



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y**  
**METALÚRGICA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**“ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES (Au), DE LA MINA  
SUBTERRANEA POMARANI, UNIDAD MINERA  
UNTUCA - PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. ELBIS WILBER JILANQUI CALISAYA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO GEÓLOGO**

**PUNO – PERÚ**

**2020**



## DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mis padres Simón  
JILANQUI MAMANI y Rufina  
CALISAYA CONDORI, por inculcarme los  
valores y principios, a la vez por su gran  
ejemplo de perseverancia y superación, por  
todo el apoyo que me han brindado durante  
mi formación como persona y como  
profesional, gracias a ello he alcanzado mis  
metas con mucho orgullo les bebo un eterno  
agradecimiento y mi retribución.

A mi amada esposa Ruthme Luz y a mi hijo  
Elvis David, por haber sido fuente de  
inspiración y bastón para seguir adelante,  
por el cariño y amor que me muestran día a  
día, por el apoyo y motivación constante  
para alcanzar nuevas metas.



## AGRADECIMIENTOS

- Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado la vida y que me ha dado fortaleza para cumplir con mis metas, a mi Alma Mater, “UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO-PUNO”, a la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica, a los catedráticos por haber impartido conocimientos valiosos durante mi formación profesional, en particular a mi asesor de Tesis Ing. Luis ORTIZ GALLEGOS por su aporte y sugerencias durante la realización del presente trabajo de Investigación.
- A la Empresa CORIPUNO S.A.C., por haber permitido formar parte de su equipo profesional, por todo el apoyo brindado, que hacen realidad el desarrollo del presente trabajo de investigación.



# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	
<b>ÍNDICE GENERAL</b>	
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	
<b>ÍNDICE DE ACRÓNIMOS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>19</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>20</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....</b>	<b>21</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>23</b>
<b>1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>24</b>
<b>1.4. HIPÓTESIS .....</b>	<b>24</b>
<b>1.5. OBJETIVOS.....</b>	<b>25</b>
1.5.1. Objetivo general.....	25
1.5.2. Objetivos específicos .....	25
<b>1.6. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b>	
<b>2.1. PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN.....</b>	<b>29</b>
2.1.1. La prospección y la exploración como fases en la vida de una mina ...	30
2.1.2. Exploración de un yacimiento minero .....	31



2.1.3.	Yacimiento mineral.....	31
2.1.4.	Criadero, yacimiento o deposito mineral.....	32
<b>2.2.</b>	<b>GEOLOGÍA REGIONAL.....</b>	<b>32</b>
2.2.1.	Formación San José (Oi - Sj).....	33
2.2.2.	Formación Sandia (Os-s).....	33
2.2.3.	Formación Ananea (SD-a).....	35
2.2.4.	Depósitos cuaternarios.....	35
2.2.5.	Intrusivo leucogranito.....	37
<b>2.3.</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....</b>	<b>37</b>
<b>2.4.</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>38</b>
2.4.1.	Mineralización.....	39
<b>2.5.</b>	<b>EXPLORACIÓN GEOLÓGICA.....</b>	<b>45</b>
2.5.1.	Mapeo geológico.....	45
2.5.2.	Geoquímica.....	46
<b>2.6.</b>	<b>PERFORACIÓN DIAMANTINA.....</b>	<b>52</b>
<b>2.7.</b>	<b>ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD (QA/QC).....</b>	<b>53</b>
2.7.1.	Aseguramiento y control de calidad.....	53
2.7.2.	Calidad.....	53
2.7.3.	Control de calidad.....	54
2.7.4.	Control de calidad: Definiciones básicas.....	54
2.7.5.	Programas de control de calidad.....	57
2.7.6.	Evaluación del control de calidad.....	60
<b>2.8.</b>	<b>EXIGENCIAS DE REGULACIONES INTERNACIONALES SOBRE LA CALIDAD DE LOS DATOS GEOLÓGICOS.....</b>	<b>63</b>
<b>2.9.</b>	<b>RECURSOS MINERALES.....</b>	<b>64</b>



2.9.1.	Recurso mineral inferido .....	65
2.9.2.	Recurso mineral indicado .....	65
2.9.3.	Recurso mineral medido .....	66
<b>2.10.</b>	<b>MODELAMIENTO GEOLÓGICO.....</b>	<b>67</b>
2.10.1.	Metodología e interpretación .....	67
2.10.2.	Modelo geológico .....	68
<b>2.11.</b>	<b>ESTADÍSTICA Y GEOESTADÍSTICA .....</b>	<b>70</b>
2.11.1.	Composición de los datos exploratorios .....	70
2.11.2.	Estadística .....	73
2.11.3.	Geoestadística .....	76
<b>2.12.</b>	<b>ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINEROS .....</b>	<b>91</b>
2.12.1.	Estimación global .....	92
2.12.2.	Estimación local.....	92
<b>2.13.</b>	<b>MODELO DE BLOQUES.....</b>	<b>93</b>
2.13.1.	Geometría.....	94
2.13.2.	Interpolación de leyes .....	94
2.13.3.	Categorización de recursos .....	105

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1.</b>	<b>EQUIPOS Y MATERIALES DE ESTUDIO .....</b>	<b>108</b>
<b>3.2.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>109</b>
3.2.1.	Tipo de investigación.....	109
3.2.2.	Diseño de la investigación .....	109
3.2.3.	Población y muestra.....	109
3.2.4.	Métodos de investigación .....	109



3.2.5.	Técnicas de análisis de datos .....	110
3.2.6.	Instrumentos de selección de datos .....	111

## **CAPÍTULO IV**

### **CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

<b>4.1.</b>	<b>UBICACIÓN .....</b>	<b>115</b>
<b>4.2.</b>	<b>ACCESIBILIDAD .....</b>	<b>116</b>
<b>4.3.</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL .....</b>	<b>117</b>
4.3.1.	Formación Sandia inferior (Os-si) .....	118
4.3.2.	Depósitos cuaternarios .....	119
<b>4.4.</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL .....</b>	<b>120</b>
<b>4.5.</b>	<b>GEOLOGÍA ECONÓMICA.....</b>	<b>122</b>

## **CAPÍTULO V**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

<b>5.1.</b>	<b>GEOLOGIA Y GEOQUIMICA .....</b>	<b>124</b>
5.1.1.	Muestreo geoquímico .....	124
5.1.2.	Muestreo subterráneo.....	125
5.1.3.	Resultados de la perforación diamantina .....	128
5.1.4.	Aseguramiento y control de calidad (QA/QC) .....	131
<b>5.2.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA .....</b>	<b>144</b>
5.2.1.	Interpretación de secciones geológicas .....	149
5.2.2.	Modelamiento .....	150
<b>5.3.</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y GEOESTADÍSTICO .....</b>	<b>155</b>
5.3.1.	Composición de la base de datos .....	155
5.3.2.	Análisis estadístico .....	155
5.3.3.	Resultados del análisis estadístico – Capping al 95% .....	160



5.3.4. Análisis geoestadístico.....	160
5.3.5. Modelo de bloques.....	162
5.3.6. Evaluación de los recursos.....	176
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>177</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>179</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>180</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>183</b>

**Área** : Geología de Minas

**Tema** : Estimación de Recursos

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 14 de enero del 2020



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Diagrama de prospección y exploración .....	29
<b>Figura 2.</b> Imagen Tomada hacia el N. Se muestra el contacto entre la Fm. Sandia Inferior y Gpo San José .....	34
<b>Figura 3.</b> Modelo regional del sistema de mineralización .....	40
<b>Figura 4.</b> Muestreo estadístico y muestreo de minerales .....	48
<b>Figura 5.</b> Muestreo canales de rocas de Mina Pomarani.....	49
<b>Figura 6.</b> Cores de la Mina Pomarani .....	50
<b>Figura 7.</b> Corte del core 50% .....	51
<b>Figura 8.</b> Toma de muestra de core.....	52
<b>Figura 9.</b> Estructura mineral geológica modelada a partir de la información de exploración .....	69
<b>Figura 10.</b> Composición de muestras de testigos a lo largo de un sondaje.....	72
<b>Figura 11.</b> Un testigo. Tiene un cierto largo $l$ y un cierto diámetro $d$ .....	78
<b>Figura 12.</b> Función aleatoria y variable regionalizada. Los colores indican rangos de la variable .....	79
<b>Figura 13.</b> Dos puntos a la distancia vectorial $h$ .....	80
<b>Figura 14.</b> Leyes de muestras de malla irregular en un banco de la mina .....	82
<b>Figura 15.</b> Vector para cálculo del variograma.....	82
<b>Figura 16.</b> Método de los sectores .....	83
<b>Figura 17.</b> Búsqueda a distintos lag .....	84
<b>Figura 18.</b> Aproximación para $h$ grande .....	84
<b>Figura 19.</b> Compósitos en el espacio de tres dimensiones.....	85
<b>Figura 20.</b> Aproximación en el espacio de 3 dimensiones: Una especie de cono.....	85



<b>Figura 21.</b>	Aproximación en el espacio de 3 dimensiones: Método del lápiz .....	86
<b>Figura 22.</b>	Representación gráfica de un variograma .....	86
<b>Figura 23.</b>	Variograma experimental vs variograma teórico .....	88
<b>Figura 24.</b>	Representación gráfica de los 3 modelo teóricos de variograma más utilizados en minería.....	91
<b>Figura 25.</b>	Zona 3D a estimar e información disponible.....	92
<b>Figura 26.</b>	Estimación local con bloque unitario o unidad básica de cálculo. Modelo de bloques de 2mx2mx2m.....	93
<b>Figura 27.</b>	Representación gráfica del proceso de estimación a partir de los compósitos, modelo geológico y modelo de bloques .....	94
<b>Figura 28.</b>	¿Cómo estimar el valor en el sitio “?” a partir de los valores en los sitios con datos A, B, C, D, E, F? (Izquierda) y Ponderación obtenida con la interpolación por el más cercano vecino (Derecha) .....	95
<b>Figura 29.</b>	Ponderación obtenida con la interpolación por inverso de la distancia (izquierda) e inverso del cuadrado de la distancia (derecha).....	96
<b>Figura 30.</b>	Estimación de un volumen V a partir de datos de muestras $X_n$ .....	98
<b>Figura 31.</b>	Para el krigado no importa la agrupación de datos al lado izquierdo del bloque (el krigado desagrupa la información) ¿Cuál radio tomar? .....	102
<b>Figura 32.</b>	Elipsoide de búsqueda. En algunas situaciones este elipsoide puede estar inclinado. El centroide es el centro de gravedad del bloque .....	103
<b>Figura 33.</b>	Influencia de parametrizar la búsqueda con cuadrantes u octantes del elipsoide de búsqueda. En la imagen se trata de imponer la búsqueda de 3 datos más cercanos por cuadrante .....	103



<b>Figura 34.</b> Octantes. ¿Qué pasa si existen sondajes aproximadamente horizontales en el caso de la izquierda? Algunos paquetes computacionales utilizan el hemisferio superior e inferior caso de la derecha .....	104
<b>Figura 35.</b> Importancia de establecer parámetros de búsqueda en el elipsoide. Impacto del empleo de la vecindad de búsqueda por sectores en la selección de muestras A) Búsqueda sin restricción (1 sector) todas las muestras seleccionadas proceden de un solo pozo b) Búsqueda por octantes (8 sectores) se selecciona 2 muestras de cada pozo .....	105
<b>Figura 36.</b> Ubicación de la zona de estudio .....	116
<b>Figura 37.</b> Se observa rocas filitas intercaladas con cuarcitas, de espesores milimétricas a centimétricas .....	118
<b>Figura 38.</b> Presencia de “Slumpings” de cuarcita gris englobado en la secuencia estratigráfica de filitas .....	119
<b>Figura 39.</b> Se observan los materiales cuaternarios y desmontes .....	120
<b>Figura 40.</b> Sigmoides de deformación producidos por fallamiento inverso, se aprecia en traza de la falla constanza con un grosor aproximado de 2 m .....	121
<b>Figura 41.</b> Falla Santa Rosa, representado el deslizamiento de 200 metros .....	122
<b>Figura 42.</b> Muestreo superficial .....	125
<b>Figura 43.</b> Muestreo subterráneo .....	126
<b>Figura 44.</b> Datos de muestras blancos finos Lab. Certimin .....	132
<b>Figura 45.</b> Datos de muestras blancos finos lab. Cori Puno .....	133
<b>Figura 46.</b> Datos de muestras blancos grueso Lab. Certimin .....	134
<b>Figura 47.</b> Muestras duplicadas para Au ppm.....	136
<b>Figura 48.</b> Muestras estándares SE58 Au ppm .....	138
<b>Figura 49.</b> Muestras estándares SH55 Au ppm.....	139



<b>Figura 50.</b>	Muestras estándares OxJ68 Au ppm .....	140
<b>Figura 51.</b>	Muestras estándares HiSilK2 Au ppm .....	141
<b>Figura 52.</b>	Muestras estándares CDN-GS-P4B Au ppm.....	142
<b>Figura 53.</b>	Muestras estándares CDN-GS-3K Au ppm.....	143
<b>Figura 54.</b>	Muestras estándares CDN-GS-6D Au ppm.....	144
<b>Figura 55.</b>	Mantos mineralizados en el sector Pomarani (en amarillo) .....	145
<b>Figura 56.</b>	Manto 1 mineralizado con presencia vetillas Qz. gris, venillas sulfuros (Po y Py).....	146
<b>Figura 57.</b>	Manto 2 mineralizado con presencia de venillas de Qz gris – venillas esporádicas de sulfuros (Py, Po, Oxfe).....	146
<b>Figura 58.</b>	Manto 2, donde se tiene definido el techo del manto .....	147
<b>Figura 59.</b>	Manto 1, Frente de corrida, donde se observa la cantidad de sulfuros....	147
<b>Figura 60.</b>	Manto 2 mineralizadas con presencia vetillas de sulfuros (Po - Py).....	148
<b>Figura 61.</b>	Manto 1, donde se tiene definido el techo del manto .....	149
<b>Figura 62.</b>	El modelamiento de la envolvente mineralizada fue dividido en 2 sectores o dominios, identificados por 1 y 2 .....	151
<b>Figura 63.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4956 .....	152
<b>Figura 64.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4949 .....	152
<b>Figura 65.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4936 .....	153
<b>Figura 66.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4925 .....	153
<b>Figura 67.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4915 .....	154
<b>Figura 68.</b>	Labores subterráneo en 3D, Nivel 4892 .....	154
<b>Figura 69.</b>	Histograma normal del manto 1 y 2 .....	157
<b>Figura 70.</b>	Histograma Normal del manto 1 .....	157
<b>Figura 71.</b>	Histograma Normal del manto 2 .....	158



<b>Figura 72.</b>	Acumulación de probabilidad del manto 1 y 2.....	158
<b>Figura 73.</b>	Acumulación de probabilidad del manto 1 .....	159
<b>Figura 74.</b>	Acumulación de probabilidad del manto 2.....	159
<b>Figura 75.</b>	Variograma Eje Mayor (Y) .....	161
<b>Figura 76.</b>	Variograma Eje Menor (X) .....	161
<b>Figura 77.</b>	Variograma Eje Vertical (Z).....	162
<b>Figura 78.</b>	Dimensionamiento del modelo de bloques.....	163
<b>Figura 79.</b>	Mostrando el contenido de mineral en porcentajes .....	165
<b>Figura 80.</b>	Validación de modelo de bloques Vs leyes .....	167
<b>Figura 81.</b>	Curva ley vs tonelaje de recursos minerales Au.....	176



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Fases en la vida de una mina.....	30
<b>Tabla 2.</b> Equipos y materiales para el desarrollo del proyecto. ....	108
<b>Tabla 3.</b> Vías de acceso y distancias .....	117
<b>Tabla 4.</b> Resumen de muestras subterráneas de mina Pomarani.....	126
<b>Tabla 5.</b> Resumen de sondajes ejecutados en la mina Pomarani .....	128
<b>Tabla 6.</b> Resumen de muestras enviadas a laboratorio Certimin – Cori Puno.....	130
<b>Tabla 7.</b> Resumen de muestras de control de calidad .....	131
<b>Tabla 8.</b> Reporte de duplicados.....	135
<b>Tabla 9.</b> Ley mínima para la interpretación geológica.....	150
<b>Tabla 10.</b> Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 1 y 2).....	155
<b>Tabla 11.</b> Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 1).....	156
<b>Tabla 12.</b> Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 2).....	156
<b>Tabla 13.</b> Leyes de corte .....	160
<b>Tabla 14.</b> Parámetros del variograma .....	162
<b>Tabla 15.</b> Origen y orientación del modelo de bloques .....	164
<b>Tabla 16.</b> Tamaño y cantidad de bloques.....	164
<b>Tabla 17.</b> Densidad de mineral .....	165
<b>Tabla 18.</b> Parámetros de clasificación de recursos .....	166
<b>Tabla 19.</b> Numero de compositos para categorizar los recursos.....	166
<b>Tabla 20.</b> Resumen de los recursos minerales Au .....	167
<b>Tabla 21.</b> Resumen de los recursos minerales Au (Med+Ind+Inf) acumulativo .....	168
<b>Tabla 22.</b> Recursos minerales Au (Medido) acumulativo.....	169
<b>Tabla 23.</b> Recursos minerales Au (Indicado) acumulativo .....	170



<b>Tabla 24.</b> Recursos minerales Au (Inferido) acumulativo .....	171
<b>Tabla 25.</b> Resumen de los recursos minerales Au (Med+Ind+Inf) por intervalos .....	172
<b>Tabla 26.</b> Recursos minerales Au (Medido) por intervalos .....	173
<b>Tabla 27.</b> Recursos minerales Au (Indicado) por intervalos.....	174
<b>Tabla 28.</b> Recursos minerales Au (Inferido) por intervalos.....	175
<b>Tabla 29.</b> Recursos totales .....	176



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>%</b>	: Porcentaje.
<b>°C</b>	: Grado Centígrado.
<b>3D</b>	: Tridimensional.
<b>Acc</b>	: Aseguramiento y control de calidad.
<b>Antta</b>	: Antimonita.
<b>Arpy</b>	: Arsenopirita.
<b>Au</b>	: Oro.
<b>Bx</b>	: Brecha.
<b>C.C.</b>	: Comunidad campesina.
<b>C°</b>	: Cerro.
<b>Cpy</b>	: Calcopirita.
<b>DDH</b>	: Diamond Drill Hole.
<b>Diss</b>	: Diseminado.
<b>Dsv</b>	: Desviación.
<b>E</b>	: Este.
<b>Estna</b>	: Estibina.
<b>Fm</b>	: Formación.
<b>Gn</b>	: Galena.
<b>Gpo</b>	: Grupo.
<b>gr/t</b>	: Gramos por tonelada.
<b>gr</b>	: Gramos.
<b>Has</b>	: Hectárea(s).
<b>Hem</b>	: Hematita.
<b>Hrs</b>	: Horas.



<b>IGN</b>	: Instituto Geográfico Nacional.
<b>Ind</b>	: Indicado.
<b>Inf</b>	: Inferido.
<b>INGEMMET</b>	: Instituto Geológico Minero y Metalúrgico.
<b>Jar</b>	: Jarosita.
<b>Km</b>	: Kilometro.
<b>KO</b>	: Krigen Ordinario.
<b>L</b>	: Longitud.
<b>Lm</b>	: Limonita.
<b>m</b>	: Metros.
<b>m.s.n.m</b>	: Metros sobre el nivel del mar.
<b>Ma</b>	: Millones de años.
<b>Max</b>	: Maximo.
<b>Med</b>	: Medido.
<b>Min</b>	: Minimo.
<b>mm</b>	: Milímetros.
<b>N</b>	: Norte.
<b>N°</b>	: Numero.
<b>Nv</b>	: Nivel.
<b>NW</b>	: Noroeste.
<b>Oxd</b>	: Óxidos.
<b>Oxd-Fe</b>	: Óxidos de fierro, [Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ]
<b>Oz</b>	: Onzas.
<b>Par.</b>	: Parámetro.
<b>Po</b>	: Pirrotita.



<b>Pot</b>	: Potencia.
<b>ppm</b>	: Partes por millón.
<b>Py</b>	: Pirita.
<b>QA/QC</b>	: Aseguramiento de Calidad /Control de Calidad.
<b>Q-al</b>	: Cuaternario aluvial.
<b>Q-col</b>	: Cuaternario coluvial.
<b>Qda</b>	: Quebrada.
<b>Qz</b>	: Cuarzo.
<b>S.A.C.</b>	: Sociedad Anónima Cerrada.
<b>S.M.R.L.</b>	:
<b>S</b>	: Sur.
<b>SB</b>	: Subterráneo.
<b>SD</b>	: Desviación Estándar.
<b>SE</b>	: Sureste.
<b>Sph</b>	: Esfalerita.
<b>SW</b>	: Suroeste.
<b>Ths</b>	: thershold.
<b>Tm</b>	: Toneladas metricas.
<b>Tms</b>	: Toneladas métricas secas.
<b>Tn</b>	: Toneladas.
<b>UNA</b>	: Universidad Nacional del Altiplano.
<b>W</b>	: Oeste.



## RESUMEN

La mina Pomarani, se encuentra ubicado a 137 kilómetros al noreste de la ciudad de Juliaca, políticamente pertenece a la comunidad Untuca, distrito de Quiaca, provincia de Sandia, departamento Puno. El objetivo es obtener una estimación de recursos minerales confiable, clasificados en medidos, indicados e inferidos, realizando diferentes métodos de investigación como: cartografiado geológico, muestreo geoquímico, perforación diamantina, análisis de laboratorio, control de calidad, interpretación geológica 3D, análisis estadístico y geoestadístico de los reportes de leyes de muestreo provenientes de sondajes y muestras interior mina. El yacimiento Orogenico Untuca, se aloja de manera estratiforme, encajonado en rocas metamórficas de 450 Ma de edad, compuestos por rocas de filitas y pizarras intercaladas con cuarcitas de espesores milimétricas a centimétricas, capas con dirección N132 – 140° y buzamiento de 10 – 18° SW, de la Formación Sandia inferior. Estructuralmente está controlada por las fallas del sistema NW-SE, falla Gallocunca, Pomarani y Santa Rosa. La mineralización aurífera se encuentra asociada al manto mineralizado caracterizado por la presencia de vetas – vetillas lenticulares y mantos de cuarzo gris ahumado de dirección N 300°- 320°, buzando al NE y otras NW, presencia de 5 - 15 % de sulfuros diseminados en la roca. Los resultados de la campaña de perforación diamantina y los muestreos de canales de interior mina, fueron positivos con valores importantes hasta 95.03 Au gr/t. El control de calidad realizado al muestreo de cores resulto positivo, se pudo asegurar la calidad y el nivel de confianza de la información que se usó para el modelamiento, estimando los recursos minerales. Un total de 5,143,120 tms con ley promedio de 1.48 Au gr/t, entre medidos, indicados e inferidos, y a un Cut Off 2.0 gr/t son 659,750 Tms con ley promedio 3.02 gr/t, entre medidos e indicados.

**Palabras clave:** Estimación de recursos, modelamiento, geoestadística.



## ABSTRACT

The Pomarani mine, located 137 kilometers northeast of the city of Juliaca, politically belongs to the Untuca community, Quiaca district, Sandia province, Puno department. The objective is to obtain a reliable estimate of mineral resources, classified as measured, indicated and inferred, carrying out different research methods such as: geological mapping, geochemical sampling, diamond drilling, laboratory analysis, quality control, 3D geological interpretation, statistical analysis and Geostatistics of the reports of sampling laws from boreholes and indoor mine samples. The Orogenico Untuca deposit is housed in a stratiform way, encased in metamorphic rocks of 450 Ma of age, composed of rocks of phyllites and slates interspersed with quartzites of millimeter to centimeter thicknesses, layers with direction N132 - 140 ° and dip of 10 - 18 SW, of the Lower Sandia Formation. Structurally it is controlled by the failures of the NW-SE system, Gallocunca, Pomarani and Santa Rosa failures. The gold mineralization is associated to the mineralized mantle characterized by the presence of veins - lenticular veils and smoky gray quartz mantles of direction N 300 ° - 320 °, diving to the NE and other NW, presence of 5 - 15% of sulfides scattered in the rock. The results of the diamond drilling campaign and the sampling of indoor mine channels were positive with important values up to 95.03 Au gr/t. The quality control performed on the sampling of cores was positive, it was possible to ensure the quality and level of confidence of the information that was used for modeling, estimating mineral resources. A total of 5,143,120 tms with an average reading of 1.48 Au gr/t, between measured, indicated and inferred, and at a Cut Off 2.0 gr/t are 659,750 Tms with an average grade 3.02 gr/t, between measured and indicated.

**Keywords:** Resource estimation, modeling, geostatistics.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO

La existencia del Oro en la zona ya se conocía en la época de los Incas, ya que ellos explotaban los materiales morrénicos, durante el Virreinato es posible que se explotara, pero por el momento no se tiene ninguna información. La investigación de Antonio Raymondi en el año de 1864, afirma que la procedencia de Oro en el río Inambari fue de la mina Rinconada.

La Empresa Ford Company (1890) se estableció y explotó áreas dentro del yacimiento. Por el año de 1828, la concesión estaba en manos de los hermanos Loza Paniagua. En el año de 1950, el Sr. Haroz Fery, fue el titular de la Concesión, siendo su administrador el Sr. T. Cenzano C. Pasando a ser titular en el año 1970.

Consortio Minero Horizonte S.A. inicio exploraciones desde octubre 2003, de acuerdo al programa de exploraciones de Desafío Minero S.A.C., se encargó el proyecto denominado “Puno” a los Ing. William Martínez y John Cervantes para efectuar un levantamiento geológico a escala 1: 20,000 de las propiedades de Consortio Aurífero Puno S.A.C., con un total de 15,138.82 Has., S.M.R.L. Cartagena con 989.50 Has., y Desafío Minero S.A.C., con un total de 9,600 Has., en sus concesiones Austral 1 – 10 y 3A (9,400 Has) asimismo el Sr. José M. Córdova 600 Has., en sus concesiones Ática (300 Has), Salamina (200 Has) y Salamina 1 (100 Has). Este cartografiado y exploración distrital tuvo como objetivo principal el identificar nuevas áreas de exploración y el cartografiado geológico de las concesiones mineras.



Las unidades con importancia económica donde se encontró mineralización aurífera, son las secuencias inferiores de la Formación Sandia e inferiores de Ananea, en los sectores Vilacota y Ananea-Callejón. Se sabe por información de terceros que el sector Torremani cuenta con evidencia aurífera, aunque no ha sido posible un estudio detallado. Las facies litológicas de la Formación San José se consideran que no son favorables para contener mineralización económica. La morfología está asociada a la sobreimposición de fallamientos regionales de carácter inverso y gravitatorio estando asociados a vetas de sulfuros masivos y cuarzo, los cuales contienen bajos valores auríferos. Estas fallas han jugado un papel importante en la metalogénesis de la región debido a que fueron los focos emisores de mineralización que posteriormente se emplazaron como mantos entre las secuencias sedimentarias más cuarzosas.

Las fallas son de carácter regional con dirección andina y controlan en parte la mineralización de oro. Estas mineralizaciones encuentran mayormente rellenas con cuarzo lechoso y sulfuros en masas con varios metros de grosor y ramificados lateralmente en cuarzo hialino, pirrotita y chalcopirita, (Cerro La Torre, Vilacota).

Los yacimientos de Untuca, Callejón, Vilacota están dentro del sistema de yacimientos vetiformes de edad paleozoica y son originados por el magmatismo que aconteció durante el Ordoviciano y cuya mineralización se dio en una cuenca marina de trasarco.

Los resultados de la campaña de exploración realizada por Ing. William Martínez / John Cervantes 2007-2008, permitieron que se programe una campaña de perforación realizada desde fines de Abril a fines de Julio 2010 en Cerro La Torre y Pomarani, tuvo como finalidad incrementar la confiabilidad de la información y ver la posibilidad de cambio de categoría de los recursos inferidos, mediante recolección de información



específicamente en las zonas de interés, en el caso de Cerro la Torre; y de iniciar la exploración y reconocimiento en profundidad de la zona de Pomarani, posibilitando la interpretación geológica de este proyecto.

La campaña de perforación consistió en la perforación de 14 taladros, 04 en Cerro la Torre y 10 en Pomarani y fue realizada con la empresa de perforación ESONDI, utilizando una máquina de perforación diamantina Long Year 44, los resultados de dicha perforación dieron pase a la apertura de una explotación a cielo abierto en el sector de Cerro la Torre 2011-2013.

En el 2011 - 2013, se ejecuta un programa de perforación diamantina, con la maquina Diamec 232, perforándose 10,409.40 metros en un total de 67 sondajes diamantinos (BQ), Con los resultados de la perforación de los taladros se interpretó y se definió los mantos mineralizados Au.

En el 2014 - 2016, se ejecuta una campaña de perforación diamantina, en base a los resultados de las campañas anteriores, y tener una mayor certeza en la estimación de recursos minerales (Au), para ello se ha perforado 185 sondajes con una longitud total de 9,485.55 metros lineales, con dos máquinas Diamec 232 (CORIPUNO SAC) y Diamec 262 (ONLINK).

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El avance tecnológico en los últimos años ha ocasionado la constante demanda de recursos mineros y el paulatino agotamiento de recursos en nuestro país, lo cual ha originado una constante actividad de programa de exploración de depósitos de minerales, encaminadas a descubrir nuevas fuentes de recursos minerales, Que sea suficientemente confiables para que lleguen a ser explotados, este es el caso del Proyecto Pomarani.



Este hecho ha motivado a realizar trabajos de exploración minera en forma sistemática y selectiva con aplicación de nuevas herramientas y desarrollar nuevas técnicas que permitan obtener información geológica confiable y de calidad.

### **1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Lo expuesto anteriormente con lleva a hacernos las siguientes preguntas:

- ¿Qué características geológicas y parámetros geoestadísticos nos permite obtener una estimación de recursos minerales confiables clasificados en medidos, indicados e inferidos?
- ¿Qué características geológicas presenta los mantos auríferos?
- ¿Qué programas de control de calidad se aplican en el proceso de obtención de la información geológica, el cual nos definan la calidad y confiabilidad de la información geológica?
- ¿Qué parámetros estadísticos y geoestadístico nos permitirán interpolar los modelos numéricos (bloques)?

### **1.4. HIPÓTESIS**

La caracterización geológica de las estructuras mineralizadas, así como el mapeo de labores subterráneas, logeo de perforación diamantina y análisis de datos de muestreo (DDH y SB), permite obtener un modelo geológico 3D y un modelo numérico (Bloques), clasificados en recursos medidos, indicados e inferidos en la mina Pomarani.



## 1.5. OBJETIVOS

### 1.5.1. Objetivo general

Obtener una estimación de recursos minerales (Au) confiable, clasificados en recursos medidos, indicados e inferidos del yacimiento de Pomarani.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la calidad y confiabilidad de la información geológica y geoquímica, para que resultados sean garantizados en la estimación de recursos tal como exige los códigos mineros internacionales.
- Interpretar las características geológicas de las estructuras mineralizadas (Mantos), mediante logueo y análisis de los resultados obtenidos de las perforaciones diamantinas y muestreo subterráneos.
- Obtener los parámetros estadísticos y geoestadísticos para la interpolación de modelo numérico (Bloques), cuantificar y categorizar los recursos minerales.

## 1.6. JUSTIFICACIÓN

Son varias las razones que nos incentiva a emprender esta investigación; a continuación, citaremos las justificaciones necesarias:

**Justificación teórica:** En una investigación existe una Justificación teórica cuando el propósito del estudio es generar reflexión y debate académico sobre el conocimiento existente, confrontar una teoría, contrastar resultados o cuando en una investigación se busca mostrar las soluciones a un problema científico. Por lo que nos haríamos las siguientes preguntas-. ¿Se podrá conocer en mayor medida el comportamiento de una o diversas variables Geológicas o la relación entre ellas?; ¿Ofrece



la posibilidad de una exploración exitosa de algún fenómeno o factor geológico? Podemos argumentar manifestando lo siguiente: Al aplicar la perforación Diamantina, mapeos subterráneos; podemos conocer en mayor medida el comportamiento mineralógico de las estructuras mineralizadas en la mina Pomarani, apoyando en gran medida las exploraciones subterráneas geológicas que siempre se acostumbra a realizarse. Por otra parte, la herramienta de análisis estadístico y geoestadístico de datos (muestreo diamantino y subterráneo) aligera la estimación de recursos minerales.

Por lo tanto, con las sustentaciones teóricas se está generando nuevos conocimientos y un debate académico dentro de la Carrera Profesional de Ingeniería Geológica, que benefician a los estudiantes de la especialidad.

**Justificación práctica:** Se considera que una investigación tiene justificación práctica, cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o por lo menos, propone estrategias que de aplicarlas contribuirán a resolverlo. Tenemos que hacernos algunas preguntas: ¿Ayudará a resolver algún problema práctico?, ¿Tiene implicaciones trascendentales para una amplia gama de problemas prácticos? Se puede responder que, el desarrollo de la minería en nuestro país ha traído como consecuencia la búsqueda de nuevos depósitos de recursos minerales económicos, generando una exploración intensiva en todo nuestro territorio, confrontando procesos de crecimiento y equipamiento acelerado, que acrecientan cada vez más los problemas minero – ambientales, situación que plantea con urgencia el tratamiento de la escasez de los recursos minerales y servicios mineros. Por tal motivo las exploraciones de depósitos minerales en Cori Puno S.A.C. se ha visto en la necesidad de incluir nuevas herramientas y desarrollar nuevas técnicas que permitan obtener información geológica (Perforación Diamantina y muestreo geoquímico) confiable y de calidad, lo cual ha ocasionado una constante actividad de programas de control, en la exploración de minerales a descubrir nuevas fuentes de



recursos minerales, que sea suficientemente confiables para que lleguen a ser explotados, se está resolviendo un problema de conocimiento científico de la mina Pomarani; que a la vez, ésta aplicación tecnológica geoquímica y programas de control de calidad en la exploración geológica puede generar a resolver problemas prácticos dentro del campo de las Ciencias de la Tierra.

Los estudiantes de la UNA-PUNO, podrán incrementar sus conocimientos prácticos en las áreas de geología económica, geoquímica, perforación diamantina, estadística y geoestadística, así poder generar nuevas aplicaciones prácticas dentro de su especialidad.

**Justificación metodológica:** En investigación científica, la justificación metodológica del estudio o investigación se da cuando el proyecto por realizar propone un nuevo método o una nueva estrategia para generar conocimiento válido y confiable. Al emplearse nuevos métodos de estimación y categorización de recursos minerales, juntamente con la regulación internacional código de JORC de Australia (JORC, 1999) esta regulación es de uso cada vez más frecuente en la industria minera, y plantean estrictos requisitos en lo relativo a la calidad de la información en que se basan los estimados de recursos y reservas. Para tal efecto será necesario definir las características geológicas de los mantos mineralizados, análisis geoquímico de las muestras de la perforación diamantina y muestreos subterráneos, generando el modelo geológico. Por otra parte, la herramienta de análisis estadísticos y geoestadísticos de los datos (muestreo diamantino y subterráneo) aligera los parámetros que se pueden encontrar para la interpolación de modelo de bloques. Finalmente, al aplicar estas herramientas o técnicas geológicas nos permitirán estimar los recursos minerales en forma exitosa en la mina Pomarani., se está justificando metodológicamente el presente trabajo de investigación, que emplea métodos de exploración y estimación de recursos minerales novedosos.



**Justificación socioeconómica:** En el ámbito social, las comunidades campesinas y las personas aledañas al centro minero podrán laborar en aquellas actividades mineras y otras actividades comerciales que entrarán en funcionamiento. En el aspecto político, podemos decir que, con la generación del empleo y las actividades conexas al sector minero, se aliviará en alguna manera la carencia de trabajo, puesto que se tomará personal calificado para operar los equipos y máquinas de perforación.

## CAPÍTULO II

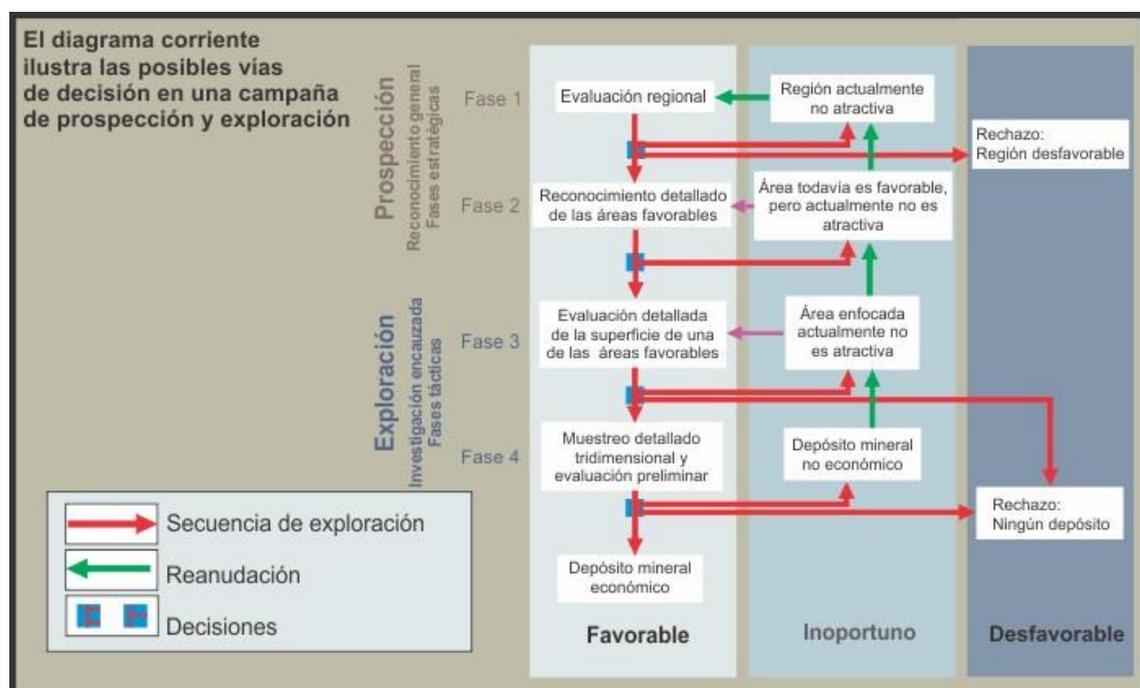
### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. PROSPECCIÓN Y EXPLORACIÓN

Es la investigación de una determinada región a través de los trabajos geológicos, mineros, geoquímicos con el objeto determinar la existencia de concentraciones de minerales de interés comercial.

La prospección es el reconocimiento general de un yacimiento mineral Hartman (1987) puede llamarse prospección geológica, prospección geofísica y prospección geoquímica, de acuerdo a la orientación del estudio.

La exploración está enfocada en un reconocimiento detallado del depósito mineral descubierto en la fase de prospección (Hartman, 1987).



**Figura 1.** Diagrama de prospección y exploración

Fuente: Hartman, (1987)

### 2.1.1. La prospección y la exploración como fases en la vida de una mina

Se Puede Comparar las etapas de trabajo en una mina con las fases en la vida de una mina, se distingue cinco fases: Prospección, Exploración, Desarrollo, Explotación y Post-Explotación.

La prospección y exploración son fases estrechamente ligadas y suelen combinarse entre sí, Las fases están descritas en la tabla siguiente:

**Tabla 1.** Fases en la vida de una mina

Fase	Procedimiento	Tiempo en años
1. PROSPECCIÓN	Búsqueda de menas	1-3
	Métodos de prospección directos geología, geoquímica Indirectos geofísica	
	Localización de lugares favorables: Mapas publicaciones, minas antigua y presentes	
	Aire: Fotos aéreas, imágenes satelitales, métodos geofísicos.	
	Superficie: Métodos geofísicos y geológicos.	
2. EXPLORACIÓN	Anomalia-Analisis- Evaluación	2-5
	Dimensión y valor del depósito mineral	
	Muestreo: Excavación de pozas y sondeos	
	Assays Test-cálculo de grado	
	Estudio de factibilidad	
3. DESARROLLO	Valor actual-Rendimiento-Costos.	2-5
	Deposito mineral abierto para la producción.	
	- Derecho de minería	
	- Estudio de Impacto Ambiental	
	- Infraestructura	
4. EXPLOTACIÓN	- Planta	10-30
	- Explotación	
	Producción de las menas	
	Factores que influyen la selección del método aplicados en geología, geografía, economía, medio ambiente, aspectos sociales y seguridad.	
	Métodos mineros son entre otro explotación a cielo abierto, Open pit, Open cast; Explotación a grandes cortes, a cortes con hundimiento.	

Fuente: Hartman, (1987)



### 2.1.2. Exploración de un yacimiento minero

Es la búsqueda de un nuevo yacimiento, económicamente rentable, en condiciones actuales de mercado.

La exploración es la etapa donde se realizan estudios más profundos de la zona, estos estudios incluyen muestreo y análisis químico de las rocas mediante una serie de trabajos superficiales, canales, trincheras, etc. También se realizan operaciones de perforación diamantina, que consiste en realizar perforaciones en el subsuelo a fin de analizar el contenido mineral, así como algunas labores subterráneas (galerías, cruceros y chimeneas de exploración). Muchas veces las exploraciones determinan si es económicamente explotable un yacimiento o no, de acuerdo al contenido y calidad del mineral encontrado.

En esta fase tendrían un mayor peso las técnicas geológicas. El desarrollo y la explotación son las fases, en las que son necesarios unos conocimientos más relacionados con la ingeniería de minería.

### 2.1.3. Yacimiento mineral

Varias son las acepciones de este término:

- Desde un punto de vista geoquímico, “acumulaciones o concentraciones de elementos que están presentes en la corteza terrestre sólo de forma diseminada” (Bateman, 1982).
- Desde un punto de vista económico, “... acumulación local geológicamente establecida, de un mineral específico que puede ser extraído bajo las condiciones económicas actuales” (Gocht *et al.*, 1988).



- Desde el punto de vista de economía planificada, típica de los regímenes de los países comunistas, “yacimientos minerales es un sector de la corteza terrestre en el que, a raíz de unos u otros procesos geológicos, se produjo la acumulación de una sustancia mineral, que puede utilizarse industrialmente, dadas su cantidad, calidad y condiciones de yacimiento, para su explotación comercial” (Smirnov, 1976).
- Desde un punto de vista general, “cuerpo geológico constituido por mineralización económicamente explotable”.

#### **2.1.4. Criadero, yacimiento o depósito mineral**

Parte o fracción de la corteza terrestre donde por procesos geológicos se formaron o forman sustancias minerales útiles, que pueden ser explotadas con beneficio económico, con los medios técnicos disponibles.

Constituyentes esenciales de los criaderos son: la mena, la ganga y el estéril.

Las masas de agregados minerales o rocas de las que se puede extraer uno o varios metales con beneficio económico se denominan mena o zafra.

## **2.2. GEOLOGÍA REGIONAL**

En los alrededores de la zona de estudio, se encuentran aflorando, rocas metamórficas, unidades estratigráficas que varían cuyas edades entre el paleozoico y Cenozoico (cuaternarios); en las que se distingue los siguiente: Paleozoico: Formación San José, Formación Sandía y Formación Ananea así como depósitos cuaternarios que se encuentran ampliamente distribuidos en el sector sur de la mina Pomarani, La actividad magmática está representada por intrusivo leucogranito, probablemente emplazado en el límite Devónico. Ver Lamina N° 01, 1.1 y 02.



### 2.2.1. Formación San José (Oi - Sj)

Es la unidad litoestratigráfica más antigua del Paleozoico en el área de estudio. Fue definido por Laubacher (1978) en la localidad de San José, por su posición estratigráfica y estudios de su fauna graptolítica se le asigna al Ordovícico inferior.

Esta formación está compuesta mayormente por facies metamórficas de bajo grado; consiste de secuencias de esquistos de aspecto crenulado y con niveles de cuarcitas gris, instruidas en algunos sectores por vetas de cuarzo blanco y diseminación de sulfuros (pirita - pirrotita) y óxidos de fierro (jarosita) y de arsenico (escorodita) en el techo en transición con la Fm. Sandia inferior, a lo largo de la Quebrada ananea.

En el cerro Huancasayani hasta las proximidades del poblado Untuca también afloran secuencias de esquistos con similares características de la quebrada Ananea, afectados por fallas normales de bajo ángulo

En algunos sectores se han encontrado esporádicamente estratos de Cuarcita, grano medio de espesor 25 a 30 m., intruido por mantos de cuarzo lechoso con micas.

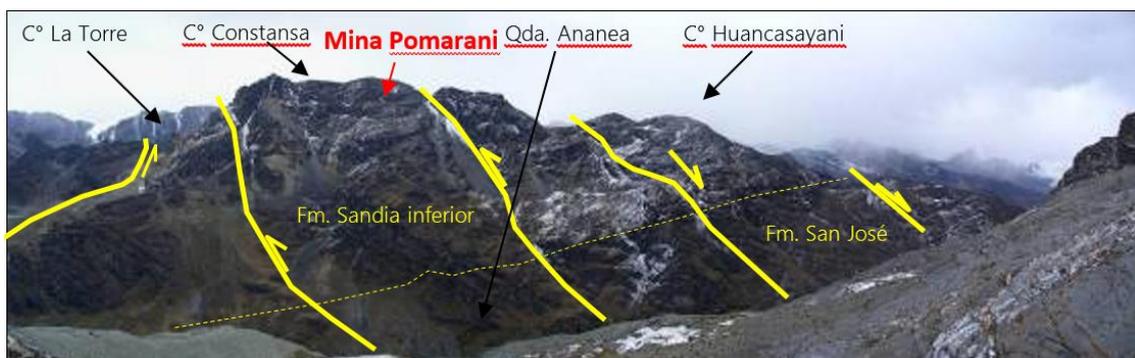
### 2.2.2. Formación Sandia (Os-s)

Esta Formación fue estudiada por Laubacher (1978) en su localidad tipo denominada Sandia. En esta unidad no se reportaron fósiles, pero por su posición estratigráfica se le considera de edad Ordovícico superior. Infrayace en contacto fallado a la Formación Ananea, constituida por una secuencia detrítica de pizarras oscuras e intercaladas con cuarcitas que van de metros a milímetros de ancho, mayormente representada por secuencias metamórficas, se encuentra diferenciada por 2 niveles:

**Sandia inferior.** - Compuesto por secuencia de filitas y pizarras con intercaladas con rocas cuarcita de espesor milimétricas a métricas (1.5 m.) y en algunos sectores se

han encontrado estratos de espesor que oscilan entre 2 - 2.40 m. de color gris de grano medio. Donde esta mayormente la mineralización aurífera está emplazada en esta unidad. Esta secuencia está afectada por intrusiones de vetas y vetillas de cuarzo lechoso (pot. 0.30m.) y cuarzo gris (pot. 0.02 a 0.05 m.), concordante a la estratificación (mantos), con contenidos de mineralización aurífera asociada a sulfuros, clorita, feldespatos y óxidos de hierro. Así mismo algunas estructuras sedimentarias lenticulares están mineralizadas con sulfuros que contienen oro.

Los afloramientos en la zona de estudio están comprendidos entre los cerros La Torre, Pomarani, Huancasayani y en la parte inferior de Nevado Calijon. (Ver Figura N° 2).



**Figura 2.** Imagen Tomada hacia el N. Se muestra el contacto entre la Fm. Sandía Inferior y Gpo San José

Fuente: Martínez y Cervantes

**Sandia superior.** - Este nivel presenta dos facies de deposición, una secuencia de pizarras carbonosas, intercaladas con rocas cuarcitas de 0.05 a 4 m. de espesores. Estratificación  $72^{\circ}/26^{\circ}\text{NE}$  y la facie silisica por rocas cuarcitas de color gris, de espesores que oscilan entre 10 a 20m., internacadas por rocas pizarra con espesores de 0.50 a 1m., estan introducidas por vetillas de cuarzo lechoso, cuarzo gris y arsenopiritas, con presencia de alteración hidrotermal (oxidación limonítica con sulfuros), brechas



tectónicas rellenando fracturas y fallas tensionales, Se encuentra aflorando en la zona sur del proyecto (Cochacucho).

### 2.2.3. Formación Ananea (SD-a)

Esta Formación fue estudiada por Laubacher (1978) en la cordillera de Ananea, quien por su posición estratigráfica la asigna al Siluro Devoniano. Consiste en una gruesa serie de esquistos pizarrosos con composición mineralógica de muscovita, cuarzo, sericita, clorita, que están afectados por un metamorfismo de tipo epizonal.

Estas secuencias metamórficas, consiste de pizarras negras, niveles delgados de filitas con algunos horizontes de cuarcitas gris de potencia variable de 1 a 5 m., intruidas por vetas y vetillas de cuarzo lechoso, sulfuros. Al techo paquete de cuarcita gris, intruidas por vetas de cuarzo gris. Donde se aprecia en las partes altas del cerro Vilacota y Ananea con cotas superiores de 4,975 msnm., que está poniendo en contacto con la Formación Sandia.

Sus contactos estratigráficos con la formación infrayacente están relacionados a un fallamiento inverso que muestra a la Formación Sandia cabalgando sobre la formación Ananea, mientras que el contacto con la formación suprayacente no se observa.

### 2.2.4. Depósitos cuaternarios

En el área de estudio estos depósitos se encuentran ampliamente distribuidos los cuales se han diferenciado de acuerdo a sus características de depositación.

#### **Morrenas**

Depósitos que están distribuidos a lo largo de los valles y se distinguen dos tipos que son: **morrenas laterales** que se encuentran adosadas a los flancos de los valles casi



paralelos al cauce de ellos como los que se encuentran en los ríos Azoguine, Ananea; **morrenas de Fondo** que ocupan el fondo de los valles como los observados en la quebrada Ananea que han sido cortados por acción fluvial de los ríos.

Constituido por material removido y acarreado por el hielo de fragmentos de pizarra, cuarcita, filitas, cuarzo, granitos, etc. Con una matriz arena – arcillosa. Estos depósitos se depositaron en varias etapas de glaciación, formando tipos diferentes de morrenas (lenguas glaciares, laterales, etc.). Se encuentra expuesta en las quebradas (Queñuani, Azoguine, etc.), alrededor de la laguna Ananea y en otras pequeñas. Estos depósitos tienen gran importancia económica debido a su contenido de valores económicos, formando yacimientos tipo placer.

### **Deposito aluvial**

Depósitos que se ubican al pie de los acantilados a lo largo de las paredes de los valles diferenciándose dos tipos de acuerdo al tiempo de formación: antiguos y recientes, los antiguos se encuentran cubiertos por vegetación y los recientes carecen de ella. Litológicamente están formados por material de grava, arena compuestos por fragmentos de filitas, pizarras, cuarcitas, cuarzo; y limo – arcilla. Su espesor varía de acuerdo a la topografía del lugar.

### **Bofedal**

Estos depósitos se ubican en la parte central de la cuenca de los ríos se caracterizan por presentar vegetación de tallo corto que sirve como alimentos a los animales acuénidos. Está conformado por arenas, limos y arcillas saturadas de agua (acuíferos), que forman zonas pantanosas poco transitables.



### **2.2.5. Intrusivo leucogranito**

Cuerpo aislado (apófisis), que aflora en la quebrada Ananea en las inmediaciones del Campamento de Minera Cori Puno intruyendo secuencias de la Formación San José. Litológicamente es de grano grueso color claro y está compuesto por cuarzo, plagioclasa y como mineral accesorio la moscovita. Se presenta a manera de placolito concordante con los planos de estratificación de las secuencias del grupo San José.

Intruye al Formación San José, pero no se observa el contacto por encontrarse con cobertura aluvial. En cuanto a su edad es preciso aclarar que sus componentes minerales se encuentran afectadas por la esquistosidad herciniana, ello significa que la edad mínima de intrusión sería carbonífera (eohercinica) y la más tardía Tardiherciniana (Permiana). Estos antecedentes involucran que estos cuerpos intrusivos tendrían una edad entre el carbonífero y Permiano. Lo que sí es probable es que se encuentren relacionados a las mineralizaciones ya que representarían los principales focos o fuentes de calor que dieron origen a los sistemas mesotermales.

## **2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

Es la ciencia que estudia las deformaciones de la corteza terrestre relacionadas con el tiempo geológico. Estudia las deformaciones orogénicas, diastróficas, epirogénicas, etc. Las deformaciones pueden ser pliegues, fallas, intrusiones.

La geología estructural nos lleva a un control de mineralización, los rumbos y buzamientos de las fracturas, las fallas son indicadores de la intensidad de dirección de flujo de la mineralización como también podemos determinar la potencia de la veta.

La historia geológica del área ha evolucionado como consecuencia de los esfuerzos compresionales y distensivos de la actividad tectónica de la región, se



registran estructuras de variado origen que afectaron a las rocas antiguas y causaron cizallamiento, plegamientos, fracturamientos y direcciones de flujo que permitieron identificar dominios estructurales. El conjunto de fallas tanto inversas como normales ligeramente subverticales tienen una dirección noroeste sureste con inclinaciones mayormente hacia el noreste convergiendo entre ellas en profundidad, esporádicamente se puede observar fallas (normales), con inclinaciones al suroeste como el que se aprecia en el nevado Callejón. En el sector de San Miguel de Untuca y Llactapata se ha reconocido un anticlinal volcado que aparentemente se prolonga hasta el nevado Callejón con una dirección del eje de su charnela paralelos al sistema de fallas principales del área. (Ver Lamina N° 03).

En algunas fallas se ha podido observar el doble comportamiento; primero como falla inversa en un tiempo de compresión y posteriormente como falla normal en tiempo extensivo tal como se aprecia en la falla Constanza y falla Pomarani.

## **2.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA**

Es la ciencia que estudia los recursos naturales esencialmente minerales, que el hombre extrae de la tierra para cubrir sus necesidades y comodidades, teniendo en cuenta su rendimiento económico. Para determinar el rendimiento económico de un recurso, el geólogo debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Cubicación del yacimiento (tonelajes, leyes, etc.)
- Planeamiento de explotación.
- Infraestructura (transporte, vías de comunicación, cercanía de puertos de embarque, centro de compra-venta, centros poblacionales, energía eléctrica, agua, etc.)



- Aspectos legales y tributación
- Determinación del rendimiento económico (comparación entre el valor de venta y el total de gastos).

Este yacimiento es aurífero y es uno de los más importantes de la Cordillera Oriental del sur del Perú. El yacimiento es de tipo estratiforme, stock work y diseminado dentro de las rocas del Paleozoico Inferior.

La característica estructural del sistema son vetas, mantos y diseminaciones debido a la acción de productos hidrotermales que ascendieron por medio de fracturas y microfracturas, llevando iones libres de oro y sulfuros. El oro se encuentra en los sulfuros de hierro, como metal libre diseminado en las rocas y dentro de los mantos de cuarzo gris ahumado, además existe oro blanco denominado calaverita, por ser de fluidos de telurios.

#### **2.4.1. Mineralización**

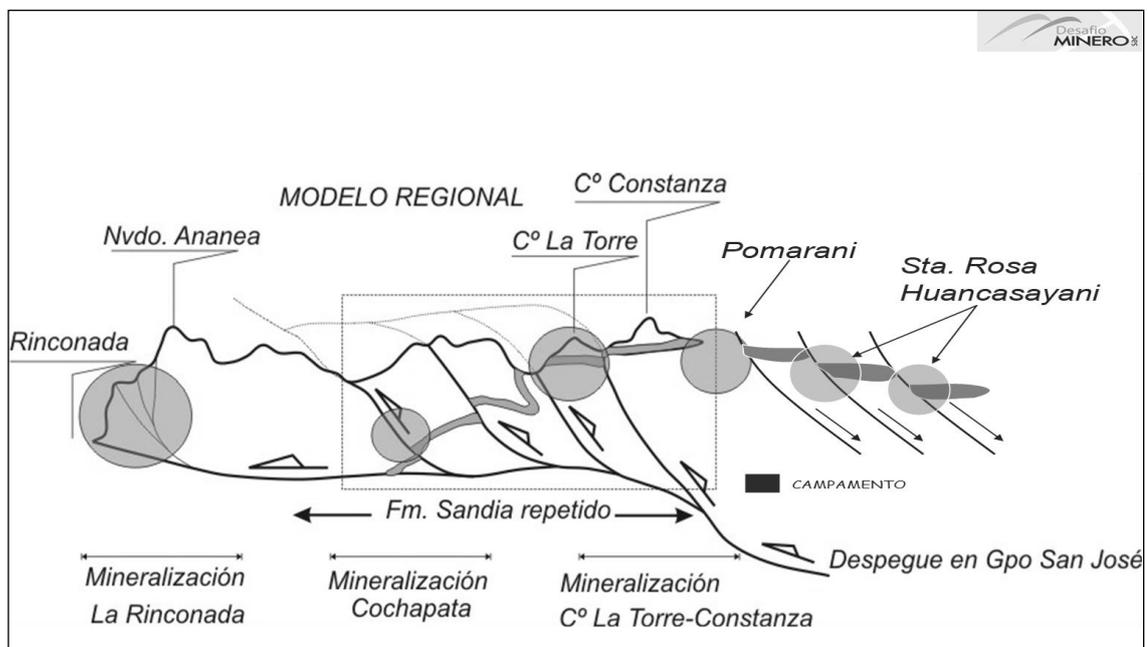
La mineralización se presenta en estructuras de estratiformes de cuarzo-pirrotita-pirita-arsenopirita-oro con óxidos de hierro distribuidos generalmente en la Formación Sandia y Ananea, teniendo el mayor potencial en las Pizarras y Pizarra-filitas entre las formaciones Sandia y Ananea. Las vetas son de dirección andina y asociadas a fallas regionales de compresión y relajación que anteriormente fueron normales (extensión paleozoica)

Las estructuras vetiformes poco o casi nada resaltan sobre el terreno a excepción de la Qda. Callejón donde forman crestones mayormente asociados a la mineralización de cuarzo lechoso y bolsonadas de pirita, estas vetas en su mayoría con poco a nada de contenidos auríferos están emplazadas dentro de los sistemas de fallas inversas y normales, es evidente que estos cuerpos mineralizados se emplazaron en sistemas

extensivos durante la expansión paleozoica que luego durante la compresión hercínica se convirtieron en inversas emplazándose en los corredores estructurales actuales.

Las vetas están rellenas por cuarzo blanco masivo y en estructuras bandeadas, óxidos de hierro (mayormente hematita, limonita y poca jarosita). La pirita se encuentra media a fina y de hábito cúbica cristalizada, así mismo se tiene óxidos de cobre, calcopirita que rellenan cavidades y fracturas.

La existencia de minerales de sulfuros y la presencia de venillas feldespáticas original de la solución mineralizante, en la zona es un indicativo, de que en el área del proyecto han circulado soluciones hidrotermales mineralizantes, provenientes de un foco magmática rico en valores de Au. Mayormente, se presentan minerales de sulfuros en profundidad y otras en superficie, en etapa de oxidación por reacciones químicas. La presencia de feldespatos en superficie, se podría decir que son los vapores finales de la calda mineralizante.



**Figura 3.** Modelo regional del sistema de mineralización

Fuente: Martínez y Cervantes.



### 2.4.1.1. Mineralogía

#### El oro (Au)

Se encuentra en los sulfuros, y como metal libre diseminado en la roca; cristaliza en el sistema cúbico, de la clase hexaquisoctaédrica; se caracteriza por ser de color amarillo y diferentes tonalidades, esto es de acuerdo a la cantidad presente de otros metales, su brillo es metálico, de dureza 2.5 – 3, tenacidad dúctil y maleable y es un buen conductor de la electricidad. En el proyecto se encuentra diseminado en la roca y dentro de mantos de cuarzo gris ahumado, conjuntamente con los sulfuros de fierro. Además, existe el “Oro Blanco”, denominado Calaverita, por ser de fluidos de telurios.

#### Sulfuros

A continuación, se indica sus características de los minerales existentes en el proyecto, el orden de descripción es de acuerdo al porcentaje presente:

- a) **Pirrotita (Po):** Es un sulfuro de fierro ( $SFe - x$ ), la “x” indica la deficiencia de fierro ( $0 < x < 0.02$ ); su sistema de cristalización es dihexagonal de la clase bipiramidal; se caracteriza por presentar un color amarillo bronce, de brillo metálico, de dureza 4, tenacidad frágil y propiedades magnéticas.

En el Proyecto se halla generalmente diseminado, en lentes, motas y acompañando a los mantos lenticulares de Qz gris. Se encuentra asociado a rocas metamórficas de contacto (filitas) y con frecuencia aparecen granos de oro (Au) diseminado.

Mayormente este mineral se encuentra un 10 % diss en el área del “Cerro la Torre”, “Llactapata” y un 2 – 3 % diss en la zona de “Gallocunca”, “Lomada”, “Pomarani” y “Santa Rosa”. Pero, se sabe con claridad que las venillas de Qz L, en profundidad, conforma nada menos un “Net Work” de este mineral, asociado



con otros sulfuros existentes en el Yacimiento, por lo tanto dichas estructuras se encuentran presente en la zona de Gallocunca, además el resultado de una muestra especial tomada de dichas venillas dio buen resultado (5.51 gr Au/t).

- b) Pirita (Py):** Es un sulfuro de fierro ( $S_2Fe$ ); su sistema de cristalización es cúbica, de la clase Biploédrica; es de color amarillo latón pálido, de brillo metálico, con dureza de 6 – 6.5 y de tenacidad muy frágil. Además, se distingue de la calcopirita por su color amarillo más pálido y por qué no puede ser rayado por el acero; del oro se distingue por su fragilidad y dureza y de la marcasita por su color más intenso y la forma de los cristales.

La mineralogénesis de este metal en el Proyecto nos indica que es el metal más común, presentándose como mineral original de la mineralización y como mineral de alteración hidrotermal (piritización), La pirita se presenta aproximadamente un 5 – 15 % en la zona de “La Torre”, “Llactapata”, un 5 % en la parte superior de la zona de “Gallocunca”, 10 % (límite con la falla “Constanza”) de la zona “La Lomada” y 12% en “Pomarani” y “Santa Rosa”. A si mismo este metal se encuentra en las vetas, mantos y nódulos de Qz lechoso, indicando que en el Yacimiento existe pirita de diferentes eventos. A medida que se aleja de las zonas económicas, se hace presente la pirita cúbica cristalizada original de la alteración hidrotermal.

- c) Arsenopirita (Arpy):** Es un sulfuro de arsénico y fierro; su cristalización es monoclinico, de la clase pinacoidal; se caracteriza por su color blanco de plata, brillo opaco, dureza 5.5 – 6, tenacidad frágil y cuando presenta zinc es de color “rubí de zinc”. Se destingue de la marcasita por su color blanco de plata. Es el



mineral más corriente del arsénico, hallándose asociado a yacimientos de estaño y tungsteno.

En el Proyecto se encuentra 1 % acompañando a los sulfuros de fierro, plata y cobre: Pirrotita (Po), Pirita (Py), galena (gn) y Calcopirita (Cpy).

- d) Antimonita o Estibina (Antta / Estna):** Es un sulfuro de antimonio; su cristalización es de sistema ortorrómbico, de la clase prismático; se caracteriza por su color gris plomo a negro brillante, de dureza 2, tenacidad sectil en algunas veces flexible y expoliación basal perfecta. Es la Mena principal del antimonio, se emplea para aleaciones con el plomo y antimonio.

En el Proyecto se encuentra en menor cantidad < 2 %, acepción del “Cerro la Torre” (5 %). Este metal está asociada a minerales de antimonio y de plomo (galena), diseminado y/o en estructuras de mantos lenticulares de cuarzo gris emplazadas en rocas filitas. Es un indicativo positivo para evaluar el Yacimiento, encontrándose en mayor cantidad en la zona “La Torre”

- e) Calcopirita (Cpy):** Es un sulfuro de cobre y fierro (S<sub>2</sub>CuFe); cristaliza en el sistema tetragonal, de la clase escalenoedrica; se caracteriza por ser de color amarillo latón intenso, brillo metálico, dureza 3.5 – 4, tenacidad frágil y paramagnético. Se distingue de la pirita por ser más blando que el acero, del oro por ser frágil y de raya negra verdosa. Es la Mena principal de cobre.

En nuestro proyecto se encuentra en pequeñas cantidades asociada a la pirita, pirrotita, blenda, galena, esfalerita, etc, siendo de origen hidrotermal.

- f) Galena (Gn):** Es un sulfuro de plomo (SPb); cristaliza en el sistema cúbico, de la clase hexaquisoctaedrica; se caracteriza por presentar color gris plomo brillante,



de brillo metálico, dureza 2.5, tenacidad frágil y es reluciente. Se le emplea en la fabricación de vidrio, barniz, fabricación de tuberías, laminas, perdigones, etc.

En nuestro proyecto se halla en menores cantidades asociada a los anteriores sulfuros. Es la única fuente de plomo y una importante mena de plata.

- g) **Esfalerita (Sph):** Es un sulfuro de zinc ( $ZnS$ ); cristaliza en el sistema cúbico, de la clase hexaquisoctaédrica; se caracteriza por ser de color pardo amarillento y negro variable, brillo metálico y resinoso a sub metálico, dureza 3.5 – 4 y tenacidad frágil. Es la mena más importante del zinc asociada con los sulfuros mencionados. Se le usa en la galvanización del hierro.

En nuestro yacimiento se le encuentra en pequeñas cantidades.

### Óxidos de hierro

Es débil la presencia de óxidos en la zona. Proviene de la oxidación de los sulfuros por reacciones químicas. A continuación, indicamos sus características de cada mineral de óxido de hierro presente:

- a) **Hematita (Hem):** Óxido de hierro ( $Fe_2O_3$ ); Cuando cristaliza, lo hace en el sistema hexagonal, de la clase escalenoédrica; se caracteriza por ser de color castaño rojizo a negro, de brillo metálico a mate, dureza 5 – 6 también en terroso, tenacidad frágil y se hace magnética en la llama reductora. Se distingue por su color, raya rojiza parda. Es la mena más importante del hierro.

En el Proyecto se encuentra expuesto a la superficie y no profundiza, tan solo es como una película de centímetros a algunos metros.



- b) **Limonita (Lm):** Oxido de fierro hidratado; se caracteriza por ser de color amarillo rojizo.

En el Proyecto se encuentra conjuntamente con la hematita.

- c) **Jarosita (Jar):** Oxido de fierro hidratado, de color amarillo limón, se le encuentra en el yacimiento teñiendo las paredes de la roca, a causa del contacto del agua de la lluvia con los sulfuros.

## 2.5. EXPLORACIÓN GEOLÓGICA

Es un método directo de exploración respectivamente (levantamiento geológico y estructural en el terreno) y la base para todos los demás métodos. Se constituye del levantamiento geológico y estructural de la superficie, de los afloramientos y como posible del subsuelo (sondeos, minas) en el área de interés. El levantamiento geológico en el terreno está apoyado por los análisis petrográficos, mineralógicos y geoquímicos en el laboratorio y por estudios estadísticos de los datos estructurales obtenidos en terreno. Por medio del método geológico se logra un reconocimiento de un depósito mineral en lo que concierne su estructura, su petrografía y mineralogía y los procesos de formación del mismo.

### 2.5.1. Mapeo geológico

La cartografía geológica consiste en la presentación en un plano de referencia, normalmente topográfico, de todos aquellos hechos geológicos observados en un determinado lugar. Dicho de otra forma, consiste en elaborar planos geológicos y deben elaborarse a una escala apropiada a nivel de exactitud requerida en la investigación.



La cartografía puede elaborarse:

- A partir de la observación directa de campo
- Utilizando medios indirectos, como son la foto aérea o resultados de prospecciones geofísicas.
- Combinando las dos anteriores.

### **2.5.2. Geoquímica**

Es un método indirecto de prospección y se ocupa de la determinación de la distribución y de la abundancia de ciertos elementos como los elementos indicadores y los elementos exploradores relacionados con un depósito mineral. Una anomalía geoquímica se refiere a una variación en la abundancia de un elemento en comparación a su abundancia normal en un área definida. Una anomalía geoquímica puede ser relacionada o no con un depósito mineral.

La geoquímica es una herramienta esencial utilizada en los programas de exploración en todas sus etapas, desde los trabajos iniciales de reconocimiento hasta los de detalle cuando el yacimiento ya ha sido localizado. Es la técnica que se encarga de realizar investigaciones geológico-mineras mediante la obtención de muestras de suelos o aguas y la determinación de los elementos disueltos y por lo tanto los cuerpos mineralizados.

También se utilizan para identificar las prolongaciones de los yacimientos ya conocidos o en explotación y como ayuda en la toma de decisiones en la selección de áreas de interés para llevar a cabo la perforación como etapa final en la localización de yacimientos minerales.



### 2.5.2.1. Muestreo

El muestreo es la forma corriente de obtener muestras representativas de un sitio de interés, dependiendo del trabajo que se quiere realizar se pueden extraer muestras de roca, suelo, sedimento, etc. colectado de una manera estandarizada. La cantidad de material debe estar adecuada a la finalidad del muestreo, a los requerimientos analíticos y a la conservación del remanente en repositorios como material de referencia para futuras investigaciones.

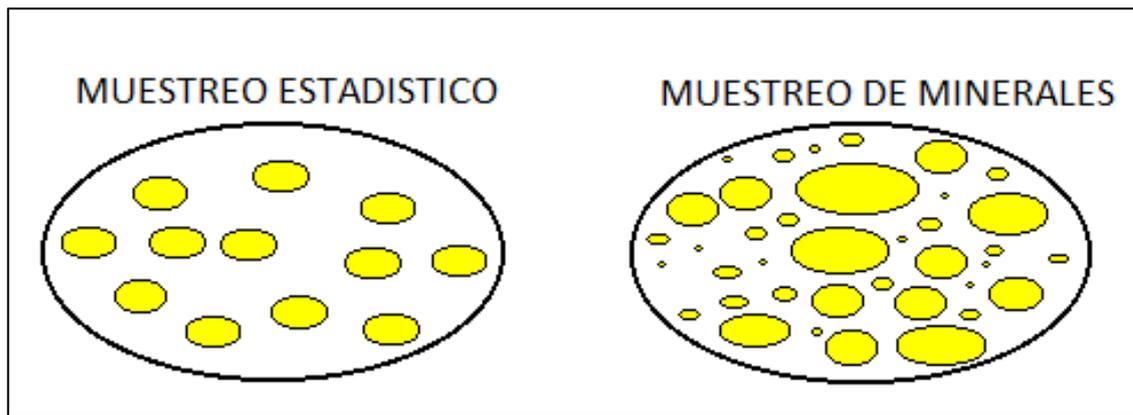
**Muestra:** es una parte o porción extraída de un conjunto por métodos que permiten considerarla como representativa del mismo.

**Muestreo:** es la acción de recoger muestras representativas de calidad, condiciones medias de un todo, técnica empleada en esta selección o la selección de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto.

**Población o lote:** es el conjunto completo de observaciones que deseamos estudiar.

El muestreo estadístico es diferente del muestreo de minerales:

- En el muestreo estadístico, el lote o población está compuesto por objetos de igual peso.
- En el muestreo de minerales, el lote está compuesto de objetos de diferentes pesos.



**Figura 4.** Muestreo estadístico y muestreo de minerales

Fuente: Alfaro (2002).

#### **2.5.2.1.1. Importancia de muestreo de minerales**

Casi todas las decisiones que se hacen respecto de un Proyecto Minero, desde la exploración hasta el cierre de la mina, están basadas en valores obtenidos de material muestreado. Estas decisiones significan millones de dólares.

#### **2.5.2.1.2. Tipos de muestreo**

Existen varios tipos de muestreo geoquímico en donde vamos a mencionar los principales.

- **Muestreo de rocas**, Este tipo de muestreo incluye las rocas superficiales y subterráneo
- **Muestreo de redes de drenaje**, Incluye muestreo de sedimentos de corrientes de agua, lagos y aguas subterráneas
- **Muestreo de suelos**, en este tipo de investigación se incluyen el muestreo superficial y profundo de suelos transportados y de suelos residuales.

### 2.5.2.1.3. Muestreo de rocas

La muestra que va a ser tomada para analizar debe cumplir una condición fundamental: ser representativa del sistema que se quiere estudiar, esto significa que la cantidad de muestra a analizar debe representar la composición total de aquello que se investiga y además deben mantenerse las proporciones de los distintos componentes que la integran.

Para obtener una muestra representativa es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Tomar muestras frescas**, es decir, que no presenten signos de alteración (Lixiviación), contaminación, ni que estén expuestas a la meteorización, a menos que el objeto de estudio sean precisamente la alteración o la contaminación.
- **El tamaño** de las mismas sea el apropiado como para representar completamente al sistema en cuestión.



**Figura 5.** Muestreo canales de rocas de Mina Pomarani

#### 2.5.2.1.4. Muestreo de cores (Testigos)

Los testigos diamantinos son estudiados detalladamente desde el punto de vista geológico, luego de la interpretación o toma de información. Se procede a muestrear cada 1.0 m de largo. Esto puede variar en contactos litológicos, mineralización y alteración. El muestreo se realiza con la finalidad de realizar en el laboratorio el análisis químico. Donde como resultado vamos a tener valores (leyes) de estas muestras.

##### a. Procedimiento para la toma de muestras

En forma ordenada y segura hacer un tendido de las cajas ya cortadas en las mesas de muestreo de menor a mayor y revisar que todas las placas de muestreo estén en su lugar, todas las muestras estén bien cortadas (muestras para análisis químico cuantitativo).

Se verificará que el corte este proporcional 50%, que cuadren todos los fragmentos cortados y que el corte este perpendicular a las venillas, vetas, fracturas. Para que el muestreo sea representativo y proporcional.



**Figura 6.** Cores de la Mina Pomarani



**Figura 7.** Corte del core 50%

Embolsar la muestra, etiquetarlo y seguidamente cerrarlo con su precinto de seguridad para evitar algún manipuleo de la muestra cortada.



**Figura 8.** Toma de muestra de core

## 2.6. PERFORACIÓN DIAMANTINA

La perforación diamantina (Uso de diamantes de Perforación) es uno de los métodos más usados, ya que es exacto y la información geológica obtenida es veras. Es caracterizado por la detención de cilindros de roca llamados testigos o núcleos de roca, que se obtienen justamente por la rotación de una corona de diamante, que va montada en el extremo de un tubo y por medio de esta, una maquina ejerce fuerza de rotación, produciendo así fricción entre el macizo rocoso y la broca diamantada o también puede ser coronas de metal duro o de carburo de tungsteno, produciéndose así el corte de la roca. Esto porque los diamantes tienen mayor dureza que las rocas que conforman las formaciones litológicas.

Actualmente es el método más usado en la actividad minera debido a gran cantidad de información que es capaz de brindar, para su posterior interpretación y descubrir nuevos yacimientos, constatación, cubicación de los yacimientos minerales. También nos proporciona bastante información para el diseño del sistema de explotación de un yacimiento.

La campaña de perforación es una de las más importantes y más caras técnicas de exploración. En casi todos los casos, la perforación son las que localizan y definen el valor económico de un proyecto, la perforación proporciona los test esenciales para la



verificación de todas las ideas, teorías y predicciones que han sido generadas en prospecciones precedentes y en las demás fases de proceso de exploración.

La información que nos provee las perforaciones son cores (roca), de forma cilíndrica, existen brocas de diferentes diámetros. Por lo tanto, la extracción de las muestras también puede ser de diferentes diámetros.

## **2.7. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD (QA/QC)**

### **2.7.1. Aseguramiento y control de calidad**

Aseguramiento y control de calidad (ACC), también conocidos por sus siglas en inglés como QA/QC (Quality Assurance/Quality Control), es asegurar la integridad de la información y en última instancia garantizar que los datos generados sean de estándares tales que permitan la confiabilidad y su utilización en estimación de recursos y reservas, control de leyes.

### **2.7.2. Calidad**

Propiedad o conjunto de propiedades cuantitativas o cualitativas inherentes a algo que permiten juzgar su valor.

En la vida cotidiana el concepto de Calidad es generalmente abstracto, subjetivo e intuitivo. Se entiende como satisfacción personal, satisfacción de los sentidos, satisfacción del ego, satisfacción de la estética y satisfacción de lo emocional.

En la industria minera y la actividad profesional el concepto de calidad es generalmente concreto, objetivo y medible. Entonces se entiende por calidad que el producto fue elaborado según los estándares internacionales y por lo tanto tiene valor de uso.



### 2.7.3. Control de calidad

**Definición:** Es el conjunto de técnicas y actividades de carácter operativo que tiene como propósito monitorear y detectar los posibles errores, esto es utilizado para determinar el nivel de calidad realmente alcanzada en una operación.

**Objetivo:** Monitorear los posibles errores, con el fin de cuantificar e evaluar sus posibles efectos y tomar oportunamente sus medidas correctivas.

**Como actúa:** Mediante la inserción de muestras de control de calidad en el flujo de muestras o la realización de operaciones de control (protocolos de control calidad) (Simón, 2008).

### 2.7.4. Control de calidad: Definiciones básicas

Por lo general, durante una campaña de muestreo se utilizan dos laboratorios: uno primario, donde se analizan todas las muestras ordinarias, y uno secundario, comúnmente un laboratorio de reconocida reputación, en el cual se reanaliza una porción representativa de las muestras ordinarias previamente analizadas en el laboratorio primario. El programa de Control de Calidad consiste en la inserción sistemática de muestras de control en los lotes enviados al laboratorio primario, y en el reenvío regular al laboratorio secundario de una parte de las muestras ya analizadas en el laboratorio primario, también acompañadas por muestras de control. Tanto en uno como en otro caso las muestras de control deben ser preparadas, empaquetadas, numeradas y enviadas de tal manera que se evite, en lo posible, su identificación por parte de los laboratorios evaluados.

Al implantar o evaluar los resultados de un programa de ACC en la actividad geológica, es importante conocer tres conceptos básicos, que se describen de modo sucinto a continuación:



#### **2.7.4.1. Precisión**

Es la habilidad de reproducir consistentemente una medición en condiciones similares. Vinculada a errores aleatorios, su evaluación exige reproducir la medición en condiciones tan cercanas como sea posible a las existentes en el momento en que tuvo lugar la medición original. En el caso del muestreo geológico, por ejemplo, tanto la muestra original como la duplicada deben corresponder a iguales intervalos, métodos similares de muestreo, y se debe prever su envío simultáneo al mismo laboratorio, de modo que se garantice el empleo de iguales procedimientos de preparación y análisis, utilizando los mismos equipos y reactivos, y en lo posible el mismo personal. Por tanto, es necesario que ambas muestras formen parte del mismo lote.

La precisión se evalúa a través del error relativo (ER), definido como el valor absoluto de la diferencia entre los valores original (VO) y valor duplicado (VD), dividido entre el promedio entre ambos valores, medido en por cientos. Se recomienda tratar la precisión como una característica cualitativa (baja precisión, alta precisión), y el error relativo como un parámetro cuantitativo.

Entre ambos existe una relación inversa: a mayor error relativo, menor precisión, y viceversa (Simón, 2008).

$$ER= 2(VO-VD)/(VO+VD)$$

#### **2.7.4.2. Exactitud**

Se define como la proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado, y se vincula a errores sistemáticos. El concepto de exactitud está indisolublemente vinculado al de valor real. Al determinar la ley de la muestra, nunca se llega a conocer el valor real; sin embargo, es posible preparar estándares en condiciones muy controladas,



y establecer el mejor valor (MV) del estándar para cada elemento en particular. Por otra parte, el intervalo de confianza (IC), también conocido como error estándar de la media, evaluado con un nivel de significación de 0.05, identifica al intervalo alrededor del MV en el cual la probabilidad de ocurrencia del valor real es igual al 95%. Tanto el MV como el IC que caracterizan al estándar deben ser establecidos a través de múltiples análisis en una serie de laboratorios de elevada reputación técnica.

Mediante la inserción de estándares en los lotes analíticos, es posible comparar el comportamiento del laboratorio en cuestión con el de los laboratorios de referencia. De este modo se evalúa la proximidad al MV de los valores obtenidos, y se determina la magnitud del posible sesgo, en caso de que exista. Adicionalmente, es posible evaluar la exactitud del laboratorio primario con relación a otro laboratorio de referencia, o secundario, mediante el reanálisis en este último de algunas muestras previamente analizadas en el laboratorio primario, los duplicados externos. Este método debe ser utilizado como complemento al uso de estándares. Se recomienda tratar la exactitud como una característica cualitativa (baja exactitud, elevada exactitud), y el sesgo como un parámetro cuantitativo, entre los cuales existe una relación inversa: a mayor sesgo, menor exactitud, y viceversa (Simón, 2008).

### **2.7.4.3. Contaminación**

Al preparar o analizar algunas muestras, particularmente las muy mineralizadas, es posible que cierta porción de una muestra o de una solución quede retenida accidentalmente en el equipo y contamine las muestras siguientes. La contaminación se estudia a través de los blancos, que son de hecho muestras estériles, en las cuales los elementos a evaluar se encuentran presentes en cantidades inferiores o muy cercanas a los correspondientes límites de detección.



Se considera que se ha producido un nivel significativo de contaminación de un elemento cuando los blancos arrojan valores que exceden varias veces el límite de detección para dicho elemento. Siempre que sea posible, la matriz de los blancos debe ser cercana a la matriz del material que está siendo analizado en las muestras ordinarias (Simón, 2008).

### 2.7.5. Programas de control de calidad

Un programa de Control de Calidad debe evaluar su comportamiento en las etapas esenciales de la secuencia muestreo-preparación-análisis, en un esfuerzo por determinar reducir al mínimo el error total posible (Long, 2000). Las etapas y los parámetros monitoreados en cada una de ellas se muestran a continuación:

- **Muestreo:** error (o precisión) de muestreo;
- **Preparación:** error (o precisión) de sub-muestreo; contaminación durante la preparación;
- **Análisis:** exactitud, precisión y contaminación analíticas; · Entrada de datos: exactitud de la entrada de datos.

Las tres primeras fases pueden ser monitoreadas a través de la inserción aleatoria de varios tipos de muestras de control. Es posible supervisar la calidad de la entrada de datos a través de la doble entrada independiente de la información más sensible.

#### **Muestra de control**

Son muestras que se insertan en los lotes con el fin de detectar y controlar los errores en los procesos de muestreo, preparación y análisis de las muestras geoquímicas.



Algunas muestras de control deben ser tomadas y/o insertadas por parte del personal del proyecto directamente durante el proceso de muestreo.

### **Lote**

Grupo de muestras que ingresan al laboratorio químico, estas incluyen muestras reales y muestras de control, con la finalidad de que pasen el mismo tratamiento en todo el proceso de preparación y análisis, el lote consta de un determinado número de muestras en función de la capacidad del laboratorio.

El programa de control de calidad consiste en la inserción sistemática de muestras de control en los lotes enviados al laboratorio primario, y en el reenvío regular al laboratorio secundario de una parte de las muestras ya analizadas en el laboratorio primario, también acompañados por muestras de control. Tanto en uno como en otro caso las muestras de control deben ser preparadas, empaquetadas, numeradas y enviadas de tal manera que se evite, en lo posible, su identificación por parte de los laboratorios evaluados.

Para un programa de perforación diamantina se sugiere utilizar las siguientes muestras de control de calidad.

#### **2.7.5.1. Muestra duplicado (Gemelas)**

Se obtienen al dividir nuevamente a la mitad las muestras de medio testigo guiándose de la mineralización y las vetillas esto permite evaluar la precisión, de modo que un cuarto representa la muestra original, y otro cuarto representa la muestra gemela; ambas muestras deben ser preparadas en el mismo laboratorio y analizadas con diferente número en el mismo lote. Las muestras gemelas se usan para evaluar el error de muestreo.



Se recomienda evitar el uso en este caso del término de duplicado, ya que el original y la muestra gemela ocupan, formalmente, diferentes posiciones espaciales. (Simón, 2008)

#### **2.7.5.2. Muestra blanco**

Son muestras estériles que contienen valores bajos niveles de concentraciones de minerales, permiten evaluar la contaminación.

Son muestras de material estéril pulverizado, que deben ser analizadas a continuación de muestras fuertemente mineralizadas, y que se utilizan para determinar si se produce contaminación durante el proceso de análisis. Al insertar blancos, se recomienda seguir la siguiente secuencia: después de una muestra fuertemente mineralizada, la primera muestra insertada debe ser un blanco fino, seguida de un blanco grueso.

#### **2.7.5.3. Muestra estándar**

Las muestras estándares son muestras certificadas con valores conocidos de elementos determinados; permiten evaluar la exactitud.

Son muestras elaboradas bajo condiciones especiales, que deben formar parte de los lotes analizados tanto por el laboratorio primario como por el laboratorio secundario. Los estándares se utilizan para evaluar la exactitud analítica, en conjunto con las muestras de control externo. Al elegir los estándares se recomienda seleccionar, en lo posible, materiales de composición aproximadamente similar a la de las muestras ordinarias, a los efectos de reducir al mínimo el efecto analítico de la matriz mineral.

Se recomienda utilizar al menos tres estándares para los elementos de importancia económica (incluidos los contaminantes), de modo que cubran aproximadamente la gama prevista de concentraciones económicas o subeconómicas: un estándar de baja ley,



cercana al valor de Cut Off; un estándar medio, con ley cercana al promedio del depósito, y un estándar alto, teniendo en cuenta lo que significa alta ley para el proyecto concreto.

#### **2.7.6. Evaluación del control de calidad**

Como fue mencionado, el programa de Control de Calidad tiene por objeto evaluar la precisión, la exactitud y la contaminación, lo que se logra mediante la inserción regular de muestras de control.

Por tener propósitos diferentes, la exclusión de un tipo particular de muestras de control no puede ser suplida por la inclusión de otro tipo de muestras.

Como fue mencionado, el programa de Control de Calidad tiene por objeto evaluar la precisión, la exactitud y la contaminación, lo que se logra mediante la inserción regular de muestras de control. Por tener propósitos diferentes, la exclusión de un tipo particular de muestras de control no puede ser suplida por la inclusión de otro tipo de muestras. La evaluación del Control de Calidad se hace del siguiente modo:

Precisión del laboratorio primario:

- en el muestreo, a través de muestras gemelas;
- en la preparación o el cuarteo, a través de duplicados gruesos;
- en el análisis, a través de duplicados de pulpa.

Exactitud del laboratorio primario:

- en el mismo laboratorio, a través de los estándares;
- en un laboratorio secundario, a través de duplicados externos.



Contaminación en el laboratorio primario:

- durante la preparación, a través de los blancos gruesos;
- durante el análisis, a través de los blancos finos.

Precisión, exactitud y contaminación del laboratorio secundario:

En los lotes de control, mediante la inserción de duplicados, estándares y blancos finos en los lotes de control.

Para evaluar los resultados del control de calidad se utiliza comúnmente el principio del reconocimiento de patrones. Mediante la preparación de gráficos especializados, se representan los datos y se visualizan los diversos tipos de errores. A continuación, se presentan algunos de los métodos de evaluación de uso más frecuente.

**a. Duplicados y muestras gemelas**

Los gráficos más utilizados son los de dispersión, o X-Y, de frecuencia acumulada de los errores relativos, y la evaluación según el método hiperbólico

Simón (2005) que consiste en evaluar en un gráfico de dispersión de tipo Max-Min la aceptación de cada par con el auxilio de una función hiperbólica ( $y^2 = m^2x^2 + b^2$ ).

Según este método, la pendiente  $m$  de la asíntota de la hipérbola se calcula en función del error relativo aceptable para cada tipo de muestra de control (30% para muestras gemelas, 20% para duplicados gruesos, 10% para duplicados de pulpa), y el término independiente  $b$  se estima en función del límite de detección del elemento estudiado. Los pares que se ubican por encima de la hipérbola son rechazados. Un nivel aceptable de admisibilidad se alcanza cuando el nivel de rechazos no excede el 10% de los pares. La ventaja de este método consiste en que también incluye en el análisis las



muestras con valores bajos, incluso cercanos al límite de detección, usualmente excluidas por otros métodos. En este trabajo de investigación se va usar el método recomendado por (Simón, 2008).

**b. Blancos**

Para evaluar la contaminación se recomienda preparar gráficos de Blancos versus Muestra Precedente, en los que se plotean los valores reportados para los blancos en el eje Y, y los valores de las muestras precedentes en el eje X. Este tipo de gráfico permite identificar claramente los eventos de contaminación cruzada de muestras ricas a los blancos, y la posible existencia de un patrón de contaminación.

**c. Estándares**

Las muestras estándares se prepara de material de mina analizado en varios laboratorios con certificación o comprado a un laboratorio externo certificado con leyes promedios conocidos.

Para la evaluación de los estándares habitualmente se construyen gráficos de control para cada estándar y cada elemento estudiado. Los valores reportados son ploteados en una secuencia temporal, preferiblemente la fecha de análisis de cada lote, y el gráfico incluye líneas con valores Y constantes, correspondientes a determinados niveles significativos, como MV,  $MV \pm 2 \cdot DE$ , (donde MV es el mejor valor resultante de una prueba inter-laboratorios; DE es la desviación estándar, calculados a partir de los valores obtenidos al analizar los estándares insertados). El sesgo analítico Sa es calculado como:

$$Sa (\%) = (PReve / MV) - 1$$



Donde PReve representa el promedio de los valores obtenidos, calculado tras excluir los valores erráticos, y MV representa el mejor valor del estándar para el elemento estudiado. El sesgo es considerado aceptable si su valor absoluto es inferior a 5%, arriesgado si se encuentra entre 5% y 10%, e inaceptable cuando supera el 10%. Adicionalmente, cuando han sido utilizados varios estándares, se construyen gráficos de exactitud, en los que se plotean los valores PReve y MV de cada estándar en los ejes Y y X, respectivamente, y que se utilizan para calcular la exactitud analítica global.

## **2.8. EXIGENCIAS DE REGULACIONES INTERNACIONALES SOBRE LA CALIDAD DE LOS DATOS GEOLÓGICOS**

Durante los últimos años han entrado en vigencia nuevas regulaciones internacionales que persiguen la normalización de los aspectos esenciales de la exploración, tales como la NI 43-101 de Canadá, CIM (2000) y el código JORC de Australia JORC (1999) entre otros. Estas regulaciones son de uso cada vez más frecuente en la industria minera, y plantean estrictos requisitos en lo relativo a la calidad de la información en que se basan los estimados de recursos y reservas.

Entre las especificaciones de la norma NI 43-101, por ejemplo, se requiere que una Persona Calificada verifique los datos en que se basa dicha información, incluyendo el muestreo, los análisis y otras pruebas, describa el programa de aseguramiento de la calidad y las medidas de control de calidad, incluyendo la naturaleza y las limitaciones de la verificación, y explique cualquier deficiencia encontrada (CIM, 2000).

El código JORC, por su parte, exige que una Persona Competente informe sobre la naturaleza, calidad y correcta selección de los procedimientos de muestreo y de análisis de laboratorio, de los procedimientos de control utilizados, especificando los estándares,



blancos, duplicados y controles externos, y si se han alcanzado niveles aceptables de exactitud y precisión (JORC, 1999).

## **2.9. RECURSOS MINERALES**

Un “Recurso Mineral” es una concentración u ocurrencia de interés económico intrínseco dentro y fuera de la corteza terrestre en forma y cantidad tal como para demostrar que hay perspectiva razonable para una eventual extracción económica. La ubicación, cantidad, contenido metálico, características geológicas y continuidad de un recurso mineral se conocen, estiman o interpretan desde una evidencia y conocimiento geológicos específicos.

No debe incluirse como un Recurso Mineral aquellas partes de un yacimiento que no tienen perspectivas razonables para una eventual extracción económica.

El término “Recurso Mineral” abarca la mineralización que ha sido identificada y estimada a través de la exploración y muestreo y dentro de la cual las Reservas de Mena pueden definirse tomando en cuenta y aplicando factores técnicos, económicos, legales, ambientales, sociales y gubernamentales.

Un Recurso Mineral no es un inventario de todo un yacimiento mineralizado perforado o del cual se han tomado muestras, sea cual fuere el contenido metálico o ley de corte, las probables dimensiones del yacimiento, o continuidad. Es un inventario realista del yacimiento mineral que, bajo condiciones técnicas y económicas asumidas y justificables podría, en su totalidad o en parte, convertirse en económicamente explotable (Código JORC, 1999).

Los Recursos Minerales se subdividen, según confianza geológica ascendente, en categorías de Inferidos, Indicados y Medidos.



### **2.9.1. 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.

Un Recurso Mineral Inferido tiene un nivel más bajo de confianza que el que se aplica a un Recurso Mineral Indicado.

La categoría tiene la intención de cubrir situaciones donde se ha identificado una concentración mineral u ocurrencia y se ha completado una medición y muestreo limitado, pero donde los datos son insuficientes para permitir que se interprete con confianza la continuidad geológica y/o ley. Debido a la inseguridad que puede existir en cuanto a algunos Recursos Minerales Inferidos, no puede asumirse que todos o una parte de los Recursos Minerales Inferidos podrán incrementar de categoría a un Recurso Mineral Medido como resultado de exploración continua. La confianza en la estimación generalmente no es suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos o permitir una evaluación de viabilidad económica. Debe tenerse precaución si se considera esta categoría en estudios económicos (Código JORC, 1999).

### **2.9.2. Recurso mineral 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.

Un Recurso Mineral Indicado tiene un nivel de confianza menor que el que se aplica a un Recurso Mineral Medido, pero tiene un nivel de confianza mayor que el que se aplica a un Recurso Mineral Inferido.

La Mineralización puede clasificarse como un Recurso Mineral Indicado cuando la naturaleza, calidad cantidad y distribución de datos son tales como para permitir una interpretación fiel del marco geológico y asumir continuidad de mineralización. La confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos, y permitir una evaluación de viabilidad económica (Código JORC, 1999).

### **2.9.3. 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.

La Mineralización puede clasificarse como un Recurso Mineral medido cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de datos son tales como para que no haya duda razonable, en opinión de la Persona Competente que determina el Recurso Mineral, que el tonelaje y ley de la mineralización puede estimarse dentro de límites cercanos y que cualquiera variación de la estimación no afectaría en forma significativa la viabilidad



económica potencial. Esta categoría requiere un alto nivel de confianza en, y entendimiento de, la geología y controles del yacimiento. La confianza en la estimación es suficiente para permitir la aplicación apropiada de parámetros técnicos y económicos y para permitir una evaluación de la viabilidad económica.

## **2.10. MODELAMIENTO GEOLÓGICO**

El proceso de estimación de un yacimiento debe convertirse, cuando sea posible, en la realización de un modelo numérico del mismo. La validez de tal modelo dependerá en primera instancia, de la medida en que este se adapte a las características geológicas del depósito.

### **2.10.1. Metodología e interpretación**

Aunque actualmente se vienen utilizando técnicas de Modelado Implícito que no es otra cosa que la interpolación gráfica usando algoritmos matemáticos y gracias a la existencia de paquetes informáticos puede hacerlo posible. La interpretación geológica tradicionalmente ha descansado en la construcción de planos y secciones en los cuales se representa la morfología, dimensiones y propiedades del yacimiento. La interpretación de todos los datos recopilados durante la exploración se basa en 3 enfoques principales:

- Interpretación basada en perfiles y secciones.
- Interpretación basada en planos de isolíneas.
- Principio de analogía o indiferencia geológica.

Los dominios geológicos no son más que zonas geológicamente y estadísticamente homogéneas. Lo que realmente se hace cuando se crea el modelo geológico del yacimiento es subdividir el mismo en subpoblaciones que cumplan o se



aproximen a la hipótesis de estacionalidad. La división del yacimiento en dominios siempre debe basarse en el conocimiento geológico y el sentido común.

La definición de los límites o contornos de los dominios geológicos, los cuales determinan la geometría de los cuerpos y zonas, es el método básico para aplicar control geológico a la estimación durante la modelación de recursos.

Los límites o contornos de los dominios geológicos se clasifican en difusos o gradacionales y físicos. En los yacimientos que están definidos por límites físicos, (carbón, yacimiento sedimentario, filones de oro, etc.), el trazado de los contornos es relativamente fácil, pues estos coinciden con los planos o contactos geológicos. En el caso de los yacimientos gradacionales (cobre porfírico) los límites se definen sobre la base de una ley económica o ley de cut-off.

### **2.10.2. Modelo geológico**

Se elabora por integración de toda la información, tanto la presente de la campaña de sondeos, como de los levantamientos geológicos sobre el terreno, en labores mineras, etc.

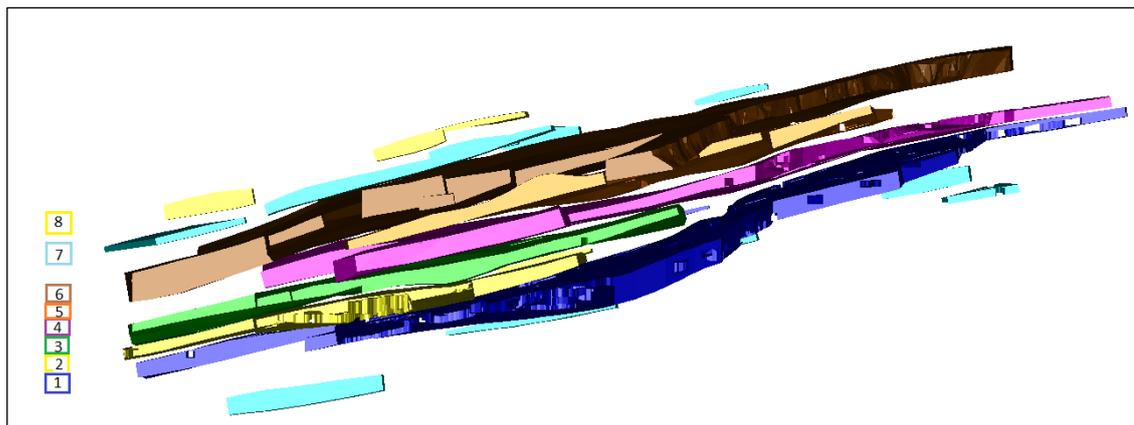
Debe representar las características morfológicas de los cuerpos mineralizados existentes. Se discriminan los diferentes tipos de mineralizaciones en función de las litologías encajantes, tipos morfológicos, paragénesis, alteraciones, etc. Todos esos caracteres se tipifican mediante los oportunos códigos geológicos.

Una vez elaboradas las hipótesis geológicas necesarias, se procederá a la representación gráfica según secciones verticales o cortes y secciones horizontales o plantas, con expresión de:

- Los impactos de los sondeos.

- Las interfaces o contactos entre las distintas unidades geológicas.
- Los límites entre zonas estériles a priori y zonas mineralizadas; así como entre las zonas “sanas” o de sulfuros y las zonas oxidadas.
- Los accidentes geológicos que pueden haber jugado determinado papel en la génesis o evolución del yacimiento (por ejemplo, fallas).
- La topografía y otros detalles de interés.

Toda esta información se sintetiza sobre las secciones tanto vertical, cortes, como horizontales, plantas, y luego se obtiene una representación gráfica tridimensional que vendría a representar la estructura mineral (Ver figura 9).



**Figura 9.** Estructura mineral geológica modelada a partir de la información de exploración

La experiencia ha demostrado que el problema principal en la estimación de recursos no está relacionado directamente con el método de estimación empleado sino con la correcta aplicación de los principios geológicos. La cuestión medular a resolver antes de la estimación de recursos propiamente dicha es establecer la continuidad de la mineralización y la ley dentro del yacimiento. Un muestreo representativo, análisis confiable y una coherente interpretación geológica, son los componentes principales de la estimación de recursos.



## 2.11. ESTADÍSTICA Y GEOESTADÍSTICA

### 2.11.1. Composición de los datos exploratorios

Generalmente los intervalos de muestreo en los pozos de exploración no coinciden con los intervalos de trabajo en la fase de estimación de recursos. Los intervalos de muestreo son siempre menores pues se busca revelar la variabilidad espacial de las variables que se estudian. El cálculo de los compósitos no es más que un procedimiento mediante el cual las muestras de los análisis se combinan en intervalos regulares (igual longitud), que no coincidan con el tamaño inicial de las muestras. La ley del nuevo intervalo se calcula usando la media ponderada por la longitud de los testigos que contribuyen a cada compósito y la masa volumétrica en caso de ser variable. El objetivo de la composición es obtener muestras representativas de una unidad litológica o de mineralización particular las cuales pueden ser usadas, a través de una función de extensión, para estimar la ley de un volumen mucho mayor de la misma unidad.

Entre las principales razones y beneficios de la regularización tenemos:

- El análisis geoestadístico exige muestra de igual longitud (similar soporte).
- Las composición reduce la cantidad de datos y por consiguiente el tiempo de cálculo o procedimiento.
- Se producen datos homogéneos y de más fácil interpretación.
- Se reduce las variaciones erráticas (alto efecto pepita) producto de muestras con valores extremadamente altos.
- El proceso incorpora la dilución como la provocada por la exploración de banco con altura constante en la minería a cielo abierto.



Existen muchos tipos de yacimientos minerales cada uno de los cuales requiere de un tratamiento específico de los datos de las muestras de manera que se logren los mejores intervalos de composición para la evaluación de los mismos.

Básicamente existen 3 tipos principales de compósitos y se usan en dependencia de la naturaleza de la mineralización y el método de explotación:

- **Compósito de Banco (bench composite):** Las muestras se regularizan a intervalos que coinciden con la altura de los bancos o una fracción de esta. Se emplea para modelar los recursos de yacimientos grandes, diseminados de baja ley que se explotan con minería a cielo abierto (Yacimiento de Cobre porfídico).
- **Compósito de Pozo (downhole composite):** Las muestras se combinan a intervalos regulares comenzando desde la boca del pozo.
- **Compósito Geológico (geological composite):** Las muestras se combinan a intervalos regulares, pero respetando los contactos geológicos entre las distintas unidades. Este método se emplea para prevenir la dilución del compósito en el contacto estéril mineral y donde se logra mayor control sobre el proceso de regularización.

El empleo de compósito de banco o de pozo en estos casos provoca una distorsión de la distribución de la ley que se puede adicionar mineral de baja ley a la zona mineral o mineral de alta ley de estéril.

Para escoger la longitud de regularización se emplea las siguientes reglas empíricas:

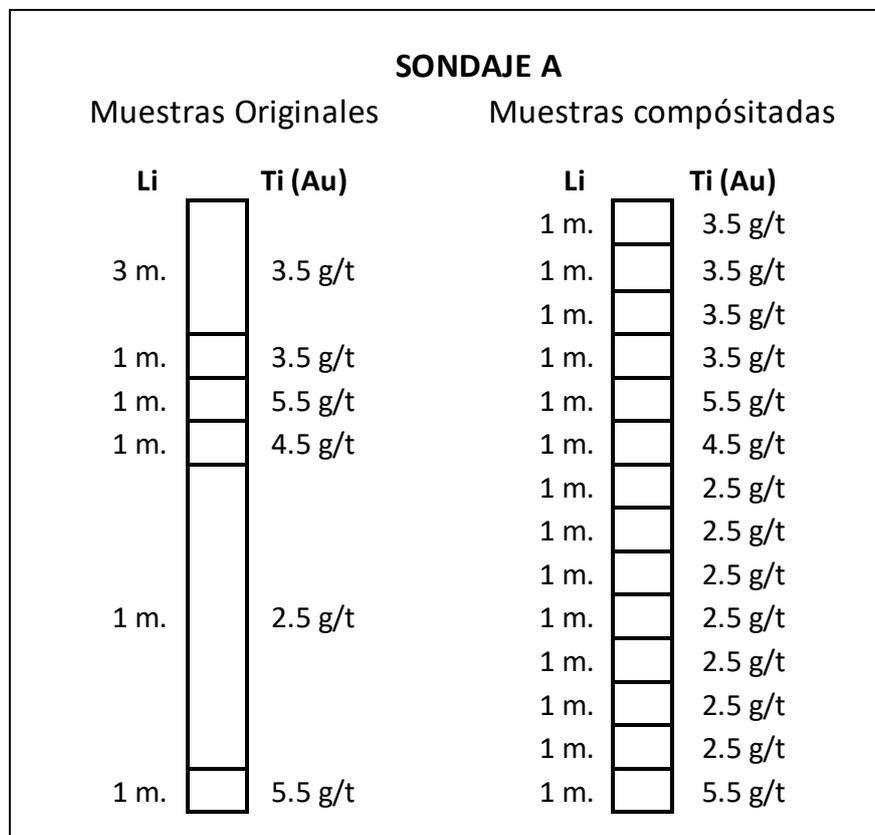
- El tamaño del compósito se selecciona entre la longitud media de las muestras y el tamaño del banco.

- Para el caso de los cuerpos en los que su análisis se hace en forma bidimensional, es necesario computar por pozos una media ponderada de los valores de todas las variables de interés que abarque todas las muestras positivas del intervalo analizado.
- No se deben regularizar muestras grandes en intervalos más pequeños pues se introduce una falsa idea de continuidad espacial.

La composición (Ver figura N° 10) o ponderación de las leyes se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{Ley ponderada banco} = \frac{\sum L_i \times T_i}{\sum L_i}$$

Siendo  $L_i$  la longitud de cada muestra o maniobra incluida en el banco, y  $T_i$  la ley correspondiente.



**Figura 10.** Composición de muestras de testigos a lo largo de un sondaje



## 2.11.2. Estadística

### 2.11.2.1. Análisis exploratorio de datos

El Análisis Exploratorio de Datos es un conjunto de técnicas estadísticas cuya finalidad es conseguir un entendimiento básico de los datos y de las relaciones existentes entre las variables analizadas. Para conseguir este objetivo el estudio exploratorio proporciona métodos sistemáticos sencillos para organizar y preparar los datos, detectar fallos en el diseño y recogida de los mismos, tratamiento y evaluación de datos ausentes (missing), identificación de casos atípicos (outliers) y comprobación de los supuestos subyacentes en la mayor parte de las técnicas multivariantes (normalidad, linealidad, etc.).

Antes de proceder con la estimación de recursos, se debe y siempre que sea posible realizar un análisis estadístico de los datos disponibles o los generados a partir de cálculos de los compósitos con el objetivo de caracterizar el comportamiento estadístico de las distintas variables en el depósito y en las unidades geológicas (dominios) que la integran.

El examen previo de los datos es un paso necesario, que lleva tiempo, y que habitualmente se descuida por parte de los analistas de datos. Las tareas implícitas en dicho examen pueden parecer insignificantes y sin consecuencias a primera vista, pero son una parte esencial de cualquier análisis estadístico.

Este análisis tiene los siguientes objetivos:

- Analizar (mediante herramientas estadísticas simples) la cantidad, la calidad y la ubicación de los datos disponibles.



- Definir la(s) zona(s) de estudio. Una división del campo en varias sub-zonas puede ser relevante si uno observa cambios abruptos en la distribución espacial de valores, o si la geología del fenómeno lo indica.
- Anticipar dificultades o problemas que puedan surgir en la fase de estimación local (por ejemplo, presencia de valores atípicos que se destacan de aquellos de los datos vecinos).

### **2.11.2.3. Distribución estadística**

#### **2.11.2.3.1. Histogramas**

El histograma representa gráficamente las frecuencias de ocurrencia en función del valor. Consiste en dividir el rango de los valores en intervalos (generalmente, con el mismo ancho) y visualizar la proporción de datos que caben dentro de cada intervalo.

El histograma es una herramienta útil para detectar valores atípicos (“outliers”).

La visualización del histograma de los datos también es un primer medio de verificar su homogeneidad. Eventualmente, una división del campo en varias sub-zonas será necesaria. Así, por ejemplo, un histograma multimodal puede conducir a la identificación, entre los datos, de varias “poblaciones” susceptibles de estar geográficamente separadas. A veces, tal separación está impuesta por consideraciones físicas, que impiden mezclar todos los datos: presencia de un obstáculo natural (falla, río...), partición de una zona mineralizada según la caracterización mineralógica o el tipo de roca, etc. En tales casos, un problema que puede plantearse es la delimitación de las sub-zonas “homogéneas”, pues es poco frecuente que sus fronteras puedan ser identificadas con exactitud.



### 2.11.2.3.2. Estadística elemental

Junto con el histograma, es conveniente calcular algunas estadísticas básicas sobre la distribución de valores. Entre ellas, podemos distinguir:

#### 2.11.2.3.2.1. Medidas de posición

- **Media:** promedio aritmético de los valores.
- **Cuartiles y percentiles:** valores que dividen la población en partes de igual número de datos. Por ejemplo, la mediana divide la población en dos partes, los cuartiles en cuatro partes (la mediana coincide con el segundo cuartil), los quintiles en cinco partes y los deciles en diez partes. Contrariamente a la media, los cuantiles son parámetros robustos, es decir, poco sensibles a la presencia de algunos valores muy altos o muy bajos.
- **Mínimo y máximo:** establecen el rango en el cual se distribuyen los valores.

#### 2.11.2.3.2.2. Medidas de dispersión

- **Varianza:** promedio aritmético de la desviación cuadrática entre cada valor y la media. Esta medida cuantifica la dispersión del histograma y se expresa en el cuadrado de la unidad de la variable en estudio.
- **Desviación estándar:** raíz cuadrada de la varianza; se expresa en la misma unidad que la variable en estudio. Coeficiente de variación (para variables positivas): razón entre la desviación estándar y la media; es adimensional.
- **Rango intercuartil:** ancho del intervalo entre el primer y el tercer cuartil, que contiene la mitad de los datos.



### **2.11.2.3.2.3. Correlación lineal**

En probabilidad y estadística, la correlación indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y proporcionalidad entre dos variables o 2 leyes de mineral. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra: si tenemos dos variables (A y B) existe correlación si al aumentar los valores de A lo hacen también los de B y viceversa. La correlación entre dos variables no implica, por sí misma, ninguna relación de causalidad.

### **2.11.3. Geoestadística**

La geoestadística se define como el estudio de fenómenos regionalizados, es decir, que se extienden en el espacio y presentan una cierta continuidad. Por “espacio”, entenderemos en general el espacio geográfico, pero puede también tratarse del eje temporal o de espacios más abstractos. El objeto sobre el cual trabajaremos será una descripción matemática del fenómeno regionalizado, a saber, una o varias funciones numéricas llamadas variables regionalizadas, que miden ciertas propiedades o atributos relacionados con este fenómeno.

#### **2.11.3.1. La variable regionalizada**

Una variable regionalizada es una función que representa la variación en el espacio de una cierta magnitud asociada a un fenómeno natural.

Por ejemplo:

- La ley de un mineral, la potencia de una veta, la acumulación, la densidad de la roca o la recuperación metalúrgica, describen un fenómeno de mineralización;

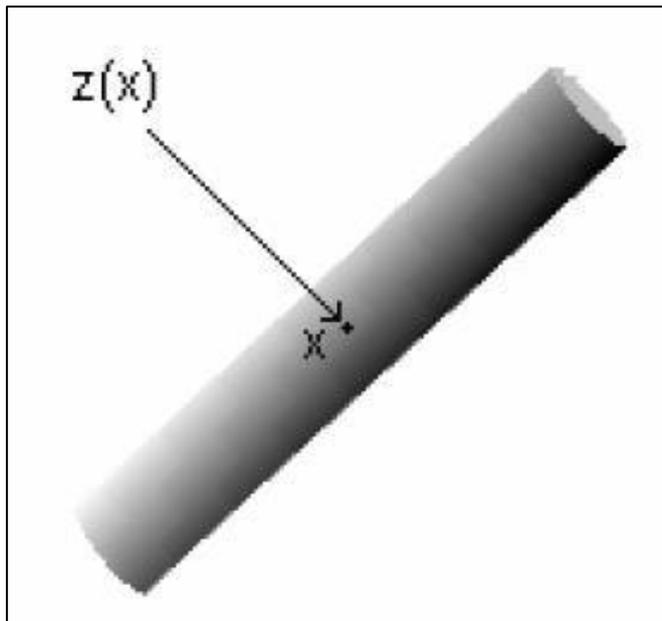


- La porosidad y la permeabilidad de la roca en un reservorio de petróleo o en un acuífero;
- La concentración de un elemento contaminante en la atmósfera o en el suelo;
- La altitud topográfica en un punto del espacio geográfico;
- La conductividad eléctrica, el pH y la concentración en nutrientes medidas sobre una muestra de suelo;
- El número de árboles y su diámetro promedio en áreas de observación de un bosque.

Del punto de vista conceptual, una variable regionalizada es una función determinística.

Dado que un fenómeno regionalizado nunca posee una extensión infinita, estudiaremos la variable regionalizada sólo dentro de un dominio limitado “D” llamado campo de la variable. Este campo puede representar una zona natural, fuera de la cual la variable no está definida. Puede tratarse también de un dominio particular, donde la variable interesa, por ejemplo, los sitios donde no se anula o donde es mayor que un límite de detección.

La superficie o el volumen sobre el cual se considera la variable regionalizada se denomina soporte, a menudo el soporte es un cilindro llamado testigo. (Ver figura N°11).



**Figura 11.** Un testigo. Tiene un cierto largo  $l$  y un cierto diámetro  $d$

Fuente: Alfaro (2007).

### 2.11.3.2. El modelo matemático de la geoestadística

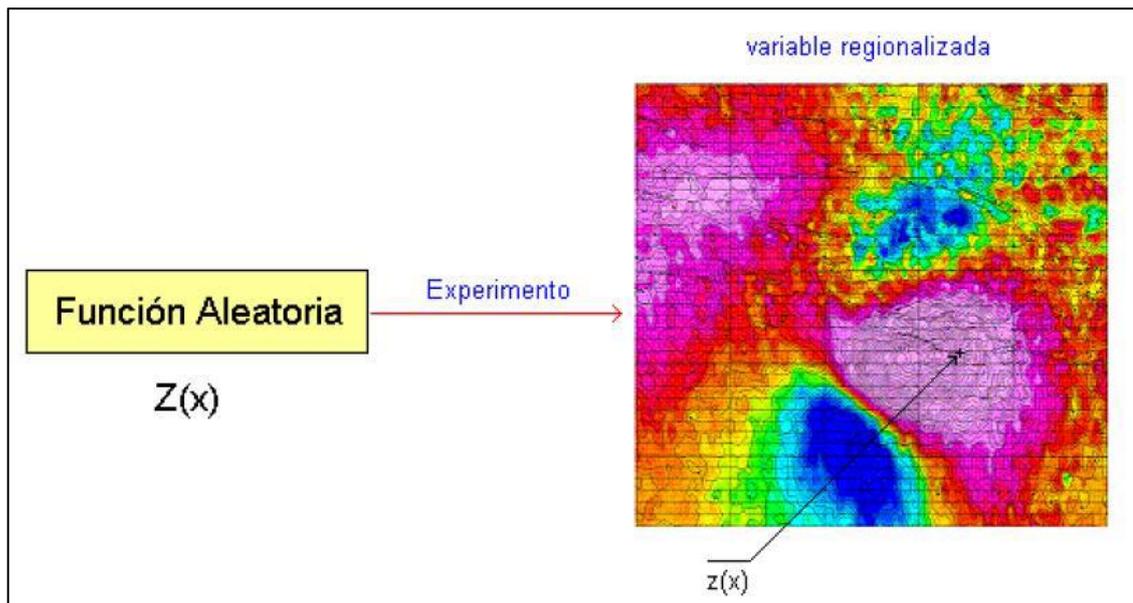
Para alcanzar los objetivos propuestos es necesario disponer de un modelo matemático. La geoestadística utiliza una cierta interpretación probabilística de la variable regionalizada, mediante el modelo de las funciones aleatorias.

### 2.11.3.3. Las funciones aleatorias

Una función aleatoria es una función  $Z(x)$  que asigna a cada punto  $x$  del espacio un valor que depende del azar (es decir un valor aleatorio).

Al hacer un experimento sobre la función aleatoria se obtiene una función ordinaria (no aleatoria)  $z(x)$  llamada realización de la función aleatoria  $Z(x)$ .

La hipótesis constitutiva de la geoestadística consiste en afirmar que la variable regionalizada en estudio es la realización de una cierta función aleatoria (Ver Figura N° 12). Lo anterior equivale a decir que las leyes de nuestro yacimiento se generaron a partir de un proceso o experimento muy complejo.



**Figura 12.** Función aleatoria y variable regionalizada. Los colores indican rangos de la variable

Fuente: Alfaro (2007)

#### 2.11.3.4. El análisis estructural

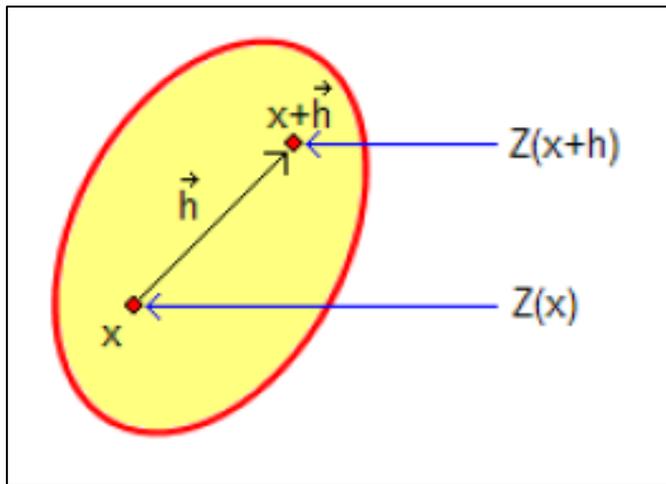
El análisis Estructural o estudio variográfico está compuesto por:

- Cálculo del variograma experimental.
- El ajuste a este de un modelo teórico conocido.

##### 2.11.3.4.1. El variograma

El Variograma se define como la media aritmética de todos los cuadrados de las diferencias entre pares de valores experimentados separados una distancia  $h$  o lo que es lo mismo la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas una distancia de  $h$ . (ver figura 13).

El cálculo del variograma experimental es la herramienta Geoestadística más importante en la determinación de las características de variables y correlación espacial del fenómeno estudiado.



**Figura 13.** Dos puntos a la distancia vectorial  $h$

Fuente: Alfaro (2007)

La definición teórica de la función variograma  $\Upsilon(h)$  es la esperanza matemática siguiente:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2} E \left[ (Z(x + \bar{h}) - Z(\bar{x}))^2 \right]$$

Sin embargo, en la práctica siempre se utiliza el algoritmo siguiente:

$$\gamma(\bar{h}) = \frac{1}{2} \text{Promedio} \left\{ \begin{array}{l} \text{(diferencias)}^2 \text{ de leyes en puntos} \\ \text{que están a la distancia } \bar{h} \end{array} \right\}$$

Esta ecuación es la que hay que adaptar en cada situación práctica (mallas regulares e irregulares en el espacio de  $n$  dimensiones,  $n = 1, 2, 3$ ).

Las propiedades de  $\Upsilon(h)$ , que se deducen fácilmente de la definición son:

$$\begin{aligned} \gamma(0) &= 0 \\ \gamma(h) &\geq 0 \\ \gamma(-\bar{h}) &= \gamma(\bar{h}) \end{aligned}$$



La última relación proviene del hecho que si dos leyes  $z_1$  y  $z_2$  están a la distancia “  $h$  “, entonces  $(z_1 - z_2)^2 = (z_2 - z_1)^2$

#### **2.11.3.4.2. Calculo de variograma experimental para una malla regular bidimensional**

Ejemplo:

Consideremos los siguientes datos espaciados cada 100m:

5 - 3 - 6 - 4 - 2 - 1 - 1 - 2 - 4 - 3 - 2

El variograma experimental se puede calcular para distancia múltiplos de 100m, esto es:

$$\gamma(100m) = 1/2 \times 10 (2^2 + 3^2 + 2^2 + 2^2 + 1^2 + 0^2 + 1^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2) = 1.45$$

$$\gamma(200m) = 1/2 \times 9 (1^2 + 1^2 + 4^2 + 3^2 + 1^2 + 1^2 + 3^2 + 1^2 + 2^2) = 2.39$$

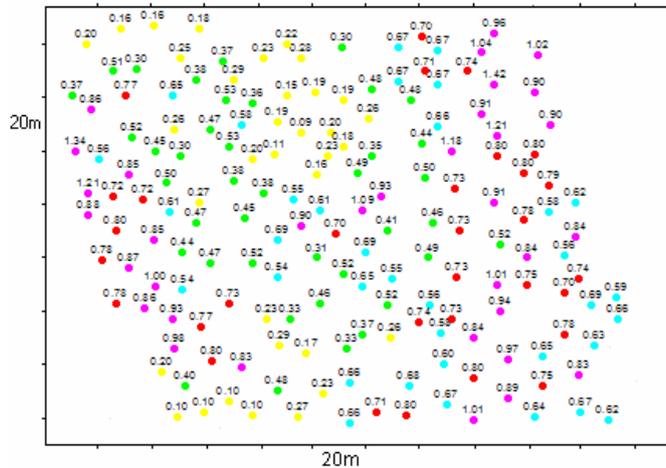
$$\gamma(300m) = 1/2 \times 8 (1^2 + 1^2 + 5^2 + 3^2 + 0^2 + 3^2 + 2^2 + 1^2) = 3.06$$

...

$$\gamma(1000m) = 1/2 \times 1 (3^2) = 4.5$$

#### **2.11.3.4.3. Calculo de variograma experimental para mallas irregulares**

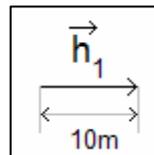
En el caso bidimensional, la situación es la siguiente:



**Figura 14.** Leyes de muestras de malla irregular en un banco de la mina

Fuente: Alfaro (2007)

En la figura 14, se observa la distribución de las muestras en una malla irregular en un banco de la mina de hierro. Supongamos que queremos calcular  $\gamma(h_1)$  utilizando el algoritmo general, siendo  $h_1$  el vector siguiente (ver figura 15):



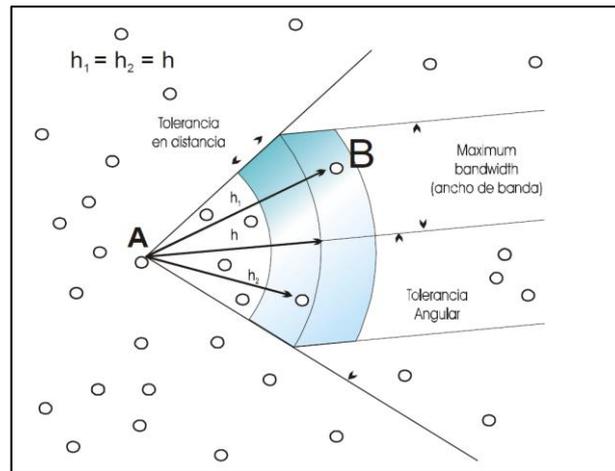
**Figura 15.** Vector para cálculo del variograma

Fuente: Alfaro (2007)

Lo más probable es que no encontremos ningún o muy pocos pares de datos que estén exactamente a la distancia  $h_1$ . Es necesario entonces introducir aproximaciones para el cálculo de  $\gamma(h)$ .

#### **2.11.3.4.3.1. Aproximación: Método de los sectores**

Este método se basa en la aproximación siguiente, determinada por los elementos de la ilustración que se muestra en la figura N° 16: Dos puntos se consideran a la distancia  $h$  si una vez fijado el primero, el segundo cae en la zona achurada de la figura, (Delgado, J. 2002).

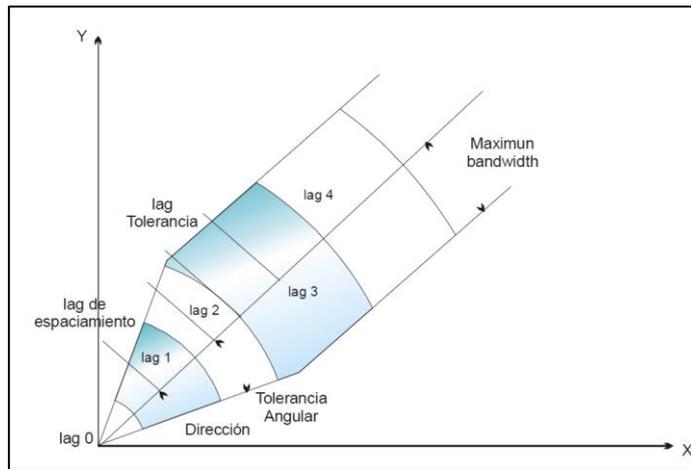


**Figura 16.** Método de los sectores

Fuente: Delgado (2002)

En ella se ha procedido como sigue:

- Se fija un punto A en uno de los datos de la malla irregular, respecto del cual se va identificar la distancia h.
- Con vértice en A, se define los parámetros de construcción de la figura de búsqueda (sector achurado) en donde se identifica:
  - Un ancho de banda (Maximum bandwidth)
  - Un ángulo de tolerancia ( $q$ )
  - Una Tolerancia en distancia ( $e$ )
- Una vez establecido el sector achurado o lag, se determina la pareja asociada a AB, donde B es un dato del lag a la distancia h de A.
- Al pasar por cada uno de los datos se realiza el procedimiento anterior para determinar el número de parejas asociados a distintas distancias h (identificados por los lag en la fig. N° 17).



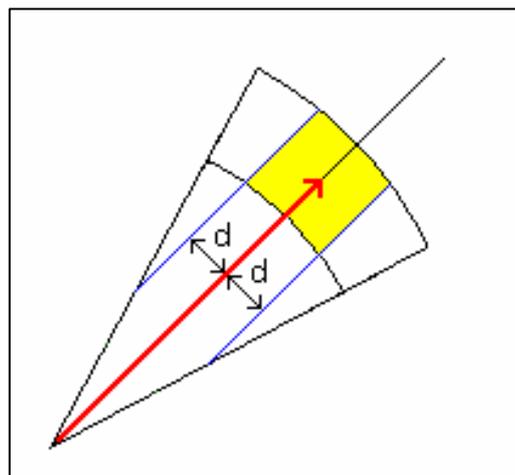
**Figura 17.** Búsqueda a distintos lag

Fuente: Delgado (2002)

Este método tiene problemas, ya que pueden caer más de un dato en la zona achurada; en este caso se considera la media de los datos.

Algunos paquetes computacionales definen otro tipo de zona para evitar este problema. (ver figura 18).

(Método del lápiz):



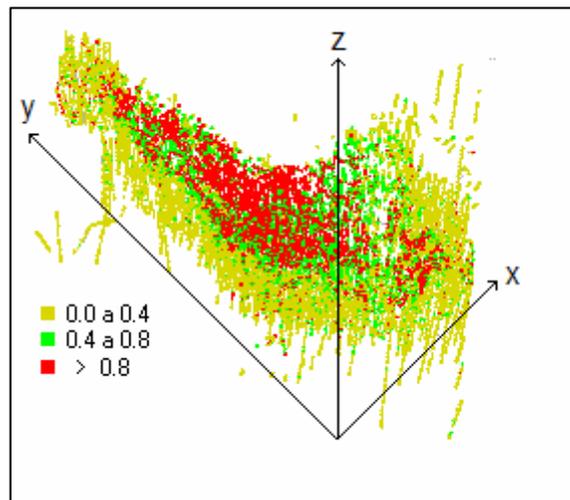
**Figura 18.** Aproximación para h grande

Fuente: Alfaro (2007)

En este caso hay que definir tres parámetros:  $\theta$ ,  $\epsilon$  y  $d$  ( $d$  se llama a veces ancho de banda).

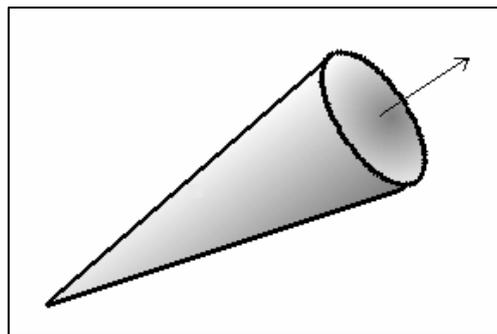
Hay que tener presente que es necesario conocer bien el variograma en una vecindad de  $h = 0$  (los puntos más cercanos al origen), luego, en algunas situaciones no se justifica este método del lápiz.

El método de los sectores se puede generalizar al espacio de tres dimensiones. (ver figura 19):



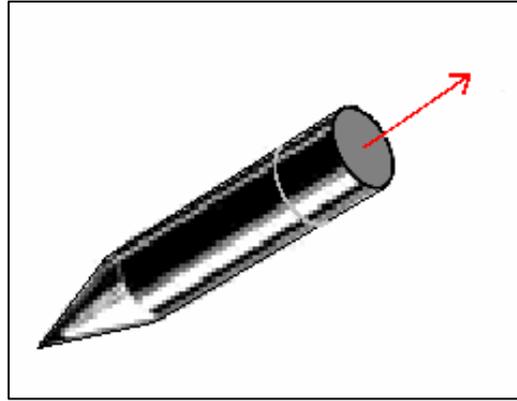
**Figura 19.** Compósitos en el espacio de tres dimensiones

Fuente: Alfaro (2007)



**Figura 20.** Aproximación en el espacio de 3 dimensiones: Una especie de cono

Fuente: Alfaro (2007)

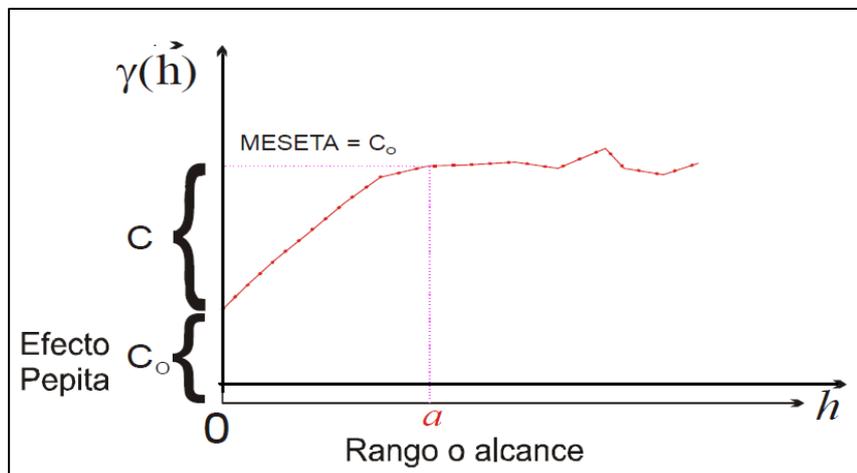


**Figura 21.** Aproximación en el espacio de 3 dimensiones: Método del lápiz

Fuente: Alfaro (2007)

#### 2.11.3.4.4. Parámetros del variograma

Los parámetros del Variograma caracterizan tres elementos importantes en la variabilidad de un atributo que son: la discontinuidad en el origen (Existencia de Efecto de Pepita), el valor máximo de variabilidad (Meseta), y el área de influencia de la correlación (Alcance). ver figura 22.



**Figura 22.** Representación gráfica de un variograma

Fuente: Delgado (2002)



### **El efecto pepita (Nugget)**

El semivariograma por definición es nulo en el origen, pero en la práctica las funciones obtenidas pueden presentar discontinuidad en el origen, a esta discontinuidad se le llama Efecto Pepita, en inglés (Nugget Efect). Puede ser obtenido trazando una línea recta entre los primeros puntos del Variograma empírico y extender ésta hasta que se intercepte con el eje Y. Si esta intersección ocurre debajo de cero, el valor asumido por este efecto es cero, pues valores negativos de  $\gamma(0)$  no tiene significado y no es común. El Efecto Pepita se representa como  $C_0$ .

### **La meseta (Sill)**

Es el valor de  $\gamma(h)$  para el cual con el aumento de  $h$  su valor permanece constante, se representa como  $(C = C + C_0)$  y se denomina Meseta. Puede obtenerse trazando una línea paralela a la abscisa y que se ajuste a los puntos de mayor valor del Variograma y su valor se lee en la intersección de esta línea con la ordenada.

### **El alcance (Range)**

La distancia  $h$  para la cual las variables  $Z(x)$  y  $Z(x+h)$  son independientes, se denomina Alcance y se representa por  $(a)$ , es decir, las distancias para la cual los valores de la variable dejan de estar correlacionados, o lo que es lo mismo, la distancia para la cual el Variograma alcanza su Meseta.

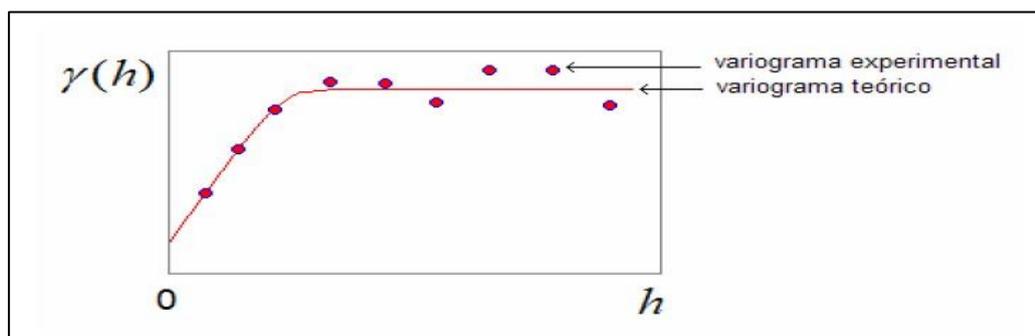
El alcance siempre tiene valor positivo y puede ser obtenido a partir de la intersección de las líneas descritas en los puntos anteriores, ese punto leído en la abscisa es una fracción del propio Alcance, fracción que se detallara posteriormente en la explicación de los modelos teóricos.

#### 2.11.3.4.5. Ajuste de un variograma experimental a un modelo teórico

El objetivo de ajustar un modelo teórico es disponer de una ecuación, la cual se utilizará en los cálculos posteriores. En general, los paquetes computacionales trabajan exclusivamente con el modelo teórico.

En la imagen siguiente (ver figura 23) distinguimos los dos variogramas:

- El variograma experimental, que es el calculado a partir de los datos.
- El variograma teórico, que corresponde a una ecuación que se ajusta al variograma experimental:



**Figura 23.** Variograma experimental vs variograma teórico

Fuente: Alfaro (2007)

Es evidente que el variograma teórico debe respetar al variograma experimental, sobre todo en los primeros puntos, que son más confiables.

El ajuste de los variogramas constituye un punto crucial, en un estudio geoestadístico, porque todos los cálculos posteriores se harán utilizando exclusivamente el modelo teórico.

Para tener un buen ajuste, hay que considerar que uno de los objetivos finales es la estimación de leyes de bloques (Modelo de bloques) dentro de cierta vecindad



restringida de manera de no considerar demasiadas muestras para estimar la ley de cada bloque.

#### **2.11.3.4.6. Modelo teórico del variograma**

Los modelos de variograma teórico utilizados en el proceso de estimación o simulación deben satisfacer ciertas condiciones, es decir tienen que ser “definido positivo” o de “tipo positivo”. En general el ajuste de modelos teóricos al Variograma empírico se realiza de forma visual.

Atendiendo a las dos características más importantes en el modelado del variograma que son:

- Su comportamiento en el origen, el cual puede ser lineal, parabólico y con Efecto de Pepita.
- La presencia o ausencia de Meseta.

Así como en estadística existen modelos (ley de Gauss, Lognormal, etc) en Geoestadística también existen modelos de variograma.

El modelo debe cumplir con las propiedades siguientes:

$$\gamma(0) = 0$$

$$\gamma(h) \geq 0$$

$$\gamma(-h) = \gamma(h)$$

#### **Efecto pepita**

Corresponde a un fenómeno puramente aleatorio (ruido blanco), sin correlación entre las muestras, cualquiera sea la distancia que las separe.

### Modelo esférico

El modelo esférico: Es uno de los modelos más importantes y utilizados en minería, se puede observar un crecimiento casi lineal y después a ciertas distancias finitas del origen se alcanza una estabilización, la Meseta. La tangente en el origen encuentra a la Meseta en el punto de abscisa  $(2/3)a$ , donde “a” representa el valor alcance.

$$Y(h) = C \left[ \frac{3}{2}\left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \quad h \leq a$$

$$C \quad h > a$$

El alcance es **a** y la meseta es **C**.

### Modelo exponencial

Este modelo a diferencia del esférico crece inicialmente más rápido y después se estabiliza de forma asintótica. Como la Meseta no se alcanza a una distancia finita, se usa con fines prácticos el “alcance efectivo” o “alcance práctico”  $a'$ , valor que se obtiene en el punto de abscisa para el cual el modelo obtiene el 95% de la Meseta, con un valor  $a' = 3a$ , donde  $a$  es el parámetro de escala. La tangente en el origen encuentra a la meseta en el punto  $a = (1/3)a'$ .

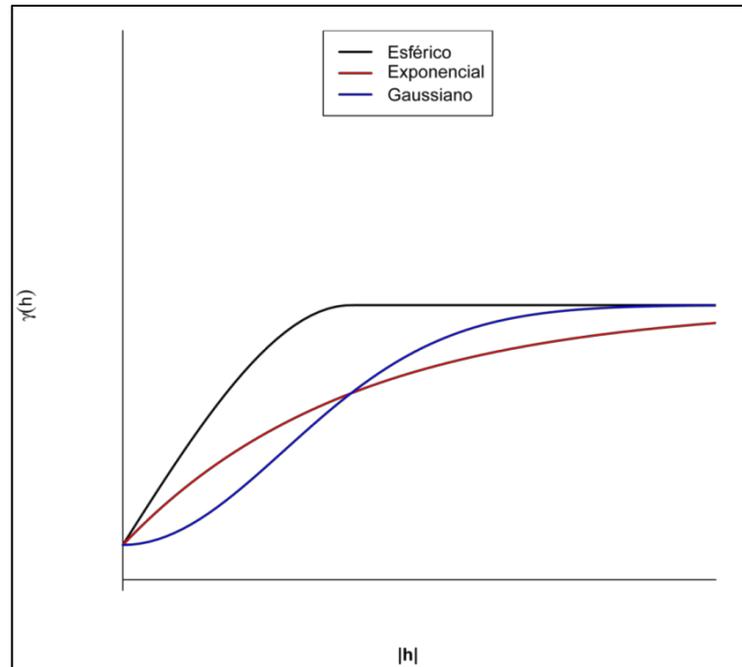
$$Y(h) = C [1 - \text{Exp}(-|h|/a)] \quad h \leq a$$

$$C \quad h > a$$

### Modelo Gaussiano

Este es un modelo extremadamente continuo (figura 2.9), inicialmente presenta un comportamiento parabólico en el origen, después al igual que en el modelo Exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica. El alcance práctico tiene un valor de  $a' = 1.73a$ , que es el valor de la abscisa donde se alcanza el 95% de la Meseta.

$$\gamma(h) = C [1 - \text{Exp}(-|h|/a)] \quad h \leq a$$
$$C \quad h > a$$



**Figura 24.** Representación gráfica de los 3 modelo teóricos de variograma más utilizados en minería

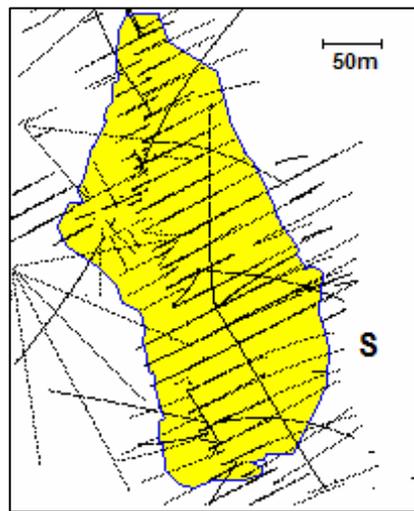
Fuente: Alfaro (2007)

## 2.12. ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINEROS

La “predicción” o “estimación” constituye un objetivo importante de la geoestadística. Consiste en evaluar, de la manera más precisa posible, un valor que no ha sido medido, a partir de los datos disponibles. Una característica de los métodos geoestadísticos será, no sólo construir estimadores, sino también proporcionar una medida de la precisión de la estimación por medio de herramientas probabilísticas (por ejemplo, varianzas o intervalos de confianza...). Distinguiremos dos tipos de estimaciones: las estimaciones globales y las estimaciones locales.

### 2.12.1. Estimación global

Busca caracterizar el campo **S** completo por un valor único (estimar la ley media y el tonelaje de todo el yacimiento) o por una distribución estadística (histograma). Es poco común que una estimación global sea suficiente; frecuentemente, se requiere completarla con estimaciones locales. Por ejemplo, en un estudio de contaminación de suelo, no basta con evaluar la concentración promedio en toda la zona de un elemento contaminante, sino que es necesario distinguir los sectores fuertemente contaminados de aquellos que no lo están.



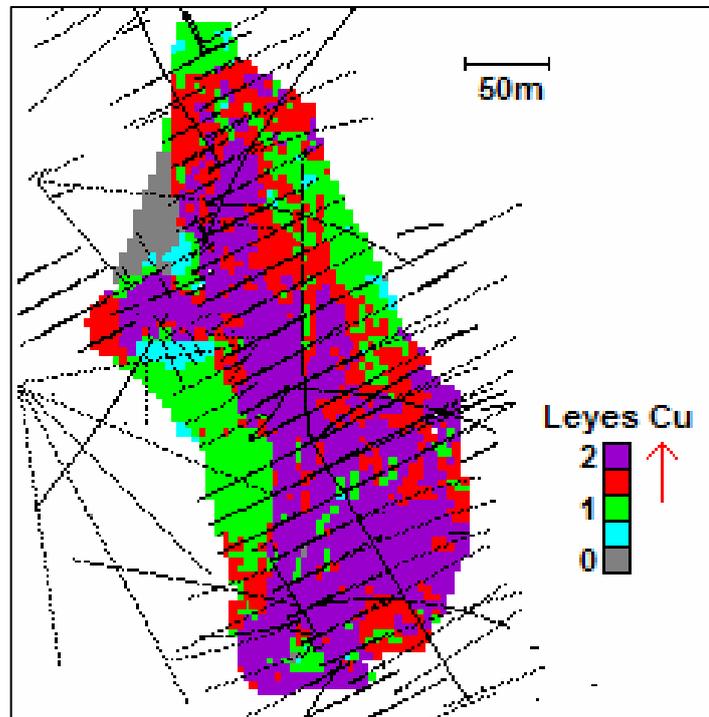
**Figura 25.** Zona 3D a estimar e información disponible

Fuente: Alfaro (2007)

### 2.12.2. Estimación local

Se interesan por los diferentes sectores de la zona de estudio (Interesa estimar la ley media de unidades o bloques dentro de **S**, con el fin de localizar las zonas ricas y pobres dentro de esta zona **S**). En general, se busca evaluar el valor en un sitio que no ha sido muestreado o el valor promedio de un “bloque” cuyo soporte es mayor que el soporte de los datos. En este problema, debe considerarse la continuidad espacial de la variable regionalizada, las distancias entre el sector a estimar y los sitios con datos, así como la

configuración espacial de los mismos sitios con datos puesto que datos agrupados suelen tener valores parecidos, constituyéndose en información redundante.



**Figura 26.** Estimación local con bloque unitario o unidad básica de cálculo. Modelo de bloques de 2mx2mx2m

Fuente: Alfaro (2007)

### 2.13. MODELO DE BLOQUES

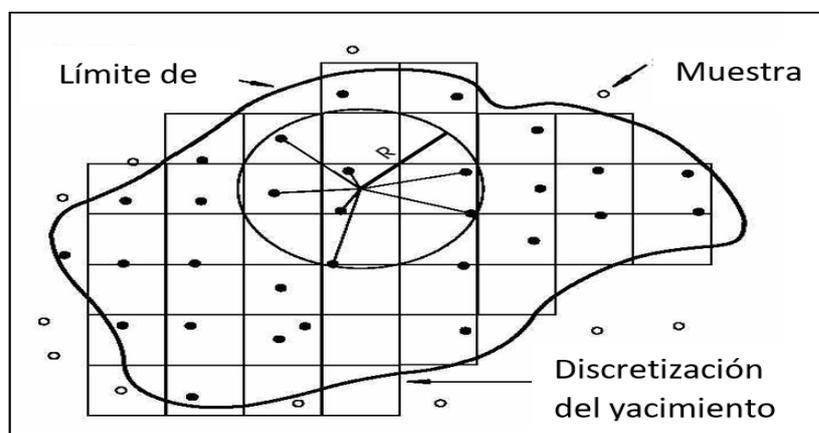
Los modelos digitales de terreno y las wireframes (sólidos digitales) son útiles para el modelamiento de superficies del terreno, cuerpos mineralizados, superficies mineras, tajos y excavaciones. Sin embargo ellos no describen las características geológicas de la información que contienen. Por esta razón es que se usan los modelos de bloques, para estimar la distribución de leyes y otras propiedades del macizo rocoso o estructura a explotar.

### 2.13.1. Geometría

Es un caso general, el depósito mineral está compuesto por una serie de cuerpos mineralizados de geometrías más o menos irregulares. Para poder pasar del modelo geológico ya establecido, al modelo numérico, es necesario recurrir a una referencia intermedia, que denominamos modelo geométrico del yacimiento. Dicho, en otros términos, establecer el modelo geométrico, es configurar y delimitar espacialmente una matriz de bloques comportando a los cuerpos mineralizados (a los que posteriormente se asignaran los correspondientes valores, para constituir así el modelo numérico).

### 2.13.2. Interpolación de leyes

Consiste en definir con un determinado grado de precisión, los diferentes parámetros del depósito mineral, y no sólo sus valores medios o globales, sino los particularizados para cualquier fracción o volumen parcial del mismo.



**Figura 27.** Representación gráfica del proceso de estimación a partir de los compósitos, modelo geológico y modelo de bloques

Fuente: Delgado (2002)

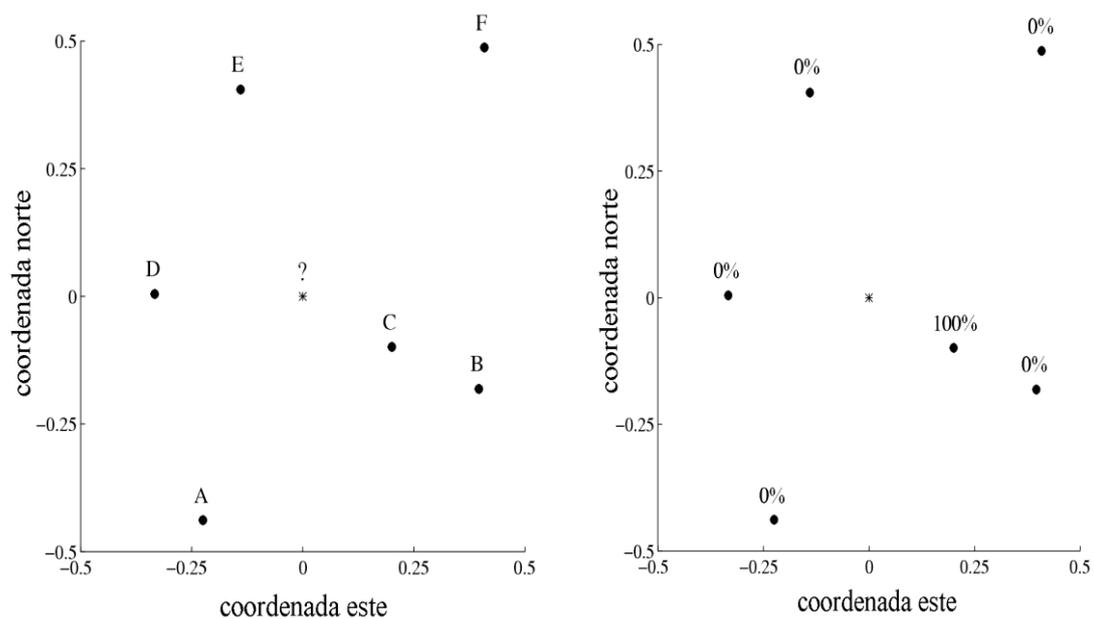
### 2.13.2.1. Clasificación de las técnicas de interpolación

Los métodos de interpolación para la estimación de recursos se basan en procedimientos matemáticos y solamente emplean los datos de los pozos vecinos al bloque para realizar la estimación de la variable estudiada.

Los métodos del Vecino más cercano, Inverso de la distancia y Kriging son las técnicas más empleadas en la estimación de recursos minerales.

#### 2.13.2.1.1. Método vecino más cercano (NN)

Este estimador atribuye toda la ponderación al dato más cercano al sitio a estimar. En el caso mostrado en la Figura 28, se trata del dato ubicado en C. El estimador apantalla a todos los datos salvo el más cercano, luego omite gran parte de la información y probablemente carece de precisión.

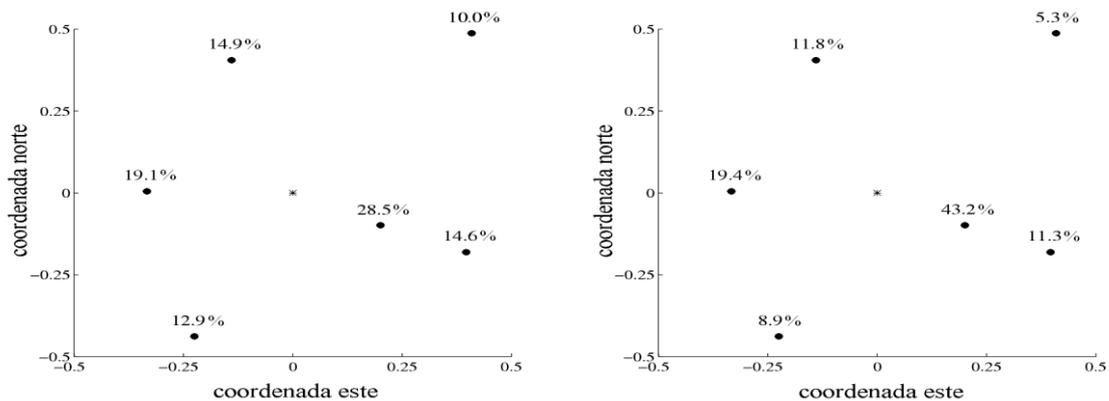


**Figura 28.** ¿Cómo estimar el valor en el sitio “?” a partir de los valores en los sitios con datos A, B, C, D, E, F? (Izquierda) y Ponderación obtenida con la interpolación por el más cercano vecino (Derecha)

Fuente: Xavier (2007)

### 2.13.2.1.2. Método inverso de la distancia (IDW)

Este segundo estimador asigna un valor a un punto o bloque mediante la ponderación inversamente proporcional a (una potencia de) su distancia al sitio a estimar. Esta técnica se ha convertido en una de las más populares y su relativa sencillez. En principio de adopta la hipótesis de que importancia de un dato aislado responde a una función inversa de la distancia.



**Figura 29.** Ponderación obtenida con la interpolación por inverso de la distancia (izquierda) e inverso del cuadrado de la distancia (derecha)

Fuente: Xavier (2007)

Esto se consigue al ponderar las leyes

$1/d_i^\alpha$ , ( $\alpha = 1, 2, \dots$ ;  $d_i$  = distancia entre la muestra  $i$  y el centro de gravedad de  $S$ ).

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

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

La fórmula general es:

$$\hat{z}_S = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{z_i}{d_i^\alpha}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\alpha}}$$

$(\alpha > 0)$



#### Comentarios:

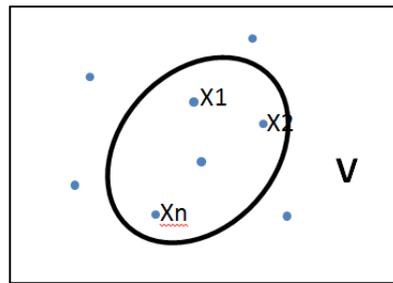
- Simple, fácil de calcular.
- Se adapta mejor en estimaciones locales que globales.
- No funciona bien con agrupaciones de datos.
- Atribuye demasiado peso a las muestras cercanas al centroide de gravedad.  
En particular no está definido si  $d_i = 0$  (muestra en el contenido en el centroide de S).
- No toma en cuenta la forma ni el tamaño de S (En el ejemplo  $S^1$  tiene la misma ley S porque su centroide coincide con el de S).

Es intuitivo suponer que la influencia potencial del valor de una muestra sobre un punto o bloque a estimar decrece cuando este se aleja de dicho punto. El atributo estimado cambiara como función inversa de la distancia. En otras palabras, el método de la inversa de la distancia se basa en lo siguiente: asignar mayor peso a las muestras cercanas y menor peso a las muestras alejadas a S. Esto se consigue al ponderar las leyes.

#### **2.13.2.1.3. Método el Kriging**

Esta técnica del Krigeaje o método geoestadístico, es la técnica más compleja, pero más perfecta, ya que tiene en cuenta no solo las distancias de las muestras de bloques al igual que el inverso de la distancia, sino también la situación espacial de aquellas respecto a él, lo cual es especialmente importante si existen marcadas anisotropías en el cuerpo mineralizado.

Consiste en encontrar la mejor estimación lineal insesgada de un bloque o zona  $V$  considerando la información disponible, es decir las muestras interiores y exteriores.



**Figura 30.** Estimación de un volumen  $V$  a partir de datos de muestras  $X_n$

Fuente: Alfaro (2007)

### 2.13.2.1.3.1. Interés del krigado

Proviene de su misma definición: minimizar la varianza de error, estamos seguros de obtener la estimación más precisa posible de volumen “ $V$ ” o equivalente, de sacar el mejor provecho posible de la información disponible.

El nombre krigado o kriging proviene de los trabajos de Daniel Krige en las minas de oro sudafricanas de Rand, en los años 50. La teoría fue formalizada una década más tarde por el geomatemático francés Georges Matheron.

El interés práctico más importante del krigado, proviene, no del hecho que asegura la mejor precisión posible, sino más bien porque permite evitar un error sistemático. En la mayoría de los depósitos mineros, se debe seleccionar, para la explotación, un cierto número de bloques, considerados como rentables y se debe abandonar otros bloques considerados no explotables. Daniel Krige demostró que, si esta selección se realizara considerando exclusivamente las muestras interiores a cada bloque, resultaría necesariamente (en promedio) una sobre-estimación de los bloques seleccionados. La razón de este problema es que el histograma de las leyes reales de los bloques tiene menos leyes extremas, ricas o pobres, luego tiene más leyes intermedias que el histograma calculado con las muestras interiores, y, si se calcula el efecto de una



selección sobre este último histograma, los paneles eliminados serán en realidad menos pobres que lo que se había previsto, y los paneles conservados menos ricos.

De acuerdo a lo expresado anteriormente, el krigado define el estimador lineal:

$$\hat{Z}_k = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_n z(x_n)$$

O la condición de insesgado (llamada también condición de universalidad:)

$$\lambda_1 + \lambda_1 + \dots + \lambda_n = 1$$

Los pesos  $\lambda_i$  se calculan de manera de minimizar la varianza  $\sigma_E^2$  del error  $\varepsilon = Z_k - Z_v$ , en que  $Z_v$  es la ley media desconocida de  $V$ .

Como es natural el krigado atribuye pesos altos a las muestras cercanas a  $V$  y pesos débiles a las alejadas.

### Ecuaciones del krigado

Para obtener las ecuaciones del krigado hay que minimizar la expresión de  $\sigma_E^2$

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^N \lambda_i \frac{1}{V} \int_V \gamma(x_i, x) dx - \frac{1}{V^2} \int_V \int_V \gamma(x, y) dx dy - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j)$$

Pero los pesos  $\lambda_i$  deben verificar la condición:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

El método clásico para minimizar la expresión de  $\sigma_E^2$  (igualar a cero las derivadas parciales de  $\sigma_E^2$  respecto de  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$ ) No asegura que la suma de los  $\lambda_i$  sea 1. En este



caso hay que utilizar según los eruditos, el método de lagrange, el cual explicaremos con un ejemplo matemático.

Ejemplo:

Minimizar la función  $A = X^2 + Y^2$  si  $X + Y = 1$ . El método de lagrange define la función  $A'$  siguiente:

$$A' = X^2 + Y^2 - 2u (X + Y - 1)$$

$u$  es una incógnita auxiliar llamada parámetro de lagrange. Observamos que  $A'$  es una función de tres variables:  $X$ ,  $Y$ ,  $u$ . Por otra parte, si se verifica la condición  $X + Y = 1$ , entonces  $A' = A$ .

El método de Lagrange consiste en igualar a cero las derivadas parciales de  $A'$

$$\frac{\partial A'}{\partial X} = 2X - 2u$$

$$\frac{\partial A'}{\partial Y} = 2Y - 2u$$

$$\frac{\partial A'}{\partial u} = -2(X + Y - 1) = 0$$

La solución de este sistema es  $X = 0.5$ ,  $Y = 0.5$ ,  $u = 0.5$

Luego el mínimo de  $A'$  o de  $A$  es:

$$A_0 = (0.5)^2 + (0.5)^2 = 0.5$$

Por lo general el parámetro  $u$  carece de significación física.

En el caso del krigeado hay que considerar la expresión:

$$A' = \sigma_E^2 + 2u (\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_{n-1})$$

Se demuestra que al realizar  $n + 1$  derivaciones se obtiene el sistema de ecuaciones siguiente:

$$\begin{aligned} \lambda_1\gamma(x_1, x_1) + \lambda_2\gamma(x_1, x_2) + \dots + \lambda_N\gamma(x_1, x_N) + \mu &= (1/V)\int_V\gamma(x_1, x)dx \\ \lambda_1\gamma(x_2, x_1) + \lambda_2\gamma(x_2, x_2) + \dots + \lambda_N\gamma(x_2, x_N) + \mu &= (1/V)\int_V\gamma(x_2, x)dx \\ \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot \\ \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot & \quad \cdot \\ \lambda_1\gamma(x_N, x_1) + \lambda_2\gamma(x_N, x_2) + \dots + \lambda_N\gamma(x_N, x_N) + \mu &= (1/V)\int_V\gamma(x_N, x)dx \\ \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N &= 1 \end{aligned}$$

es un sistema lineal de  $n + 1$  ecuaciones con  $n + 1$  incógnitas  $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n, u)$

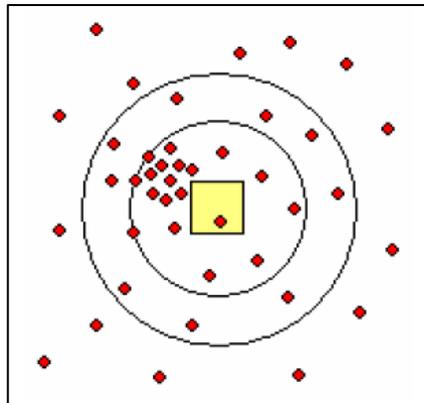
Se demuestra que el sistema siempre tiene solución (se supone que el modelo de  $Y(h)$  es autorizado), salvo el caso en el cual existen dos (o más) muestras diferentes con las mismas coordenadas: Este caso no debería presentarse en la práctica, pero a veces ocurre. En tal caso es necesario hacer una revisión de la base de datos.

El método que hemos presentado se conoce como kriging ordinario y se puede aplicar siempre que la variable regionalizada no presente una deriva en la vecindad de estimación.

### 2.13.2.2. Vecindad de estimación

En estricto rigor, el krigado de un bloque  $V$  debería realizarse considerando todos los datos disponibles (krigado completo). Sin embargo, esta situación implica cálculos muy largos; por otra parte, las muestras alejadas tendrían un peso casi nulo. Por esta razón la práctica recomienda a una vecindad de estimación que puede ser una esfera o círculos, o bien un elipsoide o elipse (3D y 2D), o también, porque no, un rectángulo o una caja.

Como recomendación práctica, el radio en una cierta dirección no debe ser inferior al alcance en esa dirección.



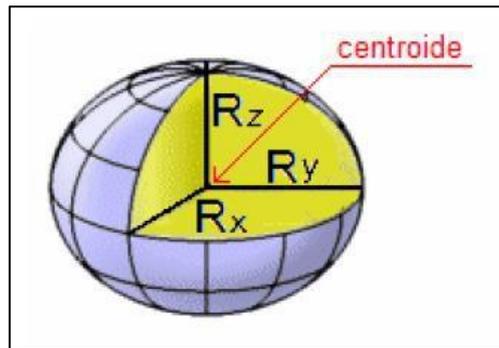
**Figura 31.** Para el krigado no importa la agrupación de datos al lado izquierdo del bloque (el krigado desagrupa la información) ¿Cuál radio tomar?

Fuente: Alfaro (2007)

La práctica ha demostrado que en el espacio de 2 dimensiones con una vecindad que contenga un promedio del orden de 8 muestras, los resultados son buenos. En el espacio de 3 dimensiones la situación es más compleja y debe ser analizada en cada caso particular.

Una estrategia de búsqueda establece algunos parámetros que hay que utilizar para la búsqueda de compósitos a utilizar en la estimación del bloque. Dependiendo del software minero utilizado, estos parámetros son:

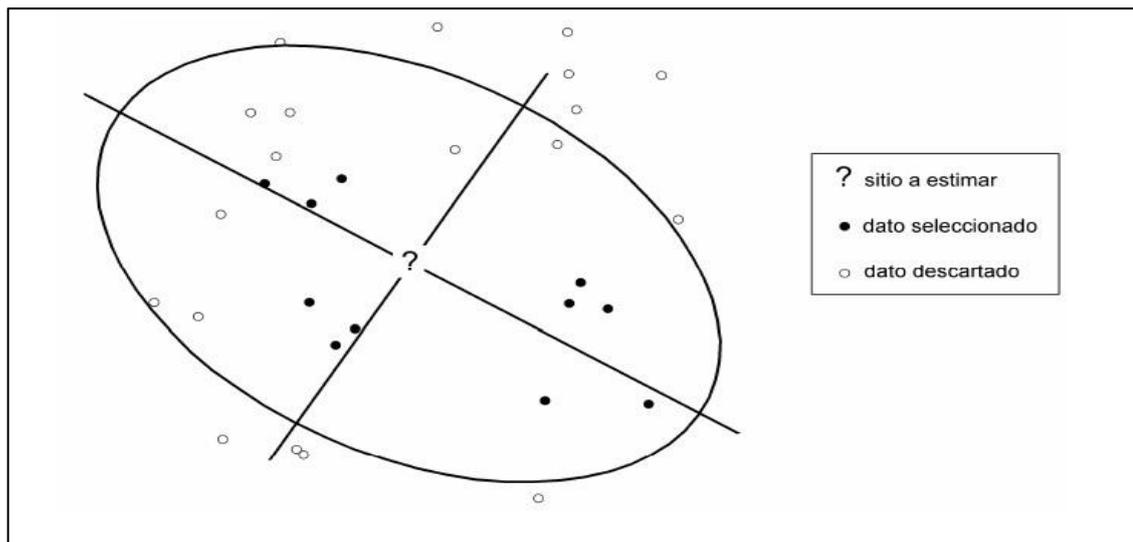
Radios de búsqueda ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ). En la primera aproximación se puede utilizar los alcances del variograma en las direcciones ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ), en una vecindad con forma de elipsoide.



**Figura 32.** Elipsoide de búsqueda. En algunas situaciones este elipsoide puede estar inclinado. El centroide es el centro de gravedad del bloque

Fuente: Alfaro (2007)

El elipsoide al momento de estimar debe dividirse en sectores y octantes para restringir y distribuir de una mejor manera el aprovechamiento de los datos de las muestras y obtener una mejor estimación (ver figura 33).



**Figura 33.** Influencia de parametrizar la búsqueda con cuadrantes u octantes del elipsoide de búsqueda. En la imagen se trata de imponer la búsqueda de 3 datos más cercanos por cuadrante

Fuente: Xavier (2007)

### **Establecer “#” mínimo de muestras a usar en la estimación**

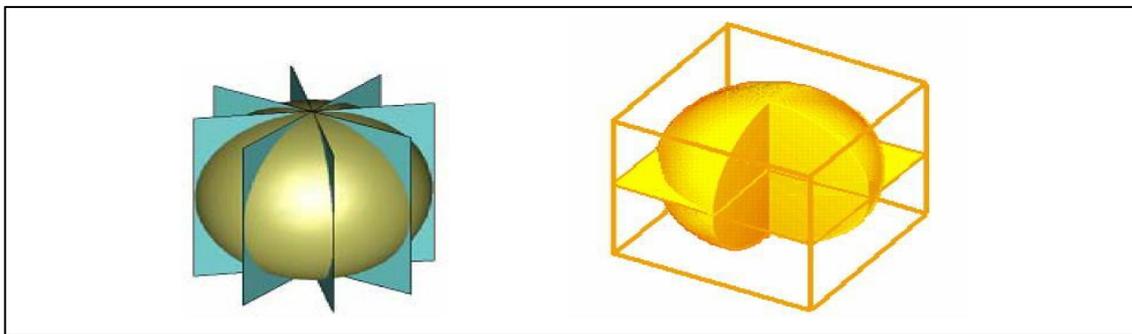
Sirve para controlar el caso en que una sola muestra cae en la vecindad. Si se pone  $\# = 2$ , solo se krigearan los bloques que tengan 2 o más datos en la vecindad.

### **Establecer “r” máximo de muestras a usar en la estimación**

Si se pone  $r = 32$ , entonces cuando la vecindad de un cierto bloque exista más de 32 compósitos, en la estimación solo se usarán los 32 compósitos más cercanos al centro del bloque. Este parámetro es para una mayor velocidad de cálculos.

### **Establecer “L” máximo de muestras por OCTANTE**

Si se pone, por ejemplo,  $L = 2$ , en cada octante se utilizarán las 2 muestras más cercanas al centro del bloque.



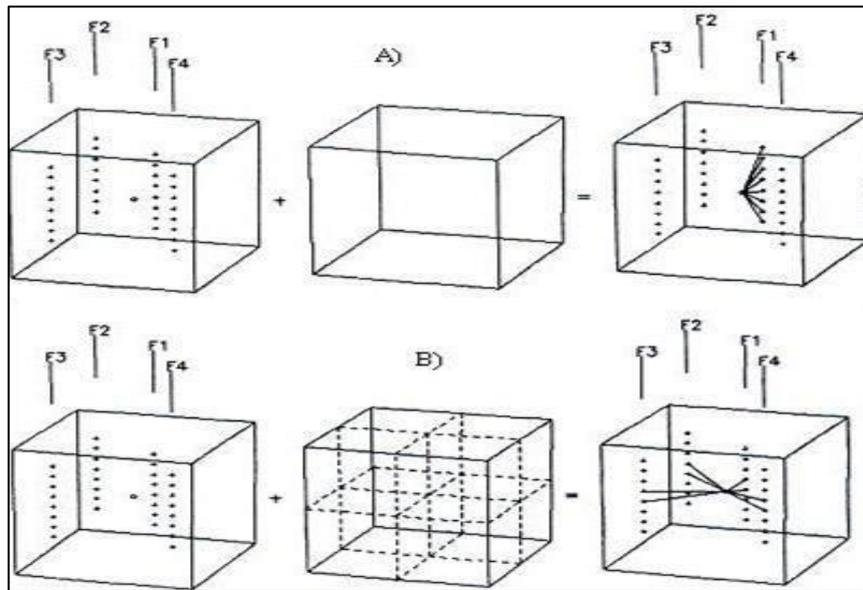
**Figura 34.** Octantes. ¿Qué pasa si existen sondajes aproximadamente horizontales en el caso de la izquierda? Algunos paquetes computacionales utilizan el hemisferio superior e inferior caso de la derecha

Fuente: Alfaro (2007)

El Objetivo de ese parámetro es “desagrupar” (pero, dadas las propiedades del krigado ¿Se justifica su uso?) Tema a investigar.

### **Establecer Máximo “S” de compósitos por sondaje**

Si se pone, por ejemplo  $S=2$ , En cada sondaje se utilizará un máximo de 2 compósitos, lo más cercanos al centro del bloque. El objetivo de este parámetro es forzar la interpolación entre sondajes (ver figura 35).



**Figura 35.** Importancia de establecer parámetros de búsqueda en el elipsoide. Impacto del empleo de la vecindad de búsqueda por sectores en la selección de muestras A) Búsqueda sin restricción (1 sector) todas las muestras seleccionadas proceden de un solo pozo b) Búsqueda por octantes (8 sectores) se selecciona 2 muestras de cada pozo

### 2.13.3. Categorización de recursos

La categorización de recursos minerales (o geológicos) y reservas mineras es una de las etapas más críticas en la evaluación de un proyecto minero, dado que el financiamiento del proyecto y las inversiones dependen de la cantidad (tonelaje) y calidad (ley) de los recursos y reservas. Además, la decisión de invertir en el proyecto considera la confiabilidad en los valores estimado de estos recursos y reservas.

Sin embargo, este a su vez uno de los procedimientos más subjetivos en la evaluación, dado que la clasificación queda sujeta a la opinión experta de un especialista en evaluación de yacimientos. En los últimos años, los códigos internacionales han tendido a incluir de manera más explícita los requerimientos para la divulgación de resultados de la estimación de los recursos y reservas, sin embargo, aún no se ha especificado una metodología fija para todos los proyectos.

Los principales métodos a través de los cuales los recursos minerales pueden ser categorizados se dividen en 2 grupos:



- Criterios tradicionales o clásicos
- Criterios geoestadísticos.

### **2.13.3.1. Criterios geoestadísticos de categorización**

Yamamoto (1991) plantea que los esquemas de clasificación de reservas basados en medidas reales de la dispersión son más confiables pues reflejan, sobretodo, la cantidad y la calidad de la información empleada para evaluar las reservas. Estos esquemas fueron denominados genéricamente clasificaciones geoestadísticas pues se basan en la varianza del kriging.

En este sentido, se recomienda la Geoestadística como procedimiento válido y confiable en la mayoría de los sistemas de clasificación, convirtiéndose en un estándar en la estimación de recursos minerales.

El código propuesto por la ONU, por ejemplo, propone el uso de la Geoestadística para clasificar los recursos pues permite de forma rápida y sin ambigüedad identificar las categorías de recursos y reservas minerales (UN-ECE,1996). Algunos de los principales criterios geoestadísticos que han sido empleados o propuestos para la clasificación de recursos se explican a continuación.

#### **2.13.3.1.1. Alcance del variograma**

El variograma permite cuantificar la continuidad o nivel de correlación entre las muestras que se localizan en una zona mineralizada dada. El grado de esa correlación ha sido frecuentemente utilizado para clasificar los recursos y reservas. Froidevaux (1982) propuso 3 clases de clasificación:



Bloques en el área muestreada ubicados dentro del radio de influencia definido por el alcance del variograma.

Bloques en el área muestreada ubicados más allá del radio de influencia definido por el alcance del variograma

Bloques dentro del yacimiento, ubicados a una distancia grande de los pozos (incluyendo los bloques extrapolados)

Típicamente se han empleado 2 enfoques para clasificar los recursos usando el variograma

El primero se basa en la subdivisión arbitraria del alcance observado. Ejemplo, todos los bloques estimados con un número mínimo de muestras y ubicados dentro de un determinado radio de influencia podrían ser clasificados como recursos medidos mientras que todos los bloques estimados con cierto número mínimo de muestras y localizados más allá del radio de influencia serían clasificados como indicados.

En el segundo enfoque las categorías de recursos están basadas en los valores de la meseta. Por ejemplo, los bloques comprendidos dentro de un alcance del variograma correspondiente a  $2/3$  del valor de la meseta pueden ser clasificados como medidos, el resto son indicados.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. EQUIPOS Y MATERIALES DE ESTUDIO

Los equipos y materiales utilizados para el estudio del proyecto de investigación, han sido cuidadosamente seleccionados, en cuanto a su exactitud y precisión, dichos materiales definieron los parámetros de cartografiado y obtención de muestras para análisis geoquímico; tanto en campo y gabinete que a continuación se detallan:

**Tabla 2.** Equipos y materiales para el desarrollo del proyecto.

RECURSOS	DESCRIPCION	CANTIDAD
Infraestructura	Campamento minero	1 und.
	Laboratorio	Múltiple
Equipos	Perforadora diamantina (DIAMEC 232)	1 und.
	Cortadora neumática	1 und.
	Estación total	1 und.
	Brújula Brunton	1 und.
	GPS Garmin	1 und.
	Cámara fotográfica	1 und.
	Equipo de cómputo completo	1 und.
	Herramientas	Picota de geólogo
Lupa de 20X acromática		1 und.
Protactor		1 und.
Lápiz de dureza		1 und.
Wincha métrica 50 m.		1 und.
Flexómetro de 5 m.		1 und.
Materiales	Bolsa de muestreo	50 paq.
	Talonario de muestreo	20 paq.
	Mochila de lona	1 und.
	Colores, y otros	



## 3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1. Tipo de investigación

Según los propósitos de la investigación esta es de tipo Aplicada, debido a que está orientada a estimación de recursos minerales.

### 3.2.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación fue transversal, ya que los trabajos de exploración se realizaron en base a la observación como un proceso sistemático de obtención, recopilación y registro de datos empíricos de las características geológicas del depósito orogénico de Untuca.

### 3.2.3. Población y muestra

**Población:** Se ha estudiado un total de 312 muestras de superficie, 8,571 muestras de interior mina y 17,791 muestras de sondajes.

**Muestras:** tomadas de la estructuras y rocas, que corresponden a fragmentos de rocas y minerales expuestas en la superficie, interior mina y muestras de testigos de sondajes diamantinos, para el análisis geoquímico.

### 3.2.4. Métodos de investigación

El método de investigación fue cuantitativo donde se pudo tener un conocimiento general de la percepción de las características geológicas del depósito orogénico.

- Los primeros trabajos consistieron en la recopilación y elaboración de mapas geológicos, secciones geológicas interpretativas, columnas estratigráficas, esquemas, tablas y figuras, etc.



- Análisis de sondajes diamantinos, registros de sondajes (Logueo), descripción macroscópica de rocas y minerales; para conocer la litología, ensamble y caracterización mineralógica.
- Análisis e interpretación de datos geológicos, estructurales, litológicos, texturales y mineralógicos.
- Conceptualización del modelo geológico del yacimiento y la estimación de recursos minerales.

### **3.2.5. Técnicas de análisis de datos**

Se obtuvo datos o información de las características geológicas del depósito orogénico mina Pomarani, utilizando técnicas como cartografía geológica, elaboración de columna estratigráfica, secciones geológicas interpretativas y con la información obtenida en el gabinete y en el campo se conceptualizó el modelo geológico y la evaluación de los recursos minerales.

Se ha realizado el análisis de datos para ser utilizado en la estimación de recursos minerales y se determinó que el resultado de las muestras de superficie, interior mina y sondajes diamantinos para la categorización de recursos minerales entre medidos, indicados e inferidos.

Se realizó el modelado digital usando el software Minesight, las interpretaciones se basaron en una serie de secciones verticales transversales, además se consideró el grado de mineralización de Au, en este caso se utilizó como límite mínimo 1 g/t.

La estimación de recursos minerales en mina Pomarani se realizó utilizando el modelo de bloques y las leyes interpolados mediante el método Kriging, herramientas disponibles en el software Minesight.



### 3.2.5.1. Softwares utilizados

**ArcGIS Desktop:** ArcGIS es un completo sistema que permite recopilar, organizar, administrar, analizar, compartir y distribuir información geográfica. Se utilizó para crear mapas topográficos, mapas geológicos, mapas de muestreo geoquímico y mapas de isovalores, además con ArcGIS se puede crear y administrar de una manera muy eficiente una base de datos.

**Minesight:** Este software se ha utilizado para el modelado y estimación de recursos de la mina Pomarani. Con la exclusiva base de datos centralizada de Minesight, disponemos con el acceso inmediato a datos geológicos. Además, el avanzado motor de conversión de modelo de bloques permite a los usuarios colaborar mediante distintos paquetes de software que proporcionan una conversión directa a los distintos formatos de modelo de bloques. La seguridad y la auditoria de los datos de Minesight proporcionan la funcionalidad necesaria para el cumplimiento de las regulaciones internacionales como código de JORC, SAMREC y NI 43-101.

### 3.2.6. Instrumentos de relección de datos

#### 3.2.6.1. Recopilación de información

En esta etapa, se recogió toda la información bibliográfica, informes de la zona de estudios, se recopilaron planos geológicos regionales, topografía IGN a escala 1:50 000, archivos e informes de INGEMMET, Chávez V., Salas A., Cuadros P. y Gutiérrez S., julio de 1996, Geología de los cuadrángulos de Putina y La Rinconada, hojas 30-x y 30-y – Boletín A 66.



### **3.2.6.2. Sondajes diamantina**

Los sondajes diamantinos son una de las más importantes técnicas de exploraciones que proporcionan la mayor parte de la información que nos permitió localizar y verificación de la profundización de la mineralización también se hizo una descripción de la geología a detalle. Sobre la estructura mineralizada (mantos) se perforaron 262 sondajes diamantinas y un total de 21,886 m. desde superficie e interior mina para delimitar las zonas mineralizadas y las dimensiones de áreas mineralizadas que ayudaron realizar la estimación de recursos.

#### **- Logueo Geológico**

El logueo geológico es un proceso en el cual se registra toda la información que nos brinden los testigos de perforación, principalmente las características geológicas como: litología, alteración, mineralización, detalles estructurales.

#### **- Corte de Testigos**

El testigo de perforación es cortado longitudinalmente utilizando un disco de diamante, siendo es el método estándar de trabajo, para obtener una muestra representativa.

#### **- Muestreo de Testigos**

Una vez realizados el corte de testigos (cores), el geólogo define los intervalos de muestreo tomando en cuenta principalmente el grado de mineralización, en tramos con mineralización débil a moderado se determina sistemáticamente cada 2 m, y en tramos con mayor intensidad de mineralización los intervalos se pueden reducir hasta 0.20 m de longitud. Seguidamente son introducidas a una bolsa de muestreo, debidamente codificadas para el envío al laboratorio.



### 3.2.6.3. Aseguramiento y control de calidad

El objetivo principal del aseguramiento y control de calidad (QA/QC) es evaluar la precisión, la exactitud y la contaminación, lo que se logra mediante la inserción de las muestras de control, para construir una base de datos con mínimos errores. Para el caso del proyecto Pomarani para garantizar el aseguramiento y control de calidad se ha elaborado e implementado protocolos de trabajo antes de iniciar con las diferentes actividades como es el traslado de muestras desde las plataformas/ cámaras hasta el almacén de testigos, logueo, corte de testigo, muestreo, etc.

#### 3.2.6.3.1. Muestras de control de calidad

Son aquellas muestras que son insertados en los lotes de muestras que se envían a laboratorio, con el fin de detectar y controlar los errores en los procesos de muestreo, preparación mecánica en laboratorio y análisis de muestra geoquímicas. Los tipos de muestras de control QA/QC que se inserta en el muestreo de testigos de perforación son:

**Muestras blancos:** Son muestras estériles que contiene valores bajos niveles de concentraciones de minerales, permiten evaluar la contaminación.

**Muestras duplicados:** Son muestras repetidas de un mismo lugar, en perforación diamantina se consigue cortando el testigo en dos partes iguales guiándose de la mineralización; esto permite evaluar la precisión.

**Muestras estándar:** La muestras estándares son muestras certificadas con valores conocidos de elementos determinados; permiten evaluar la exactitud.



#### **3.2.6.4. Estimación de recursos.**

Para el trabajo de estimación de recursos en este estudio, se usó el método geoestadístico (Kriging), está basado en el análisis de la información disponible y validada (Ubicación espacial y reporte de leyes de muestreo proveniente de sondajes diamantinos, muestras de interior mina, las cuales se realizó el análisis estadístico y geoestadístico del reporte de leyes de muestreo para cada dominio de mineralización, para determinar los parámetros estadístico y geoestadísticos.



## CAPÍTULO IV

### CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

#### 4.1. UBICACIÓN

Geográficamente la zona de estudio se encuentra ubicado en las estribaciones orientales de la Cordillera Oriental de los Andes del Sur del Perú, en el entorno del glaciar formado por el nevado Ananea, con altitudes que van de 3900 a 5200 msnm, aproximadamente (Cerro Pomarani), a 137 kilómetros al noreste de la ciudad de Juliaca, políticamente se ubica en el paraje Llactapata, que pertenecen al C.C. Untuca, del distrito de Quiaca, provincia de Sandia, del departamento y región de Puno; en el Cuadrángulo de La Rinconada (30-y). (Ver Lamina N° 04).

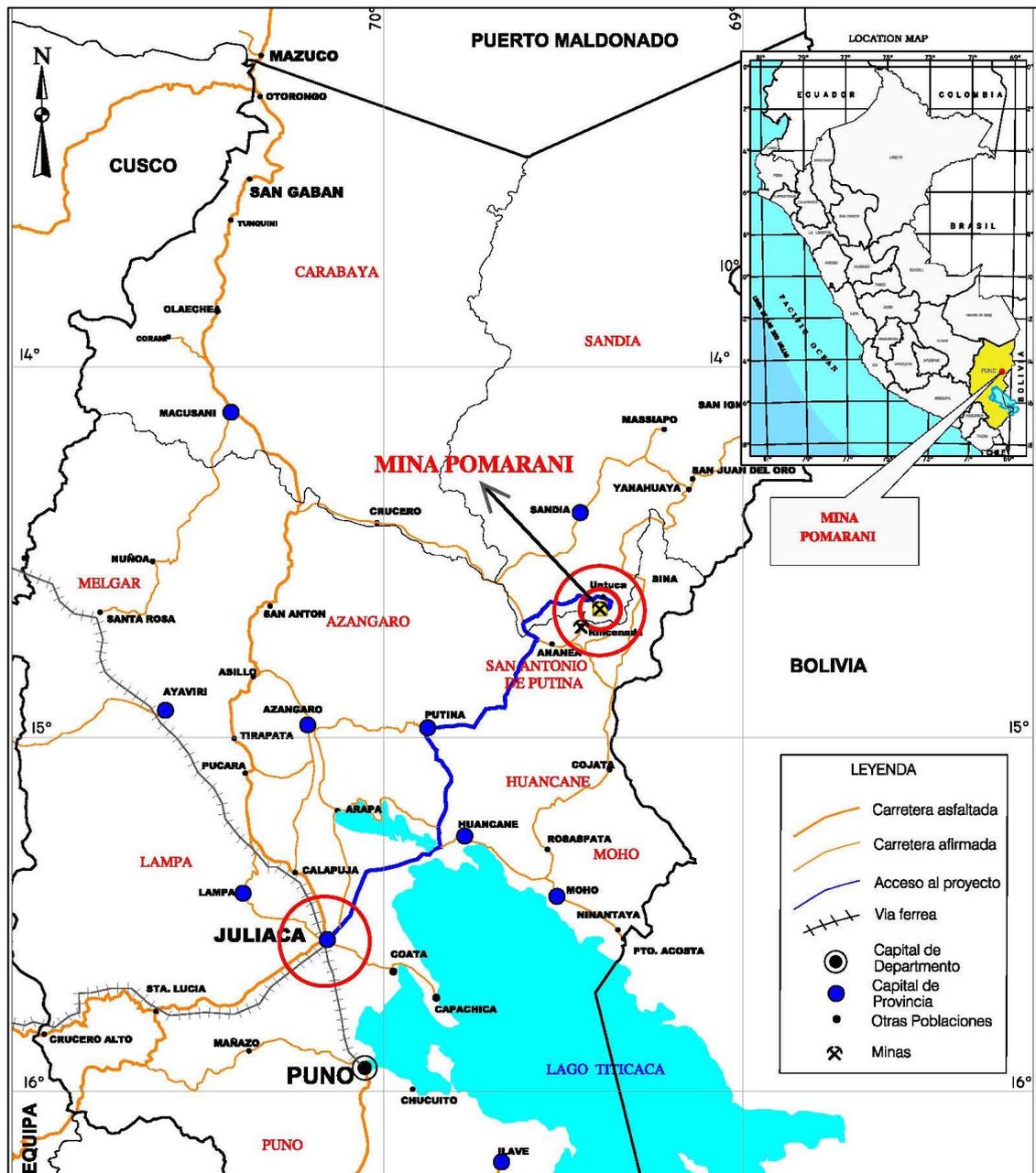


Figura 36. Ubicación de la zona de estudio

Fuente: MTC.

#### 4.2. ACCESIBILIDAD

La accesibilidad a la zona de estudio, se logra desde la ciudad de Lima mediante vía aérea en un lapso de 1.45 horas. hasta la ciudad de Juliaca. A partir desde la ciudad de Juliaca, vía Putina – Desvío Ananea – Untuca – Proyecto Pomarani una distancia estimada de 199 kilómetros aproximadamente. (Ver Lamina N° 04).



**Tabla 3.** Vías de acceso y distancias

<b>RUTA</b>	<b>DISTANCIA (Km)</b>	<b>TIEMPO (Hrs/Min)</b>	<b>TIPO DE VÍA</b>
<b>Juliaca - Putina</b>	90	01:55	Asfaltada
<b>Putina - Desvío Ananea</b>	50	02:15	Asfaltada
<b>Desvío Ananea - Untuca</b>	48	01:40	Afirmada
<b>Untuca – Proyecto</b>	09	00:20	Afirmada
<b>TOTAL</b>	<b>199</b>	<b>06:10</b>	

#### **4.3. GEOLOGÍA LOCAL**

El yacimiento Orogénico Untuca, se aloja de manera estratiforme, y está encajonado en rocas metamórficas de 450Ma de edad, de composición pizarrosa y filitosa, intercaladas con cuarcitas. Estas filitas son de color negro de aspecto lustre en el plano de estratificación, debido a la presencia de muscovita y clorita. Y en partes con solidificación por efecto de la actividad hidrotermal. La orientación de las capas del horizonte metamórfico es de N 132° - 140° con buzamientos de 10°-18°SW, y es paralela a los mantos. Esta masa rocosa pertenece a la secuencia estratigráfica de la formación Sandía inferior, del paleozoico; y que genéticamente están asociados a ocurrencias de yacimientos orogénicos (Ver Lamina N° 05).

El yacimiento de edad Paleozoica/Eoherciniana es producto de la tectónica, que emplazó sistemas de sulfuros en fallas inversas y de extensión. Las fallas inversas fueron el conducto regular por donde se emplazó los sistemas sulfurados con mineralización aurífera.

#### 4.3.1. Formación Sandia inferior (Os-si)

En el sector de Pomarani, afloran filitas y pizarras de color gris oscuro a negro, intercaladas con cuarcitas de espesores milimétrica a centimétrica, con un aspecto lustre en el plano de estratificación, debido a la presencia de muscovita y clorita. Presentan estructuras estratigráficas “lenticulares bedding” de 0.01 – 0.13 m conectados y sin conectar. También se hacen presente las “estratificaciones cruzadas” y las “laminaciones paralelas”, evidenciando un ambiente turbidítico. Otro tipo de estructuras son los “Slumpings” y los “Nódulos de cuarzo”, que evidencian un ambiente sedimentario de talud.

Estas filitas corresponden al miembro inferior de la Formación Sandia, intercalada con cuarcita blanca de grano fino y algunas capas de cuarcita de grano medio de color gris. El azimut de las capas son de N 132-140° y buzamiento de 10 - 18° SW.



**Figura 37.** Se observa rocas filitas intercaladas con cuarcitas, de espesores milimétricas a centimétricas

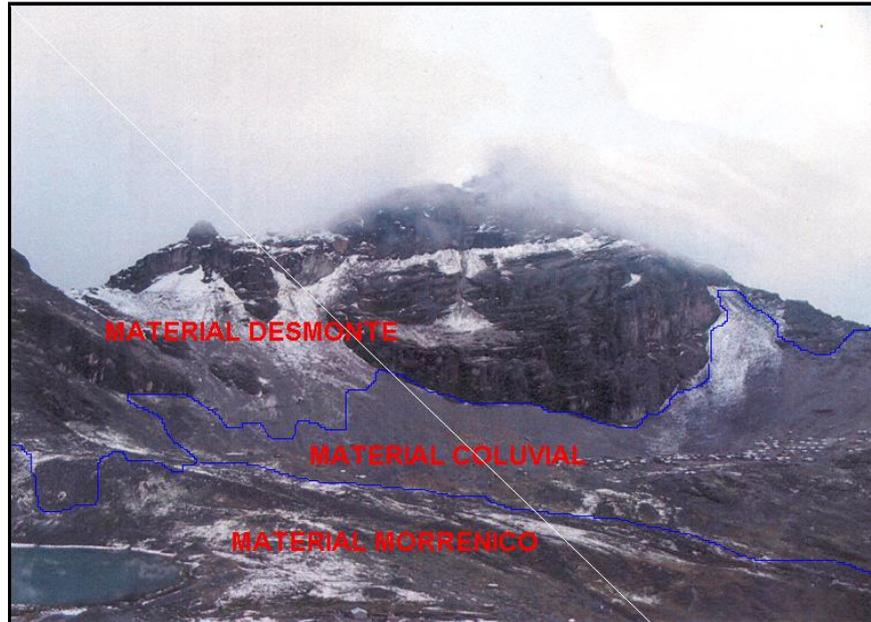


**Figura 38.** Presencia de “Slumpings” de cuarcita gris englobado en la secuencia estratigráfica de filitas

#### 4.3.2. Depósitos cuaternarios

Durante el cuaternario, esta zona fue intensamente glaciada, se ha observado geoformas variadas, tanto por acumulación como por erosión, formando depósitos coluviales y depósitos morrénicos.

- a) **Zona coluvial:** Dichos depósitos están expuestos al pie del área de Lomada, Pomarani y Santa Rosa que cubren una menor extensión, algunas veces estos depósitos alcanzan un espesor de varios decenas de metros, son depósitos antiguos, ya que en ciertos lugares la parte inferior constituyen depósitos coluviales propiamente dichos, mientras que por la parte superior dichos depósitos son acumulaciones de trabajos desde la época incaica hasta trabajos recientes que actualmente laboran los lugareños.
- b) **Zona morrenas:** Estos depósitos son acumulaciones por acción de los glaciares, están compuestos por bloques sub angulosos envueltos en una matriz arenosa-arcillosa, por lo cual estos depósitos contienen valores económicos de Au.



**Figura 39.** Se observan los materiales cuaternarios y desmontes

#### 4.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

El modelo estructural local, presenta el mismo comportamiento que el regional, está caracterizado por la superposición de dos eventos estructurales: extensión y compresión. En la extensión se generaron y emplazaron las mineralizaciones auríferas en un fondo marino, generados por el régimen de extensión regional pre-devoniana. Esta extensión luego fue comprimida durante la tectónica tardihercínica siendo las vetas y mineralizaciones emplazadas como fallas inversas.

Las principales estructuras que se encuentran asociadas a la mineralización aurífera en el área de estudio, se ubican en el sector Constanza – Pomarani – Santa Rosa (Ver Lamina N° 06), están conformados por un sistema de fallas inversas y normales las que se describen a continuación:

**Falla Constanza.** Esta falla se ubica en el cerro Constanza el cual se le una falla inversa longitudinal de primer orden. Tiene una dirección de N 330° con inclinación de 40°NE. Muestra planos de falla y estructuras sigmoides típicas de una falla inversa, el

grosor de la estructura varía de 3 a 5 m, presenta mineralización de cuarzo lechoso y sulfuros de hierro, generalmente pirita. La mineralización asociada no contiene valores auríferos (Ver Figuras N° 40).



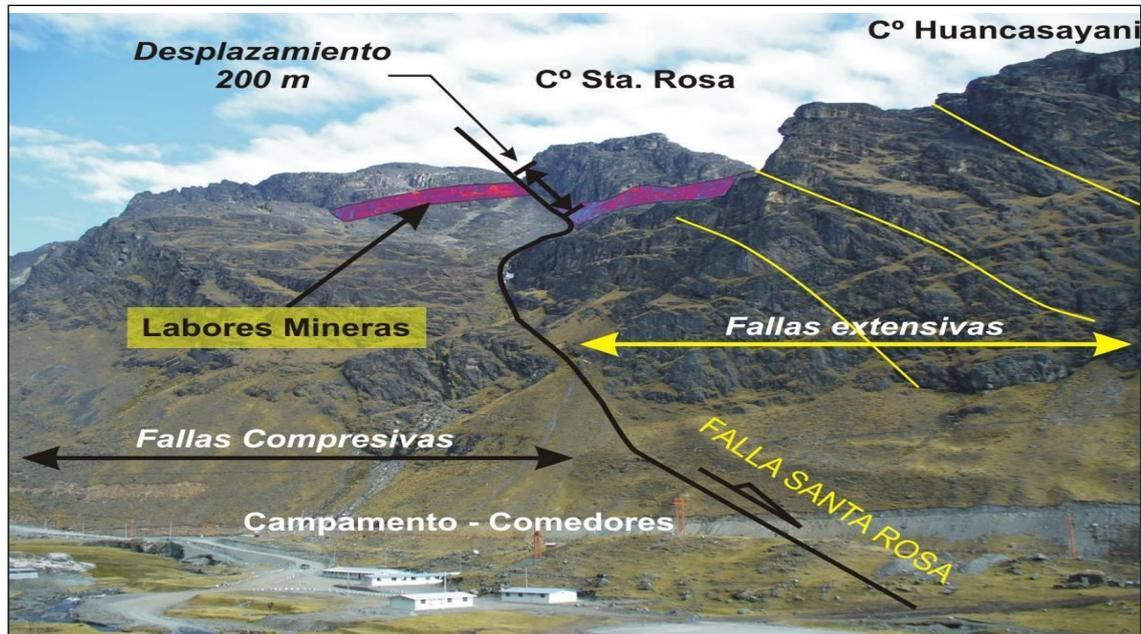
**Figura 40.** Sigmoides de deformación producidos por fallamiento inverso, se aprecia en traza de la falla constanza con un grosor aproximado de 2 m

Fuente: Martínez y Cervantes

**Falla Pomarani - Gallocunca.** Falla normal de dirección N 335° - 345°, de buzamiento 55°-65° NE. desplaza en bloque, al horizonte mineralizado, aproximadamente 80m hacia el piso hasta la falla Pomarani, esto quiere decir que ha habido una reactivación después de la mineralización de Au de las anteriores fallas, para luego dar origen a un movimiento en bloques, esto se nota claramente porque algunos mantos mineralizados terminan en falla, representa un sistema extensivo posterior a la compresión de la tectónica herciniana que comprimió y produjo sistemas de fallas inversas tipo escamas y que posteriormente se produjo una relajación con generación de fallamientos sintéticos gravitatorios en dirección NE.

**Falla Santa Rosa.** Falla normal de dirección N 320° - 340°, de buzamiento 35° - 45°, de componente sinextral. Este sistema de fallas tiene características gravitatorias y representan la extensión posterior a la compresión herciniana. Los niveles mineralizados han colapsado en fallas sintéticas hacia el NE con desplazamientos promedio de 200 m.

hasta encontrar las facies esquistosas e impermeables de la formación San José superior (Ver Figura N° 41).



**Figura 41.** Falla Santa Rosa, representado el desplazamiento de 200 metros

Fuente: Martínez y Cervantes

#### 4.5. GEOLOGÍA ECONÓMICA

Este yacimiento es aurífero y es uno de los más importantes de la Cordillera Oriental del sur del Perú. El yacimiento es de tipo estratiforme, stock work y diseminado dentro de las rocas del Paleozoico Inferior.

La característica estructural del sistema vetas, mantos y diseminaciones debido a la acción de productos hidrotermales que ascendieron por medio de fracturas y microfracturas, llevando iones libres de oro y sulfuros. El oro se encuentra en los sulfuros de hierro, como metal libre diseminado en las rocas y dentro de los mantos de cuarzo gris ahumado, además existe oro blanco denominado calaverita, por ser de fluidos de teluros.

Entre los sulfuros se tiene los minerales como la pirrotita, que se encuentra en forma diseminada, en lentes, motas y acompañando a los mantos de cuarzo gris. La pirita,



es común en la zona, se presenta en forma cúbica, se encuentra en las vetas, mantos, nódulos de cuarzo lechoso. La arsenopirita se encuentra acompañando a los sulfuros de fierro, plata y cobre. La estibina asociado a minerales de antimonio, plomo y en diseminados o en estructuras de mantos lenticulares de cuarzo gris emplazados en rocas filitas. La calcopirita, es la meta principal de cobre, se encuentra en pequeñas cantidades asociadas a la pirrotita, pirita, blenda, galena, esfalerita, etc. Es de origen hidrotermal. La galena existe en menor cantidad, asociada a los anteriores sulfuros. La blenda se encuentra en pequeñas cantidades.

Los óxidos provienen de la oxidación de los sulfuros por reacciones químicas, en la zona su presencia es débil, entre los principales tenemos a la hematita, la limonita, la jarosita.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1. GEOLOGIA Y GEOQUIMICA

##### 5.1.1. Muestreo geoquímico

Con la finalidad de identificar las áreas principales de mineralización y establecer el programa de perforaciones diamantinas, se realizó primero muestreo aleatorio de canales de roca en los horizontes mineralizados y estructuras (fallas, vetillas y vetas) que consiste de cuarzo gris con pirrotita-pirita-calcopirita trazas, existentes en la zona de estudio (Ver Lamina N° 13).

Se ha extraído o muestreado 312 muestras de roca en total. Todas estas muestras fueron enviadas al laboratorio para su respectivo análisis geoquímico, en los resultados reportados por el laboratorio se observa mineralización de oro de alta ley que alcanzan hasta 63.97 g/t Au, estos resultados geoquímicos de muestras de superficie fueron fundamentales para establecer un acertado programa de perforación diamantina y exploración mediante labores subterráneos.



**Figura 42.** Muestreo superficial

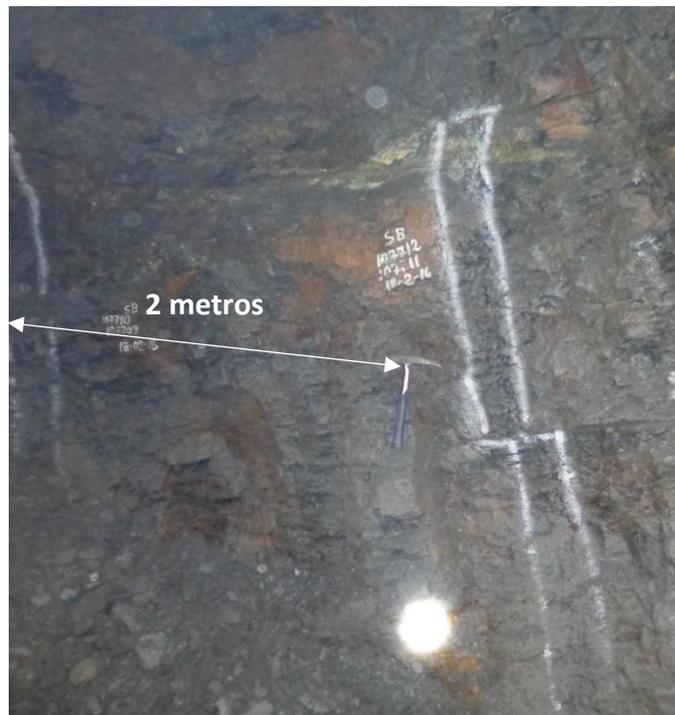
### 5.1.2. Muestreo subterráneo

El muestreo subterráneo se realizó con un procedimiento de muestreo, orientado a la calidad, se realiza por el método de muestreo por canales, se procede de la siguiente manera:

- Verificar las condiciones del terreno antes de iniciar con los trabajos de toma de muestras.
- Ubicar el área a muestrear a partir de un punto topográfico, de preferencia y coincidir con la última marca muestreada.
- Trazar el canal en forma perpendicular al buzamiento de la estructura mineralizada, sistemáticamente cada 2m, el ancho del canal debe ser de 10 a 20cm.
- Limpieza del canal, proceder con cincel y comba se extrae el material dentro de la marca con una profundidad de 3 a 4 cm. Dejando el fondo lo más uniforme posible, y se procede el envío al laboratorio para el análisis geoquímico.

Se exploraron 5 niveles, realizando un total de 8,571 muestras, estas muestras fueron analizados en el laboratorio de la unidad minera CoriPuno.

También se realizó los muestreos subterráneos en los hastiales (Muestreo canales), en los 5 niveles de la mina, realizando un total de 8,571 muestras, estas muestras fueron analizados en laboratorio de la unidad minera Cori Puno. (Ver Lamina N° 14, 15, 16, 17, 18 y 19).



**Figura 43.** Muestreo subterráneo

**Tabla 4.** Resumen de muestras subterráneas de mina Pomarani

Zona	Muestras interior mina	Metros Perforados (m)
Superficial	312	663.77
Pomarani	8,571	10,915.85
Total	8,883	11,579.62



De acuerdo a esta información se ha realizado interpretación (isovalores). Para identificar anomalía de minerales importantes.

### **Interpretación de zonas anómalicas**

Para la interpretación recurriremos a software ARC GIS 10.0 (Targets), este es un programa que nos permitió la visualización de los datos que se obtuvieron en campo. Para luego hacer la distribución geoquímica y los isovalores de Au.

La información obtenida de cada muestra nos permite delimitar el zoneamiento y tendencias de la mineralización económica de oro. Los resultados que se obtuvieron los mencionaremos a continuación.

### **Isovalores Au**

Como se puede observar en la (Lamina N° 20 y 21), la anomalía de Au tiene una tendencia hacia el N 17°-20°E, este evento se repite en ambos mantos (Manto I y II), están controladas por estructuras de cuarzo gris - pirrotita – pirita, lo cual nos indica la dirección de los flujos mineralizantes, para el cual se ha podido determinar que los valores normales (Background) para estructuras alrededor de 0.5 g/t, es decir que los valores geoquímicos reportados en estas estructuras con tenores menores que estos son considerados normales para los mantos estudiados. Así mismo se ha podido definir que los valores por encima de 1.0 g/t de oro se pueden considerar anómalos (Threshold), para la población estudiada pues esto se separan de los valores geoquímicos promedio en las estructuras. En etapas iniciales de prospección en este tipo de estructuras lo que se busca es encontrar algunas anomalías fuertes, apartir de las cuales se podría encontrar clavos mineralizados, tal cual es el caso de la muestra SB00102274, la cual reporta valores de 34.64 g/t de oro, la cual está asociado a un clavo mineralizado de alta ley.

### 5.1.3. Resultados de la perforación diamantina

La primera campaña fue ejecutada en el año 2010, ejecutando 10 sondajes, distribuidos en 9 plataformas, determinado dos mantos mineralizado.

Posteriormente se ejecutó una nueva campaña de perforación para incrementar los recursos y definir la potencia de los mantos, ejecutando 67 sondajes, realizando 10,409.40 metros lineales en los años 2011 - 2013.

Para estimar los recursos de minerales de Au de la mina Pomarani, a un nivel de certeza más confiable, se realizó un programa de perforación (Infill drilling), desde las labores subterráneas, sobre los mantos definidos anteriormente entre los niveles 4892 hasta 4956, que implica la disminución de espacio entre sondaje a sondaje, pasar a una malla de 20x20 m. acumulando 9,485.55 metros lineales, distribuidos en 185 sondajes, que van desde 10.8 – 112.2 m. de longitud, a partir de abril del 2014 hasta diciembre del 2016.

**Tabla 5.** Resumen de sondajes ejecutados en la mina Pomarani

Zona	Nº Sondajes	Metros Perforados (m)	Año
	10	1991.10	2010
Pomarani	67	10,409.40	2011-2013
	185	9485.55	2014-2016
<b>Total</b>	<b>262</b>	<b>21,886.05</b>	<b>2010-2016</b>

#### 5.1.3.1. Registro de información de cores (Logueo)

Se ha elaborado un formato de extracción de información (formato de logueo). El formato se ha realizado de acuerdo a las características o información que hemos obtenido en el logueo detallado de todos los sondajes.



Estos formatos de logueo tienen un protocolo de mapeo geológico de testigos de perforación. Porque nos permite tener los dominios de litología, mineralización, estructuras y otros detalles relevantes para el desarrollo del modelamiento e interpretación del tipo de yacimiento.

Se ha creado un formato de logueo geológico, a escala 1.0 m. ya que el muestreo se va a realizar a este metraje. Colocar el número de muestra con sus respectivas leyes (Au), es importante colocar el ángulo entre contacto de litologías que hasta el momento se ha logrado identificar Filitas - Pizarras.

La delimitación de los contactos litológicos, mineralógicos, se realizaron considerando criterios de tamaño de granos, texturas, composición mineralógica, relación fenocristales vs matriz y características relevantes que hemos mencionado con anterioridad.

#### **5.1.3.2. Análisis geoquímico de cores**

El muestreo para el análisis geoquímico de las muestras de core de la mina Pomarani, se lleva a cabo tomando la mitad del testigo de perforación, las que estamos cortando con un petrótopo de 5HP de la marca Clipper, el muestreo es sistemático y cada 1.0 metro; para asegurar su representatividad, al momento de cortar la muestra se toma en cuenta la equidad de las vetillas y otras estructuras tanto en las muestras que irán a laboratorio como las que se quedarán como registro.

Al momento de muestrear se aplican medidas para asegurar la integridad de la información, para esto se ha implementado el protocolo de QA/QC, es un guía que nos sirve para evaluar los efectos y tomar oportunamente medidas correctivas en los posibles errores durante la inserción de muestras de control en el flujo o lote de muestras. La cantidad de muestras a insertar es el 10% de muestras del total del sondaje. Cabe



mencionar que al inicio de la campaña las muestras fueron enviadas al laboratorio de Certimin.

Se está analizando muestras solo por leyes de Au en el laboratorio de la unidad minera Cori Puno. Las muestras son sometidas al proceso de chancado y pulverizado para el análisis; se realizan ensayos de extracción líquido-líquido a alta temperatura, que consiste en fundir la muestra con una mezcla fundente (flux) para concentrar el oro, con contenidos de 0.05 a 10000.00 Au g/t.

Se ha llevado a cabo re-análisis en el laboratorio de Certimin de las muestras analizadas en el laboratorio Coripuno SAC., se han obtenido valores muy similares en Au. Se tiene un total de 18 928 muestras extraídas durante la campaña. Esto incluyendo muestras de cores y muestras de control. Las que fueron enviadas para su análisis químico a los laboratorios de Certimin. (Ver tabla N° 6).

**Tabla 6.** Resumen de muestras enviadas a laboratorio Certimin – Cori Puno

	<b>TIPO DE MUESTRA</b>	<b>N° MUESTRAS</b>
Cores	Muestras Reales Roca	17,791
	Duplicado	495
Muestras de QA/QC	BL-GRUESO	124
	BL-FINO	120
	CDN-BL-10	74
	STD - SE58	75
	STD - SH55	74
	STD - OxJ68	24
	STD - HiSilK2	63
	CDN-GS-P4B	39
	CDN-GS-3K	25
	CDN-GS-6D	24
		<b>TOTAL MUESTRAS</b>

#### 5.1.4. Aseguramiento y control de calidad (QA/QC)

##### 5.1.4.1. Evaluación del control de calidad (QA/QC)

Los trabajos de exploración geológica en especial la base de datos son la fuente más común de información geológica empleada en el modelo de recursos y por lo general contiene información de campo e interpretaciones y deben estar totalmente documentados, para ello se examinó los progresos del control de calidad de los sondajes y envió de lotes al laboratorio y entró en la base de datos hasta el **diciembre 2016 un total de 18928 muestras de core y 1137 muestras son de control de calidad, esto entre Blanco, Duplicados y Estándares** estando dentro de los parámetros establecidos por el protocolo de QA/QC, es decir que los datos de muestreo de la zona estudiada son de calidad y confiables para la estimación de recursos minerales de oro. La cantidad de muestra se enumera en la Tabla 7:

**Tabla 7.** Resumen de muestras de control de calidad

LABORATORIO	TOTAL DE SONDAJES PERFORADOS	TOTAL DE METROS PERFORADOS	TOTAL DE MUESTRAS DE CORE	TOTAL DE MUESTRAS DE CONTROL	DISTRIBUCION DE MUESTRAS DE CONTROL		
					TIPO DE MUESTRA	CANTIDAD	VALOR
CERTIMIN	77	12400.5	9530	683	STD - SE58	75	BAJA
					STD - SH55	74	MEDIA
					STD - OXJ68	24	MEDIA
					STD - HISIK2	63	ALTA
					BL-GRUESO	124	ESTERIL
					BL-FINO	120	ESTERIL
					DUPLICADAS	203	
CORIPUNO	185	9485.55	8261	454	CDN-GS-P4B	39	BAJA
					CDN-GS-3K	25	MEDIA
					CDN-GS-6D	24	ALTA
					CDN-BL-10	74	ESTERIL
					DUPLICADAS	292	
<b>TOTAL</b>	262	21886.05	17791	1137		1137	

##### 5.1.4.2. Análisis de muestra blancos

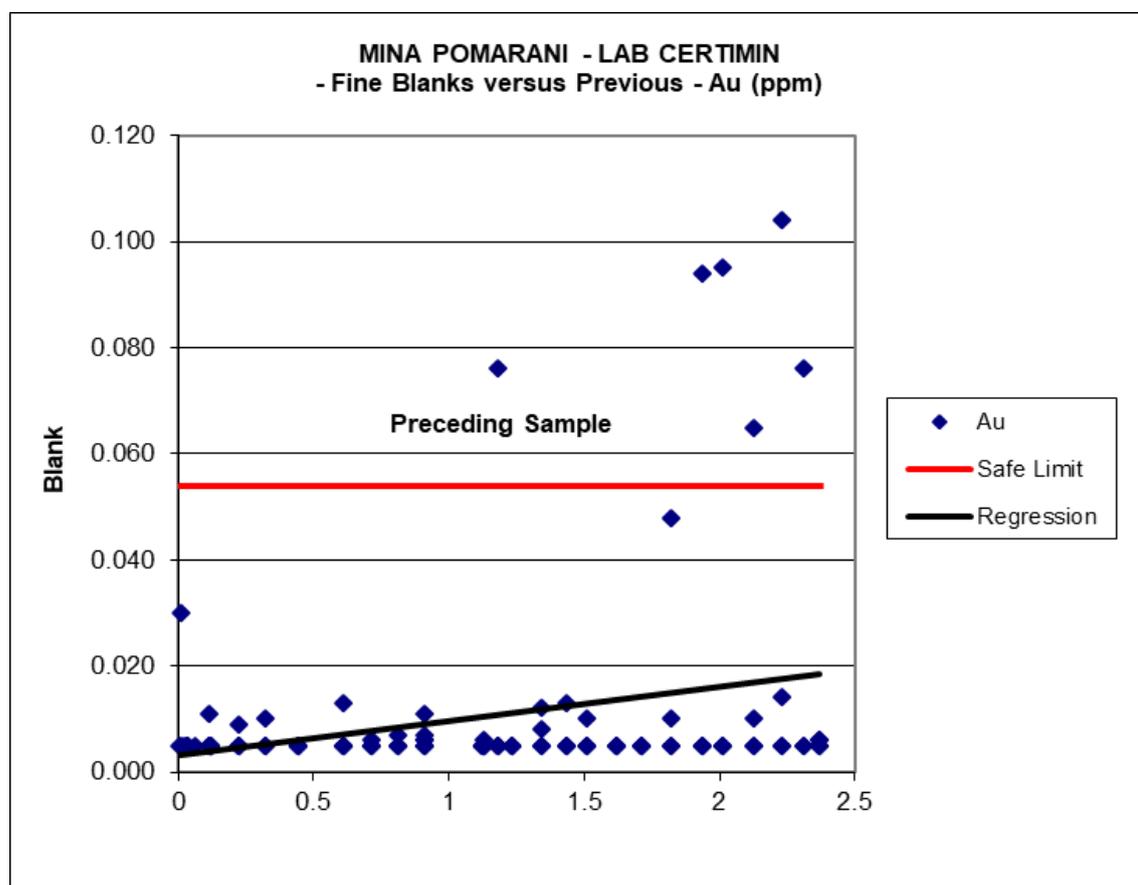
**Blanco fino.** - En mina de Pomarani en la campaña 2010-2013 se envió a laboratorio Certimin, se utilizó arena fina y a laboratorio de Coripuno pulpas de blanco

fino CDN-BL-10 certificados por **CND Resource Laboratories Ltd.** laboratorio canadiense proveedor certificado de **CDN**; la inserción fue de acuerdo al Protocolo de control de calidad.

- **Laboratorio Certimin**

Se insertaron un total de 120 muestras blancas finos de arena fina, los cuales se plotearon en un diagrama de dispersión de muestra blanca versus muestra anterior para poder verificar la preparación de las muestras.

De acuerdo a los resultados en el elemento de Au\_ppm hay 6 muestras por encima del límite de detección, por esto se deduce que las preparaciones de las muestras en laboratorio están operando dentro de los límites recomendados por AMEC. (Ver Figura N° 44).



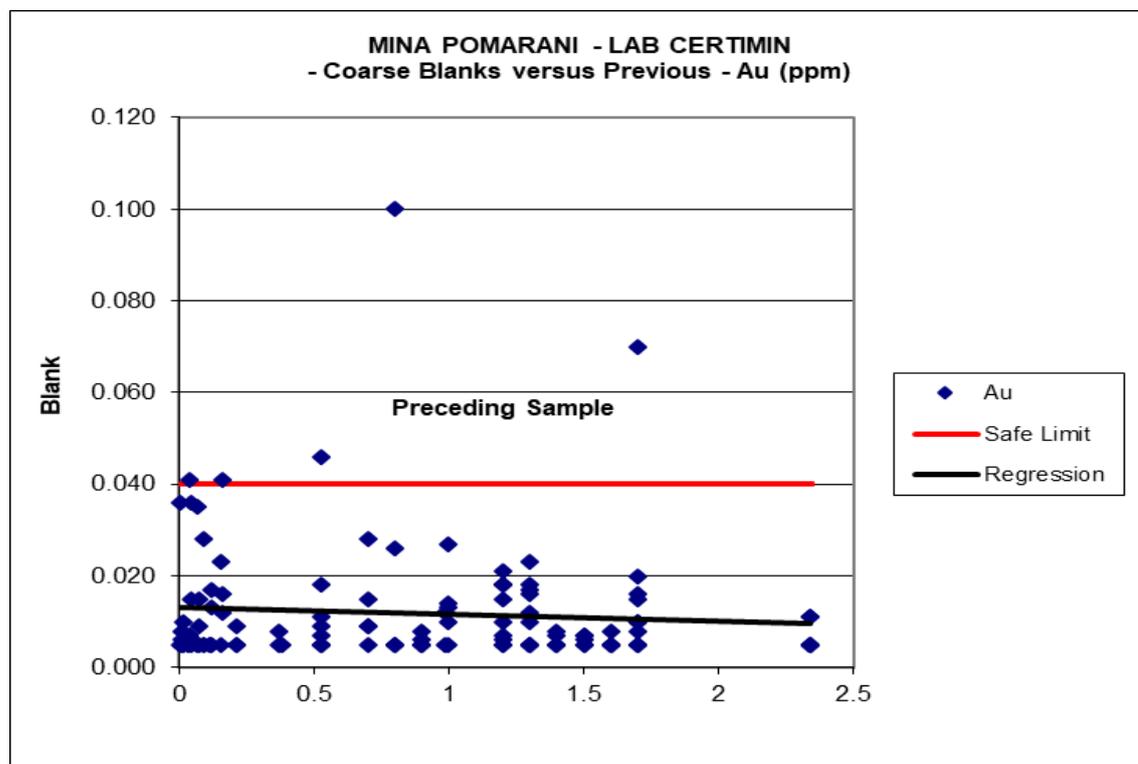
**Figura 44.** Datos de muestras blancos finos Lab. Certimin



**Blanco grueso.** - En mina de Pomarani en la campaña 2010-2013 se envió a laboratorio Certimin, se utilizó ladrillo; la inserción fue de acuerdo al Protocolo de control de calidad.

Se insertaron un total de 124 muestras blanco grueso, los cuales se plotearon en un diagrama de dispersión de muestra blanca versus muestra anterior para poder verificar la preparación de las muestras.

De acuerdo a los resultados en el elemento de Au\_ppm hay 5 muestras por encima del límite de detección; de acuerdo a los estándares establecidos de AMEC; dice que puede haber una variación entre el 2% y 5% de muestra por encima del límite de error por lo tanto diremos que estas 5 muestras no representan ningún error ya que se encuentra dentro lo establecido por AMEC, (Ver Figura N° 46).



**Figura 46.** Datos de muestras blancos grueso Lab. Certimin



### 5.1.4.3. Análisis de muestras duplicados (Gemelas)

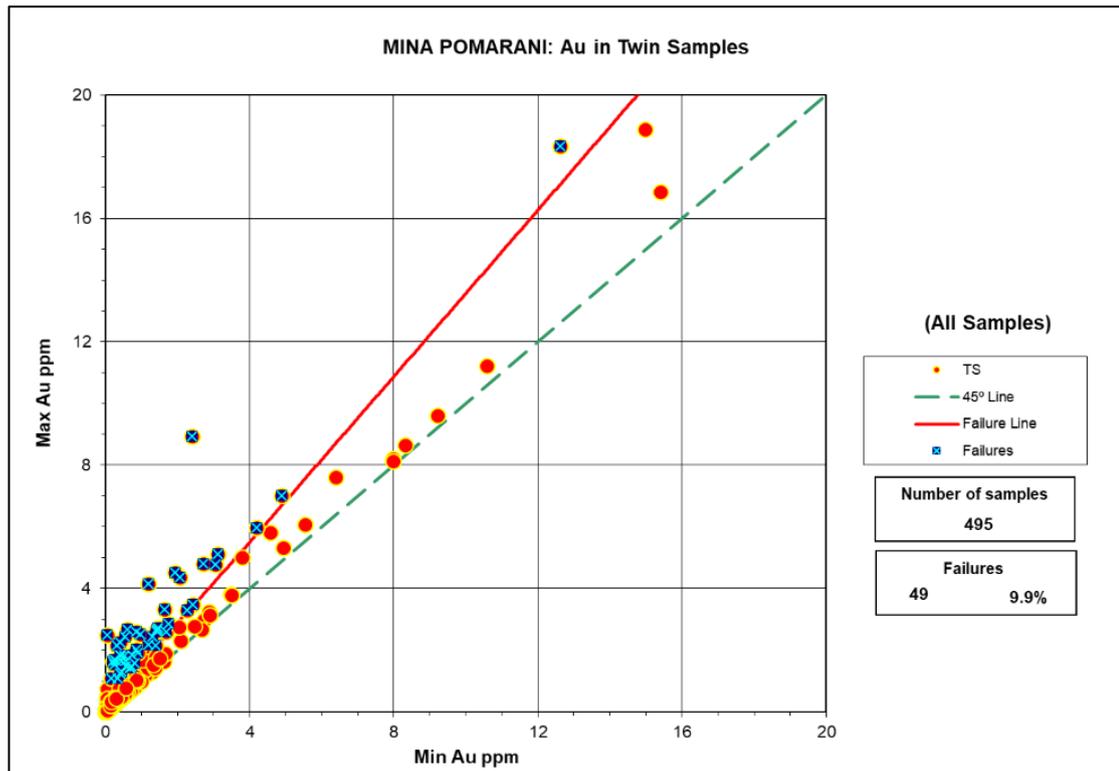
Se insertaron un total de 495 muestras duplicadas de muestras para Au, de muestras de control, (ver tabla N° 7).

Las muestras fallidas son: para Au es de 9.9%; (ver Tabla 8). Por lo tanto de acuerdo a AMEC diremos que estamos muy al límite de la aceptación de muestreo, el nivel de aceptable de admisibilidad se alcanza cuando el nivel de rechazos no exceden el 10% de los pares.; AMEC).

**Tabla 8.** Reporte de duplicados

<b>MINA POMARANI</b>				
<b>Twin Samples</b>				
<b>Element</b>	<b>Pairs</b>	<b>Failures</b>	<b>Failures (%)</b>	<b>c Factor</b>
<b>Au</b>	495	49	9.9%	20

El gráfico de reproducibilidad para el Au\_ppm de las muestras indica 49 muestras fallidas de un total de 495 muestras, representando el 9.9% de fallos; Significa, según los parámetros recomendados por AMEC, que el muestreo realizado esta dentro del límite de aceptación. (Ver Figura N° 47).



**Figura 47.** Muestras duplicadas para Au ppm

#### 5.1.4.4. Análisis de muestras de estándares

En la mina Pomarani, se utilizó materiales homogéneos con valores convencionalmente verdaderos certificados por ROCKLABS y CDN RESOURCE LABORATORIES Ltd. laboratorio canadiense proveedor certificado de CDN, que se insertó en un orden desde el inicio del análisis, el cual nos permite evaluar y controlar si el proceso se realiza con la veracidad de los resultados reportados; los estándares usados son: STD – SE58, STD - SH55, STD – OxJ68, STD – HiSilK2, CDN – GS – P4B, CDN – GS – 3K y CDN – GS – 6D.

Todas las muestras se graficaron por método de dispersión dentro del rango de PR  $\pm 2DE$  (Desviación Estándar), para los cuales no se identificaron los valores atípicos. Los valores de sesgo son los siguientes:

- Para el estándar SE58: **0.35 % - Au.**

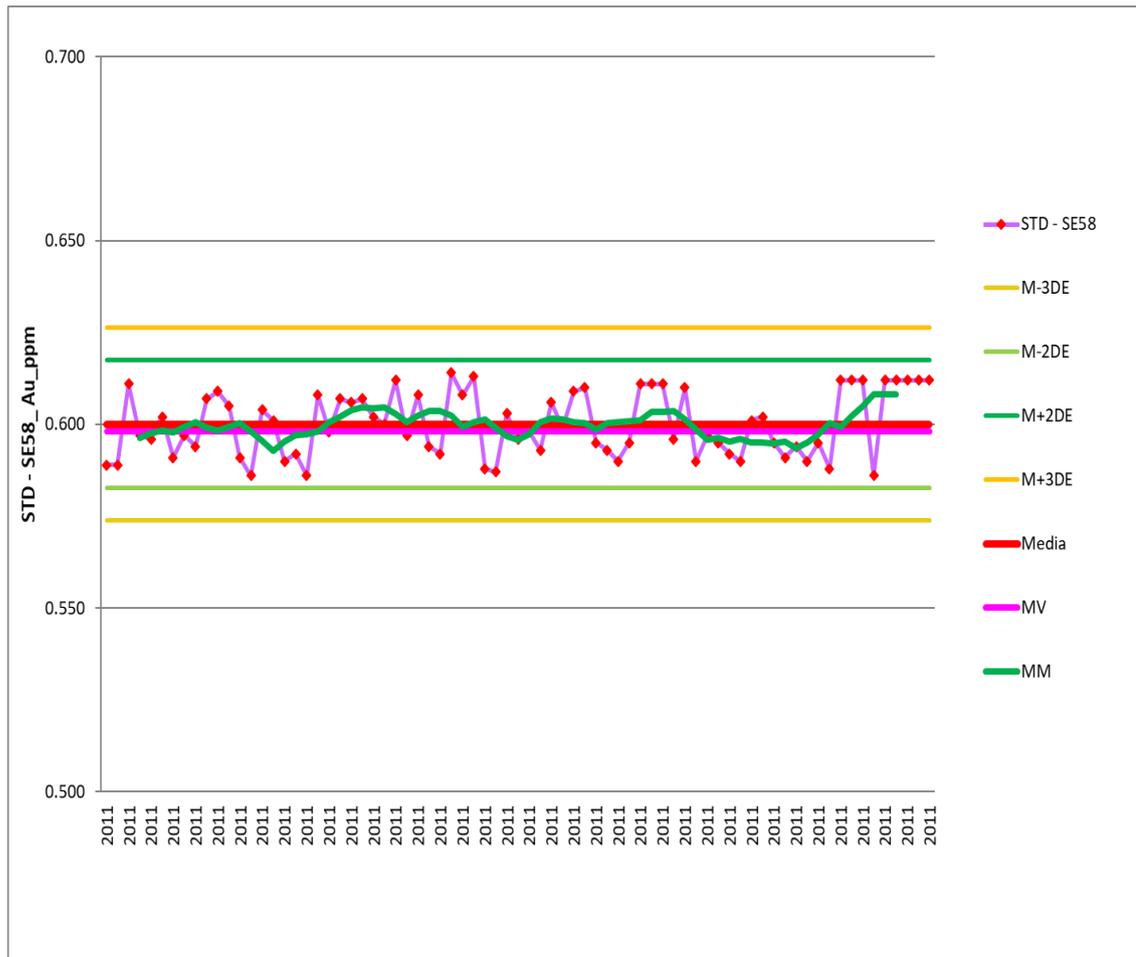


- Para el estándar SH55: **-0.13 % - Au.**
- Para el estándar OxJ68: **1.17% - Au.**
- Para el estándar HiSilK2: **-0.22 % - Au.**
- Para el estándar CDN-GS-P4B: **5.29 % - Au.**
- Para el estándar CDN-GS-3K: **-0.78 % - Au.**
- Para el estándar CDN-GS-6D: **0.25 % - Au.**

**Estos resultados se consideran dentro de los límites de precisión aceptable (bueno: 0 a  $\pm 5\%$ ; razonable:  $+5$  a  $+10\%$  o  $-5\%$  a  $-10\%$ ; no aceptable:  $> 10\%$ ,  $< /10\%$ ).**

#### **STD – SE58**

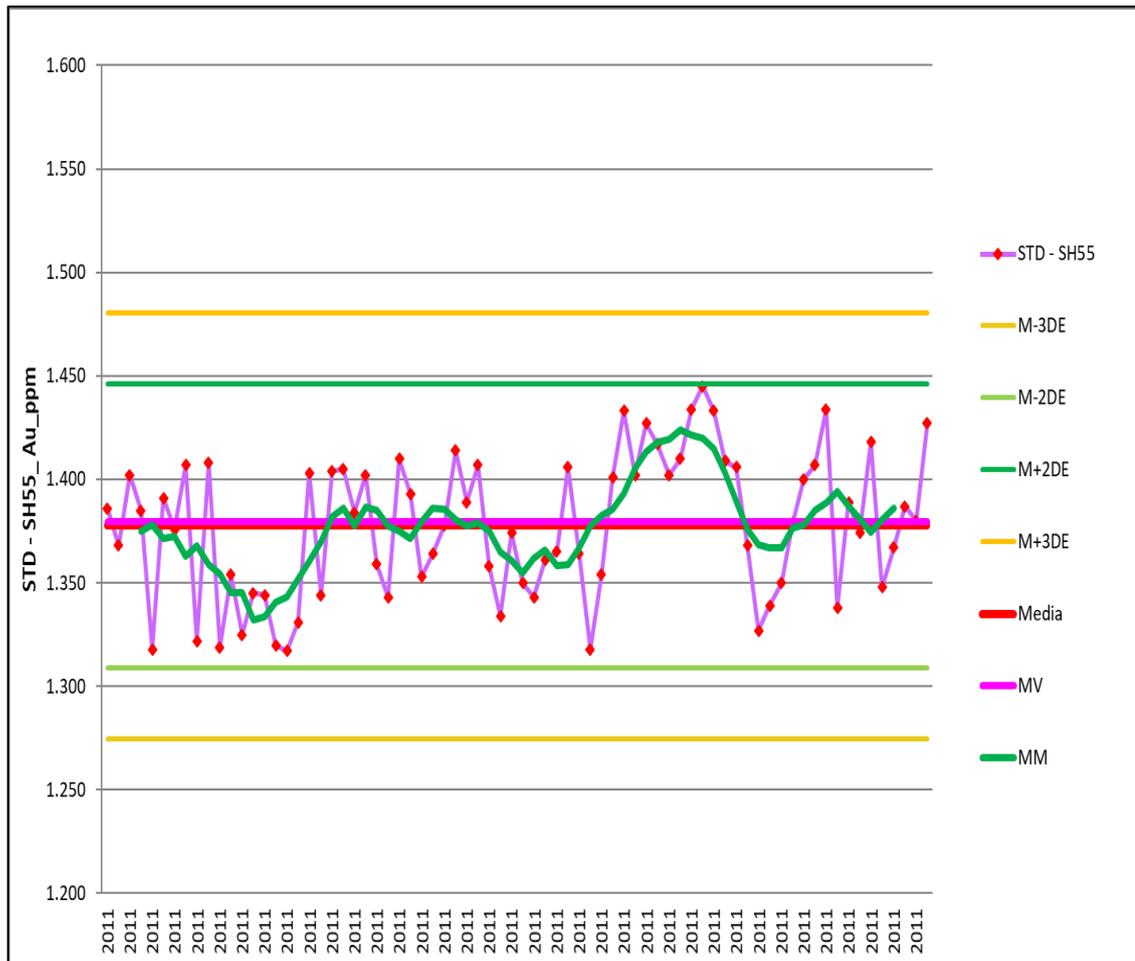
Se insertaron un total de 75 Estándares “SE58”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 75 muestras estándar (SE58) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 0 muestras está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **SE58: 0.35 % y 1.45 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 48).



**Figura 48.** Muestras estándares SE58 Au ppm

### STD – SH55

Se insertaron un total de 74 Estándares “SH55”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 74 muestras estándar (SH55) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 0 muestras está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **SH55: -0.13 % y 2.49 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 49).



**Figura 49.** Muestras estándares SH55 Au ppm

### STD – OxJ68

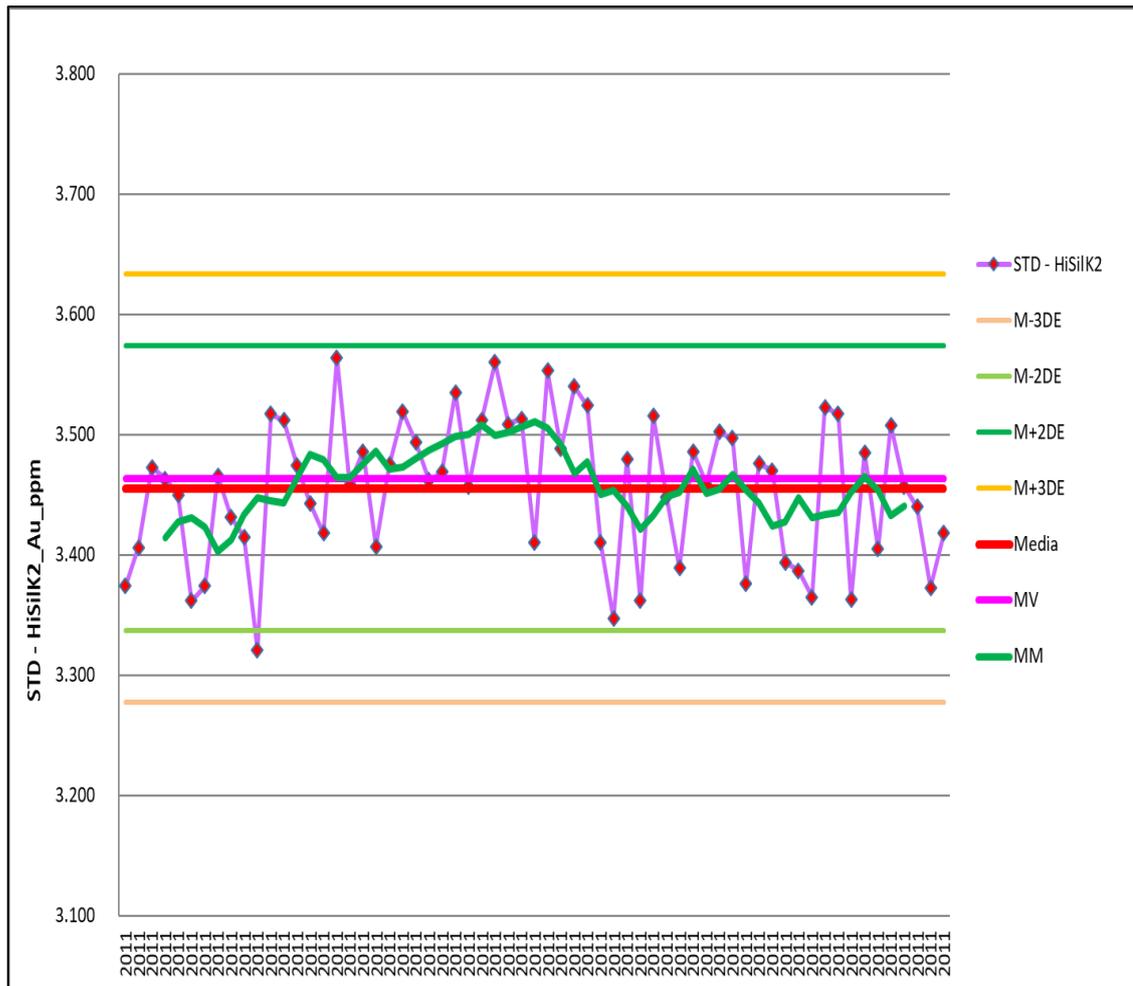
Se insertaron un total de 24 Estándares “OxJ68”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 24 muestras estándar (OxJ68) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 1 muestra está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **OxJ68: 1.17 % y 3.30 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 50).



**Figura 50.** Muestras estándares OxJ68 Au ppm

### STD – HiSilK2

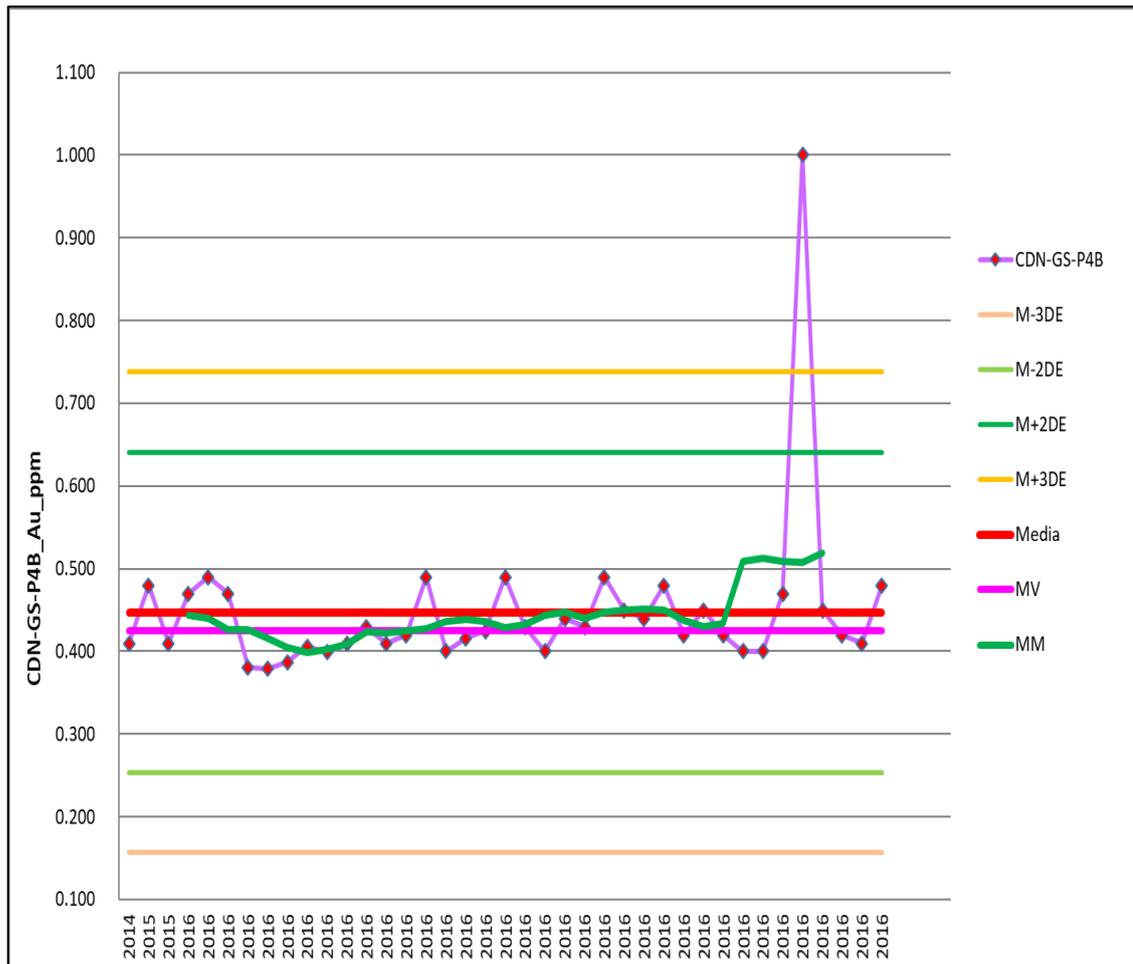
Se insertaron un total de 63 Estándares “HiSilK2”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 63 muestras estándar (HiSilK2) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 1 muestra está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **HiSilK2: -0.22 % y 1.71 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 51).



**Figura 51.** Muestras estándares HiSilK2 Au ppm

### CDN - GS - P4B

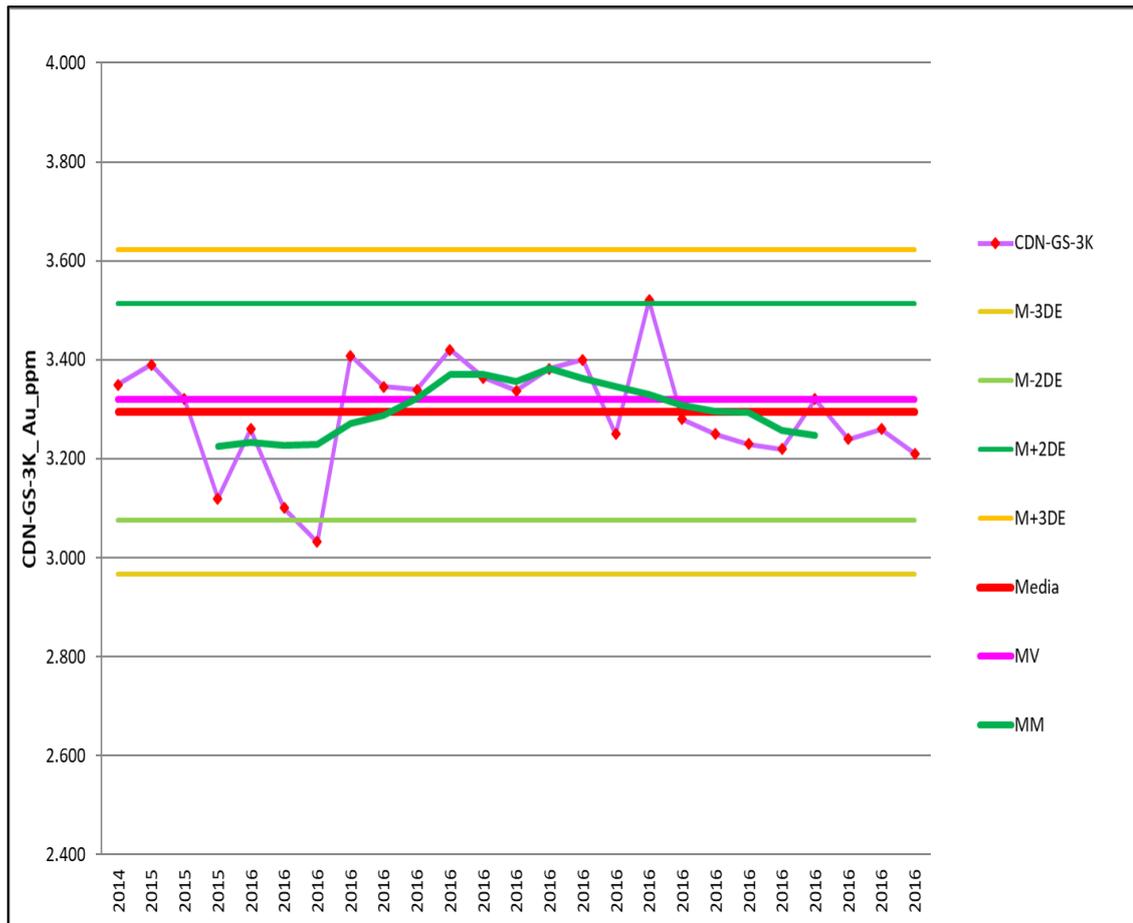
Se insertaron un total de 39 Estándares “CDN-GS-P4B”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 39 muestras estándar (CDN-GS-P4B) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 1 muestra está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en CDN-GS-P4B: **-5.29 % y 22.77 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 52).



**Figura 52.** Muestras estándares CDN-GS-P4B Au ppm

### CDN - GS – 3K

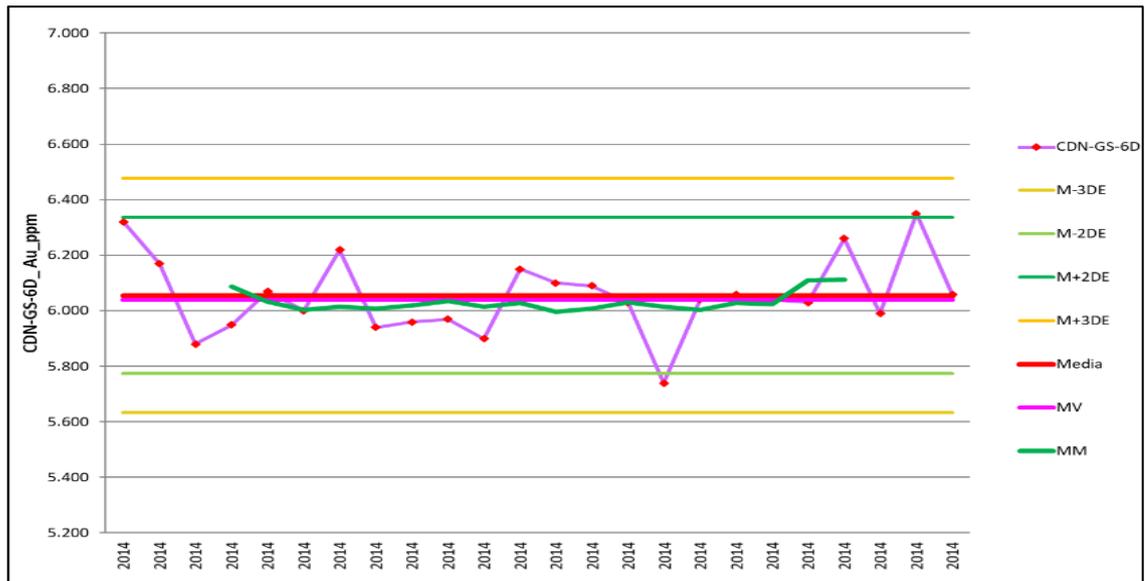
Se insertaron un total de 25 Estándares “CDN-GS-3K”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 25 muestras estándar (CDN-GS-3K) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 2 muestras está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **CDN-GS-3K: -0.78 % y 3.32 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 53).



**Figura 53.** Muestras estándares CDN-GS-3K Au ppm

### CDN - GS – 6D

Se insertaron un total de 24 Estándares “CDN-GS-6D”, los cuales se han ploteado en un diagrama de dispersión de muestra para poder verificar el análisis en laboratorio, Los resultados nos indican que de 24 muestras estándar (CDN-GS-6D) enviadas, nos indican que para el Au\_ppm; 2 muestras está fuera de la tolerancia establecida ( $PR \pm 2SD$ ), el cual nos define “Límites de advertencia” aceptables; el sesgo en **CDN-GS-6D: -0.25 % y 2.32 % de desviación para Au**, nos indica una buena exactitud en los resultados. (Ver Figura N° 54).



**Figura 54.** Muestras estándares CDN-GS-6D Au ppm

## 5.2. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

Cori Puno realiza estudios exploratorios (Cartografiado y muestreo geoquímico), en los sectores de Santa Rosa, Pomarani, Huancasayani, Pulluconoyoc y Lomada.

### **Cartografiado geológico superficial mina Pomarani**

Este sector presenta ocurrencia de mineralización aurífera predominantemente asociadas a vetas, venillas de cuarzo gris y sulfuros (Po – Py), en los planos de foliación de las rocas de la formación Sandia medio, presenta intenso fracturamiento y fallamiento con fallas de alto angulo teniendo el sistema principal un azimuth  $335^{\circ}$  -  $345^{\circ}$  Buzamiento  $55^{\circ}$  -  $65^{\circ}$ , el segundo sistema es perpendicular azimuth  $69^{\circ}$  Buzamiento  $82^{\circ}$ . El azimuth dominante de los estratos en la zona estudiada  $120^{\circ}$  -  $140^{\circ}$  y buzamiento de  $9^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  SW.

Se tiene la presencia de un horizonte mineralizado de una potencia promedio de 50 m. dentro de este horizonte tenemos 2 mantos mineralizados.

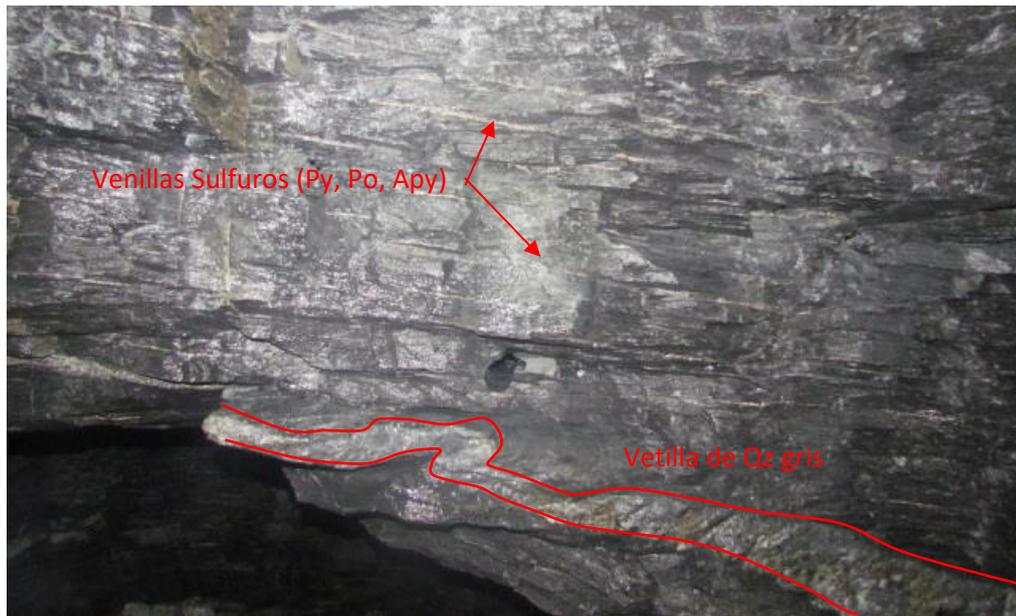
Roca encajónante está compuesta de rocas de pizarra/filitas, intercaladas con metacuarcitas. La presencia de fallas tensionales es muy importante, ya que en este sector hay concentraciones de valores de oro.



**Figura 55.** Mantos mineralizados en el sector Pomarani (en amarillo)

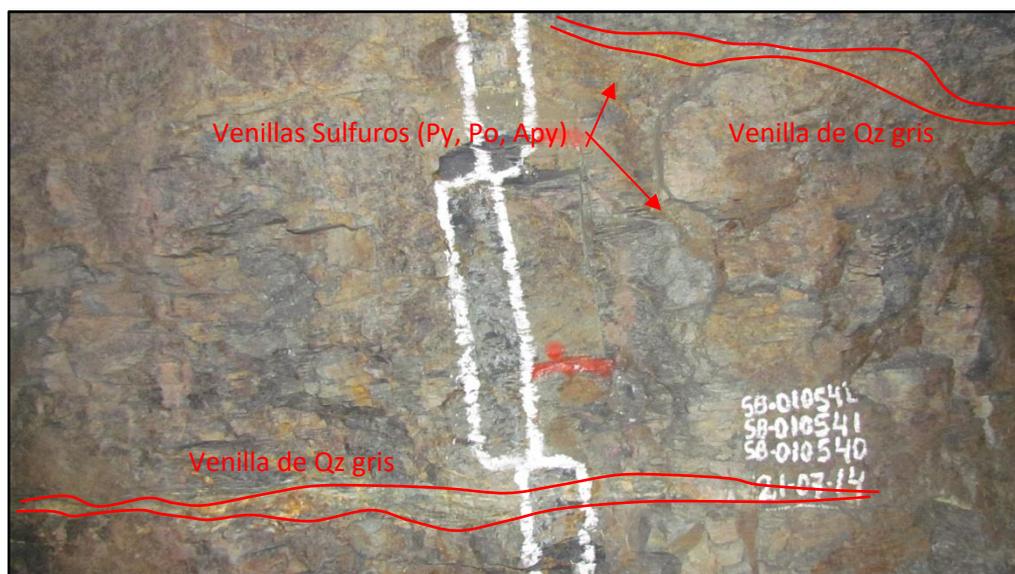
### **Cartografiado geológico subterráneo mina Pomarani**

**Nivel 4956:** En este nivel con la exploración de cruceros y galerías se logró identificar techo y piso de 2 mantos principales mineralizados, además se determinó clavos mineralizados (Cx 455), leyes hasta 34.64 g/t Au, con mineralización de vetillas de cuarzo gris con diseminación y venillas de sulfuros masivo de pirita, pirrotita y arsenopirita, paralelas a la estratificación. (Ver Lamina N° 07).



**Figura 56.** Manto 1 mineralizado con presencia venillas Qz. gris, venillas sulfuros (Po y Py)

**Nivel 4949:** El objetivo de la exploración es interceptar y definir el techo y piso de los mantos mineralizados, el cual se exploró con cruceros y galerías, en el cual se confirmó la continuidad de los 2 mantos principales, con mineralización de venillas de cuarzo gris con diseminación y venillas esporádicas de sulfuros de pirita, pirrotita, OxFe, paralelas a la estratificación de la roca. (Ver Lamina N° 08).



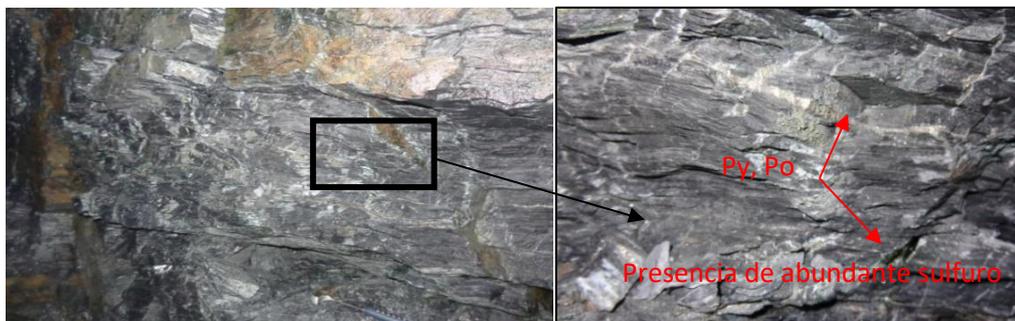
**Figura 57.** Manto 2 mineralizado con presencia de venillas de Qz gris – venillas esporádicas de sulfuros (Py, Po, Oxfe)

**Nivel 4936:** Se exploró con crucero y galerías, con el cual se identificó el techo y piso de las 2 estructuras mineralizadas, el cual nos indica la profundización de los mantos mineralizados, con mineralización de venillas de cuarzo gris con diseminación y venillas de sulfuros de pirita, pirrotita y arsenopirita, Oxfe, paralelas a la estratificación. (Ver Lamina N° 09).



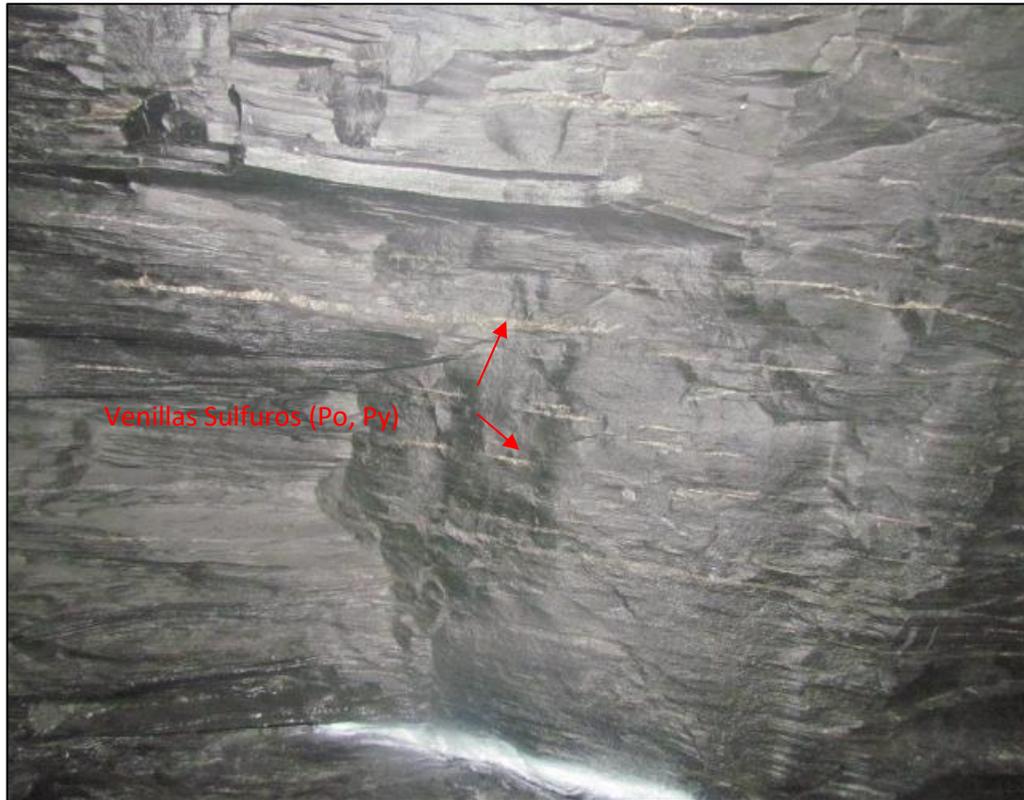
**Figura 58.** Manto 2, donde se tiene definido el techo del manto

**Nivel 4925:** Con el cartografiado geológico de los cruceros y galerías se identificó las zonas de interés económico, además se delimito el techo y piso de los 2 mantos principales que está profundizando desde la superficie, donde se aprecia la mineralización en hábitos lenticulares, diseminado y presenta vetillas esporádicas de sílice gris, cuarzo blanquecino y sulfuros (Py – Po), paralelas a la estratificación. (Ver Lamina N° 10).



**Figura 59.** Manto 1, Frente de corrida, donde se observa la cantidad de sulfuros

**Nivel 4915:** En este nivel se cartografió donde se logró interceptar los mantos principales con la secuencia de mineralización económica, con presencia de vetillas finas de sulfuros como (Po – Py), paralelas a la estratificación, y venillas de cuarzo gris – cuarzo blanco. (Ver Lamina N° 11).



**Figura 60.** Manto 2 mineralizadas con presencia vetillas de sulfuros (Po - Py)

**Nivel 4892:** El objetivo de la exploración de este nivel fue definir la continuidad de la mineralización hacia la profundidad y hacia el límite de la concesión (Área de explotación artesanal), donde se identificaron los 2 mantos principales, lo que indica que sigue la profundización de la mineralización, se encuentra intruidas por vetillas lenticulares de cuarzo gris con sulfuros (Pot. 0.05 – 0.10 m.) y diseminaciones de lentes de sulfuros (Py – Po) paralelas a la estratificación. (Ver Lamina N° 12).



**Figura 61.** Manto 1, donde se tiene definido el techo del manto

### 5.2.1. Interpretación de secciones geológicas

De acuerdo a la información obtenida durante la perforación diamantina, se ha logrado identificar características importantes tanto: litológicas, mineralógicas y estructurales. Esta información será utilizada para realizar la interpretación gráfica y visual a partir de planos en planta (Nv. 4892 a 4956), tanto geológico y mineralógico, generando secciones transversales.

**Mantos.** - Una vez recopilada y validada la información obtenida del logueo geológico, muestreo, análisis y resultados obtenidos de laboratorio, se procede a elaborar secciones transversales a la estructura mineralizada, con toda la información de superficie y subterráneo, interpretando dos mantos principales de potencia variable de 6 a 20 metros, con una dimensión de 350 m largo x 300 m ancho, y pequeños clavos esporádicos entre el manto 1 y manto 2 (Ver Laminas N° 22, 23 y 24).



La interpretación de las secciones geológicas se realizó tomando en cuenta las consideraciones por ley mínima del elemento de Au y controles mineralógicos.

**Tabla 9.** Ley mínima para la interpretación geológica

<b>Elementos</b>	<b>Ley mínima</b>
Au	1 gr/t

## **5.2.2. Modelamiento**

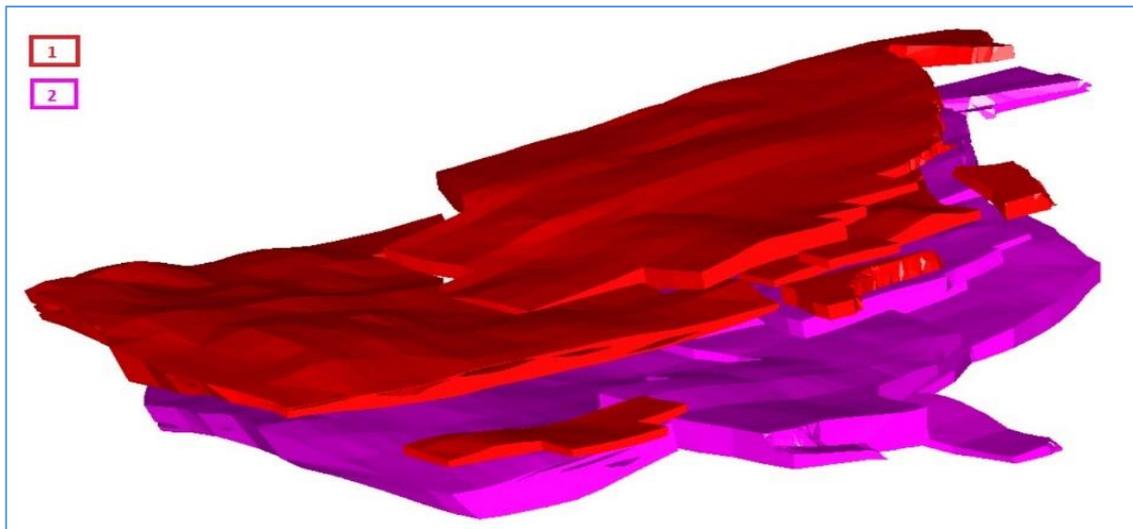
### **5.2.2.1. Modelamiento de los mantos de Pomarani**

Toda la información se almacena de manera ordenada y sistemática en tablas, es importante considerar parámetros y requerimientos que se necesita para trabajar con la información en los programas ArcGis y Minesight.

La caracterización tridimensional de la geometría y extensión de la Envoltente mineralizada es importante para la Estimación de Recursos minerales.

El modelamiento se basó en información geológica, topográfica y leyes de muestreo disponibles. El proceso se dividió en lo siguiente:

Se realizó el modelamiento de la envoltente mineralizada de los mantos en base a secciones geológicas interpretadas.



**Figura 62.** El modelamiento de la envolvente mineralizada fue dividido en 2 sectores o dominios, identificados por 1 y 2

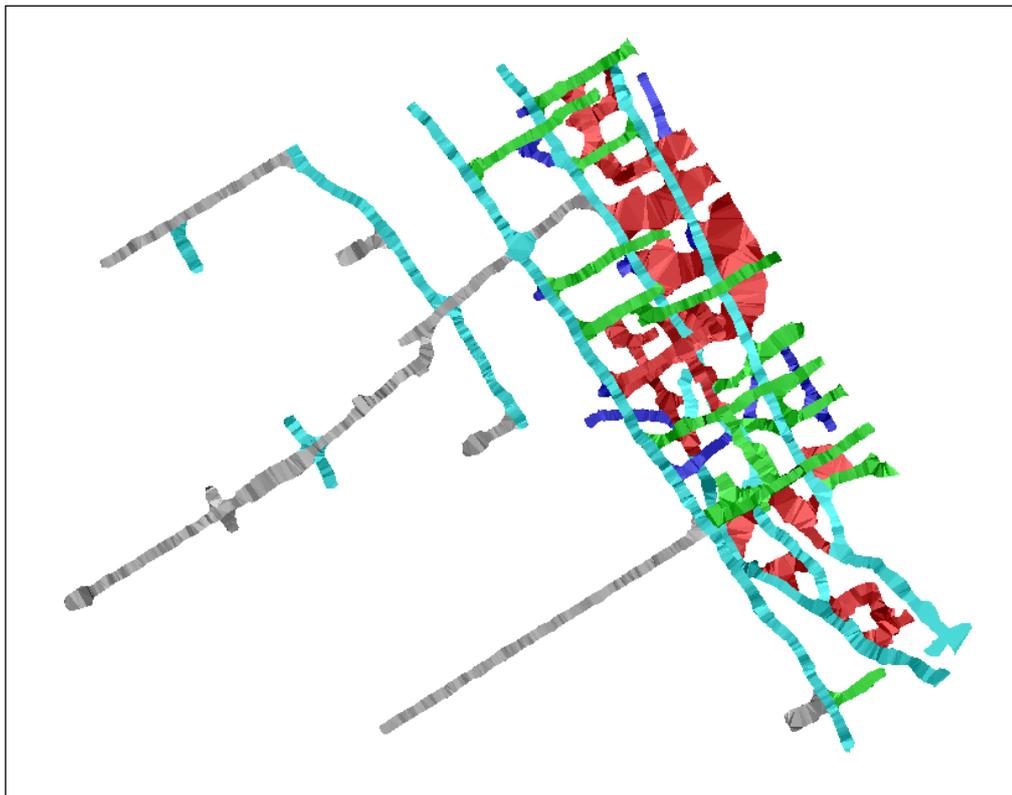
#### **5.2.2.2. Modelamiento del laboreo subterráneo**

Se modelaron todas las labores de Pomarani: Niveles, Cruceros, Galerías, Inclinaos, Tajos, Estocadas y Chimeneas.

Este trabajo se hizo con el fin de restar lo que ya hemos extraído de los Recursos a reportar.



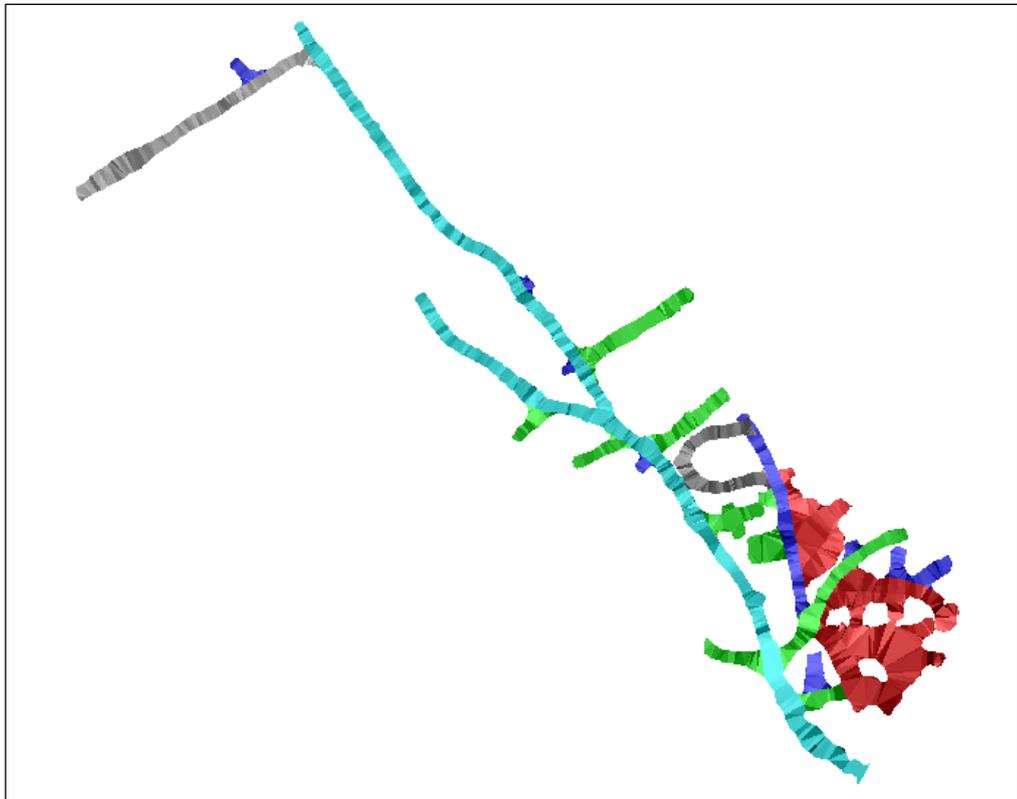
**Figura 63.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4956



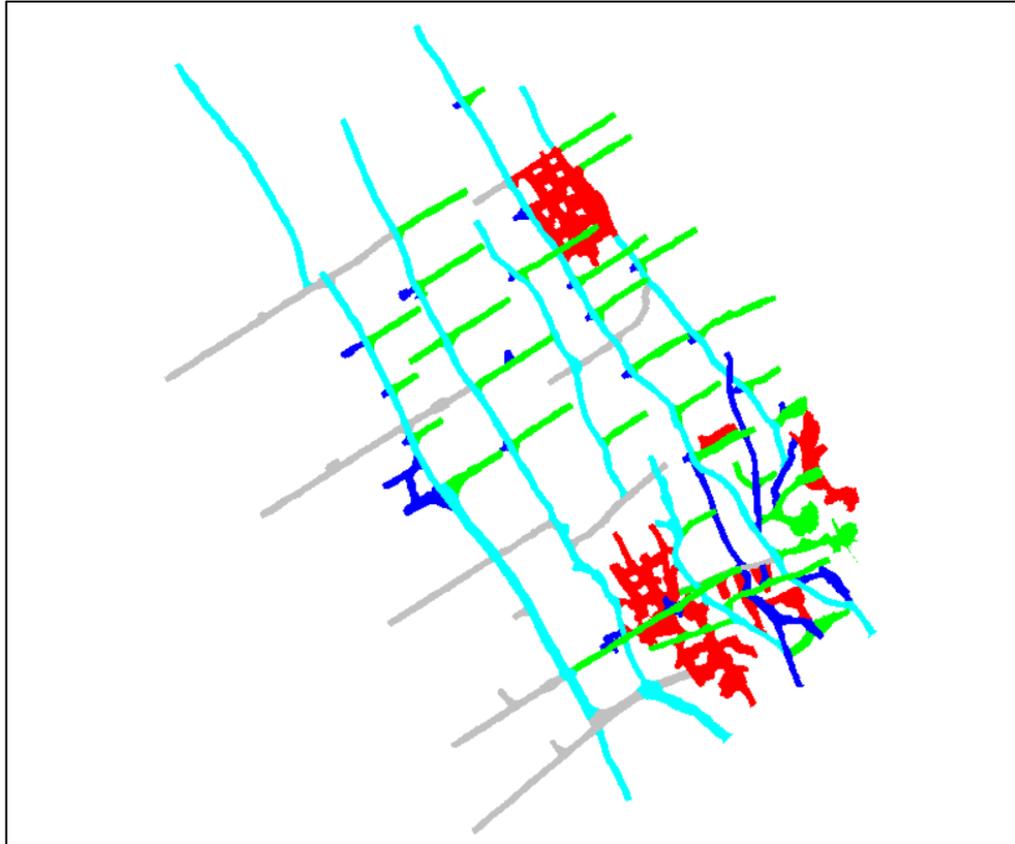
**Figura 64.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4949



**Figura 65.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4936



**Figura 66.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4925



**Figura 67.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4915



**Figura 68.** Labores subterráneo en 3D, Nivel 4892

### 5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y GEOESTADÍSTICO

El análisis estadístico y geoestadístico se realizó de manera conjunta para cada dominio, de esta forma se encontraron las características y parámetros de la variabilidad espacial que presentan el elemento Au.

#### 5.3.1. Composición de la base de datos

Toda la información procesada se compositó y codificó por dominios. Las muestras de sondajes, muestras de interior mina y muestras de BlastHole en superficie, estas fueron compositadas a 1.0 m para formar un conjunto de datos del mismo soporte que se pueden agrupar en el estudio estadístico.

#### 5.3.2. Análisis estadístico

La Estadística Básica implicó analizar los histogramas y gráficos de probabilidad acumulada para identificar las poblaciones y valores altos erráticos. Para restringir los valores altos erráticos en cada dominio se usó el parámetro “capping”, el cual sirvió para limitar las leyes de Oro. Las siguientes tablas muestran la Estadística descriptiva para cada soporte:

**Tabla 10.** Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 1 y 2)

<b>Univariate Statistics - Sondaje +Muestras</b>	
	<b>Au</b>
<b>Total Number of Samples Used</b>	43423
<b>Minimum Population Data point</b>	0.005
<b>Maximum Population Data point</b>	214.89
<b>Mean</b>	1.86
<b>Standard Deviation</b>	3.97
<b>Variance</b>	15.82
<b>Coefficient of Variation</b>	2.13

**Tabla 11.** Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 1)

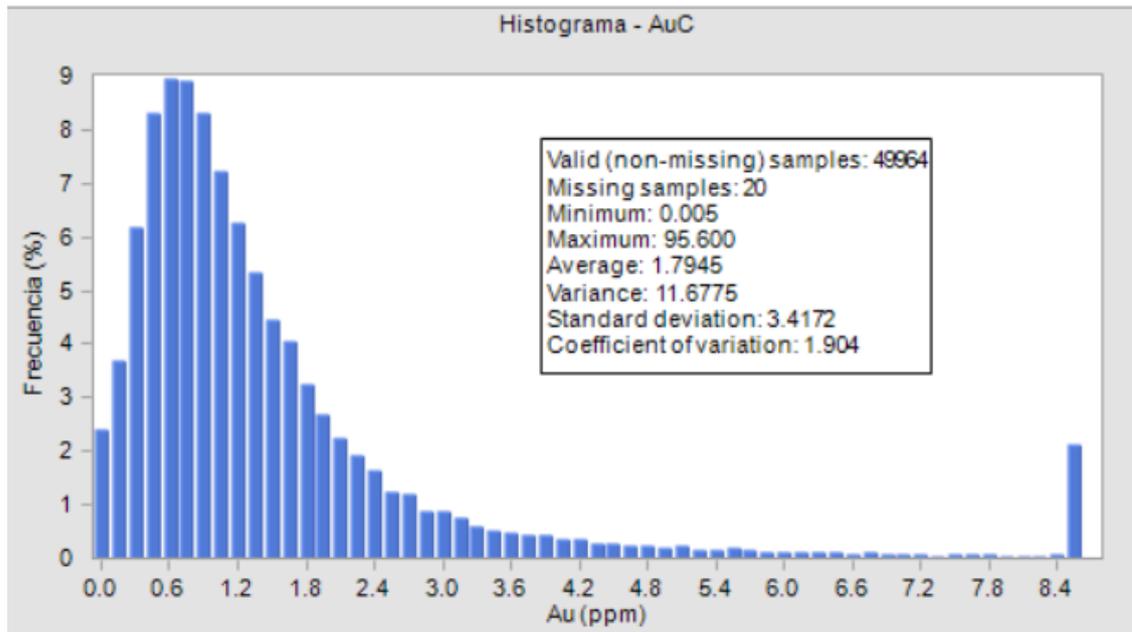
<b>Univariate Statistics - Sondaje +Muestras</b>	
	<b>Au</b>
<b>Total Number of Samples Used</b>	15,531
<b>Minimum Population Data point</b>	0.02
<b>Maximum Population Data point</b>	67.54
<b>Mean</b>	1.70
<b>Standard Deviation</b>	2.89
<b>Variance</b>	8.34
<b>Coefficient of Variation</b>	1.69

**Tabla 12.** Resumen estadístico de las variables en estudio (Manto 2)

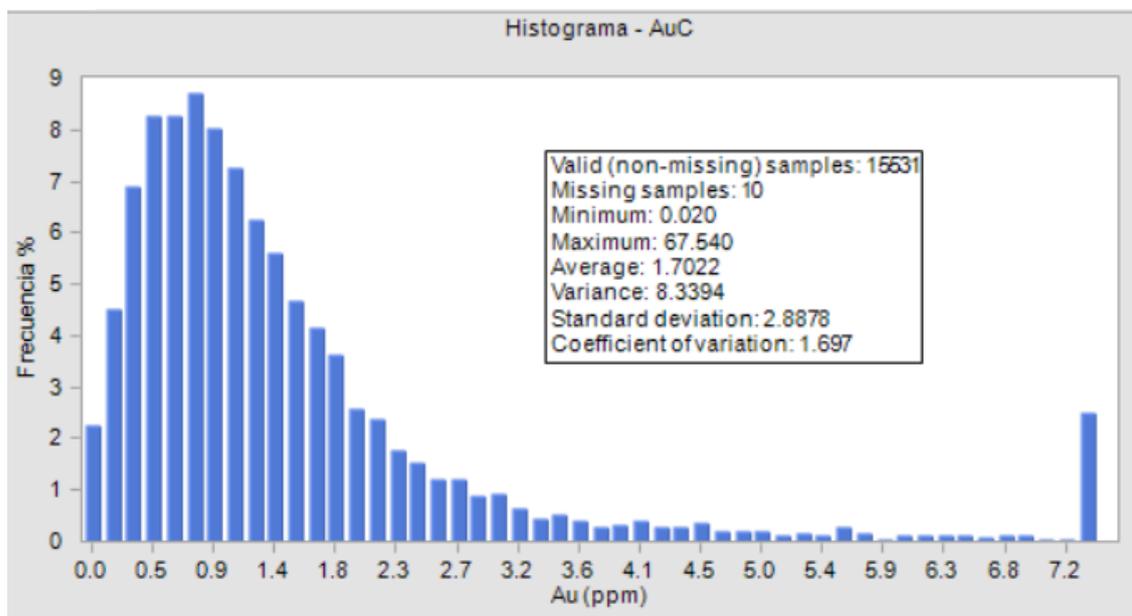
<b>Univariate Statistics - Sondaje +Muestras</b>	
	<b>Au</b>
<b>Total Number of Samples Used</b>	34,433
<b>Minimum Population Data point</b>	0.005
<b>Maximum Population Data point</b>	95.60
<b>Mean</b>	1.84
<b>Standard Deviation</b>	3.64
<b>Variance</b>	13.25
<b>Coefficient of Variation</b>	1.98

### **Histogramas y curvas de probabilidades**

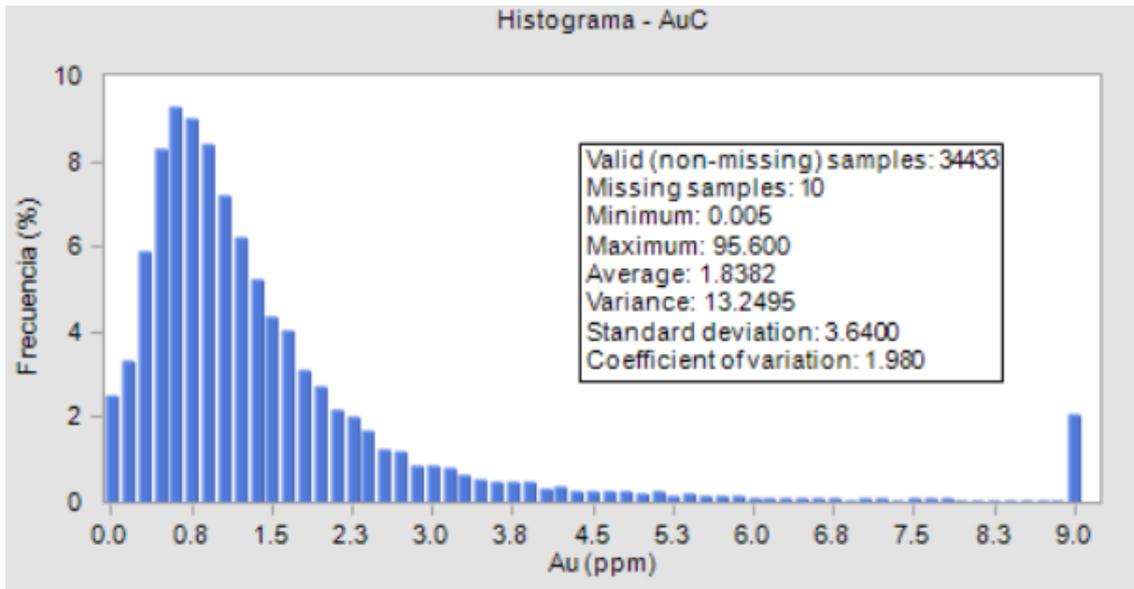
Se han realizados graficos de histogramas y curvas de probabilidades para cada estructura mineralizado, con los histogramas se verifica el comportamiento normal o log normal de los datos, su media, moda, varianza y se identifican los valores extremos. (Ver Figura N° 69, 70 y 71).



**Figura 69.** Histograma normal del manto 1 y 2

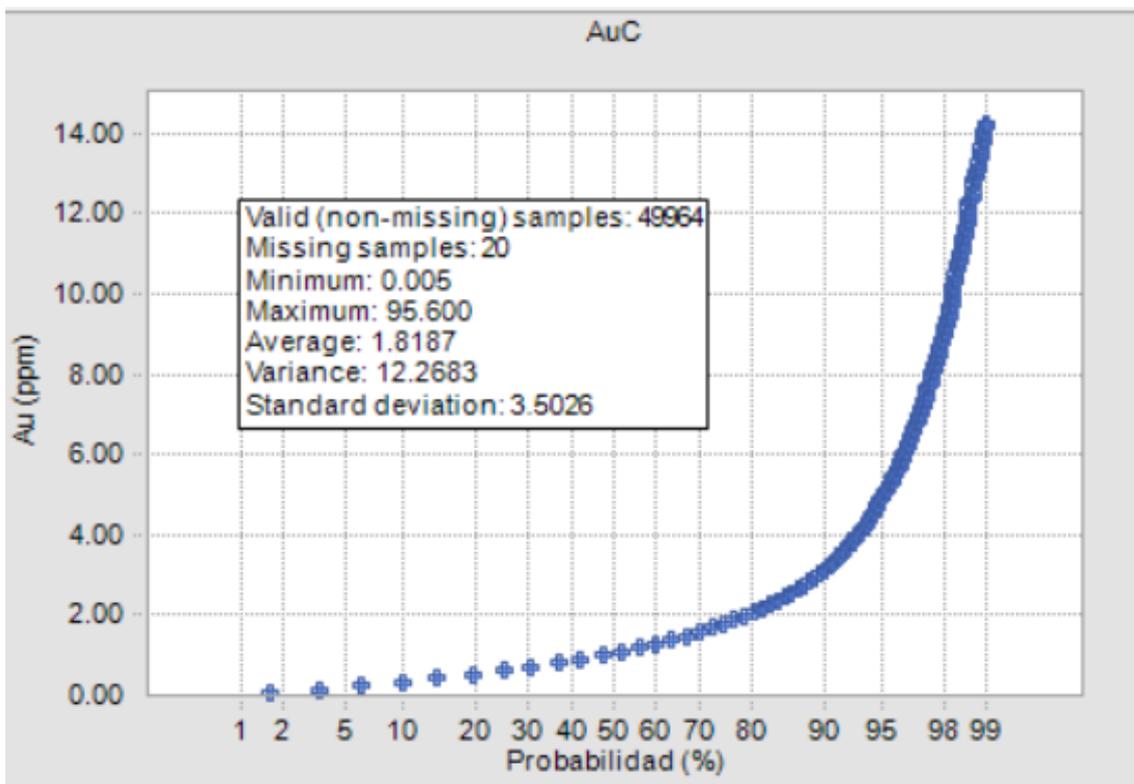


**Figura 70.** Histograma Normal del manto 1

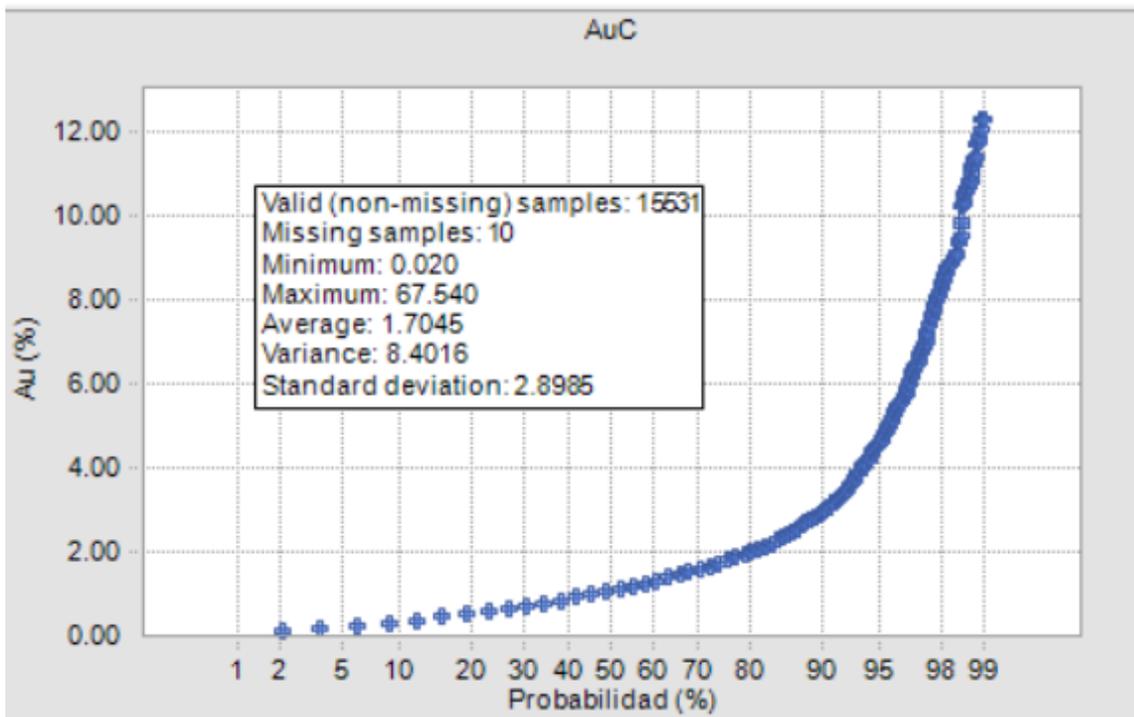


**Figura 71.** Histograma Normal del manto 2

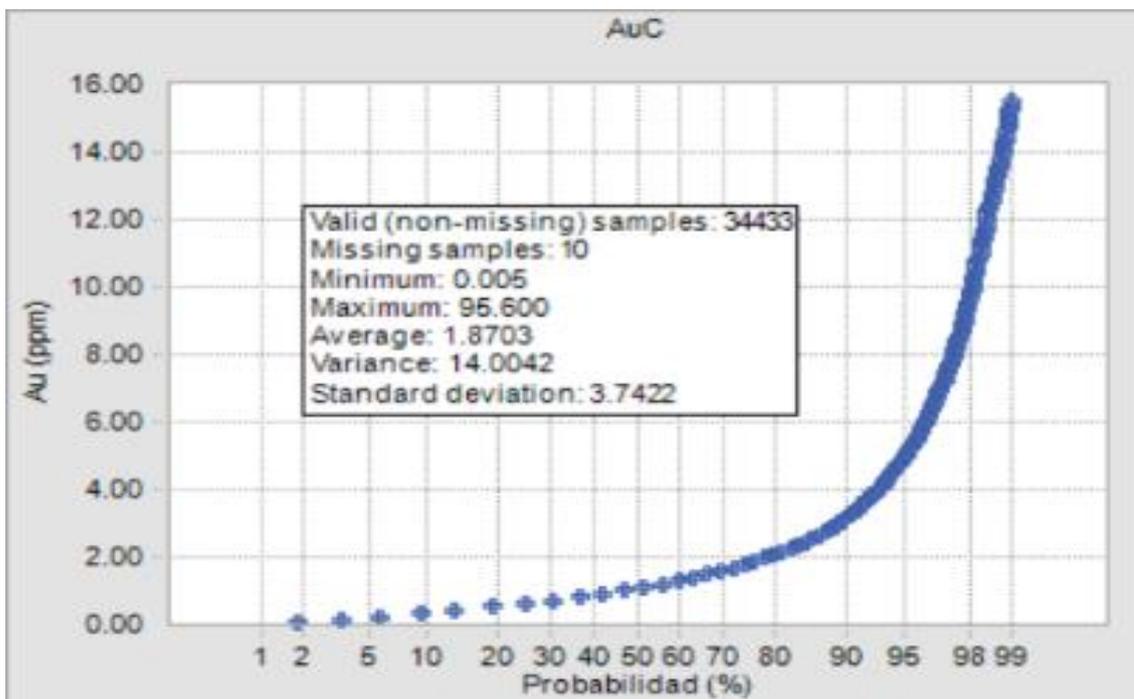
Con la curva de probabilidad se define los límites de corte de mineral, con el fin de disminuir el coeficiente de variación de la data, minimizar la variabilidad al realizar la variografía y de no sobreestimar los valores medios del depósito al realizar la interpolación. (Ver Figura N° 72, 73 y 74).



**Figura 72.** Acumulación de probabilidad del manto 1 y 2



**Figura 73.** Acumulación de probabilidad del manto 1



**Figura 74.** Acumulación de probabilidad del manto 2

### 5.3.3. Resultados del análisis estadístico – Capping al 95%

Este índice de confiabilidad nos permite restringir su influencia en un alcance menor para aquellos que sobrepasan los umbrales en la estimación.

**Tabla 13.** Leyes de corte

<b>Estructura</b>	<b>Au (gr/ton)</b>
Mantos 1 y 2	8.82
Manto 1	7.50
Manto 2	9.35

### 5.3.4. Análisis geoestadístico

El Análisis Geoestadístico se basó en el análisis de variogramas experimentales, determinando las direcciones favorables de la mineralización y la distancia de influencia que tiene el Oro.

#### 5.3.4.1. Variogramas

Para todas las estructuras mineralizadas de forma tabular sus ejes de anisotropía siempre se encontrarán en el plano que determina el rumbo y buzamiento de la estructura mineralizada.

Un modelo matemático con efecto pepita adecuadamente ajustado al variograma experimental en la dirección de los sondajes, fue el criterio base.

Los resultados de la variografía se muestran en los siguientes Figuras:

### Correlograma Au

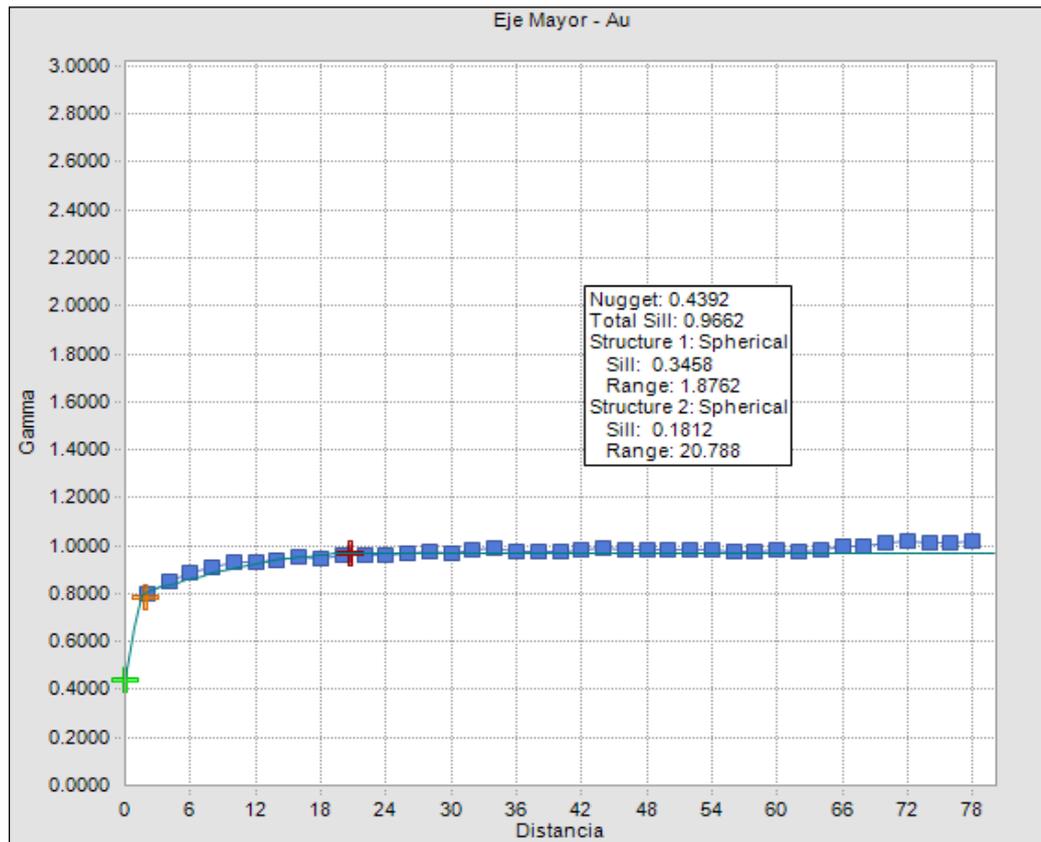


Figura 75. Variograma Eje Mayor (Y)

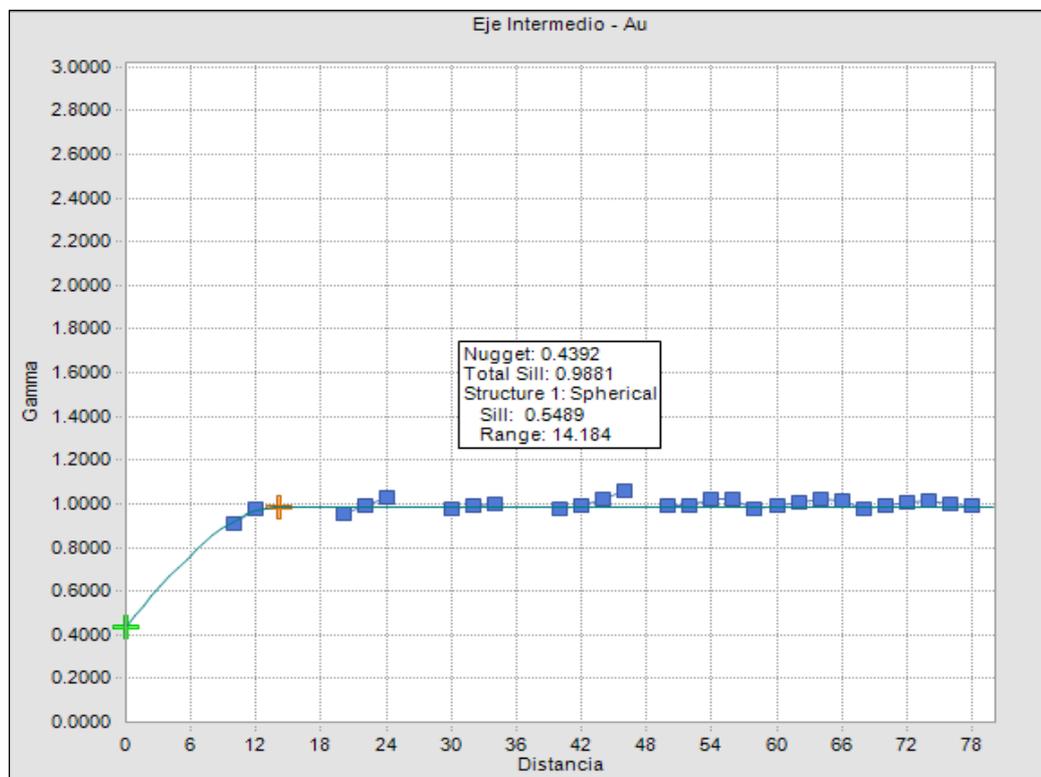
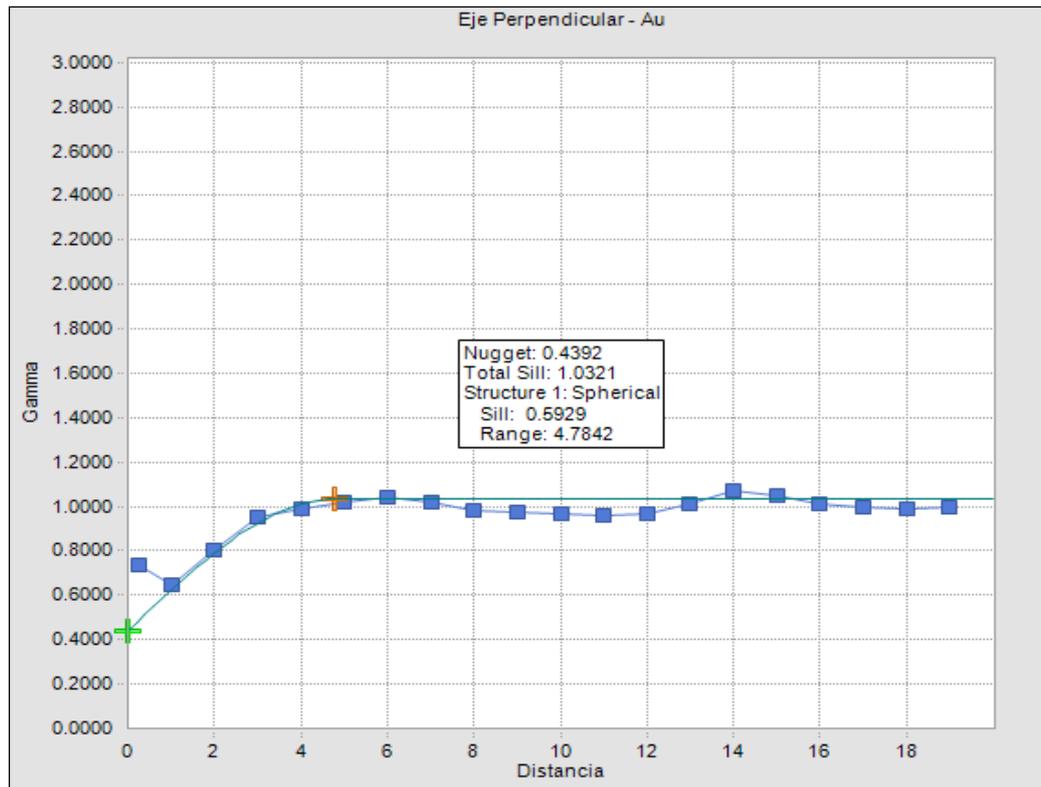


Figura 76. Variograma Eje Menor (X)



**Figura 77.** Variograma Eje Vertical (Z)

La siguiente tabla muestran un resumen de los parámetros obtenidos del variograma:

**Tabla 14.** Parámetros del variograma

Veta	Elemento	Eje	Azimet	Dip	Modelo	Pepita	Alcance	Meseta
		x	108.12	1.8	Spherical	0.4392	14.18	0.9881
Mantos	Au	y	17.83	9.07	Spherical	0.4392	20.78	0.9662
		z	288.04	83.87	Spherical	0.4392	4.78	1.0321

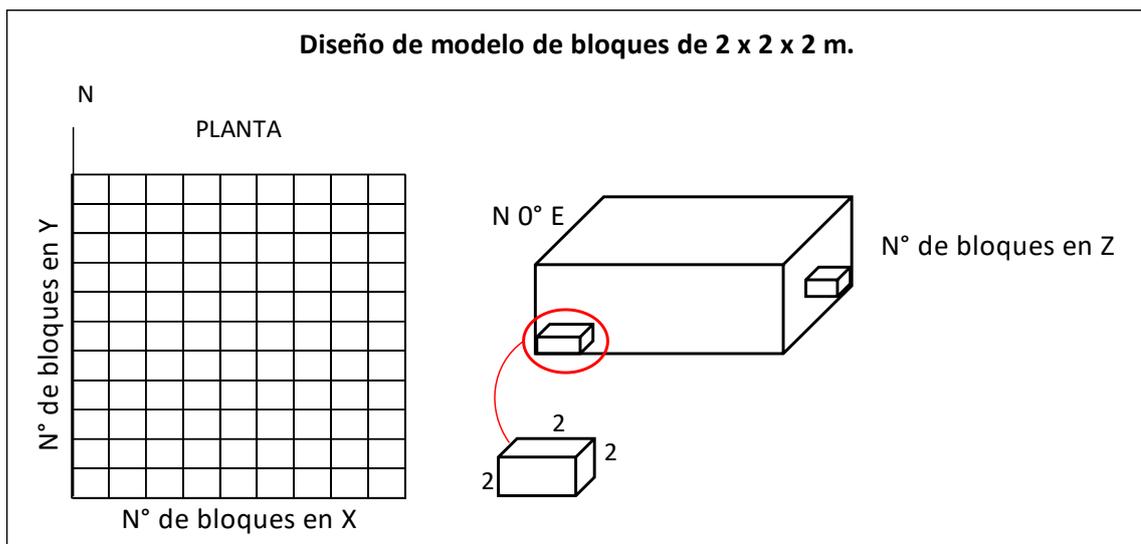
### 5.3.5. Modelo de bloques

El modelo de bloques consiste de celdas que rellenan todo el volumen de interés. Cada celda ocupa un volumen discreto al que se le puede asignar la información que se considere necesaria para describir e interpretar de manera precisa y exacta al depósito; se

puede evaluar todo el modelo de bloques o cualquier sección de éste y reportar el tonelaje y las leyes.

### 5.3.5.1. Geometría

Para el proyecto, las dimensiones de las celdas que conformarán el modelo de bloques estarán en función a la longitud de compuesto, características de la estructura a evaluar y los métodos tentativos de explotación; para el trabajo las dimensiones de las celdas serán de 2 metros en X, Y y Z, todos los bloques tendrán el mismo tamaño, esto con el fin de que los valores estimados tengan el mismo soporte. Ver Figura N° 78 y tabla N° 16.



**Figura 78.** Dimensionamiento del modelo de bloques

Para la configuración de modelo bloques del yacimiento de Pomarani, se determina el origen y dirección del modelo de bloques. Como se muestra en la tabla N° 15.

**Tabla 15.** Origen y orientación del modelo de bloques

Origen y orientación		
x	457200	mínimo
y	8387750	mínimo
z	4870	mínimo
rotación	0	

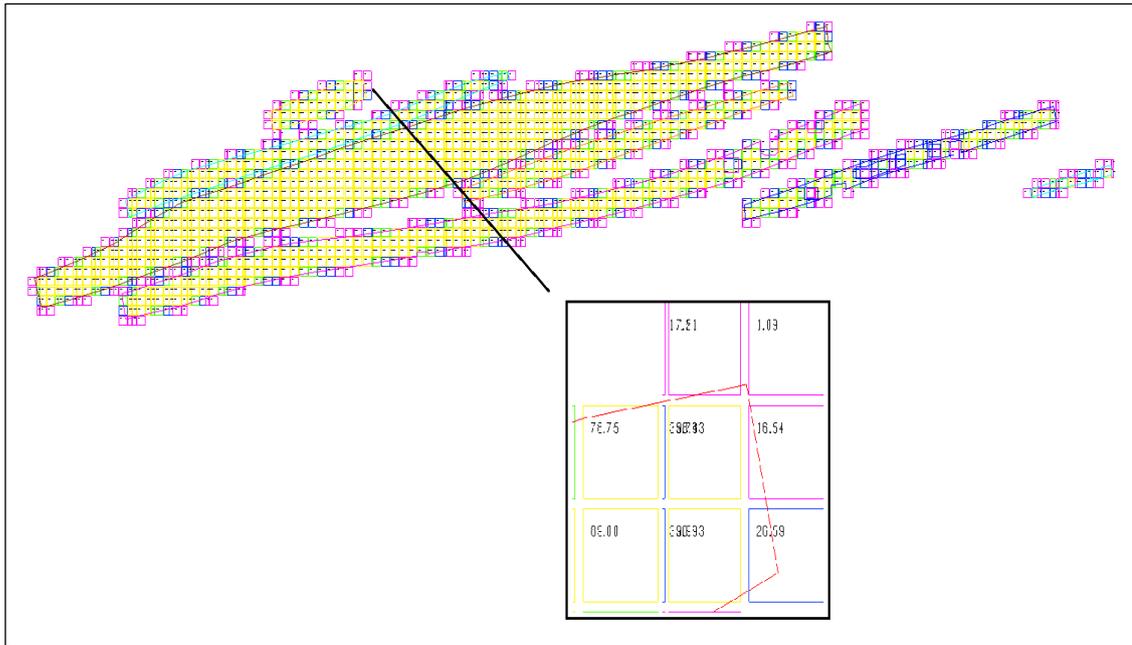
**Tabla 16.** Tamaño y cantidad de bloques

Tamaño de bloques		Numero de bloques
x	2	270
y	2	295
z	2	75

### 5.3.5.2. El modelo de porcentaje

Los sólidos modelados permitieron generar un modelo de bloques de porcentaje que permite delinear en el límite de los sólidos que cantidad es mineral. La zona de estudio presenta zonas minadas, por lo cual se tuvo que substraer un volumen.

La siguiente figura es una típica sección del modelo de bloques de porcentaje que restringe el volumen:



**Figura 79.** Mostrando el contenido de mineral en porcentajes

### 5.3.5.3. Densidad

Para la zona de Pomarani se mantuvieron los valores utilizados en operación mina.

Un promedio de 2.7 t/m<sup>3</sup>.

**Tabla 17.** Densidad de mineral

Densidad (t/m <sup>3</sup> )
2.7

### 5.3.5.4. Estimación de leyes y clasificación de los recursos

Las leyes de Oro fueron interpoladas dentro de un volumen restringido por el modelo de bloques de porcentajes, usando la técnica de Ordinary Kriging con elipsoides de búsqueda determinados según los parámetros que dan los variogramas.

El criterio para clasificar los recursos y reservas de minerales, se basó en el cruce de información de los parámetros obtenidos por los variogramas experimentales,

restricciones del número de compósitos, distancias de búsqueda y los controles geológicos que gobiernan la mineralización.

Las siguientes tablas y gráficos resumen los criterios para la clasificación de los recursos minerales:

**Tabla 18.** Parámetros de clasificación de recursos

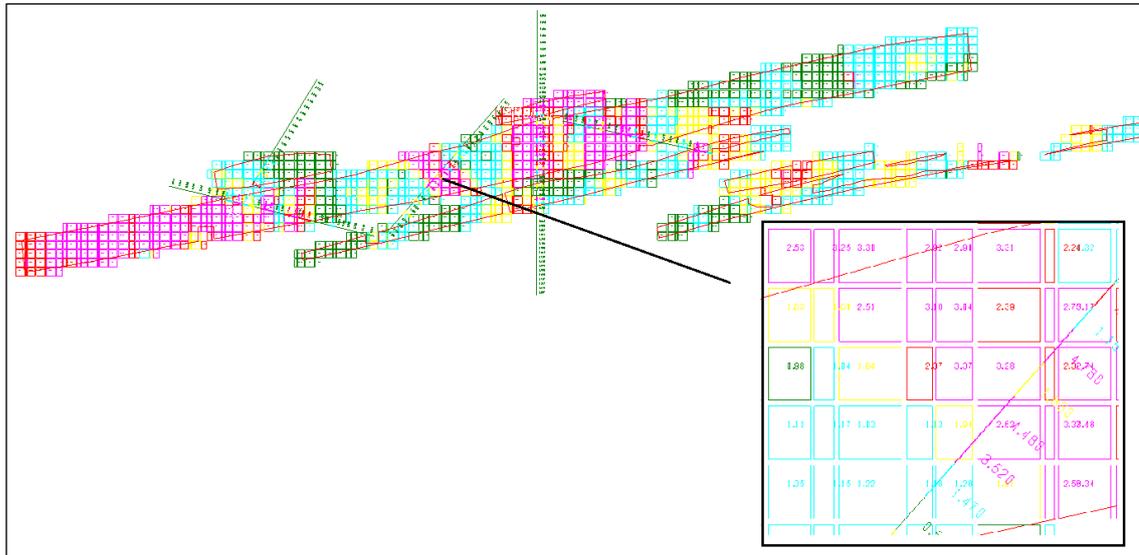
Elemento	Anisotropía	Elipsoide de Búsqueda		Distancias de Búsqueda		
		Azimuth	Dip	Distance 1	Distance 2	Distance 3
Au	X	108.12	1.8	10.63	14.18	21.27
	Y	17.83	9.07	15.58	20.78	31.17
	Z	288.04	83.87	3.58	4.78	7.17

**Tabla 19.** Numero de compósitos para categorizar los recursos

Categoría	N° Compósitos	N° Compósitos por Taladro
Medido	5	2
Indicado	3	2
Inferido	1	2

#### 5.3.5.5. Validación de recursos minerales estimados

Se verifico visualmente las leyes de los compósitos de los sondajes frente a los bloques estimados por ordinary kriging donde la mayoría se comparan favorablemente siendo aceptables.



**Figura 80.** Validación de modelo de bloques Vs leyes

### 5.3.5.6. Reporte de recursos minerales

Los Recursos minerales fueron reportados según un cut-off de 2.0 g/t, y se reportó dentro de un volumen restringido por el modelo de bloques de porcentajes.

**Tabla 20.** Resumen de los recursos minerales Au

ESTIMACION DE RECURSOS MINERALES				
CUT OFF > 2.0				
Categoría	Volumen (m <sup>3</sup> )	Toneladas (ton)	Ley Au (g/t)	Finos Au (Oz)
Medido	107,246.00	289,564.00	3.18	29,565.19
Indicado	137,106.00	370,186.00	2.90	34,459.77
<b>TOTAL</b>	<b>244,352.00</b>	<b>659,750.00</b>	<b>3.02</b>	<b>64,024.96</b>
Inferido	148,835.00	401,854.00	2.93	37,914.68
<b>TOTAL</b>	<b>148,835.00</b>	<b>401,854.00</b>	<b>2.93</b>	<b>37,914.68</b>
<b>TOTAL=(M+I+IF)</b>	<b>393,187.00</b>	<b>1,061,604.00</b>	<b>2.99</b>	<b>101,938.64</b>

**Reporte Acumulativo de diferentes Cut Off:****Tabla 21.** Resumen de los recursos minerales Au (Med+Ind+Inf) acumulativo

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krgo	Au-krgo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
>= 0	1,904,859.00	5,143,120.00	1.48	244,981.56
>= 0.5	1,769,869.00	4,778,647.00	1.57	241,076.17
>= 1	1,236,574.00	3,338,748.00	1.91	205,025.07
>= 1.5	697,368.00	1,882,894.00	2.44	147,492.76
>= 2	393,187.00	1,061,604.00	2.99	101,938.64
>= 2.5	226,437.00	611,381.00	3.55	69,712.60
>= 3	133,899.00	361,529.00	4.12	47,894.75
>= 3.5	81,850.00	220,996.00	4.69	33,334.57
>= 4	52,544.00	141,869.00	5.23	23,853.34
>= 4.5	35,681.00	96,339.00	5.70	17,667.88
>= 5	24,555.00	66,297.00	6.14	13,092.93
>= 5.5	15,821.00	42,717.00	6.63	9,111.02
>= 6	9,394.00	25,364.00	7.24	5,906.10
>= 6.5	6,058.00	16,356.00	7.81	4,109.34
>= 7	4,001.00	10,802.00	8.38	2,909.36
>= 7.5	2,656.00	7,172.00	8.96	2,067.09
>= 8	1,995.00	5,388.00	9.38	1,624.10



**Tabla 22.** Recursos minerales Au (Medido) acumulativo

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krigo	Au-krigo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
>= 0	388,566.00	1,049,129.00	1.71	57,821.80
>= 0.5	369,941.00	998,842.00	1.78	57,223.09
>= 1	280,832.00	758,246.00	2.10	51,280.83
>= 1.5	178,874.00	482,959.00	2.60	40,294.23
>= 2	107,246.00	289,564.00	3.18	29,565.19
>= 2.5	65,297.00	176,300.00	3.79	21,461.73
>= 3	41,381.00	111,728.00	4.40	15,801.08
>= 3.5	27,071.00	73,091.00	5.02	11,801.46
>= 4	19,042.00	51,413.00	5.57	9,207.83
>= 4.5	13,853.00	37,404.00	6.08	7,306.20
>= 5	10,380.00	28,026.00	6.52	5,875.09
>= 5.5	7,789.00	21,031.00	6.94	4,694.39
>= 6	5,410.00	14,607.00	7.47	3,506.53
>= 6.5	3,657.00	9,875.00	8.07	2,560.80
>= 7	2,727.00	7,362.00	8.53	2,019.94
>= 7.5	1,898.00	5,125.00	9.10	1,499.45
>= 8	1,447.00	3,906.00	9.53	1,196.99



**Tabla 23.** Recursos minerales Au (Indicado) acumulativo

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krigo	Au-krigo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
>= 0	659,257.00	1,779,993.00	1.49	85,190.54
>= 0.5	622,675.00	1,681,223.00	1.55	84,022.96
>= 1	441,503.00	1,192,058.00	1.87	71,824.83
>= 1.5	249,315.00	673,151.00	2.37	51,243.11
>= 2	137,106.00	370,186.00	2.90	34,459.77
>= 2.5	77,518.00	209,300.00	3.41	22,943.90
>= 3	44,637.00	120,521.00	3.92	15,174.60
>= 3.5	26,157.00	70,626.00	4.41	10,002.98
>= 4	15,271.00	41,233.00	4.88	6,475.40
>= 4.5	9,305.00	25,123.00	5.30	4,283.87
>= 5	5,461.00	14,744.00	5.71	2,706.24
>= 5.5	2,744.00	7,408.00	6.20	1,475.90
>= 6	1,145.00	3,091.00	6.83	678.61
>= 6.5	506.00	1,366.00	7.63	335.18
>= 7	319.00	863.00	8.16	226.38
>= 7.5	245.00	662.00	8.45	179.88
>= 8	122.00	331.00	9.18	97.70



**Tabla 24.** Recursos minerales Au (Inferido) acumulativo

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krigo	Au-krigo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
>= 0	857,035.00	2,313,997.00	1.37	101,968.34
>= 0.5	777,252.00	2,098,582.00	1.48	99,822.76
>= 1	514,238.00	1,388,444.00	1.84	81,919.46
>= 1.5	269,179.00	726,783.00	2.39	55,955.64
>= 2	148,835.00	401,854.00	2.93	37,914.68
>= 2.5	83,622.00	225,780.00	3.49	25,306.70
>= 3	47,882.00	129,280.00	4.07	16,919.49
>= 3.5	28,621.00	77,279.00	4.64	11,529.99
>= 4	18,231.00	49,224.00	5.16	8,170.20
>= 4.5	12,522.00	33,811.00	5.59	6,077.56
>= 5	8,714.00	23,527.00	5.96	4,511.53
>= 5.5	5,289.00	14,278.00	6.41	2,940.69
>= 6	2,839.00	7,666.00	6.98	1,720.96
>= 6.5	1,879.00	5,073.00	7.38	1,203.69
>= 7	955.00	2,578.00	8.00	663.28
>= 7.5	513.00	1,384.00	8.71	387.47
>= 8	426.00	1,152.00	8.90	329.71



### Reporte por intervalos de diferentes Cut Off:

**Tabla 25.** Resumen de los recursos minerales Au (Med+Ind+Inf) por intervalos

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krigo	Au-krigo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
0.0 - 0.5	134,990.00	364,473.00	0.33	3,906.49
0.5 - 1.0	533,296.00	1,439,899.00	0.78	36,048.47
1.0 - 1.5	539,206.00	1,455,854.00	1.23	57,529.52
1.5 - 2.0	304,182.00	821,290.00	1.73	45,553.83
2.0 - 2.5	166,749.00	450,223.00	2.23	32,227.88
2.5 - 3.0	92,538.00	249,851.00	2.72	21,817.06
3.0 - 3.5	52,049.00	140,533.00	3.22	14,560.53
3.5 - 4.0	29,307.00	79,127.00	3.73	9,481.00
4.0 - 4.5	16,863.00	45,530.00	4.23	6,185.52
4.5- 5.0	11,126.00	30,042.00	4.74	4,574.99
5.0- 5.5	8,733.00	23,579.00	5.25	3,981.71
5.5 - 6.0	6,428.00	17,354.00	5.74	3,205.08
6.0- 6.5	3,336.00	9,007.00	6.20	1,796.56
6.5 - 7.0	2,057.00	5,555.00	6.72	1,200.23
7.0 - 7.5	1,345.00	3,631.00	7.22	842.51
7.5 - 8.0	661.00	1,784.00	7.72	442.97
>= 8	1,995.00	5,388.00	9.38	1,624.10



**Tabla 26.** Recursos minerales Au (Medido) por intervalos

CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krgo	Au-krgo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
0.0 - 0.5	18,625.00	50,287.00	0.37	596.99
0.5 - 1.0	89,110.00	240,597.00	0.77	5,942.68
1.0 - 1.5	101,958.00	275,287.00	1.24	10,986.43
1.5 - 2.0	71,628.00	193,394.00	1.73	10,728.72
2.0 - 2.5	41,950.00	113,264.00	2.23	8,103.54
2.5 - 3.0	23,916.00	64,573.00	2.73	5,660.89
3.0 - 3.5	14,309.00	38,635.00	3.22	3,999.45
3.5 - 4.0	8,029.00	21,679.00	3.72	2,593.60
4.0 - 4.5	5,188.00	14,009.00	4.22	1,901.67
4.5- 5.0	3,474.00	9,378.00	4.75	1,431.14
5.0- 5.5	2,591.00	6,995.00	5.25	1,180.71
5.5 - 6.0	2,379.00	6,424.00	5.75	1,187.86
6.0- 6.5	1,737.00	4,689.00	6.21	935.84
6.5 - 7.0	947.00	2,556.00	6.70	550.78
7.0 - 7.5	828.00	2,236.00	7.24	520.21
7.5 - 8.0	452.00	1,220.00	7.72	302.76
>= 8	1,447.00	3,906.00	9.53	1,196.99



**Tabla 27.** Recursos minerales Au (Indicado) por intervalos

<b>CUTOFF</b>	<b>INSITU</b>	<b>RUN OF</b>	<b>GRADES</b>	<b>TOTAL</b>
	<b>ORE</b>	<b>MINE</b>	<b>Au-krigo</b>	<b>Au-krigo</b>
	<b>(M3)</b>	<b>(TONNES)</b>	<b>gr/t</b>	<b>Oz</b>
0.0 - 0.5	36,582.00	98,771.00	0.37	1,164.52
0.5 - 1.0	181,172.00	489,164.00	0.78	12,200.47
1.0 - 1.5	192,187.00	518,906.00	1.23	20,580.08
1.5 - 2.0	112,209.00	302,967.00	1.72	16,783.66
2.0 - 2.5	59,587.00	160,886.00	2.23	11,515.79
2.5 - 3.0	32,881.00	88,779.00	2.72	7,769.20
3.0 - 3.5	18,480.00	49,895.00	3.22	5,171.65
3.5 - 4.0	10,886.00	29,393.00	3.73	3,527.54
4.0 - 4.5	5,967.00	16,109.00	4.23	2,191.35
4.5- 5.0	3,845.00	10,380.00	4.73	1,577.82
5.0- 5.5	2,717.00	7,336.00	5.22	1,230.32
5.5 - 6.0	1,599.00	4,317.00	5.74	797.30
6.0- 6.5	639.00	1,725.00	6.19	343.43
6.5 - 7.0	187.00	504.00	6.73	109.02
7.0 - 7.5	74.00	200.00	7.19	46.25
7.5 - 8.0	123.00	332.00	7.72	82.45
>= 8	122.00	331.00	9.18	97.70



**Tabla 28.** Recursos minerales Au (Inferido) por intervalos

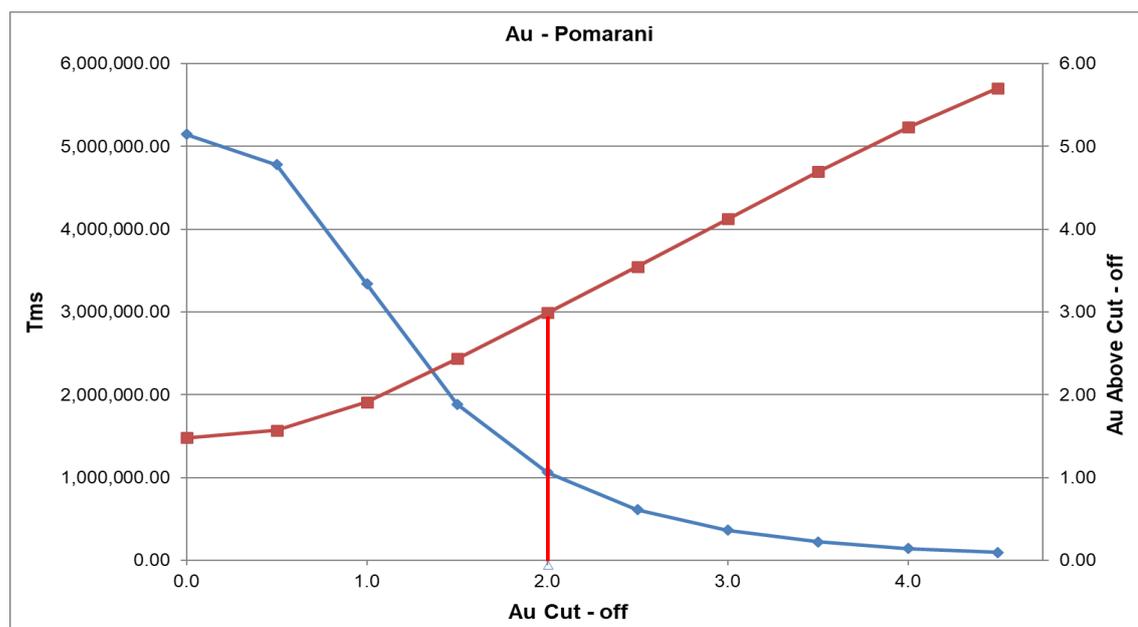
CUTOFF	INSITU	RUN OF	GRADES	TOTAL
	ORE	MINE	Au-krgo	Au-krgo
	(M3)	(TONNES)	gr/t	Oz
0.0 - 0.5	79,783.00	215,415.00	0.31	2,144.77
0.5 - 1.0	263,014.00	710,138.00	0.78	17,905.37
1.0 - 1.5	245,059.00	661,661.00	1.22	25,962.74
1.5 - 2.0	120,344.00	324,930.00	1.73	18,041.68
2.0 - 2.5	65,213.00	176,073.00	2.23	12,607.78
2.5 - 3.0	35,741.00	96,500.00	2.70	8,387.22
3.0 - 3.5	19,259.00	52,002.00	3.22	5,389.53
3.5 - 4.0	10,391.00	28,055.00	3.72	3,359.78
4.0 - 4.5	5,709.00	15,413.00	4.22	2,092.65
4.5- 5.0	3,809.00	10,284.00	4.74	1,566.00
5.0- 5.5	3,426.00	9,248.00	5.28	1,570.68
5.5 - 6.0	2,449.00	6,612.00	5.74	1,219.73
6.0- 6.5	960.00	2,593.00	6.20	517.28
6.5 - 7.0	924.00	2,495.00	6.74	540.43
7.0 - 7.5	442.00	1,194.00	7.19	275.82
7.5 - 8.0	86.00	232.00	7.74	57.77
>= 8	426.00	1,152.00	8.90	329.71

### 5.3.6. Evaluación de los recursos

La curva ley-tonelaje fue generada para el compósito de los recursos. La tabla se basó en la ley de Au cut-off como se muestra en las siguientes tablas:

**Tabla 29.** Recursos totales

Categoría	Au Cut-off %	Tonnes	Au
		Tms	g/t
<b>Medido + Indicado + Inferido</b>	0.0	5,143,120.00	1.48
	0.5	4,778,647.00	1.57
	1.0	3,338,748.00	1.91
	1.5	1,882,894.00	2.44
	2.0	1,061,604.00	2.99
	2.5	611,381.00	3.55
	3.0	361,529.00	4.12
	3.5	220,996.00	4.69
	4.0	141,869.00	5.23
	4.5	96,339.00	5.70



**Figura 81.** Curva ley vs tonelaje de recursos minerales Au



## VI. CONCLUSIONES

**PRIMERA:** Los recursos minerales (Au) totalizan 5,143,120 tms con una ley promedio de 1.48 gr/t Au (244,982 Oz.), entre medidos, indicados e inferidos, con una confiabilidad de 90%.

A un Cut Off mayor que 2.0 gr/t totalizan 1,061,604 tms con una ley promedio de 2.99 gr/t Au. (101,938 Oz. Au).

- Medido 289,564 tms con una ley promedio de 3.18 gr/t Au (29,565 Oz. Au)
- Indicado 659,750 tms con una ley promedio de 2.90 gr/t Au (34,460 Oz. Au)
- Inferido 148,835 tms con una ley promedio de 2.93 gr/t Au (37,915 Oz. Au)

**SEGUNDA:** Con los procesos de control de calidad QA/QC, de las muestras se determinó la calidad y confiabilidad de la información obtenida están dentro de los parámetros establecidos por AMEC y como exige los códigos mineros internacionales (Codigo de Jorc), procediendo la estimación de recursos minerales Au.

**TERCERA:** Los resultados de la perforación diamantina (logueo geológico), mapeo geológico de labores subterráneos, presenta una litología (Pizarras – filitas), Mineralógico (Entre los sulfuros se tiene los minerales como la pirrotita, que se encuentra en forma diseminada, en lentes, motas y acompañando a los mantos de cuarzo gris. La pirita, es común en la zona, se presenta en forma cúbica, se encuentra en las vetas, mantos, nódulos de cuarzo lechoso), se determinó 2 mantos principales mineralizados económicas en donde las leyes oscilan en 0.05 – 95.02 gr/t, de 6 a 20 metros de potencia, determinando el modelo geológico tridimensional (3D).



**CUARTA:** Se realizó el análisis estadístico y geoestadístico de toda la información obtenida y validada, generando histogramas, probabilidades y variogramas con el cual se obtuvieron los parámetros de interpolación de distintos alcances, para estimar y categorizar los recursos minerales Au.

- Eje mayo (Y): Azimuth =  $17.83^\circ$ , Dip =  $9.07^\circ$ , modelo = Spherical, Pepita = 0.4392, Alcance= 20.78, Meseta = 0.9662
- Eje menor (X): Azimuth =  $108.12^\circ$ , Dip= $1.8^\circ$ , modelo = Spherical, Pepita = 0.4392, Alcance= 14.18, Meseta = 0.9881
- Eje Vertical(Z): Azimuth= $288.04^\circ$ , Dip= $83.87^\circ$ , modelo=Spherical, Pepita= 0.4392, Alcance= 4.78, Meseta = 1.0321



## VII. RECOMENDACIONES

**PRIMERA:** Con los datos en este estudio se pueden realizar el cálculo los parámetros estadísticos y utilizando geoestadística se podrá estimar reservas auríferas, utilizando métodos convencionales como el método inverso a la distancia o el método de polígonos.

**SEGUNDA:** Se recomienda realizar una pequeña campaña de perforación diamantina Infill drilling, en las zonas sin información, así recategorizar los recursos inferidos que totalizan 2,313,997 tms con una ley promedio de 1.37 gr/t Au.

**TERCERA:** Realizar un modelo de mineralización con la finalidad de conocer la ubicación de los minerales mena, ganga el contenido de impurezas, el grado de mineralización y de esta manera contribuir en la optimización de procesos en la planta de beneficios.

**CUARTA:** Se recomienda realizar estudios petrográficos en con muestras interior mina y sondajes, con el fin de determinar con mayor certeza los estilos de mineralización existentes.

**QUINTA:** Realizar estudios de dataciones radiométricas en los diferentes tipos de cuarzo, para datar la edad de la mineralización.



## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, M. (2002). *Introducción al muestreo minero*. Instituto de Ingenieros de minas de Chile.
- Alfaro, M. (2007). *Estimación de recursos mineros*.
- Anglo Peruana Terra (2010). *Trabajos de exploraciones franja paleozoica, Puno –Perú*.  
Face 1.
- Anglo Peruana Terra (2012). *Estudio petrográfico y mineragráfico*.
- Barry, W. S. *Control de calidad en exploración minera*.
- Bateman, A. M. (1982). *Yacimientos minerales de rendimiento económico*. (5ta Ed.).  
Barcelona, España: Editorial Omega.
- Bedric, M. (2003). *Informe geológico del proyecto Untuca*. Consultor de Aurora Mining  
Group S.A.C.
- Bruno, R. (2008). *Geoestadística minera*. Consultor INTERCADE
- Bustillo, M. y López, C. (1996). *Recursos minerales, tipología, prospección, evaluación,  
explotación, mineralurgia, impacto ambiental*. Madrid: Entorno Grafico S. L.
- BVL- Venture Exchange. *Código de estándares de reporte para informar sobre recursos  
minerales y reservas de mena*.
- Canepa, C. (2010). *Microscopía óptica, secciones pulidas y secciones delgadas*.
- CIM (2000). *National Instrument 43-101. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and  
Petroleum*.



- Dana, E. (1976). *Tratado de mineralogía*. Editorial Continental. S.A.
- Dávila, J. (1995). *Diccionario geológico*. Lima: Talleres Gráficos Full Graphic.
- Delgado, J. y Carpanetti, A. (2002). *Programa internacional en geoestadística lineal aplicada a la minería*. Universidad de Antofagasta.
- Georges, M. (1970). *La teoría de la variables regionalizadas y sus aplicaciones*. Traducido al español por Marco Alfaro 2005.
- Gocht, (1988). *International mineral economics*.
- Howard, L. y Hartman, (1987). *Introductory mining engineering*.  
<https://www.geovirtual2.cl/EXPLORAC>
- Huang, W. (1991). *Petrología*. México: Editorial UTEHA.
- INGEMMET (1996). *Geología de los cuadrángulos de Sandía y la Rinconada*.
- INGEMMET (2003). *Compendio de yacimientos minerales del Perú*. Lima, Perú.
- JORC (1999). *Australasian Code for Reporting of Mineral Resources and Ore reserves*.
- Long, S. (2000). *Assay Quality Assurance – Quality Control Program for Drilling Projects*.
- Martínez, W. y Cervantes, J. *Proyecto Untuca Regional franja aurífera paleozoica de la Cordillera Carabaya Departamento de Puno – Perú*.
- Montoya, C. (2003). *Informe geológico – Visita Puno*. Mina Llactapata, Concesión Cartagena, Zona Untuca.
- Simón, A. (2008). *Taller de aseguramiento de calidad QA/QC, realizado por AMEC*.



Smirnov, V. I. (1982). *Geología de yacimientos minerales*. Moscú: Ed. Editorial MIR.

Steinmuller, K. (2000). *Depósitos metálicos en el Perú, su metalogenia, sus modelos, su exploración y el medio ambiente*. Editado por INGEMMET, LIMA.

Tejada, R. y Pariguana, M. P. (2004). *Informe Preliminar del Proyecto Untuca*.

Valera, J. A. (1987). *Geología de los depósitos de minerales metálicos, Lima*.

Xavier, E. (2007). *Apuntes de geoestadística*.

## **WEBGRAFÍA**

[http://geoestadistica.com/estimacion\\_recursos.htm](http://geoestadistica.com/estimacion_recursos.htm)

<https://post.geoxnet.com/codigo-jorc-recursos-y-reservas-minerales/>

<https://www.monografias.com/trabajos66/estimacion-recursos-reservas/estimacion-recursos-reservas.shtml>



# ANEXOS



## **Anexo 1. Láminas**

**Lamina N° 1 : Mapa Geológico Regional**

**Lamina N° 1.1 : Sección Geológica AA**

**Lamina N° 2 : Columna Estratigráfica Regional**

**Lamina N° 3 : Mapa Estructural Regional**

**Lamina N° 4 : Mapa de Ubicación**

**Lamina N° 5 : Mapa Geológico Local**

**Lamina N° 6 : Mapa Estructural Local**

**Lamina N° 7 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4956**

**Lamina N° 8 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4949**

**Lamina N° 9 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4936**

**Lamina N° 10 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4925**

**Lamina N° 11 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4915**

**Lamina N° 12 : Mapa Geológico Subterráneo NV - 4892**

**Lamina N°13 : Mapa Geoquímico - Superficie**

**Lamina N° 14 : Mapa Geoquímico NV 4956**

**Lamina N° 15 : Mapa Geoquímico NV 4949**

**Lamina N° 16 : Mapa Geoquímico NV 4936**

**Lamina N° 17 : Mapa Geoquímico NV 4925**



**Lamina N° 18 :** Mapa Geoquímico NV 4915

**Lamina N° 19 :** Mapa Geoquímico NV 4892

**Lamina N° 20 :** Mapa de Isovalores Au - Manto I

**Lamina N° 21 :** Mapa de Isovalores Au - Manto II

**Lamina N° 22 :** Sección Geológico - 200 NE

**Lamina N° 23 :** Sección Geológico - 260 NE

**Lamina N° 24 :** Sección Geológico - 320 NE

**Lamina N° 25 :** Sección - 200 NE\_Estimación de Recursos

**Lamina N° 26 :** Sección - 260 NE\_Estimación de Recursos

**Lamina N° 27 :** Sección - 320 NE\_Estimación de Recursos