

EL VALOR DE LA INFORMACIÓN

Mario E. Rossi
GeoSystems International
479 Cascadita Terrace
Milpitas, California, 95035
USA
mrossi@geosvsint.com

y

Jorge Camacho V.
Superintendente de Geología, Minera Michilla S.A.
Sucre 220, Of. 606
Antofagasta,
Chile
jcamacho@michilla.cl

RESUMEN

Para todo proyecto u operación minera es importante conocer la relación costo-beneficio que caracteriza a la información recogida durante las diversas etapas y trabajos en el proyecto o mina. Esto es porque es crítico optimizar los recursos financieros disponibles en un proyecto, y también minimizar los costos de operación tanto cuánto sea posible. Esta relación costo-beneficio no es siempre intuitiva o simple de conocer, y es la base de la optimización de mallas de muestreo.

Este trabajo presenta como ejemplo una de las varias metodologías que se pueden utilizar para resolver el problema mencionado. Este método se basa en la aplicación de Funciones de Pérdida para evaluar el costo y los beneficios alcanzados por cada esquema de muestreo de interés.

Se presenta un caso real para una mina a cielo abierto de cobre en el norte de Chile (Rajo Lince, de Minera Michilla S.A.), donde se cuestionó (de parte de los dueños de la operación) si era realmente necesario muestrear los hoyos de voladura para seleccionar adecuadamente el mineral, del material marginal, y del estéril. Este cuestionamiento se basó en que la mina extrae óxidos de Cu (principalmente Atacamita), fácilmente identificables a simple vista por su color verde-azulino incluso por personas no expertas.

El estudio se basó en utilizar la información disponible (muestras de 10m para cada banco) para la Fase I del Banco 740, y a partir de ésta desarrollar una simulación condicional geoestadística. Esta simulación condicional fué muestreada a distintas mallas teóricas, y esta información fué procesada utilizando una Función de Pérdidas desarrollada específicamente para el Rajo Lince. Los resultados se presentan con tablas comparativas que evalúan las mejoras en base a la mejor selección de destinos del material del Rajo (Planta, Marginal, o Estéril).

INTRODUCCIÓN

Dado que la minería es un negocio, siempre es necesario justificar las inversiones mineras que se proponen. En el área de geología de exploraciones y desarrollo de recursos, esta justificación frecuentemente se basa en la experiencia individual de las personas involucradas en las decisiones, y también en expectativas preconcebidas. Sin embargo, existen tecnologías modernas y métodos de trabajo que permiten remediar en parte esta situación, utilizando de la manera más objetiva posible la información geológica y de costos disponibles.

Son muchas las circunstancias dentro de las cuales se debe demostrar el valor de la información obtenida. Comúnmente, se necesita conocer el impacto esperado de una nueva campaña de sondajes en un proyecto en vías de definición; para una mina en operación, a veces se requiere conocer el valor de una campaña de sondajes in-fill para una determinada fase de extracción; o, como es el caso del ejemplo presentado acá, el valor de muestrear todos los hoyos de voladura. El concepto y método que se describen en este trabajo son aplicables a las situaciones más comunes de trabajo en el desarrollo de un proyecto minero.

En el caso de la Mina Lince-Estefanía descrito más abajo, se cuestionó desde los inicios de la operación si realmente era necesario muestrear por cobre total (CuT) y cobre soluble (CuS) los hoyos de voladura del Rajo Abierto. La razón del cuestionamiento es que los minerales que se envían a la planta de procesamiento se distinguen fácilmente a simple vista, por su color. De hecho, y por varios años, la mina trabajó sin muestrear los hoyos de voladura, con la intención de bajar los costos de operación. La selección se hacía simplemente por medio de una "ley visual", entregada por el geólogo de mina.

Este Proyecto se diseñó con el intento de cuantificar el impacto económico de la información de muestras de CuT que se puede obtener de los hoyos de voladuras. Este impacto se nota principalmente en una mejor selección de mineral/estéril en el Rajo. El estudio se basó en la información disponible (en este caso compositando a 10m de largo las dos muestras de 5m que se sacan de cada hoyo de voladura), correspondientes a la Fase I del Banco 740. Como se describe más adelante, está basado en el desarrollo explícito de una Función de Pérdida, la que permite analizar la relación costo-beneficio bajo ciertas suposiciones y modelos.

LA MINA LINCE-ESTEFANÍA

La mina Lince-Estefanía está ubicada en el distrito del mismo nombre, aproximadamente 120 Km al norte de la ciudad de Antofagasta, en la Segunda Región de Chile, a una altura de 900 m.s.n.m., y muy cerca de la costa del Océano Pacífico. La mina es operada por Minera Michilla S.A., produciendo anualmente unas 50.000 toneladas de Cu en cátodos de alta calidad (99.99% de pureza). El cobre se extrae de un Rajo a Cielo Abierto (Lince), utilizando bancos de 10m de altura, y de una mina subterránea (Estefanía), principalmente explotada por corte y relleno en tajadas de 5m, y en algunos sectores por subniveles. Minera Michilla S.A. es una subsidiaria de Antofagasta Minerals (a su vez, una empresa de Antofagasta Holdings), quién es también dueña en parte de Los Pelambres y de El Tesoro, dos minas relativamente nuevas de mayor envergadura. La Figura 1 muestra la ubicación del distrito Michilla en el norte chileno, mientras que la Figura 2 muestra una foto aérea (mirando hacia el Oeste) con las principales zonas del yacimiento explicitadas.

La geología del distrito presenta una secuencia estrato-volcánica muy significativa llamada la Formación La Negra, buzando regionalmente unos 30° al NO, y compuesta por una serie de andesitas y brechas volcánicas de diferentes características. Las andesitas varían de afaníticas a porfíricas, intercaladas con las brechas volcánicas. La mineralización se encuentra alojada en esta secuencia volcánica, donde las brechas se presentan como las más favorables a la mineralización. Para una descripción más detallada, el lector es referido a Ferraris y Di Biase (1978).

SEXTAS JORNADAS DE INGENIERÍA DE MINAS

Los cuerpos mineralizados que resultan (“mantos”) son de forma elipsoidal, de dimensiones y leyes variables, y en general concordantes con la estratificación. Es difícil predecir la existencia y tamaño de cada manto, tanto así como la distribución de leyes que contiene. Generalmente los mantos son pequeños, de 4 a 5m de potencia, con longitudes y anchos de hasta 40 o 50m., aunque muchos de ellos tienen dimensiones laterales menores de 25m. La mineralización cerca de la superficie es mayormente Atacamita, con menores cantidades de Crisocola (óxidos “verdes”). Los minerales mixtos y de sulfuros aparecen a profundidades variables, e incluyen principalmente calcosina, covelina, y ocasionalmente bornita y calcopirita. Las leyes promedios de los mantos varían típicamente entre 1 y 1.5% de cobre total (CuT), con valores excepcionales de más del 10% CuT. La planta de cátodos recibe una ley de cabeza de aproximadamente 1.6% CuT. Los recursos globales estimados a fines del año 2000 eran, para una ley de corte de 0.5% CuT, aproximadamente 63 millones de toneladas con una ley promedio de 1.44% de CuT y de 0.86% de CuS (cobre soluble).

El recurso mineral está distribuido en varias zonas y a profundidades varias, pero incluye todos los recursos delineados con perforaciones. La subzonas de mineralización principales en el se subdividen en explotables por Rajo Abierto (Lince-Susana/D4/Hilary) y subterránea (Estefanía), ver Figura 3. Los recursos se clasifican utilizando como guía el código JORC de la AusIMM (Instituto de Ingenieros de Minas de Australia), según lo adoptó Anaconda Chile, y resultan en aproximadamente 21% de los recursos totales como medidos, 64% clasificados como indicados, y el resto como inferidos. El modelo de recursos (o modelo de bloques) está basado en el modelamiento de las litologías predominantes (andesitas o brechas), y las leyes fueron estimadas utilizando el método de krigeage de indicadores múltiples.



Figura 1: Mapa de Ubicación, Distrito Michilla.

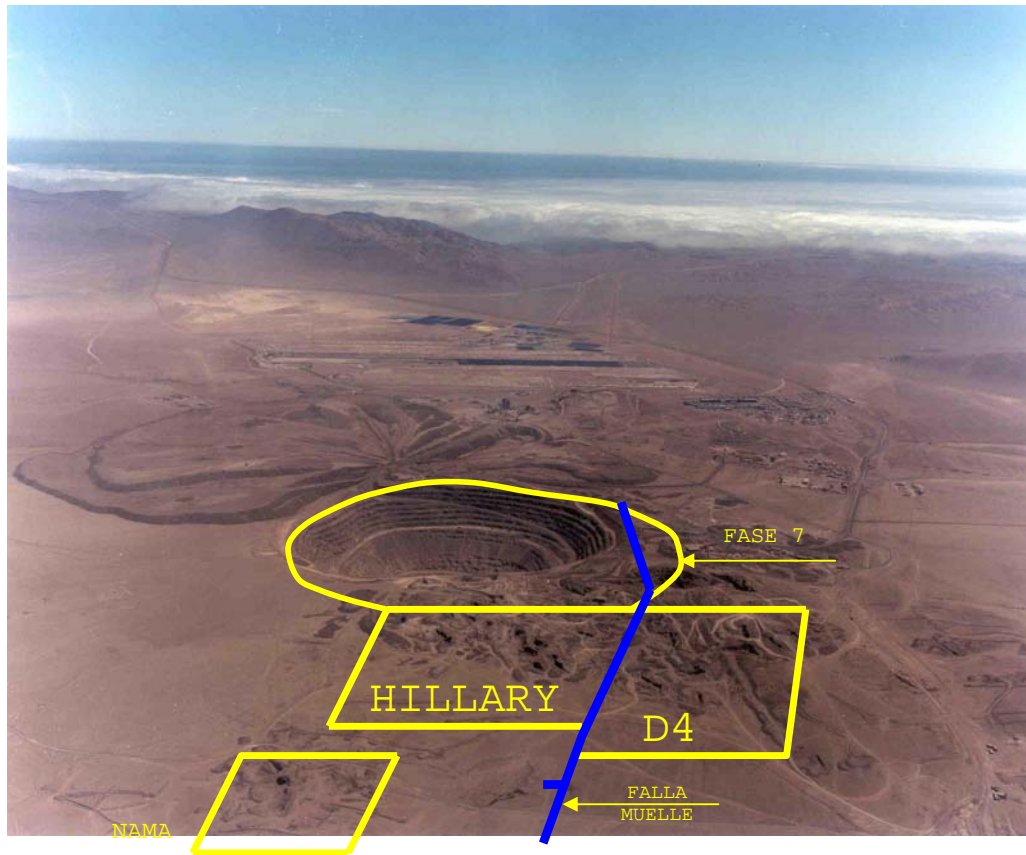


Figura 2: Vista Aérea, hacia el Oeste, Zona Central del Distrito Michilla.

VALOR DE LA INFORMACIÓN DE LOS HOYOS DE TRONADURAS

Descripción de la Metodología

Este estudio estuvo basado en información parcial del Banco 740 (el collar de los pozos de tronadura están aproximadamente a 750m de elevación), Fase I, utilizando compósitos de banco de 10m. Se consideraron tres posibles destinos: 1) *Estéril*, definido como todo material con ley menor al 0.5% CuT; 2) *Acopio*, material con leyes entre 0.5% y 1.5% CuT; y 3) *Planta*, material con leyes mayores o iguales a 1.5% Cu Total.

La metodología consiste en desarrollar las siguientes etapas:

1. En primera instancia se desarrolló una simulación condicional geoestadística en base a los hoyos de tronaduras disponibles (para un banco de 10m), utilizando la técnica secuencial de indicadores (Alabert, 1986, Deustch y Journel, 1992). Esta simulación fué construída en una malla de 1x1x10m, y se utilizó como modelo de referencia ("ground truth"). Esto significa que la simulación se utiliza como una representación fidedigna de la geología y mineralización del Banco, y entrega una imagen plausible de leyes de CuT, como si se hubieran perforado los hoyos de voladura en malla de 1x1m. Esta simulación se acepta como referencial después de comprobar que representa adecuadamente la distribución estadística (incluyendo medias, varianzas, y modelos de variogramas), y espacial de los hoyos de voladuras.

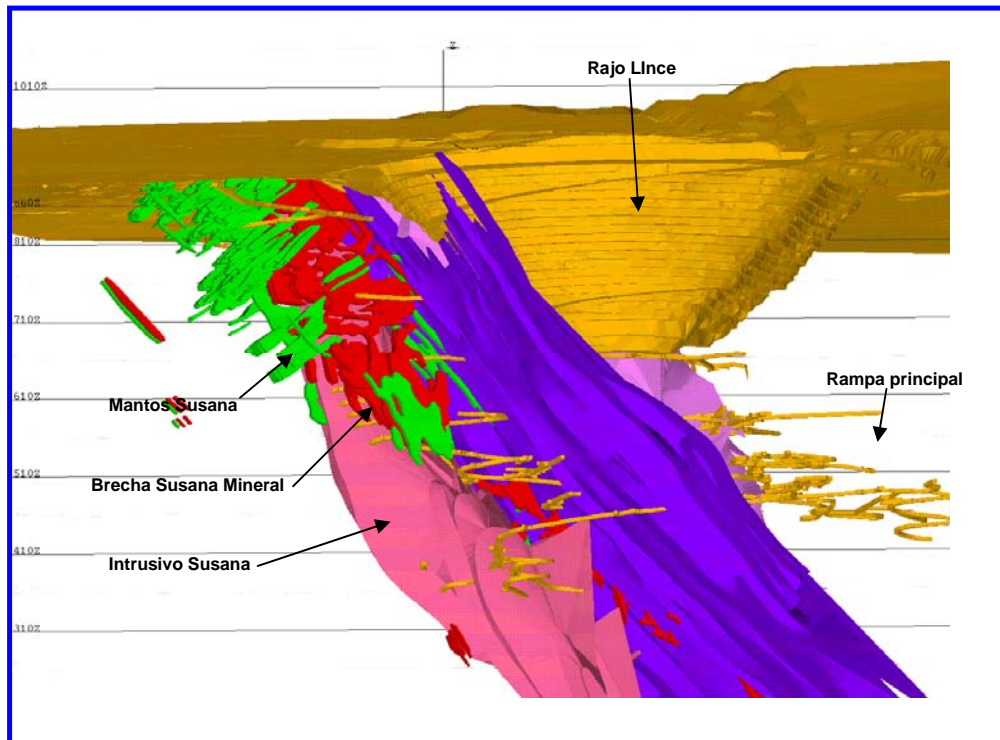


Figura 3: Vista Isométrica Inferior, Mantos Mineralizados, Brechas, e Intrusivos, y Accesos, Mina Lince-Estefanía.

2. En la siguiente etapa, se "muestreó" la simulación de 1x1m de acuerdo a distintas mallas posibles de pozos de voladuras; este muestreo entonces representa la información de la que se podría disponer, si se muestrearán los pozos de voladuras en forma regular. Las mallas consideradas en este estudio son de 5x5m, 6x6m, 7x7, 8x8m, 9x9m, y 10x10m.
3. A partir de cada uno de esos muestreos se creó un modelo hipotético de control de leyes, esto es, se estimaron valores de CuT para bloques de 3x3m dentro de la Fase I, Banco 740. También se creó un modelo de leyes a partir de los datos originales de partida. Estos modelos de leyes (7 en total) se crearon en todos los casos utilizando exactamente la misma técnica (inverso de la distancia al cubo) y parámetros de estimación correspondientes. No se sugiere que esta técnica en particular se deba aplicar en la rutina diaria del control de leyes, sino que se escogió mas bien por ser sencilla y rápida de implementar, utilizando para todas las mallas de muestreo hipotéticas los mismos parámetros de estimación. De esta manera se evita introducir en este estudio variables dependientes de los procedimientos y la calidad de la estimación de leyes. Las diferencias observadas en los modelos resultantes se deben entonces exclusivamente al distinto tipo y densidad de muestreo.
4. La simulación condicional geoestadística en 1x1m se promedió a una grilla de 3x3m, para poder servir de referencia y ser directamente comparable con los 7 modelos de 3x3m disponibles.
5. Se obtuvieron curvas de tonelaje-ley para cada modelo, y para la simulación condicional. También se obtuvieron tonelajes y leyes para cada modelo del material enviado a cada destino estimado (estéril, acopio, o planta), según dijera la simulación condicional era el destino verdadero. Así se contabilizaron los tonelajes y leyes de cada modelo que se enviaron a destinos equivocados.

6. Aplicando un función de pérdida desarrollada específicamente para este estudio, expresada en centavos de dólar por libra de Cu, se obtuvieron valores dólar para cada modelo, que representan las pérdidas ocasionadas por los errores de estimación en cada caso. Se demuestra más adelante que estos errores de estimación son siempre mayores para muestreos más incompletos (grillas más amplias) y menos regulares. La función de pérdida utilizada refleja una combinación de costos del Rajo Lince, aplicable a la fecha en que se ejecuta el trabajo. A pesar de que los costos y beneficios obtenidos pueden variar con diversos, el estudio no pierde vigencia o validez porque se obtiene un ranking de valor de las distintas mallas de muestreo, el que se mantiene constante independientemente de los valores absolutos de la Función de Pérdida utilizados.

Información Utilizada

Para el sector correspondiente a la Fase I del Banco 740, existen algunos hoyos de voladura que tienen leyes de CuT muestreadas, y leyes de CuT visuales (CuTV).

Un análisis estadístico simple de ambos valores permite apreciar que las leyes de CuT de laboratorio generalmente entregan leyes más altas que las visuales. Esto se observa en las Figuras 4 y 5, que muestran los histogramas y estadísticas simples para ambos grupos de datos. La Figura 6 muestra la relación entre ambas distribuciones por medio de un gráfico cuantil-cuantil. De las Figuras 4 a 6, se desprende que por no enviar al laboratorio las muestras de los hoyos de voladura, se tiene una imagen de las leyes en el Rajo sesgada negativamente. Cabe entonces preguntarse si esas diferencias de leyes son significativas a la hora de hacer la selección de mineral/estéril.

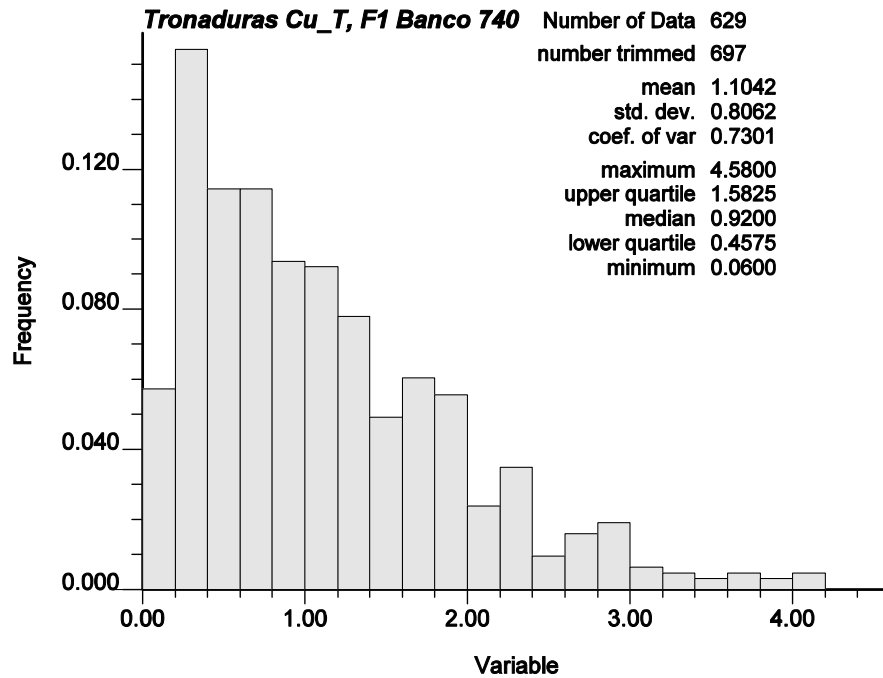


Figura 4: CuT Laboratorio, Fase 1, Banco 740.

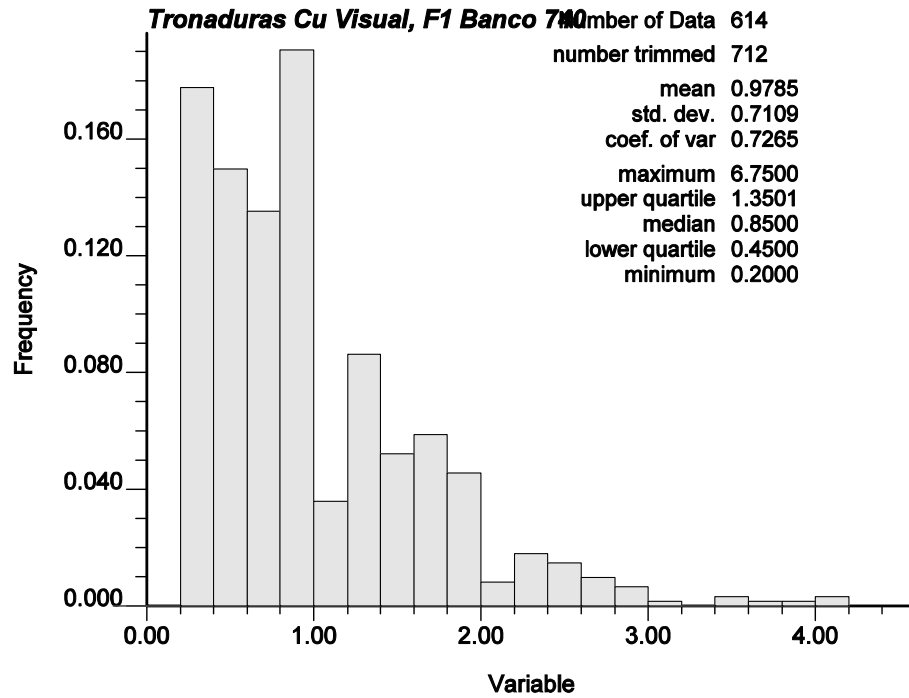


Figura 5: CuT Visual, Fase 1, Banco 740.

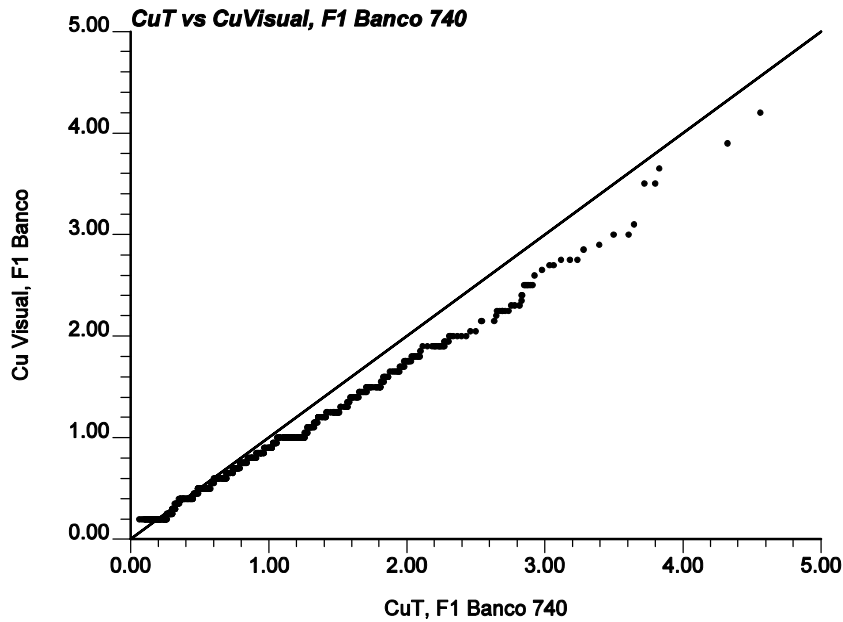


Figura 6: Gráfico Q-Q, CuT Laboratorio, vs. CuT Visual, Fase 1, Banco 740.

La Función de Pérdida

La Función de Pérdida es una función económica que se puede expresar como:

$$Pérdida = Beneficio Operativo Real - Beneficio Operativo Potencial \quad (1)$$

La ecuación de beneficio, generalmente expresada en dólares por tonelada de mineral, está dada por:

$$\text{Beneficio} = (\text{Precio}) * (\text{Recuperación Metalúrgica}) * (\text{Ley de Cu}) - (\text{Costos Planta} + \text{Costos G/A}) \quad (2)$$

Dependiendo de la situación, se puede incluir o no los costos Mina (de extracción) en la ecuación de beneficio. En el caso de este trabajo, no se incluyen los costos mina porque el material destapado tiene que ser extraído del Rajo, sin importar si es estéril o mineral. Si hay un costo de extracción diferencial para mineral o estéril (por ejemplo, por distancia de transporte) se debe incluir un costo de minado diferencial en la Ecuación (2).

A partir de las Ecuaciones (1) y (2) se puede construir una matriz basada en las distintas alternativas de destino de material. Para Minera Michilla, existen tres posibles destinos para todo el material que sale del Rajo: estéril, acopio (mineral de ley baja), o alimentación directa a planta. Por lo tanto, se puede obtener una matriz de 3x3 que representa el universo completo de opciones. Como se observa en la Tabla 12, en las columnas se ordenan las opciones para las leyes "reales" (en la práctica desconocidas), mientras que en las filas se arreglan las leyes estimadas. Esta matriz es una forma de expresar el concepto de mala clasificación de mineral, y cuantifica el costo (en dólares por ton en este caso) de cada posible error cometido.

A cada celda en la Tabla 1 le corresponde un valor obtenido a partir de las Ecuaciones mencionadas. En el caso de las celdas en la diagonal, el valor es 0, porque no se cometen errores (la ley real cae adentro de la misma categoría que la ley estimada, por lo tanto el destino del material es el correcto). Los valores para las demás celdas se obtienen aplicando los valores de las ecuaciones de beneficio correspondiente. Los números presentados en la Tabla 1 corresponden a las hipótesis de costos/beneficios utilizados por Minera Michilla en su presupuesto para el Año Fiscal 1999.

Tabla 1: Función de Pérdida, obtenida utilizando las Ecuaciones (1) y (2), en US\$/ton de mineral.

	Ley Real es Estéril	Ley Real es Acopio	Ley Real es Planta
Ley Estimada es Estéril	0	62.05 * CuT - 79.49	90.85 * CuT - 43.02
Ley Estimada es Acopio	-62.05 * CuT + 79.49	0	28.80 * CuT + 36.47
Ley Estimada es Planta	-90.85 * CuT + 43.02	-28.80 * CuT - 36.47	0

Obsérvese como a) las ecuaciones de pérdida son lineales, y basadas en la ley de CuT; y b), en la simetría que se produce naturalmente por encima y por debajo de la diagonal de la matriz. Ambos hechos se deben a que la ecuación de beneficio aplicada en Minera Michilla es lineal, son valores constantes asumidos, y donde la única variable es la ley de Cu (ver Ecuación (2)). La Función de Pérdida deja de ser lineal si existe, por ejemplo, un relación no lineal entre la recuperación metalúrgica y la ley de Cu, o los costos de tratamiento y la ley de Cu.

Resultados

En la Tabla 2 se muestran los tonelajes y las leyes *estimadas* por cada modelo para cada destino, y también por la simulación condicional que se utiliza como punto de referencia ("real"). La columna "Cu_AVAIL" corresponde al modelo de bloques creado con los valores de las leyes visuales originales. También cabe destacar que la Tabla 2 se construyó simplemente acumulando todos los bloques 3x3 de cada uno de los modelos, sin tener en cuenta aspectos relacionados a la práctica de la extracción en el rajo, sin incorporar anchos mínimos de minado u otros aspectos operacionales; esto es, suponiendo que el bloque de 3x3m es la unidad mínima de minado, y de que no hay pérdidas de mineral o dilución (selección perfecta). Esto se diseñó así para evitar incorporar en el estudio otras variables no relacionadas con la densidad del muestreo y el valor de la información adicional recogida.

Algunas observaciones importantes con respecto a la Tabla 2, son:

1. Aparentemente, todos los modelos producen una estimación razonable de la cantidad de fino para cada destino analizado, en comparación con la simulación promediada a bloques de 3x3m.

SEXTAS JORNADAS DE INGENIERÍA DE MINAS

- La Fase I del Banco 740 correspondió mayoritariamente material de acopio. Ninguno de los modelos estima correctamente las toneladas y la ley del material de acopio. De todos los modelos disponibles, se podría concluir inicialmente que el muestreo visual original, no sistemático, arroja un resultado razonable.

Tabla 2: Tonelajes y Leyes Estimados para cada Destino por cada Modelo.

MODELO	ESTÉRIL			ACOPIO			PLANTA		
	TONS	LEY (%)	FINO	TONS	LEY (%)	FINO	TONS	LEY (%)	FINO
<i>Simul. 3x3m</i>	105660	0.35	370	539730	0.98	5289	166230	1.94	3225
<i>Cu_AVAIL</i>	130220	0.36	469	516590	0.93	4804	164800	2.02	3329
<i>5x5m</i>	142380	0.34	484	483440	0.96	4641	185790	2.1	3902
<i>6x6m</i>	149780	0.33	494	494890	0.96	4751	166950	2.03	3389
<i>7x7m</i>	139050	0.34	473	479150	0.96	4600	193420	2.08	4023
<i>8x8m</i>	140950	0.32	451	476760	0.97	4625	193900	2.19	4246
<i>9x9m</i>	153120	0.34	521	500850	0.93	4658	157640	2.12	3342
<i>10x10m</i>	139050	0.32	445	492030	0.95	4674	180540	2.06	3719

En la Tabla 3 se presentan los tonelajes, leyes, y finos "reales" producidos por cada modelo, esto es, que tonelajes, leyes y finos se enviaron definitivamente a cada destino. Los valores "reales" son extraídos del modelo de la simulación condicional de 3x3m.

Una comparación directa de las Tablas 2 y 3 entrega una evaluación acerca del rendimiento de los modelos escogidos. En todos los casos, se sobreestima la ley enviada a planta significativamente, y se subestima la ley enviada a acopio. También, los modelos resultan optimistas en cuanto a la ley enviada a botadero. Se vé un poco más claramente que el modelo que menos fino envía a la planta es el CuTV, o sea, por ley visual de los pozos; el mejor modelo desde el punto de vista de material enviado a planta es el de 5x5m.

Tabla 3: Tonelajes, Leyes, y Finos "Reales" enviados a cada Destino por cada Modelo.

MODELO	ESTÉRIL			ACOPIO			PLANTA		
	TONS	LEY (%)	FINO	TONS	LEY (%)	FINO	TONS	LEY (%)	FINO
<i>Cu_AVAIL</i>	130220	0.72	938	516590	1.05	5424	164800	1.54	2538
<i>5x5m</i>	142380	0.69	982	483440	1.06	5124	185790	1.48	2750
<i>6x6m</i>	149780	0.72	1078	494890	1.07	5295	166950	1.5	2504
<i>7x7m</i>	139050	0.74	1029	479150	1.06	5079	193420	1.44	2785
<i>8x8m</i>	140950	0.74	1043	476760	1.06	5054	193900	1.43	2773
<i>9x9m</i>	153120	0.76	1164	500850	1.09	5459	157640	1.42	2238
<i>10x10m</i>	139050	0.78	1085	492030	1.09	5363	180540	1.34	2419

Finalmente, la Tabla 4 muestra los resultados económicos para cada modelo, y siempre asumiendo selectividad perfecta¹. Esta Tabla muestra que el modelo de 5x5m resulta ser el más ventajoso económicamente, arrojando una mejora porcentual de ingresos 11% con respecto a la selección basada en las leyes visuales (CuTV), que compensa plenamente el gasto adicional de muestrear sistemáticamente los pozos.

Según el personal de mina, el costo adicional de muestreo es de aproximadamente US\$ 6/muestra. Si se considera que cada pozo de voladura representa (en una malla de 5x5m) aproximadamente 662 toneladas (a una densidad de 2.65), entonces cada muestra (por tramo de 5m en el banco²) representa aproximadamente 331 toneladas. Así resulta que el costo adicional de cada muestra es de aproximadamente 0.020 US\$/t, o 0.117 ¢/lb. Por lo tanto, el costo mina (de cerca de US\$ 1.0/t) no se vé prácticamente impactado.

Para poner el argumento del costo unitario en perspectiva, se puede calcular que, asumiendo un precio de venta del cátodo de Cu de US\$ 0.70/lb, el 11% de mejora en la selección de mineral/estéril equivale a un ingreso bruto de más de US\$ 325.000. Asumiendo a su vez un margen de ganancia de solamente US\$ 0.15/lb, el beneficio neto total para una fase de un banco (equivalente a un 5% de la producción anual total) es de casi US\$ 70.000. Proyectando este beneficio a las mejoras acumuladas para la producción anual, el valor final de beneficio sería de US\$ 1.400.000.

Tabla 4: Resultados Función de Pérdida.

<i>MODELO</i>	<i>No de Bloques Total</i>	<i>No. Mal Clasificados</i>	<i>Valor Cumulativo, ¢/lb</i>	<i>Diferencia (%)</i>
<i>Cu_AVAIL</i>	3403	630	48384.38	11.00
<i>5x5m</i>	3403	582	43590.2	0.00
<i>6x6m</i>	3403	623	46799.23	7.36
<i>7x7m</i>	3403	627	46972.54	7.76
<i>8x8m</i>	3403	631	45686.78	4.81
<i>9x9m</i>	3403	720	53616.9	23.00
<i>10x10m</i>	3403	699	52615.81	20.71

En la realidad, existen otros factores que deben ser tenidos en cuenta que afectan el beneficio global estimado. Entre ellos están:

- Se ha asumido capacidad de selección perfecta, o sea, no se ha considerado las pérdidas de mineral y la dilución que siempre ocurren durante la extracción.
- Las leyes de los pozos de voladura pueden tener sesgos, lo que afecta las diferencias analizadas.
- Las suposiciones de costos y beneficios están sujetas a cambio, por la naturaleza errática del mercado de metales.
- Las voladuras del Rajo en realidad se hacen a una malla que se aproxima más a un grilla de 8x8m o 9x9m, y es poco realista esperar que Operaciones Mina perfore exclusivamente para muestrear.

A pesar de estos y otros factores que pueden afectar las cifras manejadas en este trabajo, las conclusiones alcanzadas no varían. Los beneficios observados que resultan de muestrear los pozos de voladura superan ampliamente los ahorros obtenidos por costo de laboratorio.

¹Existen también con la función de pérdida aplicada pérdidas "negativas", o sea ganancias, no mostradas aquí. Esto resulta porque la ley de corte económica del rajo es cercana al 0.5% Cu, dados los parámetros económicos utilizados. Esto significa que enviar material a la Planta que tiene ley de acopio (entre 0.5% y 1.5%) dá ganancia (pérdida "negativa"), porque la función de pérdida implementada no refleja el costo adicional de desplazar material de alta ley.

²En el momento de desarrollar este trabajo, en la mina se muestreaban los pozos de voladura por semi-bancos (tramos de 5m).

CONCLUSIONES

Las conclusiones principales de este trabajo son:

- Se ha descrito una metodología sistemática, en base a Simulaciones Condicionales Geoestadísticas y Funciones de Pérdida, que permite evaluar, en base a una función de costo-beneficio, la conveniencia o no de obtener mayor información en una situación dada.
- En caso de Minera Michilla, el costo adicional de muestrear todos los pozos de voladura es mínimo (0.1-0.2 centavos de dólar/libra) con respecto al mejoramiento en la selectividad del destino mineral/acopio/estéril. El beneficio neto obtenido se mide al menos en cientos de miles de dólares anuales.
- La metodología descrita es general, y no está limitada a un cierto tipo de mina, o un tipo de información específica (pozos de voladura). Por el contrario, es aplicable en toda aquella instancia de un proyecto minero para el cual se pueda elaborar una ecuación de costo-beneficio, incluyendo proyectos de nivel pre-factibilidad hasta minas en operación.

El uso de esta metodología (aplicando simulaciones condicionales y funciones de pérdida) valoriza la información recogida en un proyecto minero, y por lo tanto potencia el desarrollo del proyecto en base a suposiciones económicas generalmente definidas por la Gerencia de la compañía. Esto permite que el proceso de presupuestar y definir los objetivos de cada campaña de perforaciones o de muestreo sea más transparente, y menos dependiente del conocimiento subjetivo y/o percepciones de los individuos involucrados en el proceso.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece la oportunidad de implementar estas técnicas y publicar este trabajo a la Gerencia de Operaciones y Gerencia General de Minera Michilla S.A. Las interpretaciones y opiniones expresadas en este trabajo son de responsabilidad única de los autores.

REFERENCIAS

- Alabert, F.G., 'Stochastic Imaging of Spatial Distributions Using Hard and Soft Information', Tesis de Maestría, Stanford University, 197 pp, 1987.
- Deutsch, C.V., y Journel, A.G., "GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide", Oxford University Press, 340 p., 1992.
- Ferraris y Di Biase, 1978, Hoja Antofagasta, Carta Geológica de Chile, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- GeoSystems International, Noviembre 1997, *Informe Estudios Gemelos y Desviación de Sondajes, Cía. Minera Michilla, S.A.*, 35p.
- GeoSystems International, Julio 1998, Informe Cálculo de Recursos y Reservas, Lince-Estefanía, Minera Michilla, S.A., 78p más Anexos.
- GeoSystems International, Mayo 1999, *Informe Actualización Cálculo de Recursos, Lince-Estefanía, Minera Michilla, S.A.*, 70p más Anexos.
- Goovaerts, P., "Geostatistics for Natural Resources Evaluation", Oxford University Press, 483p, 1997.
- Isaaks, E.H., "The Application of Monte Carlo methods to the Analysis of Spatially Correlated Data", Tesis Doctoral, Stanford university, Stanford, CA, 1990.
- Journel, A.G., y Huijbregts, Ch.J., "Mining Geostatistics", Academic Press, 600 p., 1978
- Rossi, M.E., "Improving on the Estimation of Recoverable Reserves", Sociedad de Ingenieros de Minas, EEUU, Mining Engineering, Colorado, Enero 1999.