

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA MINERA Y METALÚRGICA**



**“METODOLOGIA DE ESTIMACION DE RECURSOS  
MINERALES, PROSPECTO SHAHUINDO,  
CAJAMARCA-PERU”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**ELABORADO POR:  
JESSICA LIZ YNOCENTE CASTILLEJO**

**ASESOR  
Ing. JORGE HUMBERTO PAREDES ANGELES**

**Lima - Perú**

**2014**

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

A mi esposo Jorge, compañero incondicional en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

El informe realizado es producto del apoyo recibido por la Universidad Nacional de Ingeniería, en las personas del Ing. Rolando Carrascal, Ing. Jorge Paredes y Ing. Cesar Mendoza y los colegas del Área de Geología de las empresas Compañía Mauricio Hochschild Mining PLC, Compañía Minera Condestable, Consorcio Minero Horizonte y Compañía Minera Milpo .

Así mismo agradezco al Ing. Abel Puerta, Ing. José Luis Silva e Ing. Jorge Hinostroza por las enseñanzas, gran parte de este informe no hubiera sido posible sin el conocimiento compartido por ellos.

Agradecimiento también a los Ingenieros Jorge Paredes, Alfonso Huamán y Atilio Mendoza por el gentil asesoramiento en el desarrollo del presente informe.

## **RESUMEN**

El proyecto Shahuindo se ubica en el norte de Perú, en la provincia de Cajabamba, a unos 80 kilómetros al sur de Cajamarca y a 15 kilómetros al oeste de la ciudad de Cajabamba. Geológicamente se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, dentro de una faja regional plegada de rocas sedimentarias que comprenden formaciones continentales y marinas del grupo inferior Goyllarisquizga del Cretácico con menor presencia de sedimentos de la formación Chicama del Jurásico superior, y de las rocas intrusivas como granitos, dioritas y pórfido cuarzo – feldespato que se les considera emplazados en la parte tardía del Terciario temprano o comienzos del Terciario medio.

La mineralización es de Au y Ag y corresponde a estructuras brechadas, controladas principalmente por contactos litológicos y estructurales, la misma que sigue un alineamiento de azimut y buzamiento promedio  $300^\circ$  y  $-85^\circ$  SE con una continuidad de comportamiento irregular en 1000 m en la horizontal, 250 m en la vertical y potencia media de 20 m.

Para la estimación de recursos de la estructura mineralizada, se ha utilizado la información obtenida de campo e información digital, que ha sido almacenada en un sistema de base de datos. Los datos utilizados para la estimación están compuestos por 29 sondajes diamantinos y fueron procesados en el software Minesight.

Con la presente investigación, se plantea establecer una metodología matemática, soportada por criterios geológicos, para la Estimación de Recursos de una estructura Mineralizada de Au y Ag, utilizando para ello un análisis estadístico y geoestadístico que nos ayude a elegir el método de estimación más adecuado para categorizar los recursos de un cuerpo mineralizado.

Posteriormente los resultados del análisis estadístico y geoestadístico son mostrados en un modelo de bloques, y validados utilizando criterios geológicos y técnicas matemáticas; para finalmente reportar el tonelaje, ley de los recursos minerales indicados e inferidos, distribuidos a lo largo de la estructura mineralizada de Au y Ag.

Solo se evaluó el elemento Au debido a que los valores de Ag correspondiente a cada tramo de muestreo en su mayoría eran ausentes, no siendo suficientes para su estimación.

Los resultados de la Estimación de Recursos Minerales en la zona de estudio, contiene un total de 13'819,751 t @ 0.81ppm de Au (10'182,708 t @ 0.83 ppm de Recursos Indicado y 3'637,043 t @ 0.77ppm de Recursos Inferido); teniendo una mayor concentración de mineral en la litología limolítica en la zona de oxidación, con un total de 4'076,139 t @0.88ppm de Au.

No se tiene una base de datos para QAQC debido a que hasta ese momento no se muestreaba para validación de QAQC, pero se tiene una referencia que se hizo en un estudio de QAQC en Resources Estimation Shahuindo Project, Perú 2005 efectuado por por Sulliden Exploration, mostrándose la recopilación de diferentes fuentes, confirmando la validación por los Laboratorios ALS-Chemex y ACT Lab.

## **ABSTRACT**

The Shahuindo project is located in northern Peru, in the province of Cajabamba, about 80 kilometers south of Cajamarca and 15 kilometers west of the city of Cajabamba. Geologically it is in the Western Cordillera of the Peruvian Andes, within a regional folded belt of sedimentary rocks comprising continental and marine formations of the lower group Goyllarisquizga Cretaceous sediments with minor presence of Upper Jurassic Chicama formation, and rocks intrusive as granite, diorite porphyry and quartz - feldspar are seen stationed in the late part of the early Tertiary or early middle Tertiary.

Mineralization of Au and Ag and up to brecciate structures, mainly controlled by lithologic and structural contacts , the same as follows alignment average dip azimuth and  $-85^{\circ}$  to  $300^{\circ}$  and with a continuity SE irregular behavior at 1000 m horizontal, 250 m in the vertical and average power of 20 m .

For resource estimate of the mineralized structure, has used information obtained from field and digital information that has been stored in a database system. The data used for estimation are composed of diamond drilling and 29 were processed in Minesight software.

With this research, we propose to establish a mathematical methodology, supported by geological criteria for Resource Estimation of Mineralized structure of

Au and Ag, using statistical and geostatistical analysis to help us choose the most appropriate method of estimation to categorize the resources of an ore body.

Relying on the Application of MINITAB for validation ; This study tools like MSCompass MSDA and the chosen software ( MINESIGHT ) for Statistics and geostatistical calculations were used.

Subsequently the results of statistical and geostatistical analysis are shown in a block model, and validated using geological criteria and mathematical techniques, to finally report the tonnage, grade of indicated mineral resources and inferred distributed along the mineralized structure Au and Ag.

Only because Au element values corresponding to each block of mostly Ag sampling were absent was evaluated, not being sufficient for its estimation.

The results of the estimation of Mineral Resources in the study area contains a total of 13'819 , 751 t@0.81ppm Au ( 10'182 , 708 ppm t@0.83 Indicated Resource and 3'637 , 043 t@0.77ppm Inferred Resource ) , having a higher concentration of mineral in the limolítica lithology in the oxidation zone , with a total of 4'076 , 139 Au t@0.88ppm.

Do not have a database for QAQC because so far not muestreaba QAQC for validation, but it has a reference made in a studio in QAQC Shahuindo Resources Estimation Project, Peru for 2005 made by Sulliden Exploration, showing the collection of different sources, confirming the validation by ALS- Chemex Labs and Lab ACT

## INDICE

CAPITULO I.....	19
GENERALIDADES .....	19
1.1.    Introducción .....	20
1.2.    Ubicación, Acceso y Clima .....	21
1.3.    Objetivos .....	24
1.4.    Metodología del Estudio .....	24
1.4.1.    Descripción Metodológica.....	24
CAPITULO II.....	28
GEOLOGIA DEL YACIMIENTO.....	28
2.1.    Geomorfología.....	28
2.1.1.    Superficies de Erosión.....	28
2.1.2.    Drenaje.....	31
2.1.3.    Áreas de Glaciación.....	33
2.2.    Geología Regional.....	35
2.2.1.    Generalidades.....	35
2.2.2.    Estratigrafía y Litología.....	38
2.2.3.    Rocas Intrusivas.....	49
2.3.    Tectónica y Orogénesis.....	52
2.3.1.    Rasgos Estructurales.....	52
2.3.2.    Evolución Tectónica.....	62
2.4.    Geología Local .....	66
2.4.1.    Generalidades.....	66
2.4.2.    Litología .....	68
2.5.    Yacimiento.....	70
2.5.1.    Alteración.....	70
2.5.2.    Mineralización .....	72
2.5.1.    Controles de Mineralización .....	73
2.5.2.    Génesis del Yacimiento.....	75
CAPITULO III.....	79
MODELAMIENTO GEOLÓGICO .....	79



3.1.	Introducción .....	79
3.2.	Creación de Proyecto de MineSight .....	81
3.3.	Metodología.....	84
3.3.1.	Modelamiento del Cuerpo Mineral.....	84
3.3.2.	Modelo Litológico: .....	84
3.3.3.	Modelo Mena: .....	85
3.4.	Modelamiento Obtenido y sus Ventajas Comparativas con otros Métodos	85
CAPITULO IV.....		88
ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD (QA/QC) EN LA ETAPA DE MUESTREO.....		88
4.1.	Remuestreo .....	89
4.2.	Duplicado Grueso.....	89
4.3.	Duplicado Fino.....	89
4.4.	Blanco .....	89
4.5.	Estándar .....	90
4.6.	Aseguramiento y Control de Calidad en el Proyecto Shahuindo 2005	90
CAPITULO V.....		93
ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS .....		93
5.1.	Distribución Espacial .....	93
5.1.1.	Medidas Estadísticas.....	96
5.1.2.	Gráficos Estadísticos .....	105
5.2.	Asignación de Ley CERO (0).....	115
5.3.	Estudio del Tamaño de Regularización (Compósito).....	115
5.3.1.	Metodología.....	116
5.3.2.	Medidas Estadísticos.....	118
5.3.3.	Gráficos Estadísticos .....	124
5.3.4.	Análisis de los Valores Extremos .....	141
CAPITULO VI.....		144
ANÁLISIS ESTRUCTURAL GEOESTADÍSTICO.....		144
6.1.	Variograma Experimental .....	144

6.1.1.	Correlograma .....	145
6.2.	Modelamiento del Variograma.....	145
6.2.1.	Downhole Variogram (Variograma en el Taladro): .....	145
6.2.2.	Variograma .....	148
CAPITULO VII.....		153
PLAN DE ESTIMACION DE LEYES .....		153
7.1.	Dimensión del Modelo de Bloques .....	153
7.2.	Análisis del Número de Regularización (Compósitos).....	154
7.3.	Restricción de los Valores Extremos .....	154
7.4.	Definición del Método de Interpolación.....	156
CAPITULO VIII.....		157
VALIDACIÓN DE LA ESTIMACION DE LEYES .....		157
8.1.	Inspección Visual.....	157
8.2.	Validación Global.....	159
8.3.	Validación Local .....	161
8.4.	Validación usando Métodos de Estimación Geométricos:.....	163
8.4.1.	Método de los Polígonos.....	163
8.4.2.	Método del Inverso de la Distancia .....	164
CAPITULO IX.....		166
CLASIFICACION DE RECURSOS MINERALES.....		166
9.1.	Importancia.....	166
9.1.1.	Métodos y cálculos para el modelado de Recursos Minerales .....	167
9.1.2.	Criterios de Clasificación.....	167
9.2.	Parámetros de la Estimación.....	167
9.3.	Criterios de la Clasificación .....	169
9.4.	Clasificación .....	170
9.4.1.	Recurso Mineral Medido .....	170
9.4.2.	Recurso Mineral Indicado .....	171
9.4.3.	Recurso Mineral Inferido .....	171
CAPITULO X.....		172
RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....		172
10.1.	Resultado de Recursos Indicados e Inferido Total .....	172

10.2.	Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Mena .....	173
10.3.	Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Litología .....	174
10.4.	Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Litología-Mena 176	
	CONCLUSIONES .....	180
	RECOMENDACIONES.....	182
	BIBLIOGRAFIA.....	183
	GLOSARIO .....	184
	ANEXO .....	196

## ABREVIATURA MÁS USUAL

<b>mm:</b>	Milímetro
<b>cm:</b>	Centímetro
<b>m:</b>	metro
<b>km:</b>	Kilómetro
<b>t:</b>	: Tonelada métrica (seco)
<b>°C:</b>	: Grados centígrados (temperatura)
<b>...°...´:</b>	: Grados, minutos (ángulo)
<b>ppm</b>	
<b>:</b>	partes por millón
<b>\$:</b>	Dólar de EE.UU.
<b>%</b>	Porcentaje

## NOMENCLATURA MÁS USUAL

<b>Ti-h</b>	Fm. Huaylas
<b>Ki-ca</b>	Fm. Carhuaz
<b>Ki-f</b>	Fm. Ferrat
<b>Ki-in</b>	Fm. Inca
<b>Ki-chu</b>	Fm. Chuec
<b>Ti-vca</b>	Fm. Calipuy
<b>Ki-sa</b>	Fm. Santa
<b>Ki-chim</b>	Fm. Chimu
<b>Js-chic</b>	Fm. Chicama
<b>HS</b>	Alta Sulfuración
<b>IS</b>	Intermedia Sulfuración
<b>LS</b>	Baja Sulfuración
<b>MS</b>	MineSight
<b>Sha</b>	Shahuindo
<b>EDA</b>	Analisis Exploratorio de datos
<b>AUPPM</b>	Porcentaje por millon de Au
<b>CPO</b>	Codigo de Cuerpo mineralizado
<b>MENA</b>	Codigo de Mena Interpretata
<b>AU0</b>	Porcentaje de Au para tramos con y sin Ley
<b>AG0</b>	Porcentaje de Ag para tramos con y sin Ley
<b>LITO</b>	Codigo de Litología Interpretada
<b>LIMEI</b>	Codigo de agrupamiento Litología - Mena Interpretado
<b>AUC</b>	Porcentaje de AU Compositado a 2.0 m
<b>CPOC</b>	Codigo de Cuerpo Mineralizado Compositado
<b>LITOC</b>	Codigo de Litología Interpretada Compositado
<b>MENAC</b>	Codigo de Mena Interpretata Compositado
<b>LIMEC</b>	Codigo de agrupamiento Litología - Mena Compositado
<b>CAT2</b>	Codifica taladros para categorizar
<b>AUID</b>	Au Calculado por Inverso de la distancia
<b>AUNN</b>	Au Calculado por Vecino mas Cercano
<b>CPO</b>	Codigo Cuerpo Mineralizado en el modelo
<b>CATEG</b>	Codigo de Categorizacions de Recursos Matemática
<b>CATGE</b>	Codigo de Categorizacions de Recursos Geológicos
<b>MENA</b>	Codigo de Mena Interpretata en el modelo
<b>LITO</b>	Codigo de Litología Interpretada en el modelo
<b>LIME</b>	Codigo de agrupamiento Litología - Mena en el modelo
<b>MECAT</b>	Codifica Modelo para reportar por Mena en el modelo
<b>LITCAT</b>	Codifica Modelo para reportar por Litología en el modelo
<b>LMCAT</b>	Codifica Modelo para reportar por dominio Litología - Mena en el modelo

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa del Localización del Proyecto Shahuindo	23
Figura 1.2 Flujograma del Proceso de Categorización de Recursos Minerales	25
Figura 1.3 Software y hardware utilizado en el informe	27
Figura 2.1 Unidades Geomorfológicas	29
Figura 2.2 Sistema hidrográfico	34
Figura 2.3 Geología Regional del Proyecto Shahuindo	36
Figura 2.4 Columna Estratigráfica del proyecto Shahuindo (INGEMMET-Boletín N°10 Serie B-Compendio Minerales del Perú)	38
Figura 2.5 Fotografía de Discordancia angular	53
Figura 2.6 Anticlinal de Algamarca	54
Figura 2.7 Evolución Esquemática del Ciclo Andino	67
Figura 2.8 Geología Local del Proyecto Shahuindo	71
Figura 2.9 Distribución del Au en el Proyecto Shahuindo-Minesight	73
Figura 2.10 Fotografía de la Geología del Proyecto Shahuindo.	74
Figura 2.11 Diagrama de Epitermal (Hedenquist, 2000)	78
Figura 3.1 Modelamiento Litológico	86
Figura 3.2 Modelamiento de Alteración Oxido, Mixto y sulfuro	86
Figura 3.3 Modelamiento de los Cuerpos Mineralizados 05 y 06	87
Figura 4.1 2004 Au Pulp Check ALS vs ACT Lab	92
Figura 5.1 Vista en Planta de la Distribución de los Sondajes	94
Figura 5.2 Vista 3D de la Distribución de Sondajes	94
Figura 5.3 Sección Transversal Cuerpo Mineralizado	95
Figura 5.4 Histograma del Cuerpo Mineralizado 05	106
Figura 5.5 Histograma del Cuerpo Mineralizado 06	106
Figura 5.6: Histograma Litología Pórfido	107
Figura 5.7 Histograma Litología Lutita	107
Figura 5.8 Histograma Litología Limolita	107
Figura 5.9 Histograma Litología Arenisca	108
Figura 5.10 Histograma Mena Oxido	108
Figura 5.11 Histograma Mena Mixto	108
Figura 5.12 Histograma Mena Sulfuro	109
Figura 5.13 Grafico de curvas de probabilidad del cuerpo mineralizado 05	110
Figura 5.14 Grafico de curvas de probabilidad del Cuerpo mineralizado 06	110
Figura 5.15 Grafico de curvas de probabilidad de Litología Pórfido	111
Figura 5.16 Grafico de curvas de probabilidad de Litología Lutita	111
Figura 5.17 Grafico de curvas de probabilidad de Litología Limolita	112
Figura 5.18 Grafico de curvas de probabilidad de Litología Arenisca	112
Figura 5.19 Grafico de curvas de probabilidad de Mena Oxido	113
Figura 5.20 Grafico de curvas de probabilidad de Mena Mixto	113
Figura 5.21 Grafico de curvas de probabilidad de Mena Sulfuro	114
Figura 5.22 Variación C.V. vs Long de Regularización (Compósito)	117

Figura 5.23 Variación Media vs Long de Regularización (Compósito)	117
Figura 5.24 Histograma de la Longitud de Muestreo	118
Figura 5.25 Histograma de regularización (compósito) del Cuerpo Mineralizado 05	125
Figura 5.26 Histograma de regularización (compósito) del Cuerpo Mineralizado 06	125
Figura 5.27 Histograma de regularización (compósito) de Litología Pórfido	126
Figura 5.28 Histograma de regularización (compósito) de Litología Lutita	126
Figura 5.29 Histograma de regularización (compósito) de Litología Limolita	126
Figura 5.30 Histograma de regularización (compósito) Mena Oxido	127
Figura 5.31 Histograma de regularización (compósito) Mena Mixto	127
Figura 5.32 Histograma de regularización (compósito) Mena Sulfuro	127
Figura 5.33 Grafico de Curva de Probabilidad del Cuerpo Mineralizado 05	129
Figura 5.34 Grafico de Curva de Probabilidad del Cuerpo Mineralizado 06	129
Figura 5.35 Grafico de Curva de Probabilidad de Litología Pórfido Regularizado (Compositada)	130
Figura 5.36 Grafico de Curva de Probabilidad de Litología Lutita Regularizado (Compositada)	130
Figura 5.37 Grafico de Curva de Probabilidad de Litología Limolita Regularizado (Compositada)	131
Figura 5.38 Grafico de Curva de Probabilidad de Mena Oxido Regularizado (Compositada)	131
Figura 5.39 Grafico de Curva de Probabilidad de Mena Mixto Regularizado (Compositada)	132
Figura 5.40 Grafico de Curva de Probabilidad de Mena Sulfuro Regularizado (Compositada)	132
Figura 5.41 Diagrama de caja (BoxPlot)-Cuerpos Mineralizados	135
Figura 5.42 Diagrama de caja (BoxPlot)-Cuerpos Mineralizado- Altos Erráticos	136
Figura 5.43 Diagrama de caja (BoxPlot)-Litología	137
Figura 5.44 Diagrama de caja (BoxPlot)-Litología- Altos Erráticos	138
Figura 5.45 Diagrama de caja (BoxPlot)-Mena	139
Figura 5.46 Diagrama de caja (BoxPlot)-Mena- Altos Erráticos	140
Figura 5.47 Altos Erráticos de ítem LIMEC	142
Figura 6.1 Downhole Variogram del Dominio MENAC01	146
Figura 6.2 Downhole Variogram del Dominio MENAC02	146
Figura 6.3 Downhole Variogram del Dominio MENAC03	147
Figura 6.4 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 0.0	148
Figura 6.5 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 90.0	148
Figura 6.6 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 90.90	149
Figura 6.7 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 0.0	149
Figura 6.8 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 90.0	150
Figura 6.9 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 90.90	150
Figura 6.10 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 0.0	151
Figura 6.11 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 90.0	151

Figura 6.12 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 90.90	152
Figura 7.1 Modelo de Bloques en 3D del Cuerpo Mineralizado	154
Figura 7.2 Interpolación de Leyes de los Cuerpos Mineralizados	156
Figura 8.1 Vista Sección Transversal 01	158
Figura 8.2 Vista Sección Transversal 02	158
Figura 8.3 Curva Tonelaje vs Ley	160
Figura 8.4 Swath Plot Eje X	161
Figura 8.5 Swath Plot Eje Y	162
Figura 8.6 Swath Plot Eje Z	162
Figura 8.7 Método de los polígonos. Hay que calcular el área de 7 polígonos.	163
Figura 8.8 Método del inverso de la distancia a la potencia alfa. Hay que calcular las distancias entre los datos y el centro del bloque	164
Figura 9.1 Configuración de taladros para categorización de Recursos	168
Figura 9.2 Distribución de los Recursos Minerales	168
Figura 9.3 Clasificación del Mineral de Recursos y Reservas	170



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1 Archivos con extensión dat.....	81
Tabla 3.2 Proyecto y Modelo en MineSight .....	82
Tabla 3.3 File sha11.dat.....	82
Tabla 3.4 File sha09.dat.....	82
Tabla 3.5 File sha15.dat.....	83
Tabla 5.1 Tabla de Leyenda y Colores .....	95
Tabla 5.2 Estadística Básica de los Cuerpo mineralizado _ASSAY .....	96
Tabla 5.3 Estadística Básica Total- LITO_ASSAY .....	98
Tabla 5.4 Estadística Básica Total- LITOI_ASSAY .....	98
Tabla 5.5 Estadística Básica por Cuerpo-LITO_ASSAY .....	100
Tabla 5.6 Estadística Básica por Cuerpo-LITOI_ASSAY .....	100
Tabla 5.7 Estadística Básica por Total- MENA_ASSAY.....	101
Tabla 5.8 Estadística Básica por Total- MENAI_ASSAY.....	101
Tabla 5.9 Estadística Básica por Cuerpo- MENA_ASSAY.....	103
Tabla 5.10 Estadística Básica por Cuerpo- MENAI_ASSAY .....	103
Tabla 5.11 Estadística Básica por Cuerpo- LITOI_LITO_ASSAY .....	104
Tabla 5.12 Estadística Básica por Cuerpo- LIMEI_ASSAY.....	105
Tabla 5.13 Estadística para diferentes longitudes de regularización (compósito)....	116
Tabla 5.14 Estadística Básica por Cuerpo Mineralizado _COMP .....	118
Tabla 5.15 Estadística Básica por Cuerpo-LITOC_COMP .....	120
Tabla 5.16 Estadística Básica por Cuerpo-MENAC_COMP .....	122
Tabla 5.17 Estadística Básica por Cuerpo-LIMEC_COMP .....	124
Tabla 6.1 Parámetros del Downhole Variogram .....	145
Tabla 6.2 Nugget del Dominio MENAC .....	147
Tabla 6.3 Parámetros variográficos .....	152
Tabla 7.1 Número de regularización (Compositos) para Interpolación .....	154
Tabla 7.2 Altos Erráticos del ítem LIMEC .....	155
Tabla 8.1 Estadística Básica Comparativa .....	160
Tabla 9.1 Clasificación de Recursos Indicado.....	168
Tabla 9.1 Recursos Total Cuerpo.....	172
Tabla 9.2 Recursos Mena Oxido total Cuerpo .....	173
Tabla 9.3 Recursos Mena Mixto total Cuerpo .....	173
Tabla 9.4 Recursos Mena Sulfuro total Cuerpo .....	174
Tabla 9.5 Recursos Litología Pórfido total Cuerpo .....	174
Tabla 9.6 Recursos Litología Lutita total Cuerpo .....	175
Tabla 9.7 Recursos Litología Limolita total Cuerpo .....	175
Tabla 9.8 Recursos Pórfido-Oxido total Cuerpo .....	176
Tabla 9.9 Recursos Pórfido-Mixto total Cuerpo .....	176
Tabla 9.10 Recursos Pórfido-Sulfuro total Cuerpo .....	177
Tabla 9.11 Recursos Lutita-Oxido total Cuerpo .....	177
Tabla 9.12 Recursos Lutita-Mixto total Cuerpo .....	178

Tabla 9.13 Recursos Lutita-Sulfuro total Cuerpo .....	178
Tabla 9.14 Recursos Limolita-Oxido total Cuerpo .....	179
Tabla 9.15 Recursos Limolita-Mixto total Cuerpo .....	179

## **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. Introducción

El proyecto de exploración de Shahuindo se encuentra en el norte de Perú, en la provincia de Cajabamba, a unos 80 kilómetros al sur de Cajamarca y a 15 kilómetros al oeste de la ciudad de Cajabamba. El proyecto es propiedad de Sulliden Exploration Inc. (Sulliden) a través MINERA SULLIDEN SHAHUINDO S.A.C., su subsidiaria en Perú.

La mineralización de Au y Ag del proyecto Shahuindo fue descubierto en la década de 1980 por la Compañía Minera Algamarca S.A. Posteriormente, en el año 1994, Asarco LLC (Asarco) cesionó el proyecto Algamarca, y en 1996, transfirió el proyecto a una subsidiaria en Perú, Southern Perú Copper. (Southern Perú) empresa que dejó de trabajar en la propiedad tras la fusión de Asarco, creándose la empresa matriz Grupo México SAB, y el proyecto regreso a Algamarca en 1999.

Sulliden entró en una transferencia de contratos de los derechos mineros y Propiedades, denominado " Contrato de Transferencia de Propiedades Mineras " con Algamarca y Exploraciones Algamarca S.A. que cubren 26 concesiones mineras y 41 derechos de superficie, que se formalizó mediante escritura pública de fecha 11 de noviembre 2002. Sulliden acordó pagar a EE.UU. \$ 4'130,000 millones en cuotas crecientes cada seis meses durante un período de dos años que terminó en noviembre de 2004. Cada pago estaba sujeto a una tasa de interés del 5% por año.

A raíz de un cambio de gestión en Algamarca, una acción judicial emprendida contra Sulliden en marzo de 2003. Algamarca y entidades corporativas asociadas trasladaron posteriormente 13 de los derechos mineros en el 2003: ocho a Minera Pilacones S.A. (una empresa peruana) y cinco a Inversiones Mineras

Sudamericanas S.A. (una empresa de Panamá). En una segunda etapa relacionada en el 2003, los terceros también transfirieron e hipotecaron sus derechos mineros a dos empresas panameñas, Andina Minera Gold Inc. S.A. y Import & Export ACD.

La mayoría de las 41 concesiones fueron trasladadas también por Algamarca para Alta Tecnología e Inversión Minera y Metalúrgica S.A. (Atimmsa) por 30 escrituras públicas de fecha noviembre de 2003.

Un laudo arbitral que se dictó en el Perú el 19 de julio de 2006, declaró juzgada por la Junta Arbitral Sulliden-Algamarca el 30 de julio de 2009. Un Acuerdo de Convenio fue confirmado y formalizado mediante escritura pública el 27 de febrero de 2009 en Panamá, y aprobado el 27 de marzo 2009 por el Juez del 29 ° Circuito de Lima. Como resultado de la concesión y el acuerdo, todas las impugnaciones de Sulliden en relación con el Proyecto cesaron. Las transferencias de terceros y las hipotecas fueron revertidas por ambas partes en los contratos en virtud de escritura pública en Panamá y en Perú.

Como resultado de estos acuerdos de 2009, Sulliden ha sido confirmado para celebrar el 100 % del proyecto.

## **1.2. Ubicación, Acceso y Clima**

El proyecto se encuentra en el distrito de Cachachi, provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, Perú. Está situado a unos 80 kilómetros al sureste de la ciudad de Cajamarca, ya 15 kilómetros al oeste de la ciudad de Cajabamba (figura 1.1).

La propiedad está ubicada en el lado oeste del valle del Río Condebamba. El valle es amplio y la topografía es muy variable de rodadura laderas de quebradas

empinadas. A nivel local, la llanura de inundación del río es de varios cientos de metros de ancho. La actividad agrícola \*es muy predominante en el valle y cerca de 35.000 personas viven en la región. Cajabamba (población: 10.000) es la ciudad más grande de la zona.

La propiedad se encuentra a una altitud de 2.500 a 3.400 metros y en la latitud 7 ° 25 ' Sur, longitud 78 ° 25 ' Oeste (coordenadas UTM 9158000 - N y 807000 -E, Zona 17M, datum PSAD56).

El acceso a la propiedad es por carretera a 2 horas y media de Cajamarca a Cajabamba y 1 hora más de Cajabamba al proyecto. Este último tramo de carretera está en malas condiciones y a unos 8 km al este del campamento de exploración cruza el río Condebamba. Un camino alternativo también existe al norte y cruza el río a pocos kilómetros al norte de Cajabamba.

La zona del proyecto se caracteriza por una gran anticlinal bien expuesta. El anticlinal tiene un eje de plegamiento de rumbo noroeste que está cortado por una falla con tendencia al noreste exponiéndose la parte frontal de la estructura. La mineralización en el área del Proyecto Shahuindo también está relacionada con las fracturas, pliegues y fallas que están asociados con esta configuración estructural.

El clima en la propiedad se encuentra a una temperatura que varían del 10 al 28 ° C. La estación seca es de julio a septiembre. La época de lluvias es de enero a abril y la precipitación se produce en tres o cuatro días a la semana. El acceso por carretera a través del Río Condebamba a veces se ve afectada por las fuertes lluvias.

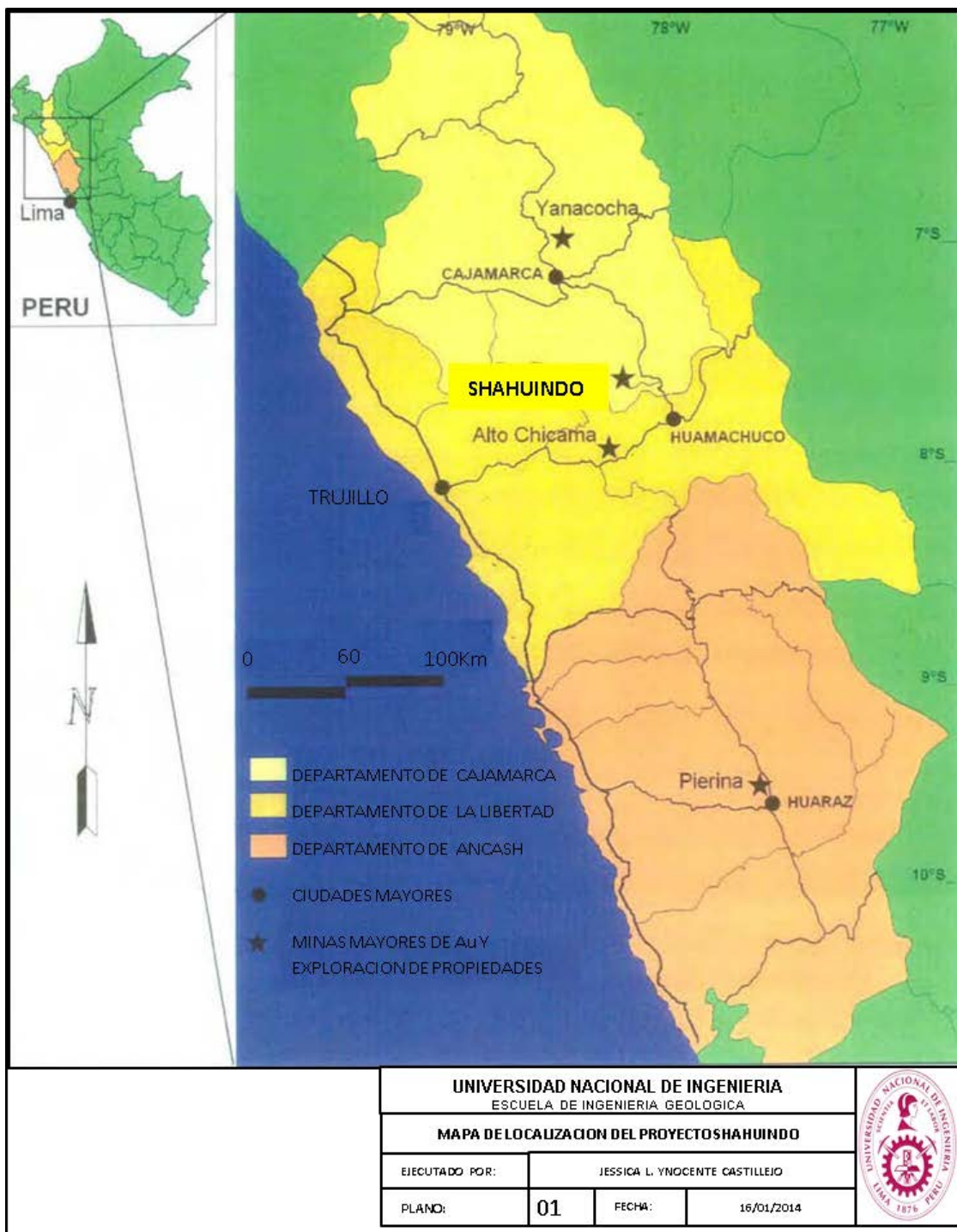


Figura 1.1 Mapa del Localización del Proyecto Shahuindo

### **1.3. Objetivos**

- Implementar una metodología de estimación de recursos minerales en el yacimiento Shahuindo.
- Obtener el título de Ingeniero Geólogo en la Universidad Nacional de Ingeniería.

### **1.4. Metodología del Estudio**

#### **1.4.1. Descripción Metodológica**

Para realizar la categorización de recursos minerales de los Cuerpos Mineralizado, se ha establecido un procedimiento que se muestra en la figura 1.2.

##### **1.4.1.1. 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 los Cuerpos Mineralizados.

- 29 Sondajes diamantinos (geología y leyes)
- Mapeo geológico Superficial.
- Topografía Superficial.

Con esta información se ha construido el modelo litológico, el modelo de alteración, el modelo de mineral, la categorización de recursos minerales. Los datos de leyes de los sondajes y los datos del cartografiado geológico y topográfico fueron oportunamente validados.



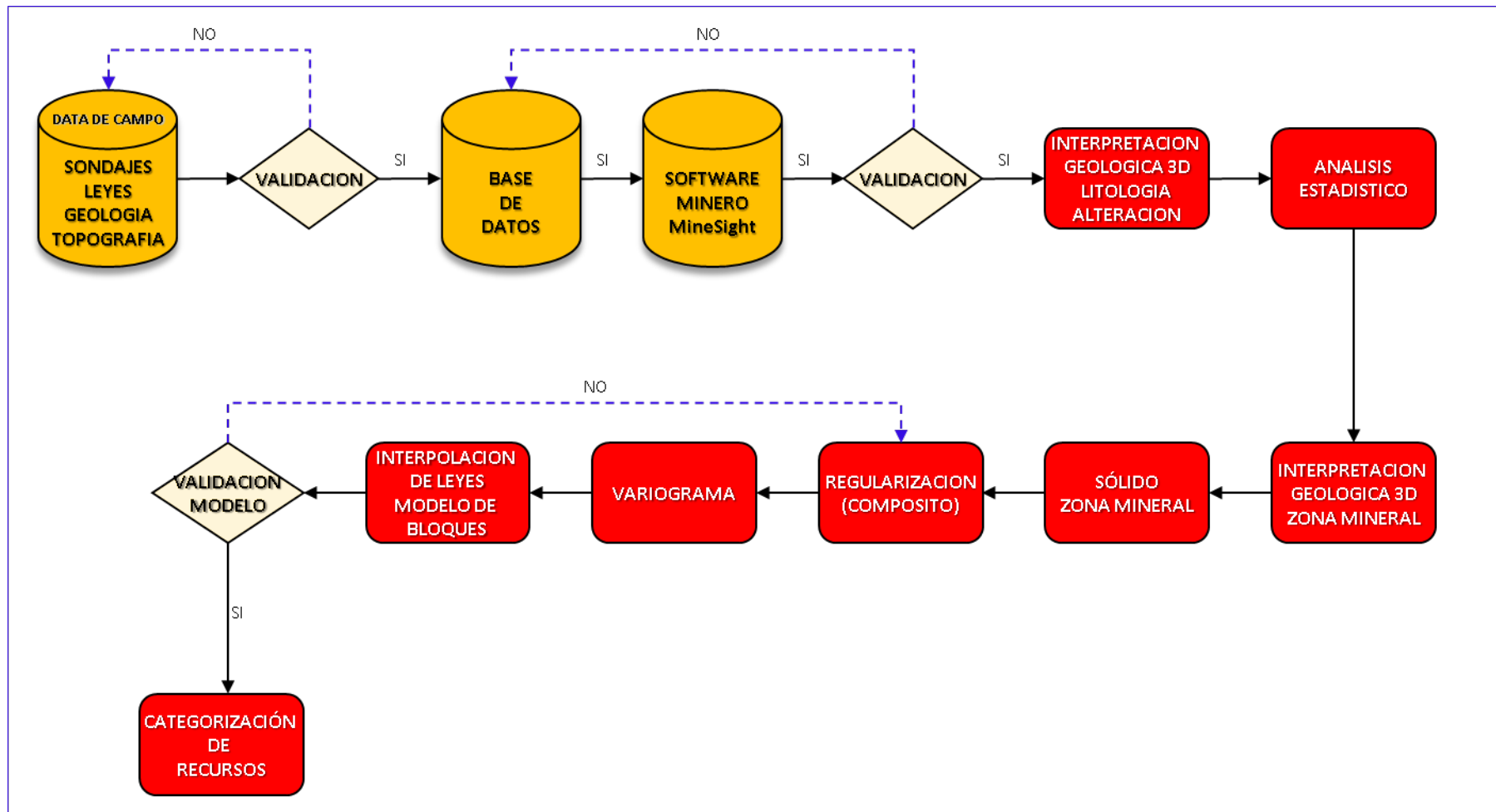


Figura 1.2 Flujo de trabajo del Proceso de Categorización de Recursos Minerales

#### **1.4.1.2. Validación de Base de Datos**

Antes de procesar estos datos y comenzar con el Modelamiento Mineralógico, se recopiló y validó los datos de sondajes y mapeo geológico del Proyecto Shahuindo. La validación comprendió la revisión de la ubicación espacial de los sondajes, mapeo geológico, el logueo geológico y los análisis de las muestras.

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

#### **1.4.1.3. Software y Hardware**

Para realizar la Categorización de los Recursos Minerales de los cuerpos mineralizados del Proyecto Shahuindo, se utilizaron los siguientes programas:

Los Software utilizado fueron:

- **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.
- **MiniTap:** Aplicación que otorga cálculos estadístico y geoestadístico.

- **Snagit:** Software utilizado para capturar imágenes.
- **Microsoft Office:** Software utilizado para el realizar el informe (Word, Excel, Power Point).

Los hardwares utilizados fueron:

- 1 LapTop i7 – HP
- 1 Impresora Scanner HP Color HP Officejet Pro 8600



Figura 1.3 Software y hardware utilizado en el informe

## **CAPITULO II.**

### **GEOLOGIA DEL YACIMIENTO**

#### **2.1. Geomorfología**

En la región estudiada se distinguen las siguientes unidades geomorfológicas (figura 2.1).

- Superficies de erosión
- Valles
- Áreas de Glaciación

##### **2.1.1. Superficies de Erosión**

En el área se reconocen cuatro superficies de erosión a diferentes niveles, expuestas aproximadamente a los 1,600, 2,200, 3,000 y 3,800 m.s.n.m.

Se supone que las más altas corresponden a la "Superficie Puna" pero es probable que correspondan a diferentes superficies de erosión, relacionadas con el levantamiento de los Andes.

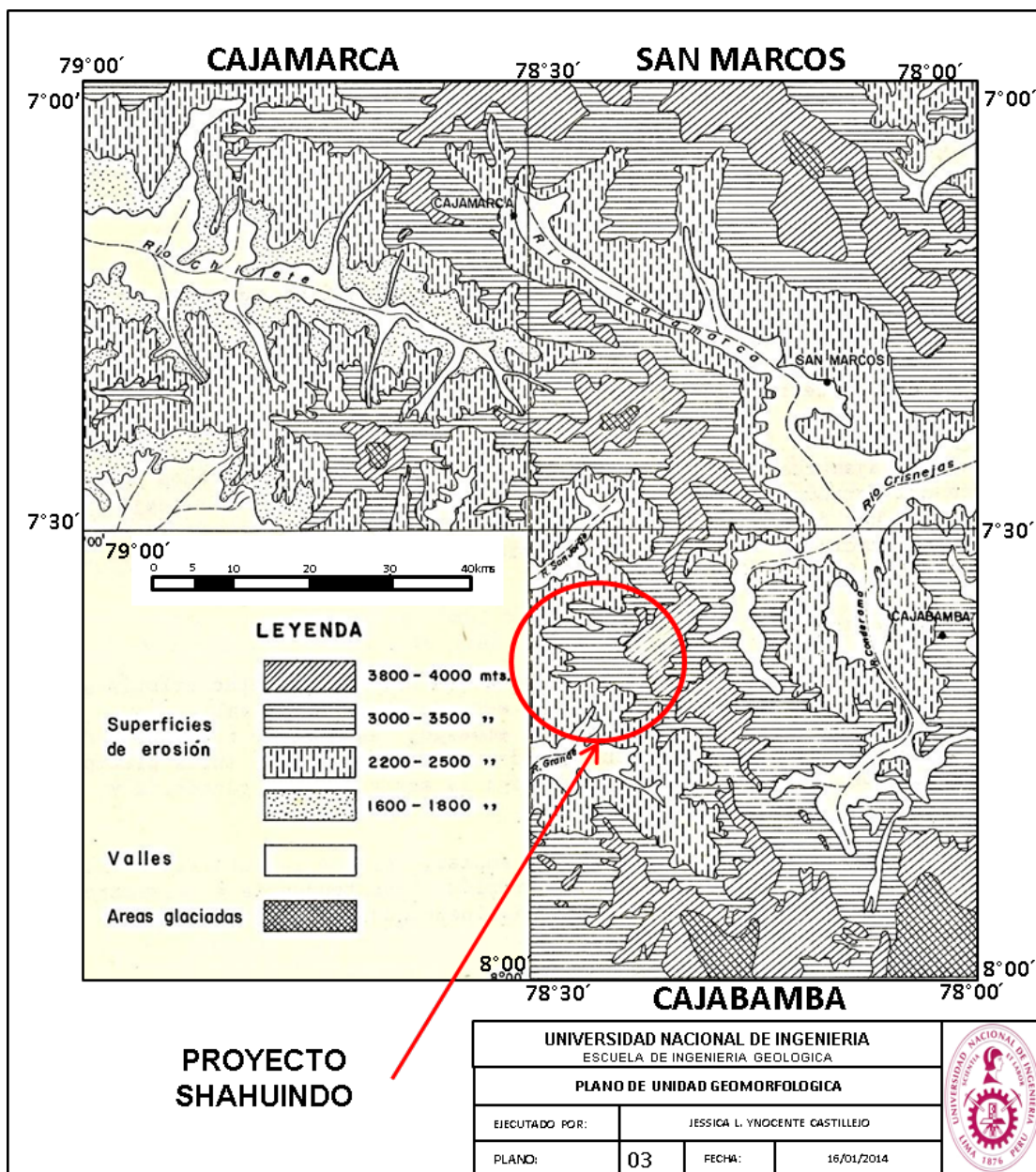


Figura 2.1 Unidades Geomorfológicas

Actualmente, las superficies inferiores están disectadas por numerosos ríos y afluentes rejuvenecidos, notándose en las cumbres de los cerros intermedios, restos de superficies alargadas con similares alturas, rasgos que pueden observarse a ambos lados del valle del río Jequetepeque, a partir de la hacienda Lives, hacienda Mascota, San Miguel, San Pablo, San Juan, Asunción, etc.

Las superficies de mayor altitud aparentemente son las principales y se caracterizan por mostrar colinas redondeadas, topografía suave con restos de pequeños valles maduros bastante pantanosos y rezagos de lagunas. En la mayoría de las veces, la acción de los agentes erosivos ha destruido gran parte de estos vestigios, obligando a una interpretación para determinarlos. Remanentes de estas superficies están identificados en los sectores de la laguna Sausacocha, Pampa de Yamobamba y Curgos en Huamachuco, Pampa de la Julia al este de Quiruvilca, Alto de Algamarca al este de Cajabamba, Pampa del Cerro Negro, Pampa de la Culebra, Cordillera de Cumulca y Pampa de Huanico en los alrededores de Cajamarca.

La disposición escalonada de las superficies de erosión sugiere intermitentes periodos de estabilidad y ascensión rápida de la región. En este proceso evolutivo, fácilmente puede concebirse que mientras se formaban las últimas superficies de erosión, las primeras ya habían alcanzado considerable altura, probablemente del orden de los 2,500 m.s.n.m.; en consecuencia, con los últimos y mayores movimientos verticales, todo el macizo andino alcanzó niveles superiores, relacionados directamente con las alturas actuales de los Andes. Se calcula que la primera y más antigua superficie de erosión tuvo un desplazamiento vertical superior a los 3,000 m.

Las superficies de erosión que actualmente se encuentran en los niveles más altos de los Andes, son las principales peneplanicies; aparentemente se formaron en el Eoterciario, pre-levantamiento (rápido) de los Andes; las otras se habrían formado a comienzos del Neoterciario. En las primeras prevaleció la estabilidad sobre el movimiento vertical, pero a partir del Neoterciario se invirtieron los sentidos, ascendiendo rápidamente el macizo Andino. En la actualidad, el

levantamiento continúa y los agentes erosivos están en plena actividad destruyendo y modificando la topografía.

Debe remarcarse que los periodos de estabilidad que determinaron cada superficie de erosión fueron prolongados de tal modo que la acción erosiva posterior destruyó a la precedente, los agentes actuales de erosión son los que modifican a todas en conjunto.

### **2.1.2. Drenaje**

A medida que se levantaban los Andes, el drenaje hacía lo propio, llegando inclusive a cambiar el sentido y cuenca de muchos ríos (captura de ríos, desagües de lagos, etc.). Evidentemente, todo el sistema hidrográfico tomó dos direcciones: uno hacia la Cuenca del Pacífico y otro hacia la Cuenca Amazónica o Atlántica (figura 2.2).

Entre los valles principales figuran:

- **Valle de Jequetepeque**, que ha sido labrado siguiendo el eje de un sinclinal; extendiéndose desde los sectores de San Juan y Magdalena por el este, hasta Chilite por el oeste; constituye un valle de control estructural. Al igual que la mayoría de los valles cordilleranos del país, su corte transversal muestra en ambas laderas, cambios de pendientes.

Los principales tributarios del Jequetepeque por la margen septentrional son los ríos San Miguel, San Pablo, Chilite y Chotén y por la margen meridional los ríos Contumazá, Huertas, Chunta, Llaucán, Quinuas, etc. Generalmente estos ríos drenan en forma perpendicular al eje colector, con gradientes pronunciadas y pertenecen a la clasificación de ríos temporales, es decir que son torrentosos sólo en los meses de lluvias (verano austral).

**Valle del Alto Chicama**, tiene como característica principal el haberse formado perpendicularmente a las estructuras regionales o andinas, no habiendo ninguna evidencia que sugiera por el flanco norte son los ríos Cascas, Cospán, Santa Ana y San Benito. Los dos primeros son de régimen perenne, mientras que el Santa Ana y San Benito son de régimen temporal.

**Los valles de Cajamarca, Condebamba, Sanagorán y Yamobamba** se caracterizan por estar controlados por factores estructurales, ya que algunos tramos se han labrado a lo largo de fallas longitudinales, grabens o pliegues paralelos.

La particularidad de estos valles consiste en que los lechos de los ríos actuales se encuentran hacia las márgenes occidentales, ejerciendo su acción sobre rocas duras y formando escarpas muy acentuadas que contrastan con las del flanco oriental caracterizadas por una pendiente más o menos moderada. Este fenómeno pueden interpretarse como un levantamiento más acelerado del sector oriental de los valles.

Los ríos de la cuenca pacífica y atlántica ya indicados, representan la red hidrográfica del área estudiada y constituyen, en sus niveles superiores, un sistema de drenaje mayormente dendrítico incluyendo los tributarios, algunos de ellos de tendencia lineal.

Indudablemente, las direcciones de drenaje de los ríos actuales son bastante recientes, porque el sistema de drenaje desarrollado antes del Mioceno es diferente, controlado mayormente por las estructuras plegadas y que hoy se reducen a restos de lagunas y pantanos, más o menos orientados en estas direcciones, tal como sucede en el sector de Huamachuco, laguna Sausacochoa, Curgos, Cajabamba, etc.



Los movimientos mio-pliocénicos son caracterizados por redes de depósitos lacustres de esta edad entre San Marcos y Cajabamba con más de 200 m. de grosor. Evidentemente, a raíz de los movimientos verticales del Mio-Plioceno, los niveles del Marañón, respecto a este lago, quedaron tan bajos que se desaguó mediante el río Crisnejas formándose un profundo cañón que hasta hoy mantiene una gran pendiente. Caso parecido sucedió en las lagunas de la hacienda Pobloc.

### **2.1.3. Áreas de Glaciación**

Algunos sectores del área estudiada, muestran evidencias de haber sufrido una intensa glaciación (fenómeno visible a partir de los 3,000 m.s.n.m.). En la actualidad, en el área ya no quedan remanentes de glaciares. Las partes altas se caracterizan por presentar una topografía accidentada, parcialmente desnuda o relativamente suave, ambas en un intenso proceso de destrucción por los fenómenos actuales de erosión; pero aun así, pueden observarse valles colgados en forma de "U", superficies estriadas, depósitos morrénicos y abanicos fluvioglaciares.

Al sur de Huamachuco, Pampa de Huanico y alrededores de Quirivulca, se hallan las zonas más elevadas de la región donde aún se observan los efectos de la glaciación. En estas existen lagunas represadas por frentes morrénicos tales como la de Huangagococha y El Toro, grandes pampas cubiertas por materiales fluvioglaciares, por ejemplo la de Yamobamba, La Julia y Huanico, presentando en muchos casos vestigios de morrenas terminales en las partes inferiores.

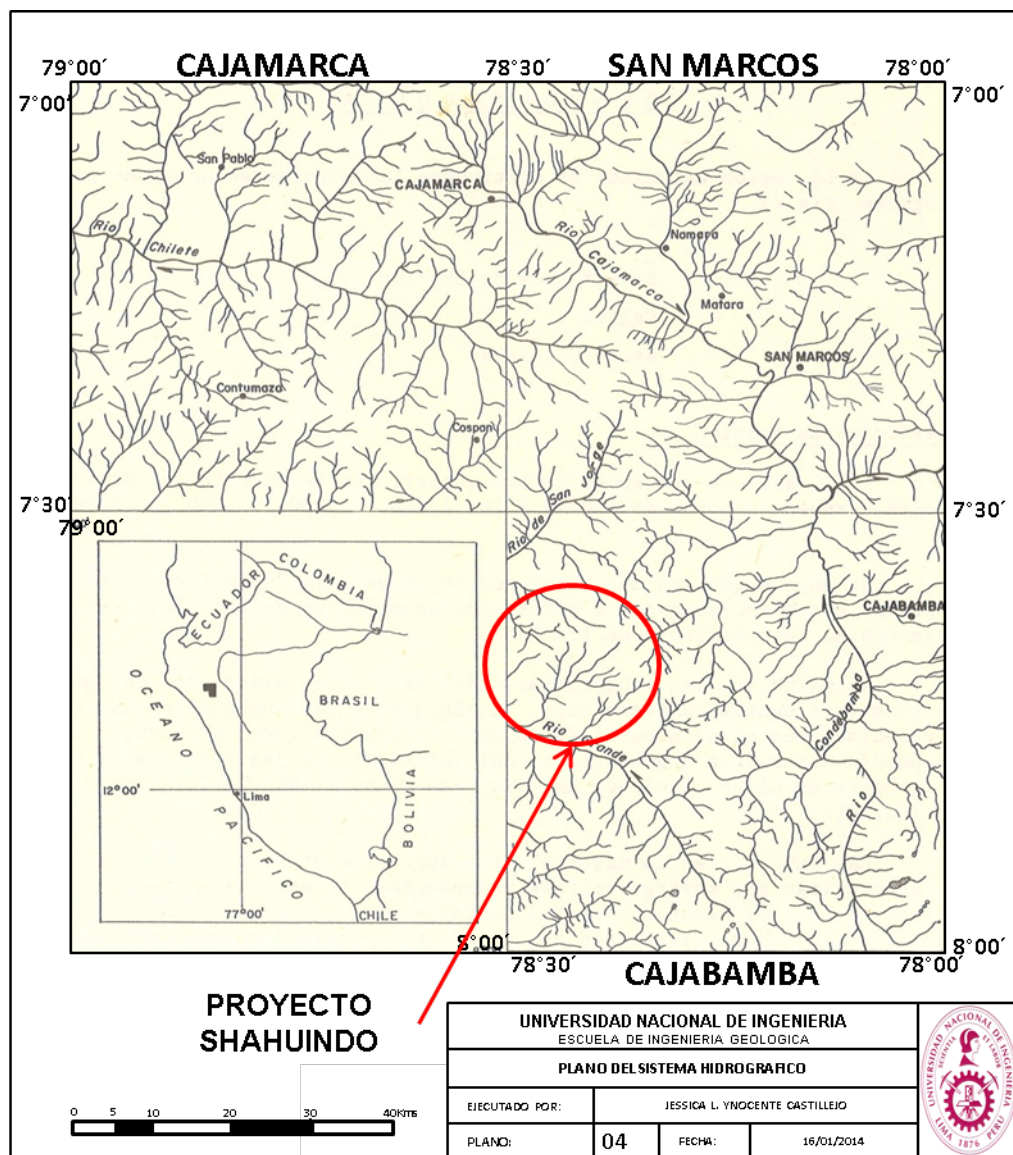


Figura 2.2 Sistema hidrográfico

Las áreas con menores vestigios de glaciaciones, se extienden a lo largo de los cerros calcáreos al este de los pueblos de Cajabamba, San Marcos y Cajamarca, continuando hacia el norte. Algo parecido ocurren en la cordillera que va del este de San Pablo hacia el norte de Cajamarca, así como también en ambos lados de la carretera Quiruvilca - Huamachuco.

Puede afirmarse que estas glaciaciones tuvieron su desarrollo y recesión durante el Pleistoceno, lapso en el cual probablemente se sucedieron varias etapas, constituyendo un fenómeno más complejo. Es frecuente encontrar, sobre los 4,000 m.s.n.m. morrenas consecutivas que indican periodos de estabilización de las lenguas glaciáricas, relacionadas generalmente con los últimos glaciares antes de la gran recesión a fines del Pleistoceno, Dichos rezagos están encubriendo y borrando los vestigios de anteriores glaciares; sin embargo, restos de ellos se encuentran por debajo de los 4,000 m.s.n.m.

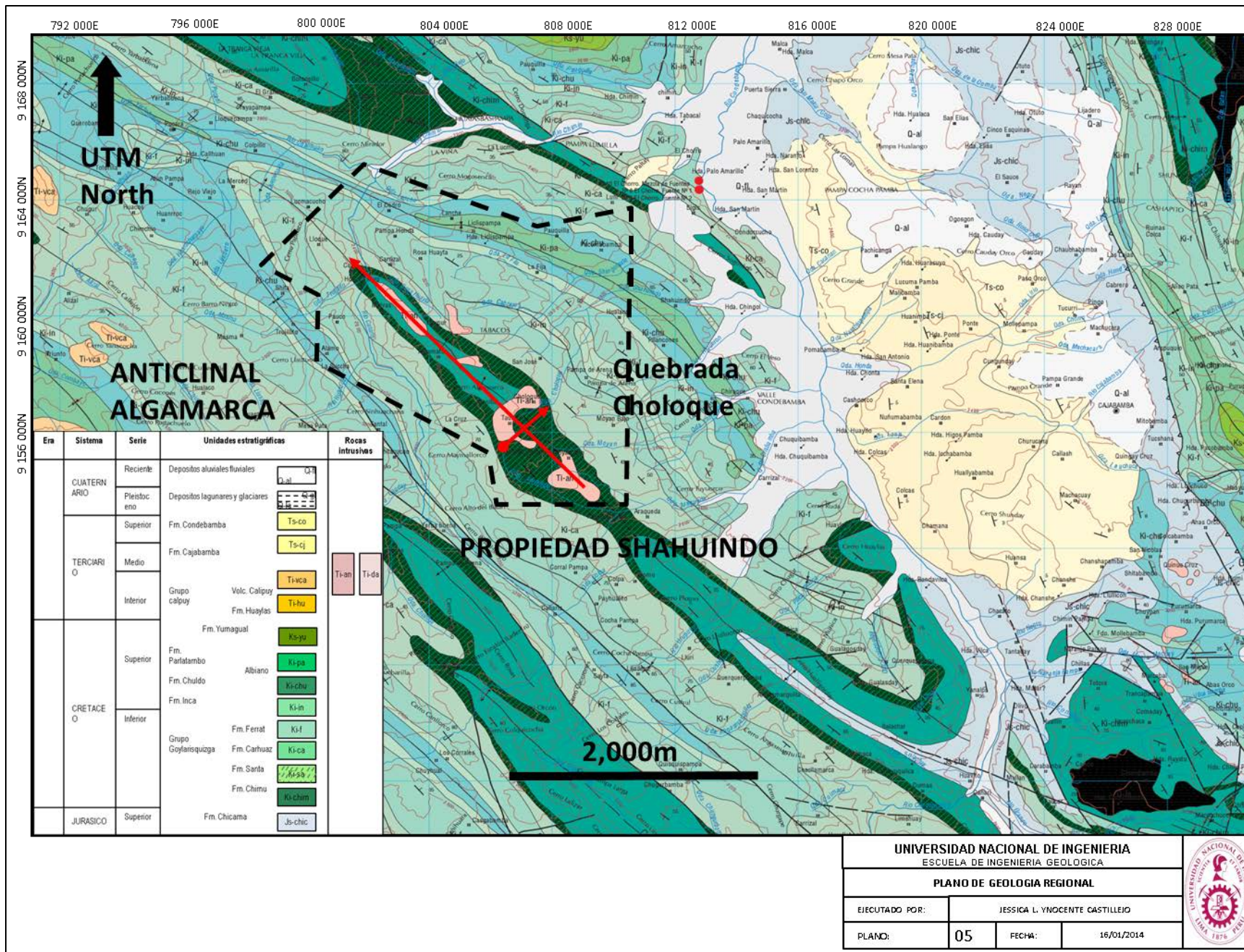
Indudablemente, la glaciación más reciente del Cuaternario alcanzó las cumbres más altas del área sur de Huamachuco, y progresivamente han ido desapareciendo por efecto del gran retroceso que afecta hasta hoy a los glaciares vecinos, de los cuales quedan remanentes en los nevados Pelagatos, Rosco y en la Cordillera Blanca.

## **2.2. Geología Regional**

### **2.2.1. Generalidades**

El área del proyecto está ubicado dentro de una faja sedimentaria de rumbo noroeste correspondiente al Grupo Goyllarisquizga de edad Cretácico Inferior y conformado por sedimentos marinos y terrestres; a su vez esta faja está flanqueada por otras dos fajas volcánicas paralelas correspondientes a las Formaciones Quiruvilca y Cajamarca, ambas de edad terciaria, según INGEMMET, Boletín N° 31 Serie A – Carta Geológica Nacional.





**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA GEOLOGICA**

**PLANO DE GEOLOGIA REGIONAL**

EJECUTADO POR:	JESSICA L. YNOCENTE CASTILLEJO
PLANO:	05
FECHA:	16/01/2014



Figura 2.3 Geología Regional del Proyecto Shahuindo

Las formaciones más antiguas del área están representadas por sedimentos de edad permo-triásica, que afloran en la esquina NE del cuadrángulo de San Marcos y ocupan una extensión aproximada de 1 km<sup>2</sup>. Sin embargo, su mayor desarrollo se ha distinguido en las zonas adyacentes. Sobreyaciendo a estos depósitos y ocupando el 70% del área se exponen rocas del Mesozoico correspondiendo el 25% a una cobertura cenozoica, constituida por rocas efusivas que en discordancia angular, descansan sobre los sedimentos anteriores.

Finalmente, se distinguen delgadas fajas de lechos lacustres y suelos de edad cuaternaria. Aisladamente, dificulta la interpretación tectónica, prevaleciendo un ambiente continental de deposición. Mayormente, los sedimentos son fluviales y deltaicos, especialmente en la parte oriental donde son más delgados, presentando mayor grosor hacia el oeste. Las areniscas y cuarcitas en el límite plataforma-cuenca se interdigitan con las calizas y lutitas marinas de la formación Santa, la cual presenta algunos niveles con paraglauconias que sugieren un ambiente de corrientes en aguas salobres. Esta característica deposicional continúa con las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Carhuaz, terminando en la parte superior con una predominancia de cuarcitas que conforman la formación Farrat. Esto sugiere que el sector de cuenca estuvo sometido a movimientos de subsidencia que diferenciaron cada vez al Geoanticlinal del Marañón de la cuenca occidental (figura 2.3).



## 2.2.2. Estratigrafía y Litología

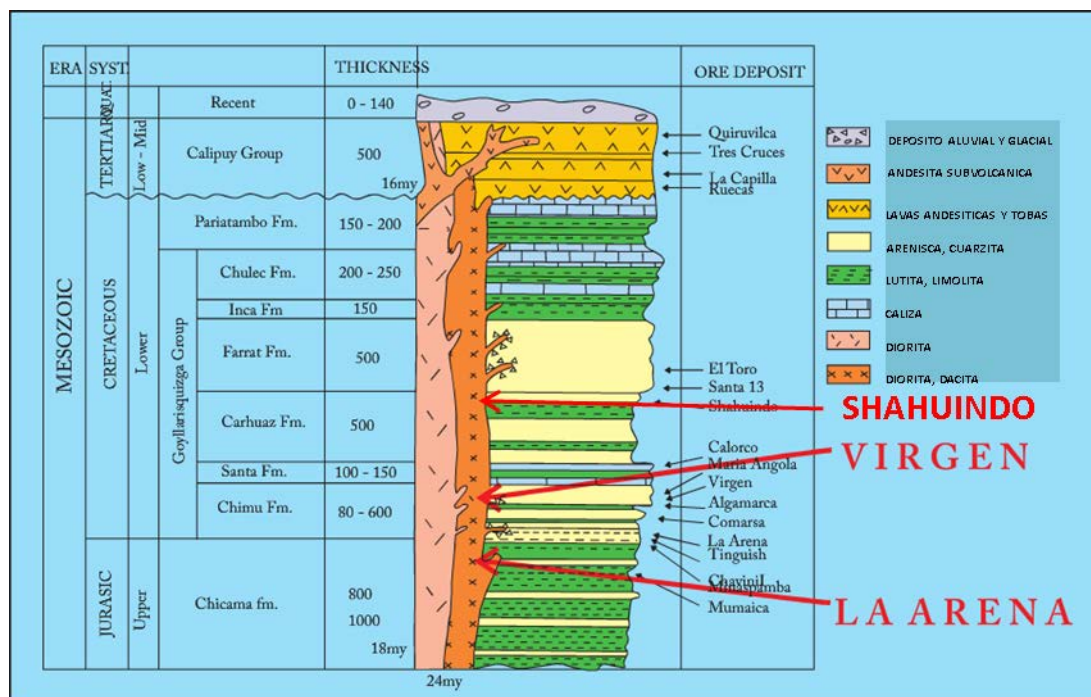


Figura 2.4 Columna Estratigráfica del proyecto Shahuindo (INGEMMET-Boletín N°10 Serie B-Compendio Minerales del Perú)

### 2.2.2.1. Formación Chicama

La formación Chicama consta de un conjunto de secuencias litológicas que afloran en la parte baja del valle de Chicama, situado al oeste del área del presente trabajo en la que existe una secuencia con ligeras variantes, como la que se expone cerca al puente del río Crisnejas donde superficialmente sufre un cambio de coloración.

En la mayoría de los afloramientos del valle de Condebamba se nota predominancia de lutitas negras laminares, deleznales, con delgadas intercalaciones de areniscas grises. Contienen abundantes nódulos negros, piritosos, algunas veces con fósiles algo piritizados.

Es común observar manchas blancas amarillentas por eflorescencia de alumbre.

En los alrededores del puente del río Crisnejas, la formación Chicama presenta, por intemperismo una coloración rosada, por lo que fácilmente, puede confundírsele con la formación Carhuaz; en este sector los sedimentos arenosos de coloración rojiza han aumentado, y los estratos lutáceos ofrecen colores claros, ligeramente marrones. Numerosos sills andesíticos gris verdosos con más de un kilómetro de longitud, se exponen en algunos lugares y finalmente venillas de yeso entrecruzan a los estratos de esta formación.

Ocasionalmente, las lutitas oscuras con intercalaciones de areniscas pardas tienen horizontes arcillosos ricos en alúmina, por lo que son explotadas como material para la industria de la cerámica.

Las rocas de la formación Chicama dan suelos negruzcos y blandos, debido a la cantidad de material limo-arcilloso, favoreciendo al desarrollo de una topografía suave.

Como en otras partes, en el área estudiada no se ha visto la base de la formación Chicama, se supone que descansa discordantemente sobre las calizas del Grupo Pucará u otras formaciones. Su contacto superior es generalmente de aparente conformidad con la formación Chimú, siendo más probable una discordancia paralela. Por el sector oriental, el intenso disturbamiento sufrido por estas rocas dificulta la exacta estimación de sus grosores; sin embargo, en el sector occidental los estratos están menos deformados, excepto donde se presentan algunas intrusiones pequeñas y medianas que distorsionan los estratos, a pesar de lo cual puede estimarse un grosor de 800 a 1,000 m.

La presencia de esta formación señala un límite oriental de deposición a pesar de que su facies de bordura rara vez se observa, porque generalmente los continuos sobreescurrecimientos la cubren, o sencillamente por efectos de la erosión. Las porciones que afloran son netamente sedimentos de cuenca marina.

La litología y el alto contenido de pirita en los sedimentos de la formación Chicama, sugieren que el material se depositó en una cuenca anaeróbica, en donde prevalecía un ambiente de reducción. Los sectores donde la formación muestra una coloración rojiza con mayor contenido de areniscas, pueden representar el borde de esta cuenca, ya que se tiene la seguridad de que los sedimentos titonianos no se depositaron hacia el este del flanco occidental del Geoanticlinal del Marañón. Por tal razón, los sobreescurrecimientos son menos intensos a medida que se avanza hacia el este del supuesto límite oriental. Es de anotar que el límite de la cuenca marcha paralelo a la gran curvatura que forman las estructuras a la altura de San Marcos, Matará, Namora, San Juan, Magdalena y Valle del Jequetepeque (Cajamarca), pasando de una dirección SE-NW a E-W.

**Edad y Correlación.-** En la zona del valle de Chicama se han encontrado algunas especies de ammonites (Berriasella y Aspidoceras) pertenecientes al Titoniano, lo mismo que en uno de los afluentes del río Negro, en el valle de Condebamba.

#### **2.2.2.2. Grupo Goyllarisquizga**

Es evidente que durante la deposición del grupo Goyllarisquizga, la cuenca siempre fue de un mar somero, donde el intercambio constante de aguas daba lugar a zonas bien oxigenadas. A medida que se hundía, era rellenada por materiales clásticos, de tal forma que se mantenían los mismos niveles. Por lo tanto, el área de sedimentación clástica que había tenido un largo periodo de



aparente tranquilidad, fue en realidad de constante movimiento, dando como resultado una acumulación de cerca de 2,000 m. en la plataforma.

El proyecto Shahuindo se encuentra en la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, dentro de una faja regional plegada de rocas sedimentarias que comprenden formaciones terrestres y marinas del cretácico grupo inferior Goyllarisquizga. La estratigrafía de este grupo está formado por cinco formaciones geológicas distintas, de mayor a menor.

Este grupo en su facies de plataforma ha sido estudiado bajo la denominación de Grupo Goyllarisquizga y en su facies de cuenca ha sido diferenciado en las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz y Farrat. En el primer caso, sus afloramientos están limitados al sector noreste del cuadrángulo de San Marcos, pero se sabe que se extiende ampliamente por la región.

En el área estudiada, aflora al sur de Celendín hacia Oxamarca, en contacto anormal sobre calizas del Cretáceo superior. Su verdadera posición se observa a unos cientos de metros más al este, donde comienza el cañón del valle del Marañón, allí suprayace con suave discordancia, a las calizas del Grupo Pucará e infrayace a la formación Crisnejas del Albiano, aparentemente concordante, pudiendo ser en discordancia paralela en otros lugares.

Litológicamente consiste en cuarcitas blancas masivas y areniscas generalmente de grano medio y color blanquecino, en la parte inferior, con intercalaciones delgadas de lutitas marrones y grises en la parte superior. Su grosor oscila entre los 200 y 500 m., con tendencia a adelgazarse hacia el oeste.

**Edad y Correlación.-** La ausencia de fósiles en este grupo, no permite determinar su edad con precisión, pero sus relaciones estratigráficas son las mismas a las

encontradas en las regiones vecinas y los Andes Centrales del Perú, por lo que se le asigna al Neocomiano-Aptiano.

#### 2.2.2.2.1. Formación Chimú

La formación Chimú, designada con este nombre por BENAVIDES (1956), aflora yaciendo mayormente en forma concordante, sobre la formación Chicama, (lo más probable es que exista una discordancia paralela) e infrayaciendo con igual carácter a la formación Santa.

La secuencia se extiende ampliamente en el área y fuera de ella, alcanzando ámbitos regionales. Sus afloramientos se destacan nítidamente en la topografía por su dureza y estructuras, originando grandes farallones. Estructuralmente, esta formación funcionó como roca competente, dando perfectos anticlinales y sinclinales y quedando como rezagos de ellos las estructuras del norte de la hacienda Sunchubamba hasta el sur de Contumazá y San Benito, así como las de Sanagorán, Mallucayán, etc.

Litológicamente, la formación Chimú consiste en una alternancia de areniscas, cuarcitas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de cuarcitas blancas, en bancos gruesos, en la parte superior. Las areniscas generalmente son de grano mediano a grueso, con ocasionales lentes de granos de cuarzo poco redondeados. Tiene un grosor aproximadamente superior al de las formaciones Chicama y Santa se adelgazan gradualmente hacia el oeste como se observa en el corte de la carretera Pacasmayo-Tembladera y en la zona Algarrobal - San Benito.

Es frecuente encontrar en los niveles inferiores e intermedios de la formación Chimú mantos de carbón, como en Callacullán y Yanahuanca, al este de Quiruvilca;

generalmente se presentan uno o dos mantos, como los que se encuentran al norte y oeste del cerro Huaylillas al sur de Huamachuco; el de San Marcos , en el cerro Shogo al noreste de la hacienda Jocos; el de los baños Yumagual y los de la zona de Coína, Usquil, Chuquizongo y Huaranchal, los cuales pertenecen a la cuenca carbonera del Alto Chicama.

Al noroeste del pueblo de San Marcos, el Grupo Goyllarisquizga exhibe una estructura compleja, definida como un anticlinal recostado hacia el NE habiéndose encontrado en el flanco invertido tres ejemplos de estratificación cruzada los que se usaron como criterio de polaridad.

**Edad y Correlación.-** Por sus relaciones estratigráficas se ubica a la formación Chimú en el Valanginiano inferior a medio, pues yace sobre la formación Chicama del Titoniano e infrayace a la formación Santa del Valanginiano superior.

#### 2.2.2.2. Formación Santa

Esta denominación fue dada por BENAVIDES (1956); en el área consiste en una intercalación de lutitas y calizas margosas, y areniscas gris oscuras, con un grosor que oscila entre los 100 y 150 m. Sobreyace a la formación Chimú e infrayace a la formación Carhuaz, aparentemente con discordancia paralela en ambos casos.

El cambio de facies es notable según los lugares; así, mientras en la zona de Huamachuco, Cajamarca y Coína la proporción calcárea es predominante; en la zona de Cajamarca, Cascas y San Benito solamente hay lutitas y areniscas grises, fenómeno que se interpreta como relacionado con la forma de la cuenca.

Indudablemente hacia el borde de la cuenca, sus cambios de facies son gradacionales ya que el material calcáreo lateralmente pasa a pelítico.

La formación Santa intertemperiza generalmente con un tono gris marrón. Localmente contiene nódulos calcáreos y como sus afloramientos topográficamente conforman depresiones, están cubiertos mayormente por suelo, razón por la que sólo son observables en los cortes de quebradas y carreteras. Siempre da terrenos blancos, deleznable y fangosos. Ocasionalmente tiene horizontes fosilíferos.

**Edad y Correlación.-** En la formación Santa se ha encontrado las especies *Paraglauconia strombiformis*, en la bajada de la carretera, en la laguna Sausacoch - El Pallar, hacienda Jocos y en la subida del puente Crisnejas Ichocán. También se han hallado lamelibranquios y gasterópodos en el estrechamiento del río Llacanora, entre el pueblo del mismo nombre y los Baños del Inca.

Cerca de Tambores se encontraron *Nucula* sp y *Protocardia* sp., pero ninguno de los fósiles mencionados son diagnósticos como para precisar una edad determinada. Sin embargo, a la formación Santa puede asignársele al Valanginiano en base a que en otros lugares.

La formación Santa se extiende hacia el sur del área; zona del Callejón de Huaylas, Pomabamba y Sihuas, donde se le encuentra con las mismas relaciones estratigráficas, a pesar de que su litología varía en el contenido calcáreo y lutáceo, siendo correlacionable, en parte, con el sector inferior de la formación Llacanora.

#### 2.2.2.2.3. Formación Carhuaz

Esta formación descrita inicialmente por BENAVIDES (1956), en el área tiene aproximadamente un grosos de 500 m., con incremento hacia el sur y disminución hacia el noreste.

Consta de una alternancia de areniscas con lutitas grises, las primeras con matices rojizos, violetas y verdosos (características principales para diferenciarla en

el campo). Hacia la parte superior contiene bancos de cuarcitas blancas que se intercalan con lutitas y areniscas. Solamente en la bajada a la hacienda Jocos (Cajamarca) se ha observado por vez primera, delgados lechos carbonosos en esta formación.

La formación Carhuaz yace con suave discordancia sobre la formación Santa e infrayace concordantemente a la formación Farrat.

**Edad y Correlación.-** Probablemente las edades, Valanginiano superior Hauteriviano y Barremiano corresponden a esta formación, ya que encima se encuentra la formación Farrat que a su vez infrayace a sedimentos del Aptiano-Albiano. Es equivalente con la parte inter-media de la formación Llacanora.

#### 2.2.2.2.4. Formación Farrat

Esta formación representa el nivel superior de la parte clástica del Cretáceo inferior. Consta de cuarcitas y areniscas blancas de grano medio a grueso, tiene un grosor promedio de 500 m. aumentando en el sector suroeste. En algunos lugares se observa estratificación cruzada y marcas de oleaje.

La formación Farrat suprayace con aparente concordancia a la formación Carhuaz y subyace, con la misma relación, a la formación Inca, dando la impresión en muchos lugares, de tratarse de un paso gradual.

Por su similitud litológica con la formación Chimú es fácil confundirlas, siendo necesario en el campo, establecer muy bien sus relaciones estratigráficas para diferenciarlas, aunque en algunos casos solamente por la falta de mantos de carbón es posible diferenciarla de la formación Chimú.

Por sus características litológicas, es común encontrar a las formaciones Farrat y Chimú conformando escarpas y altas cumbres agudas y largas, observables por las zonas de Contumazá, Asunción, Cospán, hacienda Chuquizongo, Callacullán, Algamarca, ruinas de Marcahuamachuco, Tamboras y al sur de Huamachuco.

A lo largo de la carretera Coína-hacienda Huacamochal, después de pasar el desvío a la hacienda Chuquizongo, se ha encontrado en la formación Farrat magníficas impresiones o huellas de pisadas de saurios, circulares y dirigidas perpendicularmente a los ripple marks. Aproximadamente a 15 m. de dichas huellas existen otras pisadas donde se notan tres uñas en otros estratos dispuestos indistintamente. Cuando se hallaron estas huellas, se estaba haciendo el ensanchamiento de la carretera hacia la hacienda Huacamochal.

**Edad y Correlación.-** En el corte de la carretera Cajamarca-San Juan, a la altura del cerro Ventanilla, la parte inferior de la formación Farrat contiene impresiones de plantas regularmente conservadas correspondientes a *Weichselia* peruviانا ZEILLER, *Scleropteris* cf. *S. ellensis* SALF y restos de tallos indeterminados, pero asignables al Cretáceo inferior.

Por otra parte, la formación Farrat infrayace a sedimentos de los niveles más altos del Aptiano, por lo que se le asigna una edad aptiana.

La formación Farrat se extiende con el mismo nombre hacia el norte del Perú, y a las regiones de Sihuas, Pomabamba, etc. al sur. Se correlaciona con la parte superior de la formación Llacanora.

#### 2.2.2.2.5. Formación Inca

Esta formación, inicialmente llamada “Capas Rojas” del Barremiano por TAFUR (1950), fue posteriormente definida por BENAVIDES (1956) como formación Inca, refiriéndose a los afloramientos al este de los Baños del Inca en Cajamarca.

Infrayace concordantemente a la formación Chúlec y suprayace con la misma relación a la formación Farrat (figura 2.4), con un aparente paso transicional. En varios lugares, se ha observado que gradualmente se intercalan areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas y lechos de cuarcitas, dando en superficie un matiz amarillento. En los alrededores de Cajamarca es de coloración rojiza, pero en el resto del área, el color predominante es amarillo-anaranjado, con evidente acción de limonitización. Su grosor no pasa de los 100 m.

Esta formación representa a la cuenca occidental, caracterizada entonces por un mar de poca profundidad con corrientes turbulentas y bien oxigenadas.

**Edad y Correlación.-** En esta unidad es común encontrar estratos con numerosos pelecípodos entre los cuales abundan: Cucullaea, Pterotrigonia, Buchotrigonia, algunos equinodermos (Enallaster), escasos cefalópodos y Parahoplites nicholsoni. En la parte superior aparece Douvilleiceras que representa la base de la formación Chúlec.

Por la presencia de Parahoplites, BENAVIDES (1956) asignó para la formación Inca una edad Albiano inferior, pero teniendo en cuenta que éstos presentan sus costillas con poco abultamiento en el lado umbilical, respecto a los parahoplites albianos que los tienen más desarrollados Hypacanthoplites, la edad de la formación Inca se encuentra entre el Aptiano superior y Albiano inferior,

máxime si se tiene en cuenta que en algunos lugares ella se presenta como un paso transicional de la formación Farrat.

#### 2.2.2.2.6. Formación Chulec

Esta formación fue determinada por MC LAUGHLIN (1925) y al igual que en los Andes centrales, se extiende en la zona norte del Perú suprayaciendo concordantemente a la formación Inca (figura 2.4) e infrayaciendo con la misma relación a la formación Pariatambo.

Litológicamente, consta de una secuencia bastante fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas, las que por intemperismo adquieren un color crema-amarillento. Su aspecto terroso amarillento es una característica para distinguirla en el campo. Sus grosores varían de 200 a 250 m. con tendencia a aumentar hacia el suroeste.

Generalmente, los bancos de margas se presentan muy nodulosos y las calizas frescas muestran colores gris-parduzcos algo azulados.

**Edad y Correlación.-** La formación Chulec es fosilífera por excelencia, habiéndose encontrado restos de cefalópodos, lamelibranquios y equinoideos.

Estos fósiles se encuentran distribuidos en la parte baja del Albiano medio y en el Albiano inferior, por lo que a la formación Chulec se le correlaciona con la parte inferior de la formación Crisnejas que aflora en el valle del Marañón y con la formación Santa Ursula. Esta formación se extiende por los Andes centrales del Perú.



### **2.2.3. Rocas Intrusivas**

En los cuadrángulos de San Marcos, Cajamarca y Cajabamba no afloran grandes cuerpos plutónicos, pero sí algunos stocks, sills y diques que están cortando a rocas volcánicas y sedimentarias.

Los intrusivos profundos son generalmente dioritas, tonalitas y granodioritas, constituyendo la prolongación septentrional del batolito costanero. Los cuerpos hipabisales mayormente son pórfidos andesíticos y dacíticos que afloran indistintamente dentro del área, ligados muchas veces a mineralizaciones metálicas.

En el área, los afloramientos dispersos de estos cuerpos no permiten establecer las relaciones entre ellos; sin embargo, teniendo en cuenta los estudios realizados en áreas vecinas, la secuencia intrusiva tendría la siguiente relación paragenética: diorita - granodiorita - tonalita - granitos - dacitas - andesitas porfiríticas. Las granodioritas, dacitas y andesitas porfiríticas afectan al Grupo Calipuy, destacando que las dioritas llegan a intruir aún al volcánico San Pablo.

Por otra parte, los intrusivos están mineralizados y truncados por las superficies de erosión oligo-miocénicas en consecuencia, estas rocas son más antiguas que ellas por lo que tentativamente, se les considera emplazados en la parte tardía del Terciario temprano o comienzos del Terciario medio.

#### **2.2.3.1. Dioritas**

La diorita es el cuerpo plutónico de afloramiento más extenso, es una roca de textura granular a microgranular, de color gris claro, con manchas de epidota. Aflora en: Guzmango, norte de San Benito, alturas de Chuquimango, caserío de Catán y cerro Tantarica, constituyendo áreas de fuerte pendiente. La diorita está

afectada por un diaclasamiento de alto ángulo y dirección NW-SE. Generalmente, su contacto con las rocas volcánicas se ha inferido en la cartografía geológica.

Muestras petrográficas de los cerros Cholol, Tantarica y Nanrá tienen como minerales esenciales: abundante plagioclasa euhedral (andesina) con granos que miden de 0.3 a 2 mm. de longitud, en una pasta fina de ortoclasa y plagioclasa. Como minerales accesorios se presentan hornblenda, cuarzo, ortosa, apatita, biotita, magnetita y esfena y como minerales de alteración; calcita, actinolita, epidota, tremolita, limonita y sericita.

Las plagioclasas se encuentran macladas, microfracturadas y alteradas por procesos hidrotermales. Algunas de ellas presentan texturas mirmequíticas en sus bordes.

En las profundidades de su contacto con las rocas encajonantes, existen numerosas apófisis de tonalitas porfíricas y granodioritas.

#### **2.2.3.2. Granitoides**

Las intrusiones granodioríticas, tonalíticas y micrograníticas son cuerpos plutónicos menores, expuestos al este de Cascas, quebrada San Felipe, cerros Colladare y Colletán, donde cortan a rocas jurásicas, cretáceas y terciarias. Se presentan como cuerpos aislados y distribuidos desordenadamente, pero en general corresponden a la dirección por donde debe prolongarse el batolito andino, reflejándose solamente por las apófisis que llegaron a cruzar los niveles más altos de la cobertura.

En general son rocas de color gris blanquecino, equigranular, holocristalina, con excepción de los microgranitos.

Muestras tomadas de la quebrada San Felipe, cerró Alizar (Colquimarca), minas Cascabamba, caserío Cushton, cerros Calladare y Collotán, corresponden a granodiorita y tonalita.

Estos intrusivos, a menudo están relacionados con mineralizaciones de Cu, Fe, Pb y Zn, como rellenos de fracturas.

### **2.2.3.3. *Dacitas y Andesitas Porfiríticas***

Las intrusiones dacíticas y andesíticas porfiríticas, constituyen cuerpos de menores dimensiones que los anteriormente descritos, habiéndose emplazado generalmente a lo largo del rumbo del plegamiento y estratificación. Se presenta como cuerpos alargados, consistiendo muchas veces de sills o diques.

Los principales cuerpos de dacitas y andesitas porfiríticas están representados por los stocks de Michiquillay, Calconga, Minas Aurora, Patricia, cerros Magante, Shicahuanga y Yanahuanca, al norte de Quiruvilca; a los que hay que agregar la intrusión del cerro Chapa, las del anticlinal de Algamarca (Minas Algamarca), cerro Blanco (Minas Sayapullo), Guzmango y los sills y diques como los del Observatorio Meteorológico del “Kanzel” (hacienda Sunchubamba), de los Baños termales de “La Grama” ubicados al este del cerro Huaylillas y el de Callacullán (Quiruvilca).

Las dacitas porfiríticas son grises claras, tienen textura porfirítica y matriz microcristalina. Sus minerales esenciales están constituidos por cuarzo y plagioclasas (andesina) microfracturadas, macladas, zonadas y parcialmente alteradas. Los fenocristales de cuarzo presentan bordes irregulares. Los minerales accesorios están representados por hornblenda, sanidina, biotita, apatita, zircón y opacos.

En muchos lugares, la roca ha sufrido procesos de alteración hidrotermal, manifestada por carbonatación, sericitización, cloritización y epidotización.

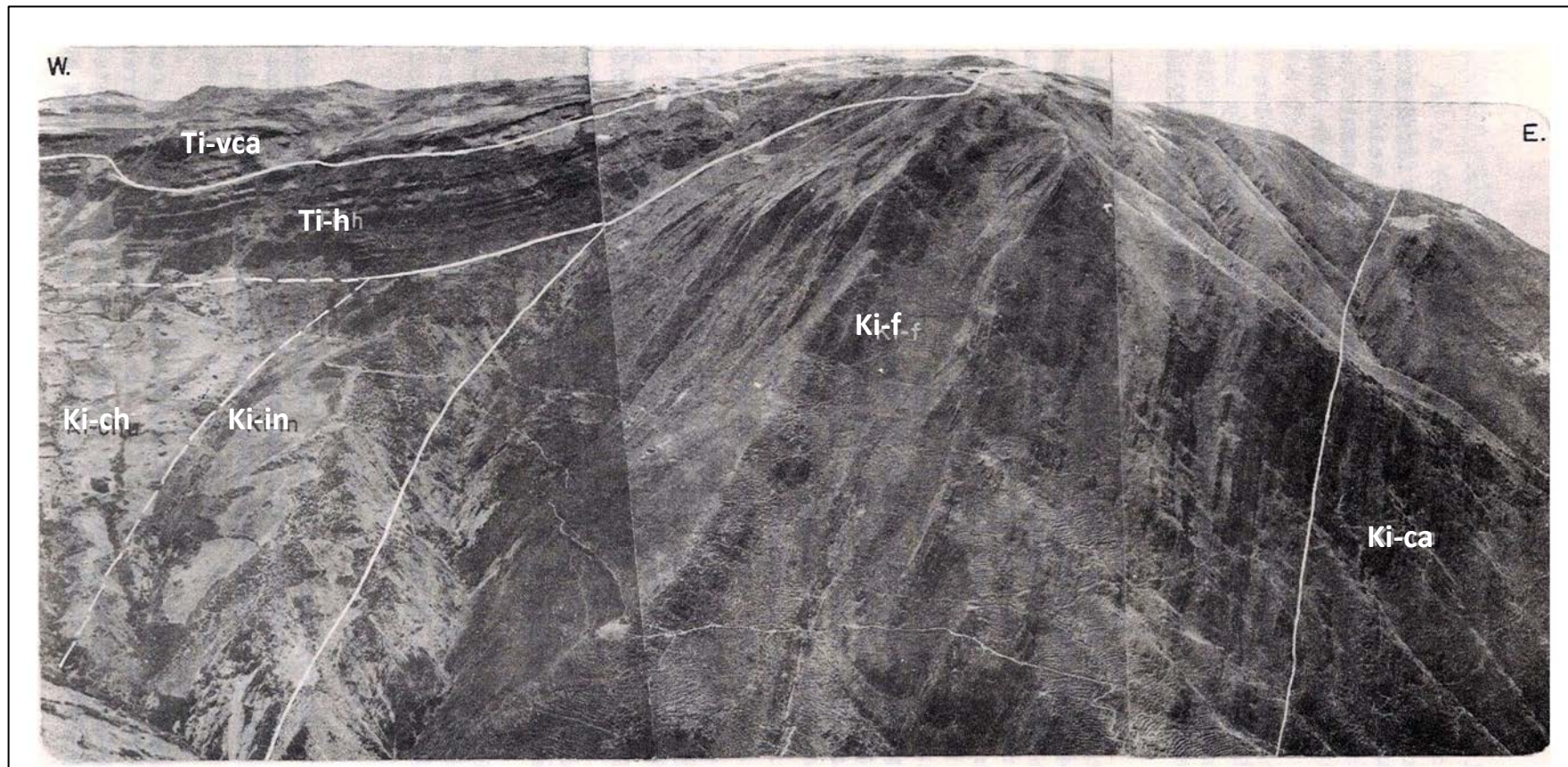
Las andesitas porfíricas tienen un color gris claro, en parte faneríticas y de aspecto masivo. Presentan como minerales esenciales plagioclasa y hornblenda, las primeras en forma subhedral y anhedral, parcialmente alteradas y microfracturadas. Entre los minerales accesorios se presentan: biotita, cuarzo, apatita, magnetita y pirita. Como minerales de alteración, se tiene: sericita, clorita, epidota y limonita.

Al igual que las dacitas, las andesitas están relacionadas con la mineralización de la región y mayormente afloran en las vecindades de los centros mineros; se supone que muchos de estos stocks fueron cuellos o chimeneas, por donde emergió el material volcánico, correspondiente a los niveles superiores, en gran parte erosionados del grupo Calipuy.

## **2.3. Tectónica y Orogénesis**

### **2.3.1. Rasgos Estructurales**

Las estructuras principales en la zona de estudio están relacionadas con el segundo movimiento del Ciclo Andino que desarrolló una provincia de pliegues y sobreescurremientos en la región (figura 2.7)



**Figura 2.5** Fotografía de Discordancia angular

Discordancia angular observada en el área de la hacienda Julgueda, entre la Fm. Huaylas (Ti-h) y las Fm. Cretácicas: Carhuaz (Ki-ca), Farrat (Ki-f), Inca (Ki-in) y Chulec (Ki-chu). Notese también la suave discordancia erosional entre la Fm. Huaylas (Ti-h) y el Gpo. Calipuy (Ti-vca).

El proyecto está localizado dentro de un pliegue regional que afecta a la faja de rocas sedimentarias mesozoicas. El rumbo del eje del pliegue y de las fallas de sobreescurreamiento es hacia el noroeste. Los intrusivos félsicos son también elongado hacia el noroeste pero probablemente refleja la orientación de las estructuras huéspedes.

El anticlinal de Algamarca refleja lo mencionado y es de forma triangular. Una falla de sobreescurreamiento es notable en el sector de la antigua mina al noreste de la propiedad. Por otro lado la orientación de los depósitos de los minerales en el área de interés refleja también la tendencia estructural noroeste, la cual es dominante (figura 2.6).

Otras fallas menores de rumbo variable se presentan en diversos sectores de la propiedad. Además las fracturas conjugadas, pliegues y rasgos planares axiales son todos evidentes dentro del lado noreste del anticlinal.



**Figura 2.6** Anticlinal de Algamarca

### **2.3.1.1. Provincias de Pliegues y sobreescurrecimientos**

Esta provincia estructural se caracteriza por tener un amplio desarrollo dentro de la cuenca Jurásico-Cretácea, conteniendo pliegues alargados y algo estrechos, que varían en forma y tamaño según la naturaleza de los niveles estratigráficos; abarcan todo el cuadrángulo de Cajamarca y un 70% de los sectores occidentales de los cuadrángulos de San Marcos y Cajabamba.

Hacia el sector oriental, las zonas plegadas de la cuenca se transforman en grandes sobreescurrecimientos que siguen fajas delgadas y paralelas, prolongándose fuera del área por decenas de kilómetros. En este sector, los pliegues alcanzan hasta 70 y 80 km. de longitud, con anchos promedios de 4 a 5 km., notándose una buena competencia en las cuarcitas del grupo Goyllarisquizga, especialmente las de Chimú, que en la mayoría de los casos, representa los núcleos de los grandes anticlinales, (Algamarca, Yanahuanca, Suyupampa, Sanagorán, Sunchubamba, Magdalena, etc.).

De igual forma, las cuarcitas Farrat han jugado un papel importante en forma, tamaño y estilo de los pliegues, que en su mayoría son concéntricos en contraposición a las formaciones Chicama, Santa, Carhuaz y del Albiano, que en general se comportaron disarmónicamente con pliegues más pequeños y desordenados.

Los flancos de los pliegues que corresponden a las formaciones Farrat y Chimú, al erosionarse sus charnelas, conforman largas filas de paredes escarpadas y cumbres agudas.

Los sobreescurrecimientos están ligados a efectos de despegue en los niveles inferiores de la formación Chicama, al parecer sin comprometer al



basamento.

A medida que se aleja de los límites de la cuenca titoniana, los sobreescurrecimientos se van amortiguando y pasan a ser pliegues normales y sencillos. El buzamiento general de los sobreescurrecimientos oscila entre los 45° a 65° al SW, observables a lo largo del río Crisnejas, cuyo desplazamiento lateral es apreciable, pero de menor magnitud que en su prolongación meridional.

Estos hechos sugieren que los sobreescurrecimientos estaban ligados a la formación Chicama, pues a medida que se aproximan a sus límites, gran parte de ellos va disminuyendo progresivamente hasta que más al norte, amplios sectores quedaron sin plegarse y fueron afectados posteriormente por el tercer movimiento, que al parecer fue intenso en esos sectores y se caracterizó por un fallamiento en bloques en el basamento, que transmiten una ondulación en la cobertura mesozoica-cenozoica.

Se postula que los bloques en el basamento del oeste se desplazaron hacia la cuenca en movimiento horizontal (compresión) incidiendo sobre los sedimentos y el zócalo cristalino de dicha cuenca, mientras que el Geoanticlinal del Marañón, momentáneamente permanecía rígido. El prisma sedimentario de la cuenca fue sometido a un intenso plegamiento, que obligado por el empuje se despegó a nivel de las lutitas Chicama, que prácticamente fluían ante la presión produciendo un colapso en el cambio de pendiente cuenca-plataforma, coincidente a su vez con el cambio litológico de las formaciones. Se inició así un cabalgamiento contra la pendiente del flanco occidental del Geoanticlinal del Marañón formándose verdaderos “nappes” (sobreescurrecimientos maestros).

A su vez, estos grandes “nappes” incidieron sobre la cobertura



sedimentaria inferior, obligándola a formar pliegues inclinados mayormente hacia el oeste, y así sucesivamente se produjeron nuevos corrimientos secundarios, edificándose una imbricación de poca deformación en los sedimentos de plataforma y sin comprometer el basamento, que al final reaccionó con un reajuste de las fallas verticales pre-existentes.

### **2.3.1.2. Provincia Imbricada**

La provincia imbricada se sitúa adyacentemente al este de la provincia de pliegues y sobreescurremientos, donde esta última generalmente se sobrepone a una parte de la imbricación. Esta provincia representa el frente oriental del segmento que fue empujado hacia el noreste sobre el flanco occidental del Geoanticlinal del Marañón, afectando a las formaciones cretáceas depositadas sobre los primeros tramos de plataforma. Se extiende sobre una faja alargada en la parte este del cuadrángulo de San Marcos, que a su vez es la prolongación septentrional de la misma provincia estructural del cuadrángulo de Pataz.

Es probable que algunos sobreescurremientos de la parte más oriental del cuadrángulo de San Marcos, correspondientes a la provincia imbricada, se traten en realidad de fallas inversas del alto ángulo más jóvenes y relacionadas con los fallamientos en bloques del basamento, que pueden haberse considerado erróneamente como estructuras de imbricación de bajo ángulo.

Los sedimentos albianos y del Grupo Goyllarisquizga son los que sirvieron para la edificación de la provincia imbricada, cuyos planos de sobreescurremientos siempre buzcan al suroeste. Las porciones superpuestas tienen poca deformación (a veces ondulaciones y repliegues); pero generalmente los estratos tienen buzamientos uniformes al suroeste, lo que sugiere un acuñaamiento hacia el lado

de mayor profundidad.

La provincia imbricada es la consecuencia del empuje de los sobreescurrecimientos maestros, formándose delante de ellos como estructuras subsidiarias. Los sedimentos frontales cedieron ante la presión y los sobreescurrecimientos maestros fueron consumidos por la imbricación frontal.

Se estima que el desplazamiento normalmente pasó los cinco kilómetros, llegando a doce kilómetros en otros lugares si se considera la porción borrada por la erosión y su probable continuación en el subsuelo.

Al este de la provincia imbricada, fuera del área, afloran los sedimentos de plataforma y el basamento sin mayores deformaciones, notándose el cambio de estructuras a corta distancia, con el predominio de un fallamiento en bloques en esta última parte.

La excepción es el caso del sector del sur de Huamachuco, donde los pliegues tienen inclinaciones al este, que la explicamos como un “retrocharriage”, consecuencia de las presiones del suroeste contenidas por el Geoanticlinal del Marañón y reflejadas en sentido contrario.

### **2.3.1.3. Deflexiones**

Dentro del área del estudio de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba, se observa que los pliegues cambian de una dirección SE-NW, a una posición NE-SW, en un recorrido aproximado de 50 km. para luego tomar su dirección original NE-SW.

Este cambio de dirección se observa también en los cuadrángulos adyacentes al norte de esta región pero, en menor escala. Es interesante anotar

que el cambio de rumbo de los ejes de plegamiento se inicia donde los sobreescurrecimientos maestros van desapareciendo paulatinamente. Aún en pleno arqueamiento, las estructuras menores de cabalgamiento tienden a tomar la nueva dirección y rápidamente pasan a ser pliegues normales. En varios lugares, dicho arqueamiento ha sido cortado en forma oblicua por fallas de alto ángulo y dirección andina, existiendo afloramientos de aguas termales, relacionadas con esta estructura.

Dicha deflexión está íntimamente ligada a la disminución progresiva de los grandes sobreescurrecimientos y a la forma del límite septentrional de la cuenca de deposición de la formación Chicama. Es decir que la masa plegada, al experimentar menor transporte lateral debido a las porciones que no se habían movido, sus ejes cambiaron de rumbo; fenómeno que se vio favorecido por la forma de la cuenca Chicama, que por la cercanía de su límite norte tendía a curvarse al oeste.

Si imaginariamente retrocedemos a las partes plegadas hacia el SW, las mismas distancias que ellas cabalaron al NE, obtendremos una dirección andina normal sin mayores problemas, aunque quizá quedaría una pequeña deflexión pero ello sería el reflejo del cambio de dirección en el límite oriental de la cuenca Chicama.

#### **2.3.1.4. Fallamiento de Alto Angulo**

Dentro del área estudiada existe un sistema de fallamiento de alto ángulo con direcciones más o menos andinas, mayormente inversas y oblicuas a los pliegues o a veces semiparalelas, relacionados con el tercer movimiento de deformación y expresado con un fallamiento en bloques que afloran por varios

kilómetros de longitud dentro del área.

Tal es el caso de que ambos lados de la parte sur del valle de Cajamarca están limitados por fallas de alto ángulo, formando una especie de graben dentro del cual se hallan los pueblos de Namora, Matara, San Marcos e Ichoacán. Sin embargo, el sector norte del mismo valle a partir de Namora, Llacanora parece ser un horst, dando la impresión de tratarse del mismo sistema de fallas de la parte sur del valle, en cuyo caso se debería a un basculamiento en tijera del basamento correspondiente al bloque del valle y los adyacentes. La falla oriental del valle, a la altura de San Marcos, tiene un salto vertical aproximado de 700 m. (bloque este) disminuyendo hacia el norte, mientras que el salto de la falla occidental, a esta misma altura, es del orden de los 300 m. (bloque oeste).

Al sur de las minas de Algamarca afloran dos fallas longitudinales de alto ángulo, que ponen en contacto anormal a las formaciones Carhuaz y Farrat con las formaciones albianas, de igual forma a la formación Chimú con las formaciones Carhuaz y Farrat respectivamente, extendiéndose por más de 10 km. de longitud. Otro tanto sucede con la falla que parte cerca de la unión de los ríos Cajamarca y Condebamba y se prolonga hasta más allá del pueblo de San Juan, con un recorrido de más de 25 km. y que pone en contacto anormal a las formaciones cretáceas, con un salto de 700 m. aproximadamente.

Finalmente, entre la pampa de Polloc (hacienda Santa Teresita) y el sector occidental de la hacienda Huagal, se tiene otra falla de alto ángulo con recorrido de más de 20 km. pero de poco salto, afectando a las mismas formaciones.

#### **2.3.1.5. Plegamientos Tardíos**

La formación Cajabamba (del Plioceno) está afectada por un plegamiento

suave (ondulación) que es más notorio entre Ichoacán y San Marcos, camino al “azufre”. En cierto modo, puede decirse que la formación Condebamba del Pliopleistoceno también tiene deformaciones, las que se indican por sus buzamientos hacia el este. Se postula que estas estructuras están ligadas a la reactivación de fallas de alto ángulo, durante y después de la deposición de estos sedimentos, y asimismo vinculados al levantamiento general de los Andes.

A pesar de la cubierta existente, las observaciones y relaciones de campo inducen a sostener que en algunos lugares las formaciones Cajabamba y Condebamba son cortadas por las reactivaciones de fallas pre-existentes, manifestándose muchas veces por un flexuramiento.

#### **2.3.1.6. Estructuras de Gravedad**

A lo largo de la carretera Huamachuco-Cajabamba, después de pasar Conga y a partir de la hacienda Los Altos Eucaliptos, Chiquilbamba, Marcabalito, San Miguel, Quinacruz y Colcabamba, se observa una cobertura de cuarcitas de la formación Farrat y calizas del Albiano que descansan en posición anormal sobre las lutitas Chicama, en una extensión aproximada de 10 km. de largo por 2 a 3 km. de ancho (esta estructura parece ser de gravedad, ocurrida antes de la deposición de los conglomerados Condebamba).

Las cuarcitas Farrat que afloran casi en todo el lado occidental del área, no afloran en el lado oriental, donde las calizas albianas descansan directamente sobre la formación Chicama. Esta cobertura anómala se encuentra yaciendo disconformemente en una especie de depresión de la formación Chicama, obligándola a tomar una forma arqueada. Su procedencia no es muy clara, pero a pesar de que su lado oriental está bastante cubierto por el cuaternario, es que los

sedimentos móviles están intruídos por apófisis andesíticos, ignorándose la relación de ellas con el fallamiento.

### **2.3.2. Evolución Tectónica**

En los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos, Cajabamba y alrededores, se encuentran evidencias de cuatro etapas de deformación que se iniciaron en el Cretáceo tardío y que continúan durante el Cenozoico, todos ellos correspondientes a los movimientos del Ciclo Andino. (figura 2.7). Estas fases de deformación están evidenciadas por discordancias, pliegues y demás estructuras, materializadas en zonas de deformación (fajas o provincias estructurales).

Regionalmente, todo parece indicar que los movimientos tectónicos en algunos sectores han sido de mayor intensidad que en otros. Es así que las ondulaciones suaves de algunos niveles estratigráficos pasan a ser estructuras principales.

Aproximadamente, a principios del Jurásico superior, empezaron a formarse la Cuenca Occidental peruana y el Geoanticlinal del Marañón, probablemente influenciados por fuerzas de distensión con desarrollo de dos grandes elementos: un graben y un horst, relacionados en forma directa a movimientos del zócalo que empezó a jugar subsidentemente (Occidente) y de levantamiento (Oriente). La sedimentación marina empezó a acumularse en la cuenca en forma continua y ésta a su vez, se hundía lentamente a medida que recibía más sedimentos.

Recién a fines del Aptiano y comienzos del Albiano, la transgresión marina avanzó hacia el Geoanticlinal del Marañón, llegando a cubrirlo totalmente durante el intervalo comprendido entre el Albiano y Senoniano, dejando una cobertura calcárea más gruesa en la cuenca. Los cambios litológicos coinciden con el cambio

de pendiente cuenca-plataforma y en estas condiciones se produjo el primer movimiento deformatorio dentro del Ciclo Andino.

Finalizado el ciclo de sedimentación marina en el Senoniano, cuando aún el mar cubría la zona andina y parte de la hoya amazónica en el Santoniano temprano, toda la cuenca y el Geoanticlinal del Marañón fueron afectados por movimientos epirogenéticos, levantándose grandes regiones de la cuenca y algunas de la plataforma, iniciándose así una acumulación clástica en las partes bajas (Fm. Chota).

Las observaciones de la selección y disposición del material conglomerádico en la formación Chota, demuestra que los conglomerados más gruesos están al oeste y los media-nos a finos hacia el este.

El segundo movimiento del Ciclo Andino es el principal dentro del área de estudio. Este se inició a más tardar en el Terciario Temprano y se caracterizó por ser de compresión, originado por fuerzas provenientes del suroeste que empujaron el prisma sedimentario hacia el noreste, plegándolo intensamente en el sector de la cuenca y produciéndose cabalgamientos e imbricaciones en el lado oriental. Estos últimos, precisamente, se iniciaron en las zonas de cambios de facies que coinciden con el cambio de pendiente Cuenca-flanco Occidental del Geoanticlinal del Marañón.

Este movimiento, indudablemente se inició después de la deposición de las capas rojas de la formación Chota, ya que ella se halla afectada por los pliegues y sobreescurrecimientos de la región. Como consecuencia de este movimiento se desarrolló un macizo emergido a alturas relativamente moderadas, sin llegar a constituir verdaderas montañas, pero sí lo suficiente como para quedar sometido

a una intensa erosión, cuyos materiales removidos se depositaron discordantemente en las partes bajas sobre una serie plegada, constituyendo lo que ahora, se reconoce como formación Huaylas.

El tercer movimiento deformatorio, probablemente se inició a fines del Terciario temprano y continuó hasta comienzos del Terciario medio, después de la acumulación volcánica post-tectónica del grupo Calipuy, desarrollando estructuras con la misma dirección que el segundo movimiento.

Regionalmente, todo parece indicar que la mayor acumulación de rocas volcánicas se realizó sobre la cuenca occidental, donde los primeros niveles se intercalaron con conglomerados lenticulares. Generalmente, esta deposición fue sub-aérea, pero como alcanzó espesores que sobrepasan los 2,000 m., es obvio suponer que esta acumulación volcánica se hundía lentamente a medida que aumentaba la deposición. En estas condiciones se inició el tercer movimiento deformatorio caracterizado también por ser de compresión, que afectó a la serie volcánica hundida con un plegamiento incipiente, como resultado de un fallamiento en bloques del basamento.

En consecuencia, algunas fallas atravesaron la cobertura sedimentaria mesozoica, como puede observarse en los planos geológicos, en ambos lados del sector donde se encuentran los pueblos de Ichoacán, San Marcos, Matara, Namora y Cajamarca. Posteriormente estas fallas se reactivaron afectando a formaciones más jóvenes, incluyendo a las fallas que se observan al norte de la confluencia de los ríos Cajamarca, Condebamba y que continúan hasta el pueblo de San Juan.

El vulcanismo posiblemente continuó en forma ininterrumpida hasta el final del



tercer movimiento tectónico, igualmente en las postrimerías de este evento deben haberse emplazado la mayoría de los cuerpos intrusivos del batolito andino, por tanto es probable que parte de ellos pertenezca al plutonismo post-orogénico del segundo movimiento.

Como el tercer movimiento se caracterizó por una compresión, traducida mayormente por fallamientos en bloques, las estructuras ondulantes superiores alcanzaron alturas por encima de sus posiciones originales, siendo por lo tanto sometidas a un largo intervalo de erosión, que dio como consecuencia una peneplanización, desarrollando la superficie de erosión denominada “Superficie Puna”.

El cuarto movimiento, llamado “tardío” se caracterizó por ser de naturaleza epirogenética siendo la que determinó la elevación de la región andina a los niveles actuales. Este movimiento comenzó en el Mio-Plioceno y continúa hasta la actualidad.

La “Superficie Puna”, ha sido elevada a sus niveles actuales (4,200 m.s.n.m.). Esta superficie está sometida a una continua destrucción y en muchos lugares es difícil reconocerla y es posible que en muchos casos al referirnos a esta superficie, estemos describiendo indistintamente a otras superficies que también se elevaron.

La deformación de las rocas pre-existentes ha sido mínima, ya que el levantamiento fue uniforme; sin embargo ha reactivado fallas antiguas con movimientos de bloques, que se transmitieron a las formaciones modernas a través de flexuramientos y algunas ondulaciones locales.

## **2.4. Geología Local**

### **2.4.1. Generalidades**

En la zona de estudio tenemos rocas ortocuarzitas blancas con intercalaciones de lutitas carbonosas de la Fm. Chimu, exponiéndose en el Anticlinal de Algamarca, en la Fm. Santa son dominantes la piritita negra, limolitas lenticulares menores y una matriz calcárea, en la Fm. Carhuaz son predominantes las limonitas grises con menor cantidad de areniscas impuras de color blanco a areniscas de color crema y menor cantidad de esquistos gris, en la Fm. Farrat predominan las areniscas y cuarcitas con intercalaciones lenticulares de menor cantidad de limolitas, la Fm. Inca consta de esquistos negros piritico con limolitas y areniscas de vez en cuando con una matriz calcárea, la Fm. Chulec con secuencias marinas que afloran al norte del proyecto Shahuindo, la cobertura coluvial inconsolidada de edad cuaternaria que se presenta principalmente en los alrededores del cerro Algamarca.

Las unidades sedimentarias han sido cortadas por cuerpos intrusivos que van desde pórfidos intermedios (andesitas y dacitas) hasta pórfidos félsicos (cuarzo – feldespáticos). Edad: Terciario medio – inferior.

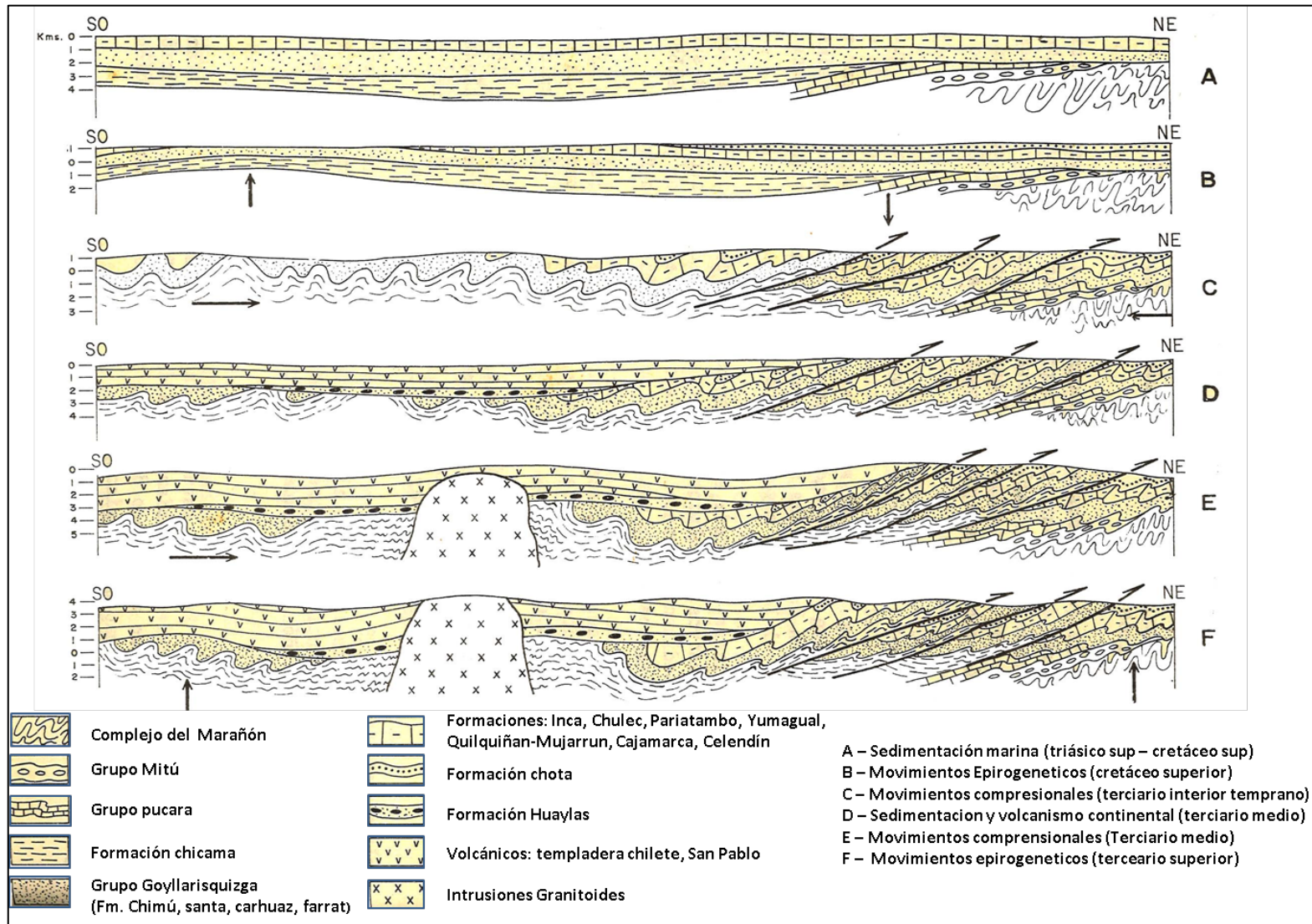


Figura 2.7 Evolución Esquemática del Ciclo Andino

## 2.4.2. Litología

- **Formación Chimú**

La unidad consta de ortocuacitas blancas con intercalaciones de lutita carbonosa en exposiciones en el anticlinal de Algamarca. Por otra parte, a nivel regional, la formación consiste en arenisca blancas metamorfizadas. Los espesores oscilan entre 500 m y 600 m.

- **Formación Santa:**

Predomina la pizarra gris en pirita, limolitas lenticulares menores, y una matriz calcárea en la base componen la formación. Contiene 1 a 10 % de pirita regionalmente. Los espesores son de unos 150 m a 250 m.

- **Formación Carhuaz:**

La unidad comprende predominantemente limolitas grises y menor cantidad de areniscas impuras a de color blanco a areniscas de color crema que tienen un grano fino de la textura azucarada y menor cantidad de esquisto gris. Es altamente lenticular. Los sedimentos son camas enormes y la forma va de 0,1 m a 1 m de espesor, con poca estructura interna. Los espesores oscilan desde 350 hasta 400 m.

- **Formación Farrat**

Areniscas y cuarcitas, normalmente limpias y de color blanco amarillento, con intercalaciones lenticulares de menor cantidad de limolitas, son característicos de la formación. Rangos de espesores oscilan entre 350 m y 400 m.

- **Formación Inca**

La unidad consta de lutitas negras piríticas, intercaladas con limolitas y areniscas de menor importancia, de vez en cuando con una matriz calcárea. Los espesores son de unos 100 m a 150 m.

- **Formación Chulec**

Secuencias de carbonato marino aflora al norte de la mina Shahuindo.

- **Cobertura coluvial:**

Sedimentos coluviales inconsolidados, de edad cuaternaria se presentan principalmente en los alrededores del Cerro Algamarca

- **Rocas Intrusivas**

Los cuerpos intrusivos que van desde pórfidos intermedios (andesitas y dacitas) hasta pórfidos félsicos (cuarzo – feldespáticos). Edad: Terciario medio – inferior, intruyen a las rocas sedimentarias.

Los intrusivos intermedios son de color gris medio a oscuro con un 1% a 20% de fenocristales de plagioclasas, biotitas en grano fino y en menor proporción fenocristales cuarzo feldespáticos. En superficies manifiestan generalmente una fuerte agilización.

Los pórfidos cuarzo- feldespáticos son de grano medio a grueso y están generalmente alterados hidrotermalmente a caolín y sericita. La intensidad de la alteración es superficialmente casi siempre fuerte y las texturas originales a menudo se han destruido. Los fenocristales de cuarzo comprenden del 5 al 15% de la roca y ocurren como ojos sub-angulares a sub-redondeados de más de 10 mm

de diámetro. La biotita ocurre en laminas de más de 3 mm de longitud. Algunos minerales máficos elongados se presentan también en la roca, se considera que este tipo de intrusito fue el causante principal de la mineralización en el proyecto Shahuindo.

## **2.5. Yacimiento**

### **2.5.1. Alteración**

Debido a la naturaleza de cuarzo dominante de la roca encajonante, la alteración es muy sutil, y consiste en una sobreimpresión solidificada y débil alteración sericitica de aluminosilicatos primarios, en areniscas de cuarzo y en areniscas. La silicificación crea una textura azucarada masiva, y también puede resultar en relleno de cuarzo de poros y cavidades primarias.

La alteración arcillosa está bien desarrollada en los pórfidos de cuarzo-feldespatos donde el feldespato primario se altera a arcilla. La alteración de la arcilla es muy poco común en los sedimentos que alojan la mayoría de la mineralización, sin embargo, las arcillas pueden tener un impacto en las tasas de percolación de lixiviación en pilas.

- Alteración de cuarzo- pórfido feldespático: Medio a grano grueso y muy comúnmente alteración hidrotermal a sericita y arcillas. La intensidad de la alteración es variable y a menudo destruye la textura original de la roca. Fenocristales de cuarzo generalmente comprenden 5 a 15 % de la roca y se producen los ojos de cuarzo redondeados como medición de hasta 10 milímetros

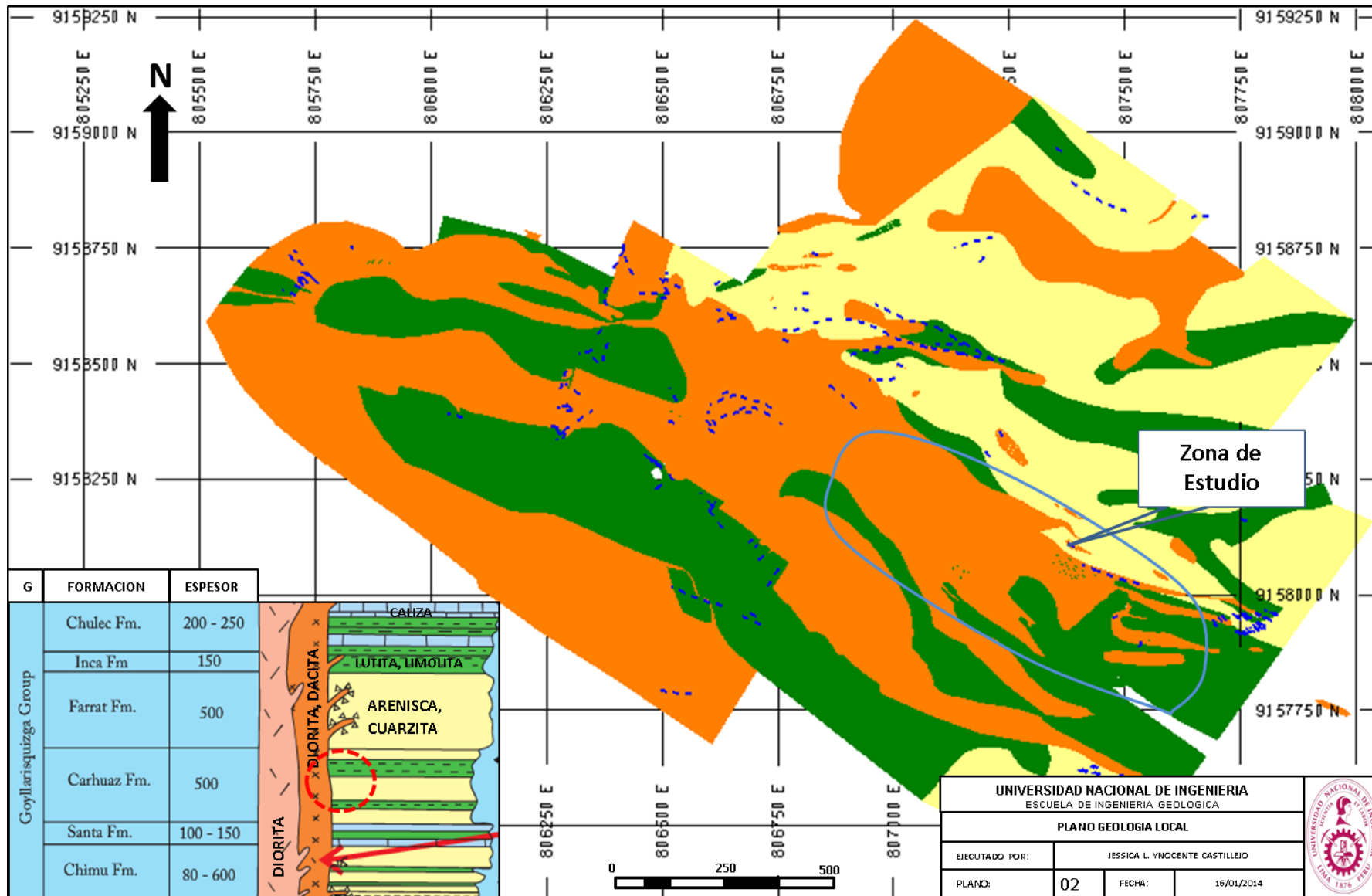


Figura 2.8 Geología Local del Proyecto Shahuindo

G	FORMACION	ESPESOR
Goyllarisquiza Group	Chulec Fm.	200 - 250
	Inca Fm.	150
	Farrat Fm.	500
	Carhuaz Fm.	500
	Santa Fm.	100 - 150
	Chimu Fm.	80 - 600



de diámetro. Los feldspatos son comúnmente argilizadas y/o sericitizadas. Variaciones texturales observadas en las distintas unidades de pórfido se han interpretado como múltiples fases intrusivas, pero también pueden representar, en parte, la sobreimpresión hidrotermal.

Los sedimentos brechados están expuestos en la parte central del Proyecto. La brecha se caracteriza por clastos heterolíticas (varios tipos de roca) de mudstone (limolita) variablemente alterados a cuarcita. La matriz de la brecha oxidada es porosa, y está dominado por hematita, de vez en cuando con los parches de cuarzo. La brecha oxidada también tiene moldes de sulfuro, que a veces están llenos o parcialmente llenos con limonita.

### **2.5.2. Mineralización**

La zona de mineralización se ha definido en 1000 m de largo y 250 m de ancho en la extremidad noreste del anticlinal de Algamarca (figura 2.9).

La mineralización como objetivo de estudio solo se refiere a valores de Au y por ende las rocas asociadas para servir de roca encajonante. Los minerales primarios que se observan es principalmente pirita asociada al Au y remanentes de arsenopirita, calcopirita, esfalerita, galena. Como minerales secundarios, se aprecia principalmente óxidos de hierro.



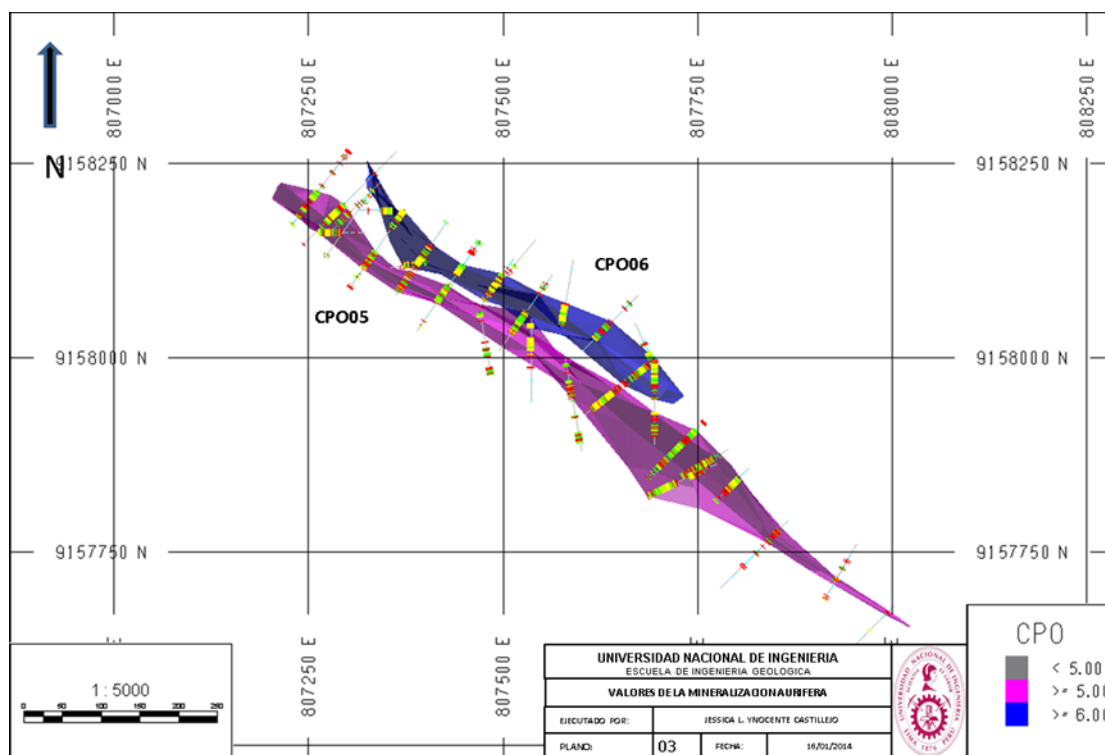


Figura 2.9 Distribución del Au en el Proyecto Shahuindo-Minesight

### 2.5.1. Controles de Mineralización

La mineralización hasta la fecha muestra una combinación de controles estructurales y estratigráficos. Es típicamente mejor desarrollado en sedimentos brechados polimícticos y monomícticos a lo largo de contactos fracturados entre limolitas y areniscas de la formación Carhuaz , y posiblemente de la formación Chimú en las zonas del este, y al contacto con la alteración de cuarzo – pórfido feldespato.



**Figura 2.10** Fotografía de la Geología del Proyecto Shahuindo.

La pirita forma una asociación cercana con mineralización de oro, y se presenta como diseminaciones, vetillas y cuerpos de reemplazamiento semi-masivos. Concentraciones de pirita son variables, 2 a 30 %, pero suelen oscilar entre 5 % a 15 %. Se han identificado dos generaciones de pirita.

Los remanentes de minerales primarios de arsenopirita, calcopirita, esfalerita y galena se han observado mejor desarrollados a lo largo de la zona de

enriquecimiento supergeno y en la base de la oxidación, debe incrementarse por debajo de la zona de los sulfuros de enriquecimiento.

## **2.5.2. Génesis del Yacimiento**

### **2.5.2.1. Consideraciones Generales**

En general, los depósitos epitermales de Au-Ag se componen estructuralmente por vetas y/o disseminaciones controladas por ocurrencias estratiformes que son poco profundas (menos de 1,5 kilómetros) y se alojan en las rocas volcánicas o sedimentarias. Los minerales que predominan son el oro y la plata, pero pueden contener cantidades variables de metales básicos como el cobre, plomo y zinc.

- **Alta sulfuración** (cuarzo - alunita - caolinita, alunita - caolinita, enargita – Au), o alto contenido de azufre
- **Baja sulfuración** (adularia - sericita).

Los depósitos de alta sulfuración se caracterizan por enriquecimiento base, la presencia de enargita y cuarzo vuggy, la alteración de los aluminosilicatos primarios a alunita, caolinita y otros minerales de la arcilla, y por lo general se alojan en la estratigrafía volcánica proximal a un cuerpo ígneo. Los fluidos responsables de la mineralización son de pH bajo, solución salina resultante en el cuarzo vugular y sistemas de alteración de alta sulfuración avanzada ensamblaje alteración arcillosa. La mineralización de oro se puede producir como el oro nativo, y/o en electrum y telururos.

Los depósitos de baja sulfuración se cree que se forman a partir de fluidos meteóricos diluidos que circulan en una cuenca más grande (figura 2.11). Estos

sistemas de alteración son más compactos que los sistemas de alta sulfuración, sin embargo puede depender de fuentes magmáticas de azufre. Depósitos de baja sulfuración presentan alteración de cuarzo - adularia y pueden ser bastante distal de fuentes intrusivas de calor. El oro nativo es común. La exploración geológica en las últimas 2 décadas realizadas en la región de Cajamarca, a lo largo del arco volcánico y subvolcánico andino de edad Terciaria han permitido el descubrimiento de importantes yacimientos con mineralización de oro, oro-plata y cobre - oro.

Los más conocidos y de mayor volumen son los yacimientos epitermales del tipo alta sulfuración (HS) tales como Yanacocha, Sipan, Tantahuatay y La Zanja; más al sur se encuentran los yacimientos Santa Rosa, La Virgen, El Toro y La Arena alojados en areniscas; también los yacimientos porfiríticos como La Granja, Minas Conga, C° Corona, El Galeno, Michiquillay, La Carpa, entre otros. Sin embargo hay otro grupo de yacimientos algo menos espectaculares que los primeros pero que sin duda representan un nuevo objetivo de exploración y de atractivo potencial minero que necesita desarrollarse, como son los yacimientos epitermales del tipo baja sulfuración (LS) en vetas, probablemente alguno (s) con transición a sulfuración intermedia, entre las cuales tenemos a Los Pircos, Lucero (Achiramayo), Chilihuisa - Mishahuanca, Las Astillas, Corrales, Diablo Rojo, Paredones, Cushuro, Huayquisongo, etc.

El mayor número de yacimientos epitermales del tipo LS reconocidos se ubican a lo largo de una franja regional de mineralización relacionados al sistema estructural andino.

Los ejemplos clásicos del tipo de depósito de alta sulfuración incluyen El Indio, Pascua Lama Yanacocha y Pierina en la Cordillera de los Andes, y

Summitville en Colorado. El Peñón en Chile y Round Mountain, Nevada son dos excelentes ejemplos del elemento de extremo de baja sulfuración.

#### **2.5.2.2. Génesis del Yacimiento Shahuindo**

Las relaciones de campo sugieren, que la mineralización de Shahuindo pertenece a un depósito de oro y plata de origen epitermal.

El yacimiento es epitermal, cuya mineralización disseminada contiene oro y plata, posiblemente de poca sulfuración y con probable diferente nivel de emplazamiento en todas partes de la propiedad.

Las características de las texturas, alteración y la mineralización del yacimiento Shahuindo, son consistentes con un sistema epitermal de sulfuración intermedia. La alteración se produce generalmente en forma de cuarzo y sericita y la mineralización de oro es aparentemente libre, y la enargita o telururos no se describen, el depósito carece de la característica enargita y cuarzo vuggy de los sistemas de alta sulfuración, y no tiene la adularia diagnóstico de los sistemas de baja sulfuración.

Estas características definen tentativamente a este yacimiento, como de sulfuración intermedia.

Sin embargo, su génesis será mejor determinada y comprendida, con estudios de geotermometría y otras investigaciones de laboratorio.

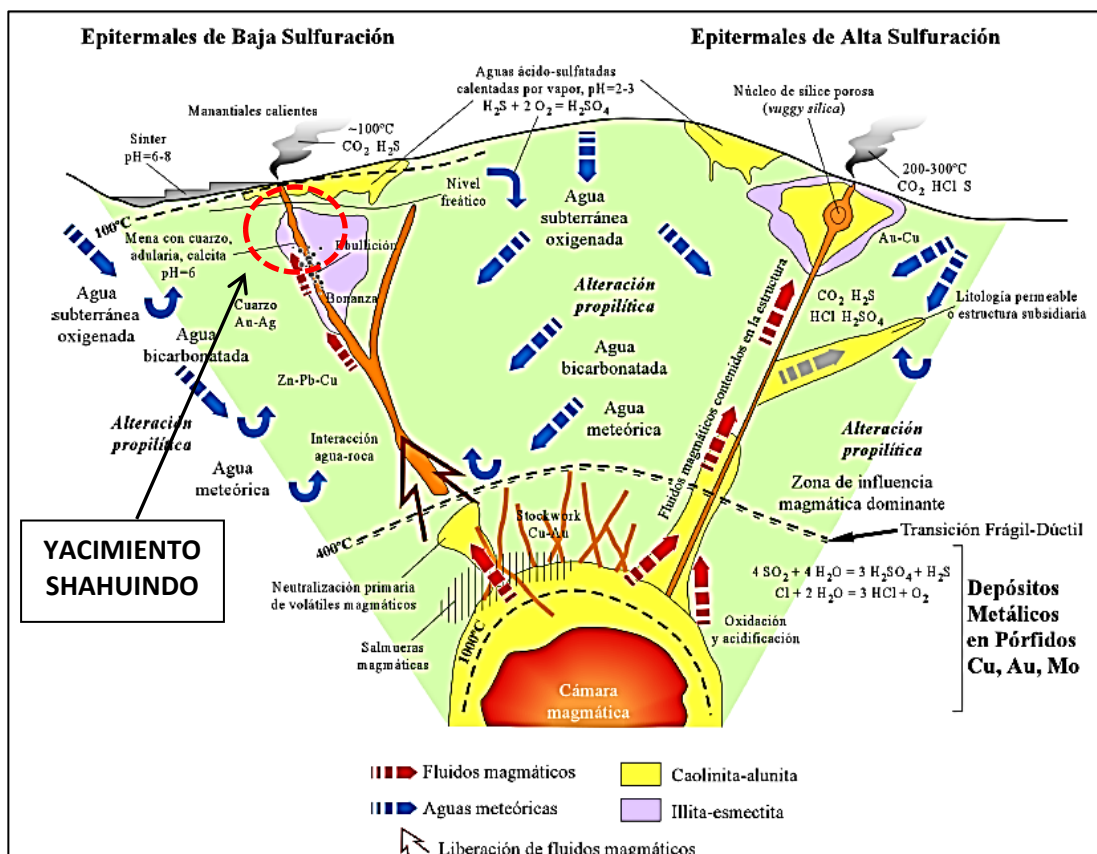


Figura 2.11 Diagrama de Epitermal (Hedenquist, 2000)

Esquema conceptual simplificado de los depósitos epitermales de baja (LS), intermedia (IS) y alta sulfuración (HS).

## **CAPITULO III.**

### **MODELAMIENTO GEOLÓGICO**

#### **3.1. Introducción**

He elegido el Software de modelamiento Minesight por tener más de 6 años de entrenamiento y comparado con otro software de modelamiento, MS es mucho más versátil ante las necesidades para la elaboración de la estimación de recursos minerales en la zona de estudio.

MineSight es la plataforma completa del software de Mintec para el modelado y la planificación de mina, que proporciona soluciones integradas para exploración, modelado geológico, diseño, planificación y operación.

Ya sea subterránea o en superficie, desde metales preciosos a metales básicos, carbón, arenas bituminosas o minerales industriales, el software MineSight da respuesta a todas las aplicaciones mineras de modelado geológico, mejorando la productividad en cada una de las etapas del ciclo de una mina.

MineSight es desarrollado por profesionales de la minería para profesionales mineros, en función de sus plazos: corto, largo o la vida útil de su mina.

En la versión 8 incorpora la nueva función de Sub-Bloqueo. La incorporación del sub-bloqueo al conjunto de herramientas de MineSight permite a los geólogos encargados del modelamiento alcanzar un nuevo nivel de precisión para sus modelos de bloques en 3D.

Las herramientas utilizadas del Software fueron:

**MS Compass:** es la interface de menú en el que se selecciona un procedimiento y ejecutar un programa para manipular los datos. MSCompass se puede abrir desde dentro de la sesión actual de MS3D, o se puede ejecutar como un programa de menú independiente.

**MS Data Analyst (MSDA):** es una herramienta muy dinámica creada para ayudar a los usuarios de MineSight® en la tarea de evaluación de recursos. Es fácil de usar y, no obstante, permite un análisis muy detallado de los datos disponibles, en forma muy rápida y efectiva.

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, el modelo de alteración y modelamiento de los cuerpos mineralizados en la zona se Shahuindo se realizó 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.

### 3.2. Creación de Proyecto de MineSight

El proyecto de MineSight® fue configurado en un archivo llamado PROYECTO SHAHUINDO. Los archivos principales incluyendo vistas de las perforaciones diamantinas, vistas modelo de bloques y el cuerpo de estimación han sido guardados en el fólder llamado \_msresources.

Los archivos internos de MineSight® han sido creados dentro de la raíz del proyecto. Estos archivos tienen la extensión dat. Estos archivos son los siguientes:

**Tabla 3.1** Archivos con extensión dat.

sha09.dat	Archivo de Composito
sha10.dat	Archivo de Proyecto
sha11.dat	Archivo de data Original (Assay)
sha12.dat	Archivo de Survey
sha15.dat	Archivo de Modelo de Bloques

Los archivos Minesigth para este proyecto contienen el prefijo sha: Proyecto Shahuindo, este proyecto ha sido realizado en unidades de 6 dígitos enteros y 2 decimales en el Este y 7 dígitos enteros y 2 decimales en el Norte.

Se configuró el proyecto en MineSight para cubrir toda la mina en un solo modelo de bloques. El proyecto, nombre y características del modelo, se muestran en la tabla 3.2

Tabla 3.2 Proyecto y Modelo en MineSight

Proyecto	Modelo	Sectores
PROYECTO SHAHUINDO	sha	Sulfuros - Oxidos

Chapi	Mínimo	Máximo	Tamaño bloque	# Bloques	Punto origen	Angulo Rot
Este	806000.0	808320.0	4	580	806000.0	0
Norte	9157300.0	9159500.0	4	550	9157300.0	0
Elevación	2600.0	3200.0	4	150	0.00	0

A continuación se muestran los multiruns y files usados para el proceso de Estimación de Recursos Minerales.

Tabla 3.3 File sha11.dat

ARCHIVO sha11.dat					
N°	ITEM	MIN	MAX	PRECISION	DESCRIPCION
0	REF#	0	10000	1	Autonumeración Interna del MS
1	FROM	0	2000	0.1	Inicio del tramo de muestreo
2	-TO-	0	2000	0.1	Fin del tramo de muestreo
3	-AI-	0	2000	0.1	Intervalo de muestreo (TO - FROM)
4	SAMPL	0	1000000	1	Numero de Muestra
5	AUPPM	0	100	0.001	Porcentaje de Au
6	CPO	0	1000	1	Codigo de Cuerpo mineralizado
7	MENA	0	100	1	Codigo de Mena Interpretata
8	AU0	0	100	0.001	Porcentaje de Au para tramos con y sin Ley
9	AG0	0	1000	0.001	Porcentaje de Ag para tramos con y sin Ley
10	X1	0	1000	0.001	NO USADO
11	X2	0	1000	0.001	NO USADO
12	LITO	0	100000	1	Codigo de Litología Interpretada
13	LIMEI	0	100000	1	Codigo de agrupamiento Litología - Mena Interpretado
14	X5	0	100	0.001	NO USADO
15	X6	0	0	-1	NO USADO
Usados en la Composición					

Tabla 3.4 File sha09.dat

<b>ARCHIVO sha09.dat</b>					
<b>N°</b>	<b>ITEM</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>PRECISION</b>	<b>DESCRIPCION</b>
0	REF#	0	10000	1	Autonumeración Interna del MS
1	EAST	805000	809500	0.1	Limite del Modelo de Bloques en el Este
2	NORTH	9155000	9161000	0.1	Limite del Modelo de Bloques en el Norte
3	ELEV.	2600	3200	0.1	Limite del Modelo de Bloques en Elevación
4	-TO-	0	2000	0.1	Fin de tramo de muestreo
5	LNTH	0	2000	0.1	Longitud Composito
6	AUC	0	100000	0.001	Porcentaje de AU Compositado a 2.0 m
7	CPOC	0	1000	1	Codigo de Cuerpo Mineralizado
8	LITOC	0	1000	1	Codigo de Litología Interpretada
9	MENAC	0	1000	1	Codigo de Mena Interpretata
10	LIMEC	0	1000	1	Codigo de agrupamiento Litología - Mena
11	X1	0	100000	0.001	No usado
12	X2	0	10000	0.001	No usado
13	CAT2	0	1000	1	Codifica taladros para categorizar
14	X5	0	0	-1	No usado
15	X6	0	10000	1	No usado
16	X7	0	10000	1	No usado
<b>Usados en la Interpolación</b>					

Tabla 3.5 File sha15.dat

<b>ARCHIVO sha15.dat</b>					
<b>N°</b>	<b>ITEM</b>	<b>MIN</b>	<b>MAX</b>	<b>PRECISION</b>	<b>DESCRIPCION</b>
1	TOPO	0	100	0.01	Porcentaje de Bloque debajo de la Topografía
2	AUID	0	100	0.01	Au Calculado por Inverso de la distancia
3	AUNN	0	100	0.01	Au Calculado por Vecino mas Cercano
4	CPO	0	5	1	Codigo Cuerpo Mineralizado
5	%CPO	0	100	0.01	Porcentaje de Bloque en cada cuerpo
6	AUID	0	1000	0.01	Distancia calculada por ID
7	AUMID	0	1000	0.01	Numero max de datos usados en cada block
8	CATEG	0	10	1	Codigo de Categorizacions de Recursos Matemática
9	CATGE	0	10	1	Codigo de Categorizacions de Recursos Geológicos
10	CAT2	0	1000	1	Codigo de Taladros para Categorizar Recursos Indicados
11	MENA	0	100	1	Codigo de Mena Interpretata
12	LITO	0	100	1	Codigo de Litología Interpretada
13	LIME	0	1000	1	Codigo de agrupamiento Litología - Mena
14	MECAT	0	1000	1	Codifica Modelo para reportar por Mena
15	LITCAT	0	1000	1	Codifica Modelo para reportar por Litología
16	LMCAT	0	1000	1	Codifica Modelo para reportar por dominio Litología - Mena
17	X1	0	100	1	Variable Temporal
18	X2	0	1000	0.1	Variable Temporal
<b>Usados en el Reporte de Recursos</b>					

Para la Estimación de Recursos de los cuerpos mineralizados 05 y 06, se cargaron en el file sha11.dat 29 sondajes diamantinos, con sus respectivas coordenadas y ensayos para la respectiva validación.

### **3.3. Metodología**

#### **3.3.1. Modelamiento del Cuerpo Mineral**

Se generaron el 1er juego de secciones cada 50 m con azimut 35° NE y un 2do juego de secciones en planta cada 10m se construyó los sólidos del cuerpo mineralizado en base a sondajes diamantinos generándose secciones según el valor de Au en ppm (>0.3ppm), estos sólidos abarca un área de 1000 m de largo por 20 m de ancho aproximadamente, diferenciándose 2 cuerpos con el mismo buzamiento y azimut.

#### **3.3.2. Modelo Litológico:**

Se realizó en base a sondajes diamantinos (según logueo geológico ítem LITO) y mapeo geológico superficial, teniendo en consideración la orientación y buzamiento de los cuerpos mineralizados, Para este Modelamiento se utilizaron las secciones perpendicular a la estructura Mineralizada cada 50m para poder contornear los contactos de cada litología, luego se generaron secciones planares cada 10m para que de igual manera contornear los contactos de cada litología; pudiéndose definir de mejor manera.

Se contorneo primero la litología pórfido, seguido de la litología arenisca, lutita y por último la Limolita (envolviendo).

Se codifico el ítem LITOI con los sólidos interpretados.

### **3.3.3. Modelo Mena:**

Se utilizaron las secciones cada 50m perpendicular a la estructura Mineralizada para poder contornear los contactos de cada mena.

Se contorneo primero el contacto oxido-sulfuros, seguido del contacto mixto que se localiza entre el contacto oxido-sulfuros.

Se codifico el ítem MENAI con los sólidos interpretados.

### **3.4. Modelamiento Obtenido y sus Ventajas Comparativas con otros Métodos**

El modelamiento obtenido se observa según las figuras expuestas a continuación, figuras 3.1, 3.2, 3.3

Las ventajas comparadas con otro método de modelamiento, es que en este modelamiento se han utilizado 2 juegos de secciones, las transversales y las planares, estas últimas para confirmar a la anterior, definiendo el rumbo de las estructuras.

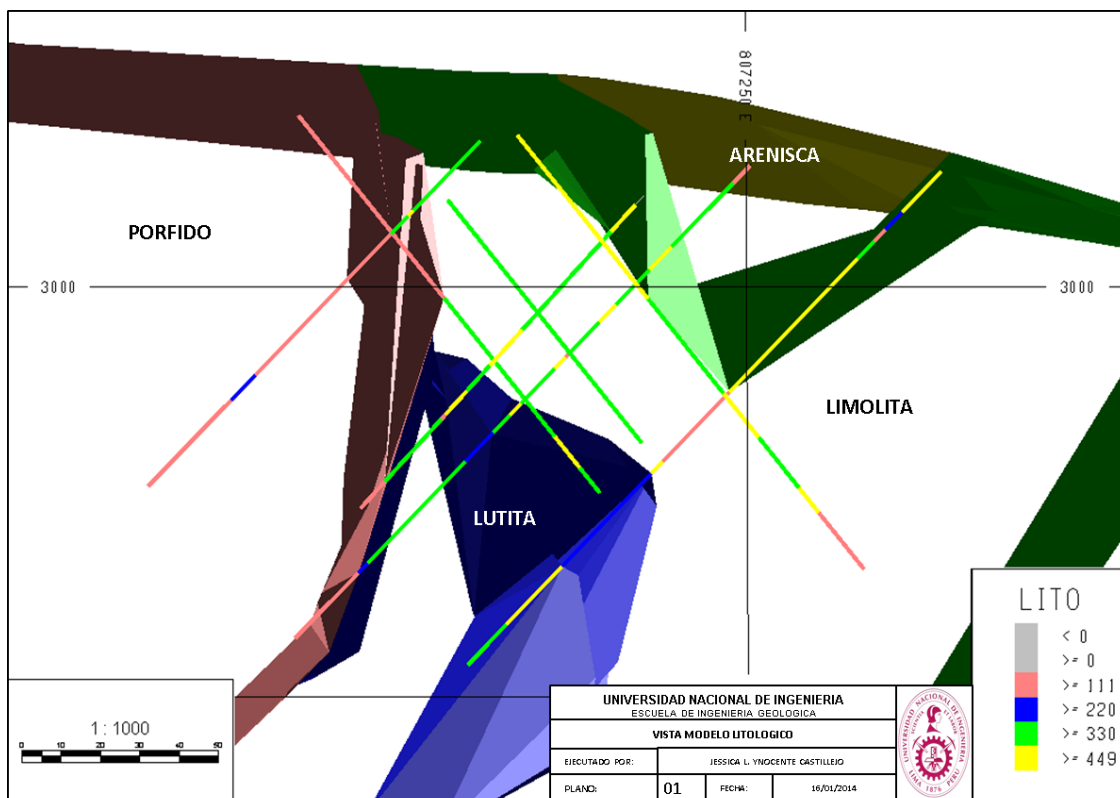


Figura 3.1 Modelamiento Litológico

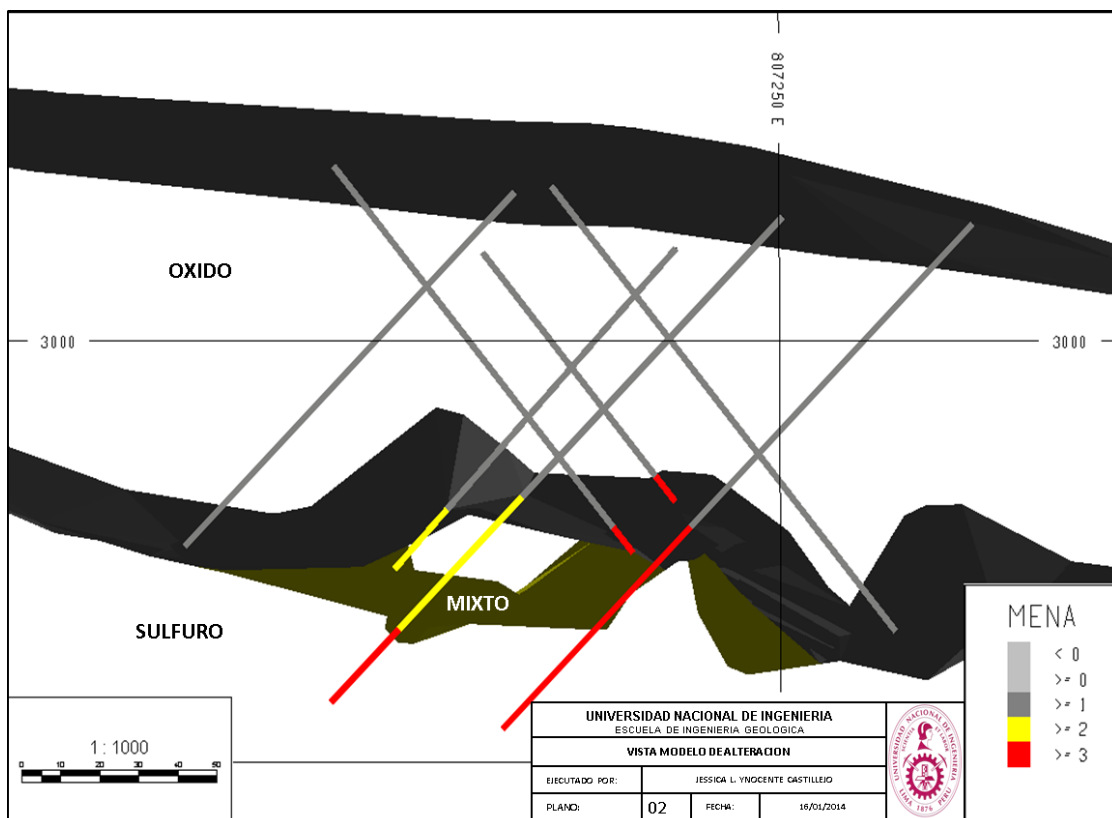


Figura 3.2 Modelamiento de Alteración Oxido, Mixto y sulfuro

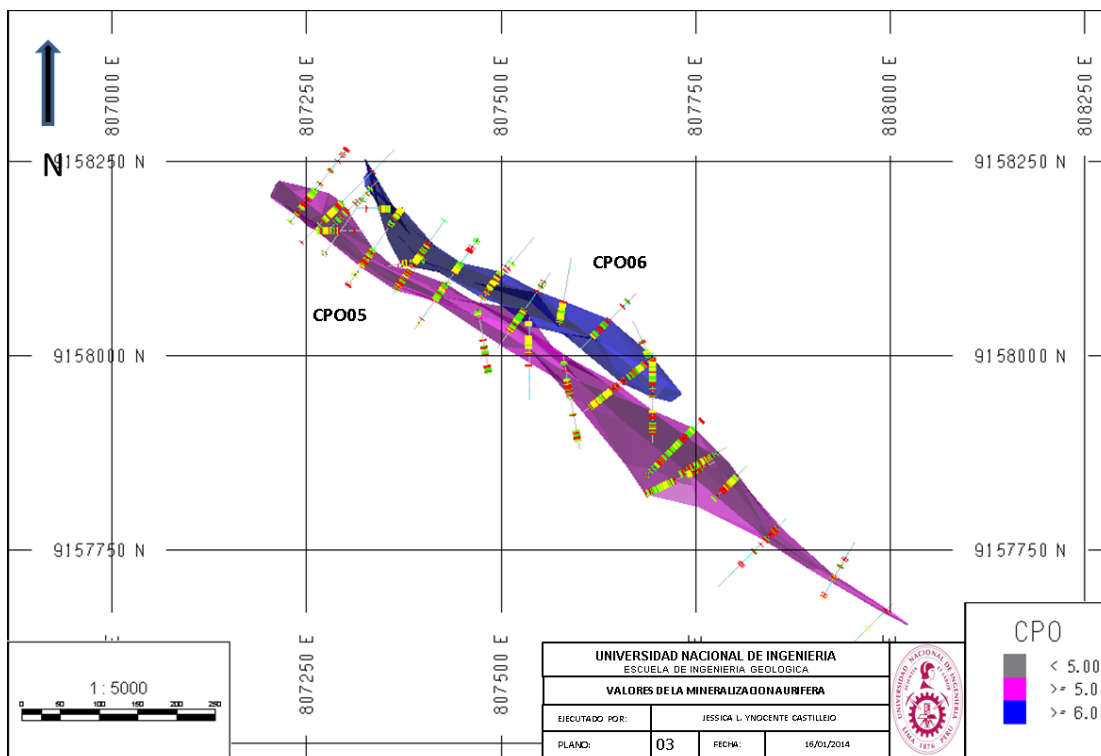


Figura 3.3 Modelamiento de los Cuerpos Mineralizados 05 y 06

## **CAPITULO IV.**

### **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.

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.



#### **4.1. 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.

#### **4.2. 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.

#### **4.3. 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.

#### **4.4. 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.

#### **4.5. 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.

#### **4.6. Aseguramiento y Control de Calidad en el Proyecto Shahuindo 2005**

El programa de exploración de Sulliden es administrado por su vicepresidente de Exploración, el ingeniero profesional Stéphane Amireault, una Persona Calificada de acuerdo con el significado del Instrumento Nacional 43-101. El Sr. Amireault ha leído y aprobado la información técnica y científica incluida en este comunicado de prensa.

Los análisis de esta campaña de perforación fueron realizados por ALS Chemex en Lima (Perú), que puso en práctica un exhaustivo programa de Control y Garantía de Calidad (QA/QC, según sus siglas en inglés). Todos los laboratorios de ALS Chemex son laboratorios registrados bajo la norma ISO 9000. Los ensayos de oro se obtuvieron mediante el método estándar de ensayo al fuego de 50 gramos con acabado AA. Los valores de oro de más de 10g/t Au se obtuvieron mediante ensayo al fuego y acabado gravimétrico. Los ensayos de plata se obtuvieron mediante disolución con agua regia seguida de medición ICP-AES (Plasma acoplado inductivamente espectrometría de emisión atómica). Para los valores de plata de más de 100g/t Ag, después del proceso de agua regia se hizo una lectura de espectrómetro de Absorción Atómica. Para los valores de plata de más de 1000g/t Ag, se realizó un ensayo al fuego de 30g con acabado gravimétrico.

La base de datos de perforación utilizada para la estimación de recursos de 2005, consta de datos de diversas fuentes. Los párrafos siguientes proporcionan

una visión general de la verificación de los datos realizado en las diferentes campañas de exploración.

**Asarco 1994-1996**, perforó 57 pozos de perforación diamantina y 31 pozos de circulación inversa.

**Sur del Perú 1998**, el sur de Perú realizó dieciocho (18) taladros de perforación diamanta y ochenta (80) taladros de circulación inversa.

**Amec 2002**, Amec realizó una revisión del Proyecto Shahuindo, en nombre de Sulliden. Durante dicha revisión, Amec recogió un número limitado de muestras (14) taladros de Asarco y sur de Perú.

**Sulliden 2003**, Se analizaron un total de 2.435 por Au.

**Met-Chem 2003**, Durante la visita de Met-Chem se almaceno en Cajamarca un total de 27 muestras de núcleo partido y 43 rechazos, fueron enviados a un segundo laboratorio , para su validación

**Sulliden 2004**, se analizaron un total de 5.845 muestras por Au

**Met-Chem 2004**, Durante la visita de Met-Chem se almacenaron en Cajamarca un total de 22 muestras de núcleo partido y se envió a un segundo laboratorio (ACT Lab).

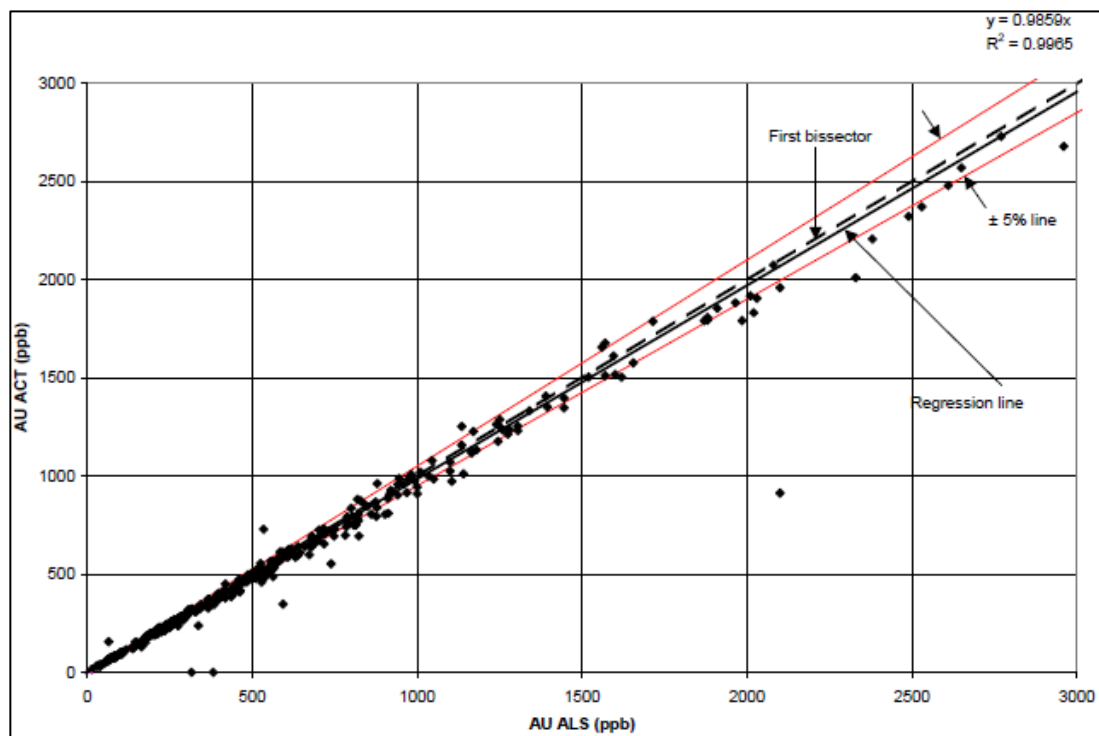


Figura 4.1 2004 Au Pulp Check ALS vs ACT Lab

## **CAPITULO V.**

### **ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS**

El análisis exploratorio de datos (EDA por sus siglas en inglés) es la aplicación de herramientas que muestran el comportamiento estadístico de los datos. Los resultados de este análisis son usados para definir los dominios y parámetros que controlaran el proceso de interpolación del modelo de bloques.

#### **5.1. Distribución Espacial**

Las figuras 5.1 y 5.2 (vista en planta y tridimensional 3D) muestra la distribución de los sondajes en la zona donde se encuentra la estructura Mineralizada, los sondajes muestran una orientación preferencial NE– SW. La figura 5.3 es una sección transversal de la estructura mineralizada Shahuindo, y en la tabla 5.1 se muestra los códigos y colores utilizados en el cálculo.

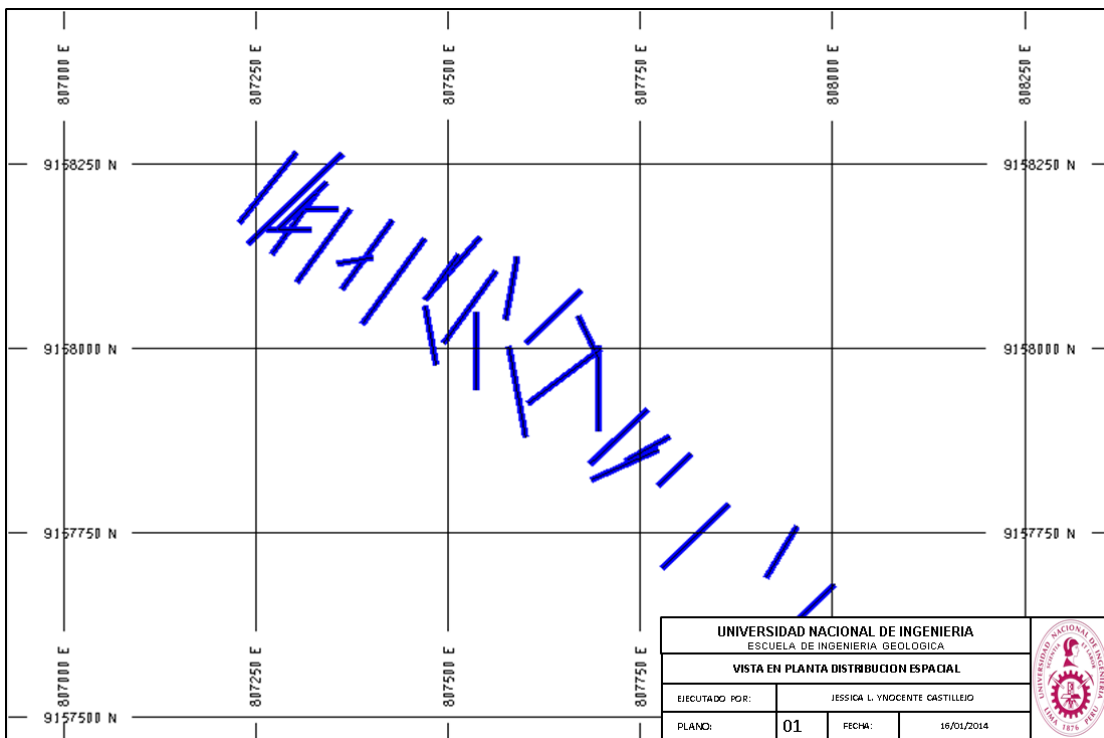


Figura 5.1 Vista en Planta de la Distribución de los Sondajes

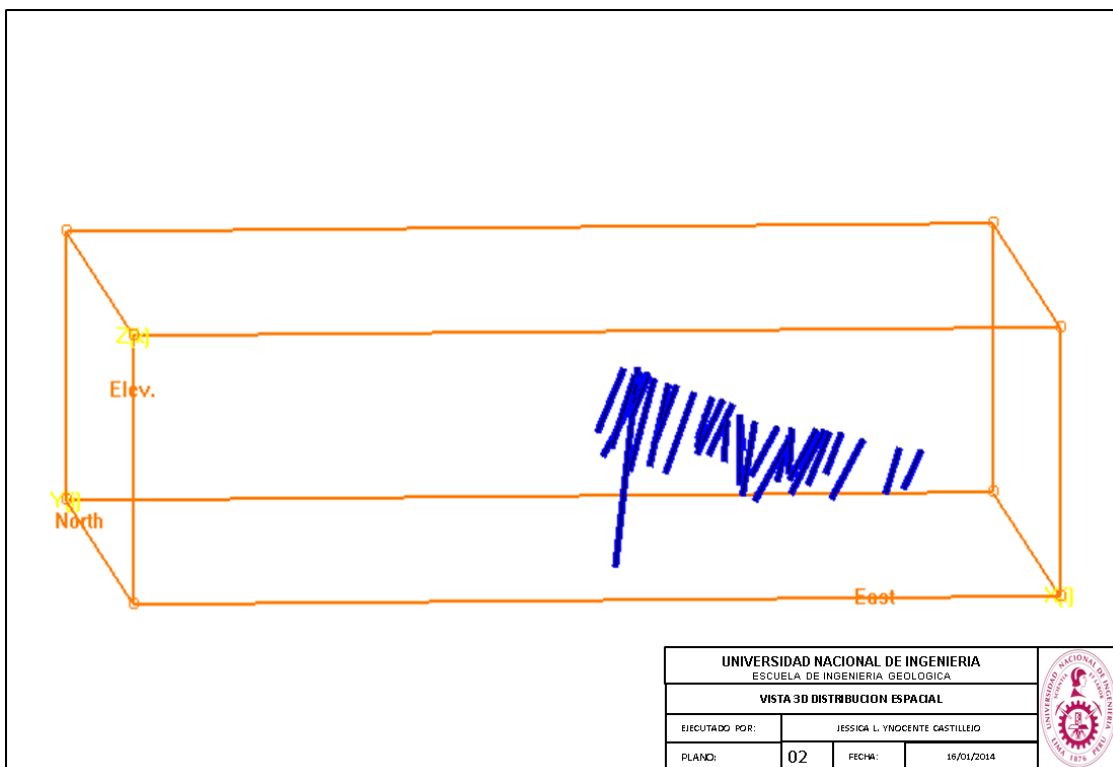


Figura 5.2 Vista 3D de la Distribución de Sondajes

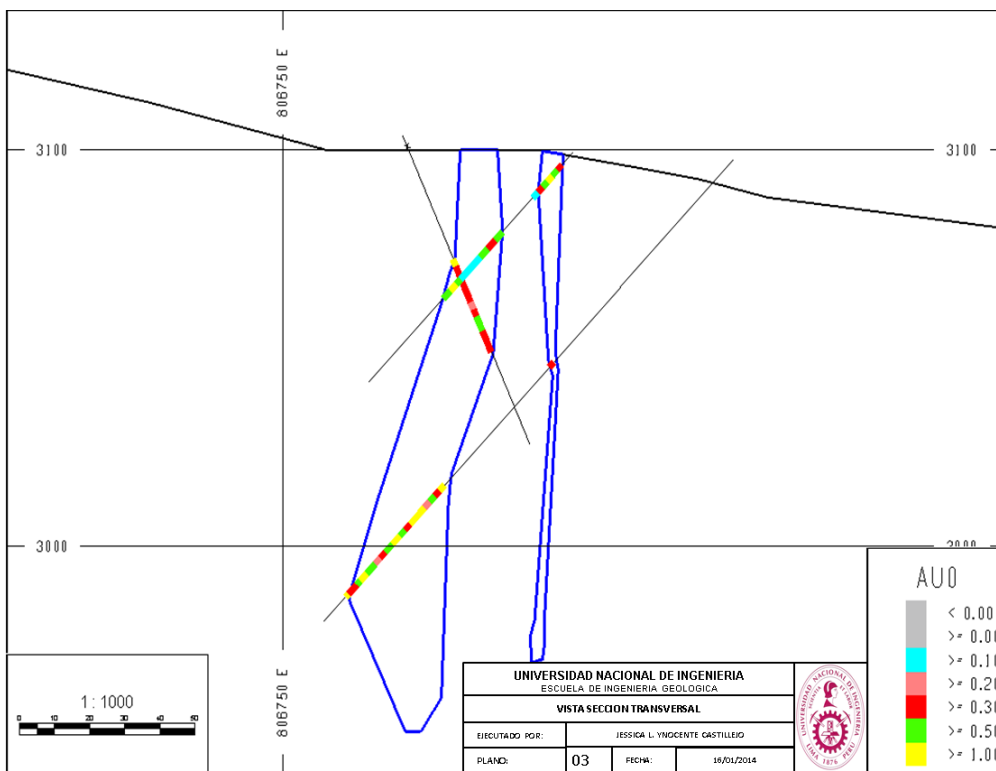


Figura 5.3 Sección Transversal Cuerpo Mineralizado

Tabla 5.1 Tabla de Leyenda y Colores

LEYENDA			
<b>CUERPOS MINERALIZADO</b>	<b>COD CUERPO</b>		
SHAHUINDO 05	5		
SHAHUINDO 06	6		
<b>LITOLOGIA</b>	<b>COD LITO</b>	<b>LITOLOGIA</b>	<b>COD LITO</b>
PORFIDO	111	PORFIDO	1
LUTITAS	220	LUTITAS	2
LIMOLITAS	330	LIMOLITAS	3
ARENISCAS	449	ARENISCAS	4
<b>MENA</b>	<b>COD MENA</b>	<b>MENA</b>	<b>COD MENA</b>
OXIDOS	1	OXIDOS	1
MIXTO	2	MIXTO	2
SULFUROS	3	SULFUROS	3
<b>LITO - MENA</b>	<b>COD LIME</b>		
PORFIDO OXIDO	11		
PORFIDO MIXTO	12		
PORFIDO SULFUROS	13		
LUTITA OXIDOS	21		
LUTITA MIXTO	22		
LUTITA SULFUROS	23		
LIMOLITA OXIDO	31		
LIMOLITA MIXTO	32		
LIMOLITA SULFURO	33		
ARENISCA OXIDO	41		
ARENISCAS MIXTOS	42		
ARENISCAS SULFUROS	43		

### 5.1.1. Medidas Estadísticas

#### 5.1.1.1. *Cuerpo Mineralizado*

Tabla 5.2 Estadística Básica de los Cuerpo mineralizado \_ASSAY

CPO	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	652	1.07	0.57	0.44	0.00	0.34	35.00	1.02	4.63	2.15	2.00	9.16	116.99
6	448	1.15	0.56	0.24	0.01	0.30	14.05	1.28	2.87	1.69	1.47	3.77	18.35

En la tabla 5.2 se observa la estadística básica de los cuerpos mineralizados (cuerpos modelados con cut off > 0.3 ppm Au)

##### 5.1.1.1.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.2, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en el cuerpo 06, debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 1.15) 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 0.56 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondajes con leyes muy bajas (0.24 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.3 ppm Au y el y 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 1.28 ppm Au.

Con respecto al cuerpo 05 el análisis de las medidas de posición es similar al del cuerpo 06, observándose notoriamente que la media de esta es menor que la de la del cuerpo 06.



#### 5.1.1.1.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en el cuerpo 06, se analiza la medida de dispersión del cuerpo 06. 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 mayor respecto a su media (2.87), 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 mayor que la media (media = 1.15 < desv. std.= 1.69). Esta medida de dispersión es importante porque su valor está 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 denotarían la presencia de una mayor dispersión y ello refleja una menor representatividad.

#### 5.1.1.1.3. Medidas de forma

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.

### 5.1.1.2. Litología

Tabla 5.3 Estadística Básica Total- LITO\_ASSAY

LITO	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
111	388	0.25	0.04	0.02	0.00	0.01	10.55	0.14	0.83	0.91	3.58	6.92	58.38
220	414	0.56	0.21	0.05	0.00	0.06	23.20	0.51	2.67	1.63	2.91	9.25	106.94
330	1116	0.48	0.16	0.03	0.01	0.05	14.05	0.49	0.94	0.97	2.04	6.08	55.36
449	456	0.87	0.33	0.22	0.01	0.16	35.00	0.85	4.58	2.14	2.47	10.41	148.24
530	385	0.49	0.19	0.05	0.00	0.09	10.90	0.45	1.03	1.01	2.05	5.64	41.86

Tabla 5.4 Estadística Básica Total- LITOI\_ASSAY

LITOI	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
1	305	0.36	0.05	0.01	0.00	0.01	10.55	0.25	1.06	1.03	2.88	5.87	43.03
2	533	0.57	0.17	0.05	0.00	0.06	35.00	0.44	4.38	2.09	3.64	11.71	166.88
3	1904	0.54	0.19	0.03	0.00	0.06	14.70	0.55	1.24	1.11	2.08	6.05	50.98
4	18	0.25	0.23	0.41	0.04	0.11	0.62	0.38	0.02	0.16	0.62	0.62	-0.19

En las tablas 5.3 se observa la estadística básica total en los sondajes del ítem LITO (ítem que almacena los códigos según logueo geológico) y en la tabla 5.4 se observa la estadística básica total en los sondajes del ítem LITOI (ítem que almacena los códigos según la codificación con los sólidos litológicos interpretados), comparando ambas tablas se observa en primer lugar que en la tabla 5.4 no tenemos el código 5 (cuarzita) en el ítem LITOI que es equivalente al código 530 en el ítem LITO, esto debido a que no se modelo por tener poca cantidad de muestras y un promedio menor de 0.49 ppm de AU, también observamos que la cantidad de muestras y promedios del ítem LITOI son cercanas a los valores originales del ítem LITO, por tal motivo a partir de ahora solo consideraremos el ítem LITOI en nuestros cálculos.

#### 5.1.1.2.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.4, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en la litología identificada como Lutita, debido a que la media depende de

todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 0.57) 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 0.17 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondajes con leyes muy bajas (0.05 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.06 ppm Au y el y 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 0.44 ppm Au.

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

#### 5.1.1.2.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en la litología identificada como lutita, se analiza la medida de dispersión de la litología lutita. 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 mayor respecto a su media (4.38), 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 mayor que la media (media = 0.57 < desv. std.= 2.09). 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.

### 5.1.1.2.3. Medidas de forma

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.

**Tabla 5.5** Estadística Básica por Cuerpo-LITO\_ASSAY

CPO	LITO	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	111	34	0.51	0.22	0.21	0.04	0.16	3.76	0.45	0.62	0.78	1.53	3.12	9.98
5	220	132	1.15	0.49	0.37	0.01	0.30	23.20	0.89	7.36	2.71	2.36	5.73	38.53
5	330	263	1.03	0.65	1.40	0.03	0.37	8.94	1.10	1.57	1.25	1.21	3.39	14.00
5	449	166	1.30	0.67	0.31	0.10	0.37	35.00	1.11	9.49	3.08	2.38	8.69	89.36
5	530	56	0.78	0.60	0.43	0.08	0.40	4.21	1.01	0.46	0.68	0.87	2.93	11.90
6	111	32	1.79	0.52	0.19	0.01	0.16	10.55	2.88	6.18	2.49	1.39	1.99	4.19
6	220	59	0.70	0.48	0.37	0.02	0.28	2.98	0.89	0.36	0.60	0.87	1.78	3.27
6	330	201	0.94	0.54	0.03	0.01	0.30	14.05	1.05	2.03	1.43	1.52	5.48	41.00
6	449	88	1.52	0.90	1.10	0.06	0.37	12.44	2.02	4.00	2.00	1.32	2.99	11.34
6	530	64	1.47	0.54	0.34	0.08	0.35	10.90	1.53	4.12	2.03	1.38	2.63	7.98

**Tabla 5.6** Estadística Básica por Cuerpo-LITOI\_ASSAY

CPO	LITOI	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	16	0.80	0.44	0.44	0.04	0.13	3.76	0.85	1.12	1.06	1.32	2.06	3.70
5	2	147	1.45	0.51	0.54	0.05	0.30	35.00	1.06	14.38	3.79	2.62	6.52	49.53
5	3	488	0.97	0.61	0.39	0.01	0.36	14.70	1.04	1.79	1.34	1.38	5.11	36.08
6	1	37	1.72	0.59	0.24	0.07	0.28	10.55	2.30	5.29	2.30	1.34	2.25	5.56
6	2	107	0.48	0.31	0.22	0.01	0.17	2.98	0.57	0.27	0.52	1.08	2.37	6.69
6	3	295	1.33	0.69	0.42	0.01	0.38	14.05	1.53	3.36	1.83	1.38	3.56	16.21

En las tablas 5.5 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondajes del ítem LITO (ítem que almacena los códigos según logueo geológico) y en la tabla 5.6 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondajes del ítem LITOI (ítem que almacena los códigos según la codificación con los sólidos litológicos interpretados), comparando ambas tablas se observa en primer lugar que en la tabla 5.6 no tenemos el código 4 (Arenisca) en el ítem LITOI que es equivalente al código 449 en el ítem LITO, debido a que el modelamiento de la litología arenisca se encuentra fuera del cuerpo mineralizado, también observamos

que la cantidad de muestras y promedios del ítem LITOI son cercanas a los valores originales del ítem LITO, por tal motivo a partir de ahora solo consideraremos el ítem LITOI en nuestros cálculos.

### 5.1.1.3. Mena

Tabla 5.7 Estadística Básica por Total- MENA\_ASSAY

MENA	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
1	1673	0.50	0.19	0.03	0.00	0.06	14.05	0.49	1.07	1.03	2.08	6.10	52.01
2	255	0.64	0.23	0.14	0.00	0.10	14.70	0.57	2.10	1.45	2.27	5.83	43.02
3	877	0.52	0.11	0.05	0.00	0.04	35.00	0.44	3.10	1.76	3.36	12.43	205.52

Tabla 5.8 Estadística Básica por Total- MENAI\_ASSAY

MENAI	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
1	1634	0.50	0.19	0.03	0.00	0.06	14.05	0.49	1.09	1.04	2.08	6.07	51.33
2	256	0.63	0.23	0.04	0.00	0.10	14.70	0.53	2.10	1.45	2.30	5.84	43.23
3	884	0.52	0.11	0.05	0.00	0.04	35.00	0.44	3.07	1.75	3.35	12.47	206.95

En las tablas 5.7 se observa la estadística básica total en los sondeos del ítem MENA (ítem que almacena los códigos según logueo geológico) y en la tabla 5.8 se observa la estadística básica total en los sondeos del ítem MENAI (ítem que almacena los códigos según la codificación con los sólidos litológicos interpretados), comparando ambas tablas se observa que la cantidad de muestras y promedios del ítem MENAI son cercanas a los valores originales del ítem MENA, por tal motivo a partir de ahora solo consideraremos el ítem MENAI en nuestros cálculo.

#### 5.1.1.3.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.8, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en la mena identificada como mixto, debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 0.63) 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 0.23 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondajes con leyes muy bajas (0.04 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.1 ppm Au y el 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 0.53 ppm Au.

Con respecto a las demás menas (Oxido y Sulfuro) el análisis de las medidas de posición es similar a la de la mena mixto, observándose notoriamente que la media de estas es mucho menor que la mena mixto.

#### 5.1.1.3.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en la mena identificada como mixto, se analiza la medida de dispersión de la mena mixto. 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 mayor respecto a su media (2.10), 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 mayor que la media (media = 0.63 < desv. std.= 1.45). Esta medida de dispersión es importante porque su valor está expresado en las mismas unidades de los datos originales. El coeficiente de variación para cada mena 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.

### 5.1.1.3.3. Medidas de forma

De los cálculos realizados para los distintos tipos de mena 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.

**Tabla 5.9** Estadística Básica por Cuerpo- MENA\_ASSAY

CPO	MENA	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	222	0.80	0.59	0.38	0.12	0.37	7.12	0.99	0.57	0.76	0.95	3.96	24.70
5	2	130	1.03	0.41	0.20	0.07	0.23	14.70	0.82	3.63	1.91	1.85	4.43	23.95
5	3	300	1.30	0.60	0.44	0.00	0.37	35.00	1.15	7.98	2.83	2.18	7.98	80.81
6	1	403	1.22	0.59	0.24	0.01	0.34	14.05	1.32	3.08	1.76	1.44	3.65	16.98
6	2	23	0.59	0.19	0.09	0.02	0.10	3.75	0.60	0.84	0.92	1.56	2.55	6.55
6	3	22	0.52	0.31	0.26	0.03	0.16	1.99	0.59	0.30	0.55	1.06	1.80	2.66

**Tabla 5.10** Estadística Básica por Cuerpo- MENAI\_ASSAY

CPO	MENAI	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	218	0.80	0.59	0.38	0.12	0.37	7.12	0.99	0.58	0.76	0.95	3.94	24.47
5	2	130	1.03	0.41	0.20	0.07	0.23	14.70	0.82	3.63	1.91	1.85	4.44	23.95
5	3	304	1.29	0.60	0.44	0.00	0.37	35.00	1.15	7.89	2.81	2.18	8.03	81.84
6	1	394	1.22	0.59	0.24	0.01	0.34	14.05	1.32	3.14	1.77	1.45	3.62	16.67
6	2	22	0.57	0.18	0.09	0.02	0.10	3.75	0.51	0.87	0.93	1.64	2.61	6.70
6	3	23	0.54	0.31	0.26	0.03	0.16	1.99	0.72	0.30	0.55	1.01	1.63	2.09

En las tablas 5.9 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondeos del ítem MENA (ítem que almacena los códigos según logueo geológico) y en la tabla 5.10 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondeos del ítem MENAI (ítem que almacena los códigos según la codificación con los sólidos litológicos interpretados), comparando ambas tablas se observa que la cantidad de muestras y promedios del ítem MENAI son cercanas a los valores originales del ítem MENA, por tal motivo a partir de ahora solo consideraremos el ítem MENAI en nuestros cálculos.

Tabla 5.11 Estadística Básica por Cuerpo- LITOI\_LITO\_ASSAY

CPO	LITOI	LITO	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
				MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	111	11	0.93	0.44	0.13	0.04	0.12	3.76	1.76	1.59	1.26	1.35	1.58	1.44
5	1	449	5	0.51	0.44	0.44	0.32	0.37	0.94	0.69	0.06	0.25	0.48	2.00	4.29
5	2	220	111	1.15	0.48	0.15	0.05	0.26	23.20	0.91	7.00	2.65	2.31	6.14	45.54
5	2	330	10	0.59	0.45	*	0.13	0.31	1.51	0.87	0.16	0.41	0.69	1.45	2.20
5	2	449	21	3.76	1.27	0.34	0.34	0.55	35.00	2.96	59.45	7.71	2.05	3.75	14.90
5	2	530	5	0.13	0.14	*	0.08	0.09	0.16	0.16	0.00	0.04	0.31	-0.46	-3.13
5	3	111	23	0.31	0.22	0.21	0.12	0.20	1.37	0.38	0.07	0.27	0.85	3.22	11.76
5	3	220	21	1.17	0.50	*	0.01	0.34	14.70	0.77	9.69	3.11	2.66	4.52	20.62
5	3	330	253	1.05	0.66	1.40	0.03	0.37	8.94	1.14	1.62	1.27	1.21	3.33	13.46
5	3	449	140	0.96	0.63	0.31	0.10	0.33	10.60	1.06	1.66	1.29	1.35	5.18	33.33
5	3	530	51	0.84	0.63	0.43	0.16	0.43	4.21	1.06	0.46	0.68	0.81	3.03	12.20
6	1	111	22	2.50	1.64	*	0.07	0.23	10.55	3.77	7.39	2.72	1.09	1.53	2.43
6	1	220	9	0.62	0.41	*	0.18	0.28	1.47	1.03	0.22	0.46	0.75	1.10	-0.14
6	1	330	6	0.52	0.40	0.37	0.21	0.33	1.17	0.74	0.12	0.34	0.65	1.78	3.53
6	2	111	3	0.19	0.02	*	0.01	0.01	0.53	0.53	0.09	0.30	1.59	1.73	*
6	2	220	49	0.71	0.48	0.37	0.02	0.27	2.98	0.90	0.40	0.63	0.90	1.79	3.08
6	2	330	20	0.21	0.18	0.03	0.01	0.03	0.79	0.29	0.04	0.21	1.00	1.40	1.84
6	2	449	23	0.31	0.22	0.09	0.06	0.11	1.30	0.31	0.10	0.32	1.02	2.10	4.09
6	2	530	12	0.40	0.34	*	0.14	0.20	0.99	0.47	0.07	0.26	0.66	1.43	1.58
6	3	111	7	0.22	0.19	*	0.11	0.12	0.52	0.25	0.02	0.14	0.63	2.03	4.54
6	3	220	1	0.86	0.86	*	0.86	*	0.86	*	*	*	*	*	*
6	3	330	172	1.05	0.60	0.42	0.01	0.35	14.05	1.13	2.28	1.51	1.44	5.19	36.36
6	3	449	60	1.99	1.10	1.10	0.24	0.60	12.44	2.74	5.02	2.24	1.12	2.58	8.14
6	3	530	52	1.72	0.74	0.34	0.08	0.38	10.90	2.25	4.74	2.18	1.27	2.33	6.18

En la siguiente tabla 5.11 se observa la estadística básica por cuerpo del ítem LITO dentro del ítem LITOI, esto para identificar que litologías del ítem LITO (data original) están considerados dentro del ítem LITOI (data interpretada), observándose cantidad de muestras con sus respectivos promedios

En la siguiente tabla 5.12 se observa la estadística básica por cuerpo del ítem LIMEI (ítem que almacena la codificación que resulta de la ecuación  $LIME=LITOI*10+MENAI$ ), teniendo como dominio el ítem MENAI.

Los datos de la Geoquímica, sondajes etc., la base de datos se acompaña en el anexo I



Tabla 5.12 Estadística Básica por Cuerpo- LIMEI\_ASSAY

CPO	LIME	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	11	1	0.12	0.12	*	0.12	*	0.12	*	*	*	*	*	*
5	12	1	1.76	1.76	*	1.76	*	1.76	*	*	*	*	*	*
5	13	14	0.78	0.44	0.44	0.04	0.13	3.76	0.66	1.18	1.09	1.39	2.25	4.41
5	21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	22	24	0.30	0.16	0.16	0.07	0.11	0.92	0.52	0.06	0.24	0.82	1.01	0.03
5	23	123	1.67	0.54	0.54	0.05	0.35	35.00	1.25	16.88	4.11	2.46	5.98	41.56
5	31	217	0.80	0.59	0.38	0.12	0.38	7.12	1.00	0.58	0.76	0.95	3.95	24.48
5	32	105	1.19	0.49	0.20	0.10	0.28	14.70	1.05	4.34	2.08	1.75	4.01	19.34
5	33	166	1.05	0.66	0.41	0.01	0.40	10.60	1.15	1.71	1.31	1.24	4.28	25.04
6	11	31	1.98	1.17	0.37	0.07	0.37	10.55	2.90	5.90	2.43	1.23	2.02	4.40
6	12	5	0.42	0.24	*	0.10	0.14	1.25	0.79	0.22	0.47	1.14	2.07	4.41
6	13	1	0.31	0.31	*	0.31	*	0.31	*	*	*	*	*	*
6	21	77	0.50	0.35	0.22	0.01	0.20	2.98	0.60	0.27	0.52	1.04	2.49	7.71
6	22	13	0.17	0.12	0.09	0.02	0.09	0.60	0.25	0.02	0.15	0.89	1.92	4.33
6	23	17	0.61	0.43	*	0.06	0.20	1.99	0.86	0.35	0.59	0.96	1.48	1.42
6	31	286	1.34	0.69	0.42	0.01	0.39	14.05	1.54	3.42	1.85	1.38	3.56	16.10
6	32	4	2.05	1.98	*	0.48	0.69	3.75	3.48	2.09	1.45	0.71	0.21	-2.16
6	33	5	0.33	0.22	*	0.03	0.06	1.05	0.66	0.17	0.42	1.27	1.95	3.99

### 5.1.2. Gráficos Estadísticos

Gráfico y gráfica son las denominaciones de la representación de datos, generalmente numéricos, mediante recursos gráficos (líneas, vectores, superficies o símbolos), para que se manifieste visualmente la relación matemática o correlación estadística que guardan entre sí. También es el nombre de un conjunto de puntos que se plasman en coordenadas cartesianas y sirven para analizar el comportamiento de un proceso o un conjunto de elementos o signos que permiten la interpretación de un fenómeno. La representación gráfica permite establecer valores que no se han obtenido experimentalmente sino mediante la interpolación (lectura entre puntos) y la extrapolación (valores fuera del intervalo experimental).

#### 5.1.2.1. 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 9 histogramas entre cuerpo Mineralizado, Litológico y mena en el área de trabajo.

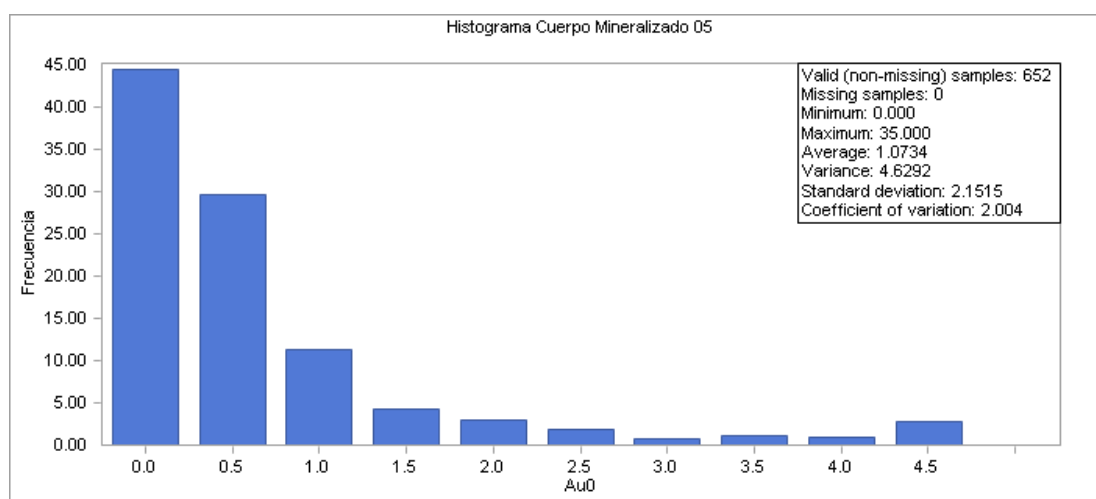


Figura 5.4 Histograma del Cuerpo Mineralizado 05

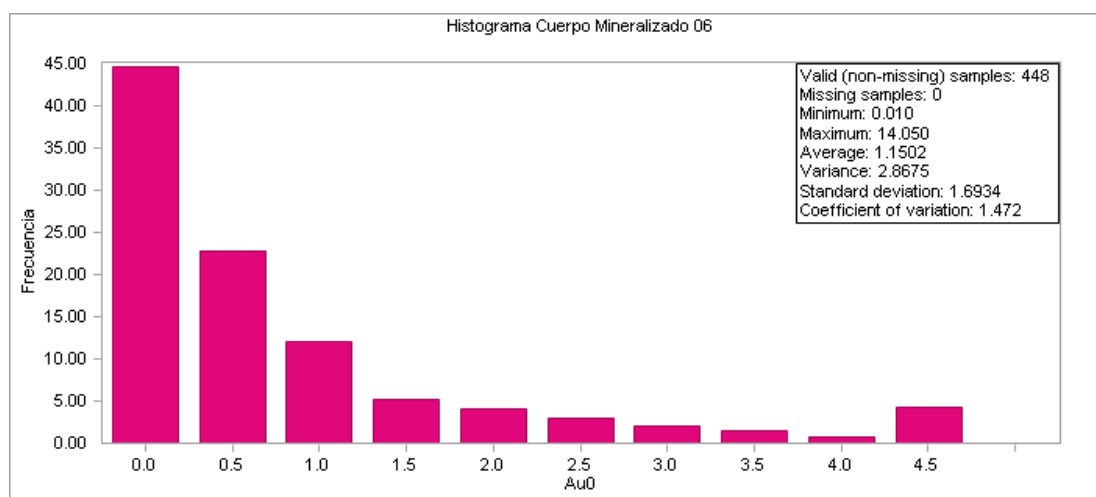


Figura 5.5 Histograma del Cuerpo Mineralizado 06

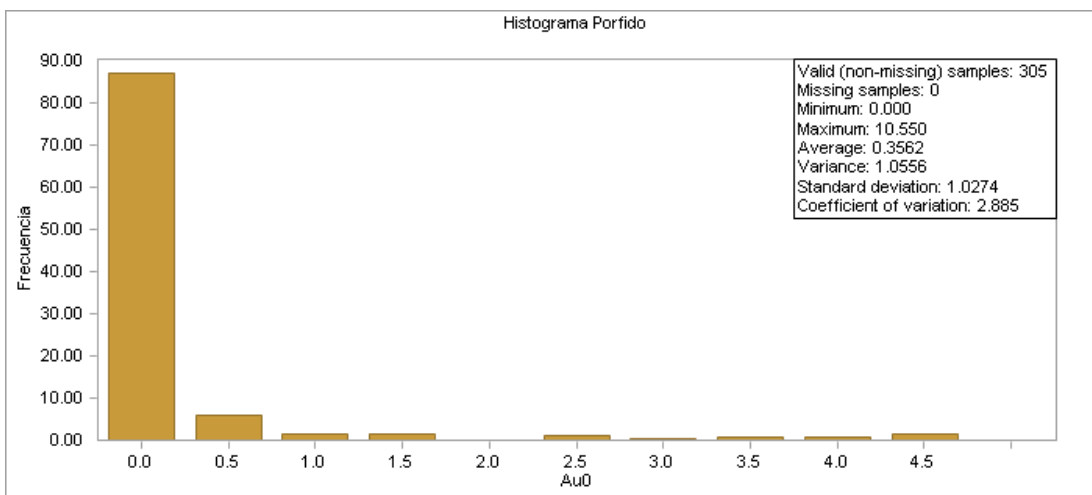


Figura 5.6: Histograma Litología Pórfido

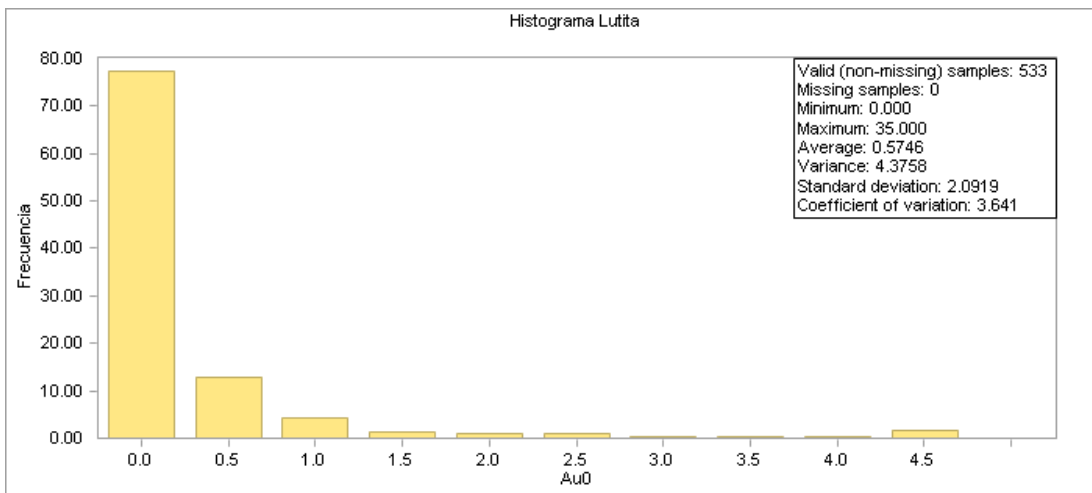


Figura 5.7 Histograma Litología Lutita

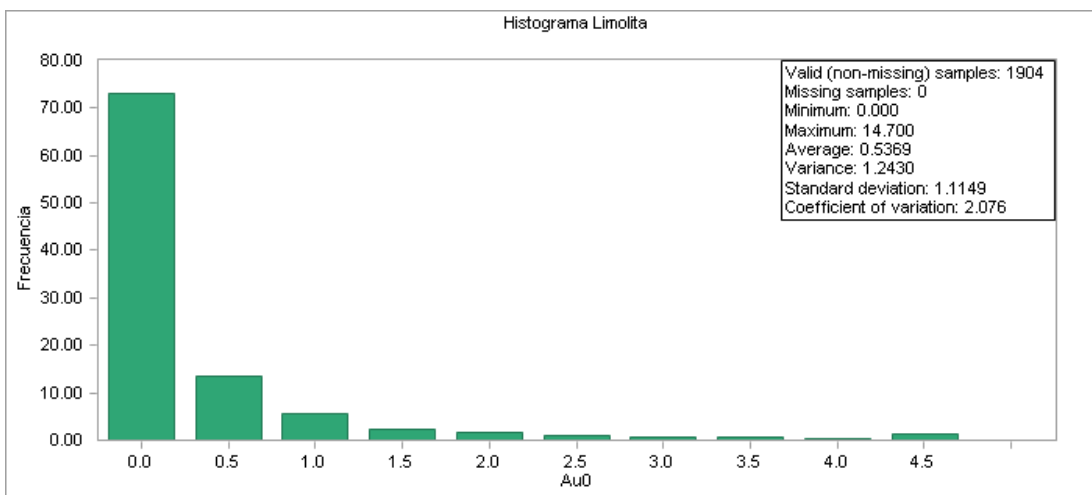


Figura 5.8 Histograma Litología Limolita

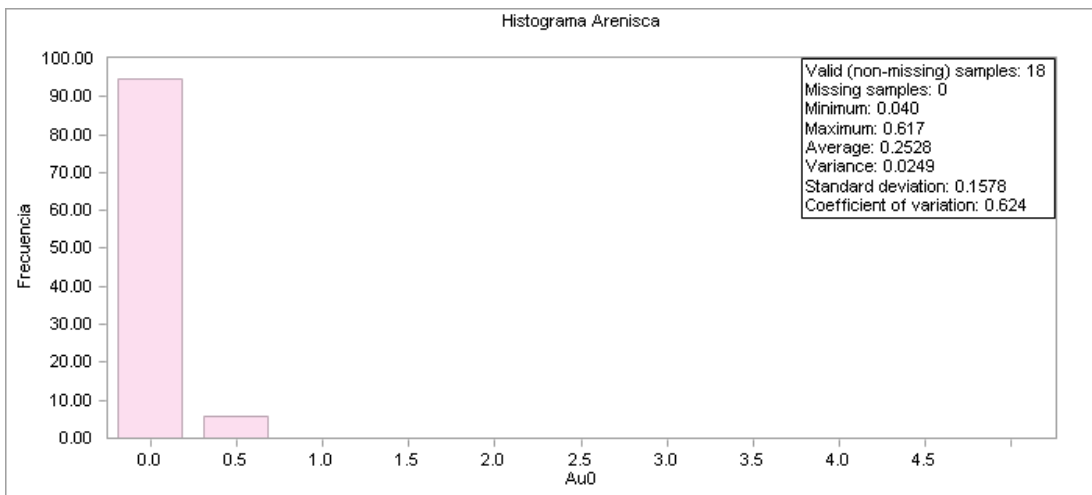


Figura 5.9 Histograma Litología Arenisca

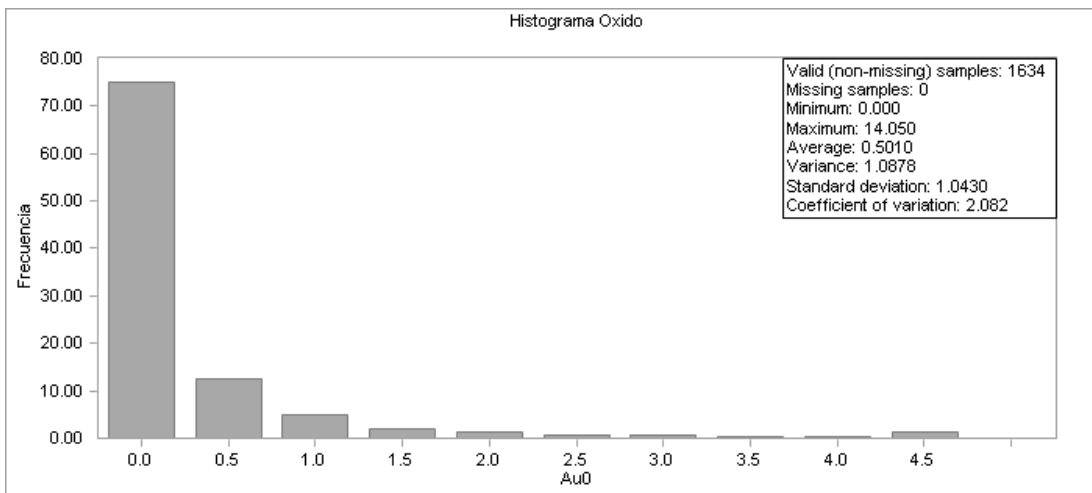


Figura 5.10 Histograma Mena Oxido

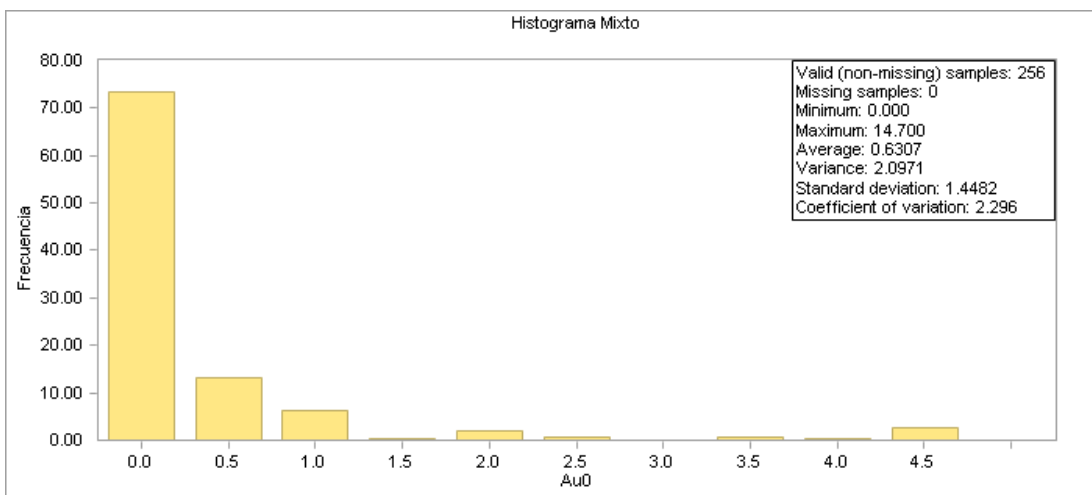


Figura 5.11 Histograma Mena Mixto

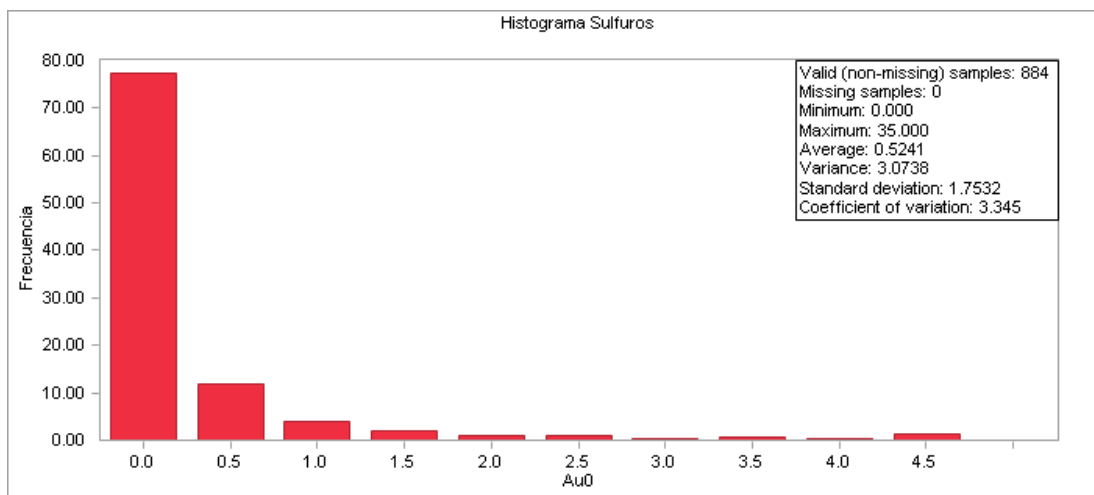


Figura 5.12 Histograma Mena Sulfuro

#### 5.1.2.1.1. Interpretación de los Resultados

Los 9 histogramas (figuras 5.4 a 5.12) presentan un sesgo positivo (observar la tendencia de 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.

#### 5.1.2.2. Gráfico de Curvas de Probabilidad

El gráfico de curvas de probabilidad 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 09 gráficos de curva de probabilidad realizados para cada cuerpo Mineralizado, Litológico y mena en el área de trabajo.

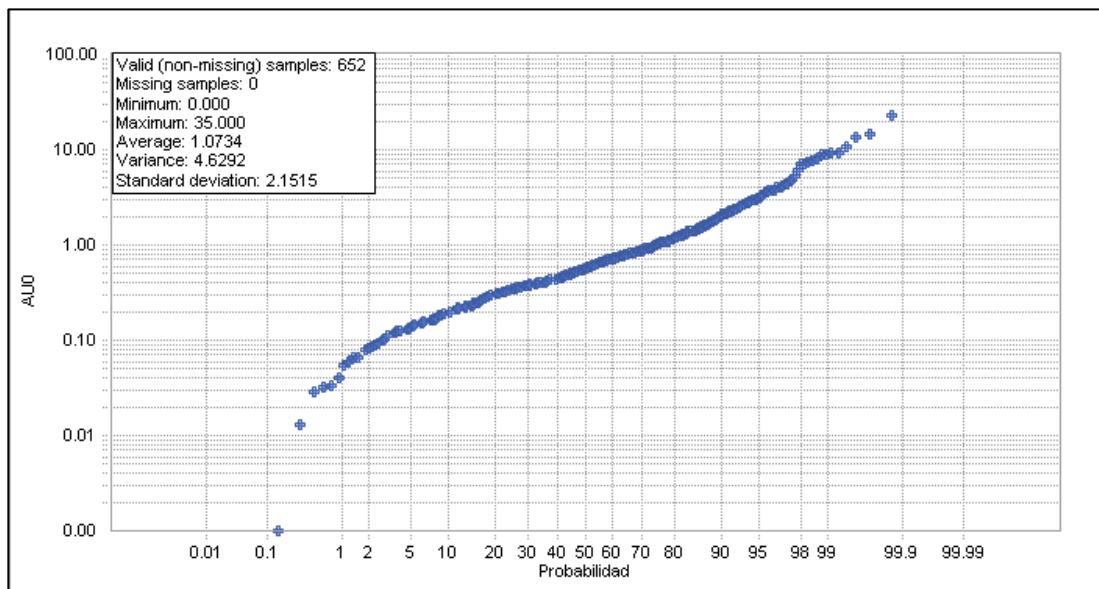


Figura 5.13 Grafico de curvas de probabilidad del cuerpo mineralizado 05

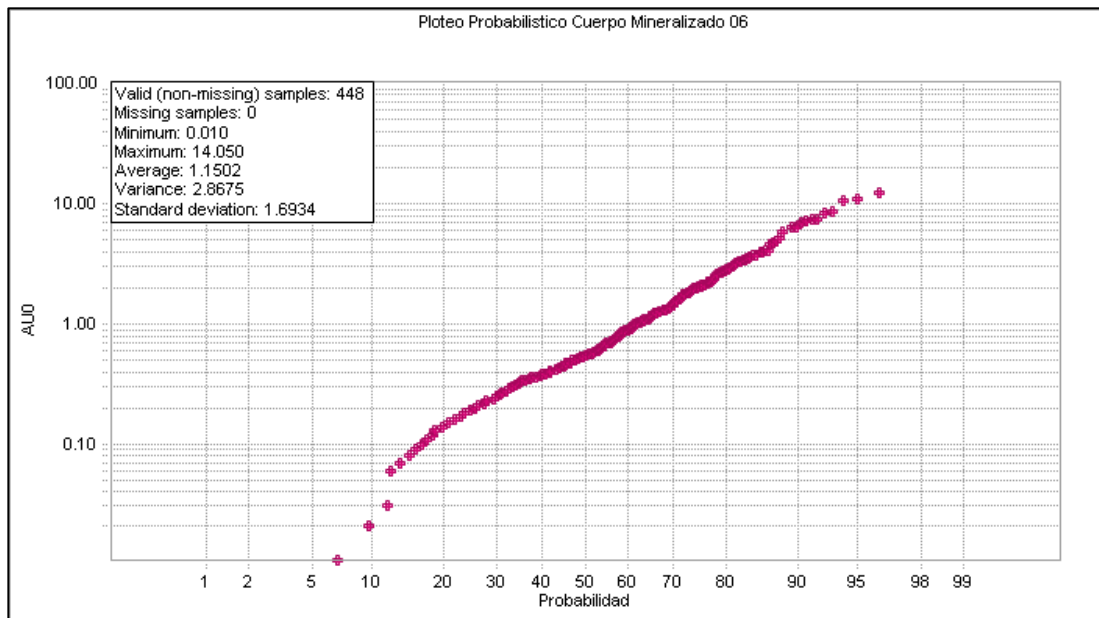


Figura 5.14 Grafico de curvas de probabilidad del Cuerpo mineralizado 06

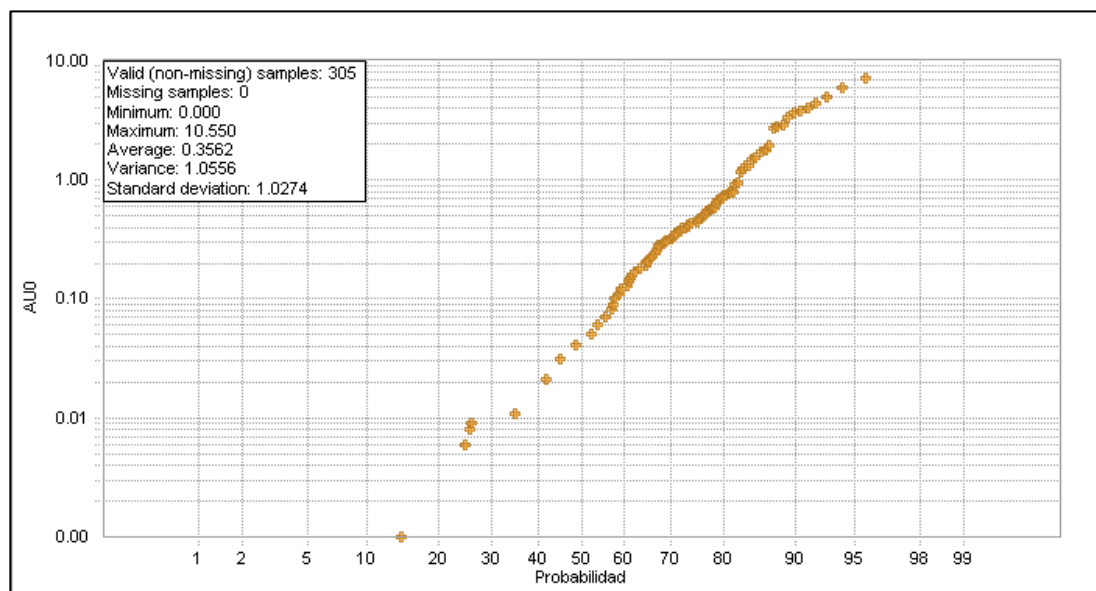


Figura 5.15 Gráfico de curvas de probabilidad de Litología Pórfido

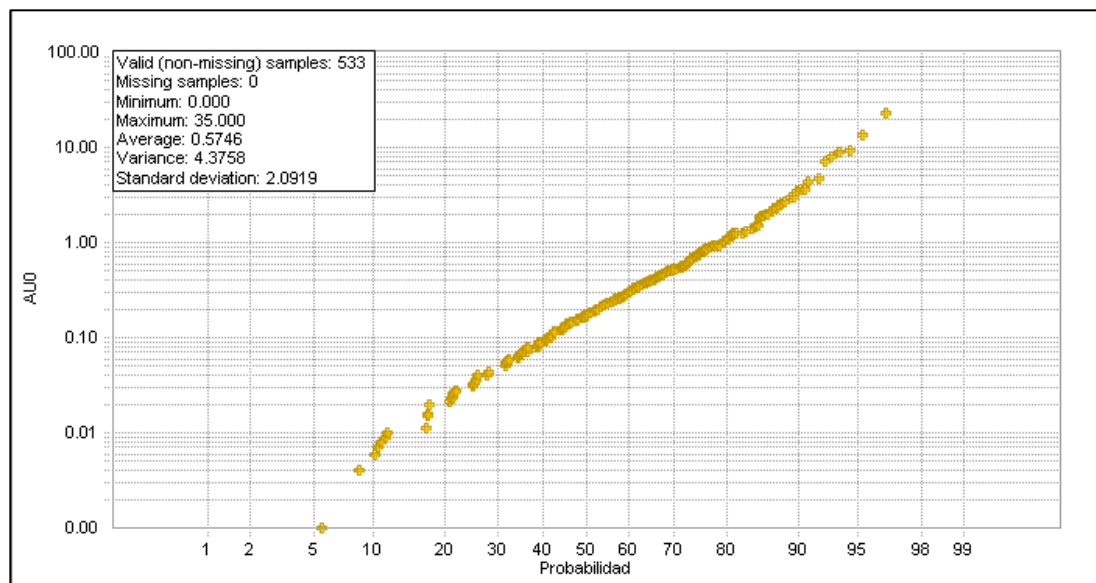


Figura 5.16 Gráfico de curvas de probabilidad de Litología Lutita

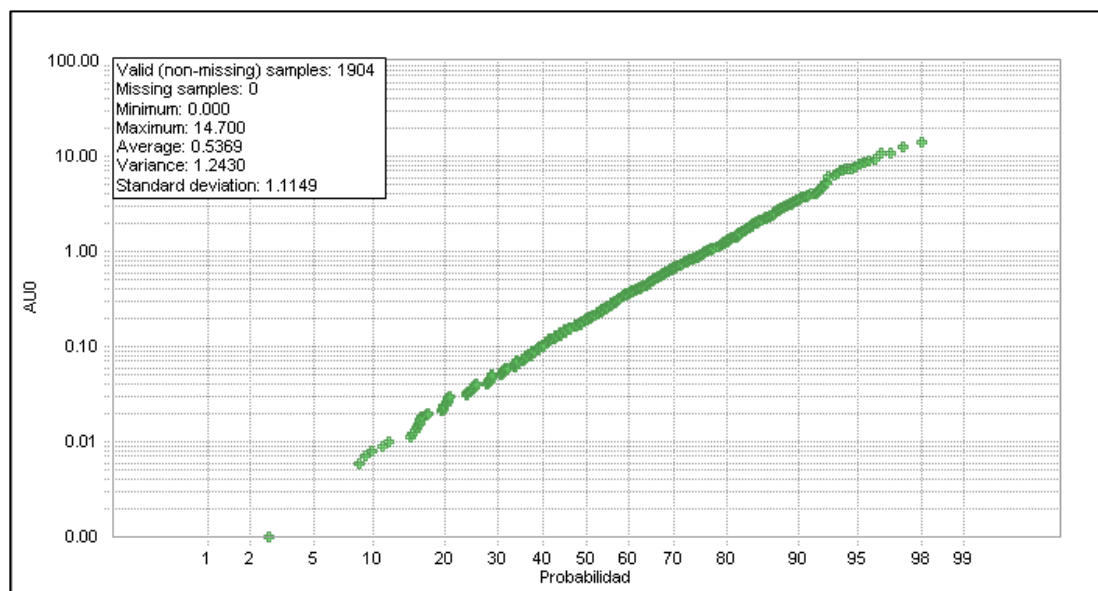


Figura 5.17 Gráfico de curvas de probabilidad de Litología Limolita

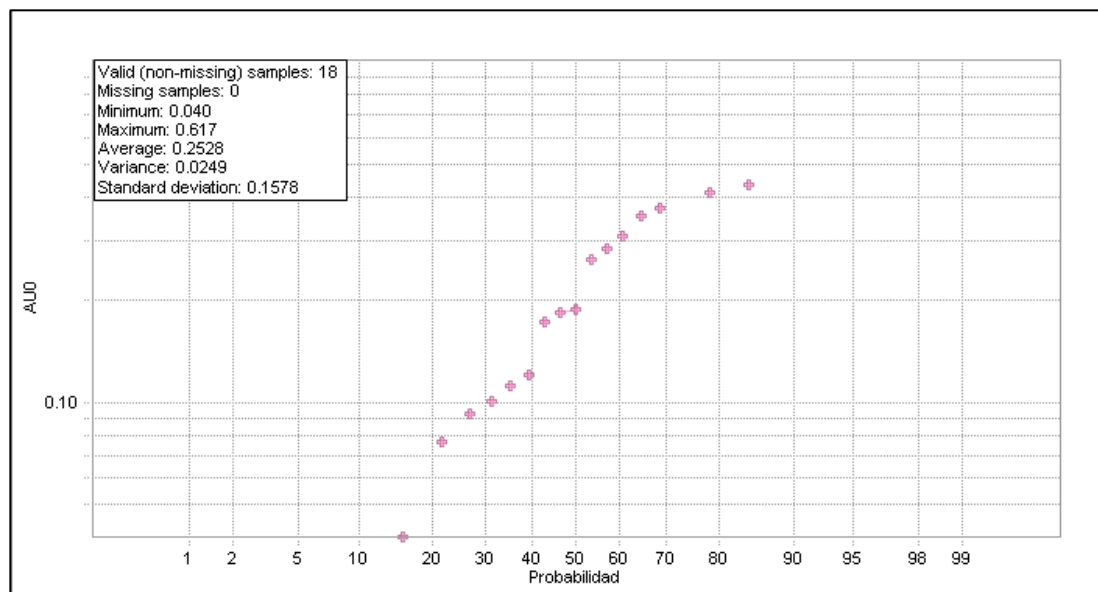


Figura 5.18 Gráfico de curvas de probabilidad de Litología Arenisca



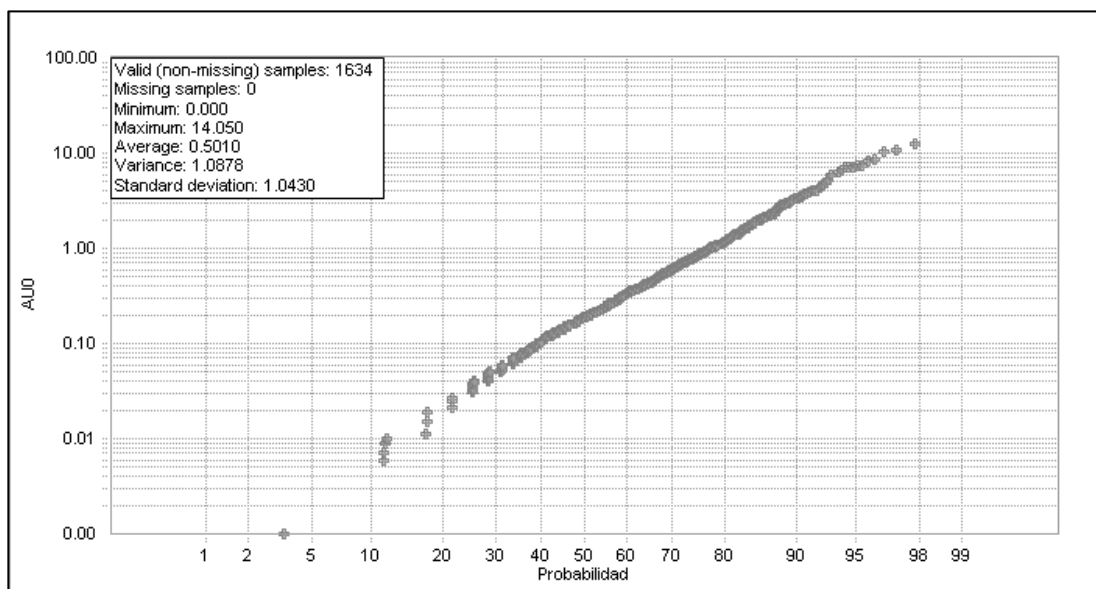


Figura 5.19 Gráfico de curvas de probabilidad de Mena Oxido

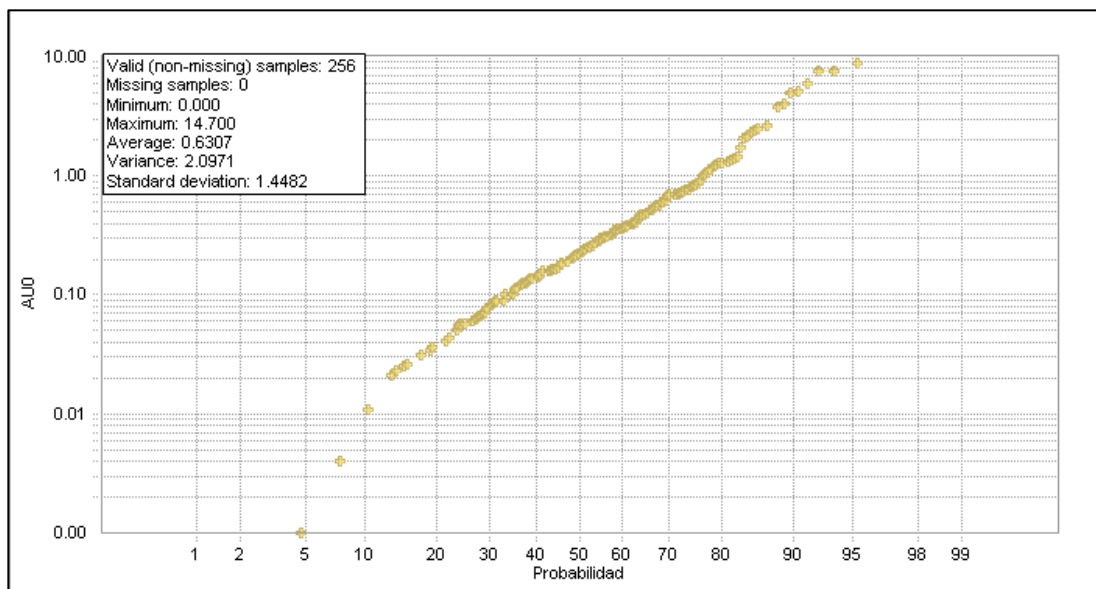


Figura 5.20 Gráfico de curvas de probabilidad de Mena Mixto

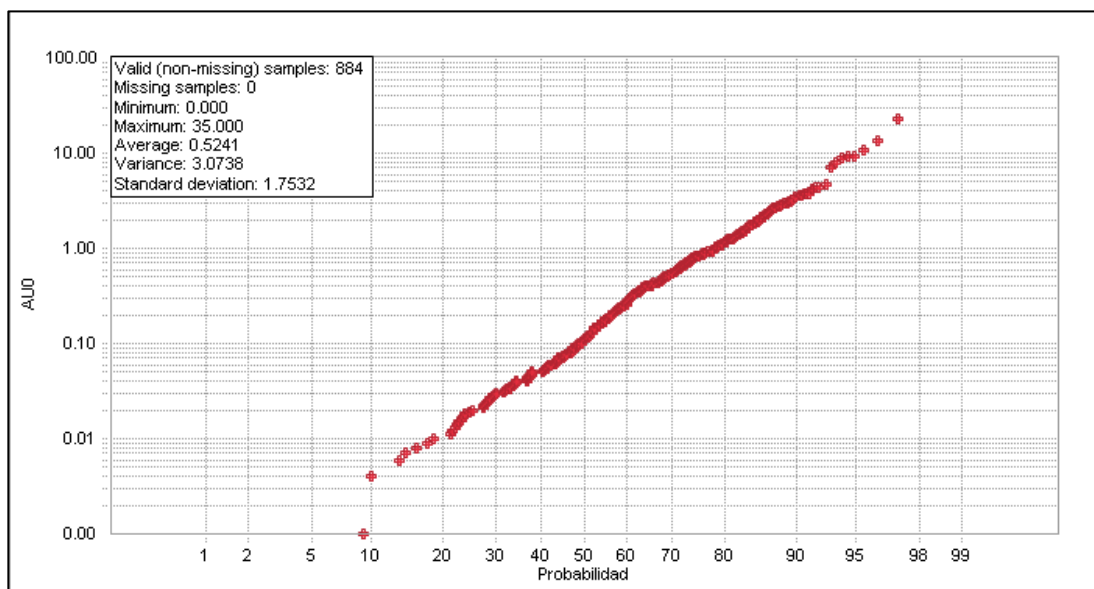


Figura 5.21 Gráfico de curvas de probabilidad de Mena Sulfuro

#### 5.1.2.2.1. Interpretación de los Resultados

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por cuerpo mineralizado (figuras 5.13 a 5.14) se observan valores erráticos y una población definida en cada uno, confirmando así el agrupamiento por 2 cuerpos de mineralización 05 y 06, existe un 18% de datos en el cuerpo 05 y un 32% de datos en el cuerpo 06, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, que se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por Litología (figuras 5.15 a 5.18) se observan valores erráticos y más de una población, a excepción de la litología arenisca (por tener 18 muestras).

Hay valores erráticos sobre el 95% del eje de probabilidad en las 3 litologías (Pórfido, Lutita y Limolita), el ligero “quiebre” al 87% del eje de la litología Pórfido, al 92% del eje de la litología Lutita y al 92% del eje de la litología Limolita, estaría indicando dos poblaciones.

Existe un 68% de datos en la litología Pórfido, un 60% en la litología Lutita y un 58% en la litología Limolita, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por Mena (figuras 5.19 a 5.21) 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 eventos geológicos ocurridos durante la mineralización. Hay valores erráticos sobre el 95% del eje de probabilidad en las 3 menas (Oxido, Mixto y Sulfuro), el ligero “quiebre” al 88% del eje de la mena Mixto, al 92% del eje de la mena Sulfuro, estaría indicando dos poblaciones, existe un 52% de datos en la mena Oxido, un 55% en la mena mixto y un 60% en la mena Sulfuro, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

## **5.2. Asignación de Ley CERO (0)**

Este cálculo está destinado para los tramos de sondajes (diamantinos) que no han sido muestreados, que por lo general son datos históricos. Para realizar este proceso se creó el ítem AU0 para almacenar la información de los tramos sin resultados y/o muestras que intervienen en el modelamiento geológico. El objetivo de esta asignación es evitar que en zonas “estériles” se genere zonas con alta ley.

## **5.3. Estudio del Tamaño de Regularización (Compósito)**

Los datos regularizados (compositados) no deben tener una alta variación con respecto a los datos originales. Mientras más largo la regularización (compósito), menos dispersos y menos erráticos son los valores interpolados.

Se debe considerar que la variación de la longitud de las regularizaciones (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 cuerpo mineralizado.

### 5.3.1. Metodología

#### 5.3.1.1. Comportamiento de la media y coeficiente de variación

Tabla 5.13 Estadística para diferentes longitudes de regularización (compósito)

Longitud	COMPOSITO			ASSAY		
	N° Datos	Media	C.V.	N° Datos	Media	C.V.
1	1,060	1.06	2.03	1,100	1.09	1.82
1.5	1,064	1.12	1.76	1,100	1.09	1.82
<b>2</b>	<b>969</b>	<b>1.08</b>	<b>1.72</b>	<b>1,100</b>	<b>1.09</b>	<b>1.82</b>
3	659	1.07	1.60	1,100	1.09	1.82
4	659	1.07	1.60	1,100	1.09	1.82
6	352	1.08	1.44	1,100	1.09	1.82
10	228	1.11	1.40	1,100	1.09	1.82

En la tabla 5.13 se muestra la comparación de la data regularizada (Compósito) y Assay del comportamiento de la media y coeficiente de variación a diferentes longitudes de regularización (Compósito), siendo estas a 1m, 1.5m, 2m, 3m, 4m, 6m y 10m. En este estudio se observa que para 2.0m se tiene la media más próxima a la media de los datos originales, así como una ligera disminución en

el coeficiente de variación.

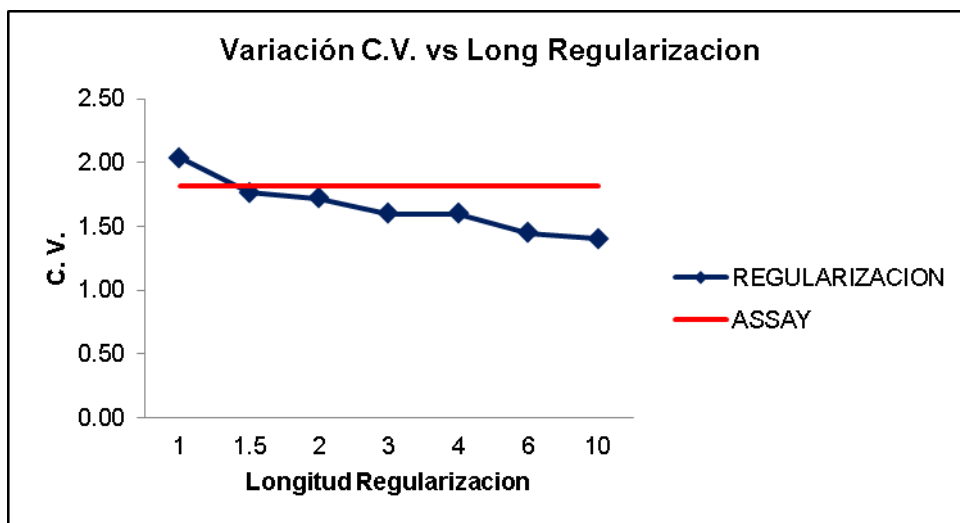


Figura 5.22 Variación C.V. vs Long de Regularización (Compósito)

En la figura 5.22 se observa la comparación gráfica del coeficiente de variación vs Long de Regularización (compósito), y se deduce que a longitud mayor a 1.5 m, el C.V. no supera el C.V. de los datos originales.

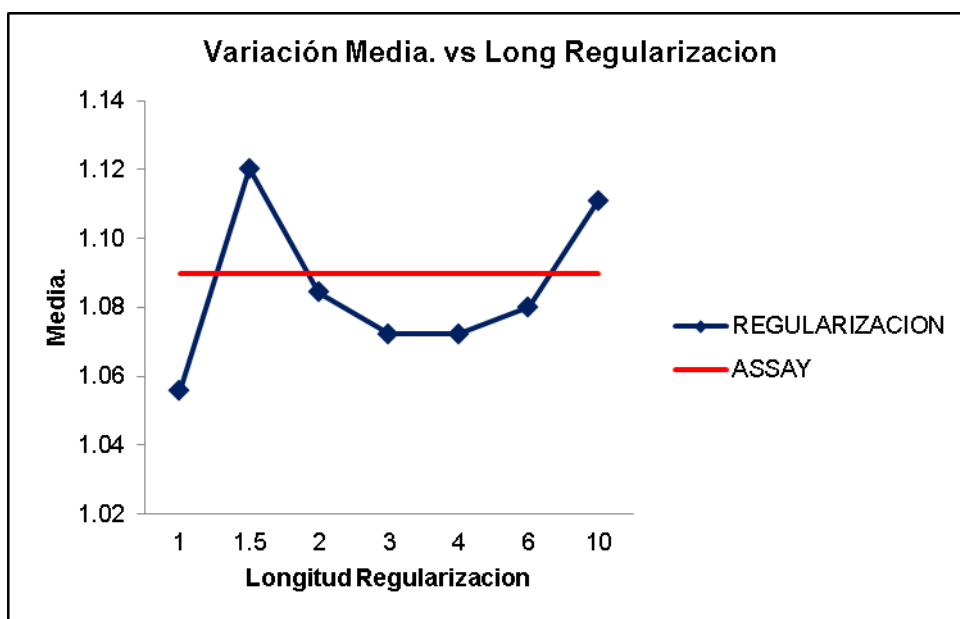


Figura 5.23 Variación Media vs Long de Regularización (Compósito)

En la figura 5.23 se observa la comparación gráfica de la media vs Long de regularización, y se deduce que a longitud mayor a 2.0 m y menor de 6.0 m, la media es inferior a la media de los datos originales.

### 5.3.1.2. *Histograma de la longitud de muestreo*

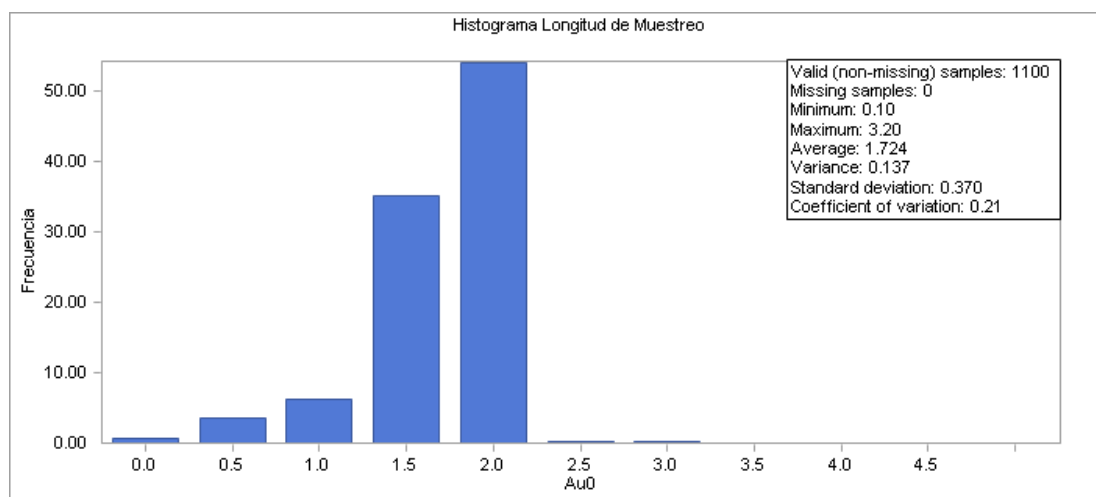


Figura 5.24 Histograma de la Longitud de Muestreo

En la figura 5.24 se observa el histograma de la longitud de muestreo de los datos originales, que intervienen en el cuerpo mineralizado, observándose que la mayor población de muestras han sido cortada a 2.0 m, por ende el promedio es de 2.0 m, ver tabla 5.13

## 5.3.2. Medidas Estadísticas

### 5.3.2.1. *Cuerpo Mineralizado*

Tabla 5.14 Estadística Básica por Cuerpo Mineralizado \_COMP

CPOC	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
		MEDIA	MEDIANA	MODA	MINMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	582	1.04	0.56	0.39	0.00	0.36	35.00	1.06	4.10	2.03	1.95	9.97	143.81
6	387	1.15	0.56	0.24	0.01	0.31	12.44	1.28	2.52	1.59	1.38	3.36	14.64

En la tabla 5.14 se observa la estadística básica de los cuerpos mineralizados compositados a 2.0 m.

#### 5.3.2.1.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.14, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en el cuerpo 06, debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 1.15) 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 0.56 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondajes con leyes muy bajas (0.24 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.31 ppm Au y el y 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 1.28 ppm Au.

Con respecto al cuerpo 05 el análisis de las medidas de posición es similar al del cuerpo 06, observándose notoriamente que la media de esta es menor que la de la del cuerpo 06.

#### 5.3.2.1.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en el cuerpo 06, se analiza la medida de dispersión del cuerpo 06. 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 mayor respecto a su media (2.52), 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 mayor que la media (media = 1.15 < desv. std.= 1.59). 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.

### 5.3.2.1.3. Medidas de forma

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.

### 5.3.2.2. Litología

Tabla 5.15 Estadística Básica por Cuerpo-LITOC\_COMP

CPO	LITOC	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. V AR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	15	0.82	0.43	0.12	0.07	0.12	2.98	1.76	0.76	0.87	1.07	1.41	1.20
5	2	132	1.48	0.54	0.41	0.07	0.31	35.00	1.15	12.96	3.60	2.43	6.87	58.73
5	3	439	0.91	0.59	0.39	0.02	0.37	14.70	1.05	1.47	1.21	1.33	5.92	50.82
6	1	29	1.74	0.80	0.37	0.14	0.30	6.88	2.90	3.78	1.95	1.12	1.32	0.81
6	2	106	0.47	0.31	0.22	0.01	0.16	2.98	0.56	0.27	0.51	1.08	2.40	6.93
6	3	247	1.37	0.70	0.24	0.03	0.40	12.44	1.57	3.13	1.77	1.29	3.16	12.53

En las tablas 5.15 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondeos del ítem LITOC (ítem que almacena los códigos compostados según el ítem LITOI de los datos originales).

#### 5.3.2.2.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.15, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en la litología identificada como pórfido del cuerpo 6, debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 1.74) 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 0.8 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondajes con leyes muy bajas (0.37 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.3 ppm Au y el y 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 2.9 ppm Au.

Con respecto a las demás litologías (lutita y limolita) dentro del cuerpo 5 y 6 el análisis de las medidas de posición es similar a la litología pórfido del cuerpo 6, observándose notoriamente que la media de estas es mucho menor que la litología pórfido.

#### 5.3.2.2.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en la litología identificada como pórfido del cuerpo 6, se analiza la medida de dispersión de la litología pórfido del cuerpo 6. 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 mayor respecto a su media (3.78), 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 mayor que la media (media = 1.74 < desv. std.= 1.95). 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.

### 5.3.2.2.3. Medidas de forma

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.

### 5.3.2.3. Mena

**Tabla 5.16** Estadística Básica por Cuerpo-MENAC\_COMP

CPOC	MENAC	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	1	213	0.80	0.58	0.39	0.12	0.38	7.12	0.99	0.58	0.76	0.96	4.03	25.14
5	2	106	0.94	0.42	0.22	0.08	0.24	14.70	0.79	3.11	1.76	1.89	5.38	36.51
5	3	268	1.27	0.63	0.41	0.00	0.39	35.00	1.21	7.15	2.67	2.11	8.57	97.52
6	1	339	1.22	0.59	0.24	0.01	0.34	12.44	1.30	2.76	1.66	1.36	3.23	13.27
6	2	20	0.58	0.18	0.09	0.02	0.10	3.75	0.57	0.93	0.96	1.65	2.60	6.51
6	3	23	0.54	0.31	0.26	0.03	0.16	1.99	0.72	0.30	0.55	1.01	1.63	2.09

En las tablas 5.16 se observa la estadística básica por cuerpo en los sondeos del ítem MENAC (ítem que almacena los códigos compostados según el ítem MENAI de los datos originales).

#### 5.3.2.3.1. Medidas de Posición

Según la tabla 5.16, se observa que la mayor media aritmética de los datos está en la mena identificada como sulfuro del cuerpo 5, debido a que la media depende de todos los datos analizados, incluyendo los valores extremos, el valor de esta media (media = 1.27) 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 0.41 ppm Au y el otro 50% es inferior a ese valor. La moda indica que existen zonas estériles ya que hay intercepto de sondeos con leyes muy bajas

(0.41 ppm Au). El 1er Cuartil indica que el 25% de la ley de los datos es menor o igual a 0.39 ppm Au y el 3er Cuartil indica que el 75% es menor o igual a 1.21 ppm Au.

Con respecto a las demás menas (óxido y mixto) dentro del cuerpo 5 y 6 el análisis de las medidas de posición es similar al de la mena sulfuro del cuerpo 5, observándose notoriamente que la media de estas es mucho menor que la litología pórfido.

#### 5.3.2.3.2. Medidas de Dispersión

Debido a que la mayor media aritmética se encuentra en la mena identificada como sulfuro del cuerpo 5, se analiza la medida de dispersión de la mena sulfuro del cuerpo 5. 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 mayor respecto a su media (7.15), 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 mayor que la media (media = 1.27 < desv. std.= 2.67). Esta medida de dispersión es importante porque su valor está 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.

#### 5.3.2.3.3. Medidas de forma

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.

Tabla 5.17 Estadística Básica por Cuerpo-LIMEC\_COMP

CPOC	LIMEC	DATOS	MEDIDAS DE POSICION							MEDIDAS DE DISPERSION			MEDIDAS DE FORMA	
			MEDIA	MEDIANA	MODA	MINIMO	1er CUARTIL	MAXIMO	3er CUARTIL	VARIANZA	DESV. EST.	COEF. VAR.	SESGO	KURTOSIS
5	11	2	0.12	0.12	0.12	0.12	*	0.12	*	0.00	0.00	0.00	*	*
5	12	2	1.76	1.76	1.76	1.76	*	1.76	*	0.00	0.00	0.00	*	*
5	13	11	0.77	0.43	0.43	0.07	0.38	2.98	0.79	0.79	0.89	1.15	2.00	3.51
5	21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	22	18	0.28	0.17	0.09	0.08	0.12	0.80	0.52	0.05	0.22	0.77	1.03	-0.04
5	23	114	1.67	0.56	0.41	0.07	0.36	35.00	1.28	14.75	3.84	2.30	6.43	51.28
5	31	211	0.80	0.59	0.39	0.12	0.38	7.12	1.00	0.58	0.76	0.95	4.04	25.16
5	32	86	1.05	0.45	0.32	0.10	0.27	14.70	1.05	3.71	1.93	1.83	4.94	30.40
5	33	142	1.00	0.67	0.44	0.02	0.43	10.60	1.15	1.43	1.20	1.20	4.88	32.93
6	11	25	1.96	1.02	0.37	0.18	0.37	6.88	3.15	4.05	2.01	1.03	1.12	0.27
6	12	3	0.41	0.29	*	0.14	0.14	0.80	0.80	0.12	0.35	0.84	1.37	*
6	13	1	0.31	0.31	*	0.31	*	0.31	*	*	*	*	*	*
6	21	76	0.49	0.35	0.22	0.01	0.20	2.98	0.57	0.27	0.52	1.06	2.54	8.05
6	22	13	0.17	0.12	0.09	0.02	0.09	0.60	0.25	0.02	0.15	0.89	1.92	4.33
6	23	17	0.61	0.43	*	0.06	0.20	1.99	0.86	0.35	0.59	0.96	1.48	1.42
6	31	238	1.38	0.71	0.24	0.03	0.40	12.44	1.58	3.18	1.78	1.29	3.17	12.45
6	32	4	2.05	1.98	*	0.48	0.69	3.75	3.48	2.09	1.45	0.71	0.21	-2.16
6	33	5	0.33	0.22	*	0.03	0.06	1.05	0.66	0.17	0.42	1.27	1.95	3.99

En la siguiente tabla 5.17 se observa la estadística básica por cuerpo del ítem LIMEC (ítem que almacena la regularización (composito) del ítem LIMEI de los datos originales), teniendo como dominio el ítem MENAI.

### 5.3.3. Gráficos Estadísticos

#### 5.3.3.1. 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 8 histogramas entre cuerpo Mineralizado, Litológico y mena de la data regularizada (compositada) en el área de trabajo.

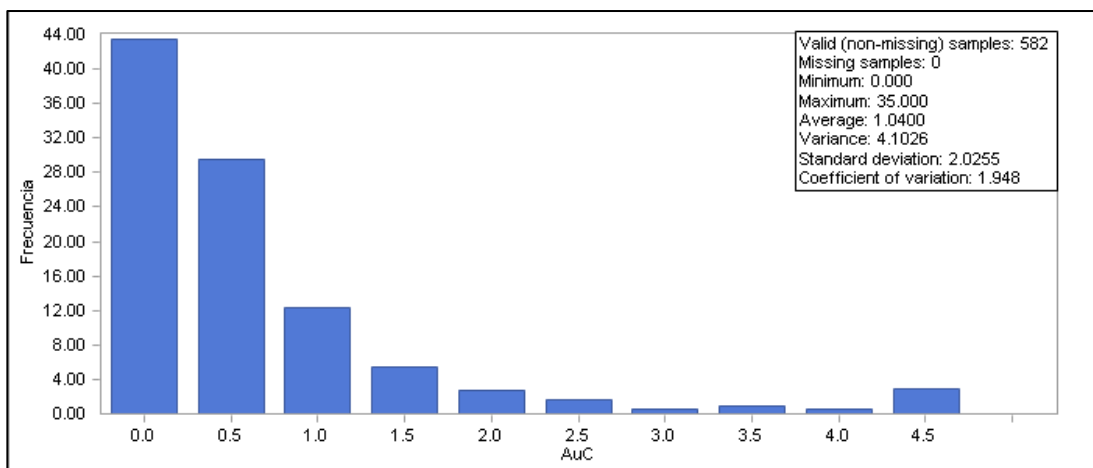


Figura 5.25 Histograma de regularización (compósito) del Cuerpo Mineralizado 05

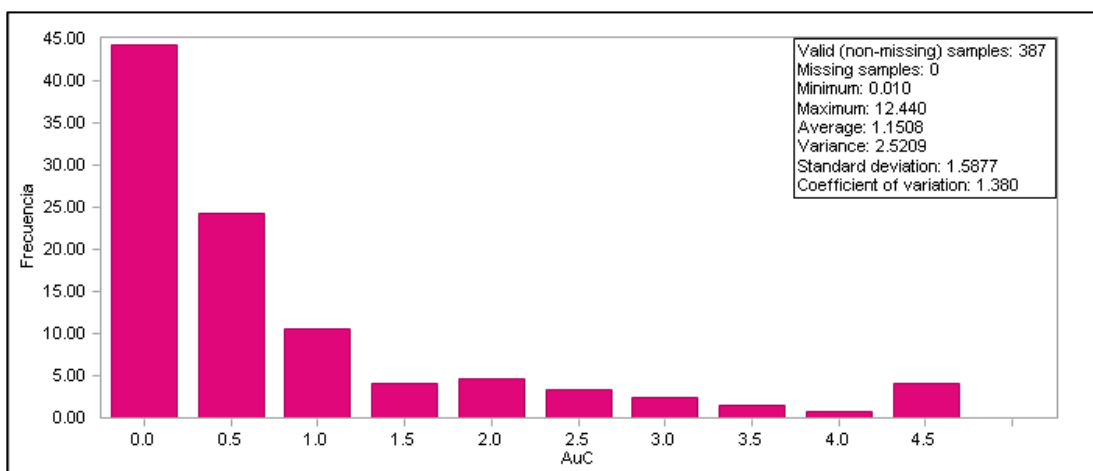


Figura 5.26 Histograma de regularización (compósito) del Cuerpo Mineralizado 06

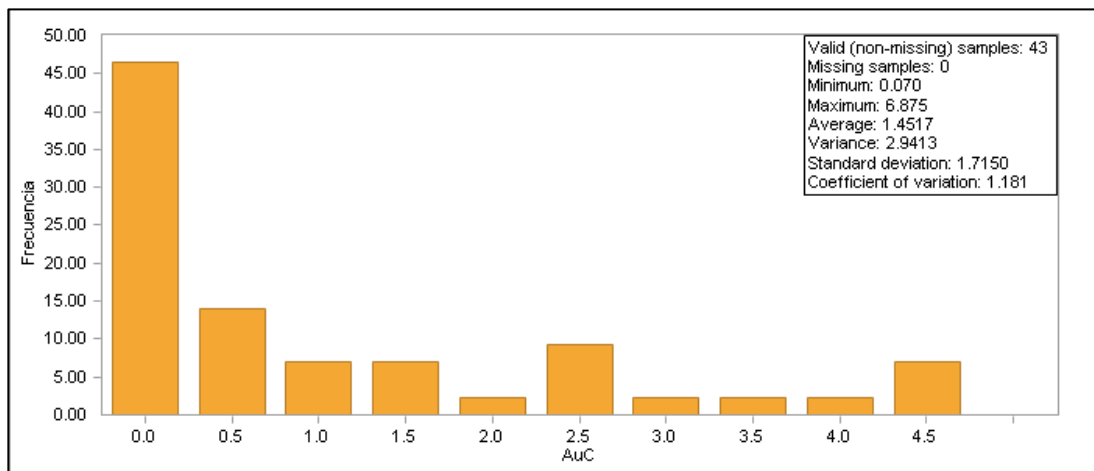


Figura 5.27 Histograma de regularización (compósito) de Litología Pórfido

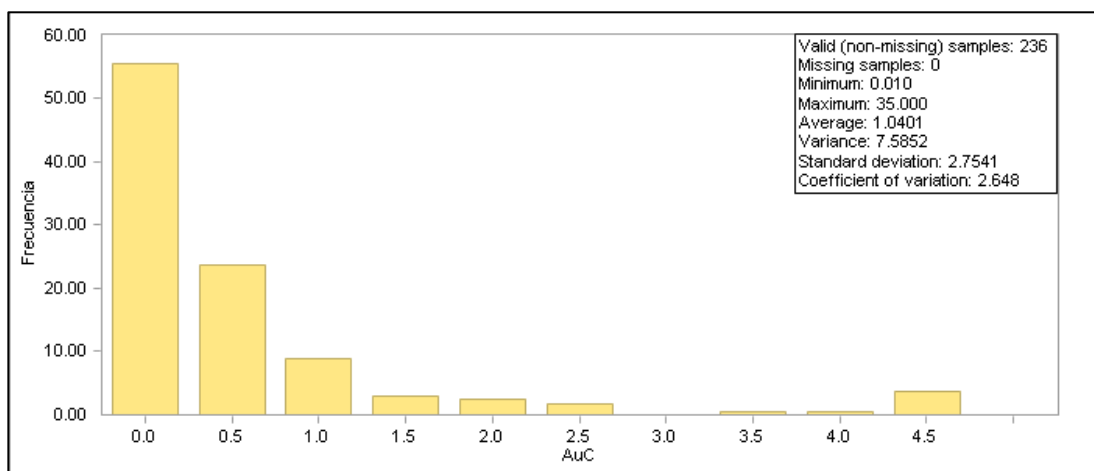


Figura 5.28 Histograma de regularización (compósito) de Litología Lutita

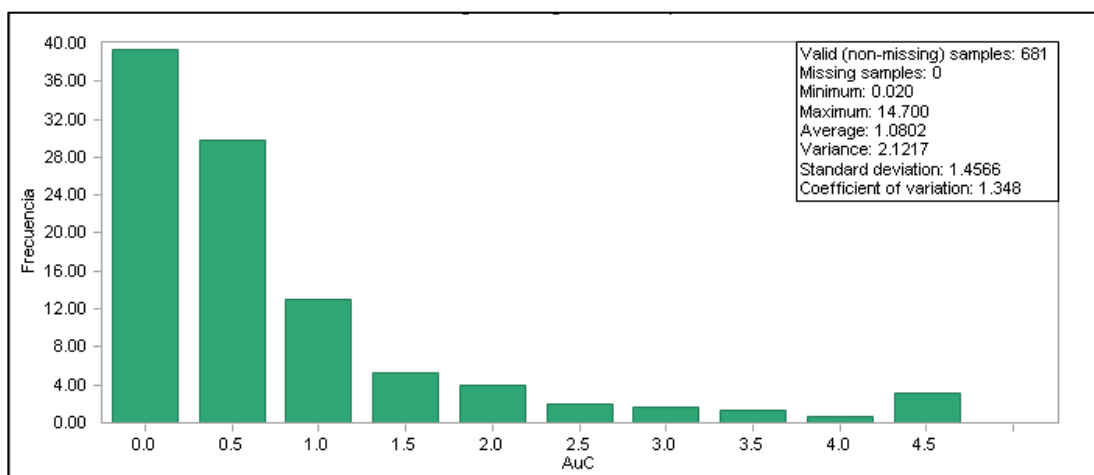


Figura 5.29 Histograma de regularización (compósito) de Litología Limolita

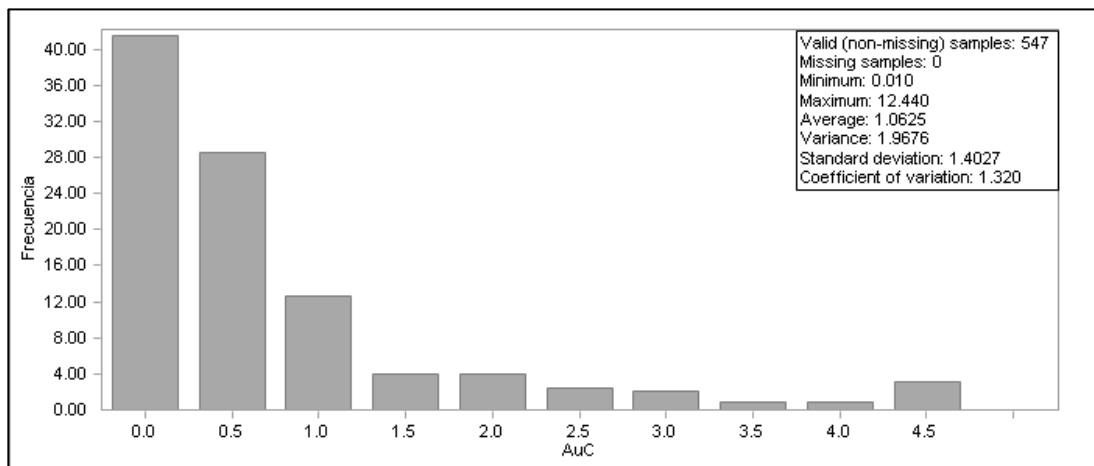


Figura 5.30 Histograma de regularización (compósito) Mena Oxido

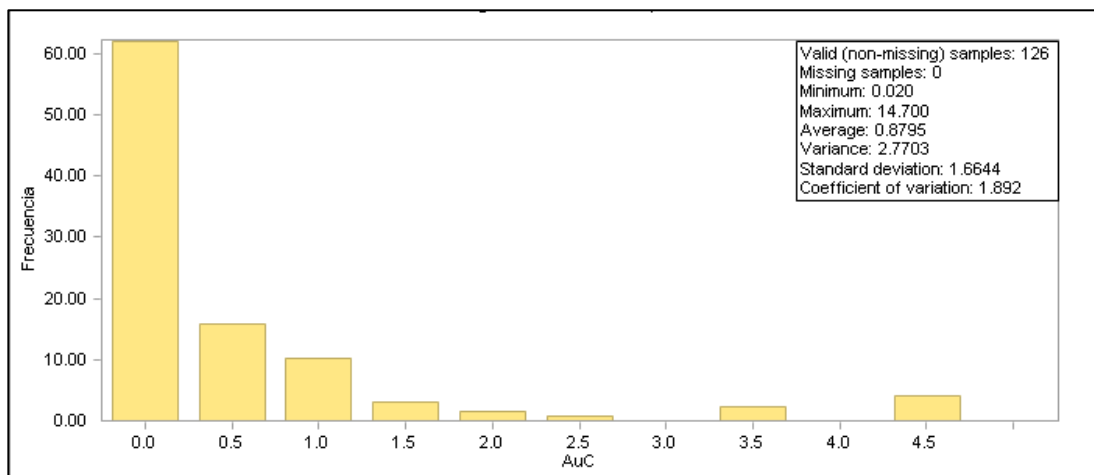


Figura 5.31 Histograma de regularización (compósito) Mena Mixto

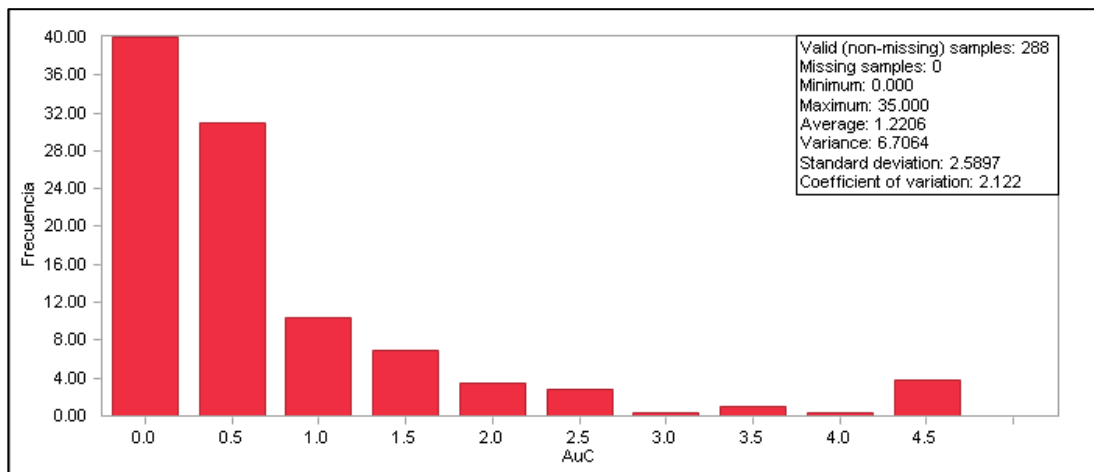


Figura 5.32 Histograma de regularización (compósito) Mena Sulfuro

#### 5.3.3.1.1. Interpretación de los Resultados

Los 8 histogramas (figuras 5.25 a 5.32) presentan un sesgo positivo (observar la tendencia de 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.

#### 5.3.3.2. ***Gráfico de curva de Probabilidad***

El gráfico de curva de probabilidad 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 gráficos de curvas de probabilidad realizados para cada cuerpo Mineralizado, Litológico y mena en el área de trabajo.



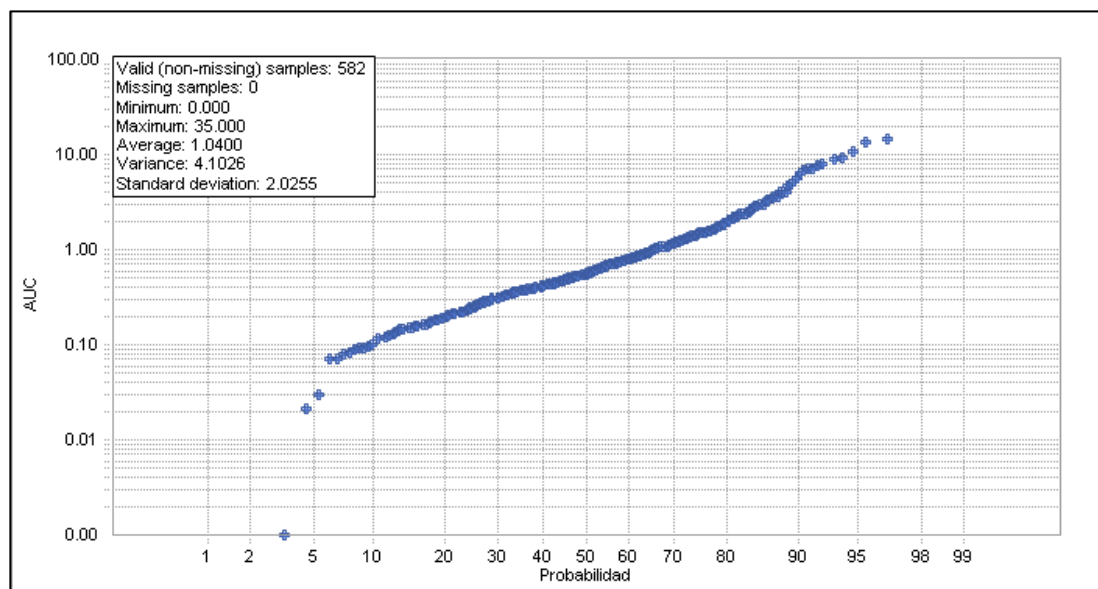


Figura 5.33 Gráfico de Curva de Probabilidad del Cuerpo Mineralizado 05

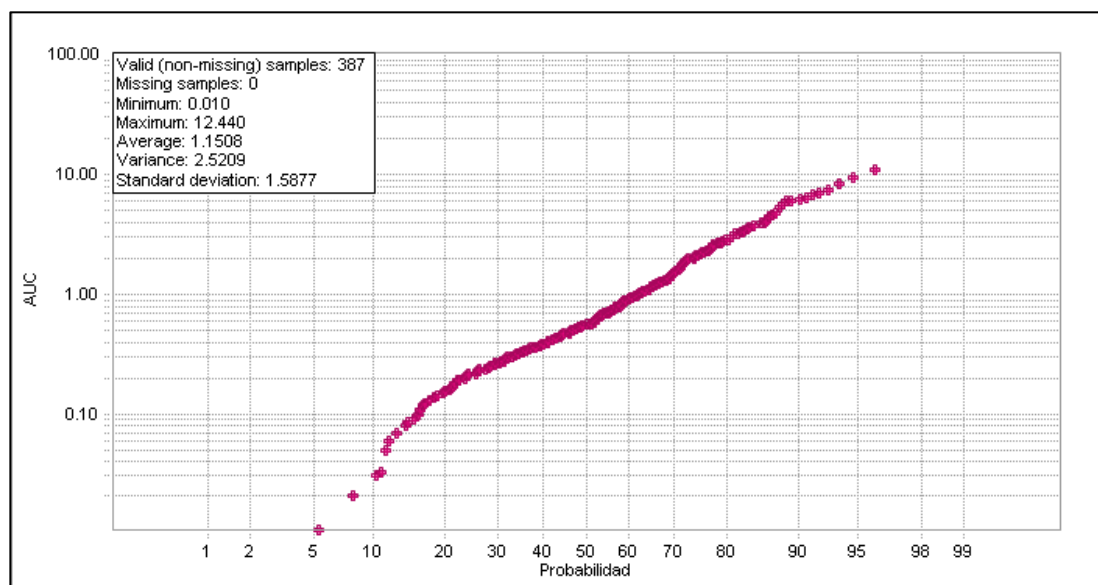


Figura 5.34 Gráfico de Curva de Probabilidad del Cuerpo Mineralizado 06

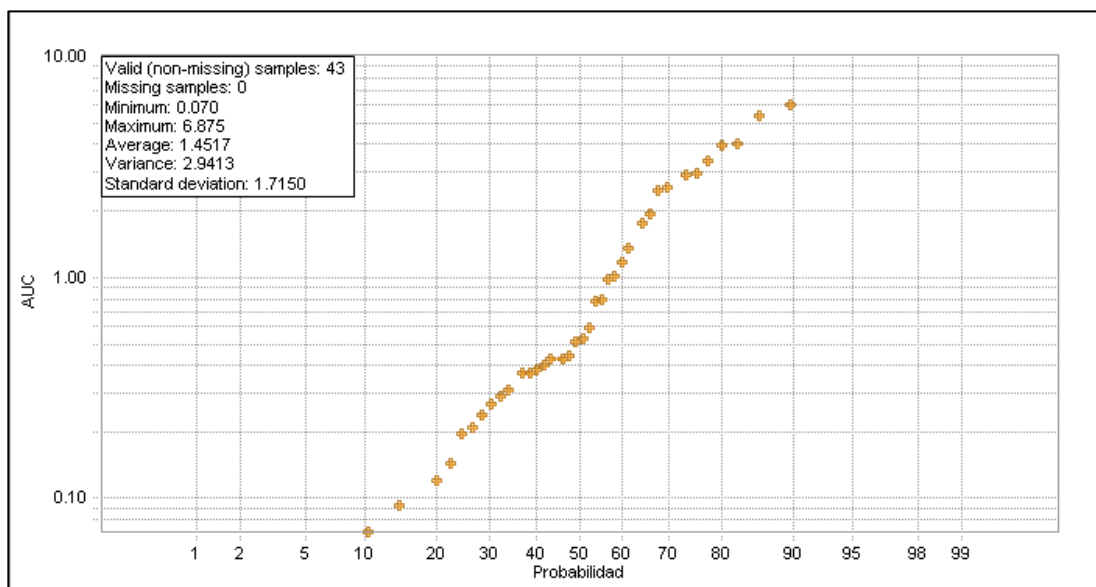


Figura 5.35 Gráfico de Curva de Probabilidad de Litología Pórfido Regularizado (Compositada)

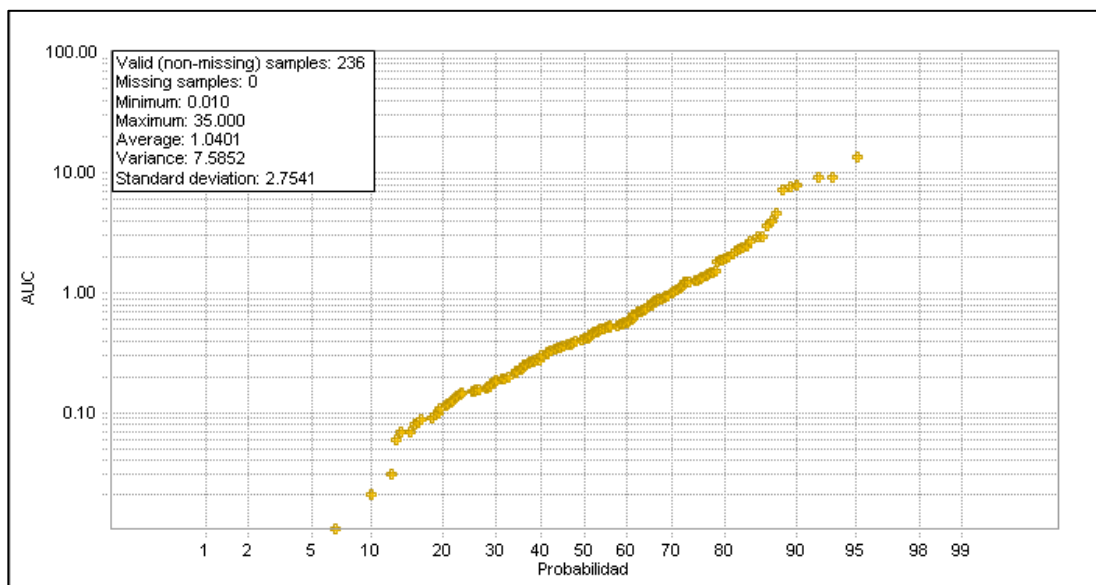


Figura 5.36 Gráfico de Curva de Probabilidad de Litología Lutita Regularizado (Compositada)

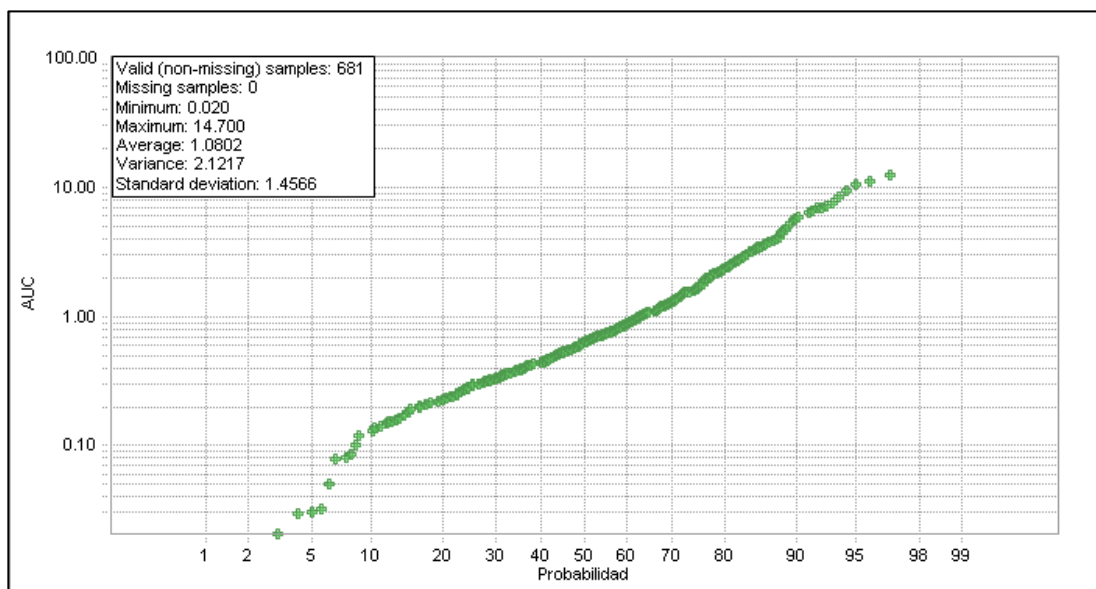


Figura 5.37 Gráfico de Curva de Probabilidad de Litología Limolita Regularizado (Compositada)

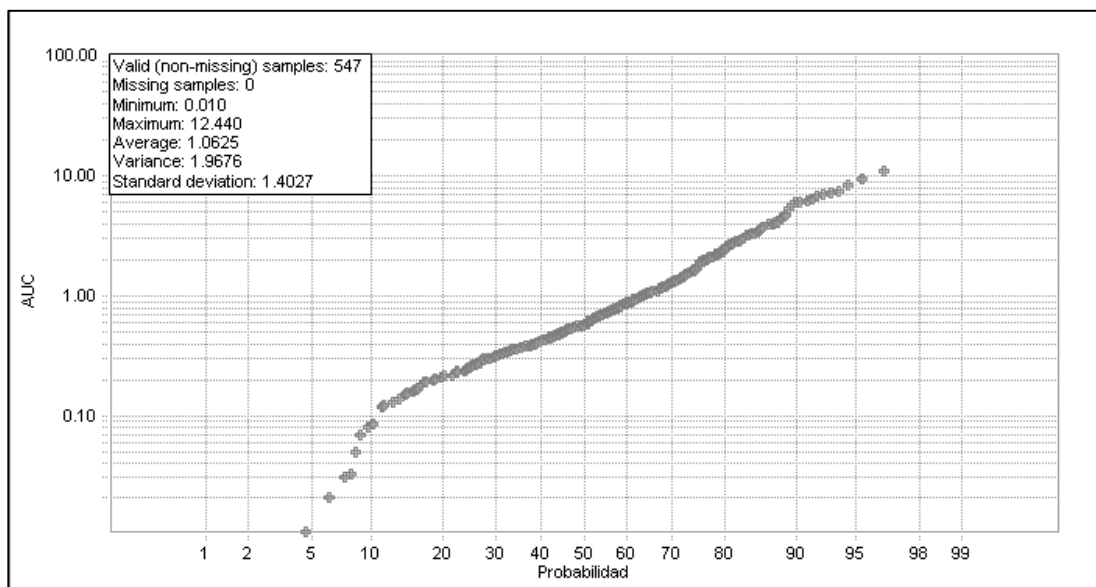


Figura 5.38 Gráfico de Curva de Probabilidad de Mena Oxido Regularizado (Compositada)

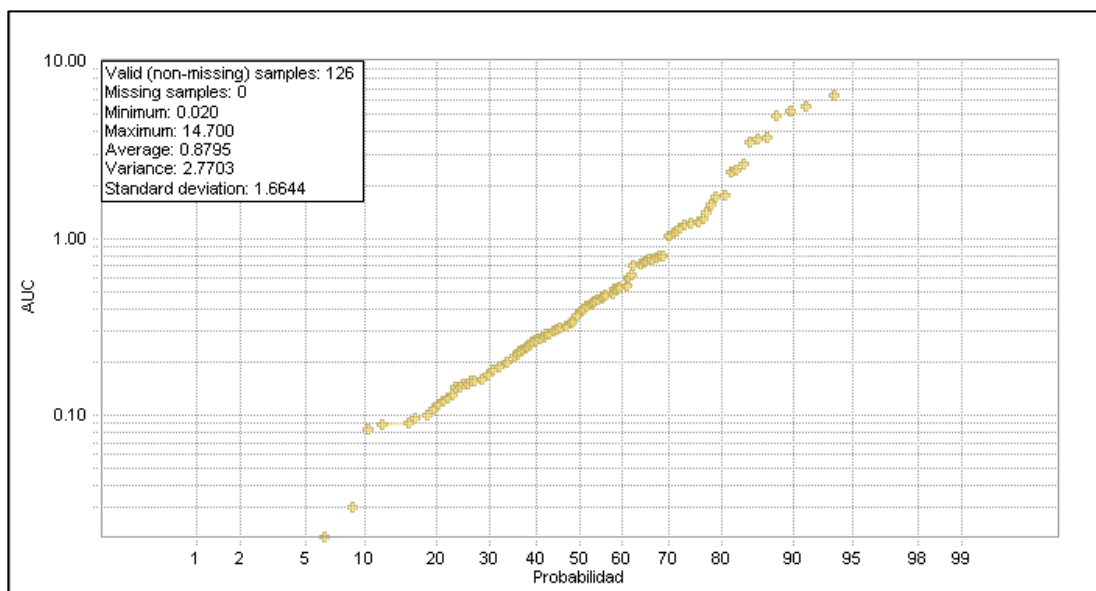


Figura 5.39 Gráfico de Curva de Probabilidad de Mena Mixto Regularizado (Compositada)

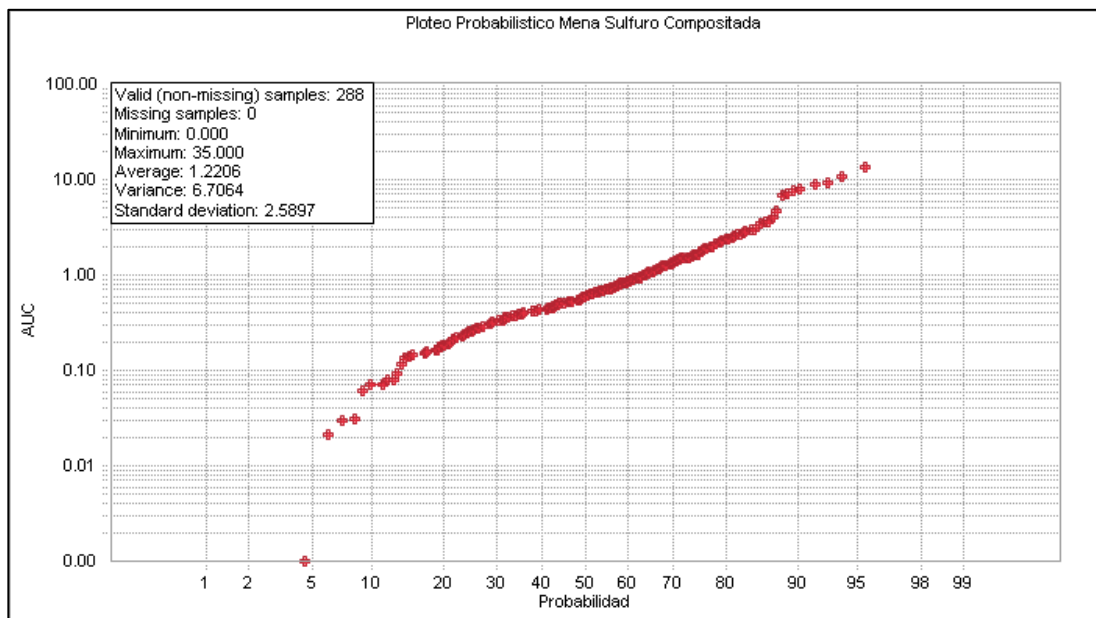


Figura 5.40 Gráfico de Curva de Probabilidad de Mena Sulfuro Regularizado (Compositada)

#### 5.3.3.2.1. Interpretación de los Resultados

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por cuerpo mineralizado (figuras 5.33 a 5.34) se observan valores erráticos y una población definida en cada uno, confirmando así el agrupamiento por 2 cuerpos de mineralización 05 y 06, existe un 28% de datos del cuerpo 05 y un 30% de los datos del cuerpo 06, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, que se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por Litología (figuras 5.35 a 5.37) se observan valores erráticos y más de una población, representando los distintos eventos geológicos ocurridos durante la mineralización. Hay valores erráticos sobre el 95% del eje de probabilidad en las 3 litologías (Pórfido, Lutita y Limolita), el ligero “quiebre” al 45% del eje de la litología Pórfido, al 88% del eje de la litología Lutita y al 90% del eje de la litología Limolita, estaría indicando dos poblaciones, existe un 30% de datos en la litología Pórfido, un 32% en la litología Lutita y un 40% en la litología Limolita, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

En los gráficos de curvas de probabilidad (log normal) por Mena (figuras 5.38 a 5.40) se observan valores erráticos y más de una población, representando los distintos eventos geológicos ocurridos durante la mineralización. Hay valores erráticos sobre el 95% del eje de probabilidad en las 3 menas (Óxido, Mixto y Sulfuro), el ligero “quiebre” al 90% del eje de la mena Óxido, al 80 del eje de la mena Mixto y al 87% del eje de la mena Sulfuro, estaría indicando dos poblaciones, existe un 30% de datos en la mena Óxido, un 43% en la mena mixto y un 28% en la mena Sulfuro, los cuales muestran valores menores a 0.3ppm Au, se debe a la baja mineralización del cuerpo mineralizado.

### **5.3.3.3. *Boxplot (Diagrama de Caja)***

Un boxplot es un tipo de gráfico estadístico que resume la información de la distribución de una variable utilizando 6 medidas estadísticas: el valor mínimo, el primer cuartil, la mediana, la media, el tercer cuartil y el valor máximo. Usualmente estos gráficos son hechos por unidades geológicas o dominios. El eje vertical de la gráfica muestra el rango de valores para una variable dada (por ejemplo Au). La caja vertical representa la proporción de datos dentro del dominio elegido en el rango intercuartil, es decir los que caen entre el primer cuartil y el tercer cuartil (percentil 25° y percentil 75°). En otras palabras, esta caja captura la mitad de la data contenida alrededor del punto medio de la distribución. La mediana es el valor en el cual, 50% de los datos son mayores y el otro 50% de los datos son menores a este valor. Dentro de la caja está representado por un segmento horizontal, el cual ayuda a visualizar su relación con los cuartiles primero y tercero. La media se muestra como un punto dentro del rectángulo. Los extremos de los segmentos verticales que se extienden hacia afuera del rectángulo indican los valores máximos y mínimos de la variable. Este tipo de gráfico proporciona información con respecto a la simetría o asimetría de la distribución. Si la mediana está en el centro del rectángulo o cerca de él, es un indicio de la simetría de los datos, si la mediana está más cerca del primer cuartil indicada que los datos son positivamente asimétricos, si la mediana está cerca del tercer cuartil indica que los datos son negativamente asimétricos. Asimismo, la longitud relativa de los extremos se puede emplear como indicio de la asimetría de los datos. Los valores estadísticos son mostrados en la parte inferior de cada uno de los rectángulos. Generalmente en un sólo boxplot, se grafican varias cajas representando dominios diferentes. Estas cajas son graficadas una al lado de otra, de tal forma que las distribuciones entre los diferentes dominios puedan ser comparadas.

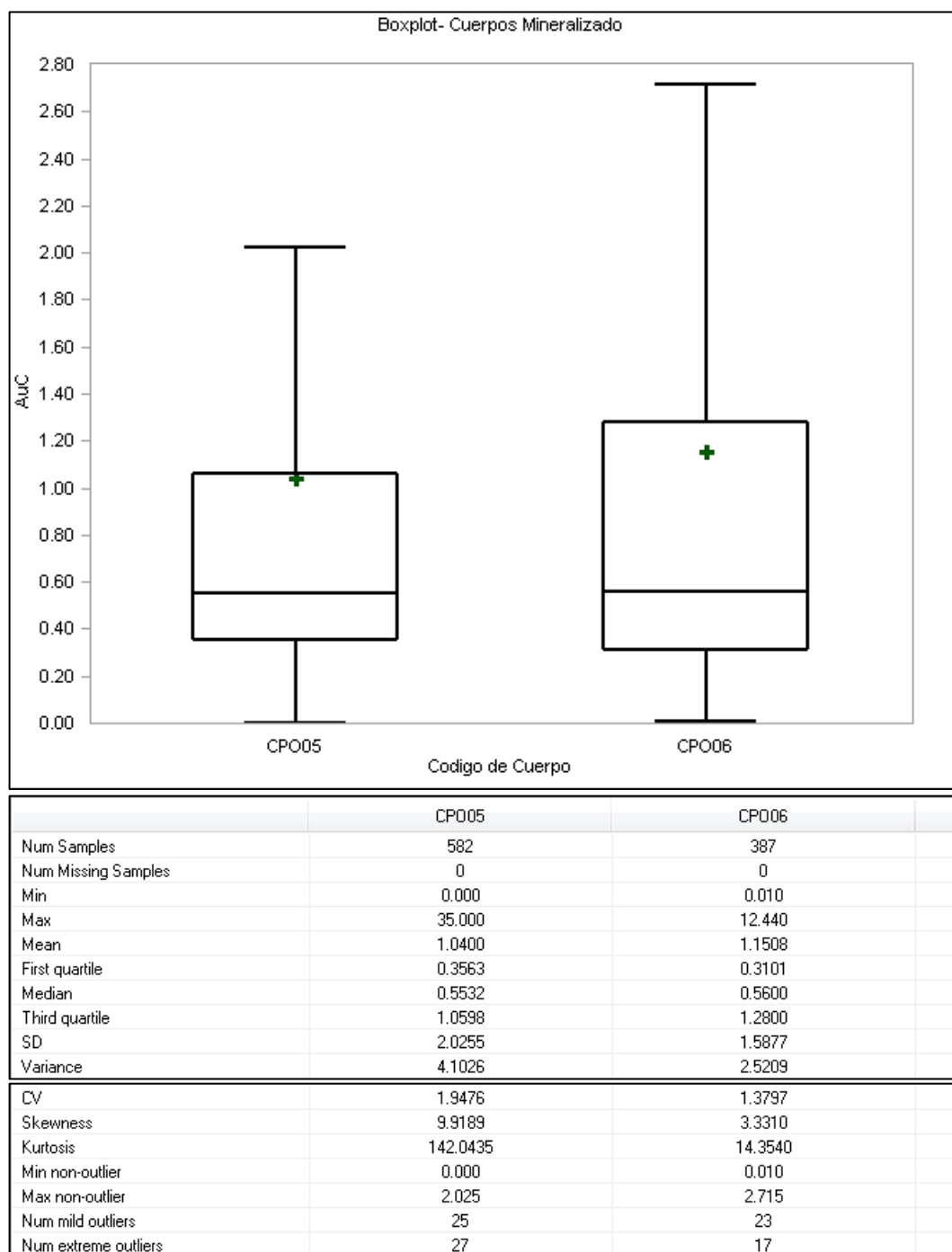


Figura 5.41 Diagrama de caja (BoxPlot)-Cuerpos Mineralizados

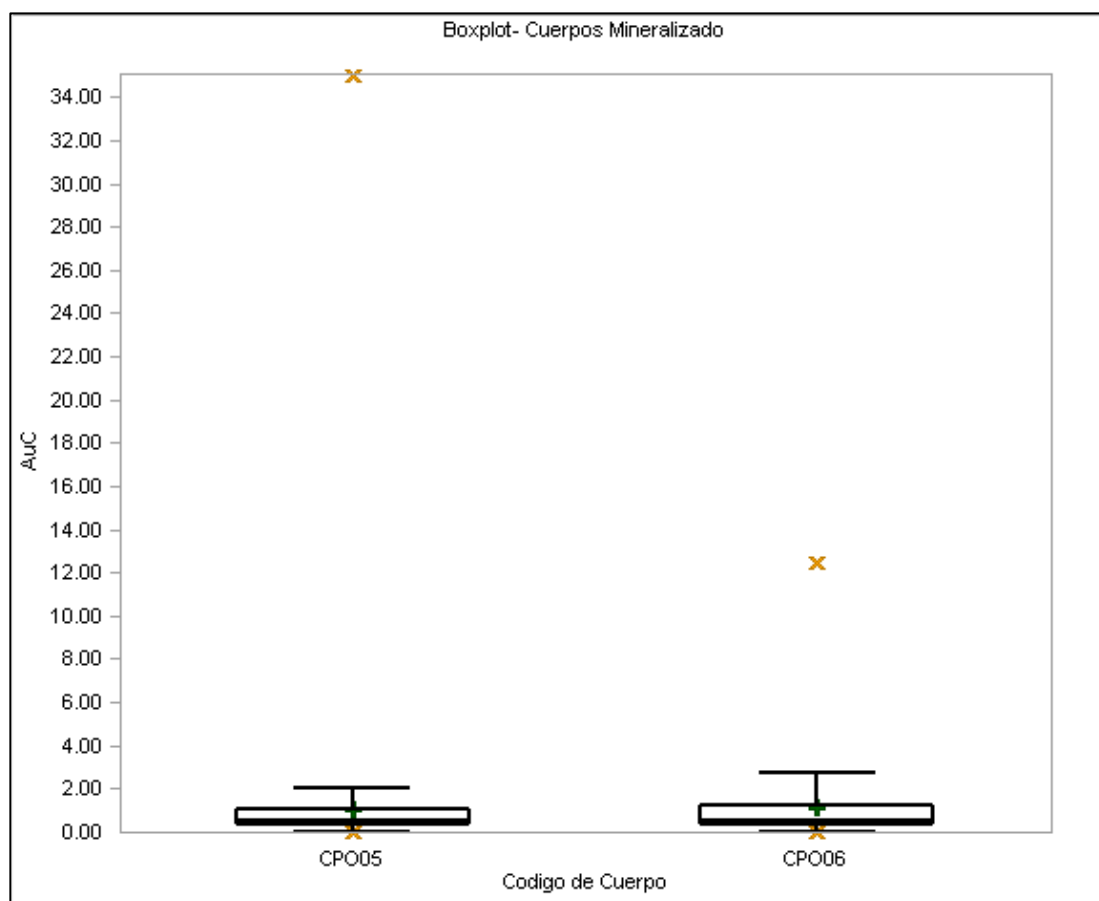


Figura 5.42 Diagrama de caja (BoxPlot)-Cuerpos Mineralizado- Altos Erráticos



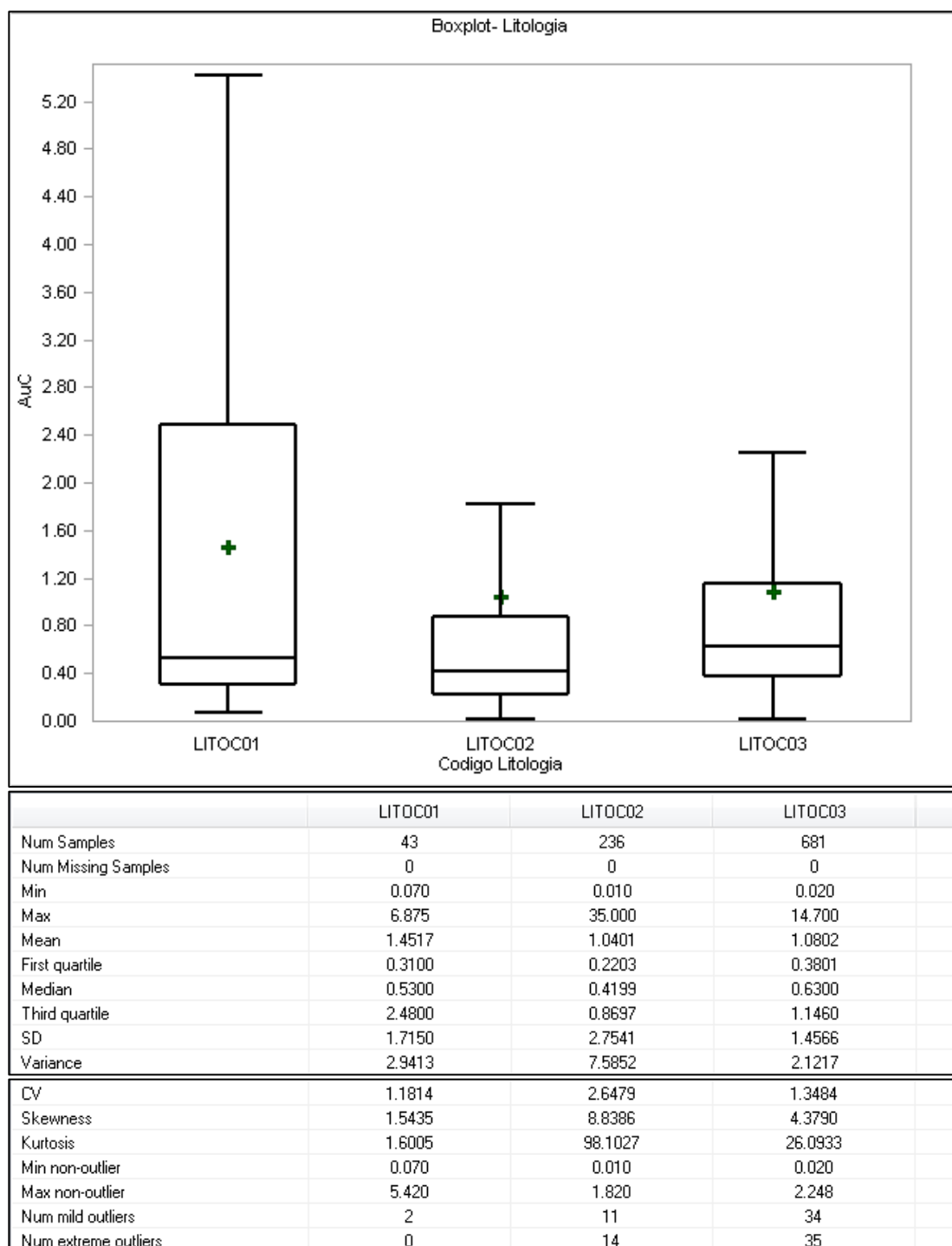


Figura 5.43 Diagrama de caja (BoxPlot)-Litología

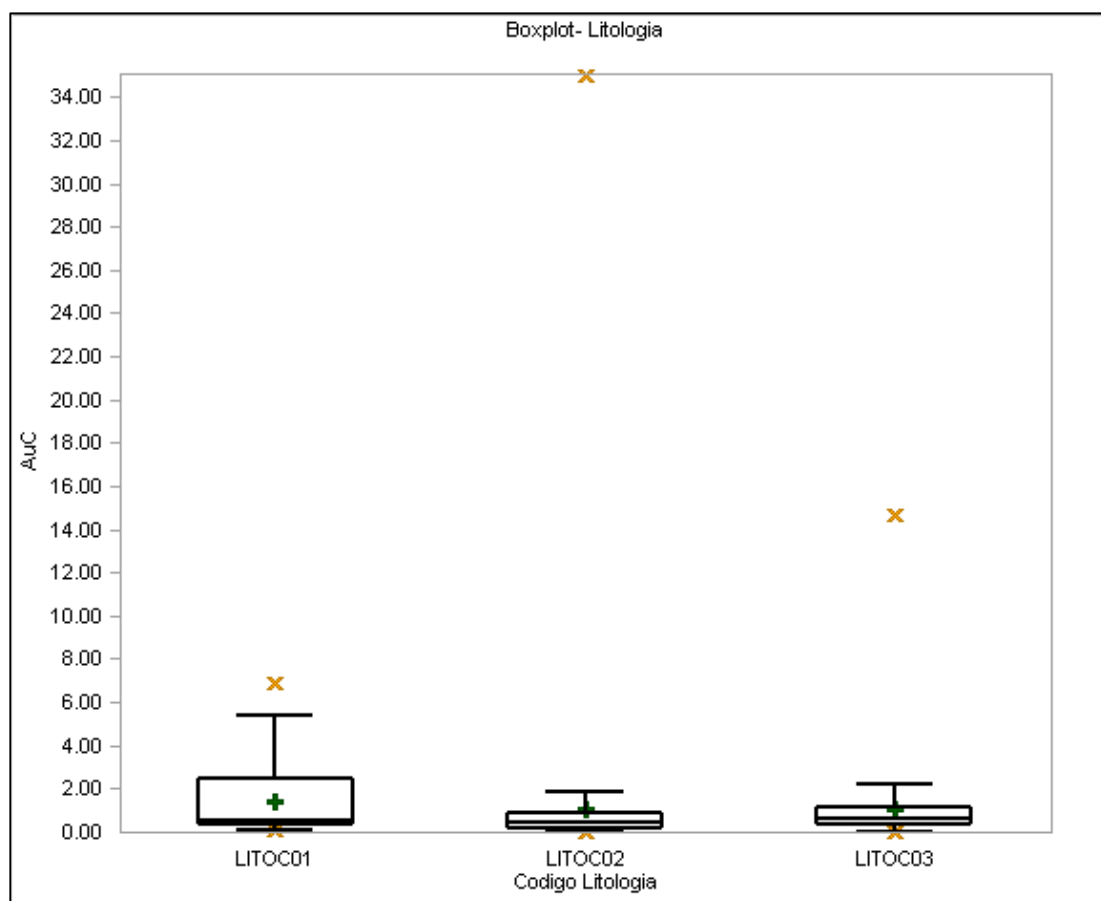


Figura 5.44 Diagrama de caja (BoxPlot)-Litología- Altos Erráticos

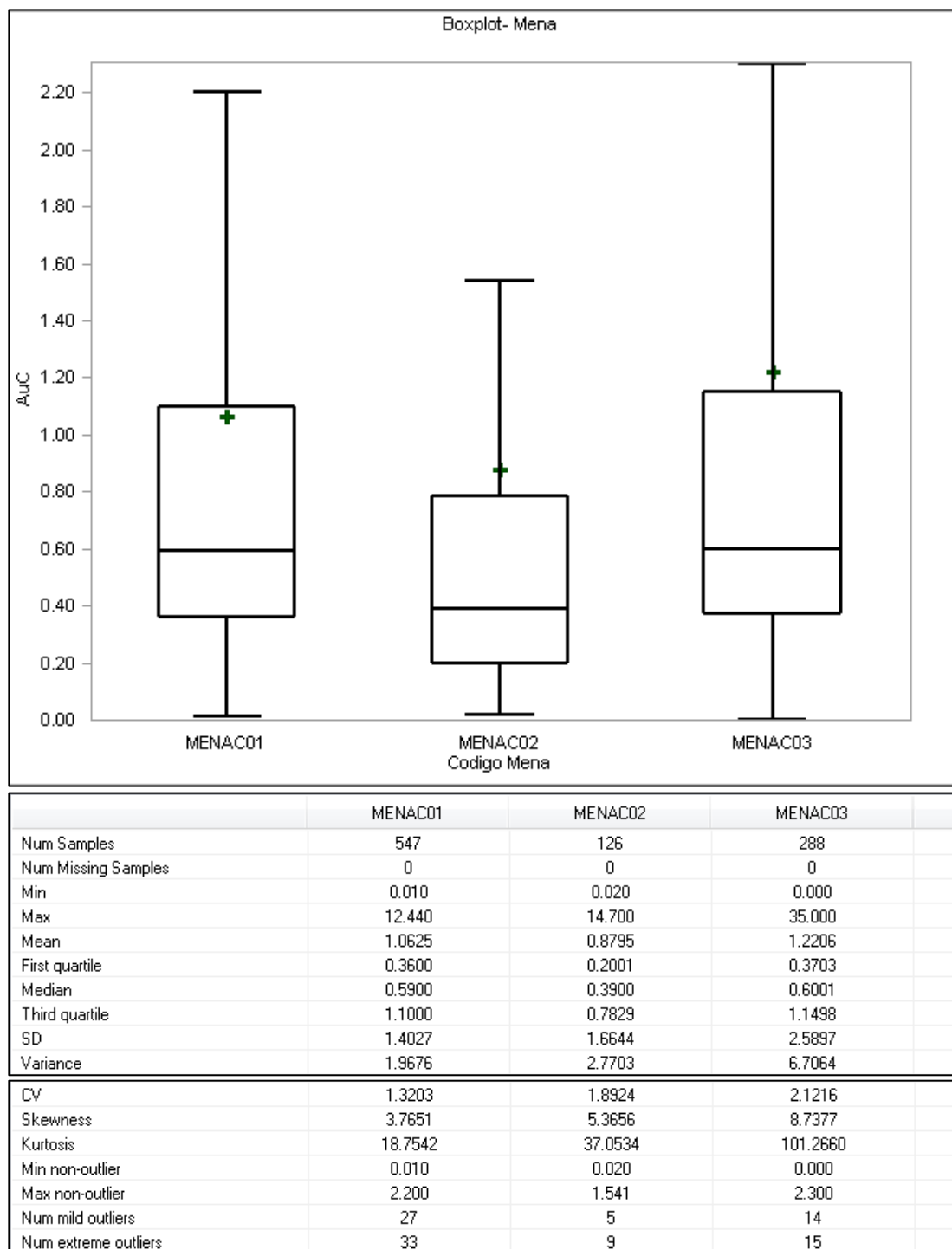


Figura 5.45 Diagrama de caja (BoxPlot)-Mena

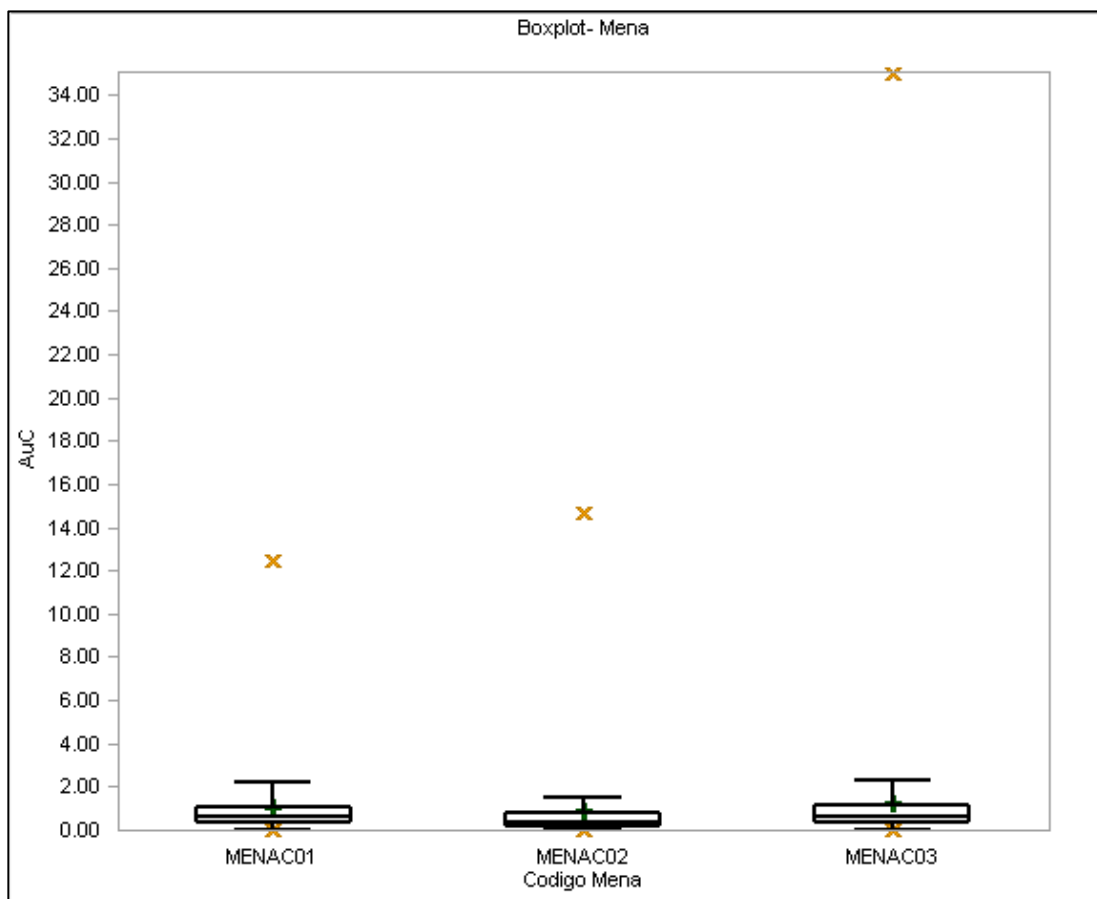


Figura 5.46 Diagrama de caja (BoxPlot)-Mena- Altos Erráticos

#### 5.3.3.3.1. Interpretación de los Resultados

En la figura 5.41 se observa el diagrama de caja (BoxPlot) de los cuerpos mineralizados 05 y 06, en donde la resta de las medias dividido entre el promedio de ambas nos da 10% de diferencia (si la diferencia hubiera sido +- 5% podríamos juntar ambos cuerpos), de esta manera se confirma que no podemos juntar los 2 cuerpos en uno solo.

En la figura 5.43 se observa el diagrama de caja de las 3 Litologías presentes en los cuerpos mineralizados, teniendo la mayor media la litología Pórfido, observada

anteriormente en el estudio de la estadística básica de los datos compositados (ver tabla 5.15).

En la figura 5.45 se observa el diagrama de caja de las 3 Menas presentes en los cuerpos mineralizados, teniendo la mayor media la Mena Sulfuro, observada anteriormente en el estudio de la estadística básica de los datos compositados (ver tabla 5.16).

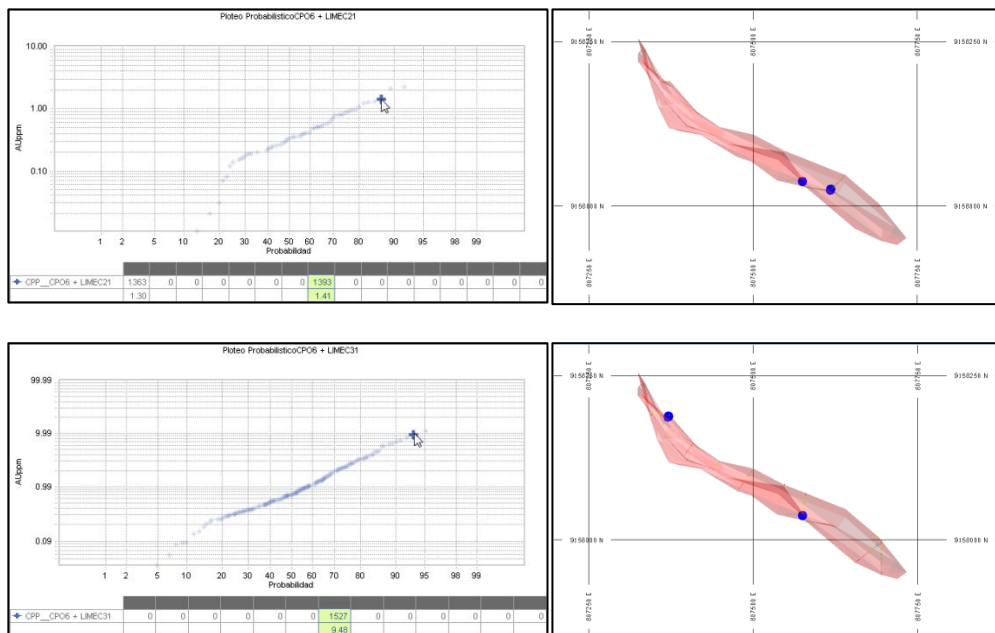
En las figuras 5.41, 5.43 y 5.45 las medianas están más cerca del 1er cuartil, confirmando así el sesgo positivo, observada anteriormente en el estudio de la estadística básica de los datos compositados (ver tabla 5.14, 5.15 y 5.16).

En las figura 5.42, 5.44 y 5.46 se observa los altos erráticos en los cuerpos mineralizado 05 y 06, Litología y Mena respectivamente, más adelante haremos un tratamiento cuidadoso con estos valores para que no influyan en la interpolación en el modelo de bloques.

#### **5.3.4. Análisis de los Valores Extremos**

Se considera un valor extremo (en los datos regularizados (compositados)) a aquellas leyes que está por encima del límite de correlación de una población de muestras, y estos son determinados por un análisis estadístico, curvas probabilísticas, teniendo como base la media más dos veces la desviación estándar y su distribución espacial dentro del cuerpo mineralizado.





Continuación Figura 5.48 Altos Erráticos de ítem LIMEC

En la figura 5.47 se visualiza los gráficos de curvas de probabilidad del ítem LIMEC (con los datos regularizados (compositados) mayores a 75%).

## **CAPITULO VI.**

### **ANÁLISIS ESTRUCTURAL GEOESTADÍSTICO**

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

#### **6.1. Variograma Experimental**

El desarrollo del análisis variográfico, ha sido realizado con las siguientes características:

Aquel dominio que presenten una cantidad mínima de datos (200 aproximadamente). Por tal motivo se eligió como dominio el ítem MENAI (Oxido, Mixto y Sulfuro) por tener una mejor distribución de datos.

Los variogramas experimentales han sido realizados en el plano del cuerpo mineralizado (azimut e inclinación), usando el tipo Correlograma, debido a que no están afectados a valores extremos.

Los variogramas experimentales han sido modelados con 02 modelos de tipo esférico.



### 6.1.1. Correlograma

En el análisis de los datos, un correlograma es una imagen de la correlación de estadísticas es una herramienta comúnmente usada para el control de aleatoriedad en un conjunto de datos.

Se realizaron variogramas tipo correlograma, debido a que este tipo de variograma no está afectó a los valores altos.

## 6.2. Modelamiento del Variograma

Para generar y modelar correlogramas para el elemento Au se usó el MSDA en MineSight. Este correlograma fue generado en diferentes direcciones así como a lo largo de la dirección del taladro para la determinación del efecto pepita.

### 6.2.1. Downhole Variogram (Variograma en el Taladro):

Variograma hecho a lo largo del sondaje.

Los variogramas experimentales tipo correlograma mostrados a continuación (figura 6.1, 6.2, 6.3), con los parámetros de la tabla 6.1.

Para realizar este modelamiento se usó 2 modelos esféricos obteniendo los datos mostrados en la tabla 6.2.

Tabla 6.1 Parámetros del Downhole Variogram

PARAMETROS	VALOR
DISTANCIA (LAG)	2
TOLERANCIA DISTANCIA (LAG)	1
NUMERO DE PASOS	100

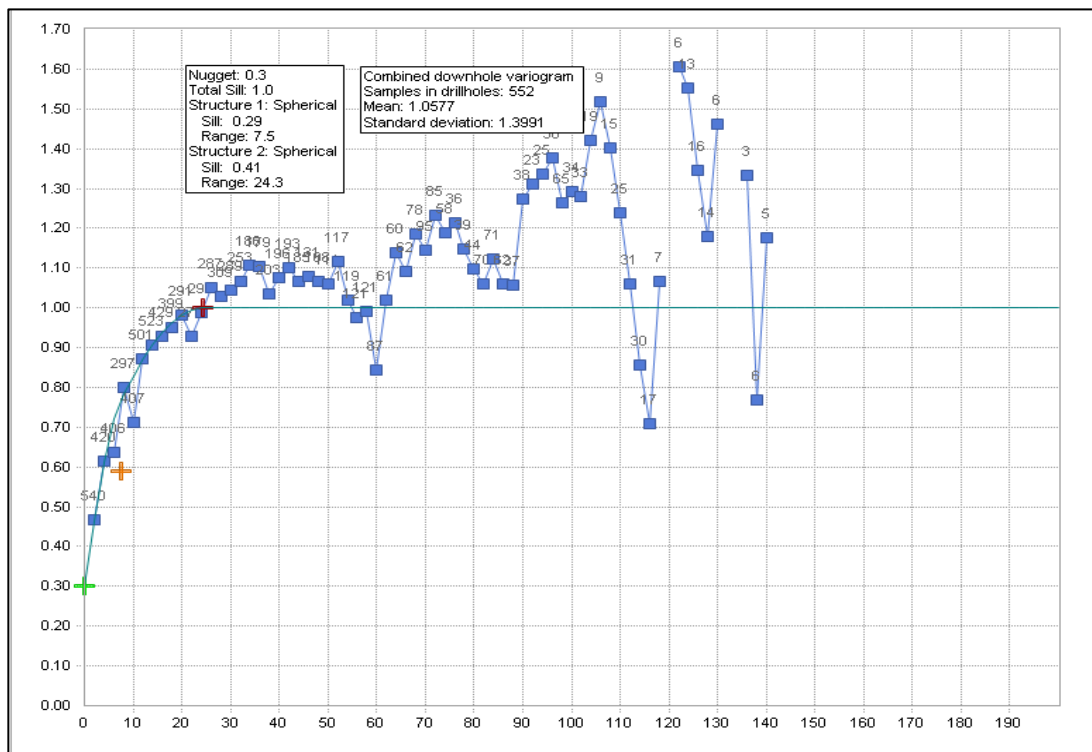


Figura 6.1 Downhole Variogram del Dominio MENAC01

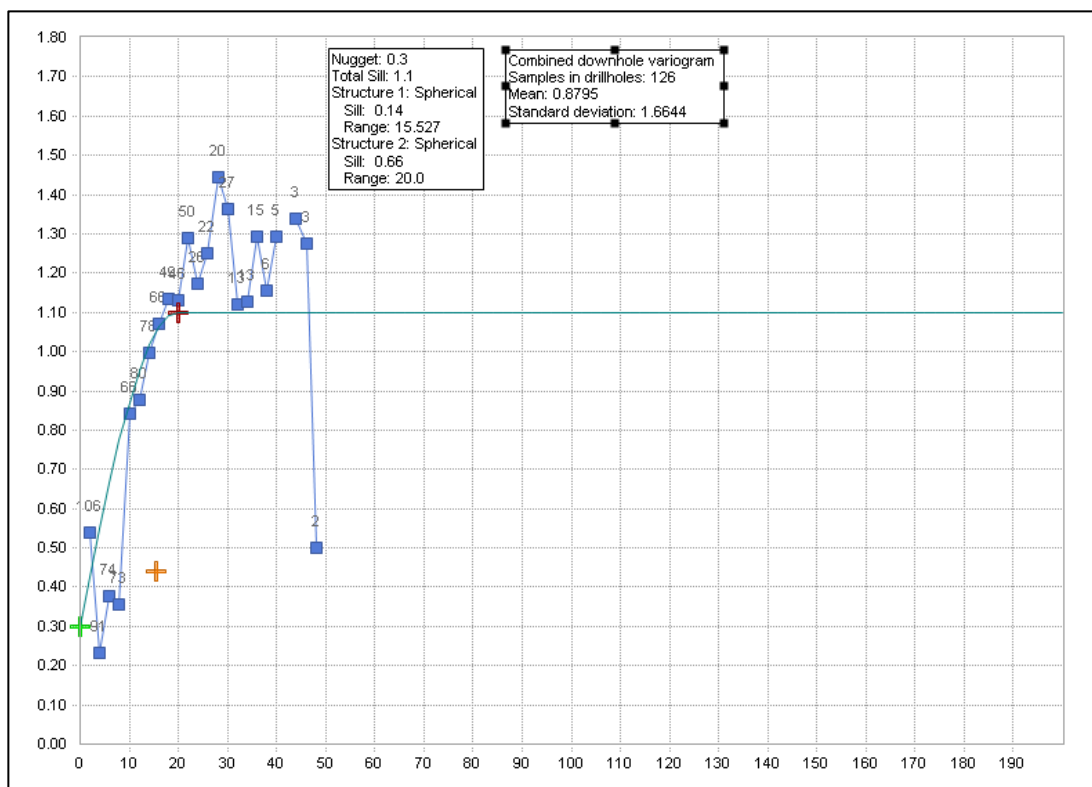


Figura 6.2 Downhole Variogram del Dominio MENAC02

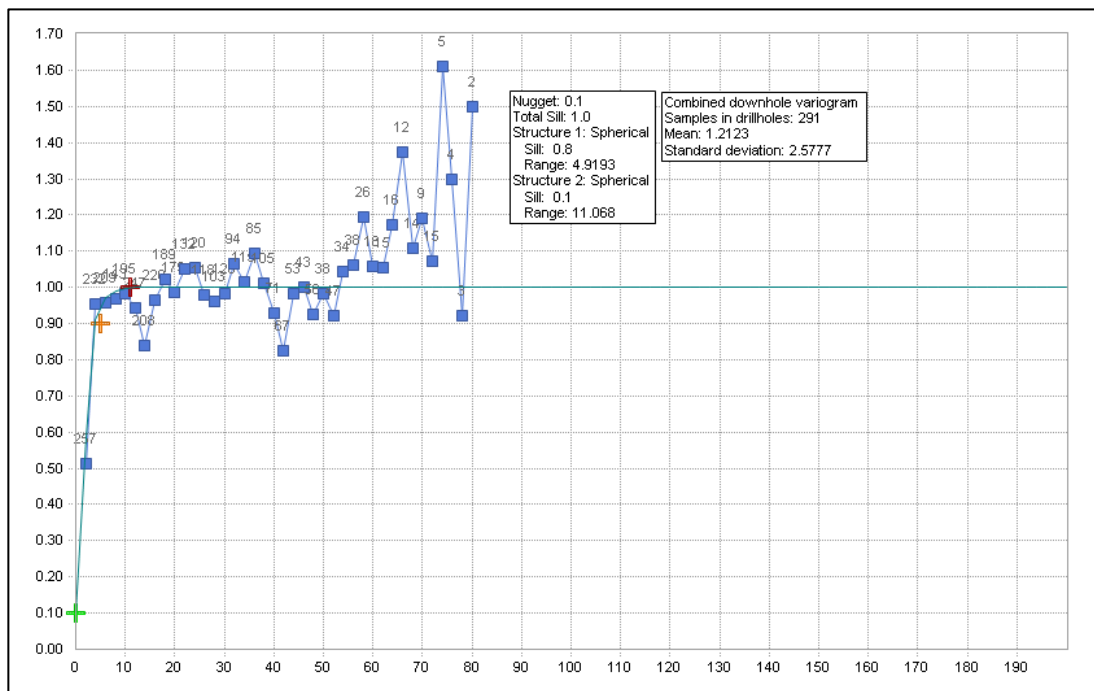


Figura 6.3 Downhole Variogram del Dominio MENAC03

Tabla 6.2 Nugget del Dominio MENAC

DOMINIO	C0
MENA01	0.3
MENA02	0.3
MENA03	0.1

En las figura 6.1, 6.2, 6.3 se observa que el variograma presenta un efecto pepa pequeño según la tabla 6.2, lo que indica una baja variabilidad de la continuidad geológica y las técnicas de la toma de muestra no presentan un error alto.

### 6.2.2. Variograma

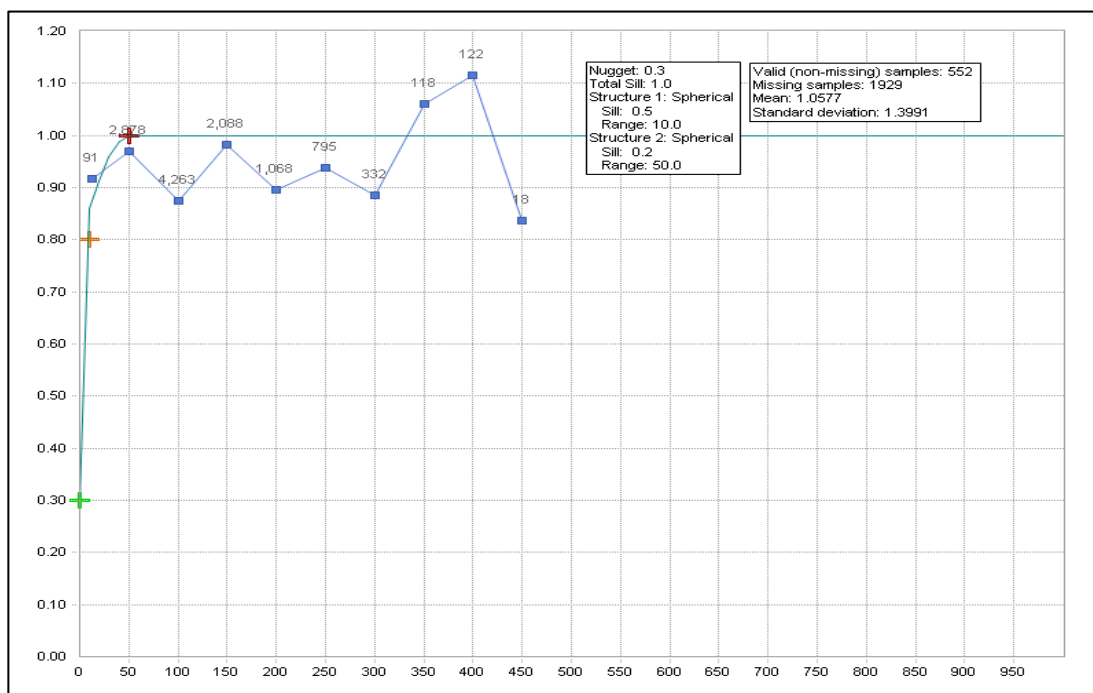


Figura 6.4 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 0.0

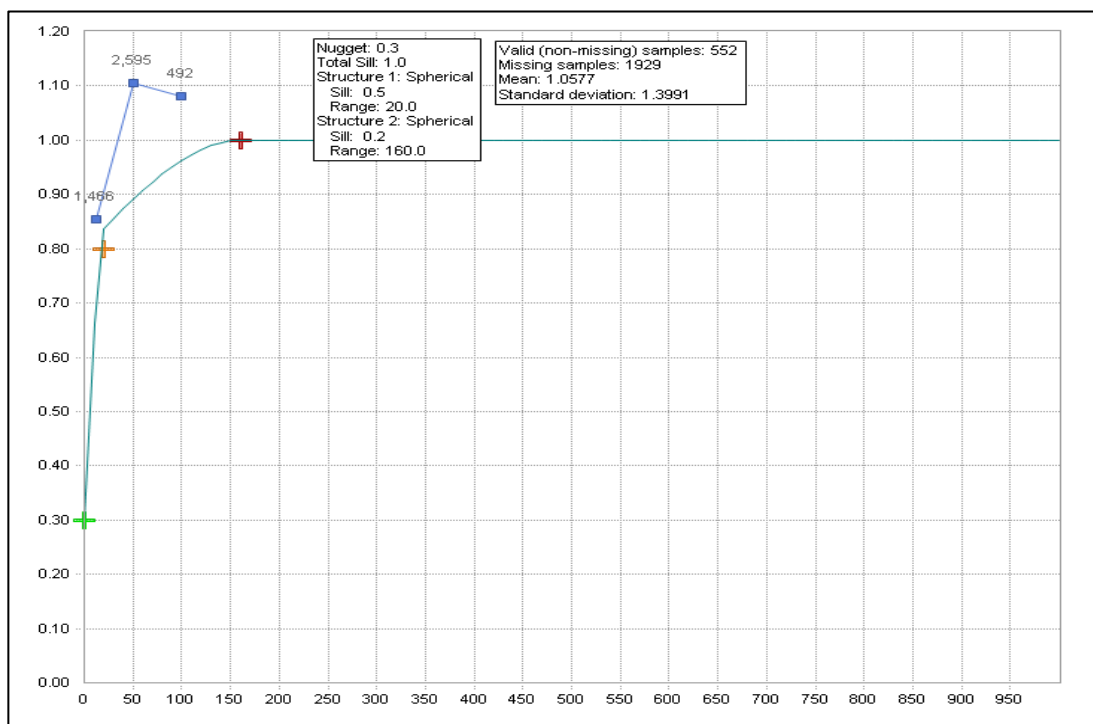


Figura 6.5 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 90.0

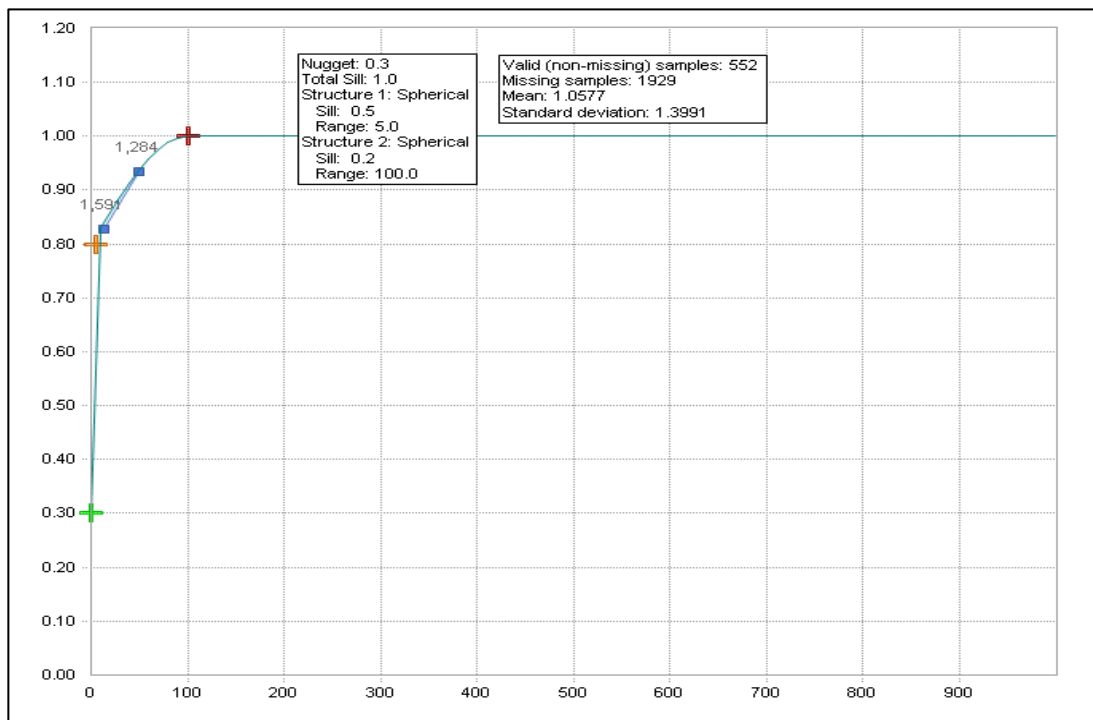


Figura 6.6 Variograma del Dominio MENAC01- dirección 90.90

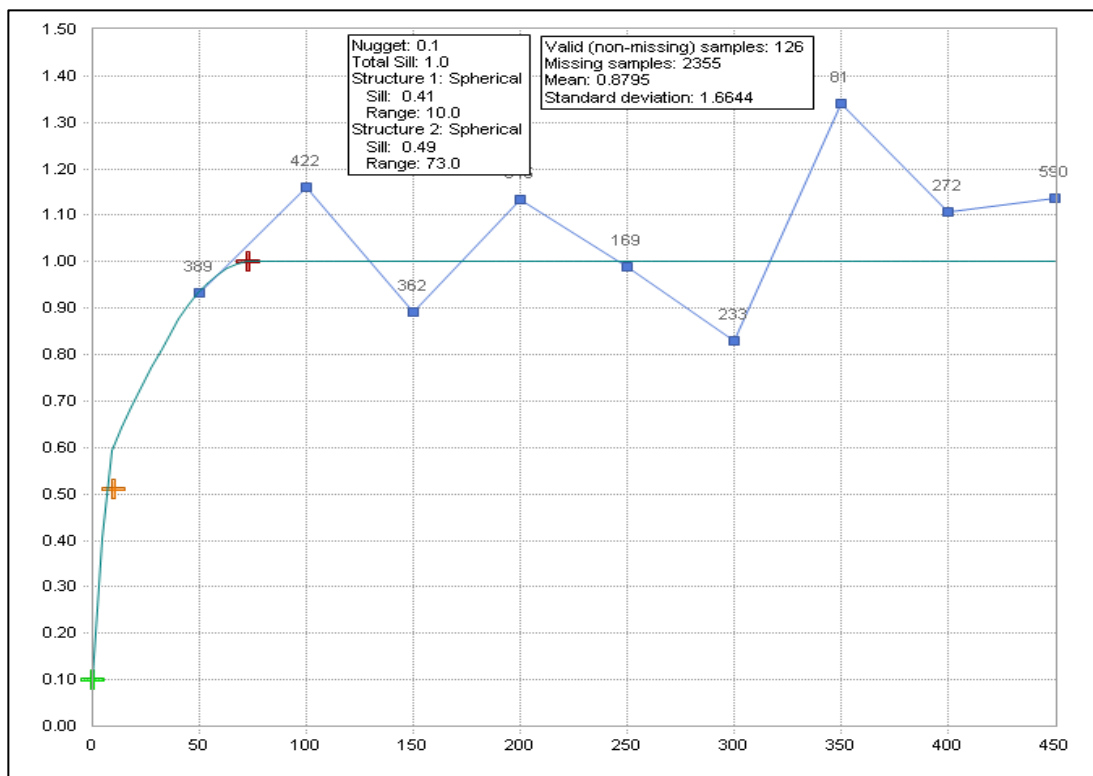


Figura 6.7 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 0.0

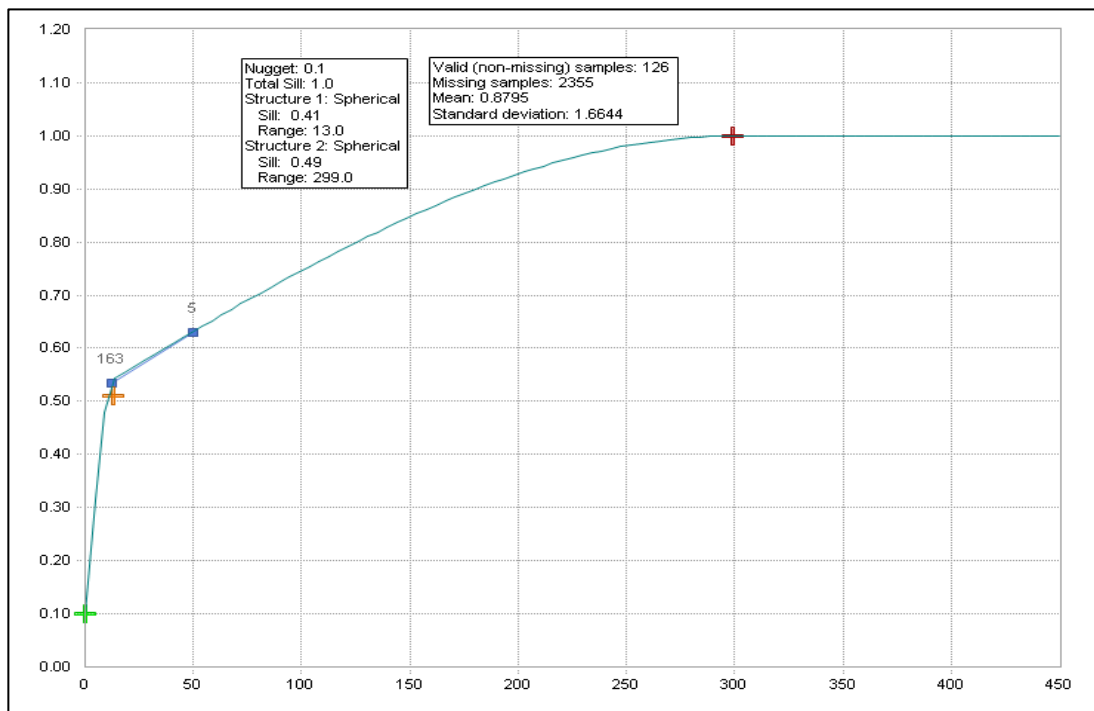


Figura 6.8 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 90.0

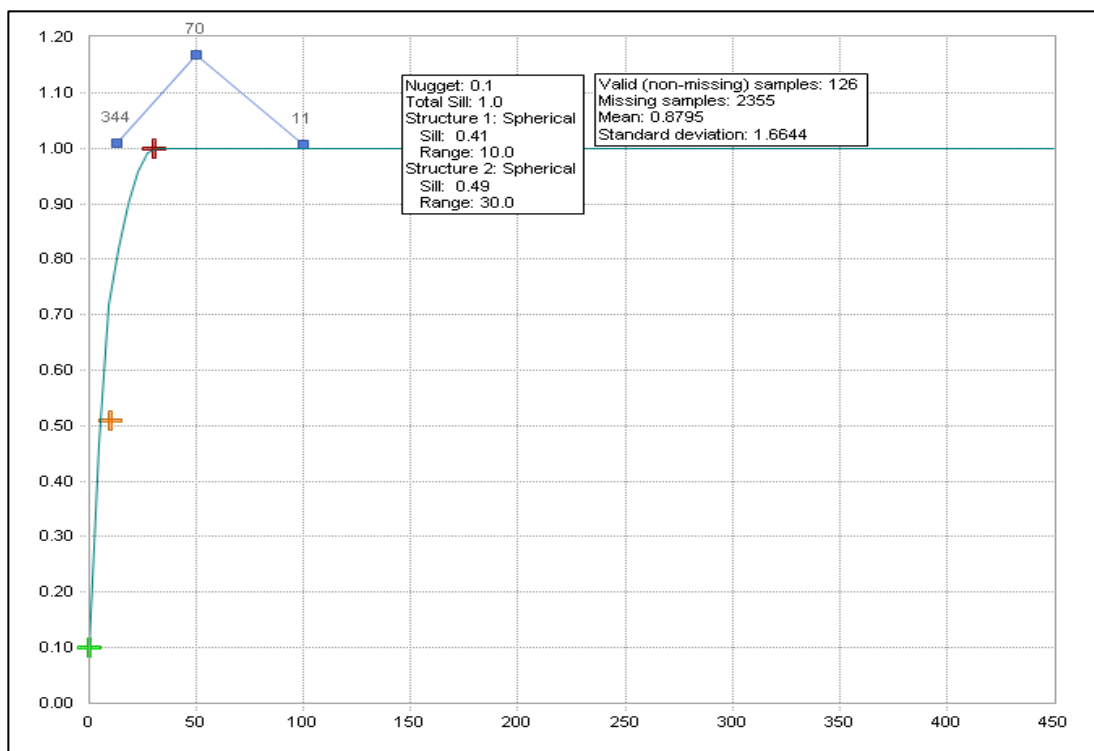


Figura 6.9 Variograma del Dominio MENAC02- dirección 90.90

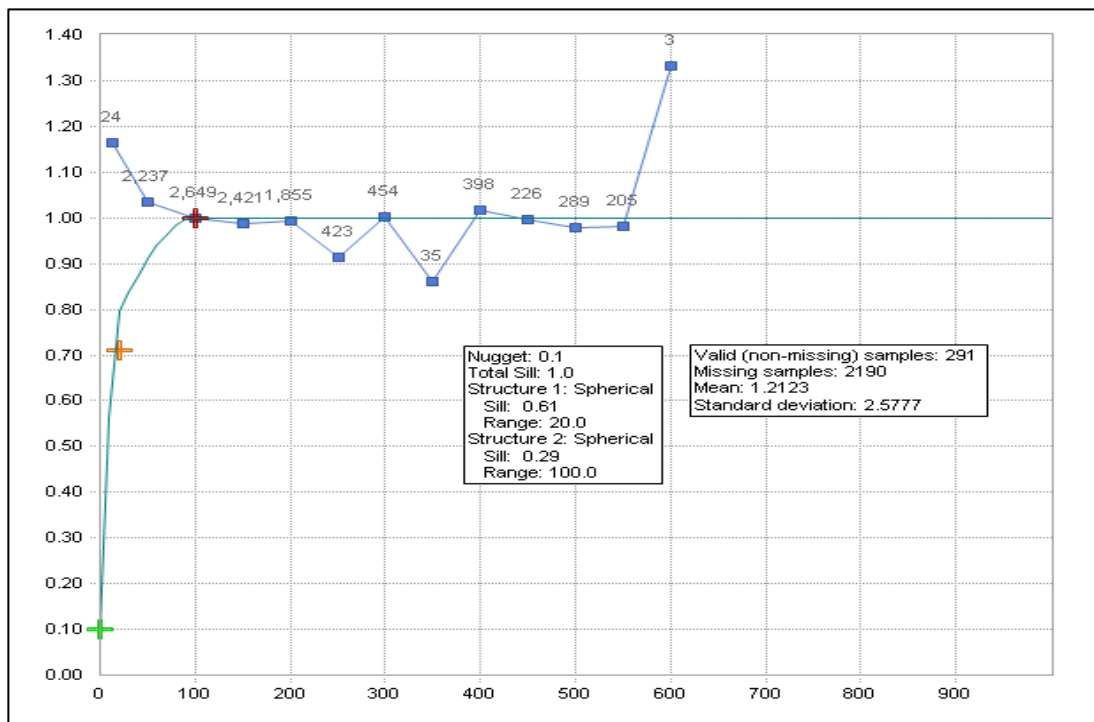


Figura 6.10 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 0.0

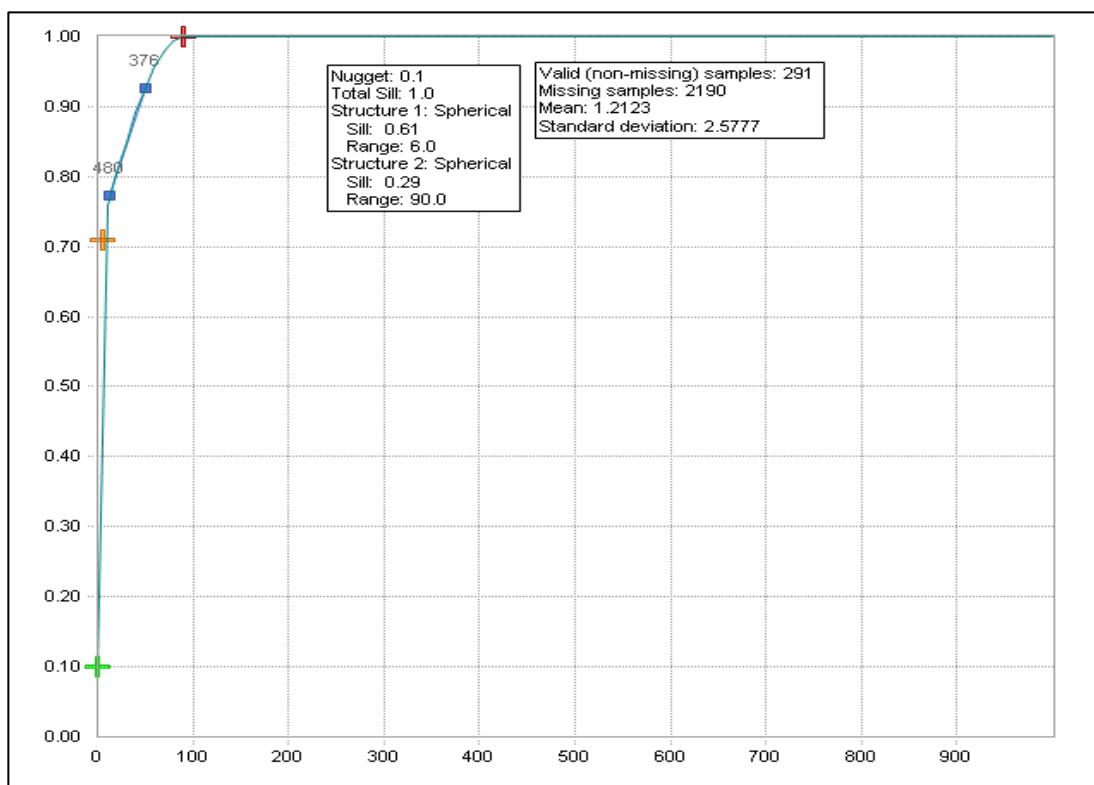


Figura 6.11 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 90.0

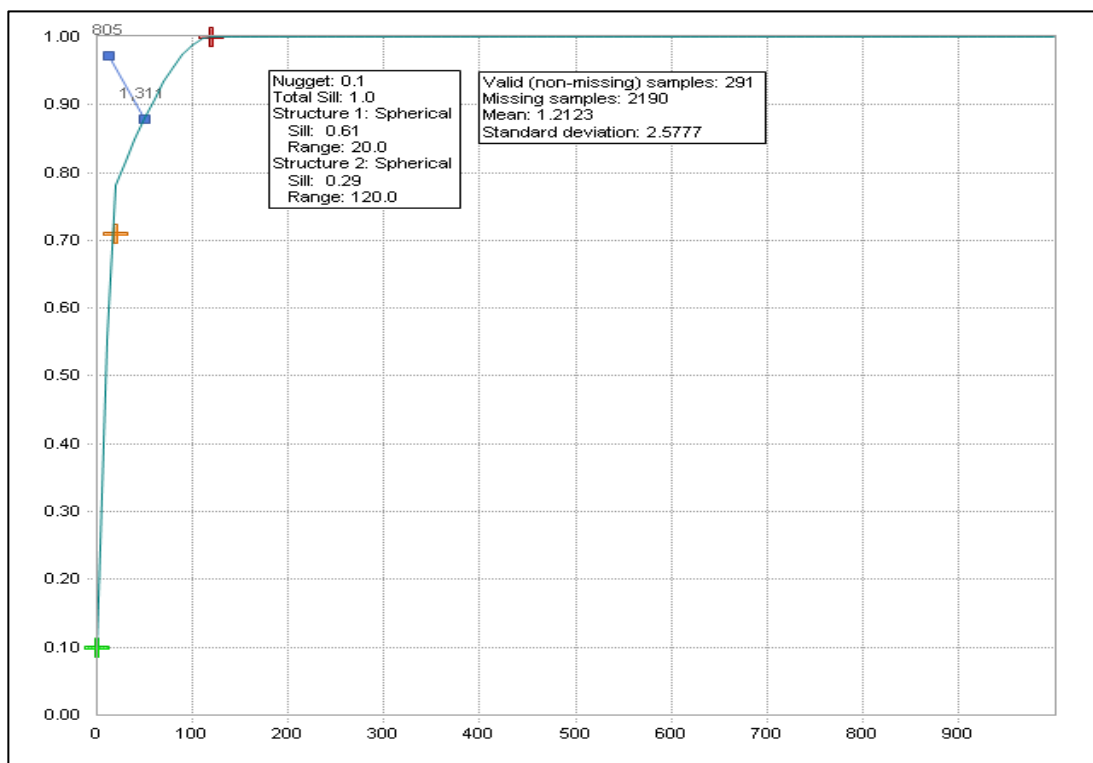


Figura 6.12 Variograma del Dominio MENAC03- dirección 90.90

Tabla 6.3 Parámetros variográficos

Dominio	Eje de busqueda	Direccion	Angulo de Rotacion	Rango
MENAC01	Eje Mayor	0.0	30	160
	Eje menor	90.0	-85	50
	Eje vertical	90.90	0	100
MENAC02	Eje Mayor	0.0	30	299
	Eje menor	90.0	-85	73
	Eje vertical	90.90	0	30
MENAC03	Eje Mayor	0.0	300	100
	Eje menor	90.0	0	90
	Eje vertical	90.90	-85	120



## **CAPITULO VII.**

### **PLAN DE ESTIMACION 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 que se irán afinando a medida que se tenga mayor información.

#### **7.1. Dimensión del Modelo de Bloques**

Las dimensiones del modelo de bloques fueron establecidas como un múltiplo de la longitud de la regularización (compósitos). Cada una 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 118,266 celdas, distribuidas a lo largo del eje X con 580 columnas de 4 m cada una de ellas. El eje Y con 550 filas de 4 m cada una de ellas. El eje Z con 150 niveles de 4 m de cada una de ellos. El

modelo de bloques está codificado para la estructura mineralizada.

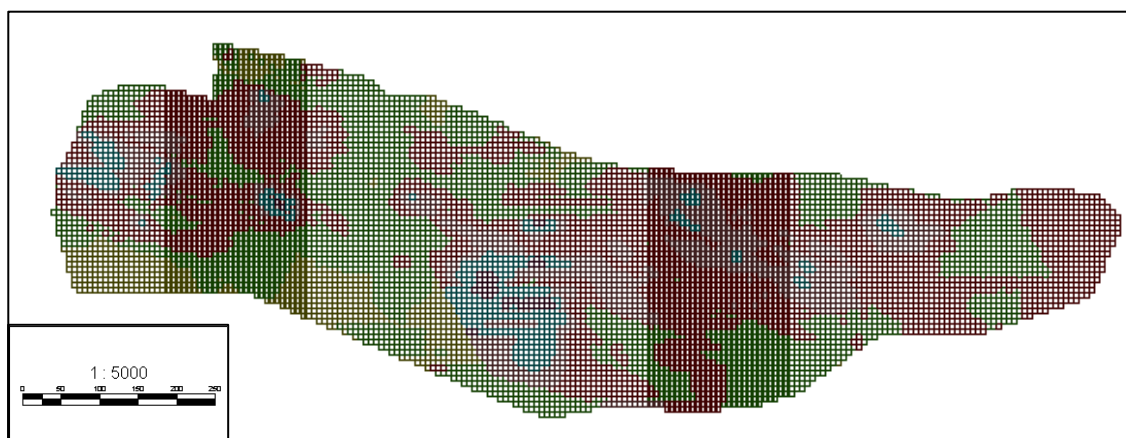


Figura 7.1 Modelo de Bloques en 3D del Cuerpo Mineralizado

## 7.2. Análisis del Número de Regularización (Compósitos)

Tabla 7.1 Número de regularización (Compositos) para Interpolación

Dominio	Min x Block	Max x Block	Max x Hole
Mena Oxido	1	24	2
Mena Mixto	1	24	2
Mena Sulfuro	1	24	2

## 7.3. Restricción de los Valores Extremos

La restricción y/o reducción de valores altos extremos es comúnmente usada para minimizar el potencial riesgo de sobre estimar las leyes durante el proceso de interpolación. En la mayoría de los depósitos, los valores extremos altos representan aproximadamente el 2% de los datos. En muchos casos, estos datos de ensaye son reales y reproducibles, pero el rango de influencia de estas muestras puede estar mucho más restringido que el de las leyes bajas.

Hay diferentes métodos para definir los umbrales de los valores altos. Uno de los métodos que usaremos para determinar cuál es el valor de reducción de estas

leyes altas, es usando los gráficos de probabilidad acumulada donde se buscan quiebres en la pendiente o discontinuidades de la recta, los cuales ocurren mayormente en la parte final de la distribución. Una vez determinado el límite de lo que serán los valores altos erráticos, es necesario evaluar si estos valores están distribuidos de manera aleatoria o concentrada en zonas del yacimiento. En el caso que se encuentren aislados a lo largo del depósito, se recomienda reducir los valores altos al umbral definido, o restringir su influencia en la estimación con un elipsoide de radio menor.

De acuerdo a este análisis, se consideró necesario restringir los valores extremos del elemento Au durante el proceso de interpolación. La metodología seguida fue restringir los valores extremos a un radio de 6 m (un solo bloque) mediante un procedimiento interno de MineSight®. Los valores límites que se usaron para cada elemento en cada dominio se muestran en la Tabla 7.2.

**Tabla 7.2** Altos Erráticos del ítem LIMEC

CPOC	LIMEC	VE
5	11	-
5	12	-
5	13	-
5	21	-
5	22	-
5	23	4.62
5	31	2.35
5	32	1.73
5	33	3.53
6	11	3.95
6	12	-
6	13	-
6	21	1.41
6	22	-
6	23	-
6	31	9.48
6	32	-
6	33	-

#### 7.4. Definición del Método de Interpolación

Con los parámetros de las tablas 7.1 y 7.2 se efectúa interpolaciones utilizando el método de estimación ID (Inverso a la Distancia) (para dominios con poca información de datos < 400 datos) y el método de estimación NN (Vecino Más Cercano), este último para efectos de validación.

En la interpolación por el NN, se ha realizado 01 corrida, con los alcances del variograma según la tabla 6.3.

Para ambos métodos (ID e NN) se ha restringido aquellas longitudes que son menores al 50% de la longitud de regularización (compósito), es decir, solo han participado en la interpolación de leyes aquellas longitudes mayores a 1.0 m.

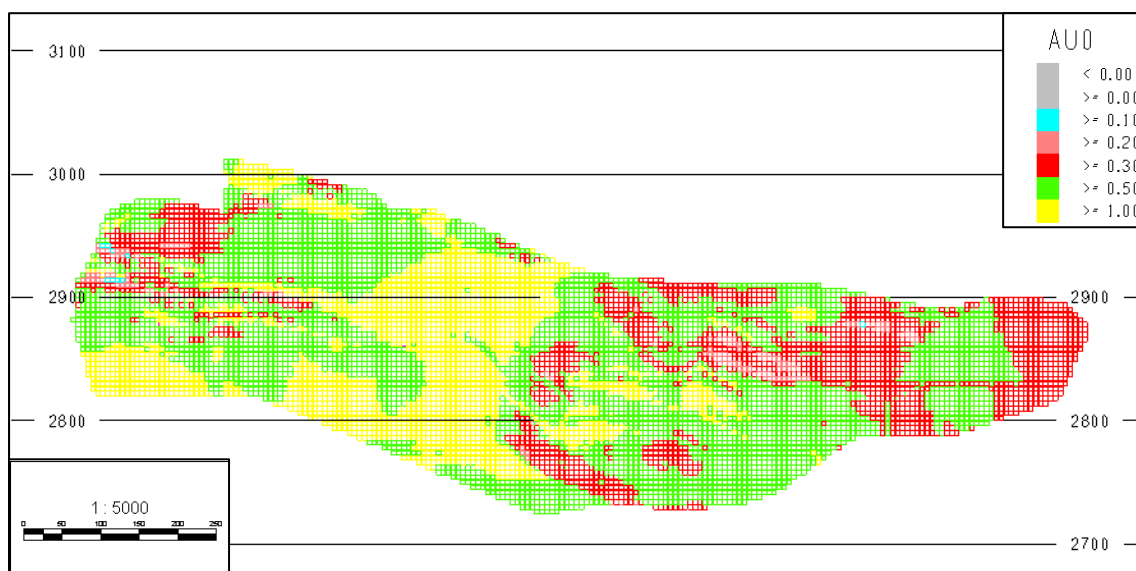


Figura 7.2 Interpolación de Leyes de los Cuerpos Mineralizados

## **CAPITULO VIII.**

### **VALIDACIÓN DE LA ESTIMACION DE LEYES**

La validación del modelo fue efectuado utilizando los siguientes criterios:

#### **8.1. 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 secciones transversales al cuerpo mineralizado (figuras 8.1 y 8.2).

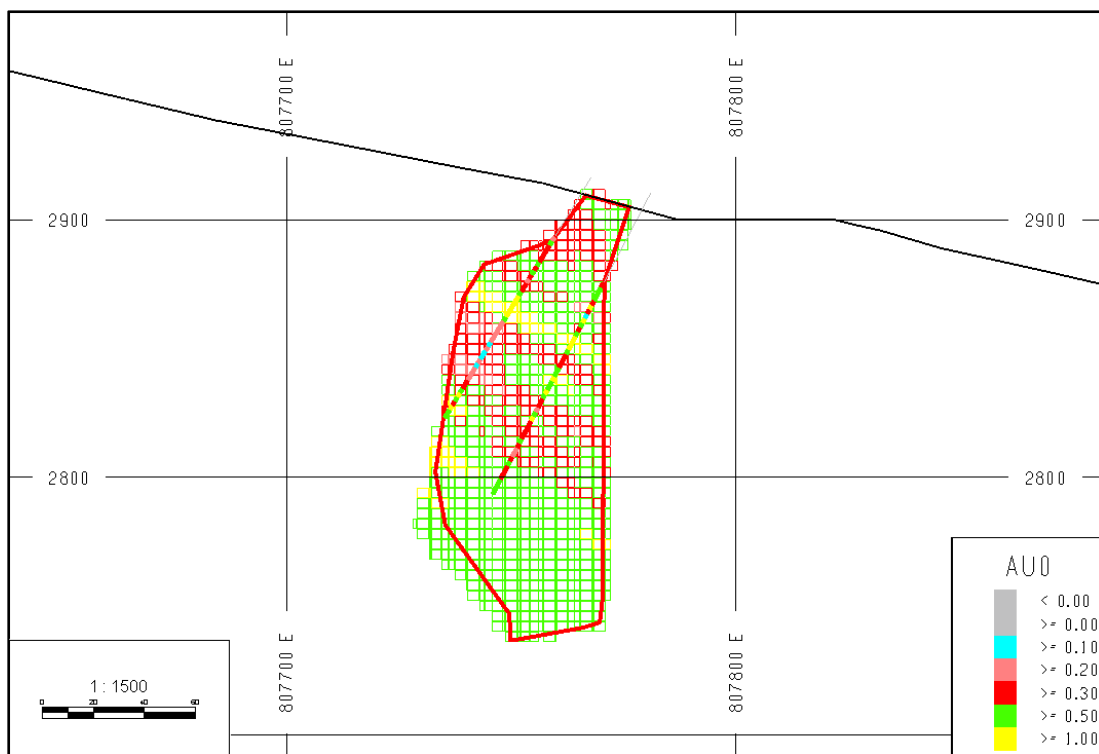


Figura 8.1 Vista Sección Transversal 01

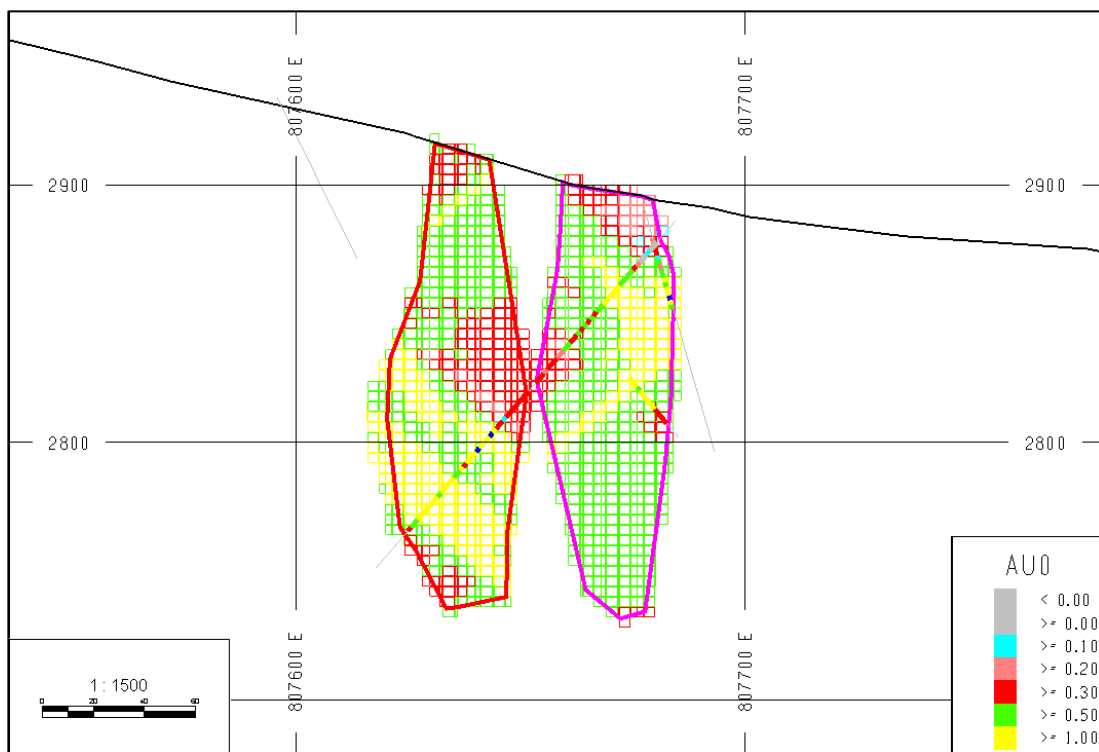


Figura 8.2 Vista Sección Transversal 02

En la figura 8.1 y 8.2 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. Dado los radios de interpolación asignados, se tiene mayor representatividad en las cercanías de los compósitos, los bloques alejados presentan suavizamiento (los contenidos altos bajan y los contenidos bajos se incrementan).

## **8.2. Validación Global**

Entre el Método del Inverso de la Distancia (ID) y método del vecino más cercano (NN). La figura 8.3 resume la comparación entre los resultados obtenidos mediante ID (línea continua azul) y los resultados obtenidos asignando la ley del NN (línea discontinua verde). La estimación ID tiene una ley alta en toda la población. En la tabla 8.1 siguiente, se observa una estadística básica comparativa del Au entre el modelo de bloques, compósitos y datos originales para cada dominio por cuerpo mineralizado. En estos resultados observamos que el error relativo, de la diferencia entre el ID y NN se encuentra en +/- 8%, a excepción del dominio 32 del cuerpo 5 que por tener pocas muestras (105) presenta un error del 10%.

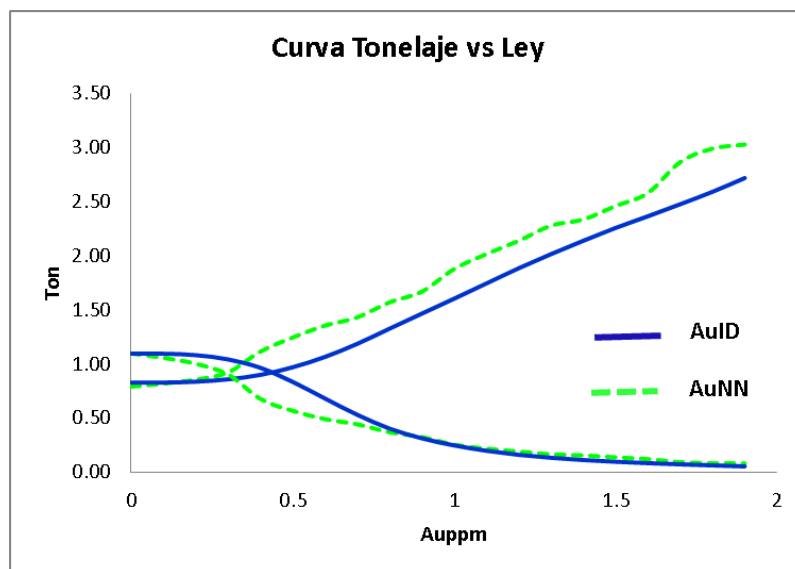


Figura 8.3 Curva Tonelaje vs Ley

Tabla 8.1 Estadística Básica Comparativa

#### ESTADISTICA BASICA Au ppm

CUERPO	LIME	N° Datos	AU0	N° Datos	AUC	N° Datos	AUID	N° Datos	AUNN	% ERROR
5	11	1	0.12	2	0.12	10,003	0.64	10,003	0.64	-0.61%
5	12	1	1.76	2	1.76	1,490	0.99	1,490	1.09	9.62%
5	13	14	0.78	11	0.77	2,607	0.96	2,607	1.12	14.64%
5	21	0	0.00	0	0.00	519	0.65	519	0.58	-11.46%
5	22	24	0.30	18	0.28	588	0.89	588	0.83	-7.68%
5	23	123	1.67	114	1.67	11,298	0.99	11,298	0.98	-1.15%
5	31	217	0.80	211	0.80	22,027	0.66	22,027	0.69	4.67%
5	32	105	1.19	86	1.05	4,581	0.58	4,581	0.65	10.18%
5	33	166	1.05	142	1.00	22,029	0.80	22,029	0.81	1.71%
6	11	31	1.98	25	1.96	1,754	0.69	1,754	0.65	-6.31%
6	12	5	0.42	3	0.41	12	1.82	12	1.57	-16.00%
6	13	1	0.31	1	0.31	9	1.55	9	1.18	-31.30%
6	21	77	0.50	76	0.49	7,574	0.52	7,574	0.56	7.93%
6	22	13	0.17	13	0.17	1,432	0.61	1,432	0.54	-12.35%
6	23	17	0.61	17	0.61	3,260	0.72	3,260	0.65	-11.27%
6	31	286	1.34	238	1.38	14,575	1.11	14,575	1.04	-6.99%
6	32	4	2.05	4	2.05	1,390	0.84	1,390	0.66	-27.82%
6	33	5	0.33	5	0.33	4,586	0.58	4,586	0.32	-79.66%



### 8.3. Validación Local

Entre los resultados del ID y NN. Para efectuar esta comparación se ha realizado gráficos de Análisis de Deriva (o Swath Plot). Los resultados obtenidos muestran buena correlación en general, mostrándose los valores estimados el Inverso de la Distancia (AuID) son menores que los valores estimados por el vecino más cercano (AuNN) (figuras 8.4, 8.5, 8.6.)

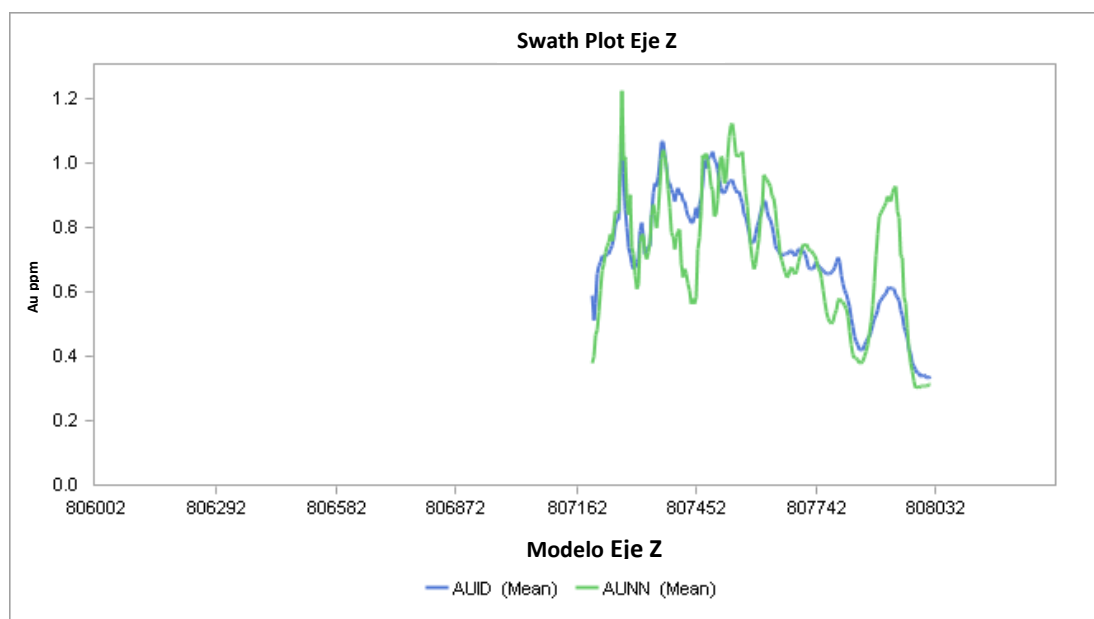


Figura 8.4 Swath Plot Eje X

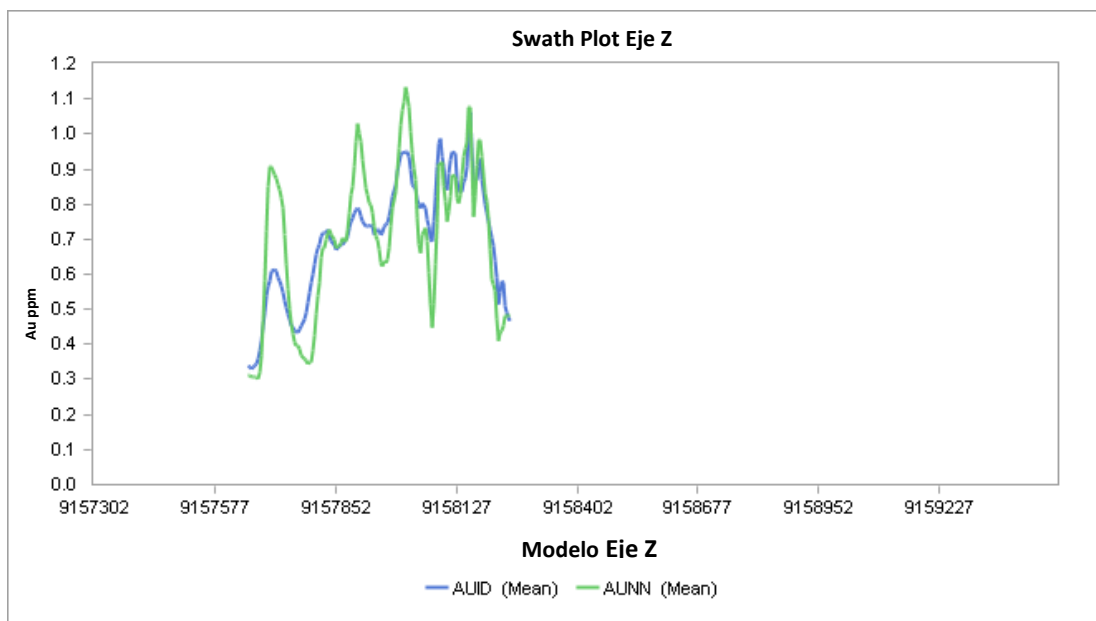


Figura 8.5 Swath Plot Eje Y

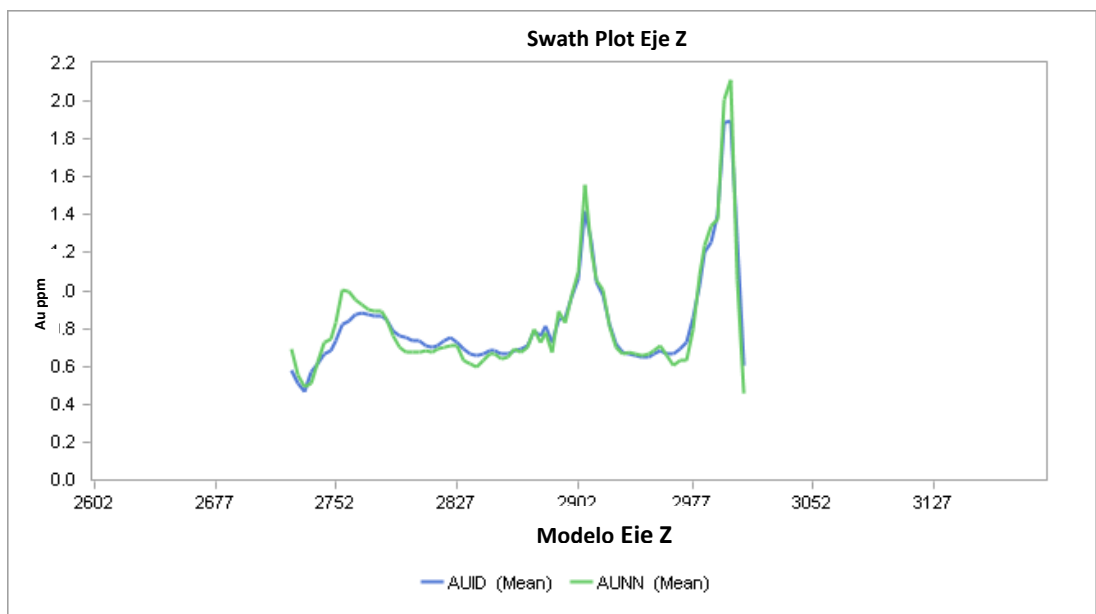


Figura 8.6 Swath Plot Eje Z

## 8.4. Validación usando Métodos de Estimación Geométricos:

### 8.4.1. Método de los Polígonos

El método se basa en lo siguiente: asignar a cada punto del espacio la ley del dato más próximo. Para estimar una zona S se ponderan las leyes de los datos por el área, volumen y/o tonelaje de influencia  $S_i$ .

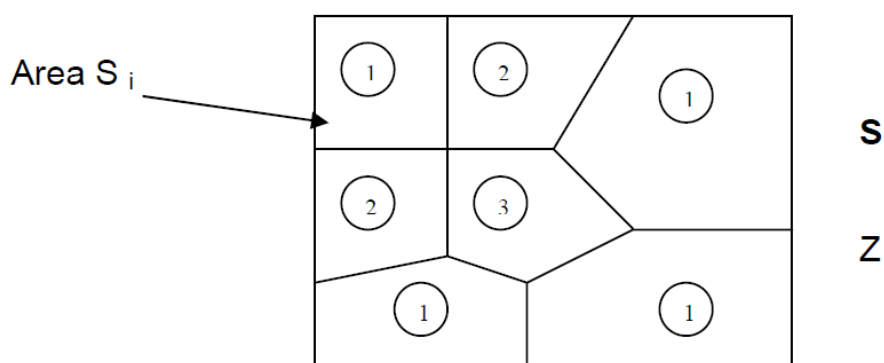


Figura 8.7 Método de los polígonos. Hay que calcular el área de 7 polígonos.

Ejemplo: En el mismo caso anterior se tiene:

$$\hat{z}_S = 1.36$$

La fórmula general es:

$$\hat{z}_S = \frac{\sum_{i=1}^N S_i z_i}{S} \quad (S = S_1 + S_2 + \dots + S_N)$$

#### Comentarios:

- Complicado, requiere planímetro, compás y regla
- El peso del dato  $Z_i$  es  $S_i / S$ ,  $S$  = área, volumen y/o tonelaje.

- Funciona mejor con agrupaciones de datos que la media aritmética
- Difícil de implementar en 3 dimensiones
- En general no es adecuado en estimaciones locales porque asigna la misma ley a todos los bloques que están dentro de un mismo polígono. Produce problemas con datos anómalos.

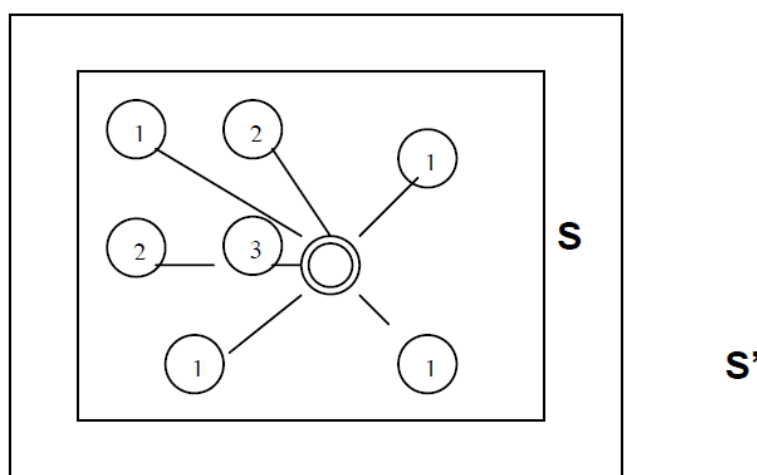
#### 8.4.2. Método del Inverso de la Distancia

Se basa en lo siguiente: asignar mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas a S (área, volumen y/o tonelaje). Esto se consigue al ponderar las leyes por  $1/d_i^\alpha$  ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ;  $d$ = distancia entre la muestra y el centro de gravedad de S).

Si  $\alpha = 1$  se tiene el inverso de la distancia (ID).

Si  $\alpha = 2$  se tiene el inverso del cuadrado de la distancia (ID2).

Ejemplo: En el caso anterior se obtienen las estimaciones



**Figura 8.8** Método del inverso de la distancia a la potencia alfa. Hay que calcular las distancias entre los datos y el centro del bloque

$$z_1 = 1.78 \text{ (inverso de la distancia)}$$

$$z_2 = 2.06 \text{ (inverso del cuadrado de la distancia)}$$

La fórmula general es:

$$\hat{z}_S = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{z_j}{d_j^\alpha}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\alpha}} \quad (\alpha > 0)$$

**Comentarios:**

- Simple, fácil de calcular.
- Se adapta mejor en estimaciones locales que globales.
- No funciona bien con agrupaciones de datos.
- Atribuye demasiado peso a las muestras cercanas al centro de gravedad. En particular no está definido si  $d_i = 0$  (muestra en el centroide de S)
- No toma en cuenta la forma ni el tamaño de S (en el ejemplo S' tiene la misma ley que S porque su centroide coincide con el de S).

## **CAPITULO IX.**

### **CLASIFICACION DE RECURSOS MINERALES**

Un "Recurso Mineral" es una 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. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral son conocidas, estimadas o interpretadas a partir de evidencia y conocimientos específicos geológicos principalmente de perforación diamantina y RCD y de labores subterráneas y de superficie. Los Recursos Minerales se subdividen, en orden de confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.

No deben incluirse en un Recurso Mineral las porciones de un depósito que no tienen probabilidades razonables de una extracción económica eventual.

#### **9.1. Importancia**

El inventario de Recursos de Minerales permite establecer el valor económico de un yacimiento en base a su valor intrínseco con relación a la demanda del mercado.

Los Recursos Minerales constituyen el activo más valioso de toda empresa minera y desde ya, es el principal respaldo económico de una mina, garantizando negociaciones de financiamiento, crédito, y otros.

#### **9.1.1. Métodos y cálculos para el modelado de Recursos Minerales**

La presente estimación de Recursos Minerales, ha sido realizada utilizando el software Mine Sight, esta herramienta nos permite definir, modelar, visualizar y cuantificar los cuerpos, determinados en base a información geológica de leyes de muestreo, testigos y/o detritus de perforación, y tendencias mineralógicas, determinándose áreas económicas y no económicas, producto de una interpolación regida por parámetros geoestadísticos, en base a las cuales se determina el modelo de bloques. Los resultados categorizados son reportados por el mismo software, los cuales son exportados a hojas de cálculo con extensión \*.csv o Excel, y luego utilizando para el proceso y emisión de los reportes respectivos.

#### **9.1.2. Criterios de Clasificación**

### **9.2. Parámetros de la Estimación**

Para categorizar los recursos minerales se ha utilizado como parámetro el alcance (según el espaciamiento de los taladros) y la cantidad de taladros que intervienen en la interpolación. Según este criterio una malla regular (4 taladros) con lados igual a 1/3 del alcance se considera como Medido, y una malla regular igual a 2/3 del alcance se considera indicado.

Para categorizar el recurso de cada bloque, se ha analizado la cantidad de información dentro de los radios establecidos según el espaciamiento entre taladros y la configuración está dado según la figura 9.1 y tabla 9.1. Posterior a esta categorización se realiza una categorización geológica – manual, basándose en la

calculada matemáticamente, para lo cual se crean envolventes de recursos indicados en secciones planares cada 4 m.

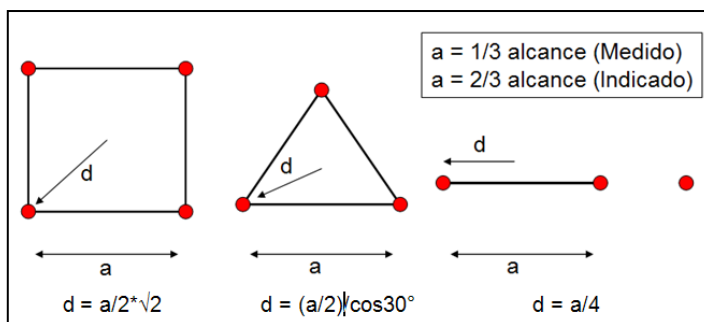


Figura 9.1 Configuración de taladros para categorización de Recursos

Tabla 9.1 Clasificación de Recursos Indicado

CUERPO 05 y 06	PASO1	PASO2	PASO3	PASO4
Alcance X	60	30	15	7
Alcance Y	60	30	15	7
Alcance Z	60	30	15	7
N° DDH	4	3	2	1
Categoría	2	2	2	2

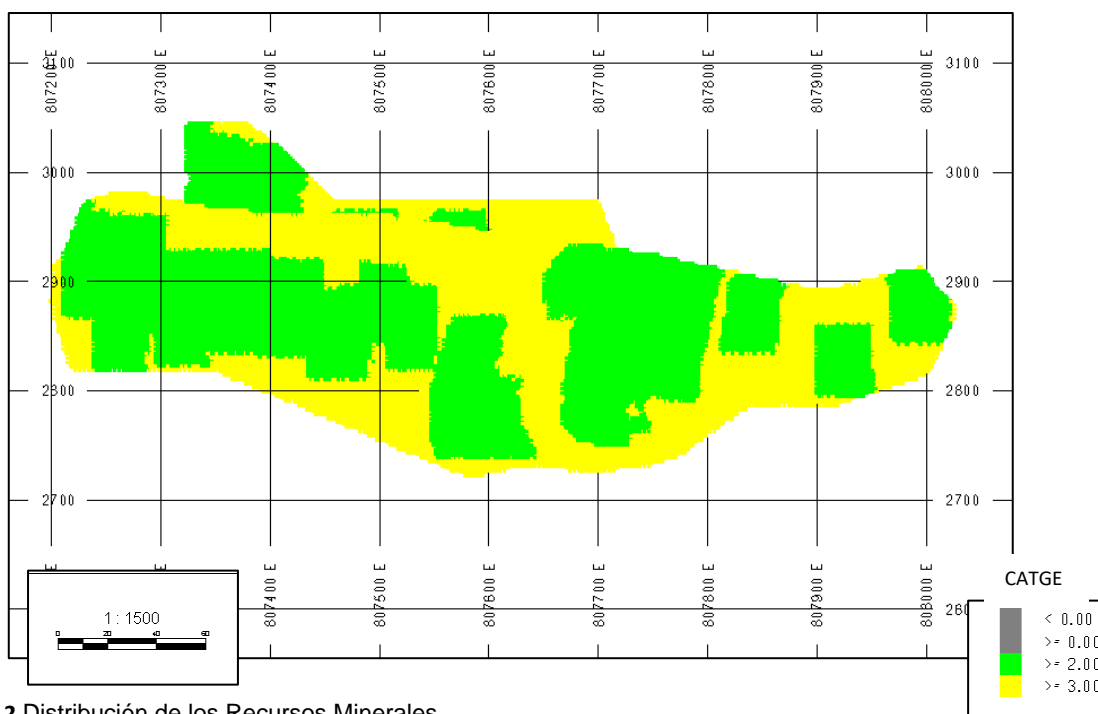


Figura 9.2 Distribución de los Recursos Minerales

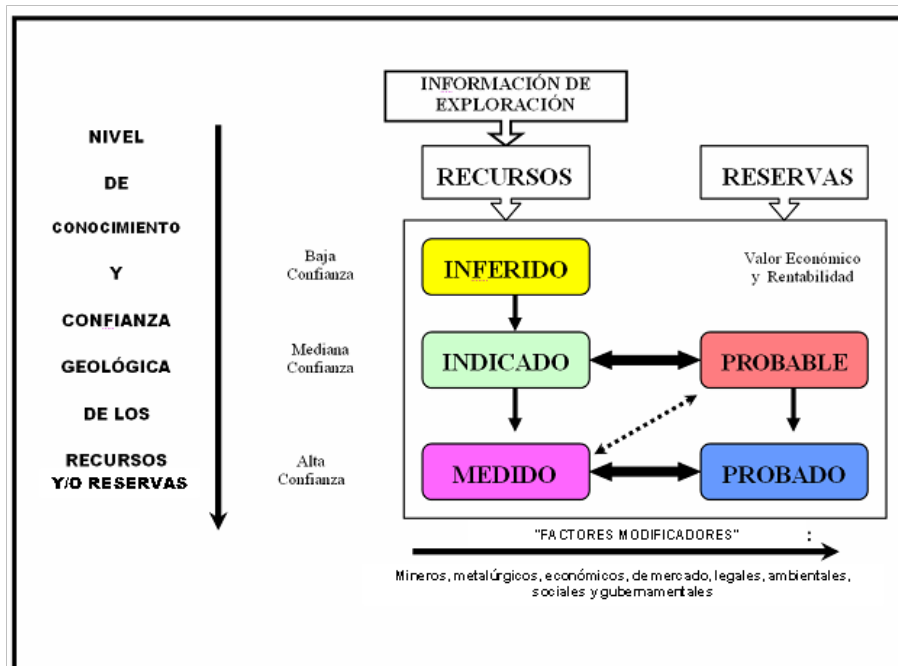


### **9.3. Criterios de la Clasificación**

En el presente informe, el Inventario de Recursos y Reservas, se han dividido en categorías, de acuerdo a la aplicación de normas y parámetros establecidos en el Código JORC (\*1), Estimación Procedures NI 43-101 Canadiense (\*2). Estos establecen los estándares mínimos, recomendaciones y normas para la edición de Informes de Dominio Público sobre los resultados de las Exploraciones en Recursos y Reservas de Minerales.

La Figura 9.3, muestra la clasificación y relación entre Recursos y Reservas Minerales.

A mayor información geológica se incrementa el nivel de confianza, tanto de los recursos como de las reservas. Mientras que la variación de los factores modificadores (mineros, metalúrgicos, económicos de mercado, legales, ambientales, sociales y gubernamentales) hacen que los recursos se conviertan en reservas o viceversa; se grafica con flechas de doble sentido.



**Figura 9.3** Clasificación del Mineral de Recursos y Reservas

Fuente: Código JORC

(\*1) Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code), prepared by then Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC), September 1999.

(\*2) Estimation Procedures NI43101 Canadiense, determined by Companion Policy 43-101cp to National Instrument 43-101 Standards of Disclosure for Minerals Projects.

## 9.4. Clasificación

Se denomina recursos minerales a aquellos volúmenes de mineral con su respectiva ley o contenido metálico que han sido estimados por medio de procesos de muestreo superficial y subterráneo, trincheras, cortes, calicatas o perforaciones que pueden representar geoestadísticamente a un cuerpo mineralizado.

### 9.4.1. Recurso Mineral Medido

Un “Recurso Mineral Medido” es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en exploración

detallada y confiable, información sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de ley.

#### **9.4.2. Recurso Mineral Indicado**

Un “Recurso Minerales Indicado” es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes. Las ubicaciones están demasiado espaciadas o su espaciamiento es inapropiado para confirmar continuidad geológica y/o de ley, pero está espaciada con suficiente cercanía para que se pueda suponer continuidad.

#### **9.4.3. Recurso Mineral Inferido**

Un “Recurso Mineral Inferido” es aquella parte de un Recurso Mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como ser afloramientos, zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

## CAPITULO X.

### RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS

#### 10.1. Resultado de Recursos Indicados e Inferido Total

Tabla 9.1 Recursos Total Cuerpo

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf	
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons
0	10,942,888	0.79	3,684,341	0.77	14,627,229	0.78
0.1	10,927,369	0.79	3,684,325	0.77	14,611,694	0.78
0.2	10,734,116	0.80	3,680,899	0.77	14,415,015	0.79
<b>0.3</b>	<b>10,182,708</b>	<b>0.83</b>	<b>3,637,043</b>	<b>0.77</b>	<b>13,819,751</b>	<b>0.81</b>
0.4	9,093,093	0.89	3,411,670	0.80	12,504,763	0.86
0.5	7,584,571	0.98	3,035,411	0.84	10,619,982	0.94
0.6	6,223,051	1.07	2,278,567	0.94	8,501,618	1.04
0.7	4,942,104	1.18	1,807,430	1.02	6,749,534	1.14
0.8	2,915,007	1.46	952,972	1.24	3,867,979	1.40
0.9	2,915,007	1.46	952,972	1.24	3,867,979	1.40
1	2,286,745	1.60	680,830	1.35	2,967,575	1.54

- El Cut Off es 0.3, es por eso que esta resaltado.

## 10.2. Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Mena

Tabla 9.2 Recursos Mena Oxido total Cuerpo

### Recursos Oxidos

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		6,015,338	0.77	1,460,677	0.71	7,476,015	0.76
0.1		6,009,979	0.77	1,460,677	0.71	7,470,656	0.76
0.2		5,964,754	0.77	1,460,677	0.71	7,425,431	0.76
<b>0.3</b>		<b>5,693,853</b>	<b>0.79</b>	<b>1,455,171</b>	<b>0.72</b>	<b>7,149,024</b>	<b>0.78</b>
0.4		4,966,416	0.86	1,299,096	0.76	6,265,512	0.84
0.5		3,973,566	0.96	1,039,326	0.84	5,012,892	0.94
0.6		3,165,912	1.07	690,424	0.98	3,856,336	1.05
0.7		2,480,475	1.19	534,042	1.08	3,014,517	1.17
0.8		1,527,290	1.44	340,960	1.25	1,868,250	1.41
0.9		1,527,290	1.44	340,960	1.25	1,868,250	1.41
1		1,187,875	1.58	257,502	1.35	1,445,377	1.54

Tabla 9.3 Recursos Mena Mixto total Cuerpo

### Recursos Mixto

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		1,155,955	0.69	204,264	0.80	1,360,219	0.71
0.1		1,150,454	0.70	204,264	0.80	1,354,718	0.71
0.2		1,096,456	0.72	204,264	0.80	1,300,720	0.74
<b>0.3</b>		<b>972,157</b>	<b>0.79</b>	<b>196,574</b>	<b>0.82</b>	<b>1,168,731</b>	<b>0.79</b>
0.4		787,939	0.89	164,134	0.92	952,073	0.89
0.5		632,602	1.00	133,555	1.02	766,157	1.00
0.6		531,408	1.08	110,362	1.12	641,770	1.09
0.7		426,747	1.19	87,698	1.25	514,445	1.20
0.8		226,914	1.55	53,958	1.53	280,872	1.54
0.9		226,914	1.55	53,958	1.53	280,872	1.54
1		166,187	1.77	37,632	1.79	203,819	1.77

Tabla 9.4 Recursos Mena Sulfuro total Cuerpo

## Recursos Sulfuros

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf	
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons
0	3,771,595	0.85	2,019,400	0.80	5,790,995	0.84
0.1	3,766,936	0.85	2,019,384	0.80	5,786,320	0.84
0.2	3,672,906	0.87	2,015,958	0.80	5,688,864	0.85
<b>0.3</b>	<b>3,516,698</b>	<b>0.90</b>	<b>1,985,298</b>	<b>0.81</b>	<b>5,501,996</b>	<b>0.87</b>
0.4	3,338,738	0.93	1,948,440	0.82	5,287,178	0.89
0.5	2,978,403	0.99	1,862,530	0.84	4,840,933	0.93
0.6	2,525,731	1.07	1,477,781	0.91	4,003,512	1.01
0.7	2,034,882	1.17	1,185,690	0.98	3,220,572	1.10
0.8	1,160,803	1.46	558,054	1.20	1,718,857	1.37
0.9	1,160,803	1.46	558,054	1.20	1,718,857	1.37
1	932,683	1.58	385,696	1.31	1,318,379	1.50

## 10.3. Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Litología

Tabla 9.5 Recursos Litología Pórfido total Cuerpo

## Recursos Porfido

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf	
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons
0	1,123,554	0.72	944,875	0.73	2,068,429	0.73
0.1	1,123,234	0.72	944,875	0.73	2,068,109	0.73
0.2	1,118,368	0.72	944,875	0.73	2,063,243	0.73
<b>0.3</b>	<b>1,044,187</b>	<b>0.76</b>	<b>942,928</b>	<b>0.73</b>	<b>1,987,115</b>	<b>0.75</b>
0.4	881,298	0.83	838,091	0.78	1,719,389	0.81
0.5	700,061	0.93	705,896	0.84	1,405,957	0.89
0.6	538,690	1.05	482,368	0.98	1,021,058	1.02
0.7	420,437	1.16	380,298	1.07	800,735	1.12
0.8	268,786	1.38	241,314	1.24	510,100	1.31
0.9	268,786	1.38	241,314	1.24	510,100	1.31
1	209,168	1.50	199,118	1.30	408,286	1.40

Tabla 9.6 Recursos Litología Lutita total Cuerpo

## Recursos Lutita

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		2,833,776	0.73	456,066	1.01	3,289,842	0.77
0.1		2,819,698	0.73	456,066	1.01	3,275,764	0.77
0.2		2,666,296	0.77	455,568	1.01	3,121,864	0.80
<b>0.3</b>		<b>2,471,661</b>	<b>0.81</b>	<b>451,866</b>	<b>1.02</b>	<b>2,923,527</b>	<b>0.84</b>
0.4		2,207,792	0.86	450,867	1.02	2,658,659	0.89
0.5		1,737,914	0.97	442,458	1.03	2,180,372	0.98
0.6		1,377,558	1.09	390,656	1.09	1,768,214	1.09
0.7		1,071,430	1.21	369,035	1.12	1,440,465	1.19
0.8		619,701	1.53	255,304	1.26	875,005	1.45
0.9		619,701	1.53	255,304	1.26	875,005	1.45
1		499,270	1.67	195,725	1.36	694,995	1.58

Tabla 9.7 Recursos Litología Limolita total Cuerpo

## Recursos Limolita

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		6,985,558	0.82	2,283,400	0.73	9,268,958	0.80
0.1		6,984,438	0.82	2,283,384	0.73	9,267,822	0.80
0.2		6,949,451	0.83	2,280,456	0.73	9,229,907	0.80
<b>0.3</b>		<b>6,666,859</b>	<b>0.85</b>	<b>2,242,250</b>	<b>0.74</b>	<b>8,909,109</b>	<b>0.82</b>
0.4		6,004,003	0.91	2,122,712	0.76	8,126,715	0.87
0.5		5,146,597	0.98	1,887,058	0.80	7,033,655	0.93
0.6		4,306,803	1.07	1,405,542	0.89	5,712,345	1.02
0.7		3,450,237	1.17	1,058,096	0.97	4,508,333	1.12
0.8		2,026,520	1.44	456,355	1.22	2,482,875	1.40
0.9		2,026,520	1.44	456,355	1.22	2,482,875	1.40
1		1,578,307	1.59	285,987	1.39	1,864,294	1.55

Tabla 9.8 Recursos Pórfido-Oxido total Cuerpo

## Recursos Porfido-Oxido

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		711,835	0.60	780,522	0.66	1,492,357	0.63
0.1		711,835	0.60	780,522	0.66	1,492,357	0.63
0.2		708,730	0.60	780,522	0.66	1,489,252	0.63
<b>0.3</b>		<b>638,309</b>	<b>0.64</b>	<b>778,734</b>	<b>0.66</b>	<b>1,417,043</b>	<b>0.65</b>
0.4		499,514	0.72	681,738	0.71	1,181,252	0.71
0.5		367,805	0.82	555,296	0.77	923,101	0.79
0.6		254,416	0.95	340,830	0.90	595,246	0.92
0.7		182,115	1.07	257,376	0.99	439,491	1.02
0.8		112,261	1.24	165,763	1.10	278,024	1.16
0.9		112,261	1.24	165,763	1.10	278,024	1.16
1		78,454	1.37	130,706	1.15	209,160	1.23

## 10.4. Resultado de Recursos Indicados e Inferido por Litología-Mena

Tabla 9.9 Recursos Pórfido-Mixto total Cuerpo

## Recursos Porfido-Mixto

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		159,114	0.92	60,621	1.20	219,735	0.99
0.1		159,114	0.92	60,621	1.20	219,735	0.99
0.2		159,114	0.92	60,621	1.20	219,735	0.99
<b>0.3</b>		<b>157,354</b>	<b>0.93</b>	<b>60,461</b>	<b>1.20</b>	<b>217,815</b>	<b>1.00</b>
0.4		139,446	1.00	52,621	1.33	192,067	1.09
0.5		119,018	1.09	47,027	1.43	166,045	1.19
0.6		106,142	1.16	40,790	1.57	146,932	1.27
0.7		89,389	1.26	34,538	1.73	123,927	1.39
0.8		53,077	1.58	29,341	1.90	82,418	1.70
0.9		53,077	1.58	29,341	1.90	82,418	1.70
1		41,482	1.76	28,008	1.94	69,490	1.84



Tabla 9.10 Recursos Pórfido-Sulfuro total Cuerpo

## Recursos Porfido-Sulfuros

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		252,605	0.94	103,733	0.99	356,338	0.95
0.1		252,285	0.94	103,733	0.99	356,018	0.95
0.2		250,525	0.94	103,733	0.99	354,258	0.96
<b>0.3</b>		<b>248,525</b>	<b>0.95</b>	<b>103,733</b>	<b>0.99</b>	<b>352,258</b>	<b>0.96</b>
0.4		242,338	0.96	103,733	0.99	346,071	0.97
0.5		213,238	1.03	103,573	0.99	316,811	1.02
0.6		178,131	1.13	100,747	1.00	278,878	1.08
0.7		148,933	1.23	88,384	1.05	237,317	1.16
0.8		103,448	1.42	46,210	1.30	149,658	1.38
0.9		103,448	1.42	46,210	1.30	149,658	1.38
1		89,232	1.50	40,405	1.36	129,637	1.45

Tabla 9.11 Recursos Lutita-Oxido total Cuerpo

## Recursos Lutita-Oxido

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		1,092,574	0.52	39,203	0.54	1,131,777	0.52
0.1		1,087,216	0.53	39,203	0.54	1,126,419	0.53
0.2		1,052,658	0.54	39,203	0.54	1,091,861	0.54
<b>0.3</b>		<b>979,405</b>	<b>0.56</b>	<b>39,203</b>	<b>0.54</b>	<b>1,018,608</b>	<b>0.56</b>
0.4		834,826	0.60	39,157	0.54	873,983	0.59
0.5		545,213	0.68	34,733	0.55	579,946	0.67
0.6		340,838	0.76	4,174	0.66	345,012	0.76
0.7		190,960	0.85	968	0.73	191,928	0.85
0.8		54,792	1.06	8	1.04	54,800	1.05
0.9		54,792	1.06	8	1.04	54,800	1.05
1		22,403	1.22	8	1.04	22,411	1.22

Tabla 9.12 Recursos Lutita-Mixto total Cuerpo

## Recursos Lutita-Mixto

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		257,443	0.66	27,547	1.02	284,990	0.70
0.1		252,742	0.67	27,547	1.02	280,289	0.71
0.2		207,978	0.79	27,547	1.02	235,525	0.81
<b>0.3</b>		<b>159,240</b>	<b>0.95</b>	<b>27,547</b>	<b>1.02</b>	<b>186,787</b>	<b>0.96</b>
0.4		127,822	1.10	27,547	1.02	155,369	1.09
0.5		100,435	1.28	27,547	1.02	127,982	1.22
0.6		81,093	1.46	27,547	1.02	108,640	1.35
0.7		65,243	1.66	26,914	1.03	92,157	1.47
0.8		43,675	2.09	17,419	1.14	61,094	1.81
0.9		43,675	2.09	17,419	1.14	61,094	1.81
1		38,146	2.25	6,694	1.45	44,840	2.13

Tabla 9.13 Recursos Lutita-Sulfuro total Cuerpo

## Recursos Lutita-Sulfuros

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		1,483,758	0.89	389,315	1.06	1,873,073	0.93
0.1		1,479,739	0.89	389,315	1.06	1,869,054	0.93
0.2		1,405,661	0.93	388,818	1.06	1,794,479	0.96
<b>0.3</b>		<b>1,333,016</b>	<b>0.97</b>	<b>385,115</b>	<b>1.07</b>	<b>1,718,131</b>	<b>0.99</b>
0.4		1,245,144	1.02	384,163	1.07	1,629,307	1.03
0.5		1,092,266	1.09	380,178	1.07	1,472,444	1.09
0.6		955,627	1.17	358,934	1.10	1,314,561	1.15
0.7		815,227	1.26	341,154	1.13	1,156,381	1.22
0.8		521,234	1.53	237,877	1.27	759,111	1.45
0.9		521,234	1.53	237,877	1.27	759,111	1.45
1		438,722	1.64	189,022	1.35	627,744	1.56

Tabla 9.14 Recursos Limolita-Oxido total Cuerpo

## Recursos Limolita-Oxido

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		4,210,928	0.86	640,952	0.79	4,851,880	0.85
0.1		4,210,928	0.86	640,952	0.79	4,851,880	0.85
0.2		4,203,366	0.86	640,952	0.79	4,844,318	0.85
<b>0.3</b>		<b>4,076,139</b>	<b>0.88</b>	<b>637,234</b>	<b>0.79</b>	<b>4,713,373</b>	<b>0.86</b>
0.4		3,632,077	0.94	578,202	0.83	4,210,279	0.92
0.5		3,060,549	1.03	449,298	0.95	3,509,847	1.02
0.6		2,570,658	1.12	345,419	1.07	2,916,077	1.12
0.7		2,107,400	1.23	275,698	1.17	2,383,098	1.22
0.8		1,360,237	1.47	175,189	1.39	1,535,426	1.46
0.9		1,360,237	1.47	175,189	1.39	1,535,426	1.46
1		1,087,018	1.60	126,789	1.56	1,213,807	1.60

Tabla 9.15 Recursos Limolita-Mixto total Cuerpo

## Recursos Limolita-Mixto

Cut Off	Indicado		Inferido		Ind + Inf		
	Auppm	tons	Auppm	tons	Auppm	tons	
0		739,398	0.66	116,096	0.54	855,494	0.64
0.1		738,598	0.66	116,096	0.54	854,694	0.64
0.2		729,365	0.66	116,096	0.54	845,461	0.65
<b>0.3</b>		<b>655,563</b>	<b>0.71</b>	<b>108,566</b>	<b>0.56</b>	<b>764,129</b>	<b>0.69</b>
0.4		520,670	0.80	83,966	0.62	604,636	0.78
0.5		413,149	0.90	58,981	0.70	472,130	0.87
0.6		344,173	0.97	42,024	0.76	386,197	0.95
0.7		272,115	1.05	26,246	0.84	298,361	1.04
0.8		130,162	1.35	7,198	1.00	137,360	1.33
0.9		130,162	1.35	7,198	1.00	137,360	1.33
1		86,560	1.56	2,930	1.10	89,490	1.54

## **CONCLUSIONES**

1. El yacimiento de Au (Ag) de Shahuindo por sus características reconocidas hasta ahora, correspondería a un depósito Epitermal de Sulfuración Intermedia. Su origen hidrotermal con relleno de fractura, es evidente. Sin embargo una clasificación debidamente sustentada, se logrará mediante investigaciones de laboratorio principalmente de geotermometría que incluya determinación de temperaturas, inclusiones fluidas, análisis de isótopos, entre otros.
2. 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.
3. 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. En este estudio no se tuvieron muestreos por QAQC.
4. Para realizar un modelamiento económico se debe tener el modelo litológico y de, debidamente interpretado.

5. El variograma permite conocer hasta que distancia los datos son significativos, y también conocer la anisotropía de la estructura mineralizada.
6. Para obtener un buen estudio variográfico es necesario tener una cantidad mínima de datos, 200 datos.
7. 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.
8. La Categorización de Recursos Minerales realizada por el método de Interpolación Inverso de la Distancia, es el más adecuado en el Proyecto Shahuindo para esta estructura mineralizada.
9. El mineral total cubicado como recursos indicados e inferidos en el yacimiento Shahuindo, utilizando el software MineSight, se ha estimado en 13'819,751 Tn con 0.81 ppm de Au.

## **RECOMENDACIONES**

1. Realizar un análisis exploratorio de datos al detalle. Esto es muy importante porque permite encontrar y corregir errores antes de seguir con el proceso de interpolación y estimación.
2. Poner en aplicación desde el primer día de un proyecto, un programa efectivo de QA/QC. Actualmente es de primera importancia, el control de leyes en la evaluación de las reservas y recursos minerales de un yacimiento.
3. Realizar una normalización de los datos para futuras estimaciones, elaborando la Data más completa posible, que consideren la mayor cantidad de los resultados analíticos y demás datos obtenidos mediante los muestreos, así como toda la información geológica que es complemento indispensable para una buena estimación de reservas y recursos minerales.
4. Efectuar los estudios de laboratorio que sean necesarios, para investigar con mayor detalle y precisión, la génesis de este yacimiento. Así mismo la presencia de la Ag, debe ser mejor investigada.

## BIBLIOGRAFIA

1. BENAVIDES V., (1956). Cretaceous System in Northern Peru. Bulletin of the American Museum of Natural History. New York, vol. 108.362-363, 365-378
2. CAMPRUBÍ, A. GONZÁLEZ-PARTIDA, E. LEVRESSE, G. TRITLLA, J. y CARRILLO-CHÁVEZ A. (2003). BSG Mexicana, Tomo LVI, numero.1, 10-18.
3. GUY, SAUCIER, E. (2005). Resources Estimation Shahuindo project. Project, Informe Interno N° 2005. Montreal, Quebec. [s.n.].
4. REYES RIVERA L. (1980). Geología de los C. de Cajamarca, San Marcos y Cajabamba. B.I. Geológico, Minero y Metalúrgico, 31, 9-25,43-55.
5. SAUCIER, G. (2004). Resources Estimation Shahuindo project. Project N° 23072. Montreal, Quebec. [s.n.].
6. TAFUR, I. (1950) - Nota preliminar sobre la Geología de Cajamarca. (Tesis doctoral, Universidad. Nacional. Mayor de San Marcos), 56.
7. WRIGHT, C. MELNYK, J. GORMELY, L. SIMPSON, G. LUPO, J. (2010). Shahuindo Gold Project. Project N° 162690. [s.n.].

## 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.



**Coeficiente de variación:** En estadística cuando se desea hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, se utiliza el coeficiente de variación.

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación típica o estándar. Por otro lado presenta problemas ya que a diferencia de la desviación típica este coeficiente es variable ante cambios de origen. Por ello es importante que todos los valores sean positivos y su media dé, por tanto, un valor positivo. A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., menor homogeneidad en los valores de la variable. Suele representarse por medio de las siglas C.V.

Exigimos que:  $X > 0$

Se calcula:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}}$$

Donde  $\sigma$  es la desviación típica. Se puede dar en tanto por ciento calculando:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100$$

**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 submúltiplo 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:** Esta medida nos permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto a su punto central o media. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto su ecuación sería:

$$S = \sqrt{S^2}$$

**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.

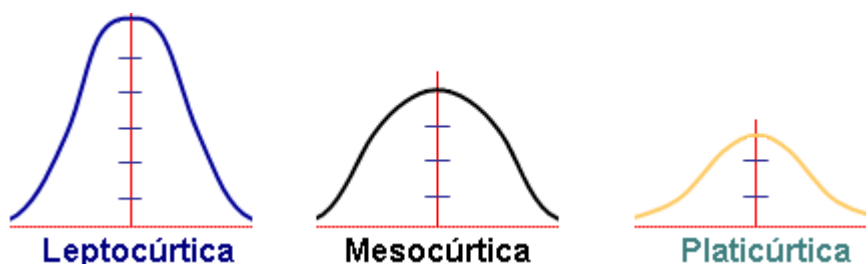
**Histograma:** Gráfico de barras cuyas bases representan los rangos de clase y la altura las frecuencias absolutas.

**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:** Esta medida determina el grado de concentración que presentan los valores en la región central de la distribución. Por medio del *Coefficiente de Kurtosis*, podemos identificar si existe una gran concentración de valores (*Leptocúrtica*), una concentración normal (*Mesocúrtica*) o una baja concentración (*Platicúrtica*).



Para calcular el coeficiente de Kurtosis se utiliza la ecuación:

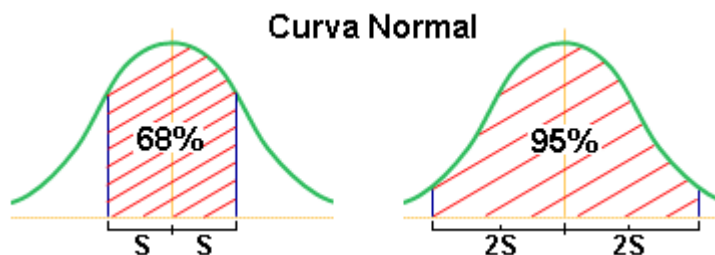
$$g_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^4 * n_i}{\left( \frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2 * n_i \right)^2} - 3$$

Donde ( $g_2$ ) representa el coeficiente de Kurtosis, ( $X_i$ ) cada uno de los valores, ( $\bar{X}$ ) la media de la muestra y ( $n_i$ ) la frecuencia de cada valor. Los resultados de esta fórmula se interpretan:

- ( $g_2 = 0$ ) *la distribución es Mesocúrtica*: Al igual que en la asimetría es bastante difícil encontrar un coeficiente de Kurtosis de cero (0), por lo que se suelen aceptar los valores cercanos ( $\pm 0.5$  aprox.).
- ( $g_2 > 0$ ) *la distribución es Leptocúrtica*
- ( $g_2 < 0$ ) *la distribución es Platicúrtica*

Cuando la distribución de los datos cuenta con un coeficiente de asimetría ( $g_1 = \pm 0.5$ ) y un coeficiente de Kurtosis de ( $g_2 = \pm 0.5$ ), se le denomina Curva Normal. Este criterio es de suma importancia ya que para la mayoría de los procedimientos de la estadística de inferencia se requiere que los datos se distribuyan normalmente.

La principal ventaja de la distribución normal radica en el supuesto que el 95% de los valores se encuentra dentro de una distancia de dos desviaciones estándar de la media aritmética (Fig.5-3); es decir, si tomamos la media y le sumamos dos veces la desviación y después le restamos a la media dos desviaciones, el 95% de los casos se encontraría dentro del rango que compongan estos valores.



**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 Aritmética:** Es la medida de posición central más utilizada, la más conocida y la más sencilla de calcular, debido principalmente a que sus ecuaciones se prestan para el manejo algebraico, lo cual la hace de gran utilidad. Su principal desventaja radica en su sensibilidad al cambio de uno de sus valores o a los valores extremos demasiado grandes o pequeños. La media se define como la suma de todos los valores observados, dividido por el número total de observaciones.

$$\text{Media Aritmética} = \frac{\text{Suma de todos los valores observados}}{\text{Número total de observaciones}}$$

Cuando los valores representan una población la ecuación se define como:

$$\bar{\mu} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

Donde ( $\bar{\mu}$ ) representa la media, ( $N$ ) representa el tamaño de la población y ( $X_i$ ) representa cada uno de los valores de la población. Ya que en la mayoría de los

casos se trabajan con muestras de la población todas las ecuaciones que se presenten a continuación serán representativas para las muestras. La media aritmética para una muestra está determinada como:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Donde (X) representa la Media para la muestra, (n) el tamaño de la muestra y (Xi) representa cada uno de los valores observados. Esta fórmula únicamente es aplicable si los datos se encuentran desagrupados.

**Mediana:** Con esta medida podemos identificar el valor que se encuentra en el centro de los datos, es decir, nos permite conocer el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de datos después que las observaciones se han ubicado en serie ordenada. Esta medida nos indica que la mitad de los datos se encuentran por debajo de este valor y la otra mitad por encima del mismo. Para determinar la posición de la mediana se utiliza la fórmula

$$\text{Posición de la mediana} = \frac{n+1}{2}$$

**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.

**Moda:** La medida modal nos indica el valor que más veces se repite dentro de los datos; es decir, si tenemos la serie ordenada (2, 2, 5 y 7), el valor que más veces se repite es el número 2 quien sería la moda de los datos. Es posible que en algunas

ocasiones se presente dos valores con la mayor frecuencia, lo cual se denomina *Bimodal* o en otros casos más de dos valores, lo que se conoce como *multimodal*.

**Modelo de Bloques:** Son celdas en las cuales se representa la interpolación de las leyes de los compósitos, sus dimensiones está 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.

**Primer cuartil:** El primer cuartil Q1, es el menor valor que es mayor que una cuarta parte de los datos; es decir, aquel valor de la variable que supera 25% de las observaciones y es superado por el 75% de las observaciones.

Fórmula de Q1, para series de Datos agrupados:

$$Q_1 = l_i + \frac{P - f_{a-1}}{f_1} * I_c \quad P = \frac{n}{4}$$

Donde:

$L1$  = límite inferior de la clase que lo contiene

$P$  = valor que representa la posición de la medida

$f1$  = la frecuencia de la clase que contiene la medida solicitada.

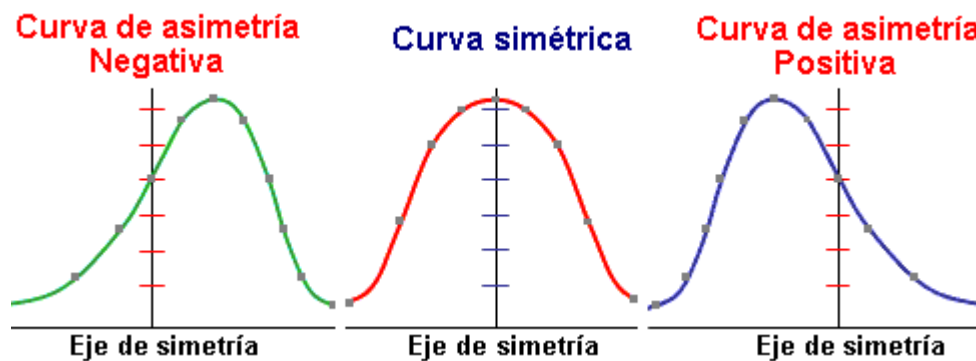
$Fa-1$  = frecuencia acumulada anterior a la que contiene la medida solicitada.

$Ic$  = intervalo de clase

**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:** Esta medida nos permite identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor del punto central (Media aritmética). La asimetría presenta tres estados diferentes [Fig.5-1], cada uno de los cuales define de forma concisa como están distribuidos los datos respecto al eje de asimetría. Se dice que la *asimetría es positiva* cuando la mayoría de los datos se encuentran por encima del valor de la media aritmética, la curva es *Simétrica* cuando se distribuyen aproximadamente la misma cantidad de valores en ambos lados de la media y se conoce como *asimetría negativa* cuando la mayor cantidad de datos se aglomeran en los valores menores que la media.





El *Coficiente de asimetría*, se representa mediante la ecuación matemática,

$$g_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^3 * n_i}{\left( \frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2 * n_i \right)^{\frac{3}{2}}}$$

Donde ( $g_1$ ) representa el coeficiente de asimetría de Fisher, ( $X_i$ ) cada uno de los valores, ( $\bar{X}$ ) la media de la muestra y ( $n_i$ ) la frecuencia de cada valor. Los resultados de esta ecuación se interpretan:

- ( $g_1 = 0$ ): Se acepta que la distribución es Simétrica, es decir, existe aproximadamente la misma cantidad de valores a los dos lados de la media. Este valor es difícil de conseguir por lo que se tiende a tomar los valores que son cercanos ya sean positivos o negativos ( $\pm 0.5$ ).
- ( $g_1 > 0$ ): La curva es asimétricamente positiva por lo que los valores se tienden a reunir más en la parte izquierda que en la derecha de la media.
- ( $g_1 < 0$ ): La curva es asimétricamente negativa por lo que los valores se tienden a reunir más en la parte derecha de la media.

Desde luego entre mayor sea el número (Positivo o Negativo), mayor será la distancia que separa la aglomeración de los valores con respecto a la media.

**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.

**Tercer cuartil:** El tercer cuartil Q3, es el menor valor que es mayor que tres cuartas partes de los datos, es decir aquel valor de la variable que supera al 75% y es superado por el 25% de las observaciones.

Fórmula de Q3, para series de Datos agrupados:

$$Q_3 = l_i + \frac{P - f_{a-1}}{f_1} * I_c \quad P = \frac{3n}{4}$$

Donde:

$l_1$  = límite inferior de la clase que lo contiene

$P$  = valor que representa la posición de la medida

$f_1$  = la frecuencia de la clase que contiene la medida solicitada.

$f_{a-1}$  = frecuencia acumulada anterior a la que contiene la medida solicitada.

$I_c$  = intervalo de clase.

Otra manera de verlo es partir de que todas las medidas no son sino casos particulares del percentil, ya que el primer cuartil es el 25% percentil y el tercer cuartil 75% percentil.

**Varianza:** Esta medida nos permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central ( $Media = \bar{x}$ ). Este promedio es calculado, elevando cada una de las diferencias al cuadrado (Con el fin de eliminar los signos negativos), y calculando su promedio o media; es decir, sumado todos

los cuadrados de las diferencias de cada valor respecto a la media y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan. Si la varianza es calculada a una población (Total de componentes de un conjunto), la ecuación sería:

$$\sigma^2 = \frac{(X_1 - \bar{\mu})^2 + (X_2 - \bar{\mu})^2 + (X_3 - \bar{\mu})^2 + \dots + (X_n - \bar{\mu})^2}{N} = \frac{\sum (X_i - \bar{\mu})^2}{N}$$

Donde ( $\sigma^2$ ) representa la varianza, ( $X_i$ ) representa cada uno de los valores, ( $\bar{\mu}$ ) representa la media poblacional y (N) es el número de observaciones o tamaño de la población. En el caso que estemos trabajando con una muestra la ecuación que se debe emplear es:

$$s^2 = \frac{(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + (X_3 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2}{(n - 1)} = \frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}$$

Donde (S2) representa la varianza, ( $X_i$ ) representa cada uno de los valores, ( $\bar{X}$ ) representa la media de la muestra y (n) es el número de observaciones o tamaño de la muestra. Si nos fijamos en la ecuación, notaremos que se le resta uno al tamaño de la muestra; esto se hace con el objetivo de aplicar una pequeña medida de corrección a la varianza, intentando hacerla más representativa para la población. Es necesario resaltar que la varianza nos da como resultado el promedio de la desviación, pero este valor se encuentra elevado al cuadrado.