Cantidad de Metal	Tonelaje	Ley Au	Cantidad de Metal	
0,0	1,00	0,70	0,70	1,00	1,07	1,07	-34,56%
0,2	0,99	0,70	0,70	1,00	1,07	1,07	-34,63%
0,3	0,90	0,75	0,68	0,98	1,09	1,06	-36,45%
0,4	0,68	0,87	0,59	0,88	1,17	1,03	-42,33%
0,6	0,50	1,00	0,50	0,74	1,28	0,96	-48,01%
0,8	0,38	1,11	0,42	0,62	1,41	0,87	-51,80%
0,9	0,28	1,21	0,33	0,50	1,54	0,77	-56,92%
1,0	0,18	1,34	0,24	0,41	1,67	0,69	-65,58%
1,2	0,13	1,43	0,18	0,34	1,79	0,60	-69,97%
1,4	0,06	1,58	0,10	0,27	1,93	0,52	-80,77%
1,5	0,04	1,70	0,06	0,21	2,05	0,44	-85,90%
1,6	0,02	1,81	0,03	0,17	2,19	0,36	-90,90%
1,8	0,01	1,87	0,02	0,13	2,34	0,29	-93,34%
2,0	0,00	1,96	0,01	0,10	2,48	0,24	-97,85%

Contrariamente, el modelo de estimación EE2 muestra para todos los valores de corte un exceso de metal estimado a escala del yacimiento que va desde 4,20 % hasta 29,38 % (Tabla 3).

Tabla 3. Valores calculados del exceso de metal para el modelo de estimación EE2

Curva modelo de estimación de oro etapa EE2				Curva Promedio 10 simulaciones			Exceso/Pérdida (%)
Ley de corte	Tonelaje	Ley Au	Cantidad de Metal	Tonelaje	Ley Au	Cantidad de Metal	
0,0	1,00	1,14	1,14	1,00	1,07	1,07	6,42%
0,2	1,00	1,14	1,14	1,00	1,07	1,07	6,44%
0,3	1,00	1,14	1,14	0,98	1,09	1,06	7,04%
0,4	0,94	1,18	1,11	0,88	1,17	1,03	8,69%
0,6	0,82	1,28	1,05	0,74	1,28	0,96	10,03%
0,8	0,63	1,46	0,92	0,62	1,41	0,87	6,20%
0,9	0,49	1,64	0,81	0,50	1,54	0,77	4,52%
1,0	0,40	1,80	0,72	0,41	1,67	0,69	4,20%
1,2	0,33	1,95	0,64	0,34	1,79	0,60	5,92%
1,4	0,27	2,08	0,57	0,27	1,93	0,52	9,97%
1,5	0,22	2,23	0,50	0,21	2,05	0,44	13,09%
1,6	0,18	2,40	0,42	0,17	2,19	0,36	16,63%
1,8	0,15	2,54	0,37	0,13	2,34	0,29	26,49%
2,0	0,11	2,75	0,31	0,10	2,48	0,24	29,38%

#### 4. CONCLUSIONES

- El tonelaje, la ley de Au y la cantidad de metal obtenidos según el modelo de estimación EE1, están subestimados si se comparan con las curvas patrones obtenidas al promediar 10 escenarios equiprobables simulados, existiendo una degradación de la ley de Au con la consecuente pérdida de la cantidad de metal que alcanza cifras superiores al 30 %. El modelo no debe ser considerado para la definición de los recursos de oro del sector Three Hills.
- Las curvas de la ley de oro y la cantidad de metal obtenidos del modelo EE2, aunque se aproximan a las curvas patrones simuladas, muestran un exceso de metal que va desde 4,20 % al valor porcentual 29,38 % como consecuencia de la sobrevaloración de la ley de Au; por tanto, el modelo EE2 de la ley de Au debe ser reelaborado, limitando los valores de la ley de los compósitos a utilizar en el proceso de interpolación. El valor de 15,1 g/t de Au resulta excesivo para propiciar un estimado aceptable de la ley de ese metal.
- La comparación de las curvas tonelaje-ley y cantidad de metal de los modelos EE1 y EE2 estimados para la ley de Au con las curvas obtenidas por simulación secuencial gaussiana sobre la base de la metodología desarrollada, demuestra ser una vía eficaz para validar los modelos de recursos del sector Three Hills.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Oficina Nacional de Recursos Minerales por facilitar la información para realizar este artículo. A la Dra. Rosa María Cobas-Botey por su colaboración en la revisión del manuscrito.

#### 6. REFERENCIAS

- Abzalov, M. 2016: *Applied Mining Geology*. Vol. 12. Springer Nature.
- Arias del Toro, J. A. 2008: *Influencia de la red de exploración en la determinación del potencial recuperable de menas lateríticas níquelíferas en un sector del yacimiento Pinares Oeste*. Tesis de Maestría. Universidad de Pinar del Río Hermanos Saiz Montes De Oca.
- Arisaca, J. E. 2012: *Metodologías de validación para modelos de recursos*. MineSight Applications Perú S.A.C.
- Deutsch, C. V. y Journel, A. G. 1998: *Geostatistical Software Library and User's Guide*. Second Edition. Oxford University Press.
- Freites, J. G. 2016: Herramientas para validar el modelo de bloques interpolado. Consulta: 18/05/2019. Disponible en:

<http://www.cursosgeomin.com.ve/herramientas-validar-modelo-bloques-i>.

- Journel, A. G. y Huijbregts, C. J. 1978: *Mining Geostatistics*. Centre de Geostatistique Fontainebleau, France: Academic Press.
- Lopes, J. A.; Fernandes, J. B. y Vanzela, G. A. 2011: Risk Quantification In Grade-Tonnage Curves And Resource Categorization. In A Lateritic Nickel Deposit Using Geologically Constrained Joint Conditional Simulation. *Journal of Mining Science*, 47.
- López-Kramer, J. M.; Pimente-Olivera, H.; Arce-Blanco, M.; Pérez-Aragón, R. O.; Santa Cruz-Pacheco Sarlabous, M.; Peñalver-Hernández, L. L. y Gallardo-Eupierre, E. 2021: *Los Gossans con Oro y Plata del Archipiélago Cubano*. La Habana: Instituto de Geología y Paleontología.
- Pincock, A. H. 2010: How Good Are Your Resource (Block) Model Estimates? Pincock Perspectives Issue 102.
- Remy, N.; Boucher, L. y Wu, I. 2009: *Applied geostatistics with sgems a user's guide*. New York: Cambridge university press.
- Rossi, M. E. y Deutsch, C. V. 2014: *Mineral Resource Estimation*. New York-London: Springer Dordrecht Heidelberg.
- Sama, A. R. 2016: Validation of resource model and improving confidence. Consulta: 18/05/2019. Disponible en: <https://www.linkedin.com/pulse/validation-resource-model-improving...>
- Vila-Placeres, G.; Guilarte-Lores, E.; Sánchez-Silva, Y.; Carmenates-Nieves, H.; Martínez-Mejías, M.; Espinosa-Labrada, R. y García-Quintana, D. 2018: Informe de Exploración de Explotación UEB Oro Golden Hill.

## Información adicional

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

### Contribución de los autores

JAAT: procesamiento geoestadístico de la información, redacción del original, revisión y aceptación de la versión final. ACP: diseño de la investigación, búsqueda bibliográfica, redacción de la información geológica del depósito Golden Hill, revisión de la terminología empleada y del trabajo en general. EEC: diseño de la investigación; redacción de la información geoestadística, elaboración del diagrama de flujo del procedimiento de validación presentado y de las figuras.

**ORCID**

JAAT, <https://orcid.org/0000-000106879-4626>

ACP, <https://orcid.org/0000-0002-6841-8086>

EEC, <https://orcid.org/0000-0001-7311-8382>

Recibido: 20/02/2022

Aceptado: 12/03/2022