



XVIII Congreso Peruano de Geología

IMPLEMENTACION DEL MODELAMIENTO EN 3D Y ESTIMACION DE RECURSOS CON MODELO DE BLOQUES DE LA MINA CHIPMO, ORCOPAMPA-AREQUIPA, PERU.

Jose Aquino¹, Octavio Vargas Machuca², Julio Meza³, Alberto Peña⁴

¹ Superintendente de Geología-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, jose.aquino@buenaventura.pe

² Geologo de Modelamiento-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, octavio.vargasmachuca@buenaventura.pe

³ Gerente de Geología-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, julio.meza@buenaventura.pe

⁴ Director de Modelamiento y Recursos-Compañía de Minas Buenaventura S.A.A, alberto.pena@buenaventura.pe

1. Resumen

El cálculo de la estimación de recursos y reservas en la mina Chipmo se venía desarrollando con el método de polígonos 2D, siendo este un método poco preciso; razón por la cual, la compañía decide implementar el modelamiento en 3D y la estimación de los recursos con modelo de bloques.

La metodología del modelamiento fue verificar la ubicación espacial de las muestras y tramos de sondajes, con la ayuda del cartografiado de niveles y las interpretaciones de las secciones transversales y longitudinales. La creación del modelo de bloques es por zonas (Nazareno y Prometida), y las dimensiones de los bloques son 3m (azimut) x 1.5m (ancho de veta) x 3m (altura) y el ancho de composito es 1.5m. La metodología que se está utilizando es inverso a la distancia y kriging.

El resultado final permitirá obtener una mejor interpretación geológica y una mayor certeza para el planeamiento en la operación minera.

2. Objetivos

Con la implementación del modelamiento 3D y estimación de recurso con modelo de bloques en la mina Chipmo se busca:

- Colocar a la Compañía de Minas Buenaventura en la competitividad con referente a la estimación con modelos de bloques.

- Unificar la información Geológica en un ambiente 3D.
- Mejorar en la interpretación y correlación geológica.
- Optimizar la operación a través de un modelo de bloques para recursos con menor incertidumbre.
- Planeamiento sustentado y ordenado de los programas de exploración a corto, mediano y largo plazo.

3. Antecedentes

Durante los años pasados se ha estado trabajando las interpretaciones en 2D (planos) y la estimación de recursos con el método de polígonos, este método presenta algunas desventajas como por ejemplo:

- El cálculo volumétrico de las estructuras mineralizadas es muy aproximado ya que se utiliza una proyección geométrica hacia un plano vertical.
- No toma en cuenta la continuidad de las leyes, no se puede trabajar con más de un dominio.
- Es complejo el manejo de múltiples variables (densidad, recuperación metalúrgica, caracterización geomecánica, elementos contaminantes, etc.).
- No proporciona error asociado a la estimación, entrega un único valor.

Estimación de Recursos y Reservas por método de Polígonos

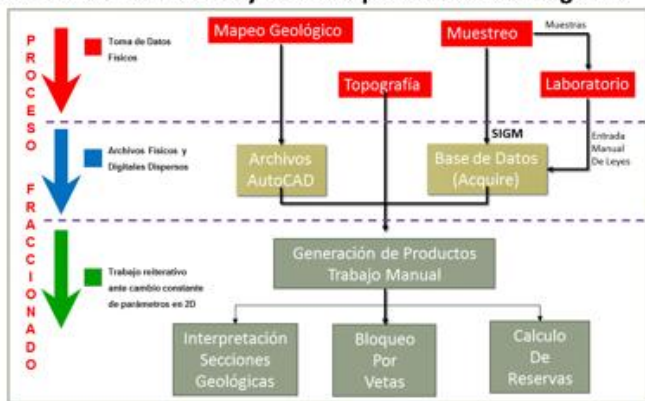


Fig. 01; Proceso de Estimación: Método de Polígonos

Estimación de Recursos y Reservas Modelo de Bloques



Fig. 02; Proceso de Estimación Modelo de Bloques

4. Implementación del Modelo de Bloques

Identificado el problema, se hizo evidente la necesidad de la implementación del modelo de bloques en la mina Chipmo.

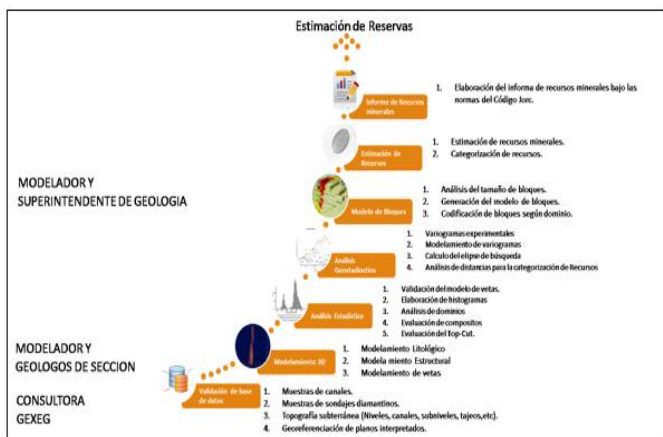


Fig. 03; Trabajos ejecutados para la implementación de la estimación del Modelo de Bloques

Para esto se dio inicio a la recopilación y validación de información.

5. Modelo de Bloque

En la mina Chipmo se está considerando un modelo de bloque para la zona Prometida y un modelo de bloques para la zona Nazareno.

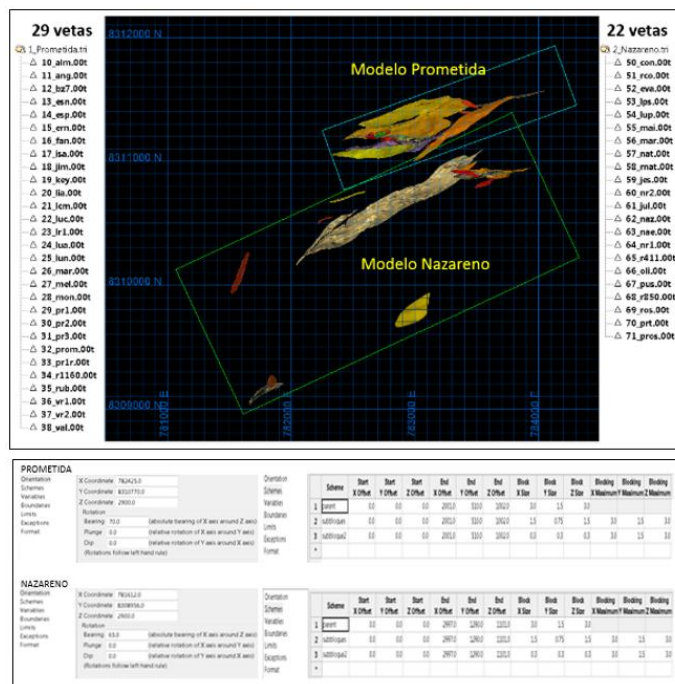


Fig. 04; Vista en planta de las vetas que conforman la zona Prometida y Zona Nazareno

6. Análisis Estadístico

La variabilidad de las leyes en un yacimiento aurífero es alto, y para controlar este fenómeno en la mina Chipmo se esta considerando las siguientes herramientas estadísticas.

Grafica_Probability Plot

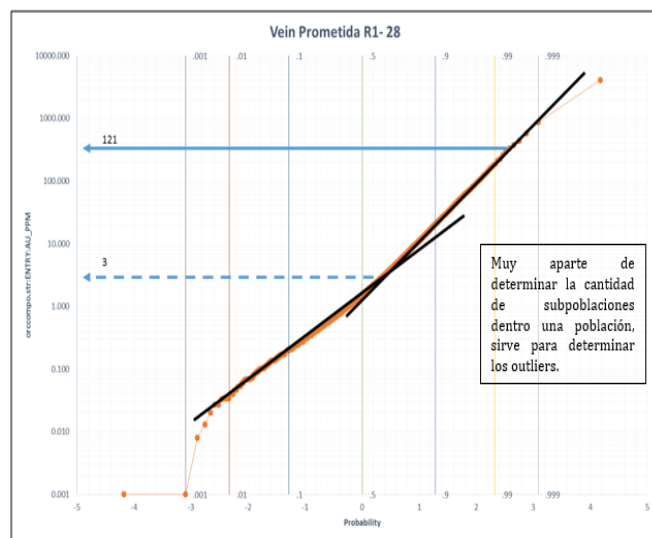


Fig. 05; Grafica Probabilística, veta Prometida R1.

6.1. Contact Plot:

- Permite evaluar como varían las leyes en función a la distancia del contacto.
- Se utiliza para determinar si se puede utilizar muestras al otro lado del contacto.

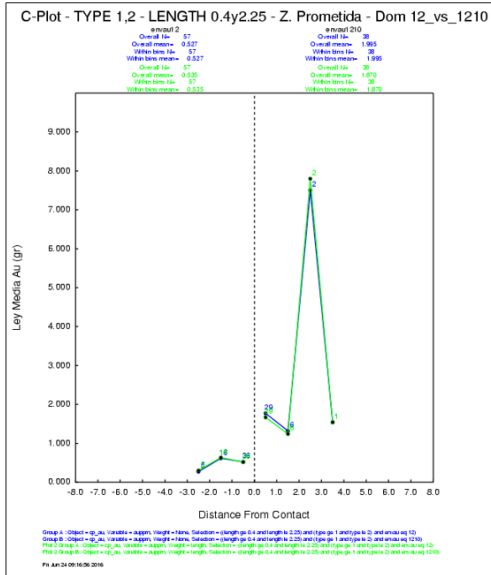


Fig. 06; contact plot envau12 vs envau1210

6.2. Clustering:

- Es cuando las muestras no se encuentran homogéneamente distribuidas en el espacio.
- Causan que las estadísticas (media, varianza) no sean representativas de la población real.

6.3. Outliers:

- Llamado también valores extremos, estos son comunes en todos los metales y yacimientos.
- Afectan la estimación de las estadísticas de la población (media, varianza, etc.) en especial cuando C.V > 1.

	Pob 1	Pob 2	Pob 3	Pob 4	Pob 5
Muestra 1	1	1	1	1	1
Muestra 2	2	2	2	2	2
Muestra 3	3	3	3	3	3
Muestra 4	4	4	4	4	4
Muestra 5	5	5	5	5	5
Muestra 6	6	6	6	6	6
Muestra 7	7	7	7	7	7
Muestra 8	8	15	30	60	100
Media	4.5	5.4	7.3	11.0	16.0
Std Dev	2.4	4.4	9.4	19.9	34.0
CV	0.5	0.8	1.3	1.8	2.1

***COMO LIDIAR CON LOS OUTLIERS**

- Definir nuevos dominios.
- Restringir su uso durante la interpolación.
- Kriging Indicadores

Fuente: Curso de Geostatística_Amec-Antamina

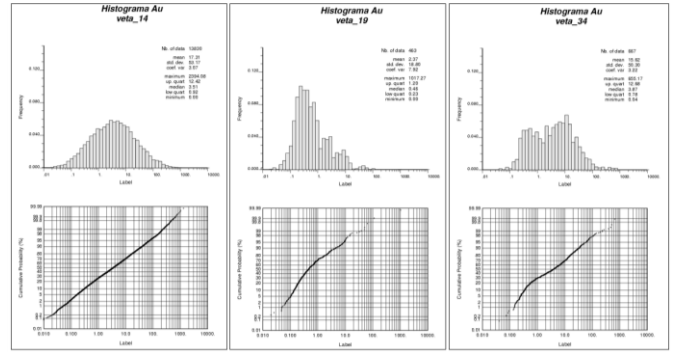
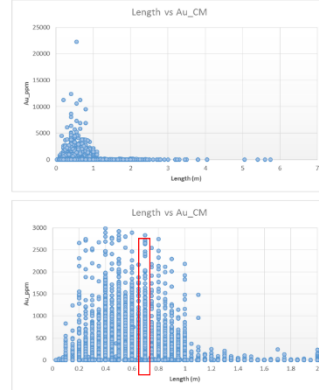


Fig. 07; Estadística de las vetas Esperanza, Keyla y Ramal 1160

7. Análisis de Ancho de Compósito

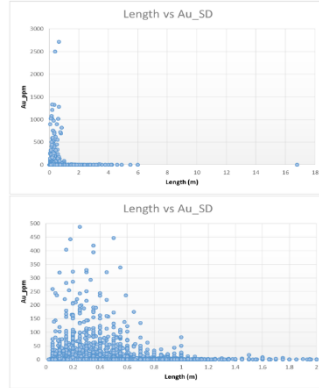
Análisis de Canales



Length		Au_ppm	
Media	0.59548723	Media	14.5759389
Error típico	0.00032312	Error típico	0.16275297
Mediana	0.6	Mediana	1.131
Moda	0.4	Moda	0.24
Desviación estándar	0.20521004	Desviación estándar	103.856364
Varianza de la muestra	0.04252258	Varianza de la muestra	10788.2216
Curtosis	7.48446727	Curtosis	7615.23035
Coefficiente de asimetría	1.06233848	Coefficiente de asimetría	58.3141956
Rango	5.725	Rango	22254.518
Mínimo	0.0225	Mínimo	0
Máximo	5.75	Máximo	22254.518
Suma	242529.445	Suma	5855026.17
Cuenta	407275	Cuenta	407275

- Las muestras de canales representa el 84% de la población.
- La media del ancho de muestreo es de 0.59, varianza de 0.04 y con C.V de 1.06.

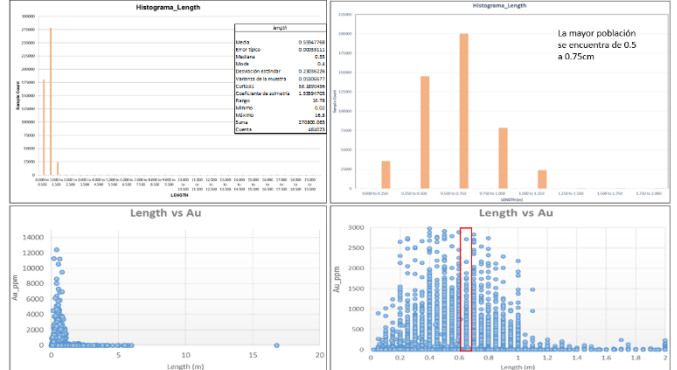
Análisis de Sondajes



Length		Au_ppm	
Media	0.36837564	Media	1.29127491
Error típico	0.00092472	Error típico	0.08029386
Mediana	0.3	Mediana	0.107
Moda	0.2	Moda	0.05
Desviación estándar	0.25617149	Desviación estándar	22.243018
Varianza de la muestra	0.06562385	Varianza de la muestra	494.75185
Curtosis	236.093424	Curtosis	6088.82363
Coefficiente de asimetría	5.29203392	Coefficiente de asimetría	66.2239952
Rango	16.78	Rango	2721.463
Mínimo	0.02	Mínimo	0
Máximo	16.8	Máximo	2721.463
Suma	28270.62	Suma	99097.021
Cuenta	75744	Cuenta	76744

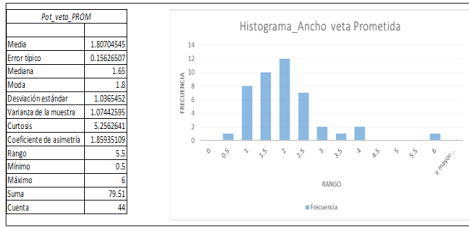
- Las muestras de sondajes representa el 16% de la población.
- La media del ancho de muestreo es de 0.36, varianza de 0.06 y con C.V de 5.29.

Análisis de toda la población (canales y sondajes)



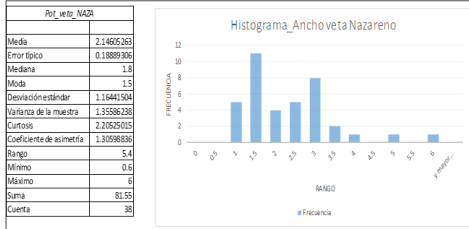
Length		Au_ppm	
Media	0.5181764	Media	1.29127491
Error típico	0.0025111	Error típico	0.08029386
Mediana	0.4	Mediana	0.107
Moda	0.4	Moda	0.05
Desviación estándar	0.1800000	Desviación estándar	22.243018
Varianza de la muestra	0.0324000	Varianza de la muestra	494.75185
Curtosis	11.8000000	Curtosis	6088.82363
Coefficiente de asimetría	1.1800000	Coefficiente de asimetría	66.2239952
Rango	9.5	Rango	2721.463
Mínimo	0.02	Mínimo	0
Máximo	9.5	Máximo	2721.463
Suma	21000.000	Suma	99097.021
Cuenta	407275	Cuenta	76744

La mayor población se encuentra de 0.5 a 0.75cm



Se podría considerar como ancho de compuesto:

- La media de la población de canales es 0.56, por tanto el ancho de compuesto podría ser 1.0m, 1.5m o 2.0m.
- La media de población total considerando el histograma sería 0.75m, por lo tanto el ancho del compuesto sería 1.5m o 3.0m.
- El ancho de minado tiene un promedio de 2.30m.
- Según las imágenes adjuntas el ancho promedio de las vetas de las zonas PROMETIDA y NAZARENO es 1.8 y 2.14. Como promedio de potencia de las vetas sería 2.00m



CONCLUSION:

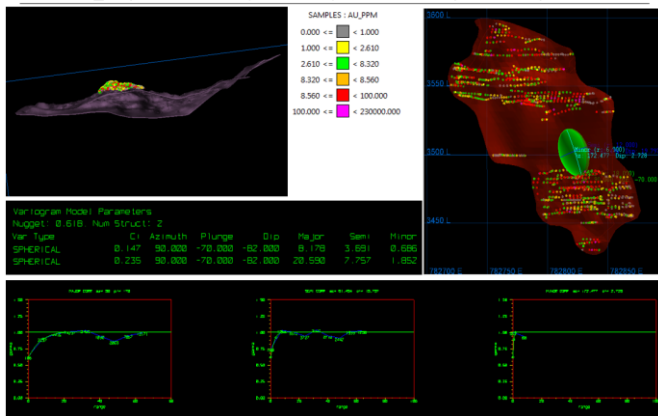
- El ancho de compuesto sería 1.5m y tamaño de bloque sería 3*1.5*3.

Fig. 08; Se concluye, el ancho de compuesto 1.5m y las dimensiones del bloque 3x1.5x3.

8. Variogramas

Estudio que aporta informacion importante para la estimacion y categorizacion.

13 esn _ Esperanza Norte (Prometida) Azmt: 273°, DipDir: 3°, Dip: -82°



14 esp _ Esperanza (Prometida) Azmt: 263°, DipDir: 353°, Dip: -79°

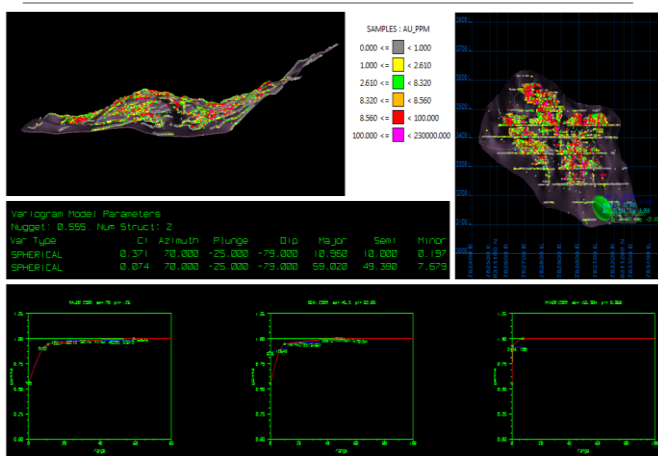


Fig. 09; A) Variograma de la Veta Esperanza Norte. B) Variograma de la Veta Esperanza.

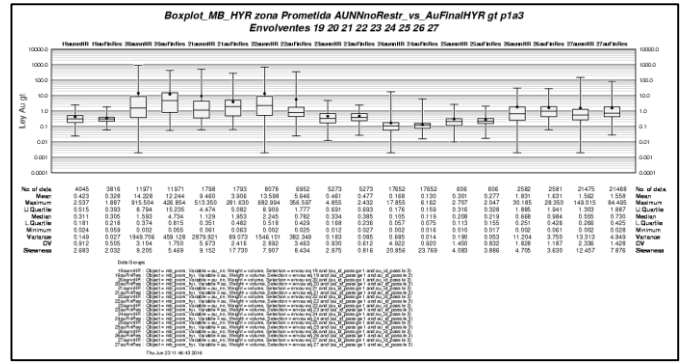


Fig. 10; Validación global zona Prometida

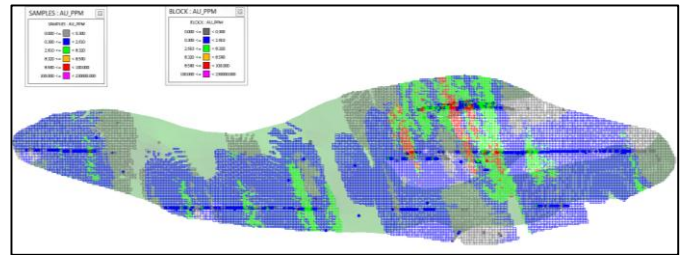


Fig. 11; Validación visual de la interpolación, veta Melisa.

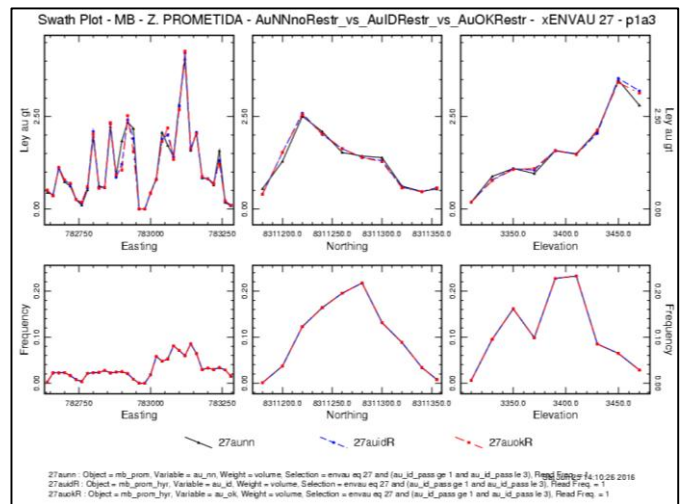


Fig. 12; Validación local, Swath Plot veta Melisa entre AUNN, AUID y AUOK

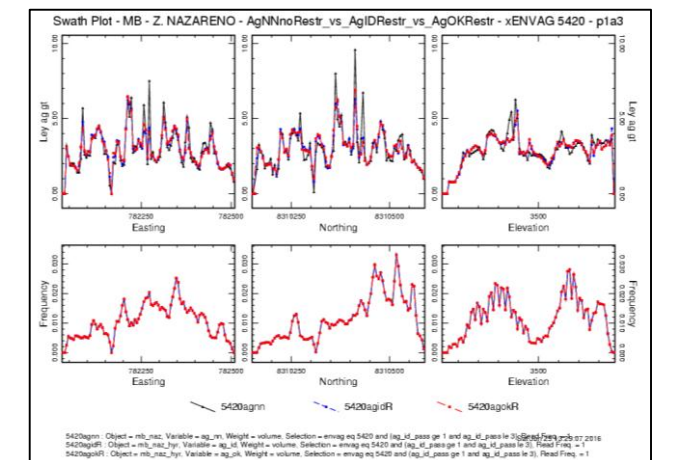


Fig. 13; Swath Plot veta Nazareno entre AGNN, AGID y AGOK

7. Conclusiones

- El modelamiento 3D de las vetas y el cálculo de recursos brinda mayor oportunidad para una mejor interpretación y una mayor confianza para el planeamiento de minado.
- El modelo de bloques tiene la capacidad de proveer la magnitud del error cuantificando así la calidad de la estimación, esto ayuda al cálculo de las distancias mínimas en perforación diamantina y muestreo de canales.
- El modelo de bloques cuenta con procedimientos estandarizados que son fácilmente auditables y que son reconocidos por los códigos de Recursos y Reservas (JORC, NI-43101), etc.

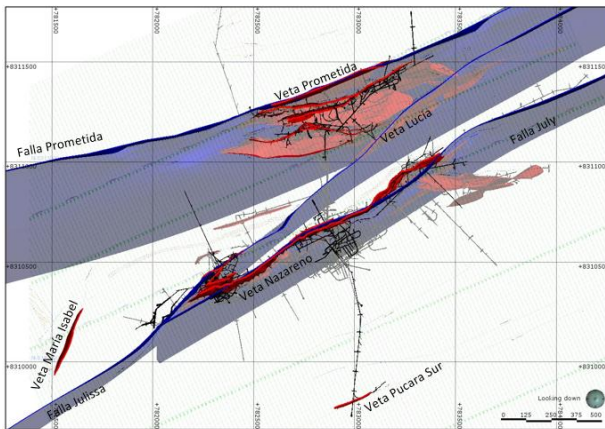


Fig. 14; Corte en el nivel 3490, se observa las distribución espacial de las veta.

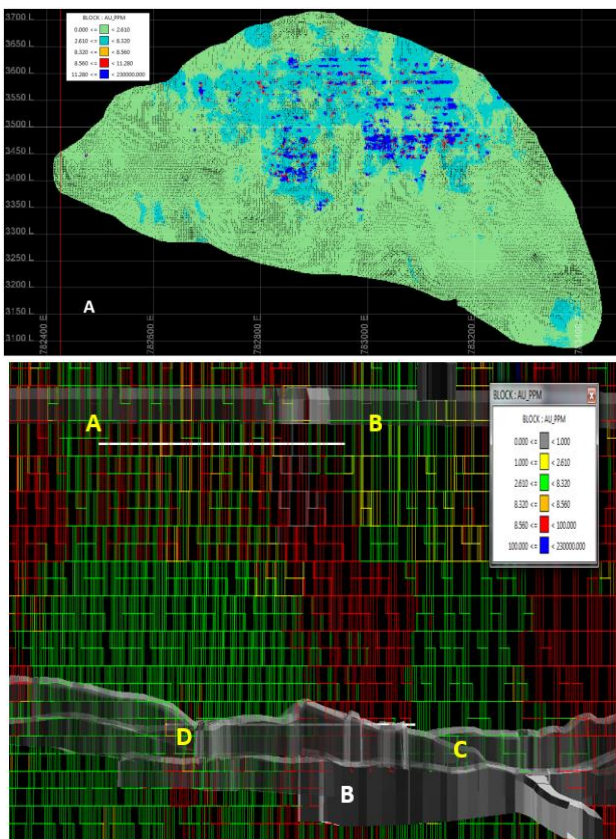


Fig. 15 A) Modelo de bloques de la veta Prometida R1. B) Modelo de Bloques final dimensiones de los bloques 3mx1.5mx3m.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a todo el equipo de Geología y a la Gerencia de la U.E.A. Orcopampa por el apoyo e interés en la investigación y en el desarrollo del presente trabajo realizado.

Referencias

- Alfaro, M. 2014, Geoestadística Aplicada a la Evolución de Yacimiento.
- Alfaro, M. 2013, Taller de Geoestadística. Compañía Minera Milpo.
- Emery, X. 2013, Información de curso Geoestadística, Universidad de Chile.
- Manchego, M. 2012, Modelamiento en el Software Geológico Leapfrog.
- Marín, A. 2011, Curso de Geoestadística, Universidad Nacional de Ingeniería.