

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA MINERA Y METALURGICA



“CATEGORIZACION DE RECURSOS MINERALES

VETA ESTRELLA – MINA CONDESTABLE”

INFORME DE SUFICIENCIA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO GEOLOGO

PRESENTADO POR

JOSE LUIS SILVA GONZALES

LIMA – PERU

2009

Este informe está dedicado a María y Decio, mis padres, que junto a mis hermanos me brindaron su apoyo incondicional.

A mi esposa Clara, compañera incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

El informe realizado es producto del apoyo recibido por la Compañía Minera Condestable S.A., en las personas del Ing. Johny Orihuela, Ing. Wilber Zamora, Ing. Carlos Rodríguez y los colegas del Área de Geología.

Así mismo agradezco al Ing. Abel Puerta, Ing. Héctor Aspajo y Alberto Peña por las enseñanzas y consejos impartidos durante mi permanencia en la Compañía Mauricio Hochschild Mining PLC, gran parte de este informe no hubiera sido posible sin el conocimiento compartido por ellos.

Agradecimiento también a Ingeniera Nora Revolle y Doctor Rolando Carrascal por el gentil asesoramiento en el desarrollo del presente informe.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1	Objetivos	13
1.2	Metodología	14
1.2.1	Descripción Metodológica	14
1.2.1.1	Base de Datos	14
1.2.1.2	Validación de Base de Datos	16
1.2.2	Software y Hardware	16
1.3	Ubicación y Acceso	18
1.4	Geomorfología y Clima	18

CAPITULO II: GEOLOGIA

1.5	Marco Geológico	20
1.6	Geología Local	23
2.1.1	Geología Estructural	25
2.1.2	Estratigrafía Local: Formación Copara	25
➤	Secuencia Clástica – Calcárea Este	25
➤	Secuencia Volcanoclástica	27
➤	Secuencia Clástica – Calcárea Oeste	27
➤	Secuencia Clástica – Calcárea Noroeste	31
2.2	Geometría del Yacimiento y Mineralogía	31
2.2.1	Mineralización	34

2.2.2	Alteraciones Hidrotermales	34
2.2.3	Controles de Mineralización	36

CAPITULO III: MODELAMIENTO GEOLOGICO

3.1	Introducción	38
3.2	Aseguramiento y Control de la Calidad (QA / QC) en la Etapa de Muestreo	41
3.2.1	Remuestreo	41
3.2.2	Duplicado Grueso	43
3.2.3	Duplicado Fino	44
3.2.4	Blanco	45
3.2.5	Estándar	46
3.3	Análisis Exploratorio de Datos Originales	47
3.3.1	Distribución de los Datos	47
3.3.2	Cálculos Estadísticos de los Datos	49
3.3.3	Gráficos Estadísticos de los Datos	56
	➤ Histogramas	56
	➤ Ploteo Probabilístico	60

CAPITULO IV: ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS COMPOSITOS

4.1	Estudio del Tamaño de Compósito	64
4.2	Gráficos y Cálculos Estadísticos de los Compósitos	69
4.3	Análisis Variográfico	71
4.3.1	Variograma Experimental: Correlograma	71
4.3.2	Modelamiento del Variograma	72

CAPITULO V: INTERPOLACION DE LEYES

5.1	Restricción de Valores Extremos (outliers)	74
5.2	Estructura del Modelo de Bloques	78
5.3	Método de Interpolación de Leyes	79

5.4	Parámetros en la Interpolación de Leyes	81
5.5	Validación de la Interpolación de Leyes	82
5.5.1	Inspección Visual	82
5.5.2	Revisión del Modelo por la Media	83
5.5.3	Sesgo Local	84
CAPITULO VI: CATEGORIZACION DE RECURSOS MINERALES		
6.1	Recurso Mineral Medido	88
6.2	Recurso Mineral Indicado	89
6.3	Recurso Mineral Inferido	89
CONCLUSIONES		92
RECOMENDACIONES		94
BIBLIOGRAFIA		95
GLOSARIO		97

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Flujograma del Proceso de Categorización de Recursos Minerales	15
Figura 2: Software y Hardware utilizado en el informe	17
Figura 3: Columna Estratigráfica Local	28
Figura 4: Modelo Litológico de la Veta Estrella	40
Figura 5: Modelo Geoeconómico de la Veta Estrella	40
Figura 6: Análisis de dispersión Cu: remuestreo	42
Figura 7: Análisis de dispersión Cu: duplicado grueso	43
Figura 8: Análisis de dispersión Cu: duplicado fino	44
Figura 9: Análisis de blanco Cu	45
Figura 10: Variación del Cu – estándar	46
Figura 11: Vista en planta de la distribución de datos	48
Figura 12: Vista en 3D de la distribución de datos	48
Figura 13: Sección transversal Veta Estrella	49
Figura 14: Histograma litológico veta	57
Figura 15: Histograma litológico lava	57
Figura 16: Histograma litológico tufo	57
Figura 17: Histograma litológico lutita	58
Figura 18: Histograma litológico pórfido	58
Figura 19: Histograma litológico falla	58
Figura 20: Histograma modelo litológico	59
Figura 21: Histograma modelo geoeconómico	59
Figura 22: Ploteo probabilístico litológico veta	60

Figura 23: Ploteo probabilístico litológico lava	61
Figura 24: Ploteo probabilístico litológico tufo	61
Figura 25: Ploteo probabilístico litológico lutita	61
Figura 26: Ploteo probabilístico litológico pórfido	62
Figura 27: Ploteo probabilístico litológico falla	62
Figura 28: Ploteo probabilístico modelo litológico	62
Figura 29: Ploteo probabilístico modelo geoeconómico	63
Figura 30: Histograma de longitud de muestreo	65
Figura 31: Ploteo probabilístico de la longitud de muestreo	66
Figura 32: Scatter Plot de la longitud de muestreo vs ley de Cu	67
Figura 33: Gráfico QQ-Plot de longitud de muestreo vs Ley de Cu	68
Figura 34: Variación de la media compositada vs longitud compósito	68
Figura 35: Número de datos compósito vs longitud compósito	68
Figura 36: Histograma de la data compósito	70
Figura 37: Ploteo probabilístico de la data compósito	70
Figura 38: Variogramas experimentales en el plano de la veta Estrella	72
Figura 39: Modelamiento del variograma	72
Figura 40: Ploteo probabilístico del Cu compósito	76
Figura 41: Zoom de la Figura 40	76
Figura 42: Distribución espacial de los valores atípicos	76
Figura 43: Ploteo probabilístico del Cu compósito acotado	77
Figura 44: Histograma del Cu compósito acotado	78
Figura 45: Modelo de bloques 3D	79
Figura 46: Sección longitudinal mostrando interpolación de leyes	81
Figura 47: Inspección visual compósito vs modelo de bloques	82

Plano 2: Geología Regional	21
Plano 3: Geología Local	24
Plano 4: Geología Estructural Nv 235	26
Plano 5: Geología Veta Estrella	32
Plano 6: Sección Transversal Veta Estrella	33

LISTADO DE FOTOS

Foto 1: Vista panorámica secuencias clásticas – calcáreas en Mina Condestable	29
Foto 2: Secuencia volcanoclástica	30
Foto 3: Alteración Albitización	36
Foto 4: Alteración Metosomática. Albita	36

RESUMEN

El presente informe titulado "Categorización de Recursos Minerales: Veta Estrella", propone establecer criterios para combinar la información estadística y geoestadística con la información geológica en la definición de las características del muestreo y de los métodos de estimación más adecuados para categorizar los recursos de un cuerpo mineralizado; aplicando para esto un conjunto de técnicas, tratando de mantener el concepto teórico dentro de un medio netamente práctico, para poder tomar decisiones respecto a la explotación y a la rentabilidad de la veta en mención.

La veta Estrella se distribuye en forma transversal a las unidades litoestratigráficas de composición volcanoclástica, y su relleno mineralógico es tipo rosario. Se encuentra emplazada en pórfidos dacíticos.

Esta veta comprende un sistema continuo de 300 m de longitud con un desarrollo en profundidad de 200 m y potencia promedio de 1.5 m. Se orienta con azimut promedio de 320° buzando con un promedio de 52°NE.

Para la categorización de los recursos minerales se ha utilizado la información obtenida del campo y almacenada en un sistema de base de datos. Los datos utilizados para la categorización están compuestos por un total de 19 sondajes diamantinos y 174 canales de muestreo de galerías y fueron procesados en el software Minesight.

Los datos de canales y sondajes diamantinos, usados para la categorización de los recursos minerales se compositarón a 1 m, se construyó el modelo geoeconómico de la veta y se interpolaron las leyes usando el método de estimación Inverso de la Distancia con potencia 2.

CAPITULO I

GENERALIDADES

Cada etapa en la búsqueda y exploración de un yacimiento finaliza con la categorización y estimación de recursos minerales, las cuales pueden realizarse por métodos tradicionales o modernos. En el método tradicional se utilizan fundamentalmente valores medios o medias ponderadas para la estimación de bloques definidos convenientemente, por lo que su uso ha estado relacionado con problemas de precisión, además frecuentemente la información presenta irregularidades. En los métodos recientes, se utiliza la modelación matemática y la geoestadística, aplicándose técnicas de regresión y correlación.

El yacimiento se interpreta como una reunión de bloques, que serán estimados a partir de las muestras cercanas (sondajes y/o canales). A estos bloques se les asigna atributos de interés: leyes (cobre, oro, arsénico, etc.), densidad de la roca, tipo de roca entre los principales.

1.1 Objetivos

- Obtener el grado de Ingeniero Geólogo

- Categorizar los recursos minerales de la veta Estrella.

1.2 Metodología

1.2.1 Descripción Metodológica

Para realizar la categorización de recursos minerales de la Veta Estrella, se ha establecido un procedimiento que se muestra en la Figura 1: Flujograma del Proceso de Categorización de Recursos Minerales.

1.2.1.1 Base de Datos

En el área de trabajo la información recopilada de campo es almacenada en una base de datos, desde esta base de datos se extrae la siguiente información para realizar la categorización de los recursos minerales de la Veta Estrella.

- 19 Sondajes diamantinos (geología y leyes)
- 174 canales de muestreo (geología y leyes)
- Mapeo geológico de galerías.
- Topografía de las galerías.

Con la información mencionada líneas arriba se ha construido el modelo litológico y el modelo geoeconómico, y para la categorización de recursos se ha utilizado la data de leyes de los canales y los sondajes.

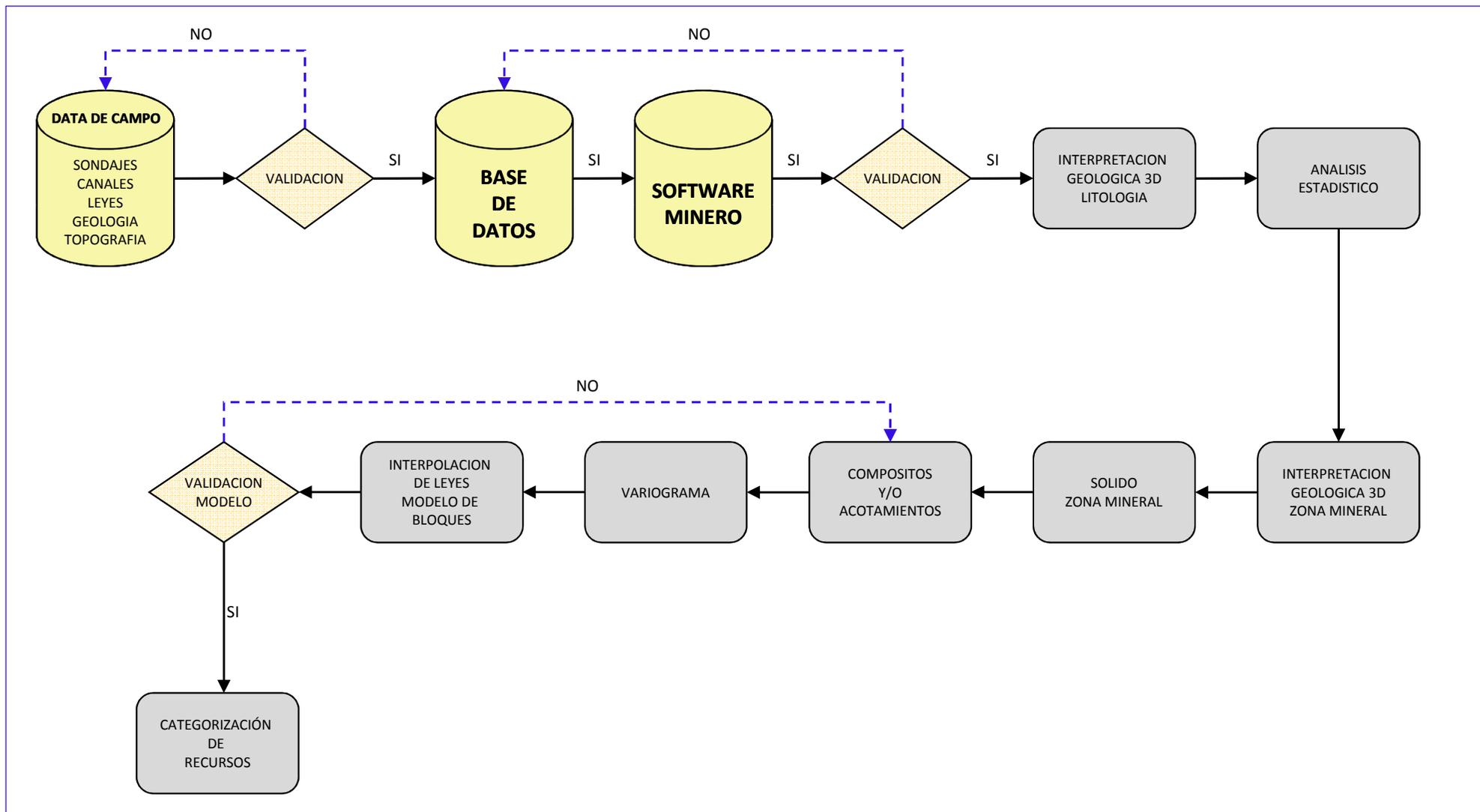


Figura 1. Flujograma del Proceso de Categorización de Recursos Minerales

1.2.1.2 Validación de Base de Datos

Antes de procesar estos datos y comenzar con el Modelamiento Geoeconómico, se recopiló y validó la data de canales, sondajes y mapeo geológico de la Mina Condestable. La validación comprendió la revisión de la ubicación espacial de los canales, sondajes, mapeo geológico, el logueo geológico y los análisis de las muestras.

Para la ubicación de los sondajes se considero el collar (coordenadas este, norte, elevación), el survey (medición de inclinación del sondaje por tramos) y la profundidad del sondaje.

1.2.2 Software y Hardware

Para realizar la Categorización de los Recursos Minerales de la Veta Estrella, se utilizaron los siguientes programas:

Autocad: Software utilizado como herramienta de interface para generar archivos dxf.

K-edit: Software utilizado para procesamiento de datos en formato texto.

MineSight: Software utilizado para realizar el procesamiento de la información extraída desde la base de datos, con sus

respectivos módulos MSCompass para el procesamiento de información y MSDA para realizar el proceso estadístico y geoestadístico.

Snagit: Software utilizado para capturar imágenes.

Microsoft Office: Software utilizado para el realizar el informe (Word, Excel, Power Point).

El hardware utilizado fue:

- 1 Notebook VAIO – Sony
- 1 Impresora HP Color Laser Jet 5550
- 1 Scanner HP



Figura 2. Software y hardware utilizado en el informe

1.3 Ubicación y Acceso

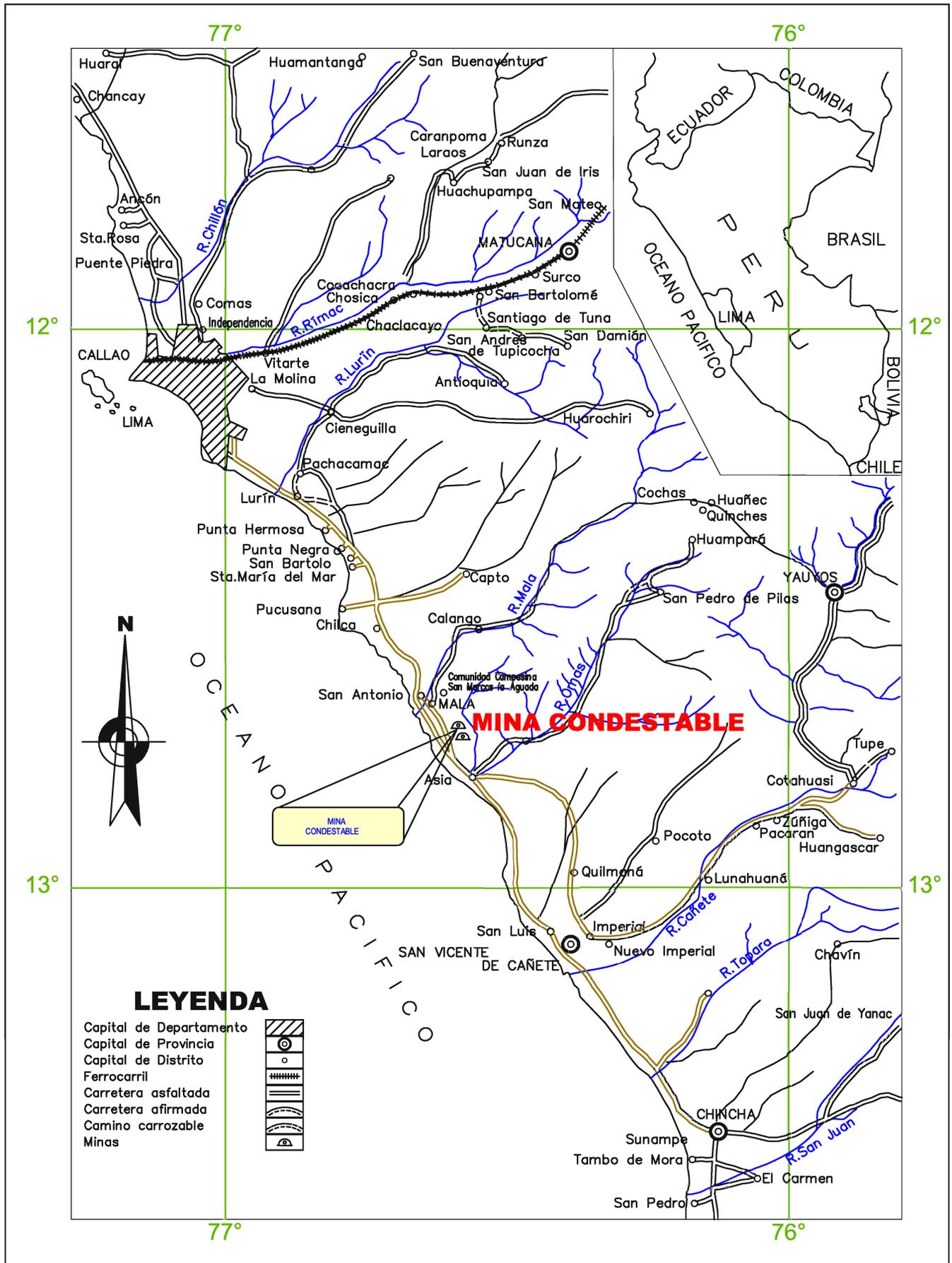
La Mina Condestable se ubica a 90 km al Sur de la ciudad de Lima, en el Distrito de Mala, Provincia de Cañete, cerca al paraje denominado Bujama Alta y a 10 km del pueblo de Mala. La mina está a una altitud promedio de 300 m.s.n.m., las coordenadas geográficas son Longitud 76°35'30" W y Latitud 12°42'02" S.

El acceso se realiza desde Lima por la Panamericana Sur hasta la altura del km 90, luego se sigue por una carretera afirmada de 6 km hasta llegar al campamento principal.

1.4 Geomorfología y Clima

Geomorfológicamente en el área de la mina se reconocen depósitos eólicos que cubren las antiguas llanuras de inundación y flancos más bajos de los cerros; depósitos fluvio-aluvionales en las quebradas y depósitos coluviales o de piedemonte que se extienden a manera de abanicos en los flancos escarpados de cerros pedregosos y que en el invierno se cubren de un musgo verde y alojan vegetación de lomas.

El clima del área es típico de la Costa Peruana, cálido y húmedo en verano con temperaturas que oscilan durante el día entre 20°C y 30°C con medias de 75% de humedad relativa, mientras que en el invierno la temperatura oscila entre 11°C y 18°C, con humedad relativa de hasta 100% que sumada a la precipitación de llovizna estacional, favorecen el desarrollo de vegetación de pastizales en las lomas.



INFORME DE SUFICIENCIA
 JOSE LUIS SILVA GONZALES

PLANO DE UBICACION

FECHA: DICIEMBRE 2009

ESCALA: 1/1 000 000

PLANO N° :

1

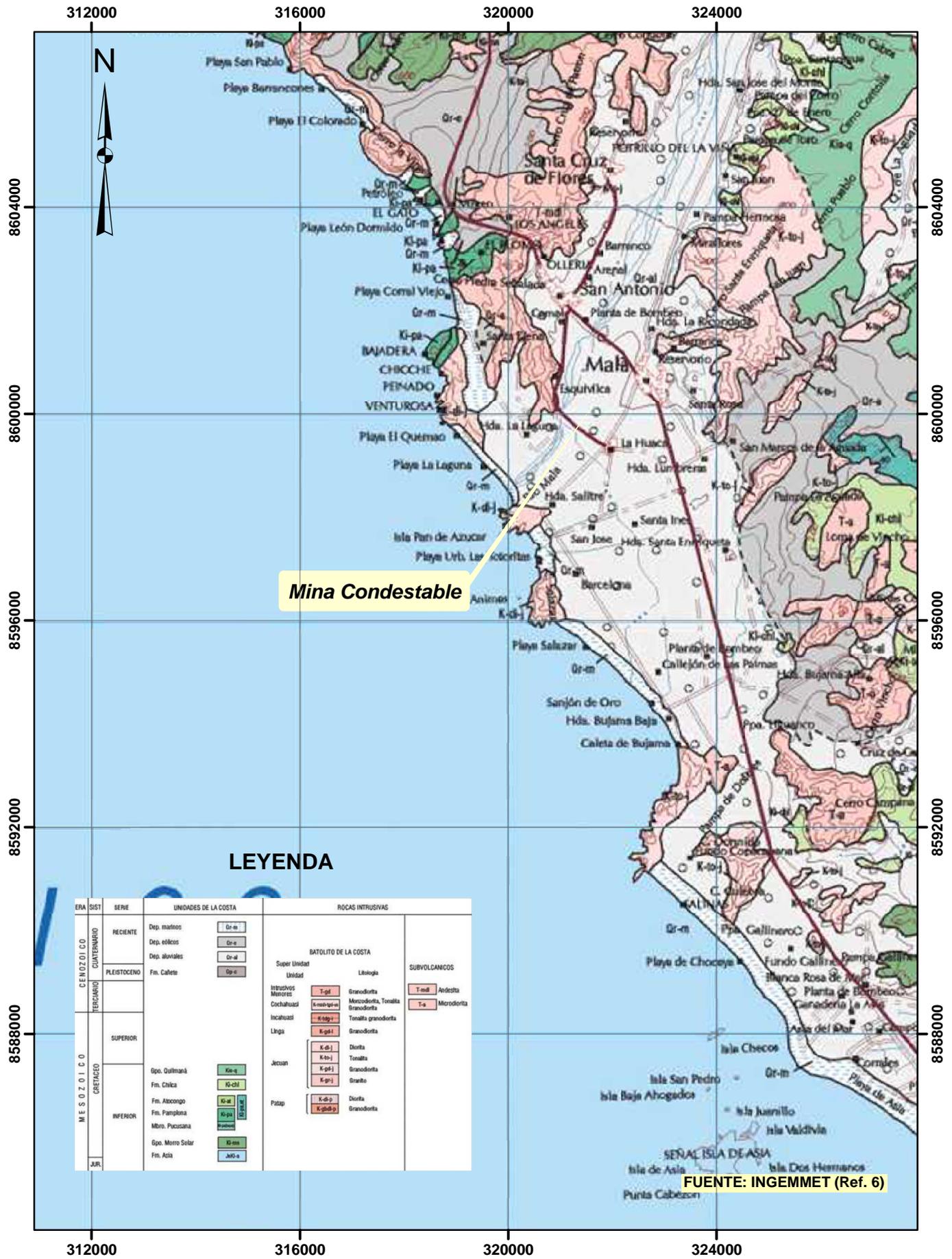
CAPITULO II

GEOLOGIA

2.1 Marco Geológico

La información descrita a continuación ha sido tomada del informe realizado por el geólogo francés De Haller.(Ref. 2) en el año 2002 y Exploandes (Ref. 4) en el año 2006.

El área estudiada forma parte de la franja volcánica-sedimentaria del Cretáceo Superior que aflora a lo largo de la Costa Central del Perú. Según Cobbing (Ref. 01) el occidente peruano está dividido en 5 cuencas, siendo una de ellas Condestable. Esta cuenca está limitada al Sur con la cuenca Cañete y por el Norte con la cuenca Huarmey. Esta secuencia volcánica – sedimentaria incluye lavas basálticas a riolíticas, depósitos piroclásticos, tufos, caliza, lutita, arenisca, y localmente evaporitas.



Mina Condestable

LEYENDA

ERA	SIST.	SERIE	UNIDADES DE LA COSTA	ROCAS INTRUSIVAS	
CENOZOICO	CUATERNARIO	RECIENTE	Dep. marinos Gr-m	BATOLITO DE LA COSTA Super Unidad Litología Intrusivos Menores T-pd Granodiorita Cochahuasi K-m-p-g-m Mercedorita, Tomita Granodiorita Icahuasi K-tp-g Tomita granodiorita Langa K-g-l Granodiorita Jecson K-d-l Diorita K-to-l Tomita K-p-l Granodiorita K-gr-l Granite Pataj K-d-p Diorita K-d-b-p Granodiorita	SUBVOLCANICOS T-m-l Andesita T-a Mercedorita
		PLEISTOCENO	Dep. eólicos Gr-e		
		Dep. aluviales Gr-al			
MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Calate Gr-c		
		INFERIOR	Gpo. Gullmank Ki-a		
			Fm. Cñica Ki-ch		
			Fm. Abcongo Ki-al		
JUR.	Fm. Pamplona K-p-p				
			Mbrs. Pucosana K-p-s		
			Gpo. Morro Solar Ki-ss		
			Fm. Asia A-1-a		

FUENTE: INGEMMET (Ref. 6)



INFORME DE SUFICIENCIA
JOSE LUIS SILVA GONZALES

PLANO GEOLOGICO REGIONAL

PLANO N°
2

FECHA: DICIEMBRE 2009 ESCALA: 1 / 100 000

Toda esta franja volcánica – sedimentaria está intruida por el Batolito de la Costa, De Haller informa la presencia de hornblenda y/o biotita pero no piroxeno, que corresponden a magmas ricos en sílice y agua siguiendo una tendencia a la diferenciación cálcica. Los datos isotópicos de Hf en zircones (Hf 115 Ma) y datos de isótopos de Pb en roca total, combinado con resultados litogeoquímicos, sugieren que los magmas fueron generados por fusión parcial del manto superior, enriquecido durante la hidratación del metasomatismo y/o fusión de sedimentos pelágicos subductados. La falta de zircón heredado sugiere que no estuvo directamente implicada la corteza continental.

Según De Haller, el depósito Iron Oxide Cupper Gold (IOCG) Condestable está conectado en espacio y tiempo con el magmatismo de la superunidad Raúl-Condestable. La mineralización fue emplazada en el núcleo del domo volcánico dacita – andesita a una paleoprofundidad de 2 km a 3 km, alrededor de dos intrusiones tonalíticas formadas hace 115.1 +/- 0.4 Ma y 114.8 +/- 0.4 Ma. La edad U – Pb de la titanita hidrotermal de la vetas IOCG de 115.2 +/- 0.3 Ma indica que la mineralización fue simultánea con el emplazamiento de la tonalita.

La mena de cobre está asociada con un patrón de alteración zonado, que rodea las intrusiones de tonalita. Consiste de un núcleo de alteración de biotita y stockwork de cuarzo, gradando externamente a actinolita (+/- magnetita, +/- clorita, +/- titanita, +/- escapolita, +/- albita, +/- epidota) y hacia arriba a alteración de sericita + clorita Fe. Un halo de alteración distal superior consiste de hematita-clorita alrededor de la alteración lateral de sericita + clorita Fe y actinolita.

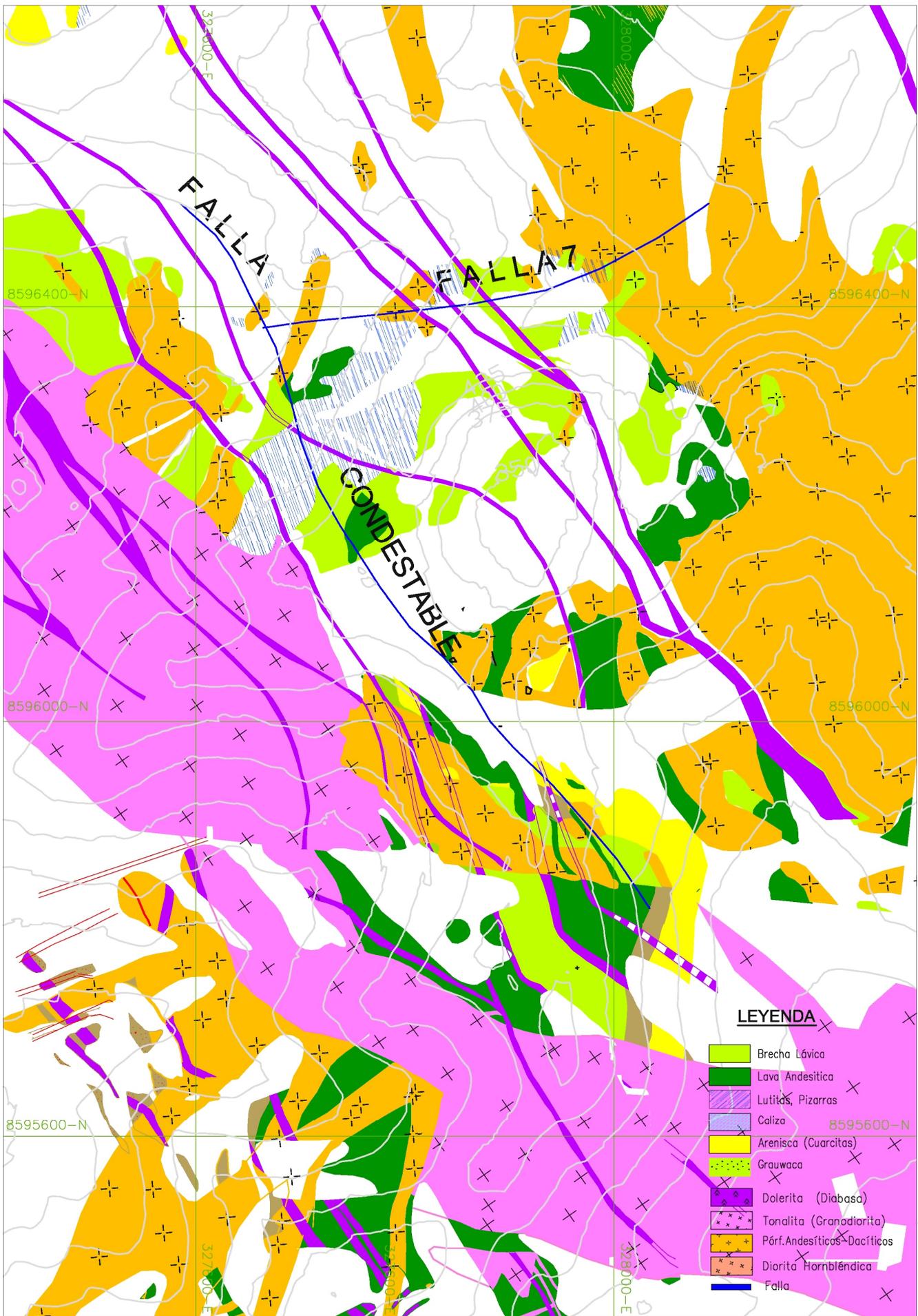
La mayor parte de la mena está espacialmente asociada con la alteración de actinolita y, menos extensamente, con la alteración de sericita + clorita Fe.

2.2 Geología Local

El área de trabajo se encuentra dentro de la secuencia volcánica-sedimentaria del Cretácico Inferior, en la Formación Copara de la región Lima-Cañete y que incluye a las formaciones Pamplona, Atocongo y una parte de la base de la formación Chilca. Además existen varios procesos geológicos relacionados a este periodo como la depositación de secuencias relativamente potentes de sedimentos clásticos, una intensa actividad volcánica a lo largo del eugeosinclinal andino, la formación y emplazamiento del Batolito de la Costa, la primera deformación cordillerana andina de carácter regional (Plegamiento Peruano).

Las intercalaciones volcánicas en la secuencia aumentan rápidamente hacia el Sur e incluso los propios horizontes sedimentarios experimentan notorios cambios de facies, de tal manera que fuera de las localidades típicas es prácticamente imposible mantener una subdivisión formacional postulada para el área de Lima.

Los fósiles Albianos contenidos en los sedimentos de la parte superior de la Formación Copará indican que la serie calcárea – volcánica alcanza niveles estratigráficos más altos que sus equivalentes en la zona de Lima. Esto mismo puede afirmarse para la secuencia aflorante en los alrededores de Mala.



INFORME DE SUFICIENCIA
 JOSE LUIS SILVA GONZALES

PLANO GEOLOGICO LOCAL

FECHA : DICIEMBRE 2009 ESCALA : 1/5000

PLANO N°:
3

2.2.1 Geología Estructural

Las fracturas y fallas más recientes parecen ser aquellas relacionadas a los intrusivos dioríticos y al emplazamiento de las doleritas. Estas fracturas y fallas tienen una orientación promedio de N33°W y buzan 55°NE. Este sistema está formado por una densidad alta de fracturas de corte (1 por 10m) con desplazamiento de milímetros a centímetros y circunscrita a los intrusivos dioríticos. En este grupo está la Falla Condestable N65°W / 45°NE, estando rellena de sericita y desplaza al pórfido cuarzo-diorítico.

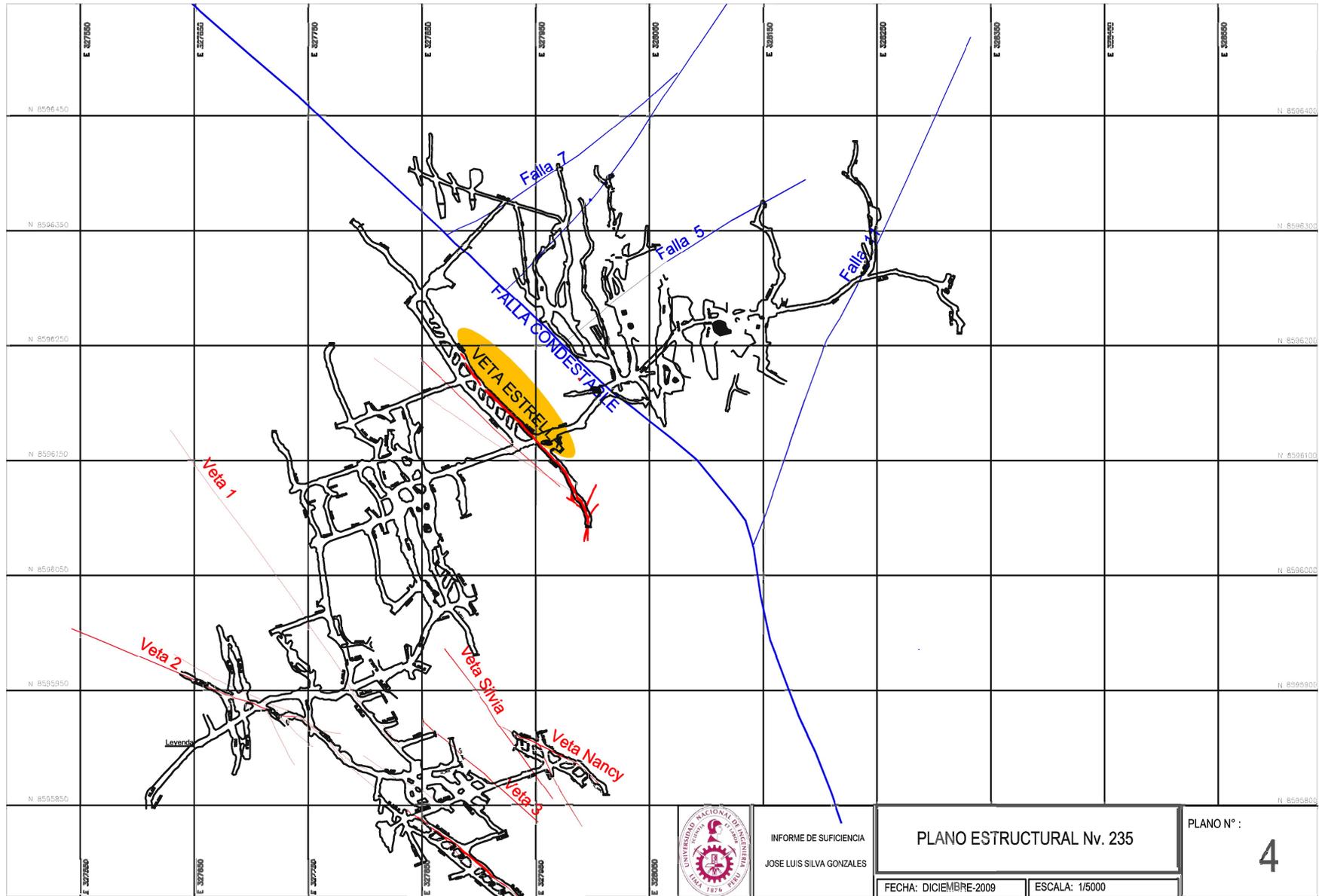
Existe otro grupo de estructuras y está zonificado dentro de los volcanoclásticos y parte del intrusivo pórfido cuarzo – diorítico, las fracturas están rellenas por arcilla y sericita, tienen una dirección promedio de N35°E / 70°SE, potencia entre 0.20 m a 0.30 m en superficie y en las de mayor importancia llega hasta los 2 m.

2.2.2 Estratigrafía Local: Formación Copara

En el área de trabajo aflora la Formación Copara, la cual está conformada por la formación Pamplona, Atocongo y la formación Chilca inferior, ver Figura 3: Columna estratigráfica local.

➤ Secuencia Clástica – Calcárea Este

La base de la formación Copara está formada por una potente secuencia calcárea y observándose a escala pequeña se tiene



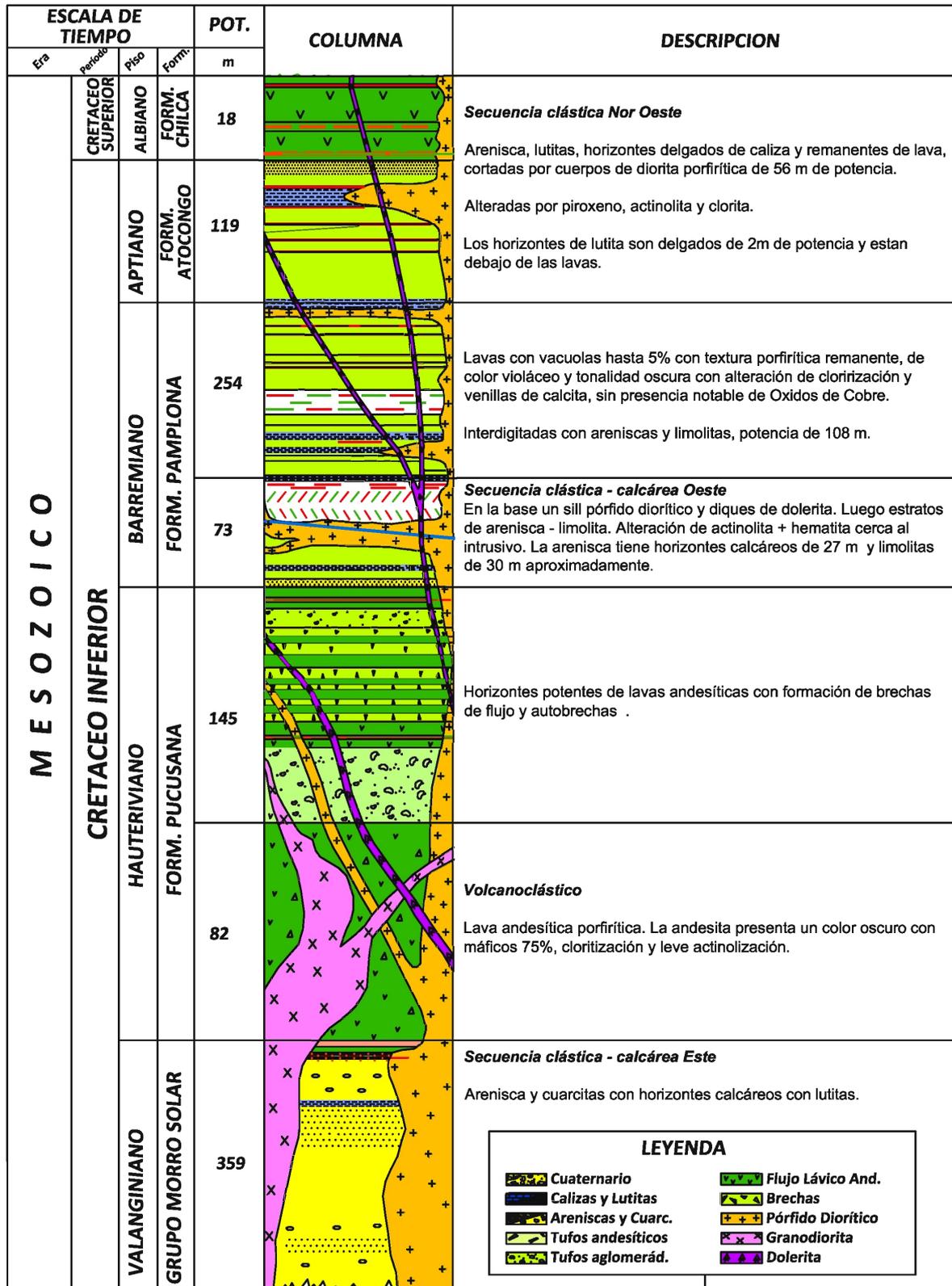
intercalaciones de areniscas calcáreas y caliza gris. La potencia de la secuencia dentro del área es de 304 m y el paquete más potente de arenisca es de 116 m, los estratos de calizas tienen una potencia variable entre 4 m y 20 m. En promedio, el rumbo y buzamiento de los estratos es: N10°W / 40°SW. El techo de la secuencia está cortado por un dique de diorita porfirítica levemente cloritizado.

➤ **Secuencia Volcanoclástica**

Forma la topografía positiva en la zona, está compuesta de horizontes intercalados de lavas, tufos, brechas volcánicas, grauwas y arcosas. Se inicia con un horizonte de lava andesítica porfirítica gruesa en la base. Esta secuencia se ubica justo en el medio de toda la columna estratigráfica presentando una fuerte variabilidad en la granulometría y composición de sus unidades. La potencia es variable y llega a 183 m. Las subunidades litológicas que se distinguen son; lavas andesíticas porfiríticas, sedimentos, piroclásticos, tufos, grauwas y lavas.

➤ **Secuencia Clástica – Calcárea Oeste**

Sobreyace al horizonte lávico y está separado por un sill pórfido diorítico. Empieza con estratos de arenisca intercalados con horizontes de limolita. La alteración cerca del intrusivo es actinolita – hematita que disminuye hacia el Oeste. La potencia de la arenisca en promedio es de 291 m, intercalado con horizontes calcáreos de 27 m y limolitas de 30 m. El rumbo y buzamiento promedio de los estratos es N30°W / 40°S W con una potencia aproximada de 320 m.



INFORME DE SUFICIENCIA
JOSE LUIS SILVA GONZALES

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

FIGURA:
3

FECHA: DICIEMBRE-2009

ESCALA: sin escala



Foto 1: Vista panorámica secuencias clásticas – calcáreas en la Mina Condestable. La secuencia clástica – calcárea Este presenta secuencia de arenisca gris. El contacto de la secuencia calcárea con el tufo-brecha, marca el inicio del paquete volcanoclástico. La secuencia volcanoclástica termina en el contacto de una brecha de lava con areniscas.

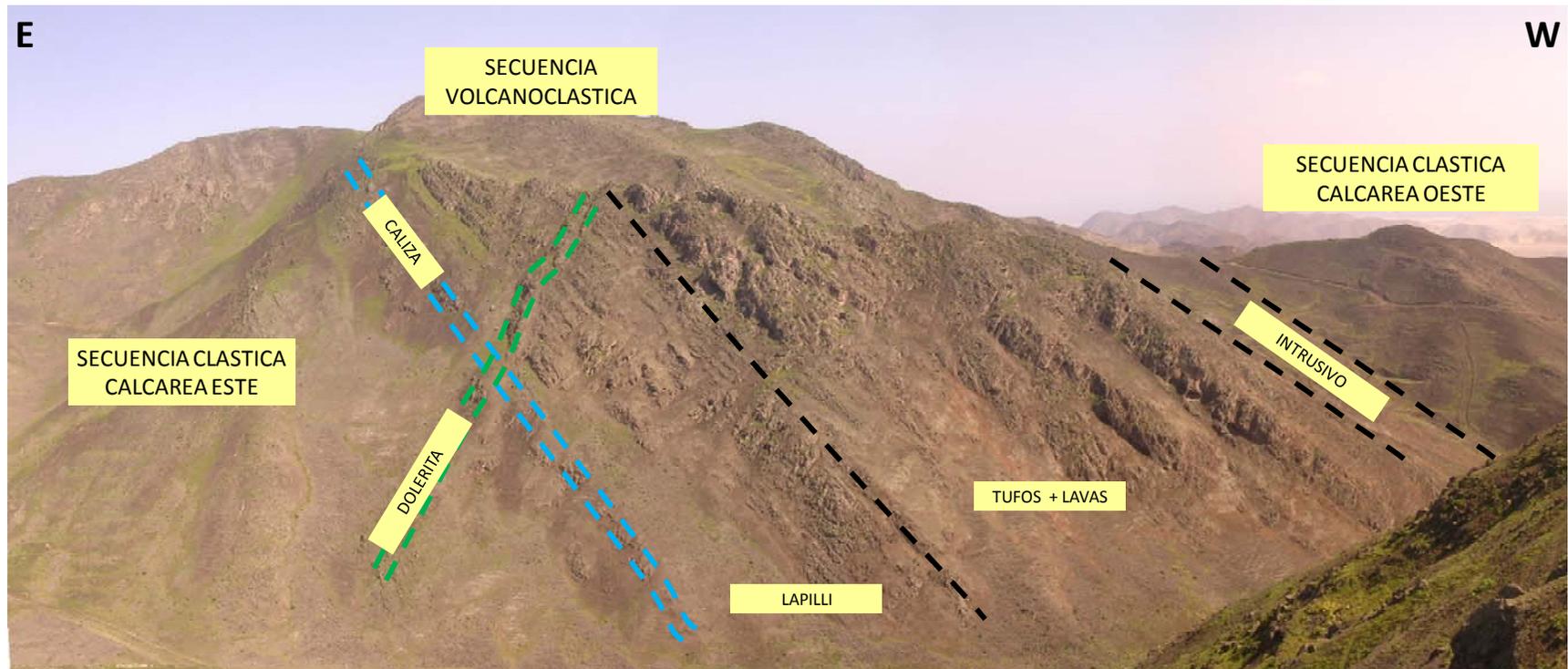


Foto 2: Secuencia volcanoclástica: Intercalación de lavas y tufos; lentes de grauwaca y arcosa en la Mina Condestable.

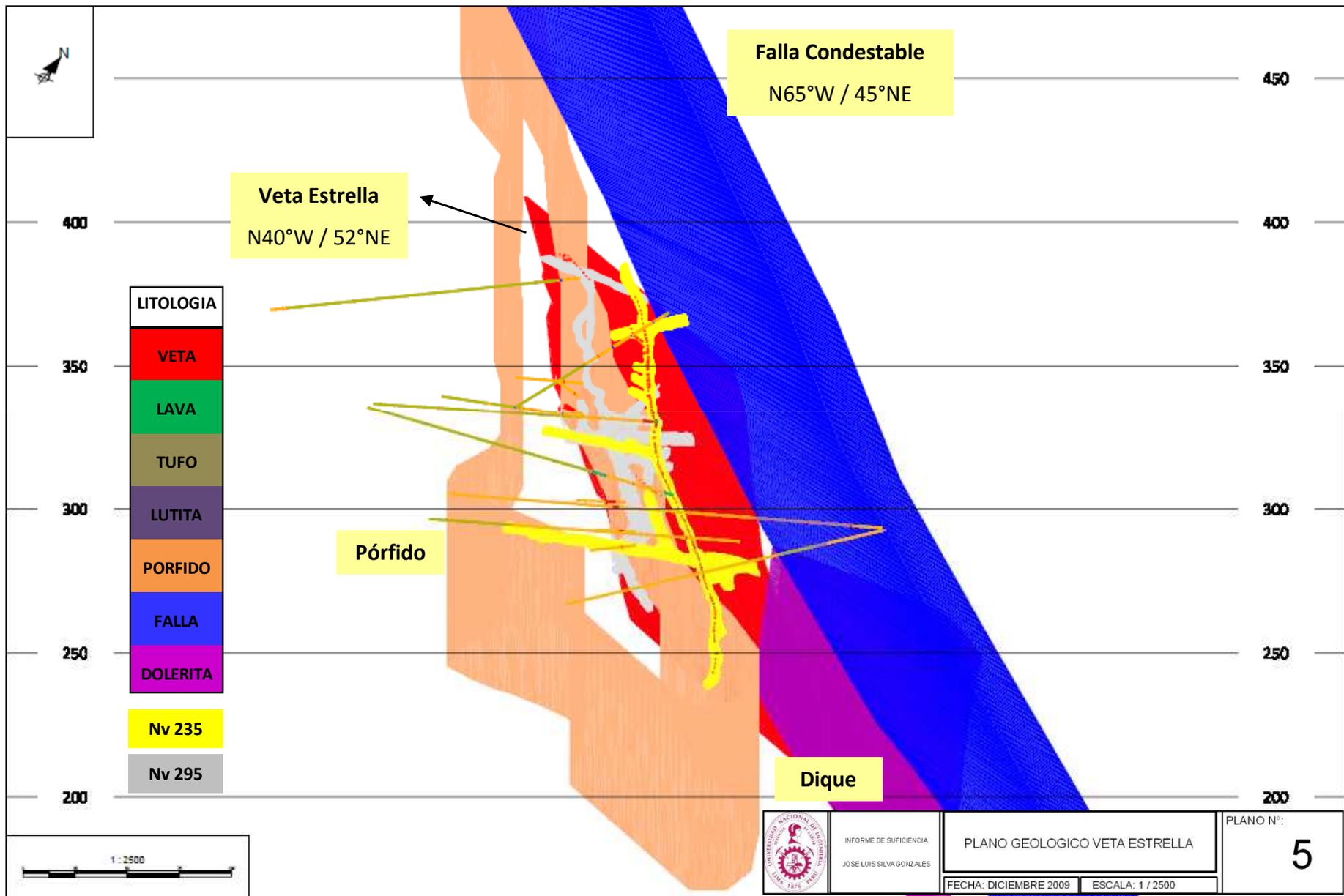
➤ **Secuencia Clástica Noroeste**

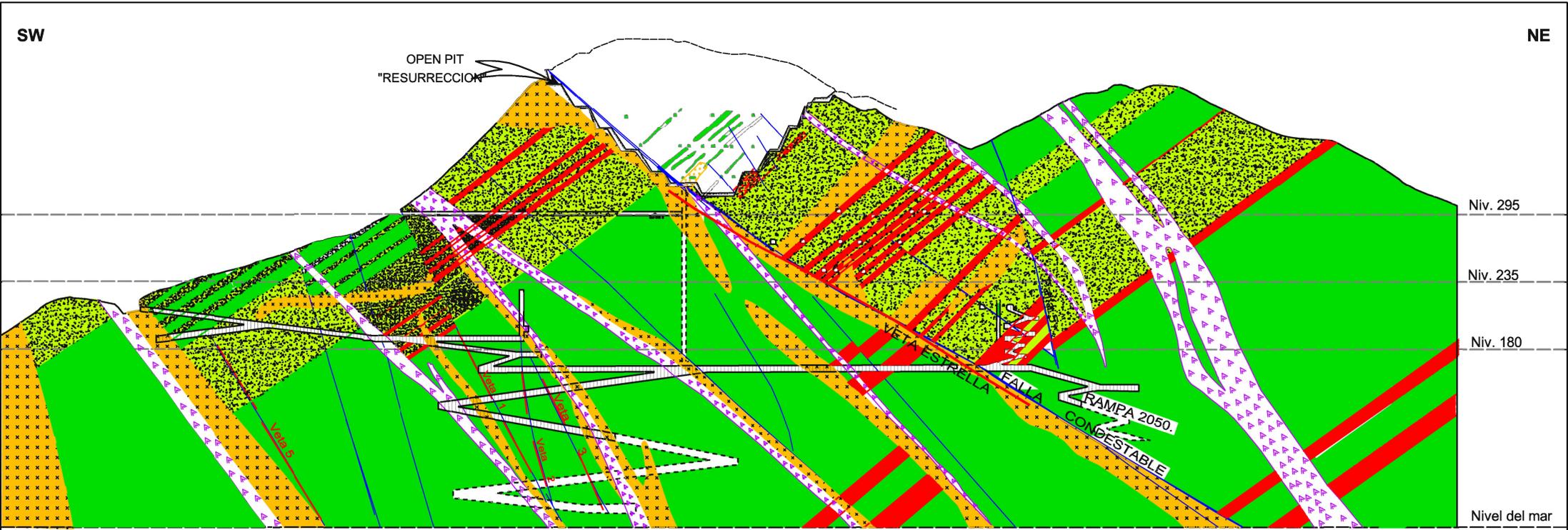
Formada por areniscas, lutitas, horizontes delgados de caliza y lentes de lava; además están cortadas por cuerpos de diorita porfirítica de 56 m de ancho. Las areniscas son muy finas y están alteradas a piroxenos, actinolita y cloritas. Los horizontes de lutita son delgados de 2 m de potencia y están encima de las lavas que aparecen en la base de las trincheras de muestreo. Esta se encuentra cubierta en gran parte por material fluvio – aluvional e intruida por la diorita porfirítica y diques de dolerita. Su extensión queda abierta hacia el Oeste y su potencia promedio es de 52 m.

2.3 Geometría del Yacimiento y Mineralogía

El yacimiento Condestable está definido según De Haller como un depósito tipo IOCG. Existe mineralización en vetas, mantos por reemplazamiento de capas calcáreas, así como disseminaciones y rellenos de porosidad en brechas volcánicas y tufos estratificados, mineralizados con calcopirita, bornita, pirita, pirrotita, magnetita, hematita, escapolita, calcita, cuarzo, y anfíboles, presencia local de molibdenita, esfalerita y galena. Los minerales económicos principales son la calcopirita y bornita; el oro y la plata como subproductos en los concentrados.

La alteración presente en la veta Estrella es la actinolización, que se encuentra en la roca encajonante, y la epidota que se encuentra en los diques doleríticos.





LEYENDA

	Lava
	Brecha
	Pórfido
	Dolerita
	Mantos Mineralizados



INFORME DE SUFICIENCIA
JOSE LUIS SILVA GONZALES

SECCION TRANSVERSAL VETA ESTRELLA

PLANO N°:
6

FECHA : DICIEMBRE 2009 | ESCALA : 1/5000

La veta Estrella comprende un sistema continuo de 300 m de longitud con un desarrollo en profundidad de 200 m y potencia promedio de 1.5 m. Se orienta con azimut promedio de 320° buzando con un promedio de 52°NE.

2.3.1 Mineralización

Las mineralizaciones metálicas ocurrieron en dos etapas. La primera etapa consiste de una asociación Fe – Cu con calcopirita, pirita, magnetita y contenidos menores de pirrotita, galena, esfalerita, ilmenita, molibdenita, bornita, marcasita y electrum, aquí la mena es la calcopirita con subproductos de Ag y Au. La segunda etapa es una asociación Pb – Zn, es tardía y ocurre como vetas y venillas menores de galena y esfalerita con trazas de pirita, calcopirita, tetraedrita, oro y calcita.

En el área de trabajo se tiene una secuencia “reductora”:

pirrotita → pirita → calcopirita

2.3.2 Alteración

Se describe a continuación los ensambles de alteración presentes en la Mina Condestable:

Actinolitización: Formada por el ensamble *actinolita – albita – clorita – magnetita* que afecta en mayor medida a las rocas

volcánicas como lavas, tufos y en menor intensidad al pórfido cuarzo-diorítico. En el caso de los volcanoclásticos se observa un relleno de los intersticios con actinolita. También se considera dentro de este grupo al ensamble de metamorfismo termal constituido por piroxeno, escapolita, pirita.

Albitización: Es una alteración difícil de distinguir en el campo. Son las venillas de color blanco crema que cortan al pórfido cuarzo diorítico o a la diorita media en zonas de aparente silicificación.

Sericitización: Es el ensamble de cuarzo – sericita – clorita que se presenta en las zonas de fuerte fracturamiento del intrusivo pórfido cuarzo diorítico y en menor intensidad en la diorita media.

Cloritización y Epidotización: Es una alteración muy extendida que forma un halo generalizado alrededor de la alteración cuarzo-sericita en el caso del pórfido cuarzo diorítico y casi sobre toda la diorita media de la parte Este del área de Condestable.

Silicificación: Se presenta como obliteración intensa de la matriz tomando un color blanquecino y se puede reconocer por las microvenillas de cuarzo gris que atraviesan la roca primaria. Es una alteración típica del intrusivo diorítico y la dacita porfirítica.

La característica más importante de las alteraciones se formó en las primeras etapas de metamorfismo termal, se formaron con una zonación paralela a la estratigrafía, constituido por piroxeno, hornblenda y granate hacia la base de la secuencia

estratigráfica; en tanto tremolita, actinolita, sericita, biotita y talco ocurrieron hacia el tope (Ref. 5).

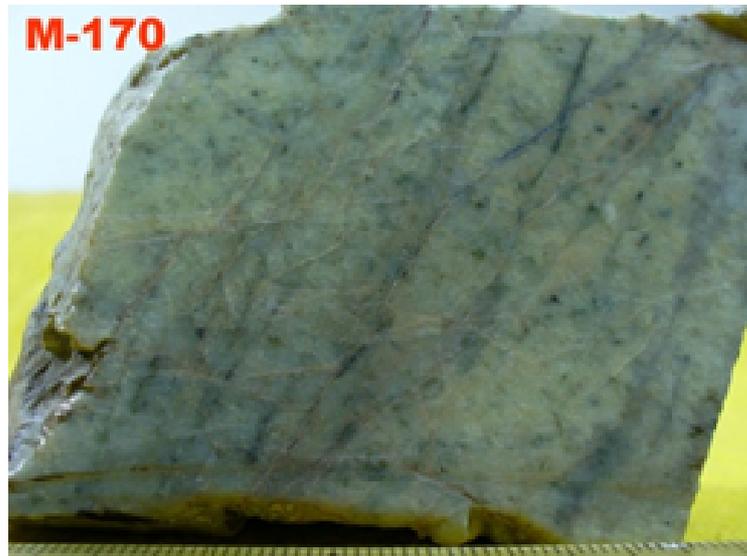


Foto 3: Muestra de mano exponiendo albitización en venillas.



Foto 4: Muestra de mano exponiendo alteración metasomática, clinopiroxeno y albita.

2.3.3 Controles de mineralización

La distribución de la mineralización está controlada por:

- **Control Litológico**, Dado por horizontes de anfíboles en calizas, tobas y brechas andesíticas.

- **Control Estructural**, Relacionado a los sistemas de fallamiento pre-mineral, a los que se asocia la veta Estrelpla.

CAPITULO III

MODELAMIENTO GEOLOGICO

3.1 Introducción

El Modelamiento Geológico es la representación gráfica y espacial de parámetros geológicos (roca, alteración, leyes, litología, etc.) teniendo como límites la extensión inferida del yacimiento y la superficie (en caso exista afloramiento); este modelamiento constituye la base de todo proceso de minado, sin importar el mineral (metálico y no metálico) al cual está ligado el estudio.

Los parámetros geométricos (forma, tamaño, volumen) reales de un yacimiento se conocerán cuando finalice la explotación del mismo, sin embargo es labor de los geólogos interpretar la información que tenga disponible e ir definiendo un modelo posible del yacimiento, a su vez, este modelo, está sujeto a revisión y actualización conforme se tenga mayor información de los trabajos de explotación y exploración.

El modelamiento litológico y modelamiento geoeconómico de la Veta Estrella se realizo con la información proporcionada por los geólogos de mina y el procesamiento de esta información que se detalla a continuación, fue efectuada por el que suscribe el presente informe.

El Modelamiento Litológico se realizo en base a canales de muestreo, sondajes diamantinos y mapeo geológico subterráneo de los niveles 235 msnm y 295 msnm, teniendo en consideración la orientación y buzamiento de la Veta Estrella. Para este Modelamiento Litológico se generaron secciones en dirección del sondaje, considerándose solo los interceptos litológicos de veta que cruzan a la Estructura Mineralizada. En base a estas secciones se construyó el sólido para la veta Estrella, este sólido abarca un área de 310 m de largo por 205 m de ancho aproximadamente.

Para realizar el modelamiento geoeconómico de la Veta Estrella, se considero como guía las secciones usadas en el modelo litológico. Todos los canales de muestreos fueron considerados. Para los sondajes, se consideraron incluir las muestras de roca caja que tienen valores que se encuentren dentro del cutoff geológico de la mina. Para la potencia de la estructura se considero que el ancho mínimo de minado es de 0.80 m, así se incluyeran tramos estériles. Las dimensiones del modelo geoeconómico de la Veta Estrella son similares al del modelo litológico, diferenciado en la potencia.

En las figuras 4 y 5 se observa el modelo litológico y geoeconómico de la Veta Estrella respectivamente.

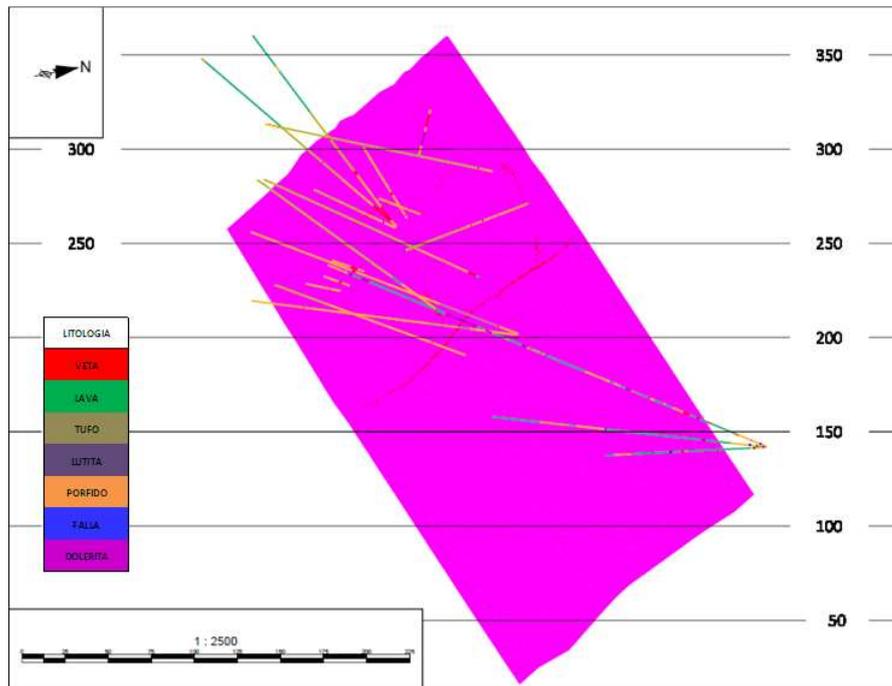


Figura 04. Modelo Litológico de la Veta Estrella

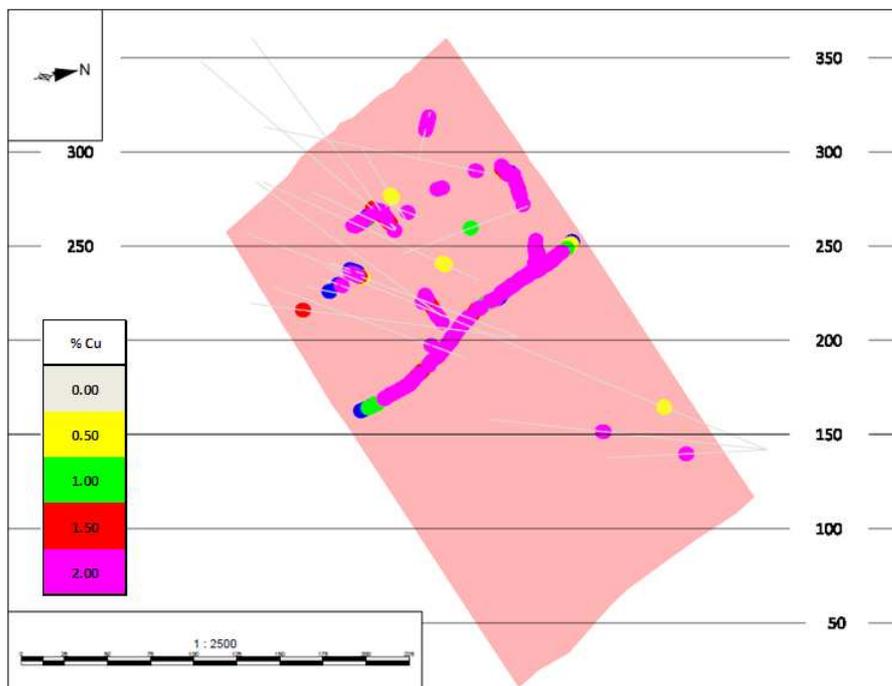


Figura 05. Modelo Geoeconómico de la Veta Estrella

3.2 Aseguramiento y Control de la Calidad (QA/QC) en la Etapa de Muestreo

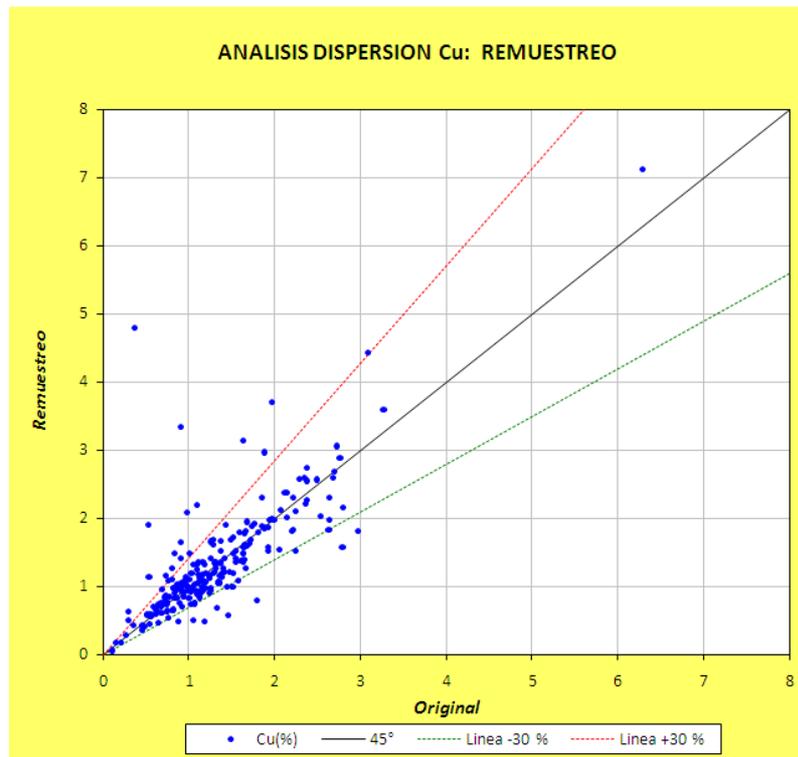
El Aseguramiento de la calidad es la prevención en la toma de muestras. El Aseguramiento es un conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas necesarias para garantizar que la actividad u operación alcance un grado aceptable de calidad. Por otro lado, el Control de calidad es la detección de errores durante el análisis de las muestras, son técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para determinar el nivel de calidad realmente alcanzado (Ref. 03).

Los resultados de análisis de las muestras son realizadas por el Laboratorio de la Mina.

Las muestras de control para el Aseguramiento y Control de la calidad son remuestreo, duplicado fino, duplicado grueso, blanco fino y estándar. A continuación se analiza los controles durante 3 meses.

3.2.1 Remuestreo

Son muestras que ocupan diferentes posiciones espaciales, teniéndose una original y una duplicada. Son tomadas en la estructura mineralizada (in situ). Se espera que los resultados de los análisis estén dentro del 30% de error. Este tipo de control indica si el trabajo geológico del personal encargado del muestreo es correcto.



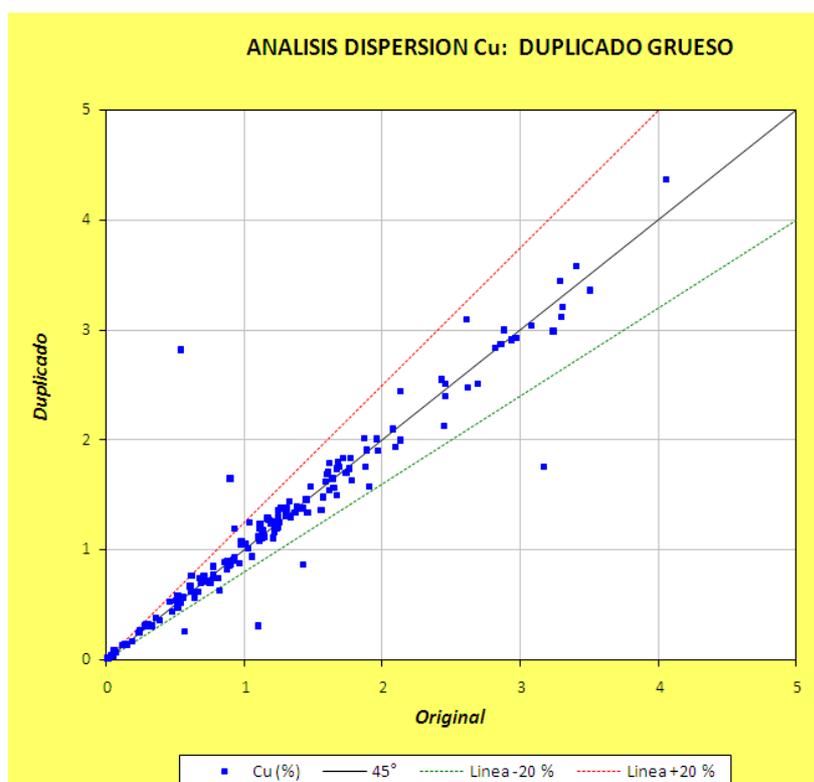
	Muestra Original	Remuestreo
	Cu(%)	Cu (%)
Media	1.32	1.36
Desv. Estándar	0.71	0.82
Mínimo	0.10	0.06
Máximo	6.29	7.13
N° Datos	220	220

Figura 6: Análisis de dispersión Cu: remuestreo

La figura 6 muestra que el 83% de las muestras se encuentran dentro del 30% de error permisible, así mismo la estadística básica indica que la variación de la media no es muy alta. Para corregir el 17% de error, se capacita al personal en la toma de muestras, verificando que las herramientas de muestreo (cortadoras) estén funcionando adecuadamente.

3.2.2 Duplicado Grueso

Control que se realiza durante la preparación de la muestras y son tomadas inmediatamente después de una fase de chancado y cuarteo. Son enviadas al laboratorio etiquetadas con diferente número y en el mismo lote que el original. Evalúa el error de cuarteo. Se espera que los resultados de los análisis estén dentro del 20% de error.



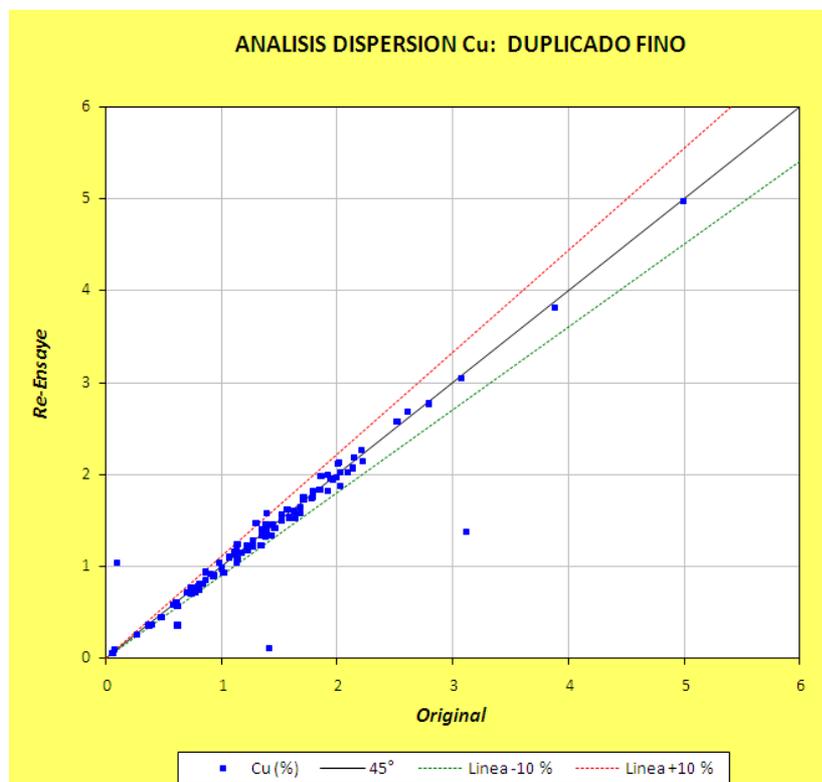
	Muestra Original	Duplicado Grueso
	Cu (%)	Cu (%)
Media	1.29	1.30
Desv. Estándar	0.84	0.84
Mínimo	0.01	0.01
Máximo	4.06	4.37
Nº Datos	159	159

Figura 7: Análisis de dispersión Cu: duplicado grueso

La figura 7 muestra que el 96% de las muestras se encuentran dentro del 20% de error permisible, asimismo la estadística básica indica que la variación de la media en las muestras originales es similar a las del duplicado grueso. Para corregir el 4% de error, se debe supervisar aleatoriamente al personal encargado del cuarteo.

3.2.3 Duplicado Fino

Son duplicados de muestras ordinarias que han sido previamente pulverizadas. Son enviadas al laboratorio con diferente número para sus análisis junto con las muestras originales. Evalúan la precisión analítica del laboratorio. Se espera que los resultados de los análisis estén dentro del 10% de error.



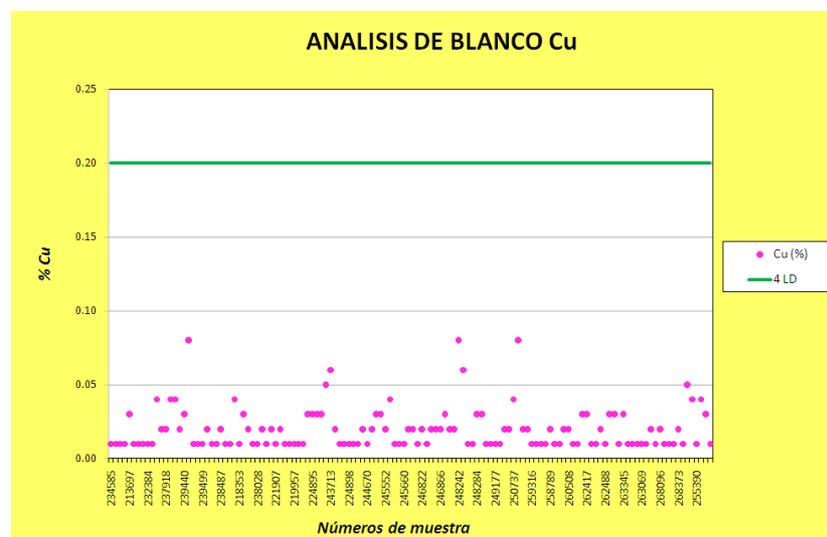
	Muestra Original	Duplicado Fino
	Cu (%)	Cu (%)
Media	1.42	1.38
Desv. Estándar	0.77	0.75
Mínimo	0.06	0.06
Máximo	4.99	4.98
N° Datos	96	96

Figura 8: Análisis de dispersión Cu: duplicado fino

La figura 8 muestra que el 97% de las muestras se encuentran dentro del 10% de error permisible, la estadística básica indica que la variación de la media en las muestras originales es ligeramente mayor a las muestras del duplicado fino. Para corregir el 3% de error, se supervisa sin previo aviso al laboratorio químico.

3.2.4 Blanco

Son muestras de material estéril pulverizado, insertadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas y que se utilizan para determinar si se produce contaminación en la preparación o análisis de la muestra.



	Blanco Fino	Blanco Fino
	Cu (%)	1.5 * LD Cu (%)
Media	0.02	0.08
Desv. Estándar	0.01	0.00
Mínimo	0.01	0.08
Máximo	0.08	0.08
N° Datos	132	132

Figura 9: Análisis de blanco Cu

La figura 9 muestra que la totalidad de las muestras insertadas como blanco fino están debajo del límite de detección (LD).

3.2.5 Estándar

Son muestras que han sido analizadas en laboratorios externos y son insertadas en el lote de las muestras originales y las muestras de control. Mide la exactitud y precisión del laboratorio de la mina.

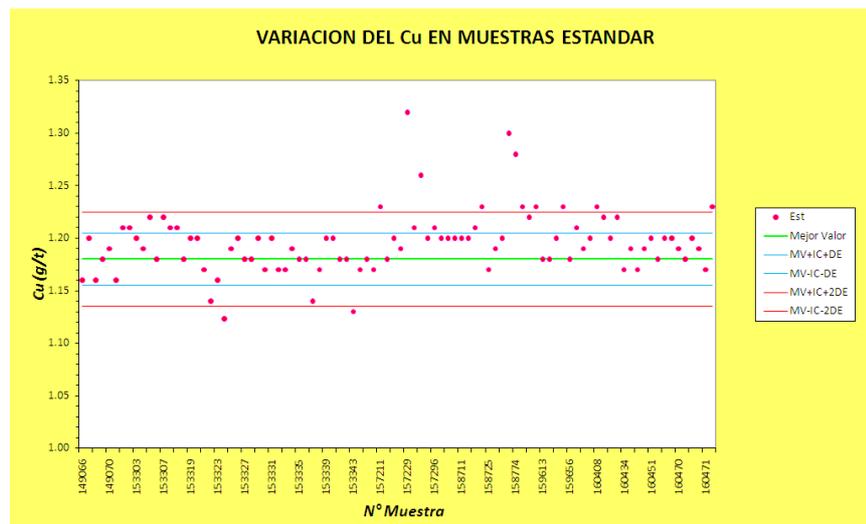


Figura 10: Variación del Cu – estándar

Del análisis de la muestra estándar (Figura 10) se aprecia que el 3% de las muestras se encuentra fuera de los límites

aceptables, existiendo un ligero sesgo a sobreestimar leyes. Se supervisara y auditora el equipo y reactivos de análisis del laboratorio.

3.3 Análisis Exploratorio de Datos Originales

Para el análisis estadístico y geoestadístico descrito a continuación se ha utilizado material bibliográfico de los cursos dictados por Jhon Espinoza (Ref. 3), José Terrones (Ref. 7) y la Universidad de Chile (Ref. 8). También se consulto textos de Mintec INC (Ref. 6) y Xavier Emery (Ref. 9)

El análisis exploratorio de datos permite estudiar la cantidad, calidad y ubicación de los datos disponibles para realizar la estimación de recursos y reservas, de igual modo comprobar la homogeneidad de las leyes en cada litología definida durante el logueo geológico. De acuerdo a lo anterior, se ha realizado el análisis exploratorio de los datos para caracterizar las poblaciones y determinar la mineralización económica dentro del contexto geológico que influye en la estructura mineralizada (Veta Estrella).

3.3.1 Distribución de los Datos

Las figuras 11 y 12 (vista en planta y tridimensional 3D) muestra la distribución de los sondajes y canales en la zona donde se encuentra la Veta Estrella, los sondajes muestran una orientación preferencial NE – SW, mientras los canales se encuentran en dirección de la orientación de la Veta Estrella SE

– NW. La figura 13 es una sección transversal de la Veta Estrella en la que se observa el modelo litológico y geoeconómico, la traza del sondaje muestra el logueo litológico apreciándose distintas litologías. Esta variedad de litología ha sido codificada para realizar el procesamiento estadístico y geoestadístico. En la tabla 1 se tiene la relación de los colores con la litología.

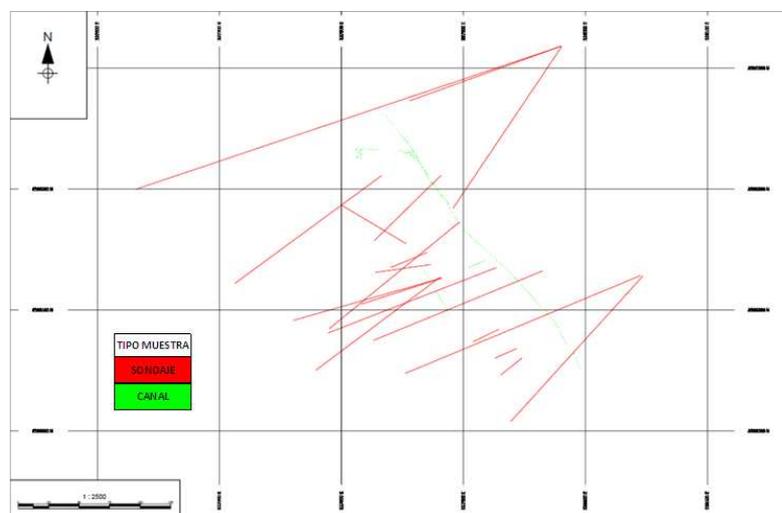


Figura 11: Vista en planta de la distribución de datos

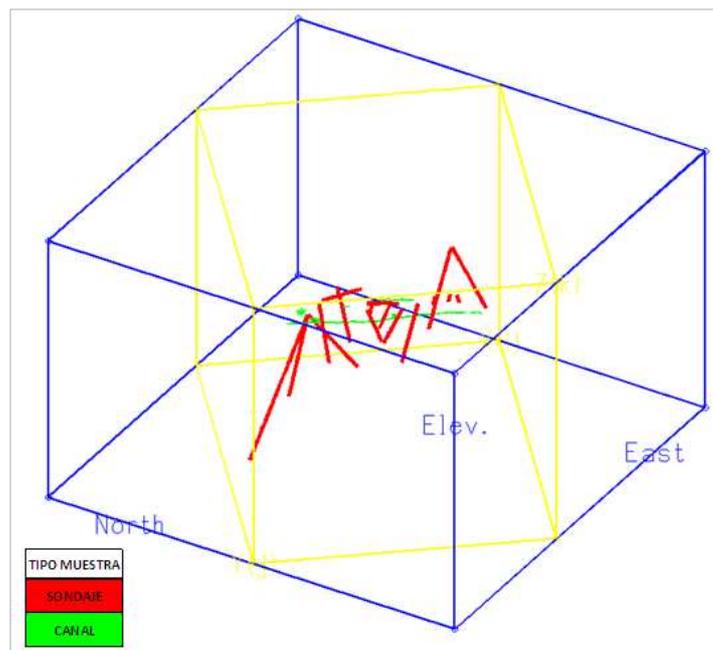


Figura 12: Vista en 3D de la distribución de datos

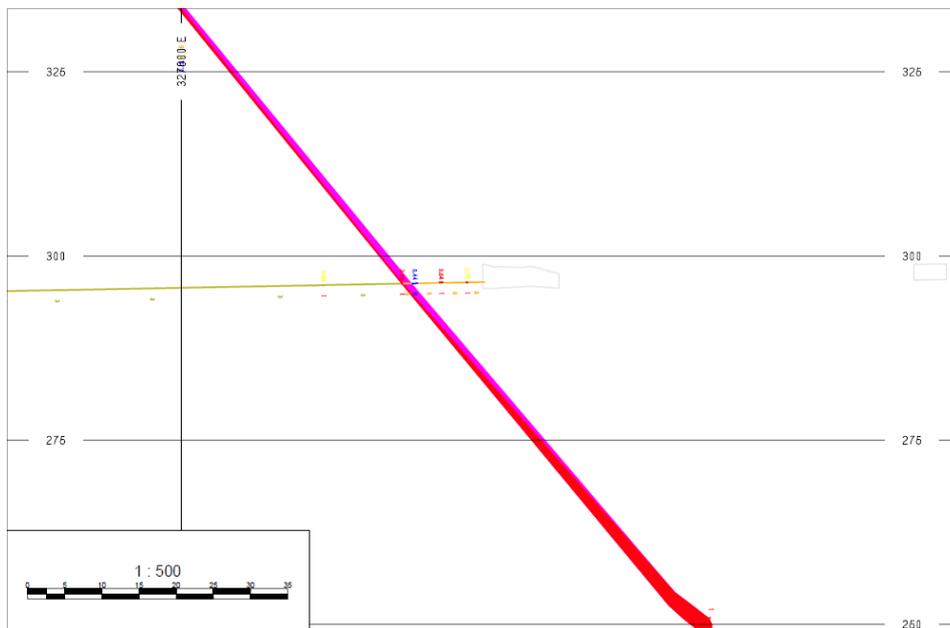


Figura 13: Sección transversal Veta Estrella

CODIGO	LITOLÓGÍA
1	VETA
2	LAVA
3	TUFO
4	LUTITA
5	PORFIDO
6	FALLA
7	DOLERITA

CODIGO	MODELO GEOLOGICO
1	LITOLÓGICO
2	GEOECONOMICO

Tabla 1: Cuadro de leyendas y colores

3.3.2 Cálculos Estadísticos de los Datos

Se han calculado los parámetros estadísticos del Cobre en función del tipo de muestreo (sondajes y canales) y también

para cada litología, con la finalidad de observar que litología podría relacionarse con la estructura mineralizada localmente.

LITOLOGÍA	SONDAJES							CANALES
	VETA	LAVA	TUFO	LUTITA	PORFIDO	DOLERITA	FALLA	VETA
N° DATOS	133	123	217	11	125	6	11	188
MINIMO	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	0.15	0.01	0.06
MAXIMO	17.40	8.47	4.38	2.45	16.27	0.15	3.02	23.13
MEDIA	2.10	0.98	0.44	0.83	1.37	0.15	0.70	3.99
VARIANZA	10.39	3.98	0.41	0.53	6.64	0.00	0.79	13.16
DESV STD	3.22	1.99	0.64	0.73	2.58	0.00	0.89	3.27
COEF. VAR.	1.54	2.04	1.44	0.87	1.89	0.00	1.28	0.82

Tabla 2: Cálculos estadísticos para sondajes y canales por separado

En la Tabla 2 se han realizados cálculos estadísticos para cada litología que influyen a la Veta Estrella. Estos parámetros han sido calculados tanto para los sondajes como para canales por separado para analizar las diferencias. De estos cálculos se observa que la media aritmética en los sondajes, se encuentra en la litología que ha sido identificada como veta, seguido del pórfido y las lavas principalmente. Por el contrario, en los canales se centra la media en una sola litología, debido a que solo ha sido muestreada la veta. El coeficiente de variación es mayor a 1 para el caso de los sondajes y menor a 1 para el muestreo de canales, lo cual indicaría, que estos últimos presentan una menor variabilidad en los datos que los sondajes. La media aritmética de las leyes es mayor en los canales que en los sondajes. Al momento de realizar el modelamiento geoeconómico se debe observar cuidadosamente el comportamiento del pórfido cerca a la estructura mineralizada (Veta Estrella), debido a que la media presenta el valor más alto después de la veta.

		SONDAJE y CANALES						
		VETA	LAVA	TUFO	LUTITA	PORFIDO	FALLA	DOLERITA
MEDIDAS ESTADISTICAS	N°DATOS	321	123	217	11	125	11	6
MEDIDAS DE POSICION	MEDIA	3.21	0.98	0.44	0.83	1.37	0.70	0.15
	MEDIANA	1.98	0.15	0.24	0.84	0.50	0.44	0.15
	MODA	0.07	0.01	0.04	1.03	0.15	NA	0.15
	MINIMO	0.01	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.15
	1er CUARTIL	0.65	0.05	0.08	0.16	0.18	0.12	0.15
	MAXIMO	23.13	8.47	4.38	2.45	16.27	3.02	0.15
	3er CUARTIL	4.25	0.47	0.61	1.10	1.23	0.78	0.15
MEDIDAS DE DISPERSION	VARIANZA	12.85	3.98	0.40	0.53	6.64	0.79	0.00
	DESV. EST.	3.58	1.99	0.64	0.72	2.58	0.89	0.00
	COEF. VAR.	1.12	2.04	1.44	0.87	1.89	1.28	0.00
MEDIDAS DE FORMA	SESGO	2.03	2.43	3.64	0.99	3.94	2.09	NA
	KURTOSIS	5.22	4.87	16.38	1.22	17.64	4.74	NA

Tabla 3: Cálculos estadísticos para sondajes y canales unidos

En la Tabla 3 se han realizado cálculos de las medidas de posición, dispersión y forma para cada litología que se encuentran influenciando a la Veta Estrella, dichas medidas se calcularon en conjunto para los sondajes y canales. Se observa que el mayor número de datos se tiene en la veta, seguidamente en el tufo, luego el pórfido y por último la lava. Los resultados son relevantes debido a que cumplen y sobrepasan con el mínimo número de datos (40 datos) para realizar una estadística básica; para los casos de la dolerita, falla y lutita, con datos menores a 40, las medidas estadísticas deben ser tomadas con precaución.

A continuación se analizan los cálculos estadísticos para cada medida estadística.

Medidas de posición

Se observa que la mayor media aritmética de los datos está en la litología identificada como veta y se encuentra entre los valores de la media calculada para los sondajes (ddh) y canales (can) por separado ($m_{ddh} = 2.10 < m_{ddh+can} = 3.21 < m_{can} = 3.99$), debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media ($m_{ddh+can} = 3.21$) no representaría el centro de los datos en caso exista sesgo, (el sesgo se analizará en las medidas de forma y/o histogramas). La mediana es menor que la media, ello indica que el 50% de la ley de los datos es superior a 1.98% Cu y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay interceptos de sondajes con leyes muy bajas (0.07% Cu). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.65 % Cu y el y 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 4.25% Cu.

Con respecto a las demás litologías (pórfido, lavas y tufos principalmente) el análisis de las medidas de posición es similar a la litología veta, observándose notoriamente que la media de estas es mucho menor que la veta.

Medidas de dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en la litología identificada como veta, se analiza la medida de dispersión de la litología veta. La varianza es una medida de dispersión que representa el grado en la distribución de los datos. La varianza aparece dispersa alrededor de su media y se observa que es muy alta respecto a su media (12.85), es

importante recalcar que sus unidades son elevadas al cuadrado. Por otro lado, la desviación estándar indica cuán separados de la media están los datos, observándose que es ligeramente mayor que la media (media = 3.21 < desv. std. = 3.58). Esta medida de dispersión es importante porque su valor esta expresado en las mismas unidades de los datos originales. El coeficiente de variación para cada litología es mayor a 1, lo cual indica que se debe tener extremo cuidado con los valores altos de la población por la influencia que podrían tener con el resto de datos, ya que denotaría la presencia de una mayor dispersión y ello refleja una menor representatividad.

Medidas de forma

Estas medidas sirven para definir numéricamente si los datos presentan sesgo o no. En el primer caso (con sesgo) puede haber sesgo positivo (tendencia de la cola de distribución al lado derecho) o sesgo negativo (tendencia de la cola de distribución al lado izquierdo) y se dice que los datos son asimétricos. En el segundo caso (sin sesgo) se dice que son simétricos y deben variar entre -0.03 y +0.03.

De los cálculos realizados para los distintos tipos de litología se observa que todas presentan sesgo positivo y eso debe corroborarse con los histogramas. El valor de Kurtosis mide el aplanamiento de la distribución de datos, no es muy usado en geoestadística.

Observando la Tabla 3, se concluye que los valores altos se encuentran principalmente alojados en las vetas y en pórfidos cercanos a esta. La roca caja presenta algunos valores elevados de Cu sin embargo estas manifestaciones se deben a la presencia de vetillas muy finas de poca extensión, que no representa un aporte importante de mineral al modelo. Se usara solo la data del modelo litológico y geoeconómico para la Categorización de los Recursos Minerales de la Veta Estrella.

		MODELO GEOLOGICO	
		GEOECONOMICO	LITOLOGICO
MEDIDAS ESTADISTICAS	N°DATOS	237	228
MEDIDAS DE POSICION	MEDIA	3.88	3.81
	MEDIANA	2.76	2.82
	MODA	1.78	1.78
	MINIMO	0.06	0.06
	1er CUARTIL	1.40	1.41
	MAXIMO	23.13	23.13
	3er CUARTIL	5.00	4.92
MEDIDAS DE DISPERSION	VARIANZA	13.56	12.78
	DESV. EST.	3.68	3.58
	COEF. VAR.	0.95	0.94
MEDIDAS DE FORMA	SESGO	1.86	1.91
	KURTOSIS	4.46	5.05

Tabla 4: Cálculos estadísticos del modelo geológico

En la Tabla 4 se tienen resumidos los parámetros estadísticos de medidas de posición, dispersión y forma para los 2 modelos realizados (litológico y geoeconómico) para la Veta Estrella, con los datos de sondajes y canales unidos.

A continuación se analizan los resultados para cada medida estadística.

Medidas de posición

Se observa que la media aritmética en el modelo litológico es ligeramente menor que en el modelo geoeconómico. El número de datos del modelo geoeconómico es mayor que el litológico, debido a que se ha considerado el ancho mínimo de minado de 0.80 m, que han incluido zonas de pórfido estéril y zonas de pórfido que presentan mineralización económica; el análisis es similar al realizado para la Tabla 03. Se debe tener presente que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos. La mediana es menor que la media para ambos modelos, indica que el 50% de la ley de los datos es superior a 4.92% Cu y 5% Cu para el modelo litológico y geoeconómico respectivamente; el otro 50% es inferior a esos valores para cada modelo. Con respecto a las demás medidas de dispersión (moda, mínimo, 1er Cuartil y valor máximo) son las mismas para ambos modelos geológicos, cabe resaltar que el valor mínimo (0.06% Cu) representa para el modelo geoeconómico zonas que han sido influenciadas por la presencia del pórfido. Con respecto al 3er Cuartil el 75% de las leyes de los datos es menor a 4.92% Cu y 5% Cu para el modelo litológico y geoeconómico respectivamente.

Medidas de dispersión

La varianza para ambos modelos geológicos es alta respecto a la media (12.78 y 13.56) debido a que sus unidades están elevadas al cuadrado. La desviación estándar es

moderadamente mayor que la media en ambos modelos, esta medida de dispersión es importante porque su valor está expresado en las mismas unidades de los datos originales. El coeficiente de variación menor a 1 (0.94 y 0.95 respectivamente) teóricamente indicaría que se podría realizar una interpolación lineal, debido a que la selección de muestras no tiene mucha variación.

Medidas de forma

Análogo al análisis anterior, la data de ambos modelos presentan sesgos positivos y estos deben corroborarse con los histogramas. El valor de Kurtosis mide el aplanamiento de la distribución de datos, no es muy usado en geoestadística.

3.3.3 Gráficos Estadísticos de los Datos

➤ *Histogramas*

Los histogramas calculan el número de muestras en cada intervalo de clase, cuyo “ancho” en algunos es constante y la altura de cada barra es proporcional a la frecuencia de la clase. Los datos estadísticos que se tienen son de las muestras y no de la población, teniendo en consideración que tanto la media y varianza son muy sensibles a valores extremos, mientras que la mediana y el rango intercuartil son medidas más robustas.

A continuación se muestran 6 histogramas litológicos, 1 histograma del modelo litológico y 1 histograma del modelo geoeconómico realizados en el área de trabajo.

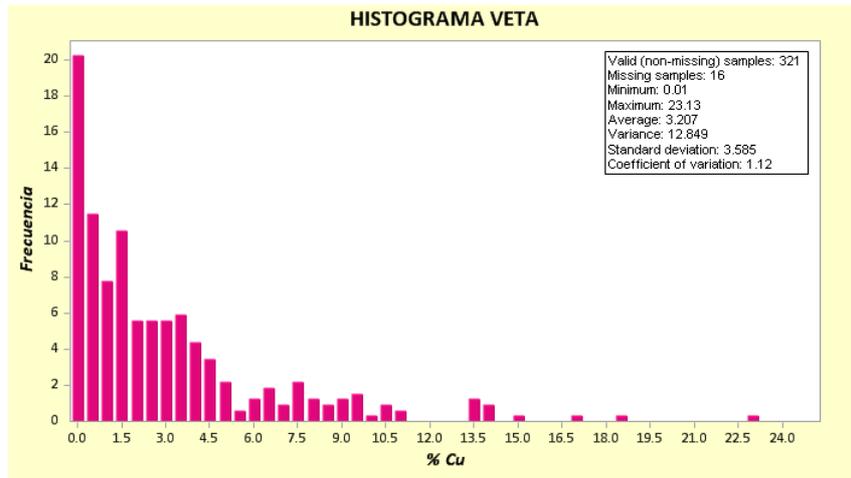


Figura 14: Histograma litológico veta

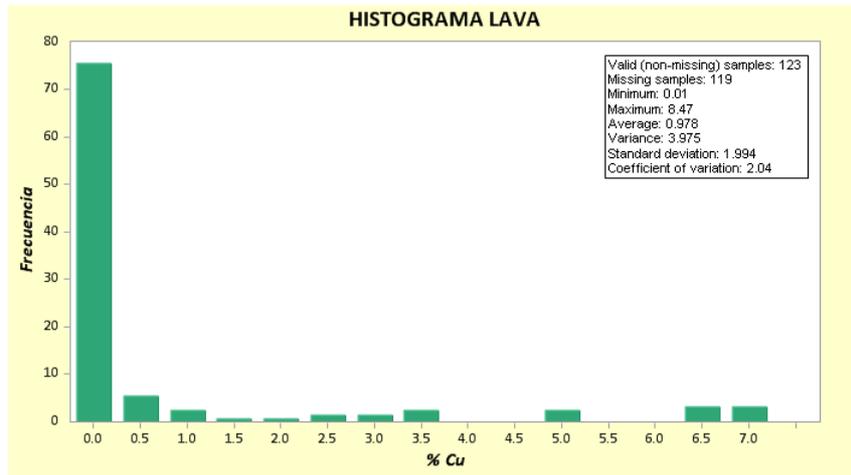


Figura 15: Histograma litológico lava

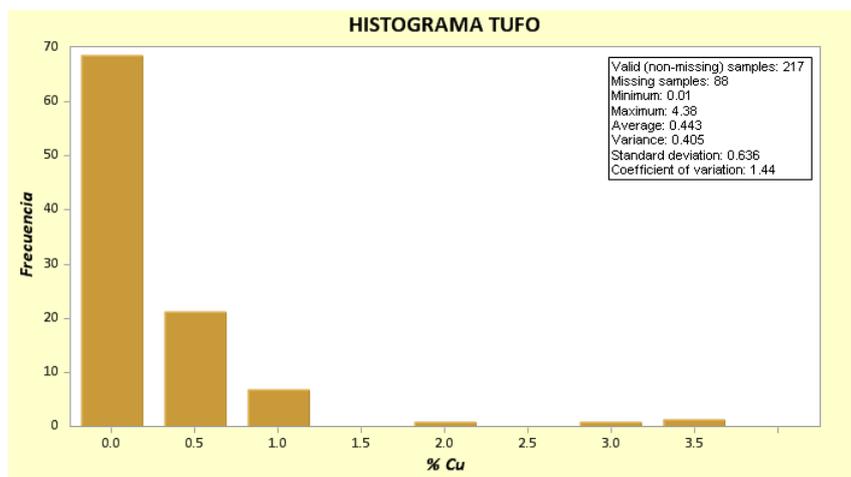


Figura 16: Histograma litológico tufo

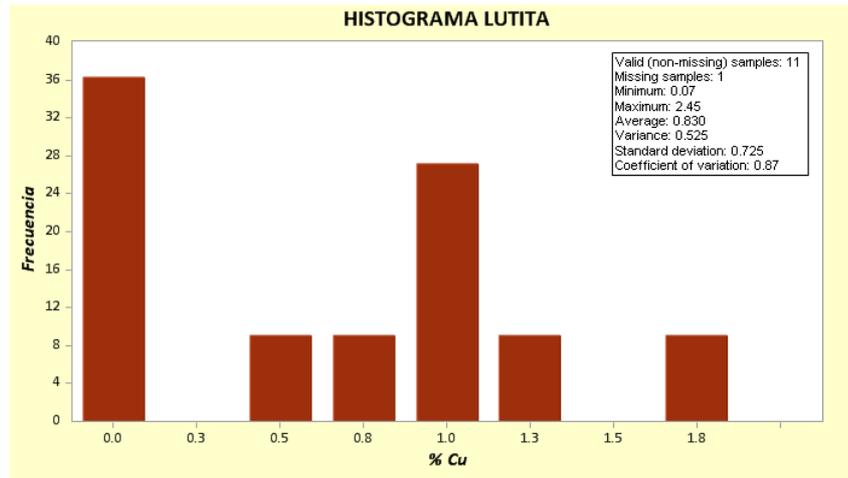


Figura 17: Histograma litológico lutita

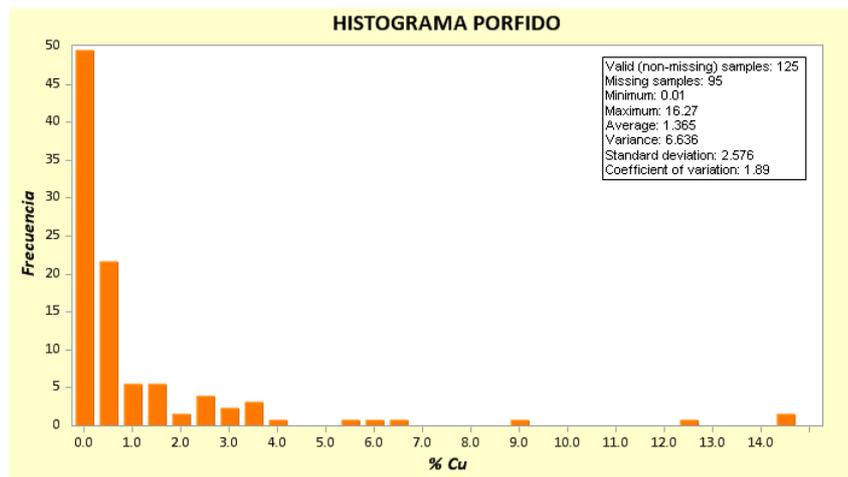


Figura 18: Histograma litológico pórfido

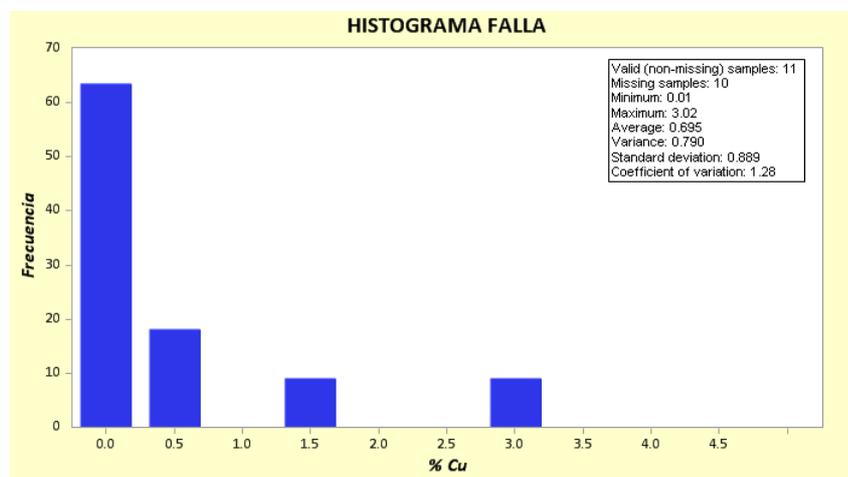


Figura 19: Histograma litológico falla

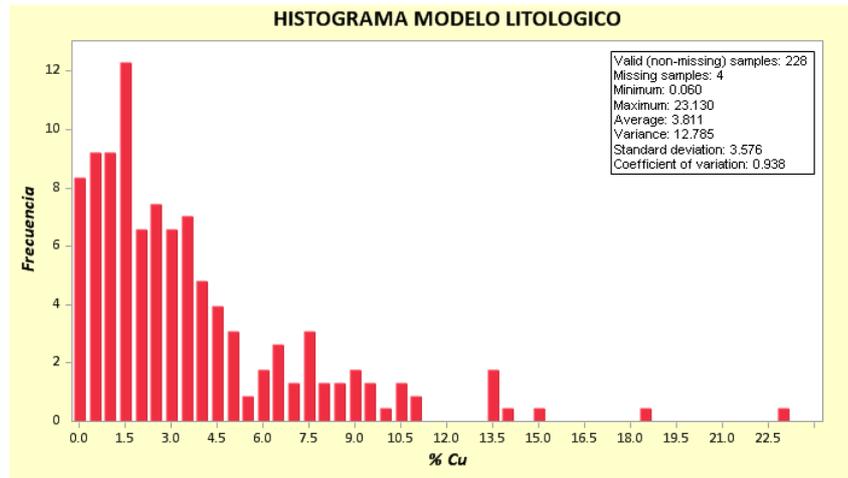


Figura 20: Histograma modelo litológico

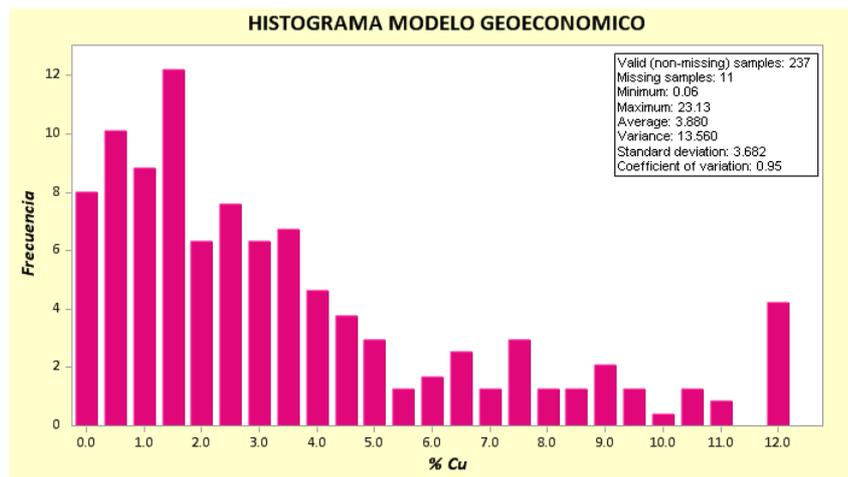


Figura 21: Histograma modelo geoeconómico

Los 8 histogramas (Figuras 14 a 21) presentan un sesgo positivo (observar la tendencia hacia la cola), detalle que fue observado en los cálculos estadísticos previos. De acuerdo al sesgo positivo presente, la media calculada para cada uno de ellos no es el mejor indicador estadístico, ya que dichos valores están influenciados por valores muy altos; por lo tanto la mediana caracteriza mejor a la población porque no es sensible a los valores extremos.

➤ *Ploteo Probabilístico*

El ploteo probabilístico permite visualizar la presencia de poblaciones en una zona de estudio y debe confirmarse con la información geológica. Asimismo permiten observar los valores erráticos que salen del comportamiento normal de la población y deben ser analizados al detalle antes de integrarlos al cálculo de la interpolación de leyes.

A continuación se muestran 08 ploteos probabilísticos realizados para cada tipo de litología, modelo litológico y geoeconómico presentes en el área de trabajo.

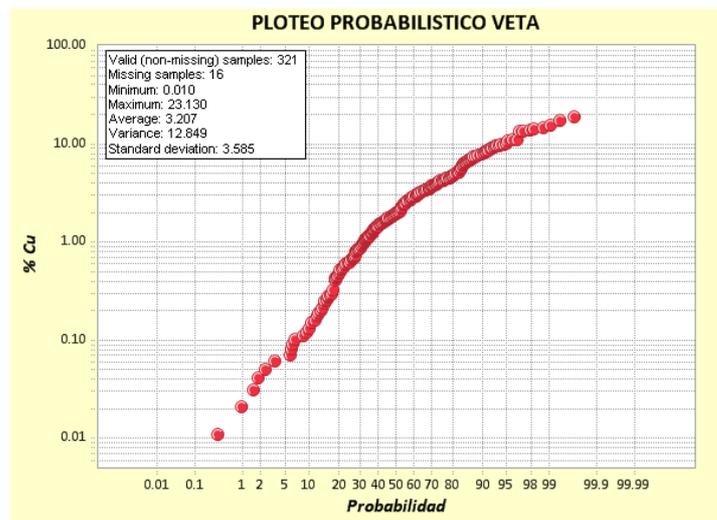


Figura 22: Ploteo probabilístico litológico veta

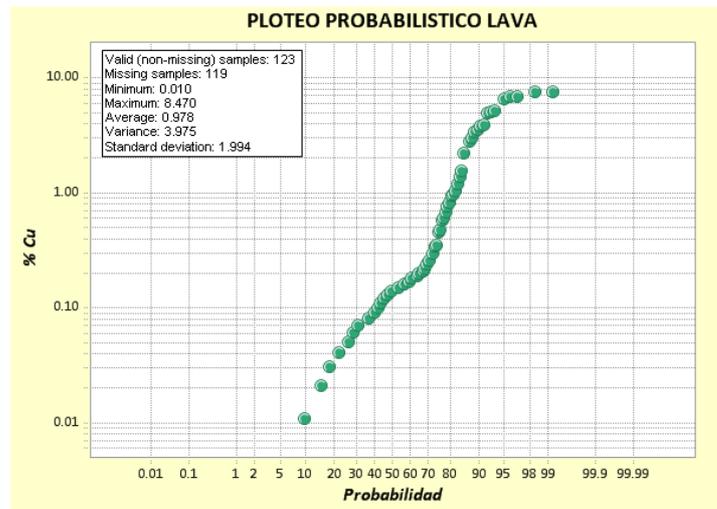


Figura 23: Ploteo probabilístico litológico lava

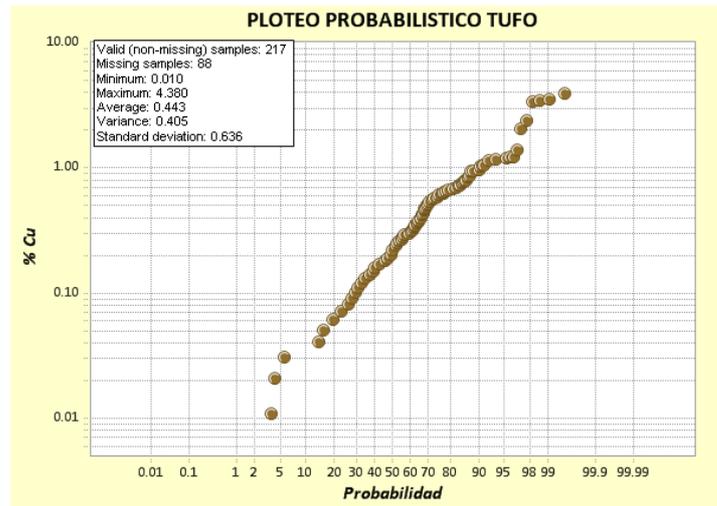


Figura 24: Ploteo probabilístico litológico tufo

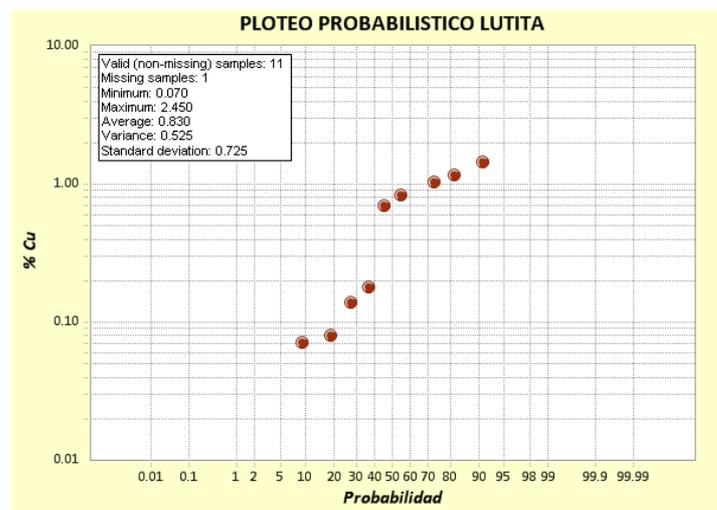


Figura 25: Ploteo probabilístico litológico lutita

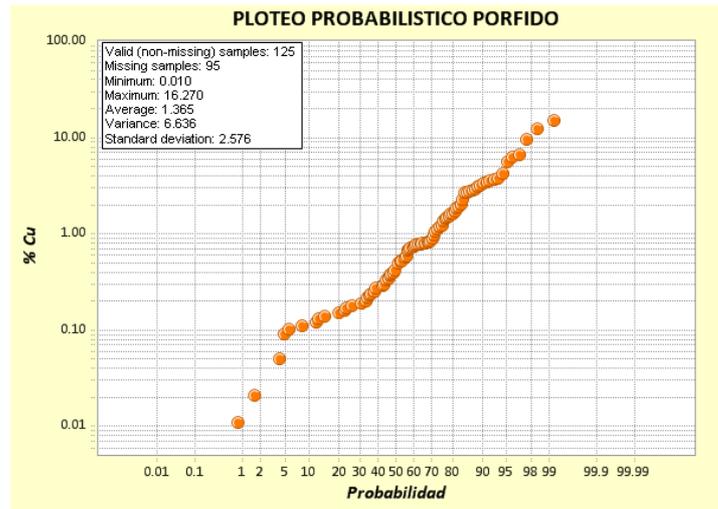


Figura 26: Ploteo probabilístico litológico pórfido

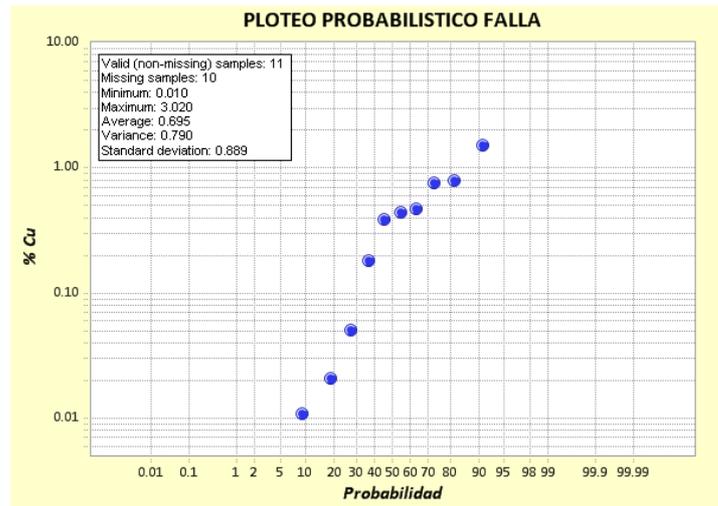


Figura 27: Ploteo probabilístico litológico falla

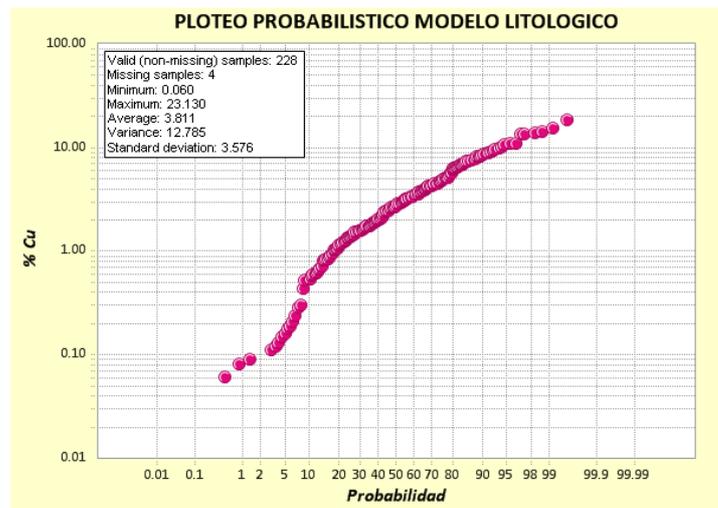


Figura 28: Ploteo probabilístico modelo litológico

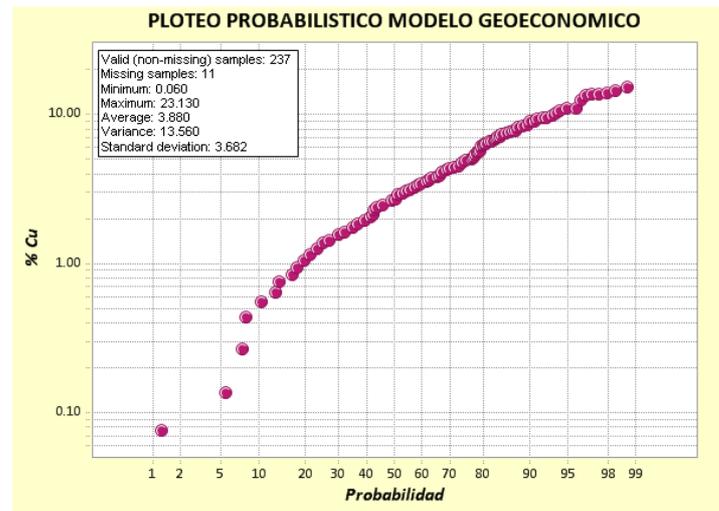


Figura 29: Ploteo probabilístico modelo geoeconómico

En los gráficos de Ploteo Probabilístico (log normal) por litología (Figuras 22 a 27) se observan valores erráticos y más de una población, lo cual es esperado, debido a que la información es de todo el yacimiento, además representa los distintos evento geológicos ocurridos durante la mineralización de la Veta Estrella. El ploteo probabilístico de la dolerita no se ha realizado debido a que sus datos son de igual valor y solo 6 muestras han sido analizadas. La figura 28 muestra la distribución log normal del modelo litológico, hay valores erráticos sobre el 95% del eje de probabilidad, el ligero “quiebre” al 40% del eje, estaría indicando dos poblaciones, existe un 10% de datos los cuales muestran valores menores a 0.3% Cu, que se deben a la baja mineralización de la estructura. La Figura 29 es el ploteo probabilístico del modelo geoeconómico, se observa una sola población desde el 18% a 95% del eje aproximadamente, el 95% hacia delante se analizará en el capítulo referente a los valores erráticos (outliers).

CAPITULO IV

ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS COMPOSITO

Con el análisis exploratorio de los datos originales se ha definido el modelo litológico y geoeconómico. En este capítulo se analizarán los datos compositados obtenidos de los datos originales, que se encuentran en el modelo geoeconómico.

4.1 Estudio del tamaño del Compósito

En Mina Condestable la longitud de muestreo de canales y sondajes es diferente. En los canales se realiza un muestreo sistemático cada 2 m y con una longitud máxima de 1 m. En los sondajes la longitud del muestreo depende de la longitud de impacto del sondaje en la estructura mineralizada, y varía desde centímetros a metros. Como se tienen distintas longitudes de muestreo (sobre todo para los sondajes) y para la interpolación de leyes se debe tener en consideración que un mismo conjunto de datos no debe contener muestras de longitud distinta, es necesario llevar las muestras a compósitos de la misma

longitud. Esta longitud puede ser igual a la altura del banco de minado o a un sub-múltiplo de este. Los datos compositados no deben tener una alta variación con respecto a los datos originales. Mientras más largo el compósito, menos dispersos y menos erráticos son los valores interpolados.

Se debe considerar que la variación de la longitud de los compósitos tiene varios efectos:

- ✓ Reduce o aumenta el número de datos.
- ✓ Disminuye la dispersión de los valores (efecto de soporte).
- ✓ Menos valores extremos.
- ✓ Facilita el análisis variográfico.

A continuación se muestra, el cálculo y gráficos estadísticos de la longitud de muestreo del modelo geoeconómico.

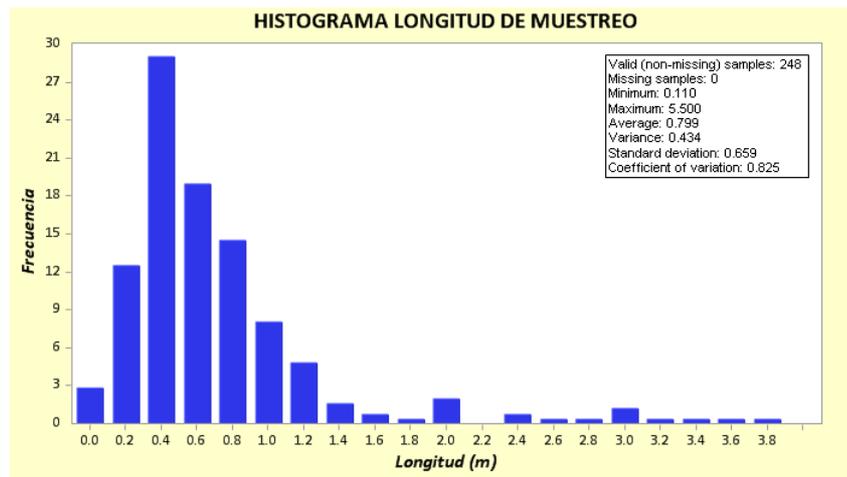


Figura 30: Histograma de longitud de muestreo

		LONGITUD
MEDIDAS ESTADISTICAS	N° DATOS	237
MEDIDAS DE POSICION	MEDIA	0.80
	MEDIANA	0.60
	MODA	0.50
	MINIMO	0.11
	1er CUARTIL	0.45
	MAXIMO	5.50
	3er CUARTIL	0.90
MEDIDAS DE DISPERSION	VARIANZA	0.43
	DESV. EST.	0.66
	COEF. VAR.	0.82
MEDIDAS DE FORMA	SESGO	3.19
	KURTOSIS	14.21

Tabla 5: Cálculos estadísticos de la longitud de muestreo

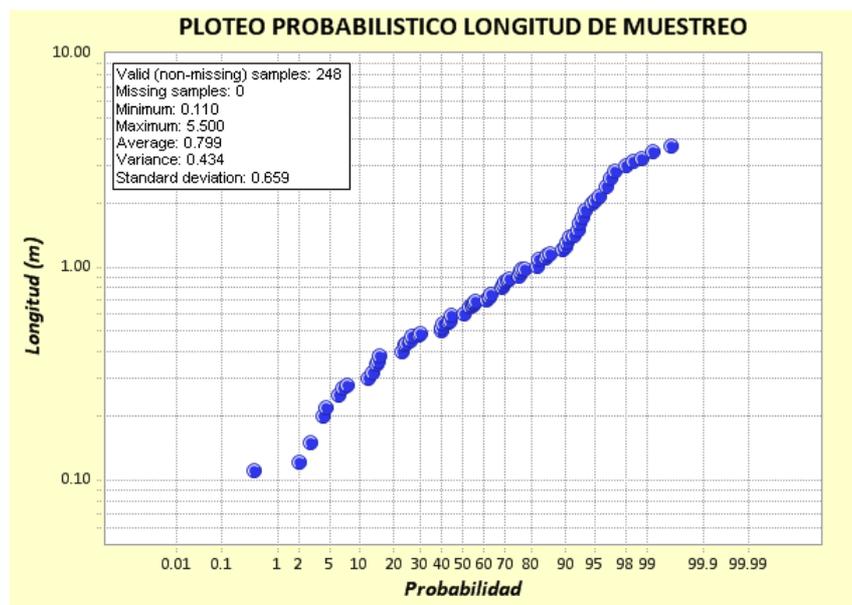


Figura 31: Ploteo probabilístico de la longitud de muestreo

Medidas de posición

La longitud promedio del modelo geoeconómico es 0.80 m. La mediana de las longitudes es 0.60 m, lo que indica que el 50% de estas muestras son menores a este valor y el otro 50%, mayor. El primer cuartil de las longitudes es menor a 0.45 m y el tercer cuartil de las longitudes son mayores a 0.90 m.

Medidas de dispersión

La varianza es baja al igual que la desviación estándar. El coeficiente de variación es menor a 1 e indica que las longitudes de muestreo no presentan mucha variación.

Medidas de forma

La longitud de muestreo presenta sesgo positivo y se corrobora con el histograma (Figura 30).

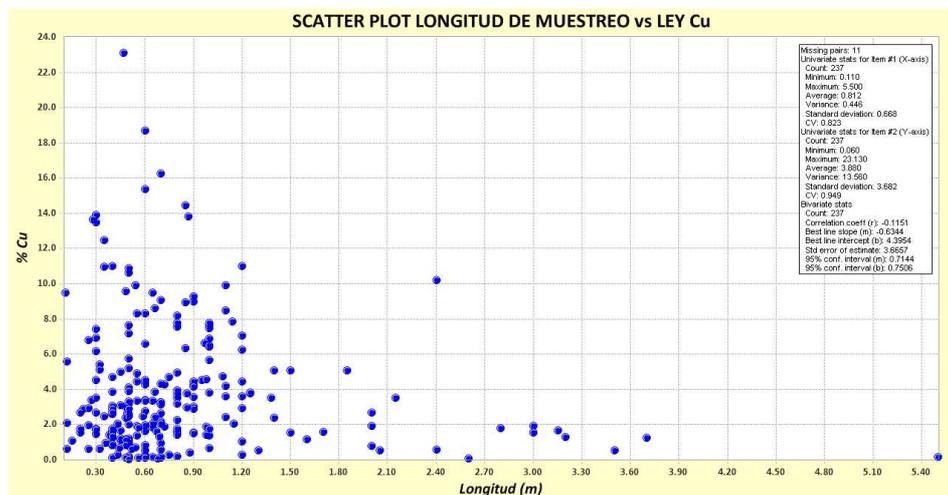


Figura 32: Scatter Plot de la longitud de muestreo vs ley de Cu

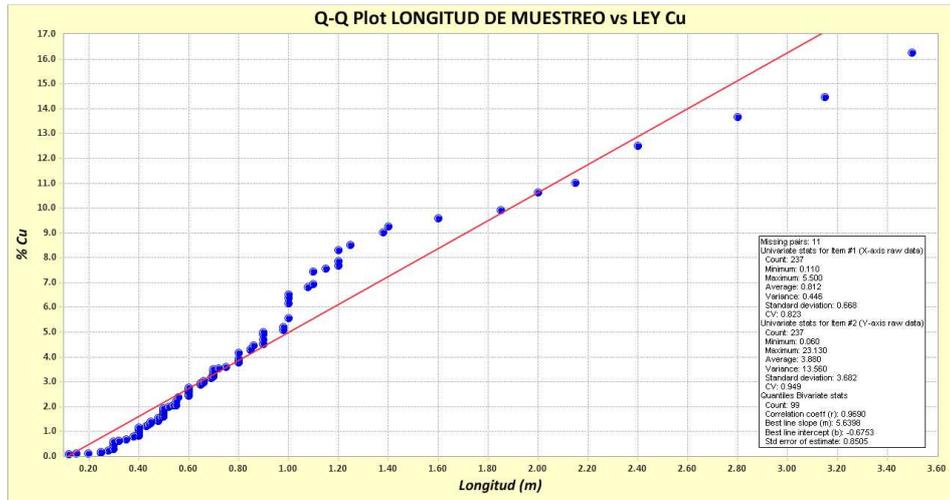


Figura 33: Gráfico QQ-Plot de longitud de muestreo vs Ley de Cu

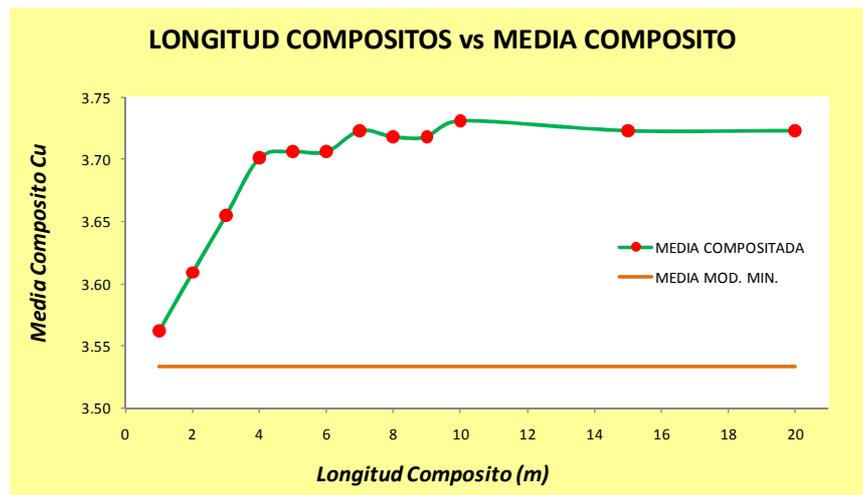


Figura 34. Variación de la media compositada vs longitud compósito

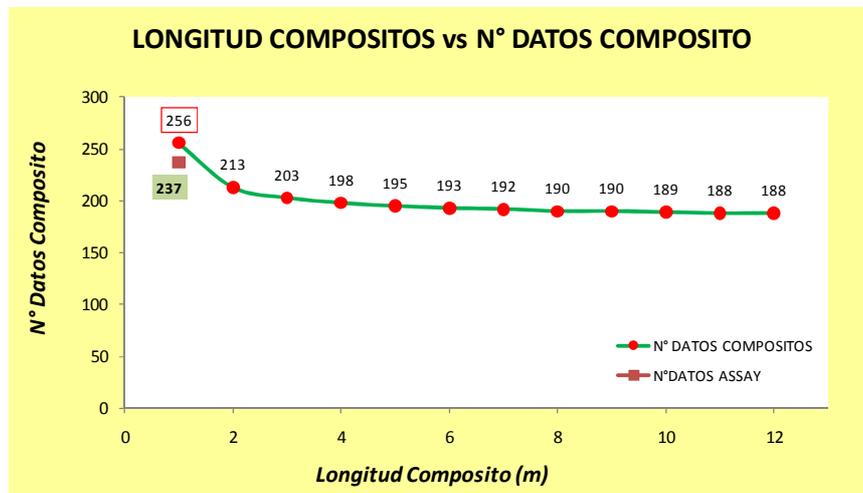


Figura 35 Número de datos compósito vs longitud compósito

Las figuras 32 y 33 indican que la correlación entre las leyes de Cu y longitud de muestreo es menor a 1. La figura 34 indica que la media más próxima a los valores originales se presenta cuando se composita a 1 m. La figura 35 indica que el número de datos para longitud mayores a 1 m disminuye respecto a la cantidad de datos originales.

En conclusión, para esta estructura mineralizada la longitud a compositar es de 1 m.

4.2 Gráficos y Cálculos Estadísticos de los Compósitos

A continuación se muestran los gráficos y parámetros estadísticos de la data compositada considerada en el modelo geoeconómico.

MEDIDAS ESTADÍSTICAS		COMPOSITO	MODELO GEOECONOMICO
	Nº DATOS	256	237
MEDIDAS DE POSICION	MEDIA	3.56	3.88
	MEDIANA	2.55	2.76
	MODA	0.15	1.78
	MINIMO	0.06	0.06
	1er CUARTIL	1.35	1.40
	MAXIMO	23.13	23.13
	3er CUARTIL	4.72	5.00
MEDIDAS DE DISPERSION	VARIANZA	11.42	13.56
	DESV. EST.	3.38	3.68
	COEF. VAR.	0.95	0.95
MEDIDAS DE FORMA	SESGO	2.01	1.86
	KURTOSIS	5.97	4.46

Tabla 6: Cálculos estadísticos de la data compósito

En la tabla 6, se observa que el número de datos es mayor en la data compositada ($n_{\text{datos}} = 256$) que en el modelo geoeconómico ($n_{\text{datos}} = 237$), debido a que hay sondeos muestreados mayor a 1 m, y que al compositarse se han fraccionado equitativamente. Para los datos

compósitos, que están englobados en el modelo geoeconómico, sus medidas de posición y de dispersión han disminuido en comparación a la data sin compositar, ello se debe a que existen tramos de alta ley con longitud menor a 1 m así como también tramos de baja ley con longitudes mayores a 1 m. Los tramos de alta y baja ley influyen en el cálculo final. Las medidas de forma indican que se mantiene el sesgo positivo.

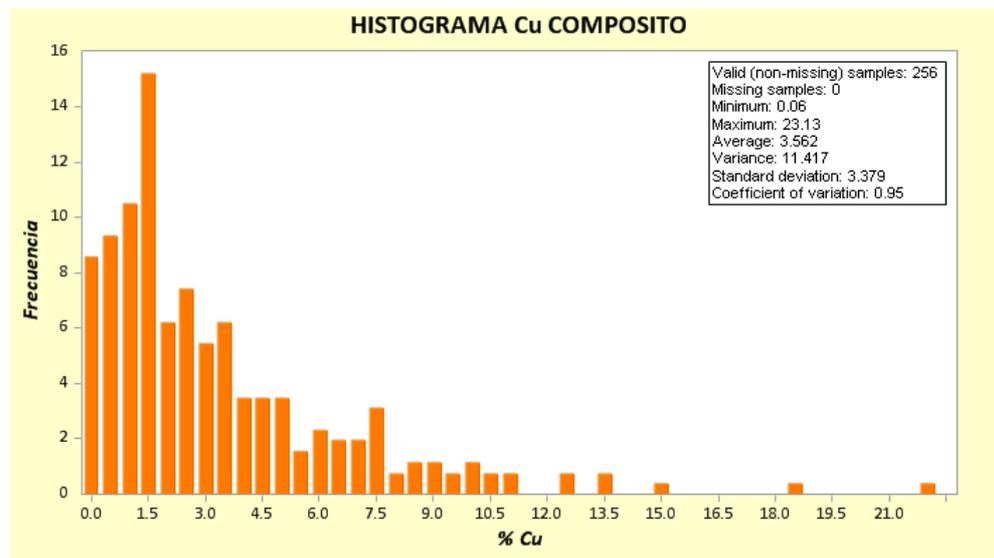


Figura 36: Histograma de la data compósito

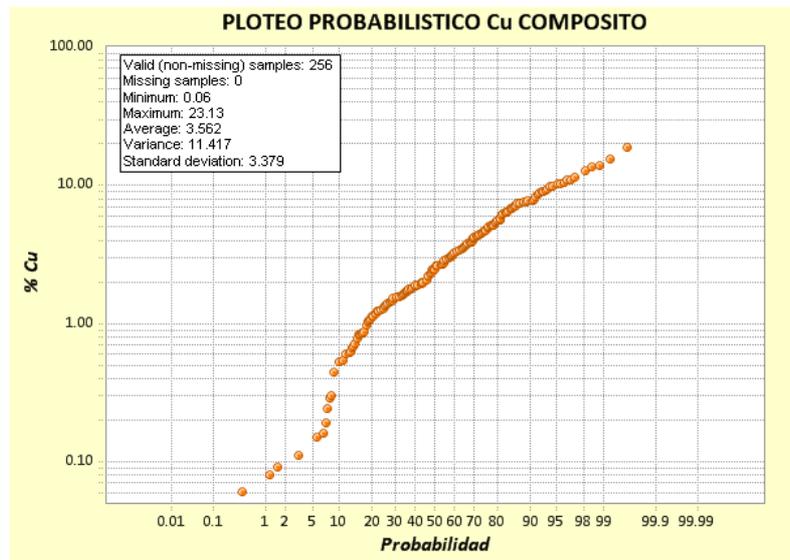


Figura 37: Ploteo probabilístico de la data compósito

4.3 Análisis Variográfico

El análisis variográfico (o estructural), está compuesto por el cálculo del variograma experimental y el modelamiento del mismo.

4.3.1 Variograma Experimental: Correlograma

Se realizaron variogramas tipo correlograma, debido a que este tipo de variograma no está afectó a los valores altos. De estos variogramas se observa que no se tiene una dirección definida de la anisotropía y se debe a la poca cantidad de datos ($n_{\text{datos}} < 400$). Por la poca cantidad de datos estos variogramas carecen de interpretación geoestadística, pero sirve como **referencia** para obtener el alcance de los ejes del elipsoide de búsqueda.

PARAMETROS	VALOR
DISTANCIA (LAG)	2
TOLERANCIA DISTANCIA (LAG)	1
NUMERO DE PASOS	25
AZIMUTH	45
TOLERANCIA AZIMUTH	23
ANCHO BANDA HORIZONTAL	5
DIP	45
TOLERANCIA DIP	23
ANCHO BANDA VERTICAL	5

Tabla 7: Parámetros del variograma

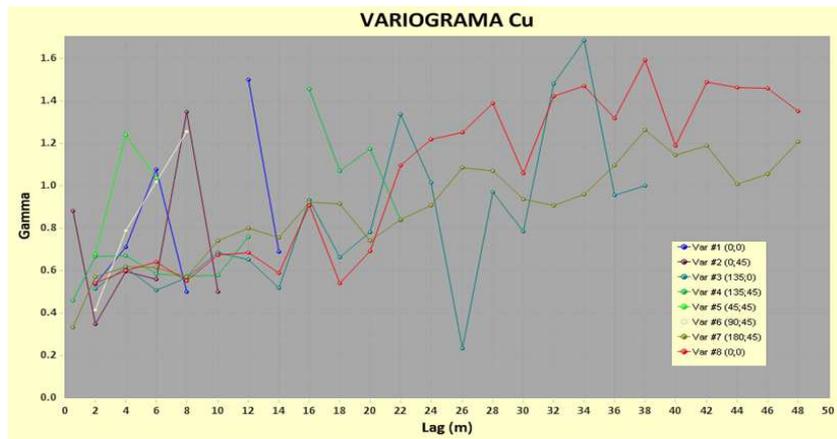


Figura 38. Variogramas experimentales tipo correlograma en el plano de la veta Estrella

4.3.2 Modelamiento del Variograma

De los variogramas experimentales tipo correlograma que se observan en la figura 38, se modeló el variograma omnidireccional, por considerarse como el promedio de los variogramas calculados en las distintas direcciones. Para realizar este modelamiento se uso dos modelos esféricos.

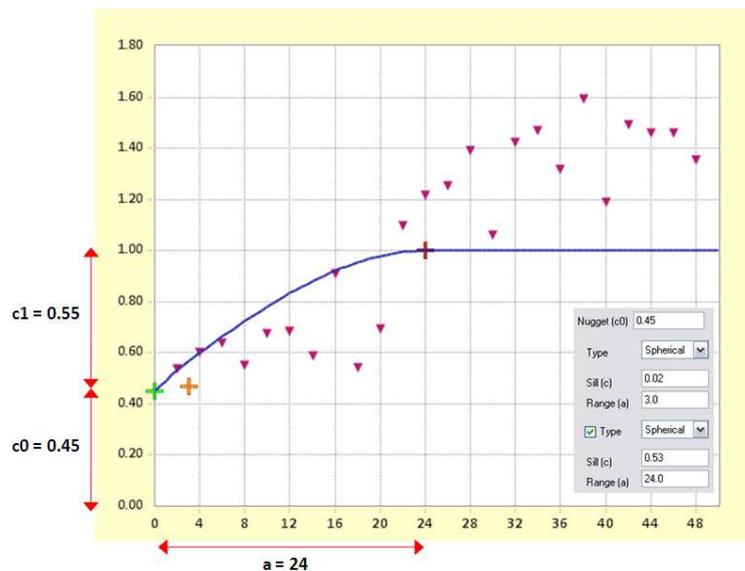


Figura 39; Modelamiento del variograma

En la figura 39 se observa que el variograma presenta un efecto pepa pequeño ($c_0 = 0.45$), indica una baja variabilidad de la continuidad geológica y las técnicas de la toma de muestra no presentan un error alto. La meseta ($c_0 + c_1$) es la unidad y el alcance (a) del variograma es aproximadamente 24 m.

CAPITULO V

INTERPOLACION DE LEYES

Debido a que la estructura mineralizada presenta zonas no muestreadas, existe incertidumbre del valor que tomará la variable ley en esas zonas. Para compensar esta incertidumbre, debido al número limitado de datos, se recurre a interpolar los valores de ley que componen el yacimiento a partir de las muestras circundantes. Las estimaciones nunca son perfectas y están afectadas por errores que pueden incidir en el cálculo de los recursos o de las reservas que se irán afinando a medida que se tenga mayor información.

5.1 Restricción de Valores Extremos (Outliers)

En la mayoría de análisis de muestreo y dependiendo del tipo de yacimiento siempre habrá valores atípicos respecto a un conjunto de datos. Es posible detectar estos valores atípicos por medio de varias herramientas, en especial: histogramas, nubes de correlación entre variables, nubes direccionales, etc.

No se debe eliminar un valor atípico sin razón, debido a que su origen puede deberse a una falla en el protocolo de medición, en la transcripción del dato, entre otros; además, ningún test estadístico indica fehacientemente si un valor es atípico o no.

La presencia de valores atípicos puede plantear un problema para la evaluación de recursos y reservas, debido a que introduce variabilidad, puede generar una sobre estimación en zonas de alta ley, es por ello que antes de realizar la estimación se debe reconocer espacialmente donde se ubican estos valores atípicos y si pueden ser tratados como otra población o una sola. Estos valores pueden restringirse en base a métodos geoestadísticos avanzados (transformación de datos), usando “capping” o “cutting”, cambiando el tamaño de los compósitos o identificando poblaciones de datos.

Para los datos del modelo geoeconómico de la Veta Estrella, se consideran dos análisis. El primer análisis está basado en el gráfico de ploteo probalilístico de leyes de Cu compositado a 1 m y el segundo análisis se obtiene con la ubicación espacial de estos valores atípicos.

En las figuras 40 y 41 (zoom de la Fig. 40) se señala los valores atípicos mayores a 11.41% Cu y observando la distribución espacial (Figura 42) de estos valores se nota que están dispersos en la estructura mineralizada, por lo tanto se realiza un acotamiento a 11.41% Cu, obteniendo los siguientes datos estadísticos mostrados en la tabla 08.

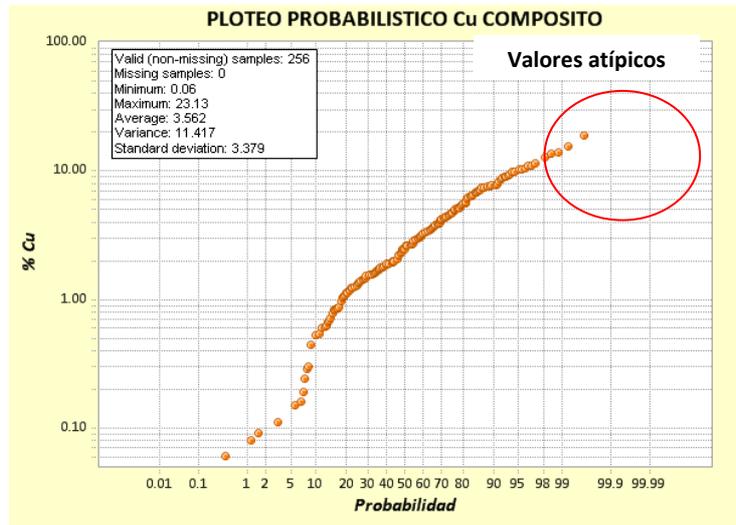


Figura 40: Ploteo probabilístico del Cu compuesto

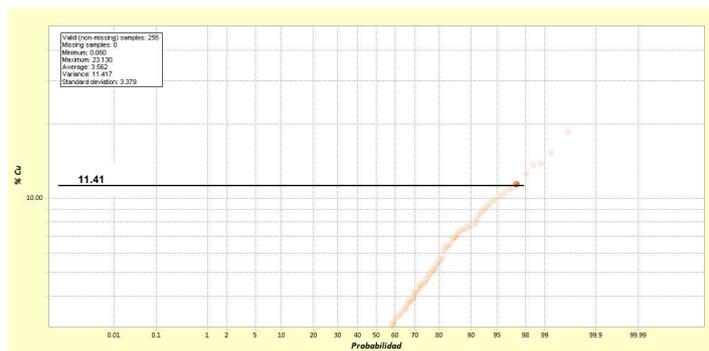


Figura 41: Zoom de la Figura 40

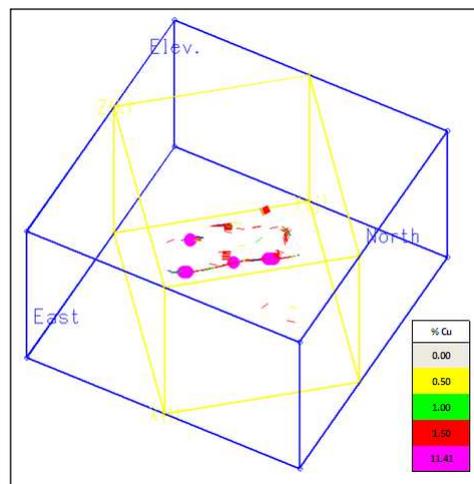


Figura 42: Distribución espacial de los valores atípicos

		COMPOSITO	MODELO GEOECONOMICO	COMPOSITO ACOTADO
MEDIDAS ESTADISTICAS	N°DATOS	256	237	256
MEDIDAS DE POSICION	MEDIA	3.56	3.88	3.44
	MEDIANA	2.55	2.76	2.55
	MODA	0.15	1.78	11.41
	MINIMO	0.06	0.06	0.06
	1er CUARTIL	1.35	1.40	1.35
	MAXIMO	23.13	23.13	11.41
	3er CUARTIL	4.72	5.00	4.72
MEDIDAS DE DISPERSION	VARIANZA	11.42	13.56	8.67
	DESV. EST.	3.38	3.68	2.95
	COEF. VAR.	0.95	0.95	0.86
MEDIDAS DE FORMA	SESGO	2.01	1.86	1.17
	KURTOSIS	5.97	4.46	0.58

Tabla 8: Cálculo estadístico comparativo (compósito, modelo geoeconómico, compósito acotado)

En la tabla 8 se observa que las medidas de posición, a excepción de la moda (debido al acotamiento) se conversan iguales, en cambio las medidas de dispersión y forma han disminuido respecto al Cu compósito sin acotar y al Cu del modelo geoeconómico.

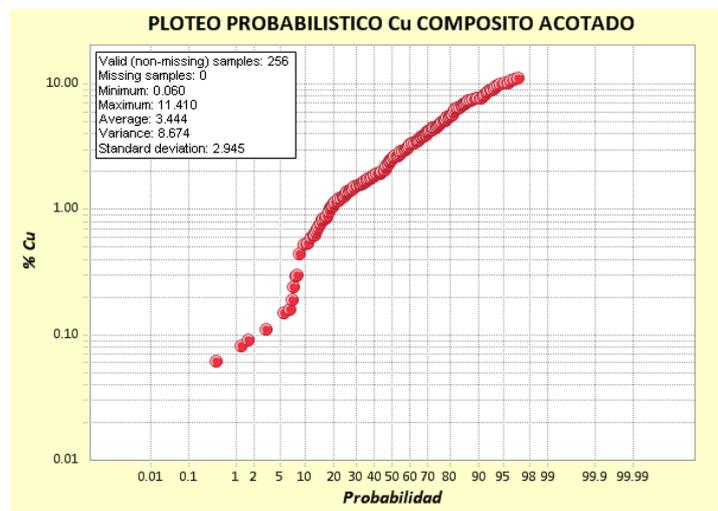


Figura 43: Ploteo probabilístico del Cu compósito acotado

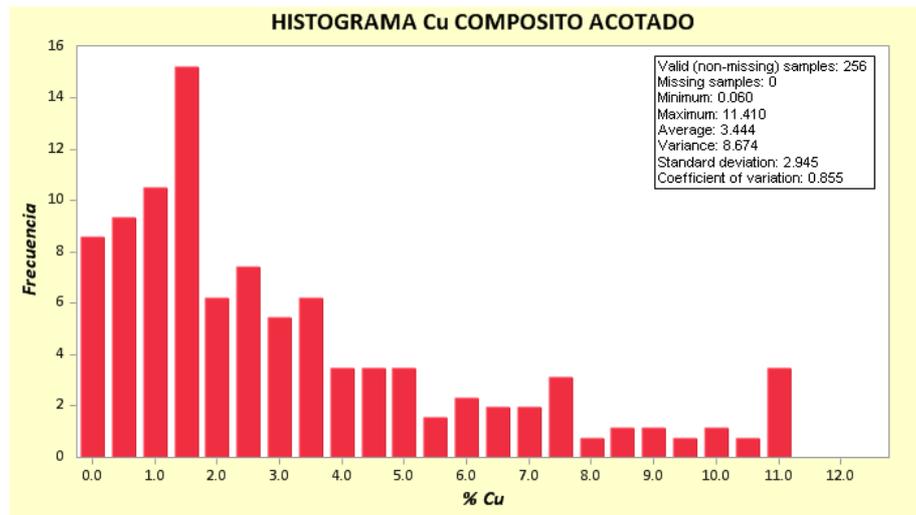


Figura 44: Histograma del Cu compuesto acotado

La figura 43 y 44 muestra el ploteo probabilístico e histograma de los datos compositados. El histograma tiene un sesgo positivo.

Tomando como referencia el valor de la media del compuesto acotado, se realiza las validaciones para la interpolación de leyes.

5.2 Estructura del Modelo de Bloques

Las dimensiones del modelo de bloques fueron establecidas como un múltiplo de la longitud de compósitos y de acuerdo al método de explotación (taladros largos de 3 m de profundidad aproximada). Cada uno de estas celdas que forman el modelo de bloques contiene un porcentaje de volumen de la estructura mineralizada.

El modelo de bloques está compuesto por 39964 celdas, distribuidas a lo largo del eje X con 106 columnas de 3 m cada una de ellas. El eje Y con 73 filas de 3 m cada una de ellas. El eje Z con 78 niveles de 3 m de cada una de ellos. El modelo de bloques está codificado para la estructura mineralizada.

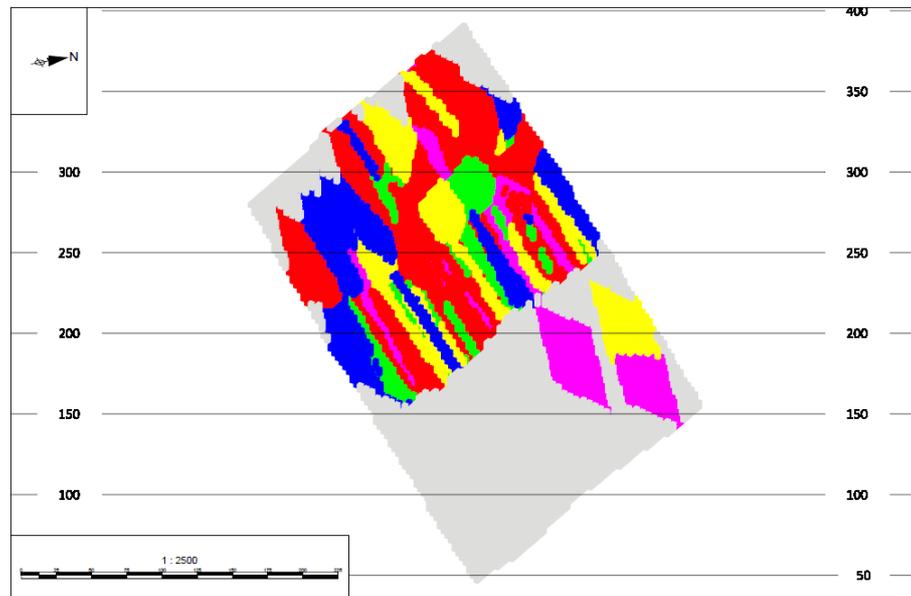


Figura 45. Modelo de bloques 3D

5.3 Método de Interpolación de Leyes.

El método de Interpolación de Leyes es el Inverso de la Distancia, se basa en asignar el mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas y se consigue al ponderar las leyes por la distancia entre la muestra y el centro de gravedad del polígono o bloque. Este método trabaja mejor en estimaciones locales que globales, sin considerar el tamaño ni forma del cuerpo y por lo general atribuye un mayor peso a las muestras que se encuentran más cerca al centro de gravedad del polígono o bloque.

La fórmula general del Método del Inverso de la Distancia es:

$$Z = \frac{\sum(Z_i/d_i)}{\sum(1/d_i^\alpha)}$$

Donde:

α : es el factor de potencia (1,2,3,4,5.....)

d_i : es la distancia entre la muestras y el centro de gravedad del polígono o bloque.

Z : Valor interpolado

Z_i : Valor interpolado en la posición i

i : 1, 2,n

No existe fórmula o conocimiento acerca de elegir el ponderador a usar en el Método del Inverso de la Distancia, por lo tanto se ha considerado pertinente realizar interpolaciones con potencia 2, 3, 4 y 5 con la finalidad de observar los parámetros de media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 09 se tienen los valores para estos parámetros, se observa que conforme aumenta el ponderador la varianza, desviación estándar y coeficiente de variación se comportan inversamente proporcional a la media.

POTENCIA	MEDIA	VARIANZA	DESV EST.	C.V.
2	3.047	5.829	2.414	0.792
3	3.040	5.850	2.419	0.796
4	3.035	5.871	2.423	0.798
5	3.032	5.890	2.427	0.801

Tabla 9: Cálculos Estadísticos de Interpolación de Leyes

Considerando los resultados de la tabla 9, se realiza la interpolación con el ponderador de potencia 2, por presentar valores menores en las medidas de variación, cabe recalcar que no hay una mejor o peor estimación si el ponderador de la distancia aumenta. Este método, si bien no es un estimador lineal, fue utilizado porque se tiene datos insuficientes para aplicar un Kriging, lo cual queda demostrado con el variograma tipo correlograma y el coeficiente de variación menor a 1.

5.4 Parámetros en la Interpolación de Leyes

Los parámetros para la Interpolación de Leyes, usando el método del Inverso de la Distancia, potencia 2, se muestran en la tabla 10 (obsérvese la figura 46).

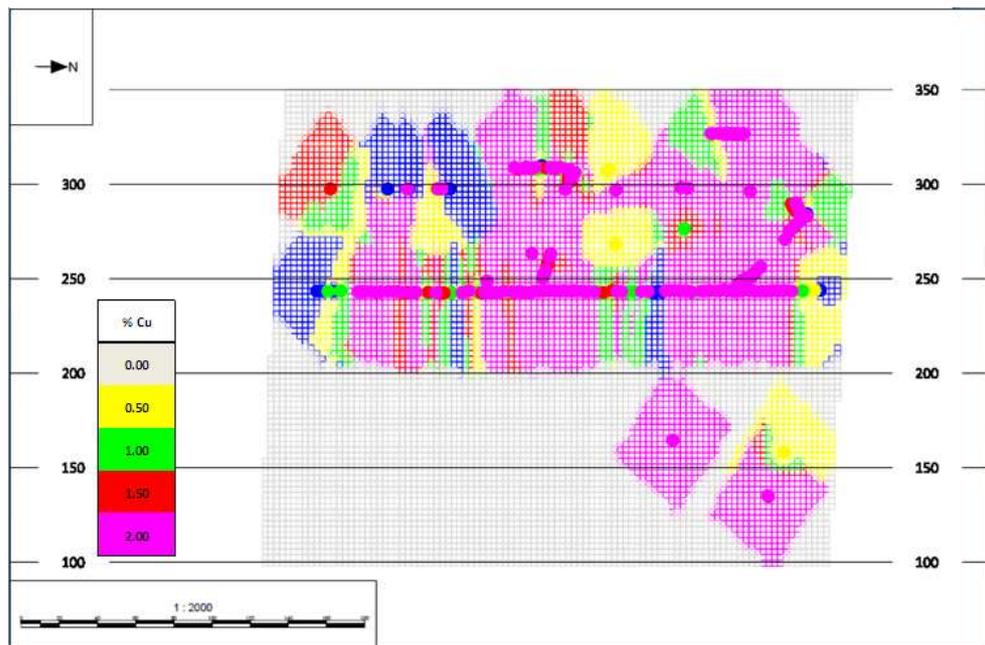


Figura 46 – Sección longitudinal mostrando interpolación de leyes

PARAMETROS	VALOR
POTENCIA	2
Min Num Comp Block	1
Max Num Comp Block	2
Min Num Comp Hole	2
Eje Principal	24
Eje Secundario	24
Eje Vertical	60

Tabla 10: Parámetros usados en la interpolación de leyes

5.5 Validación de la Interpolación de Leyes

Para verificar la Interpolación de leyes se ha realizado 03 validaciones, que se describen a continuación.

5.5.1 Inspección Visual

El objetivo es observar si la distribución de los rangos de leyes de los compósitos es similar o guardan concordancia con el modelo de bloques. Esta observación se realiza en una sección longitudinal de la veta.

En la figura 47 se observa que los valores de los compósitos y el modelo de bloques guardan una relación directa, lo que indicaría que los parámetros de interpolación, sobre todo el ponderador del Inverso a la Distancia es el adecuado.

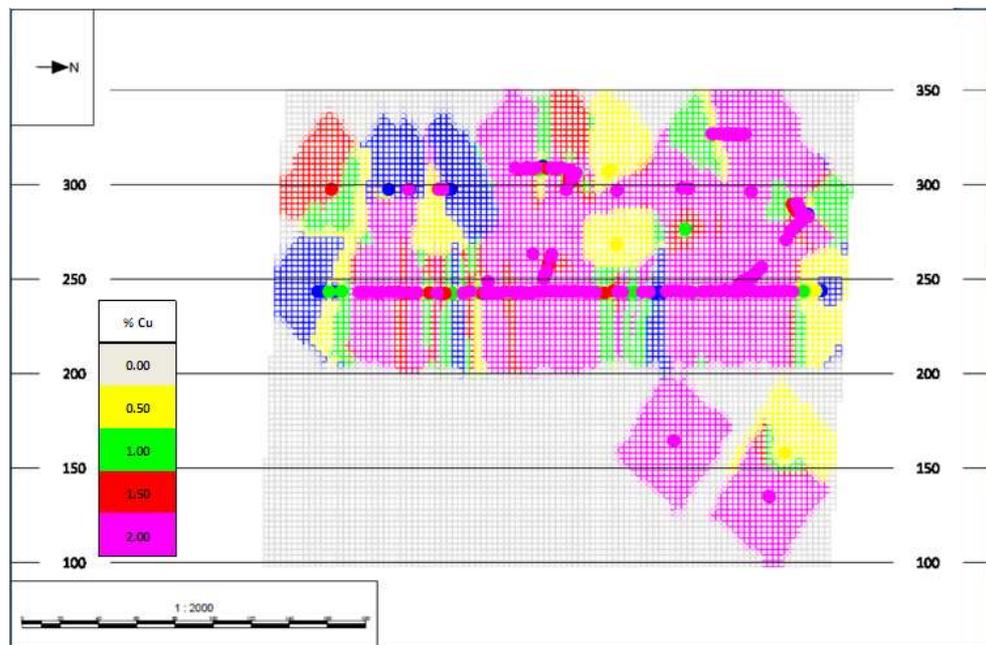


Figura 47: Inspección visual compósito vs modelo de bloques

5.5.2 Revisión del modelo por la media

El objetivo es comparar las estadísticas obtenidas por el modelo con respecto a los compósitos.

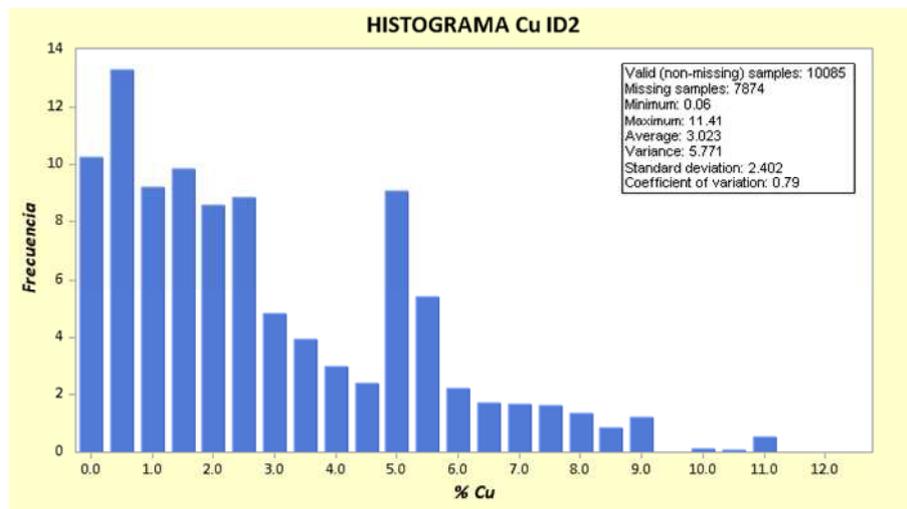


Figura 48: Histograma de leyes interpoladas con ID2

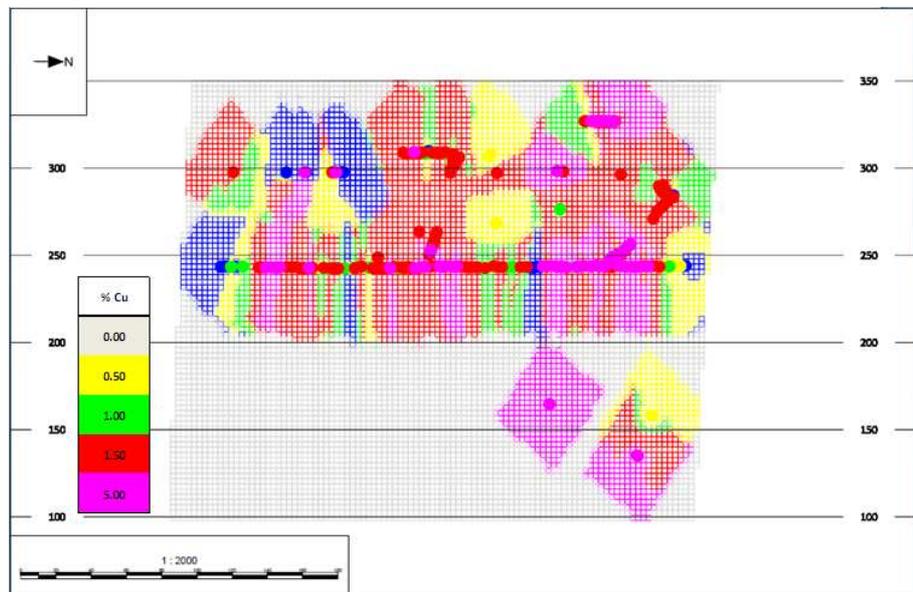


Figura 49: ID2 con leyes mayores a 5% Cu

PARAMETRO ESTADISTICO	COMPOSITO 1m	INV. DIST. POT 2
MEDIA	3.444	3.047
VARIANA	8.674	5.829
DESV. EST.	2.945	2.414
COEF. VAR	0.855	0.792

Tabla 11: Calculos estadísticos de compósito vs ID2

El histograma de la figura 48 se observa que los datos siguen conservando un sesgo positivo y reproduce dos poblaciones en datos que contienen valores mayores a 5%. Las zonas mayores a 5 % se encuentran dispersas en el cuerpo mineralizado a lo largo de la cota 235 aproximadamente y en los sondajes ubicados en la parte NE (Figura 49). En la tabla 11 se observa que la media interpolada es menor a la media compositada, pero presenta una menor varianza. En términos generales se está considerando la media interpolada como válida, por ser menor a la de los datos originales y compósitos y no se estaría sobreestimando el cuerpo.

5.5.3 Sesgo Local

Esta validación se realiza por secciones a lo largo de la estructura mineralizada, comparando los resultados obtenidos por el Inverso a la Distancia, con potencia 2 y el método de estimación, el Vecino Más Cercano (NN), usando los gráficos swath plot.

Los gráficos swath plot sirven para observar la relación entre 2 o más métodos de interpolación de leyes y se realizan a lo

largo de los ejes X, Y y Z del plano de la estructura mineralizada.

Para la validación del sesgo local, se tienen gráficos swath plot en la dirección NW-SE, NE-SW y Elevaciones.

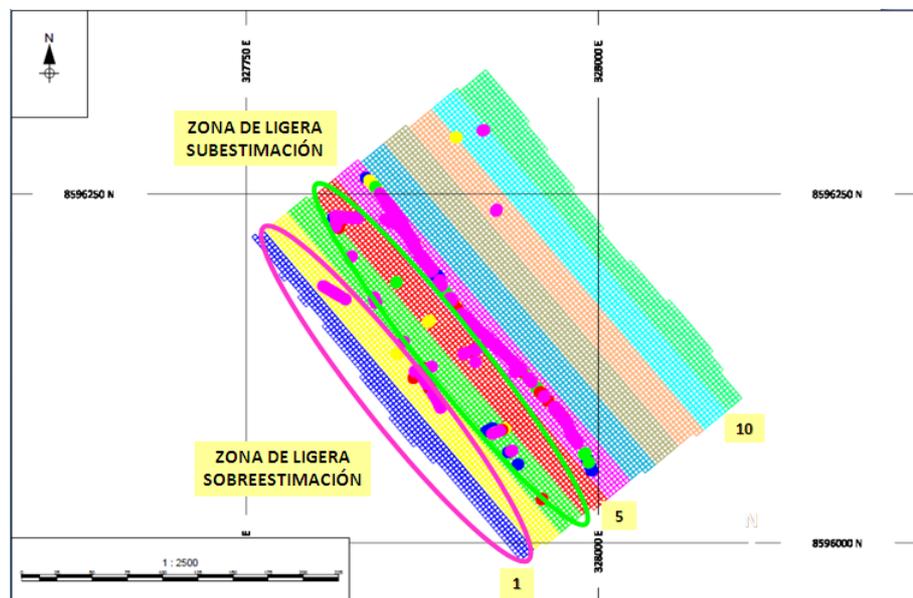
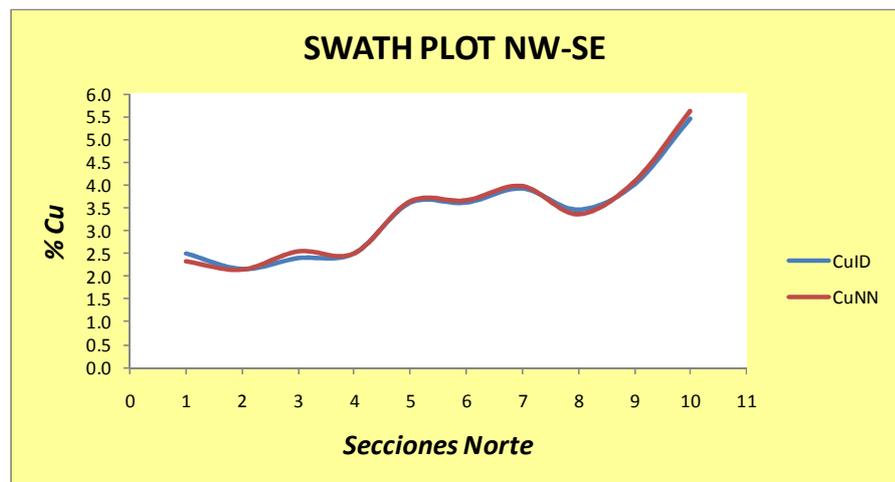


Figura 50: Validación sesgo local NW – SE

En la figura 50, validación a lo largo de la dirección NW-SE, se observa una ligera sobreestimación del ID2 en la línea de

secciones 1, y una ligera subestimación ID2 en la línea de sección 3 y 4.

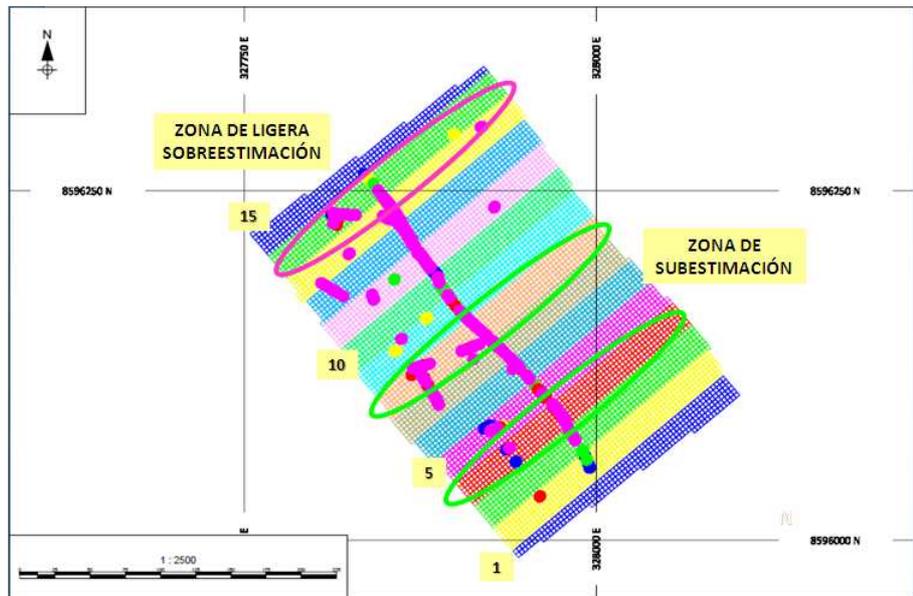
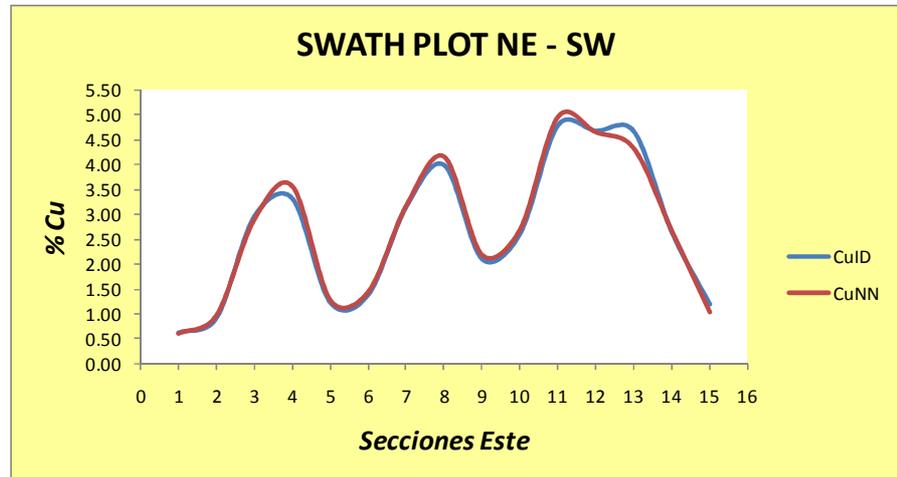


Figura 51: Validación sesgo local NE – SW

En la figura 51, validación a lo largo de la dirección NE–SW, se observa una ligera subestimación del ID2 en la línea de sección 4 y 8, sobreestimación en la línea de sección 13 y 14 producto de los impactos en profundidad.

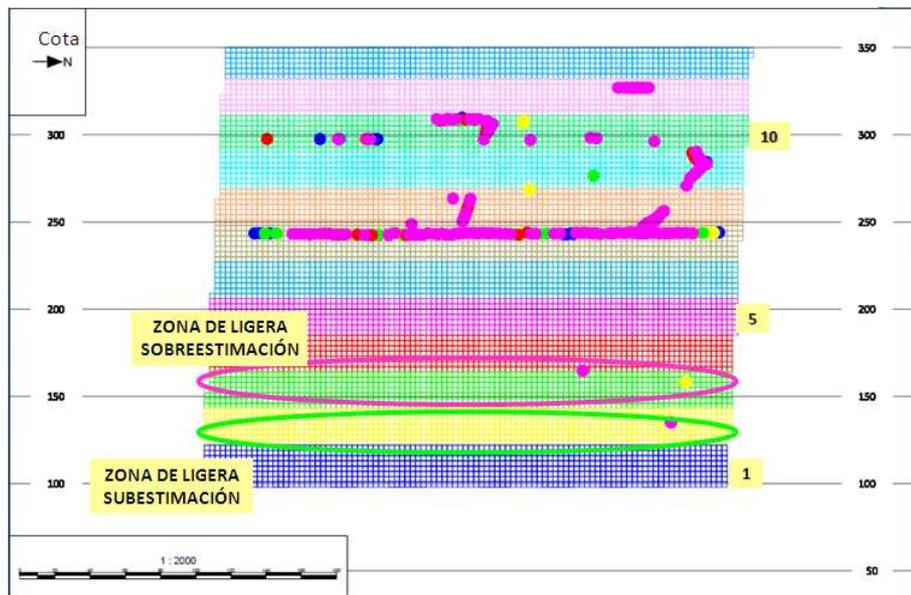
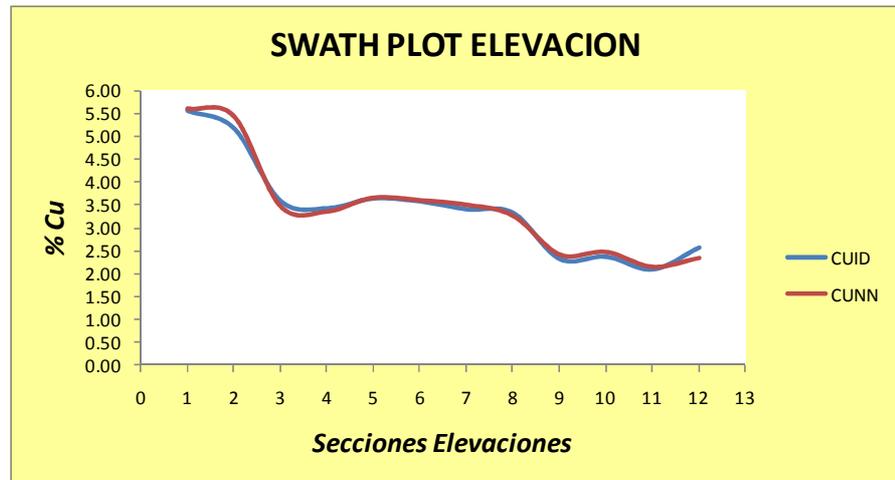


Figura 52: Validación sesgo local elevaciones

En la figura 52, validación en elevaciones, se observa una ligera subestimación y sobreestimación en los niveles inferiores, debido principalmente a la poca información que se tiene, sin embargo entre los niveles superiores se observa una buena correlación entre el ID2 y Vecino más Cercano.

CAPITULO VI

CATEGORIZACION DE RECURSOS MINERALES

Para la Categorización de los Recursos Minerales, se ha utilizado como base el código JORC “The Joint Ore Reserves Committee”. El código JORC, internacionalmente reconocido, constituye un estándar para emitir reportes de los recursos y reservas minerales. A continuación se toman del JORC las definiciones de categorización de recursos minerales (Medidos, Indicados e Inferidos) usados en el presente informe.

6.1 Recurso Mineral Medido

Es aquel recurso que tiene un alto nivel de confianza. Para obtener este resultado se utiliza una distancia media entre los bloques de cubicación y las muestras utilizadas para estimar la ley media del bloque, de hasta el 30% del alcance medido en el modelo del variograma aproximadamente. Este recurso está basado en exploración detallada y confiable, muestreo e información de pruebas recogidas con técnicas apropiadas de afloramientos, trincheras, pozos, labores mineras y

taladros. Las ubicaciones están lo suficientemente cerca para confirmar la continuidad geológica y de ley. Las cuantificaciones globales y locales tienen alto nivel de confianza.

6.2 Recurso Mineral Indicado

Es aquel recurso que tiene un menor nivel razonable de confianza. Para obtener este resultado se utiliza una distancia media entre los bloques de cubicación y las muestras utilizadas para estimar la ley media del bloque, de hasta el 60% del alcance medido en el modelo del variograma aproximadamente. Las ubicaciones de las muestras o datos son muy amplias o inadecuadamente espaciadas para confirmar la continuidad geológica y/o de ley pero con espaciamiento lo suficientemente cerca para asumir su continuidad. Las cuantificaciones globales tienen alto nivel de confianza pero las locales son razonables.

6.3 Recurso Mineral Inferido

Son los recursos que tienen un bajo nivel de confianza. Para obtener este resultado se utiliza una distancia media entre los bloques de cubicación y las muestras utilizadas para estimar la ley media del bloque, de hasta el 100% del alcance medido en el modelo del variograma aproximadamente. En términos prácticos este tipo de recurso normalmente se encuentra definido por sondajes, muestreo de afloramientos, trincheras y una interpretación geológica que muestra una continuidad de las estructuras mineralizadas, labores mineras y taladros pero de calidad y confiabilidad limitada o incierta. Se debe excluir el material que tiene datos insuficientes y que puede interferir en la continuidad geológica o de ley.

Los Informes Públicos que tratan sobre Recursos Minerales y/o Reservas Minerales, basados en el código JORC, deben usar los términos que se indican en la figura 55.

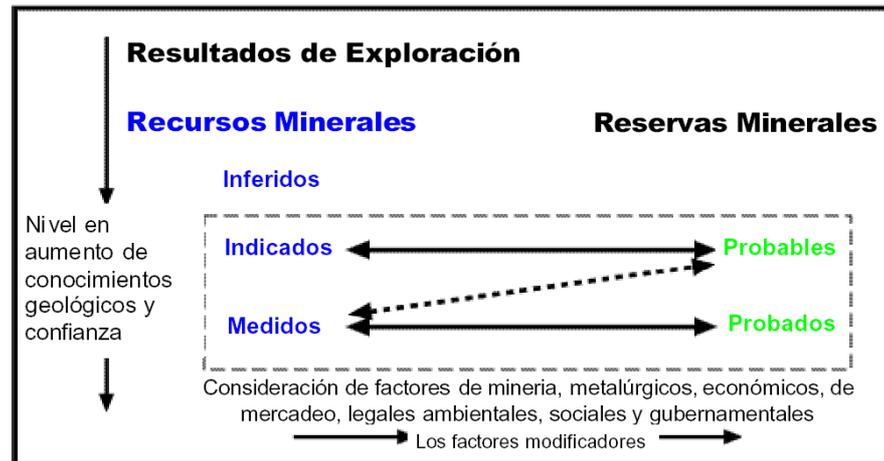


Figura 53. Clasificación de recursos y reservas JORC

En la figura 54 se observa la Categorización de Recursos Minerales en Mina Condestable, para la Veta Estrella. Los recursos medidos están representados por el color magenta y los recursos indicados por el color amarillo. No se han encontrado recursos inferidos en la Veta Estrella

La categorización ha sido calculada en base al alcance del variograma, cantidad de muestras y la distancia entre las mismas. Se ha considerado 24 m para Recursos Medidos y 50 m para Recursos Indicados, el número de muestras para estos son 2 y 1 respectivamente.

La categorización realizada por el método de interpolación ID2 guarda relación con una categorización tradicional, porque cuando existe mineral entre dos galerías (niveles) el recurso es considerado como

medido. Para el caso de los sondajes en la parte profunda, debido a la distancia cercana entre dos de ellos, se ha categorizado recursos medidos, sin embargo, para un solo impacto se ha categorizado recursos indicados y también guarda relación con la aplicación en Mina Condestable.

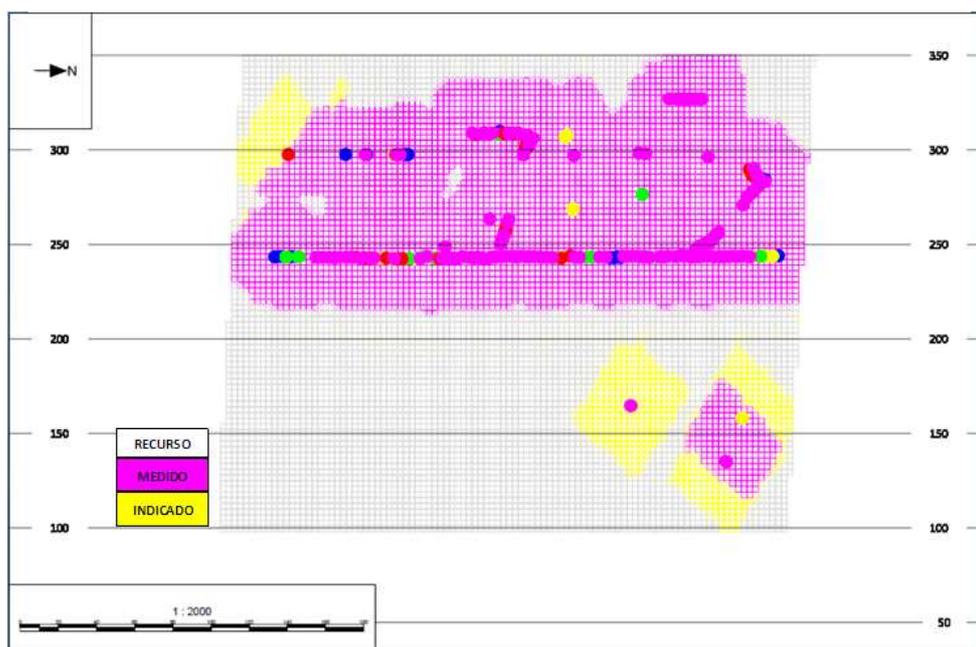


Figura 54: Categorización de Recursos Minerales en la Veta Estrella

CONCLUSIONES

El yacimiento Condestable es un depósito tipo IOCG, presenta una fuerte alteración sódico-cálcica (albita-escapolita-actinolita), mineralización controlada por vetas y mantos.

La estimación de recursos de una estructura y/o yacimiento es importante porque permite realizar estudios de factibilidad, diseño de explotación, planificación a corto, mediano y largo plazo, control de leyes para una mejor selección entre mineral y estéril.

El QA/QC es importante porque corrige durante el proceso de la operación, errores que se pueden encontrar durante el muestreo y análisis de las muestras.

Para realizar un modelamiento geoeconómico se debe tener el modelo litológico debidamente interpretado.

El variograma permite conocer hasta que distancia los datos son significativos, y también conocer la anisotropía de la estructura mineralizada.

Para obtener un buen estudio variográfico es necesario tener una cantidad mínima de datos.

El método de interpolación, Inverso de la Distancia, es muy útil para estimaciones locales, sin embargo no considera la correlación espacial de la mineralización. Este método es utilizado cuando hay datos insuficientes para aplicar un método de Kriging.

La Categorización de Recursos Minerales realizada por el método de Interpolación de la Distancia (2) es el más adecuado en Mina Condestable para esta estructura mineralizada.

RECOMENDACIONES

Realizar un análisis exploratorio de datos al detalle, es muy importante porque permite encontrar y corregir errores antes de seguir con el proceso de interpolación y estimación.

Poner en aplicación desde el primer día de un proyecto, un programa efectivo de QA/QC.

Realizar programas de perforación diamantina en zona de bajo nivel de confianza (debajo del Nv 235).

Realizar un remuestreo en las galerías que no se han muestreado para obtener una mejor representatividad de la interpolación.

Realizar normalización de datos para futuras estimaciones que consideren mayor cantidad de datos.

BIBLIOGRAFIA

1. Cobbing E. J., Taylor W. P. (1977) Segment and Super Units in the Coastal Batholith of Peru, *Journ Geol* 85 p 625-631.
2. De Haller, A. (2006) The Raul-Condestable Iron Oxide Copper-gold Deposit, Central Coast of Perú, *Terre Environnement*, Université de Genève, n 58, p 123.
3. Espinoza Jhon (2009): Curso de Titulación UNI – 2009: Módulo de Exploración y Evaluación de Yacimientos Minerales.
4. Exploandes: S.R.L. (2006): Geología del Distrito Minero Raúl – Condestable.
5. Gonzales Miranda, J. (2000) Alteración supergénica en el yacimiento Raúl-Condestable, *Sociedad Geológica del Perú*, tomo 3. p. 1008-1030.
6. INGEMMET: Cuadrángulo Hoja 26 j – Mala.
7. Mintec INC (1999): *Geoestatics Mine Sight*. Mayo 1999.

8. Terrones, José (2006): Curso de Geoestadística Minera Aplicada. Cía. Minera Ares / GEOVAL PERU SAC.
9. Universidad de Chile (2006): Curso Evaluación Geoestadística de Yacimientos.
10. Xavier Emery (200): Geoestadística Lineal. Universidad de Chile – Ingeniería Civil de Minas – Departamento de Ingeniería de Minas.

GLOSARIO

Análisis Exploratorio de Datos: El objetivo es observar cómo se encuentra la distribución de las leyes en el depósito, mediante el cálculo de los parámetros estadísticos. La distribución de las leyes se observa mediante histogramas, ploteo probabilístico, box plots, entre los principales, y entre los parámetros estadísticos principales se tiene el número de datos, la media, mediana, máximo valor, mínimo valor, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.

Análisis Variográfico: El objetivo es observar el efecto nugget, la orientación y dirección de la anisotropía, y los alcances del elipsoide para la interpolación.

Categorización de Recursos y Reservas: Es el nivel de conocimiento y de confianza en las estimaciones que aumenta con la exploración del depósito. Para el reporte de recursos y reservas, se suele definir las categorías de los recursos minerales, que a su vez se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en categorías de inferidos, indicados y medidos. Las reservas mineras se subdividen, en orden creciente de confianza, en reservas probables y reservas probadas.

Coefficiente de variación: Indica la proporción entre la media y la desviación estándar, eliminando la dimensionalidad de las variables.

$$CV = \frac{S_x}{\bar{x}}$$

Continuidad: Este concepto se refiere a la distribución de un atributo en el espacio, se tiene la continuidad geológica y la continuidad de leyes. Ambos tipos de continuidad no siempre se dan en forma simultánea.

Compósitos: Un mismo conjunto de datos no debe contener muestras de soporte distinto. Por ende, es necesario llevar las muestras a compósitos de la misma longitud (generalmente, igual a la altura del bloque de selección minera o a un sub-múltiplo de esta altura) que puedan agruparse en el estudio estadístico. Mientras más largo el compósito, menos dispersos y menos erráticos los valores.

Compósito acotado: Son muestras compositadas que se le han asignado el valor donde las muestras se distribuyen aisladamente, y se pueden identificar mediante gráficos estadísticos.

Correlograma: Es una función decreciente de la distancia; tiende a cero cuando ésta se vuelve muy grande. Es muy útil porque no considera los valores altos en sus resultados.

Desviación Estándar: Se define como la raíz cuadrada positiva de la varianza.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - m)^2} \quad \text{para la población}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad \text{para la muestra}$$

Dilución: Se refiere al hecho de mezclar (no separar) el mineral con material estéril. Puede deberse a factores como; dilución interna, geométrica: debido al contacto entre mineral y estéril inherente (selectividad debida al tamaño de bloque), dilución externa o de operación.

Efecto pepa: Es la discontinuidad aparente que se observa cerca del origen del variograma, este efecto puede deberse a la presencia de microestructuras y artificialmente se pueden generar por errores en el muestreo (toma de muestras, preparación, manipulación y análisis de leyes).

Estadística: Analiza la data para interpretarla y mostrar los resultados, comprende conceptos de probabilidad y estadística inferencial. Ayuda a elegir la opción que indique el mínimo margen de error.

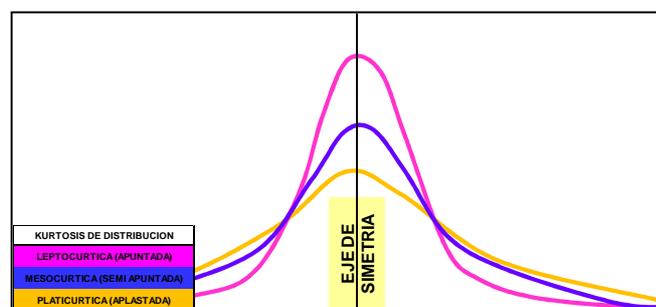
Geoestadística: Es una rama de la estadística que se relaciona con el contexto geológico y la relación espacial de los datos.

Histograma: Gráfico de barras cuyas bases representan los rangos de clase y la altura las frecuencias absolutas.

Identificación y acotamiento de outliers: El objetivo es observar cómo están distribuidos los valores erráticos (outliers) en el área de interpolación. Los valores altos son acotados al mayor valor que se observe en la continuidad de la curva de probabilidad.

Interpolación Lineal: Es una combinación lineal de datos para hallar un valor estimado de la ley.

Kurtosis: Se refiere al grado de apuntamiento de la distribución de frecuencias. Cuando es muy apuntada, se dice que es leptocúrtica, y si es muy aplastada, se dice que es platicúrtica. Un grado intermedio entre estos dos grados de apuntamiento es la distribución mesocúrtica.



Ley: Es la concentración de un elemento en el subsuelo (elemento principal, subproducto, contaminante).

Ley de Corte: Se trata de un valor de ley que separa categorías distintas de material, por ejemplo mineral y estéril.

Máximo Valor: Es el valor máximo de la serie de datos.

Media: Es el valor medio ponderado de una serie de datos.

$$m = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

Mediana: Es el valor que se ubica en el centro de la serie de datos, es decir, 50% son valores inferiores y el otro 50% son valores superiores. Para que esto se cumpla los datos tienen que estar ordenados ascendentemente.

Mineral: Es el material que tiene un interés económico, depende de factores; temporales (precio del metal, tecnología, etc.), legales (normas de seguridad, ambientales, etc.), ubicación (infraestructura disponible), tasa de descuento entre otros.

Mínimo Valor: Es el valor mínimo de la serie de datos.

Modelo de Bloques: Son celdas en las cuales se representa la interpolación de las leyes de los compósitos, sus dimensiones esta en base al tamaño de compósitos, banco y/o método de explotación.

Muestra: Es un subconjunto de datos que es parte de una población.

Número de Datos: Es la cantidad de datos que se analizan para calcular un parámetro estadístico.

Parámetros de Interpolación: los parámetros de interpolación son obtenidos a partir del variograma e incluye los ángulos de rotación de la anisotropía, los alcances de la elipsoide, así mismo también es necesario, el número mínimo y máximo de compósitos por taladro y block.

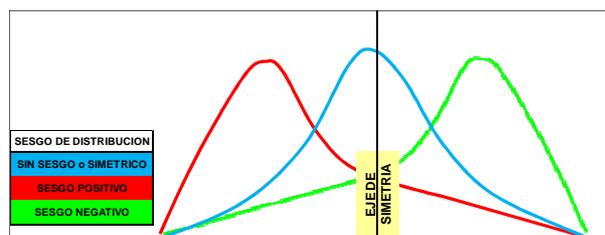
Población: Conjunto de datos que cumplen ciertas propiedades comunes.

Potencia: Longitud medida perpendicular a la estructura, ya sea mineralizada o no.

Ploteo Probabilístico: También llamado como Gráfico de Curvas de Probabilidad, compara una distribución empírica con una distribución de referencia normal o log normal. Se utiliza para observar valores erráticos (outliers) e identifica poblaciones.

Recurso Geológico: Concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la Tierra en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica. Se habla indistintamente de recursos geológicos, minerales o in situ.

Sesgo: Una distribución presenta sesgo cuando los datos se distribuyen en forma desigual en los extremos de la distribución. Cuando hay muchos datos con valores bajos y pocos datos con valores altos la distribución presenta sesgo positivo, caso contrario, cuando se tiene muchos datos con altos y pocos datos con valores bajos la distribución presenta sesgo negativo.



Swath Plot: Son gráficos que sirven para observar la relación entre 2 o más métodos de interpolación de leyes y se realizan a lo largo de los ejes X, Y y Z del plano de la estructura mineralizada.

Varianza: Mide la distancia que hay entre los valores de la serie respecto a la media. Se calcula como sumatoria de las diferencias al cuadrado entre cada valor y la media, multiplicadas por el número de veces que se ha

repetido cada valor. La sumatoria obtenida se divide por el tamaño de la muestra.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - m)^2 \quad \text{para la población}$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad \text{para la muestra}$$

Variograma: Se define como el promedio del cuadrado de la diferencia de valores separados aproximadamente por una distancia (h). El variograma cuantifica la correlación espacial.

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2 |\mathbf{N}(\mathbf{h})|} \sum_{\mathbf{N}(\mathbf{h})} [z(\mathbf{x}_\alpha) - z(\mathbf{x}_\beta)]^2$$

Variograma Multidireccional: Se calcula en diferentes direcciones y orientaciones, con la finalidad de observar la anisotropía del depósito.

Vecino más Cercano (Nearest Neighbor - NN): También conocido como Método Poligonal se construye manualmente formando polígonos con las trazas de las mediatrices entre los taladros.

Yacimiento IOCG: Son depósitos de Oxidos de Hierro, Cobre y Oro (Iron Oxide Copper Gold) de origen magmático – hidrotermal que contienen metales económicos de Cu + Au, están relacionados con plutones dioríticos oxidados y sistemas de falla. El rango de edad es desde el Proterozoico hasta el Plioceno. La mineralización se presenta en forma de vetas, brechas hidrotermales, mantos de reemplazo, skarn cálcicos, disseminaciones y combinaciones. Las alteraciones presentes son: sódica, cálcica y potásica. La mineralogía consiste de abundantes óxidos de Fe y escasos sulfuros de Fe, los fluidos mineralizantes son acuosos salinos, oxidados y pobres en azufre, y están a una temperatura de 250°C. La profundidad de emplazamiento de la mineralización es de 4 Km a 6 Km hasta la superficie.