

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

Implementación de modelos geostatísticos para la cuantificación de recursos minerales en el depósito del proyecto Koripampa, Apurímac – 2022

Presentado por:

David Huamani Urpe

Para optar el título de Ingeniero de Minas

Abancay, Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**Implementación de modelos geoestadísticos para la cuantificación de recursos minerales  
en el depósito del proyecto Koripampa, Apurímac – 2022**


Presentado por **David Huamani Urpe**, para optar el título de Ingeniero de Minas

Sustentado y aprobado el 11 de Setiembre del 2024 ante el jurado evaluador:

**Presidente:**

  
Mstro. Feliciano Escobedo Silva

**Primer miembro:**

  
Mstro. Dario Dante Sánchez Castillo

**Segundo miembro:**

  
Mg. Esther Ruth Calatayud Madariaga

**Asesor:**

  
Dr. Walquer Huacani Calsin



---

## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

### N° 169-2024

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Implementación de modelos geoestadísticos para la cuantificación de recursos minerales en el depósito del proyecto Koripampa, Apurímac – 2022.** presentado por el Bach. David Huamani Urpe, Para optar el Título de **Ingeniero de Minas**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud ACEPTABLE de **(7%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 09 de setiembre del 2024

 UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
  
**Dra. Hexmeralda Flores Enriquez**  
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA

C. c.  
Archivo  
REG. N° 646

## **Agradecimiento**

*Mi agradecimiento especial a mis maestros de ingeniería de minas por su dedicación y paciencia y a mis compañeros y amigos de aulas con quienes se escribe esta historia.*



## **Dedicatoria**

*A Modesto Huamani Chiclla mi padre quien guía mis pasos desde el cielo y a mi madre Timotea Urpe Silva y mis hermanos Darwin, Idania, Mariluz, Elizama y Sara por ser mi soporte en todo, a mis tíos la familia Urpe Silva y a Noemi Sánchez les estoy eternamente agradecido.*



Implementación de modelos geoestadísticos para la cuantificación de recursos minerales en el depósito del proyecto Koripampa, Apurímac – 2022

Línea de investigación: Geología, Geotecnia y Medio Ambiente

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
<b>RESUMEN</b>	3
<b>ABSTRACT</b>	4
<b>CAPÍTULO I</b>	5
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	5
1.1 Descripción del problema	5
1.2 Enunciado del Problema	8
1.2.1 Problema general	8
1.2.2 Problemas específicos	8
1.2.3 Justificación de la investigación	8
1.3 Justificación del Problema	9
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	10
2.1 Objetivos de la investigación	10
2.2.1 Objetivo general	10
2.2.2 Objetivos específicos	10
2.2 Hipótesis de la investigación	10
2.2.3 Hipótesis general	10
2.2.4 Hipótesis específicas	10
2.3 Operacionalización de variables	11
<b>CAPÍTULO III</b>	12
<b>MARCO TEÓRICO REFERENCIAL</b>	12
3.1 Antecedentes	12
3.1.1 Antecedentes Internacional	13
3.1.2 Antecedentes Nacional	13
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 Métodos Clásicos y Geoestadísticos	14
3.2.1.1 Métodos Clásicos	14
3.2.1.2 Métodos Geoestadísticos	15
3.2.1.3 Herramientas informáticas aplicadas a la estimación de recursos	15
3.2.2 Ubicación y acceso	16
3.2.2.1 Geología Regional	18
3.2.2.2 Geología del deposito	19



3.2.2.3	Mineralización	19
3.2.2.4	Tipo de deposito	20
3.3	Marco conceptual	21
<b>CAPÍTULO IV</b>		<b>32</b>
<b>METODOLOGÍA</b>		<b>32</b>
4.1	Tipo y nivel de investigación	32
4.2	Diseño de la investigación	32
4.3	Descripción ética de la investigación	32
4.4	Población y muestra	33
4.4.1	Población	33
4.4.2	Muestra	33
4.5	Procedimiento	33
4.5.1	Identificación de la base de datos	33
4.5.2	Limpieza y depuración de valores erróneos	38
4.6	Técnica e instrumentos	39
4.7	Análisis estadístico	39
<b>CAPÍTULO V</b>		<b>40</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>		<b>40</b>
5.1	Análisis de resultados	40
5.1.1	Análisis Exploratorio de datos	40
5.1.2	Análisis de soporte y elección de compósitos	42
5.1.3	Tratamiento de valores atípicos (outliers)	50
5.1.4	Prueba de bondad de ajuste	57
5.1.5	Análisis Variografico	63
5.1.6	Mapa Variografico	64
5.1.7	Determinación del modelo de bloques	69
5.1.8	Estimación de leyes	71
5.1.9	Validación de Estimación	74
5.1.10	Clasificación de recursos	78
5.1.11	Inventario de recursos	80
5.2	Contrastación de hipótesis	82
5.3	Discusión	83
<b>CAPÍTULO VI</b>		<b>85</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>		<b>85</b>
6.1	Conclusiones	85
6.2	Recomendaciones	85
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>86</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>90</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> — Portafolio of Mining Construction Projects Perú 2019	7
<b>Tabla 2</b> — Operacionalización de variables	11
<b>Tabla 3</b> — Accesibilidad por el tramo 01	17
<b>Tabla 4</b> — Accesibilidad por el tramo 02	17
<b>Tabla 5</b> — Coordenadas de la concesión del Proyecto.	17
<b>Tabla 6</b> — Estadística global	40
<b>Tabla 7</b> — Estadística por dominio de mineralización	41
<b>Tabla 8</b> — Estadística de los intervalos de sondajes con elementos de interés	42
<b>Tabla 9</b> — Estadísticas de las muestras de Au [g/t] regularizadas a diferentes soportes	46
<b>Tabla 10</b> — Estadísticas de las muestras de Ag [oz/t] regularizadas a diferentes soportes.	46
<b>Tabla 11</b> — Resumen y selección de compositos a intervalos de 1.5 metros.	- 49 -
<b>Tabla 12</b> — Limite umbral máximo para capping	53
<b>Tabla 13</b> — Estadísticas de los elementos capeados sin outliers	53
<b>Tabla 14</b> — Parámetros de la prueba de bondad de juste de Kolmogórov-Smirnov	59
<b>Tabla 15</b> — Parámetros del variograma teórico para elemento Au	66
<b>Tabla 16</b> — Parámetros del variograma teórico para elemento Ag	68
<b>Tabla 17</b> — Parámetros de la configuración del modelo de bloques (No rotado)	71
<b>Tabla 18</b> — Plan de estimación para el Au con Kriging Ordinario y Kriging Simple	72
<b>Tabla 19</b> — Plan de estimación para la Ag con Kriging Ordinario y Kriging Simple	73
<b>Tabla 20</b> — validación de valores reales versus valores estimados para el elemento Au	74
<b>Tabla 21</b> — Validación de valores reales versus valores estimados para el elemento Ag	76
<b>Tabla 22</b> — Inventario de recursos geológicos por ley de corte de Au [oz] en óxidos	80
<b>Tabla 23</b> — Inventario de recursos geológicos por ley de corte de Ag [oz] en óxidos	81
<b>Tabla 24</b> — reporte de recursos minerales de Au [g/t] y Ag [oz/t] en óxidos	82
<b>Tabla 25</b> — Matriz de consistencia	91

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> — Ubicación del proyecto	18
<b>Figura 2</b> — Zonificación típica de yacimiento epitermales de alta sulfuración.	20
<b>Figura 3</b> — Tipos de variable	21
<b>Figura 4</b> — Medida de tendencia central.	21
<b>Figura 5</b> — Medida de dispersión	22
<b>Figura 6</b> — Distribución Normal	24
<b>Figura 7</b> — Distribución Lognormal	25
<b>Figura 8</b> — Variograma Experimental y Teórico	26
<b>Figura 9</b> — Variograma Esférico	27
<b>Figura 10</b> — Variograma Exponencial	28
<b>Figura 11</b> — Variograma Gaussiano	29
<b>Figura 12</b> — Sistema de administración integral de base de datos proyecto Koripampa.	34
<b>Figura 13</b> — Sondajes diamantinos con leyes de Au [g/t]	35
<b>Figura 14</b> — Sondajes diamantinos con zonas de mineralización.	36
<b>Figura 15</b> — Vista en perfil se despliega sondajes y set de polígonos.	36
<b>Figura 16</b> — Wireframes generados por juego de polígonos	37
<b>Figura 17</b> — Esquema implementado para la estimación de recursos minerales koripampa.	38
<b>Figura 18</b> — Histograma longitud variable en óxidos.	43
<b>Figura 19</b> — Histograma longitud variable en mixtos.	43
<b>Figura 20</b> — Histograma longitud variable en sulfuros.	44
<b>Figura 21</b> — Porcentaje de intervalos de la toda la población.	44
<b>Figura 22</b> — Sensibilidad al cambio de soporte Au [g/t] óxidos.	48
<b>Figura 23</b> — Sensibilidad al cambio de soporte Ag [oz/t] óxidos.	48
<b>Figura 24</b> — Diferencia porcentual Au [g/t] óxidos.	51
<b>Figura 25</b> — Diferencia porcentual Au [g/t] óxidos.	51
<b>Figura 26</b> — Histograma de Au [g/t] en óxidos.	54
<b>Figura 27</b> — Histograma LnAu [g/t] en óxidos.	54
<b>Figura 28</b> — Histograma de Ag [oz/t] en óxidos.	55
<b>Figura 29</b> — Histograma LnAg [oz/t] en óxidos.	55
<b>Figura 30</b> — Histograma de As [%] en óxidos.	56
<b>Figura 31</b> — Histograma LnAs [%] en óxidos.	56

<b>Figura 32</b> — Histograma de Cu [%] en óxidos.	57
<b>Figura 33</b> — Histograma LnCu [%] en óxidos.	57
<b>Figura 34</b> — QQ Plot Au [g/t] en óxidos.	61
<b>Figura 35</b> — QQ Plot LnAu [g/t] en óxidos.	61
<b>Figura 36</b> — QQ Plot Ag [oz/t] en óxidos.	62
<b>Figura 37</b> — QQ Plot LnAg [oz/t] en óxidos.	62
<b>Figura 38</b> — Histograma LnAu [g/t] en óxidos.	63
<b>Figura 39</b> — Histograma LnAg [oz/t] en óxidos.	63
<b>Figura 40</b> — Mapa variografico para el Au [g/t] <sup>2</sup> en óxidos.	65
<b>Figura 41</b> — Mapa variografico para el Ag [oz/t] <sup>2</sup> en óxidos.	65
<b>Figura 42</b> — Variogramas experimentales y teóricos para el elemento Au [g/t] <sup>2</sup> .	66
<b>Figura 43</b> — Elipsoide de búsqueda con tendencia de anisotropía para el Au [g/t].	67
<b>Figura 44</b> — Variogramas experimentales y teóricos para el elemento Ag [oz/t] <sup>2</sup> .	67
<b>Figura 45</b> — Elipsoide de búsqueda con tendencia de anisotropía para el Ag [oz/t].	68
<b>Figura 46</b> — Configuración para generar modelo de bloques.	70
<b>Figura 47</b> — Origen del modelo de bloques en vulcan 3D.	70
<b>Figura 48</b> — Realización de Au [g/t] del plan de estimación KO en óxidos.	73
<b>Figura 49</b> — Realización de Ag [oz/t] del plan de estimación KO en óxidos.	74
<b>Figura 50</b> — Wash plots valores reales versus estimados elemento Au.	75
<b>Figura 51</b> — Validación visual reales vs estimados sección Norte Sur Au [g/t].	76
<b>Figura 52</b> — Wash plots valores reales vs estimados elementos Ag.	77
<b>Figura 53</b> — Validación visual reales vs estimados sección Norte Sur Ag [oz/t].	77
<b>Figura 54</b> — Esquema de clasificación de recursos y reservas minerales.	78
<b>Figura 55</b> — Clasificación de recursos en óxidos.	80
<b>Figura 56</b> — Sondaje KP-64 Colpa.	92
<b>Figura 57</b> — Sondaje KP17-217 Pamparqui.	92
<b>Figura 58</b> — Despliegue grade Shell, clasificado según su grado de certeza en óxidos.	93
<b>Figura 59</b> — Muestras de Au [g/t] a lo largo de sondaje.	94
<b>Figura 60</b> — Muestras de Ag [Oz/t] a lo largo de sondaje.	95
<b>Figura 61</b> — Zonas Mineralizadas.	96
<b>Figura 62</b> — Muestras reales de Ag [Oz/t] versus Estimados.	97
<b>Figura 63</b> — Muestras reales de Au [g/t] versus Estimados.	98
<b>Figura 64</b> — Muestras de Au [g/t] en recursos.	99

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la minería ha llevado a métodos mejorados para descubrir minerales útiles y determinar su cantidad y disponibilidad para su extracción. Adicionalmente, la actividad minera es cada vez más competitiva, lo que requiere que las empresas evalúen su viabilidad económica.

En el entorno de las geociencias, es común encontrar variables distribuidas espacialmente. Para el estudio de estas variables se utilizan varios métodos de estimación geoestadística. Es decir, a partir de una serie de muestras tomadas de los lugares locales donde aparece el fenómeno geológico natural objeto de estudio, se tiene en cuenta y representa su realidad, que por lo general siempre es desconocida, y estos procedimientos permiten la descripción o caracterización de diversos propósitos proporcionando primero estimaciones en ubicaciones de interés y luego produciendo valores con las mismas características de varianza que los datos originales. La geología y la minería son aplicaciones típicas de estos modelos y áreas donde la geoestadística como ciencia aplicada está emergiendo y desarrollándose.

La exploración y evaluación de yacimientos explotables es, entre otras tareas, una de las actividades fundamentales que toda empresa minera debe realizar durante su vida útil. Los trabajos de prospección y exploración se dividen en casos que son el resultado de la aplicación de principios fundamentales de prospecciones del subsuelo, basados en aproximaciones sucesivas a valores apropiados. Cada uno de estos casos culmina con una determinación aproximada de los recursos minerales del yacimiento. Esta es una actividad importante para las empresas mineras conocida como cálculos de recursos y reservas.

El trabajo actual profundiza en las tareas de localización y los métodos de investigación para hacer que tanto la exploración como la evaluación de los depósitos sean más efectivas. Para ello se analizan diferentes métodos de interpolación, abordando aquellos que dan mejores resultados en el análisis de reservas mineras.

La problemática es abordada, en primera instancia mediante un análisis teórico, posteriormente dar paso a una etapa práctica, donde los conocimientos se aplican a un depósito con elementos de Au [g/t] y Ag [oz/t]. Para la elaboración de del trabajo e investigación se desarrollaron los siguientes capítulos.



Capítulo I: Se desarrolla en planteamiento del problema, en el cual tenemos el problema general, los problemas específicos, la justificación la delimitación, geología regional y local que presenta el trabajo de investigación.

Capítulo II: Se describen los objetivos principales y específicos, y las hipótesis del trabajo de investigación.

Capítulo III: Se desarrollo el marco teórico referencial, en el que incluye los antecedentes internacionales y nacionales, las bases teóricas y conceptuales sobre geoestadística en la cuantificación de recursos minerales.

Capítulo IV: Se pudo desarrollar la metodología de investigación, el tipo, nivel y diseño de investigación, asimismo la descripción de la población y las muestras influyentes en el trabajo de investigación.

Capítulo V: Se desarrolló para obtener resultados y discusiones del trabajo de investigación.

Capítulo VI: Se detallan las conclusiones y los resultados.

Capítulo VII: Se describe la bibliografía como soporte para desarrollar el trabajo de investigación.



## RESUMEN

El trabajo de tesis tiene como objetivo la implementación de modelos geoestadísticos para la cuantificación de recursos minerales. Los procedimientos que siguieron están estructurados de la siguiente manera. Primero: Se realizó los trabajos de aseguramiento y control de calidad de la base de datos. Segundo: Se agrupo la base de datos y llevados al sistema de información Vulcan 3D para definir el modelo geológico y los dominios de estimación de acuerdo a los controles de mineralización, definiéndose unidades de óxidos, mixtos y sulfuros. Tercero: Se realizó el análisis exploratorio de datos (EDA) y se evaluó el tipo de distribución de probabilidad que presenta, las pruebas de bondad de ajuste indicaron que 2 elementos cumplen condiciones de no normalidad en la zona de óxidos, pero sí condiciones de normalidad al ser transformados logarítmicamente. Cuarto: Con los resultados obtenidos se definió la búsqueda de la variabilidad y correlación espacial mediante el variograma experimental, obteniendo direcciones principales ortogonales que dieron origen al pulso del fluido mineralizante. Quinto: El modelo bloques para representar geoméricamente el depósito con dimensiones es de 5x5x5 m<sup>3</sup>, el plan de estimación se definió de acuerdo a los alcances del variograma teórico, generando un elipsoide de búsqueda, también el número de muestras que participaran en la estimación de la varianza de estimación y el valor de cada bloque. Sexto: La validación de la calidad de estimación mediante la comparación visual y estadística entre las muestras reales y los valores estimados indican una alta correspondencia entre ellos, estos resultados argumentan la categorización de los recursos minerales, la categorización de acuerdo al grado de confiabilidad del coeficiente de variación de kriging. Séptimo: Se cuantificaron 81.33 Mt de mineral de óxidos con leyes de 0.28[g/t]Au y 0.39[oz/t]Ag con 741, 684.68 Onzas de metal fino de Au y 31 831, 926.39 onzas de Ag de metal fino.

**Palabras clave:** *Geoestadística, variograma, kriging, recurso mineral, metal fino.*



## ABSTRACT

The thesis work aims to implement geostatistical models for quantifying mineral resources. The procedures followed are structured as follows. First: Database assurance and quality control work was carried out. Second: The database was grouped and brought to the Vulcan 3D information system to define the geological model and the estimation domains according to the mineralization controls, defining units of oxides, mixed and sulphides. Third: Exploratory data analysis (EDA) was performed and the type of probability distribution presented was evaluated, the tests for goodness of fit indicated that 2 elements meet non-normality conditions in the zone of oxides, but normal conditions when transformed logarithmically. Fourth: The results obtained defined the search for variability and spatial correlation by means of the experimental variogram, obtaining orthogonal main directions that gave rise to the pulse of the mineralizing fluid. Fifth: the block model to represent geometrically the deposit with dimensions is 5x5x5 m<sup>3</sup>, the estimation plan was defined according to the scope of the theoretical variogram, generating a search ellipsoid, also the number of samples involved in estimating the estimation variance and the value of each block. Sixth: Validation of the quality of estimation by visual and statistical comparison between actual samples and estimated values indicate a high correspondence between them, these results argue the categorization of mineral resources, the categorization according to the degree of reliability of the coefficient of variation of kriging. Seventh: 81.33 Mt of oxide ore were quantified with an average grade of 0.28[g/t] Au and 0.39[oz/t] Ag with 741, 684.68 Oz of Au and 31,831, 926.39 Oz of Ag in fines.

**Keywords:** *Geostatistics, variogram, kriging, mineral resource, fine metal.*



## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1 Descripción del problema

Sudamérica en una región en el que se está empezando a incrementar la búsqueda de recursos minerales para dar abasto suficiente al consumo de la industria y manufactura que viene desarrollando Asia y Europa en estas últimas décadas, no siendo ajeno el Perú es un lugar privilegiado, situado en el cinturón del fuego del pacifico donde se encuentra una de las anomalías metalíferas más grande del planeta, con una enorme concentración metalífera geológicamente espectacular, con abundante metal diseminado en toda la región de norte a sur y de este a oeste, como son el Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Sn, tierras raras, elementos no metálicos como el bario, boro entre otros, y como no mencionar los gigantescos bancos de material pétreo para el sector de la construcción y obras civiles.

Hasta hoy en día, el gobierno peruano ha declarado gran potencial de los recursos minerales como propiedad de inversores extranjeros mediante concesiones, con el único objetivo de evaluar y poner en valor su aprovechamiento económico, que muchas veces lo realizan fuera de la jurisdicción nacional con profesional sujetos a mercado de valores como Australia, Sudáfrica, Canadá, Estados Unidos, Chile, Brasil. Con técnicas e instrumentos y tecnología desarrollada fuera del País.

Apurímac es una región ubicada en la región zona sur del Perú, entre la cordillera occidental y la cordillera oriental zona en el que se dio un evento geológico que dio condiciones fértiles para la gesta de yacimientos minerales de grandes dimensiones, como son los yacimientos descubiertos según el portafolio de proyectos mineros del ministerio de energía y minas.

Es por ello el interés de conocer a ciencia cierta la secuencia que cuantifica la calidad y la cantidad de recursos minerales, ya que el Perú camina hacia el desarrollo, necesita y requiere de profesionales geólogos y mineros especialistas en geociencias que agreguen valor y tomen decisiones a futuro del uso responsable de sus recursos minerales.



Esta cartera de proyectos dio como incentivo de ánimos para sumergirnos en el entendimiento de las técnicas geoestadísticas y el adiestramiento en el uso de software minero para la cuantificación de recursos minerales.

Las coordenadas reales del proyecto fueron cambiadas a coordenadas parciales, y las leyes fueron multiplicados por un factor por temas de confidencialidad.



**Tabla 1 — Portafolio of Mining Construction Projects Perú 2019**

Portafolio de Proyectos Mineros en Construcción							
Item	Proyecto	Operador	Inversor	Region	Tipo Yacimiento	Metal	Recurso Mineral
1	Antilla	Panoro Apurímac S. A	Canadá	Apurímac	Pórfido	Cu, Mo	291.8 Mt @ 0.34% Cu, 0.01% Mo
2	Cotabambas	Panoro Apurímac S. A	Canadá	Apurímac	Pórfido	Cu, Au	117.1 Mt @ 0.42% Cu, 0.23g/t Au, 2.74g/t Ag, 0.0012% Cu
3	Haqira	Minera Antares Peru S.A.C	Canadá	Apurímac	Pórfido	Cu, Mo	568.9 Mt @ 0.56% Cu
4	Hierro Apurímac	Apurímac Ferrum	Australia	Apurímac	Depósito de Hierro	Fe	268.9 Mt @ 57.3% Fe
5	Los Chankas	Southern Peru Copper Corporation	Mexico	Apurímac	Pórfido	Cu, Mo	544.9 Mt @ 0.59% Cu, 0.04% Mo, 0.039g/t Au
6	Trapiche	El Molle Verde S.A.C	Perú	Apurímac	Pórfido	Cu, Mo	869.3 Mt @ 0.37% Cu, 0.01% Mo

**Fuente:** Ministerio de Energía y Minas Portafolio de proyectos mineros en construcción Perú 2019.

## 1.2 Enunciado del Problema

### 1.2.1 Problema general

¿De qué manera los modelos geoestadísticos relacionan la cuantificación de recursos minerales en el depósito del Proyecto Koripampa, Apurímac – 2022?

### 1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo seleccionar el modelo geoestadístico apropiado para cuantificar los recursos minerales en el proyecto Koripampa Apurímac – 2022?
- ¿De qué manera se implementarán los modelos geoestadísticos en la cuantificación de los recursos minerales del proyecto Koripampa Apurímac – 2022?

### 1.2.3 Justificación de la investigación

Muchas empresas mineras de mediana minería y productores mineros a pequeña escala desconocen el procedimiento que lleva a la estimación de recursos, es por ello el planteamiento de una metodología de trabajo, para que universitarios, consultores independientes puedan realizar sus trabajos con la aplicación de la geoestadística, según metodologías que les sean convenientes y obtener resultados confiables.

Este estudio de investigación procederá a desarrollarse, bajo normas de los códigos, JORC y NI43 – 101, ya que existe convenio marco entre universidad y empresa privada que da soporte técnico y servicio de tecnología a las compañías mineras, las cuales garantizan la auditoria exhaustiva de cada proyecto, los puntos a justificar el trabajo de investigación es el siguiente:

Permitirá entender y conocer el comportamiento de la mineralización, obteniendo nuevos recursos que permitan extender la vida útil del proyecto.

Brindar alternativas de zonas de explotación, con las que se permitirá evaluar los costos de operatividad.

Demostrar al directorio de la compañía, el potencial que significa continuar con la exploración, y su significancia en el incremento de los recursos minerales.



### 1.3 Justificación del Problema

Muchas empresas mineras de mediana minería y productores mineros a pequeña escala desconocen el procedimiento que lleva a la estimación de recursos, es por ello el planteamiento de una metodología de trabajo, para que universitarios, consultores independientes puedan realizar sus trabajos con la aplicación de la geoestadística, según metodologías que les sean convenientes y obtener resultados confiables.

Este estudio de investigación procederá a desarrollarse, bajo normas de los códigos, JORC y NI43 – 101, ya que existe convenio marco entre universidad y empresa privada que da soporte técnico y servicio de tecnología a las compañías mineras, las cuales garantizan la auditoria exhaustiva de cada proyecto, los puntos a justificar el trabajo de investigación es el siguiente:

Permitirá entender y conocer el comportamiento de la mineralización, obteniendo nuevos recursos que permitan extender la vida útil del proyecto.

Brindar alternativas de zonas de explotación, con las que se permitirá evaluar los costos de operatividad.

Demostrar al directorio de la compañía, el potencial que significa continuar con la exploración, y su significancia en el incremento de los recursos minerales.



## CAPÍTULO II

### OBJETIVOS E HIPÓTESIS

#### 2.1 Objetivos de la investigación

##### 2.2.1 Objetivo general

Implementar los modelos geoestadísticos para cuantificar los recursos minerales en el depósito Koripampa, Apurímac 2022.

##### 2.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la correlación espacial, plan de estimación, validación y reportabilidad de los resultados
  
- Determinar el modelo matemático adecuado para reducir significativamente el riesgo y la incertidumbre en los resultados.

#### 2.2 Hipótesis de la investigación

##### 2.2.3 Hipótesis general

La implementación de modelos geoestadísticos influye significativamente en la caracterización y la reproducción de la variabilidad espacial del fenómeno en estudio.

##### 2.2.4 Hipótesis específicas

- Al seleccionar el modelo geoestadístico apropiado para cuantificar los recursos minerales, reducen el tiempo de cálculo de un gran volumen de datos en el proyecto Koripampa Apurímac 2022.
  
- Los procedimientos adecuados reducen significativamente el riesgo e incertidumbre en los resultados.



### 2.3 Operacionalización de variables

**Tabla 2 — Operacionalización de variables**

TIPO DE VARIABLE	NOMBRE DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR
Variable Independiente	Implementación de Modelos Geoestadísticos	Análisis Exploratorio de Datos	Histogramas, Estadísticas, qq-plot
		Análisis Estructural	Variograma
		Kriging	Kriging Simple Kriging Ordinario
Variable Dependiente	Cuantificación de los Recursos Minerales	Ley Mineral	Gramos por tonelada
		Recurso Mineral	Medido Indicado Inferido
		Error de Estimación	Diferencia Porcentual entre NN y KO
<b>Fuente:</b> Elaborado por el autor			



## CAPÍTULO III

### MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo, sienta las bases para el desarrollo y determinación de la presente investigación, el mismo que se divide en cinco secciones de mayor importancia. En la primera sección se detalla los antecedentes internacionales y nacionales. En particular, se destacan investigaciones que tienen como variable la cuantificación de recursos minerales, cuyo enfoque principal está orientado exclusivamente a la estimación por medio de software minero especializado para la industria de la minería.

En la segunda sección, se describen las generalidades del proyecto Koripampa. La tercera sección se detalla un resumen de bases teóricas, cuyos contenidos conforman las bases de esta investigación, en la cuarta sección se muestran las definiciones de la terminología empleada en el desarrollo de la tesis, finalmente en la quinta sección se desarrolla la secuencia de actividades involucradas en la cuantificación y cubicación de recursos minerales.

#### 3.1 Antecedentes

Existen evidencias de trabajos antiguos como el de (DANIEL KRIGE, 1950) quien realizó trabajos geológicos en el que introduce un método cuantitativo denominado modelización de la ley de oro en las minas de Sudáfrica en los años de 1950, utilizando conceptos y bases teóricas de estadística.

(GEORGES MATHERON, 1960) establece su base teórica matemática - probabilística con el que estuvo vinculado a yacimientos de Argelia por su trabajo para el Servicio Geológico Frances desde 1954 a 1963 de esto se tiene su monumental libro *Traité de Géostatistique Appliquée* (EDITIONS TECHNIP, FRANCE, 1962-63).

El DR. GEORGES MATHERON desarrolló la aplicación a partir de los años 70s' con su equipo de colaboradores, dentro los cuales citamos algunos: JEAN SERRA, ANDRE JOURNAL, ALAIN MARECHAL, J. CHILES, PIERRE CHAUVET, J. DERAISME, R. DUMAY, D. GUIBAL, ALFREDO MARÍN, M. ALFARO, quienes serían los que



introducirían la teoría de la Geoestadística en las diferentes áreas profesionales, como es el caso de la geología, minera y petrolera.

### 3.1.1 Antecedentes Internacional

PÉREZ, ELIZABETH. (2010) Indica que los primeros trabajos de aplicados a la geoestadística fueron probados y validados en los depósitos de Chile, y fue el trabajo de Simulación Condicional Tridimensional Multivariable, realizado por ALFREDO MARÍN, que fue parte del grupo de investigadores de la Universidad de Chile, trabajo con el que optó el grado de doctor en Francia, el primero en América y Latino América.

### 3.1.2 Antecedentes Nacional

ISAC BURSTEIN (1990), determina hasta qué punto los parámetros de variograma tienen significancia geológica y cómo pueden ser interpretados, con el que propuso criterios para combinar información geoestadística e información geológica, se estimaron las reservas utilizando el método del inverso del cuadrado de la distancia y el método de krigeage (geoestadístico), al comparar ambos métodos, se concluyó que el método de krigeage es el más apropiado, pues tiene mayor sustento teórico y se ajusta a las características de la mineralización.

PÉREZ PAREDES (2010), presenta un trabajo de investigación metodológico con información de leyes de mineral referencial y proporcional, en los proyectos mineros de exploración Caylloma, Morococha y Hualgayog en el que se analizaron leyes de Cu, Pb, Zn, Au, Ag y Mo, que llevaron a entender la correlación espacial de las leyes y las direcciones principales de los flujos mineralizantes mediante análisis variográfico, en los años de 2005 al 2008.

SANTOS ARIVILCA (2014) presenta el trabajo enfocado en el proceso de estimación de recursos en el depósito Canahuire, la estimación se realiza en dominios geológicos independientes, que representan en 75% del total, de los recursos minerales, hospedados en una secuencia de calizas y el complejo de brechas polimícticas y monomícticas y la mineralización en calizas, también se presentan en forma de emplazamiento en los cuerpos de brechas como cemento matriz.

Al no encontrar antecedentes locales, solo se citarán las referencias internacionales y nacionales.



## 3.2 Marco teórico

### 3.2.1 Métodos Clásicos y Geoestadísticos

BUSTILLOS REVUELTA. M, LÓPEZ JIMENO. C (1997). A la hora de llevar a cabo una evaluación de cualquiera tipo de yacimiento por cualquier método, es importante no perder nunca de vista lo que se realizará en el proceso de cubicación.

#### 3.2.1.1 Métodos Clásicos

Se construyen figuras geométricas en las que se va a estimar la cantidad de mineralización existente dentro de ellos, se desarrolla un proceso que lleva consigo los siguientes pasos.

- Obtención de la superficie del yacimiento ( $m^2$ )
- Largo del yacimiento (m)
- Volumen del yacimiento ( $m^3$ )

$$V = S * e \quad (1)$$

Donde:

$V =$  Volumen del yacimiento ( $m^3$ )

$S =$  Area del yacimiento ( $m^2$ )

$e =$  Espesor del yacimiento (m)

Determinar las reservas de mineral conocido

$$Q = V * d \quad (2)$$

Donde:

$Q =$  Reserva de mineral (t)

$d =$  Densidad del mineral ( $t/m^3$ )

Existen múltiples formas de calcular recurso de la forma tradicional, y los más utilizados de este grupo clásico son:

- Los polígonos
- Las secciones o cortes



- Los triángulos

Para calcular por el método de las secciones o cortes, aplicables a cuerpos de forma regular e irregular, resultado éste de la investigación y resultado de los sondeos diamantinos, cuyas direcciones permiten generar cortes o perfiles a lo largo de la mineralización, secciones muy separadas pueden generar errores, debido a los cambios en su estructura de la mineralización no controladas por los sucesivos cortes, el método se aplica de la siguiente forma:

- Cálculo de la mineralización para cada sección
- Determinación de los volúmenes
- Obtención de los recursos de los bloques

### 3.2.1.2 Métodos Geoestadísticos

A. G. JOURNAL, CH. J. HUIJBREGTS. (1981). Etimológicamente el termino geoestadística es la asignación del estudio estadístico a un fenómeno natural, GEORGE MATHERON (1962), fue el primero en usar ampliamente este término, define a la geoestadística como la aplicación del formulismo de las funciones aleatorias al reconocimiento y estimación de un fenómeno natural, un fenómeno natural puede ser caracterizado por la distribución de uno o más variables en el espacio llamada “variable regionalizada”, la distribución de ley en el espacio de 3 dimensiones, por ejemplo:

Algunas características o propiedades de una mineralización, la distribución de la altitud en un espacio horizontal para caracterizar una superficie topográfica, etc.

### 3.2.1.3 Herramientas informáticas aplicadas a la estimación de recursos

Los avances tecnológicos y la necesidad de las empresas mineras en optimizar recursos, hacen que sea necesario la implementación de herramientas para la estimación de recursos minerales, en la actualidad, existe una gran variedad de softwares comerciales en el mercado, estas herramientas informáticas son utilizadas para realizar planeamiento minero estratégico, las cuales realizan modelos u optimización de recursos, además



en la interfaz se pueden desplegar bases de datos e imágenes en tres dimensiones, estos proporcionan al usuario una idea de la interacción u ocurrencia de las variables dentro del depósito. Los principales softwares geológico - minero utilizados por la industria en la actualidad son:

Vulcan Software  
Gemcom Gems  
Studio RM  
Leapfrog Edge  
MinePlan antes MineSight  
Isatis Neo  
Micromine  
Geovia Surpac

Estos sistemas de manejo de información poseen un esquema con una secuencia de actividades auditables para asegurar el control de calidad de los cálculos y resultados.

### 3.2.2 Ubicación y acceso

Koripampa está ubicado en la hoja topográfica de Cotabambas 28-r perteneciente a las Comunidades de Colca y Pamparki distritos de Cotabambas y Tambobamba perteneciente a la provincia de Cotabambas, departamento y región Apurímac.

Sector : Koripampa  
Comunidad : Colca - Pamparki  
Distrito : Tambobamba  
Provincia : Cotabambas  
Departamento : Apurímac

El acceso desde Lima se lleva a cabo mediante transporte aéreo, Lima - Cusco (01hr 15min) luego se procede mediante carretera asfaltada vía Cusco - Abancay hasta el kilómetro 936 durante 40 minutos, pasando por la provincia de Anta.



Posteriormente se toma la carretera afirmada por el lado izquierdo en buen estado hasta llegar al distrito de Cotabambas después de 03hr 20min, sector base y central para desplazarse al prospecto Koripampa se realizó en tiempo de 45 minutos promedio.

**Tabla 3 — Accesibilidad por el tramo 01**

Partida	Llegada	Distancia [Km]	Via	Tiempo de recorrido
Lima	Cusco	1247	Vuelo	01 hr 15 min
Cusco	Cotabambas	150	Asfaltada	04 hr 20 min
Cotabambas	Koripampa	24	Carrozable	00 hr 40 min
<b>Fuente:</b> Elaborado por el autor.				

**Tabla 4 — Accesibilidad por el tramo 02**

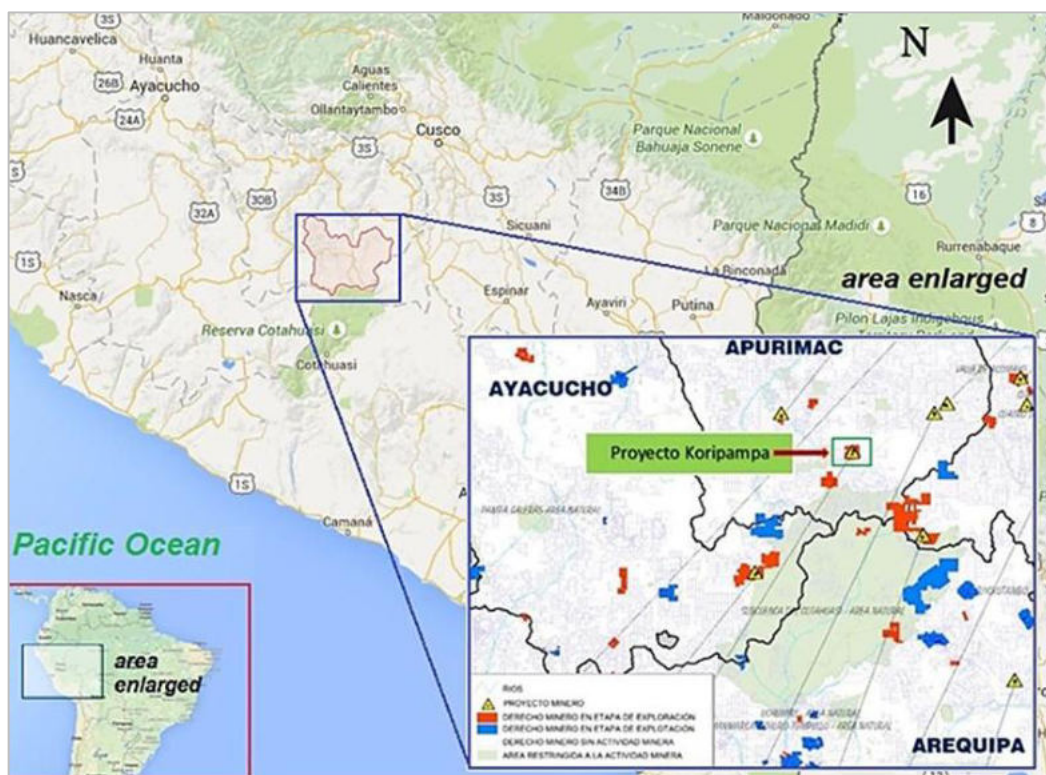
Partida	Llegada	Distancia [Km]	Via	Tiempo de recorrido
Lima	Abancay	897	Asfaltada	18 hr 15 min
Abancay	Cotabambas	198	Carrozable	06 hr 25 min
Cotabambas	Koripampa	24	Carrozable	00 hr 40 min
<b>Fuente:</b> Elaborado por el autor.				

La propiedad minera se encuentra localizada específicamente sobre el cuadrángulo 28-r (Tambobamba) a escala 1: 100,000, formando un polígono con una extensión de 14,100 has constituido por 18 vértices, cuyas coordenadas se encuentra en el sistema UTM. Datum WGS-84.

**Tabla 5 — Coordenadas de la concesión del Proyecto.**

DATUM WGS84 - 18 SUR		
Vertices	Este	Norte
1	791000	8486000
2	802000	8486000
3	802000	8476000
4	800000	8476000
5	800000	8477000
6	797000	8477000
7	797000	8479000
8	795000	8479000
9	750000	8480000
10	792000	8480000
11	792000	8477000

12	790000	8477000
13	790000	8476000
14	788000	8476000
15	788000	8484000
16	785000	8484000
17	785000	8489000
18	791000	8489000
<b>Fuente: Proyecto Koripampa</b>		



**Fuente:** Proyecto Koripampa

**Figura 1 — Ubicación del proyecto**

### 3.2.2.1 Geología Regional

El Proyecto Koripampa está ubicado en los Andes Centrales del sur del Perú, dentro del corredor Metalogénico E-O, controlado por una mega estructura de deflexión la cual está relacionada principalmente a yacimientos epitermales de oro en ambientes de alta sulfuración, sistemas filoneanos tipo ácido sulfato, desarrollados por colapsos estructurales sucesivos.

El escenario geológico regional se compone de una estratigrafía de rocas volcánicas y sedimentarias que se depositaron en el lapso comprendido entre el Jurásico Superior y el Cuaternario. La base de la secuencia está



constituida por rocas del Grupo Yura y de acuerdo a su litología se ha dividido en tres formaciones: Piste, Chuquibambilla y Soraya. La formación Mara, suprayacente, que posee una extensión regional y constituye un nivel guía para la interpretación estratigráfica y estructural. A continuación, yacen las rocas calcáreas de la formación Ferrobamba.

El Cretáceo superior está representado por la formación Anta- Anta constituida por una secuencia pelítica de color rojo intenso que cubre en discordancia paralela a la formación Ferrobamba. La sucesión de las rocas terciarias se inició con una serie clástica continental, representada por el Grupo Puno que yace en discordancia angular sobre las rocas mesozoicas. Posteriormente se depositaron rocas sedimentarias y volcánicas del Grupo Tacaza cubriendo a esta secuencia se exponen, en los lugares más elevados potentes acumulaciones volcánicas representadas por el volcánico Sencca, el Grupo Barroso y el volcánico Santo Tomás, cuyas edades se sitúan entre el Plioceno y el Cuaternario Reciente

### **3.2.2.2 Geología del depósito**

El proyecto minero Koripampa se encuentra ubicado dentro de un corredor conocido deflexión Abancay, donde se encuentran emplazados yacimientos minerales, el depósito está conformado por 5 alteraciones zonificadas de acuerdo al tipo de depósito, ya que el yacimiento es de tipo epitermal, la alteración hidrotermal controla la distribución y concentración de las leyes, es así que tenemos lo siguiente; el oro está presente principalmente en el cuarzo poroso (vuggy) que presenta las mejores leyes del yacimiento, la siguiente zona de principales leyes es la zona de cuarzo alunita y sílice masiva llamado en la data como “mixtos” donde la ley media es similar a la encontrada en la zona de vuggy sílice, en la base se tiene la alteración argilica, que presenta leyes bajas.

### **3.2.2.3 Mineralización**

La mineralización en Koripampa se dio en varias fases o etapas, iniciando con una etapa de intensa alteración hidrotermal generando una zona de alteración desde sílice residual tipo vuggy, cuarzo alunita y argilica avanzada. Una segunda etapa de alteración hipógena a partir de fluidos

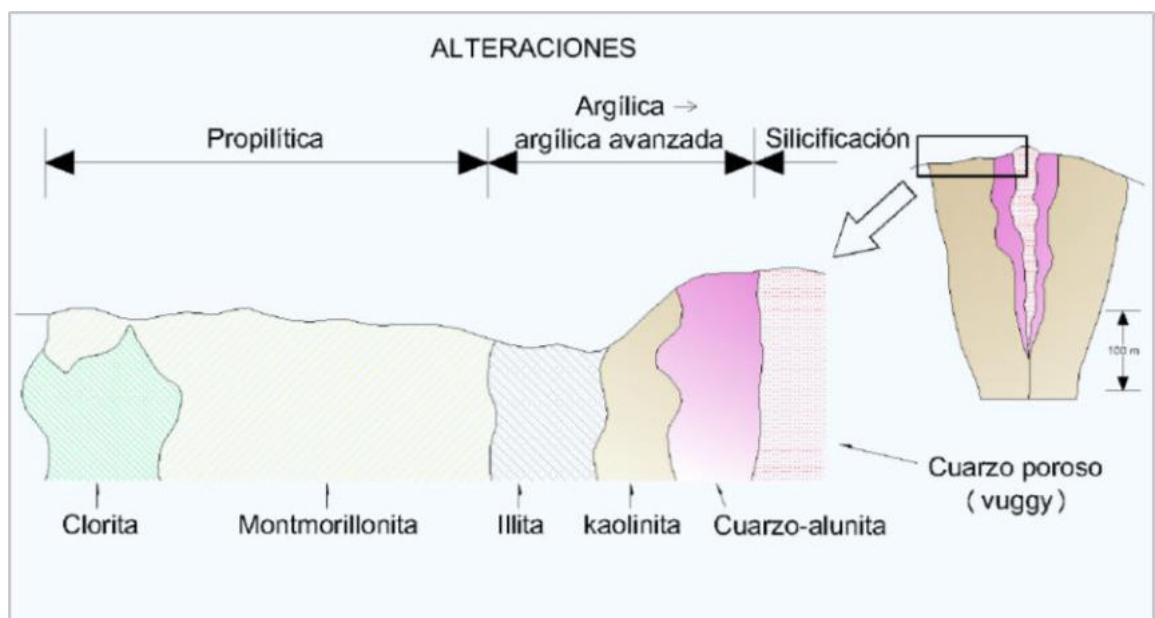


magmáticos y su intercambio con aguas meteóricas acompañadas con Au y Ag, al final una etapa de oxidación supergena creando precipitación de óxidos e hidróxidos en las zonas de vuggy sílice y Sílice residual. Es así que la zona de óxidos más rica está en la Vuggy sílice que es altamente poroso, seguido de la zona de Sílice masiva y cuarzo alunita con leyes promedio, y luego la zona de argílicos que forman la base del depósito con leyes bajas.

### 3.2.2.4 Tipo de depósito

Las principales características de un yacimiento de alta sulfuración de ambiente epitermal caracterizado por la presencia de minerales de alta sulfuración.

En el yacimiento se presenta sílice verrugosa en las partes superiores del depósito donde se encuentra el cuarzo poroso (vuggy) que alberga la parte más importante de la mineralización económica, el material estéril que debería estar encima de la sílice verrugosa desapareció debido a procesos exógenos.



**Fuente:** Introducción a la geología de minas exploración y evaluación (Roberto Oyarzun 2011).

**Figura 2 — Zonificación típica de yacimiento epitermales de alta sulfuración.**



### 3.3 Marco conceptual

DELGADO JOSÉ. (2007.) La estadística se ocupa de los métodos científicos para recolectar, organizar, resumir y presentar y analizar datos, así como obtener conclusiones válidas y tomar decisiones razonables en base a dicho análisis.

- a) **Estadísticas Elementales.** Son un conjunto de técnicas y métodos utilizados para recopilar, analizar, interpretar datos numéricos sobre una población o fenómeno específico, los cuales son fundamentales para entender y analizar datos, tomar decisiones informadas y mejorar procesos.

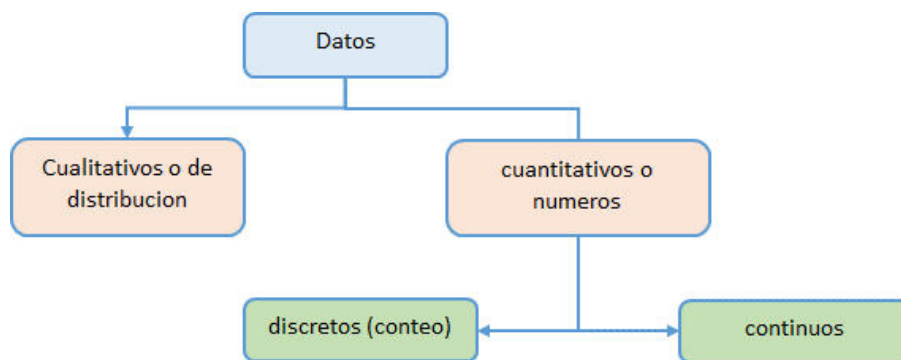


Figura 3 — Tipos de variable

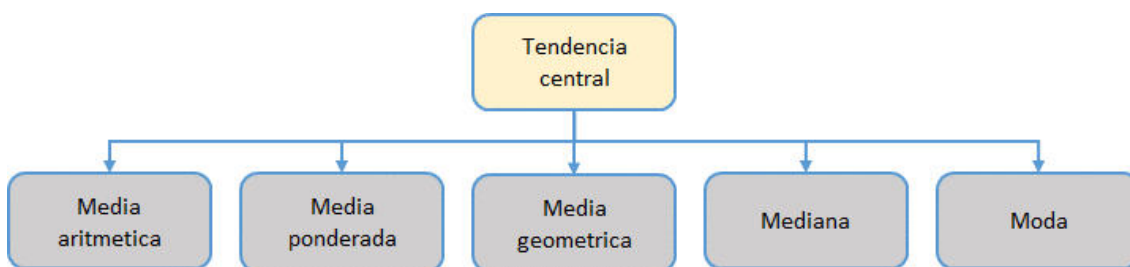


Figura 4 — Medida de tendencia central.

- Media o valor promedio

$$mv = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z(Xi) \tag{3}$$

Donde:

$mv$  = Media o valor promedio

$n$  = Número de muestras

$Xi$  = Valor observado

- Mediana



$$M = X_{i(n+1)/2} \quad n \text{ es par} \quad (4)$$

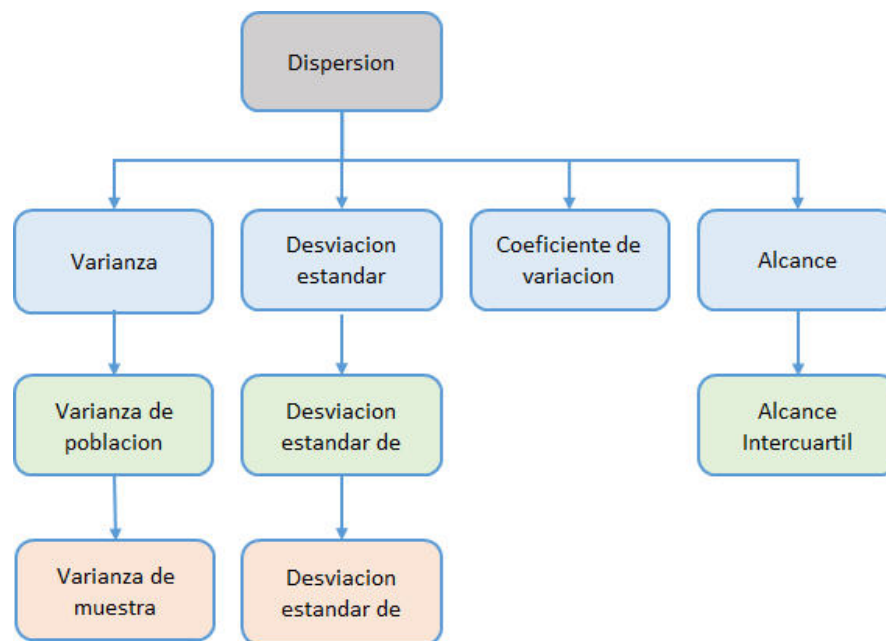
$$M = \left[ X_{\frac{n}{2}} + (X_{\frac{n}{2} + 1}) \right] / 2 \quad n \text{ es impar} \quad (5)$$

Donde:

$M$  = Mediana

$n$  = Número de muestras

$X_i$  = Valor observado



**Figura 5 — Medida de dispersión**

- Varianza

$$\sigma^2 = \frac{1}{(n - 1)} \sum_{i=1}^n z(X_i - mv) \quad (6)$$

Donde:

$X_i$  = Valor observado

$mv$  = Media o valor promedio

$n$  = Número de muestras

$\sigma^2$  = Varianza

- Desviación Estándar



$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (7)$$

Donde:

$\sigma =$  Desviación estándar

- Skewness (sesgo)

$$sk = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z(X_i - mv)^3 \right] / \sigma^3 \quad (8)$$

Donde:

$sk =$  Sesgo

$X_i =$  Valor observado

$mv =$  Media o valor promedio

$\sigma =$  desviacion estandar

- Peakedness (kurtosis)

$$pk = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z(X_i - mv)^4 \right] / \sigma^4 \quad (9)$$

Donde:

$pk =$  Kurtosis

$X_i =$  Valor observado

$mv =$  Media o valor promedio

$\sigma =$  Desviación estándar

- Coeficiente de variación

$$cv = \frac{\sigma}{mv} \quad (10)$$

Donde:

$cv =$  Coeficiente de variación

$mv =$  Media o valor promedio

$\sigma =$  Desviación estándar

- Distribución normal

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - mv}{\sigma}\right)^2\right]} \quad (11)$$

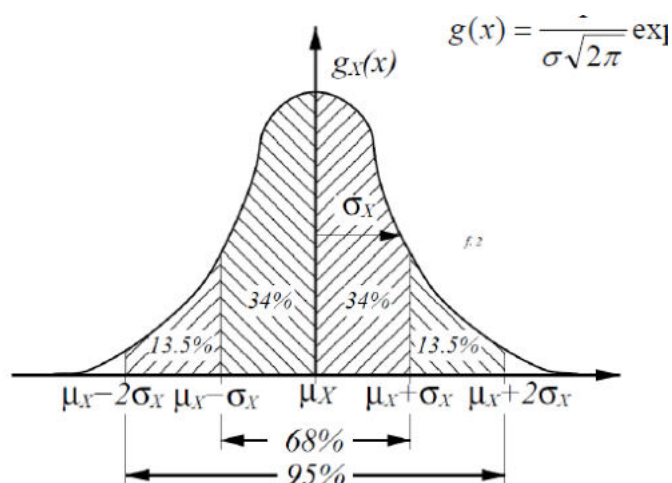
Donde:



$x_i = y$

$mv =$  Media o valor promedio

$\sigma^2 =$  Varianza



Fuente: A. G. JOURNAL, CH. J, (1981) Mining Geoestistics

Figura 6 — Distribución Normal

- Distribución lognormal

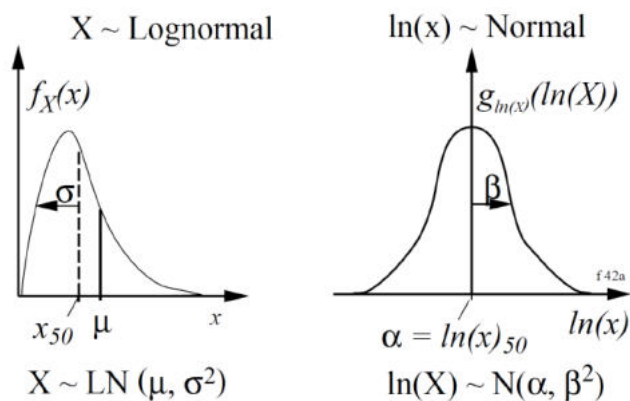
$$f(x) = \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x_i - mv}{\beta}\right)^2} \tag{12}$$

Donde:

$\ln x_i = y$

$mv =$  media o valor promedio

$\beta^2 =$  varianza



Fuente: A. G. JOURNAL, CH. J, (1981) Mining Geoestistics



## Figura 7 — Distribución Lognormal

b) **Herramientas Geoestadísticas.** DELGADO JOSÉ (2007). La geoestadística es una rama de la estadística aplicada, que desarrolla herramientas matemáticas para el estudio de variables distribuidas en el espacio, dependientes entre sí, llamadas variables regionalizadas.

- Variograma

ORTIZ, JULIÁN (2004). El variograma es una herramienta que permite medir la regularidad espacial de una variable, se representa gráficamente la correlación que existe en promedio para pares de muestras distantes a una cierta separación.

Consideremos dos valores numéricos  $Z(u)$  y  $Z(u+h)$ , en dos puntos  $u$  y  $u+h$  separados por un vector  $h$ . la variabilidad entre estas dos cantidades está caracterizada por la función variograma  $\gamma(h)$ , que está definida como la mitad de la esperanza de la variable aleatoria  $[Z(u) - Z(u + h)]^2$  es decir:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E\{[Z(u) - Z(u + h)]^2\} \quad (13)$$

Donde:

$h = \text{vector}$

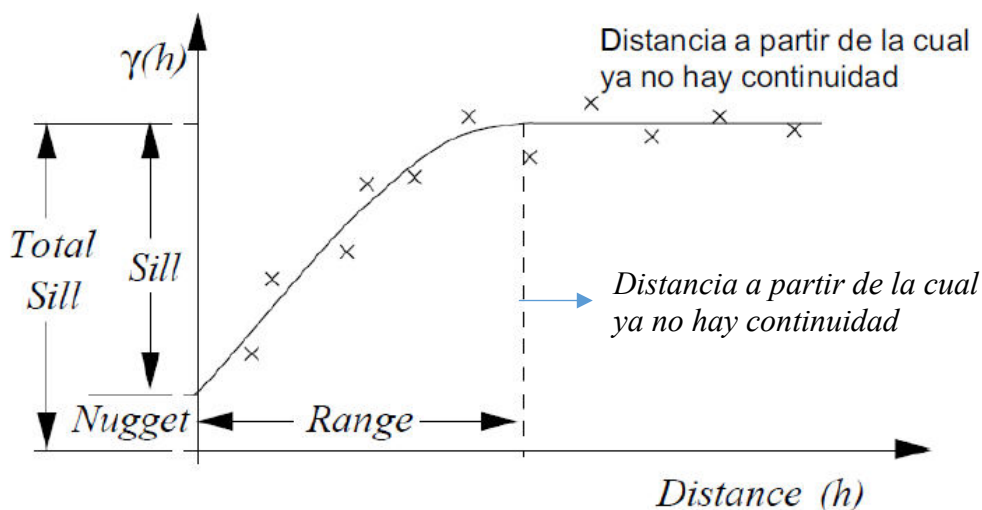
$Z = \text{Valor numerico}$

$u, u + h = \text{Puntos}$

$E = \text{Esperanza de la variable aleatoria}$

Esta función permite representar la orientación y la forma de la continuidad espacial de la variable en estudio.





Fuente: A. G. JOURNEL, CH. J, (1981) Mining Geoestatics

Figura 8 — Variograma Experimental y Teórico

EMERY XAVIER (2007). En general se elige un modelo de variograma entre las funciones de las cuales sabemos que son de tipo negativo condicional. A continuación, se detallan algunos ejemplos de funciones que tienen esta propiedad y que constituyen los modelos más usados en la práctica.

- Modelo esférico. El variograma de alcance  $a$  y meseta  $C$  se define como

$$\gamma(h) = \begin{cases} C \left\{ \frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{|h|}{a} \right)^3 \right\}, & \text{si } |h| \leq a \\ C & \text{en caso contrario} \end{cases} \quad (14)$$

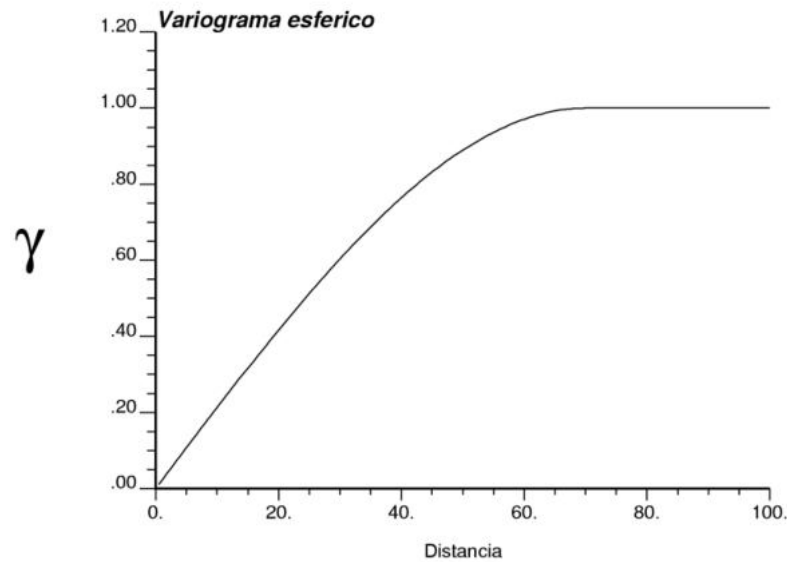
Donde:

$a$  = Alcance

$C$  = Meseta

$h$  = Vector de separación





**Fuente:** A. G. JOURNEL, CH. J, (1981) Mining Geostatistics

**Figura 9 — Variograma Esférico**

- Modelo Exponencial. El variograma de alcance  $a$  y meseta  $C$  se define como

$$\gamma(h) = C \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right\} \quad (15)$$

Donde:

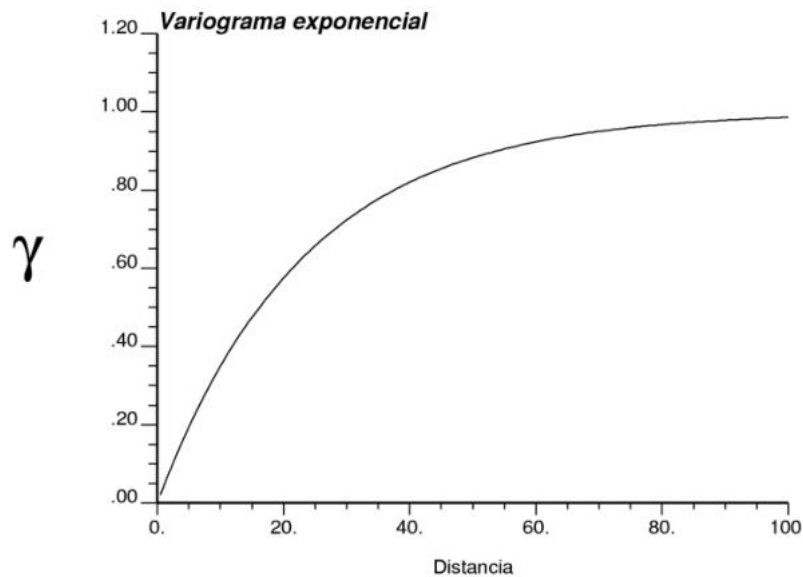
$a =$  Alcance

$C =$  Meseta

$h =$  Vector de separación

Contrario al modelo esférico que llega a la meseta exacta para  $|h| = a$ , el modelo exponencial sólo alcanza su meseta asintóticamente en el que se puede alcanzar un alcance práctico igual a  $3a$  para el cual el variograma llega al 95% del valor de la muestra.





Fuente: A. G. JOURNAL, CH. J, (1981) Mining Geoestistics

Figura 10 — Variograma Exponencial

- Modelo Gaussiano. El variograma gaussiano de parámetro  $a$  y meseta  $C$  se define como:

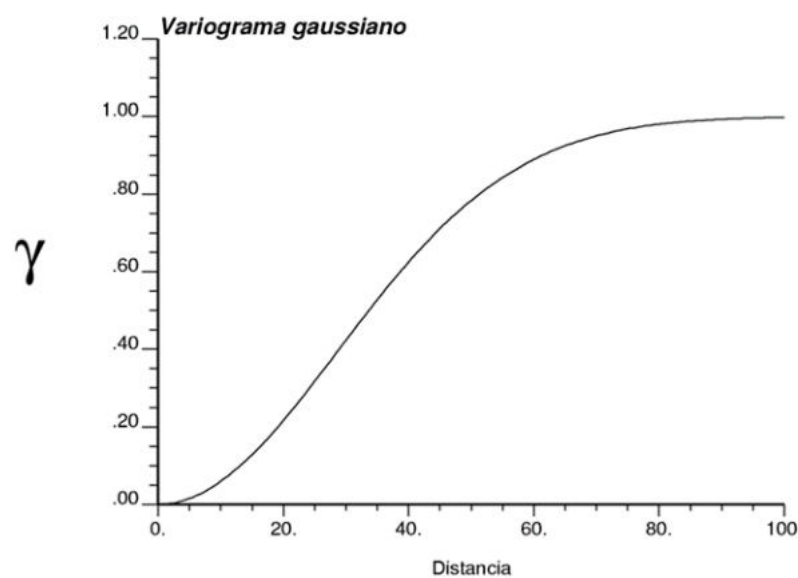
$$\gamma(h) = C \left\{ 1 - \exp \left( -\frac{|h|^2}{a^2} \right) \right\} \quad (16)$$

Donde:

$a$  = Alcance

$c$  = Meseta

$h$  = Vector de separación



Fuente: A. G. JOURNAL, CH. J, (1981) Mining Geoestistics



### Figura 11 — Variograma Gaussiano

- Kriging Simple.

ORTIZ, JULIÁN (2004). Se considera, para el kriging simple, que la media  $m$  del dominio (o al menos la media en una vecindad que se llamará vecindad de kriging) es conocida.

Además, se conoce el valor de la variable que se quiere estimar en  $n$  puntos de medición:  $Z(u_\alpha)$ ,  $\alpha = 1, \dots, n$ . en el que se asume inicialmente que la media es nula.

$$Z^*(u_o) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha \cdot Z(u_\alpha) \quad (17)$$

Bajo estas condiciones, el valor estimado será una combinación lineal ponderada de los valores conocidos:

$$\text{Var}[Z^*(u_o) - Z(u_o)] = \text{Var} \left[ \left( \sum_{\alpha=1}^n \lambda_\alpha \cdot Z(u_\alpha) \right) - Z(u_o) \right] \quad (18)$$

Para obtener los ponderadores que minimizan esta varianza, se debe derivar e igualar a cero, la expresión anterior, obteniéndose el sistema de kriging de simple.

$$\sum_{\beta=1}^n \gamma_\alpha C(u_\alpha - u_\beta) = C(u_\alpha - u_o) \quad \forall \alpha = 1, \dots, n. \quad (19)$$

La varianza del kriging se obtiene con el siguiente modelo.

$$\sigma_{KS}^2(u_o) = C(o) - \sum_{\alpha=1}^n \gamma_\alpha C(u_\alpha - u_o) \quad (20)$$

Por lo cual tendremos:

$$Z^*(u_o) = \sum_{\alpha=1}^n \gamma_\alpha Z(u_\alpha) + m \left( 1 - \sum_{\alpha=1}^n \gamma_\alpha \right) \quad (21)$$

- Kriging Ordinario.

ORTIZ, JULIÁN (2004). En la mayoría de los casos la media no es conocida, por lo que el kriging simple no se puede aplicar, por lo cual es necesario, replantear el sistema recién revisado, de manera de obtener los ponderadores sin considerar la media.



$$Z * (u_o) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \cdot Z(u_{\alpha}) \quad (22)$$

Sin embargo, se debe imponer la condición de insesgo o que la esperanza del error sea cero.

$$E[Z * (u_o) - Z * (u_o)] = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} \cdot E[Z(u_{\alpha})] - E [Z(u_o)] \quad (23)$$

Con:

$$E[Z(u_{\alpha})] = m \quad (24)$$

$$E[Z(u_o)] = m \quad (25)$$

$$E[Z * (u_o) - Z * (u_o)] = m \left( \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha} - 1 \right) \quad (26)$$

Esto lleva a la siguiente restricción de condición de universalidad.

$$\sum_{\alpha=1}^n \gamma_{\alpha} = 1 \quad (27)$$

Minimizando la varianza de estimación, pero sujeta a la restricción recién presentada:

$$\sigma_E^2 - 2 \cdot u \cdot \left( \sum_{k=0}^n \gamma_{\alpha} - 1 \right) \quad (28)$$

Obteniendo la varianza del kriging de la siguiente forma:

$$\sigma_{KO}^2(u_o) = \sum_{\alpha=1}^n \gamma_{\alpha} C(u_{\alpha} - u_{\beta}) + u \quad (29)$$

- c) **Modelo Geológico y Estimación de Recursos.** El modelo geológico y la estimación de recursos minerales son etapas, fundamentales en la evaluación de un yacimiento mineral, el objetivo es calcular el contenido metálico de un yacimiento, la cuantificación del contenido metálico puede ser estimado por métodos tradicionales (geométricos) o por modelos, numéricos robustos (geoestadísticos), La estimación de recursos está relacionada con la interpretación del modelo geológico, sustentado con la información obtenida de campo.



El cálculo y procedimiento de la estimación de recursos minerales debe ser revisado y validado por personal competente, todo el proceso de estimación de recursos debe mostrar confiabilidad, transparencia y materialidad de la data existente para su uso.



## **CAPÍTULO IV**

### **METODOLOGÍA**

#### **4.1 Tipo y nivel de investigación**

Los tipos de investigación empleados en el desarrollo de la tesis fueron exploratorio, correlacional, descriptivo, campo y bibliografía, el cual está enfocado en calcular la ley media de Au y Ag en una zona de óxidos.

#### **4.2 Diseño de la investigación**

La investigación científica inicia desde su planificación hasta llegar al análisis e interpretación de resultados, por lo que el diseño de investigación será de causa y efecto, dentro de un grupo aleatorio de muestras.

#### **4.3 Descripción ética de la investigación**

Se rige estrictamente a los lineamientos guía de elaboración de tesis de investigación entregado por la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

También cabe mencionar que este trabajo de investigación está adaptado a lineamientos de los códigos NI43 101 y JORC, este trabajo será útil para investigación académica y técnica. Este trabajo de investigación fue sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud a través del software Turnitin, obteniéndose un índice de similitud aceptable de 7% por lo que cumple con los criterios de originalidad establecidos por la universidad.

La data real de los contenidos metálicos en los sondajes, fue alterada multiplicado por un factor y las coordenadas reales fueron llevadas a coordenadas parciales por propósitos de confidencialidad.



## 4.4 Población y muestra

### 4.4.1 Población

La población considera el área de trabajo, que viene a ser el paraje comprendiendo sus dominios de mineralización zona de óxidos, transición (mixtos) y sulfuros, los cuales se encuentra a una altitud de 3800 a 4000 msnm en el sector Koripampa, Comunidad Pamparky - Colca, Distrito de Tambobamba, Provincia de Cotabambas y Departamento de Apurímac.

### 4.4.2 Muestra

La muestra que se tomó para realizar el trabajo de investigación. Es tomada de forma no probabilística, conformada por las leyes de Au [g/t], Ag [oz/t], As [%] y Cu [%] dentro de los dominios o unidades de estimación.

## 4.5 Procedimiento

### 4.5.1 Identificación de la base de datos

Se ha analizado la base de datos verificando que no existan valores erróneos de acuerdo a las partida o certificados entregados por laboratorio químico haciendo un control de QAQC.

#### a) Sistema de gestión de información

La base de datos, almacena gran cantidad de información en archivos específicos, los archivos específicos registran información detallada como se describe a continuación.

Header: Contiene los datos de ubicación del sondaje este, norte, elevación, longitud total.

Survey: Contiene la orientación del sondaje azimut y buzamiento que son medidos a lo largo de cada sondaje.

Assay: Contiene los resultados de las muestras por cada elemento metálico.

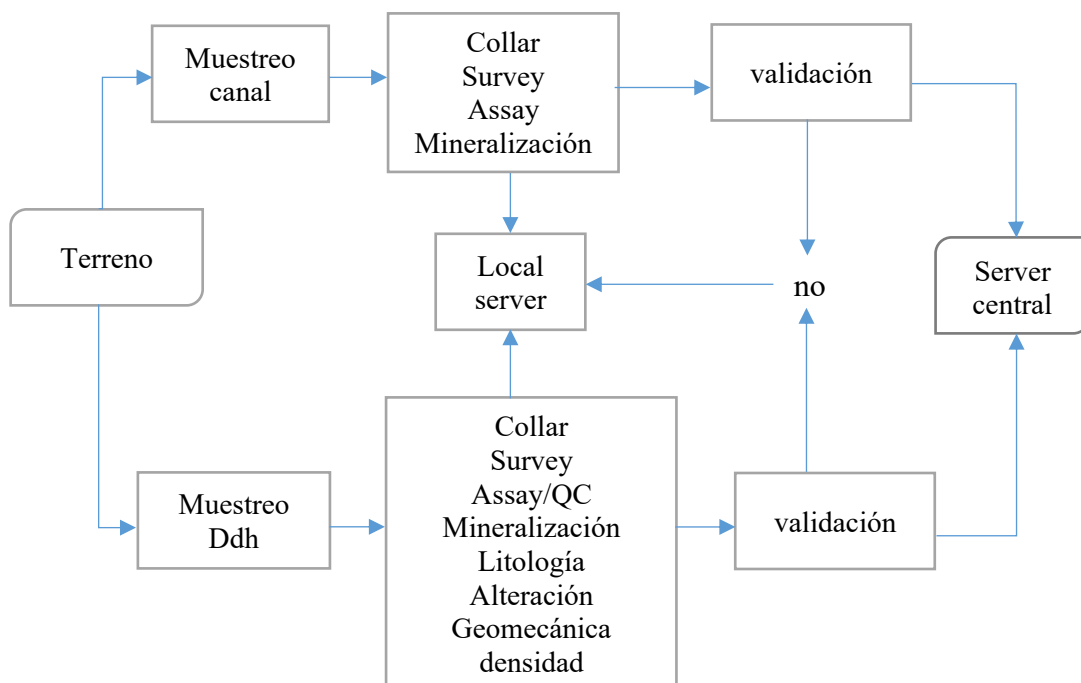
Zone: Contiene la información del tipo de mineral óxidos, mixtos y sulfuros.



El proyecto Koripampa, actualmente cuenta con 206 sondajes de sondajes diamantinas, se hizo trabajos y verificación de los registros originales y que dicha información, sea genuina con la base de datos digitalizada, esta base de datos cuenta con información de coordenadas de cada pozo, desviación e inclinación, zonas mineralizadas, y valores de los elementos metálicos que son de interesen.

Se revisaron los sondajes de forma independiente y se corrigieron los errores de los traslapes por intervalos, valores duplicados, las desviaciones, con los registros limpios y sin errores, se procedió llevarlo al sistema de información de vulcan software para agruparlos y realizar su análisis correspondiente.

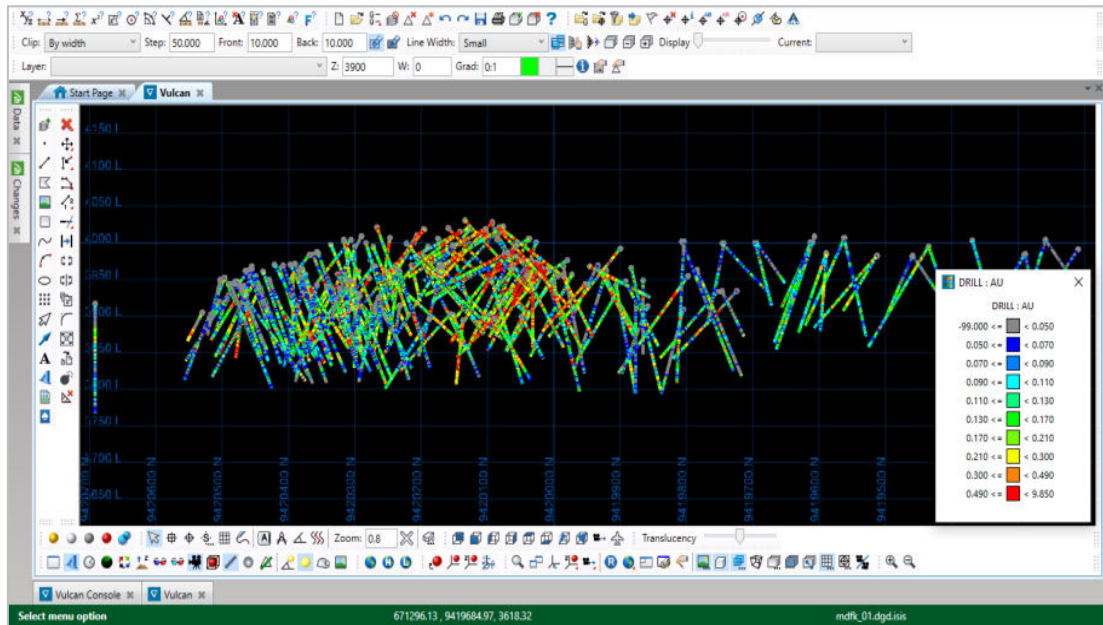
Se implementó un sistema de administración integral de base de datos desarrollado para el proyecto, esto asegura el acceso y la definición de tareas, administración, permisos y la integridad de la base de datos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC

Figura 12 — Sistema de administración integral de base de datos proyecto Koripampa.





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 13 — Sondajes diamantinos con leyes de Au [g/t]

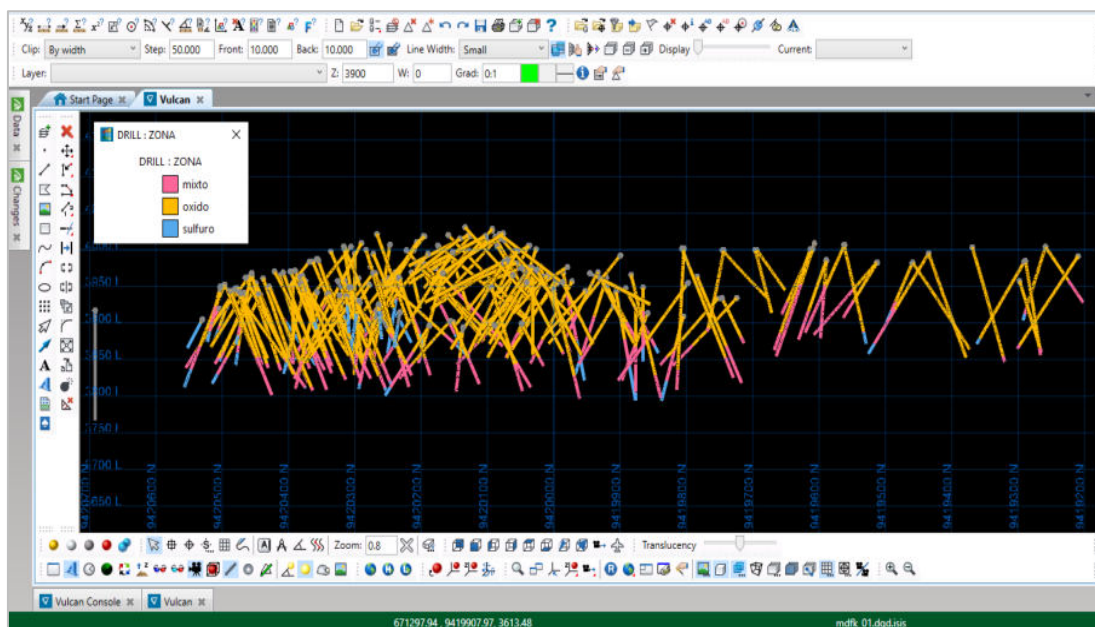
En la imagen se puede apreciar de perfil, la distribución de los sondajes diamantinos georreferenciados con coordenadas y dirección, inclinación, longitud y muestras a lo largo de los sondajes desplegados en el sistema vulcan.

### b) Modelo Geológico

Para generar cualquier modelo geológico debemos considerar, al finalizar la digitalización de planos en secciones transversales y planta, se inicia a crear el modelo geológico en 3D, representado por un conjunto de triángulos agrupados que generan una envolvente homogénea o heterogénea enmallado (wireframe).

El wireframe es un sólido tridimensional cerrado, una vez construido el modelo, es verificado para que no tenga errores como duplicidad en caras y puntos, en vulcan se verifica el volumen de los sólidos para comparar con el volumen del modelo de bloques.

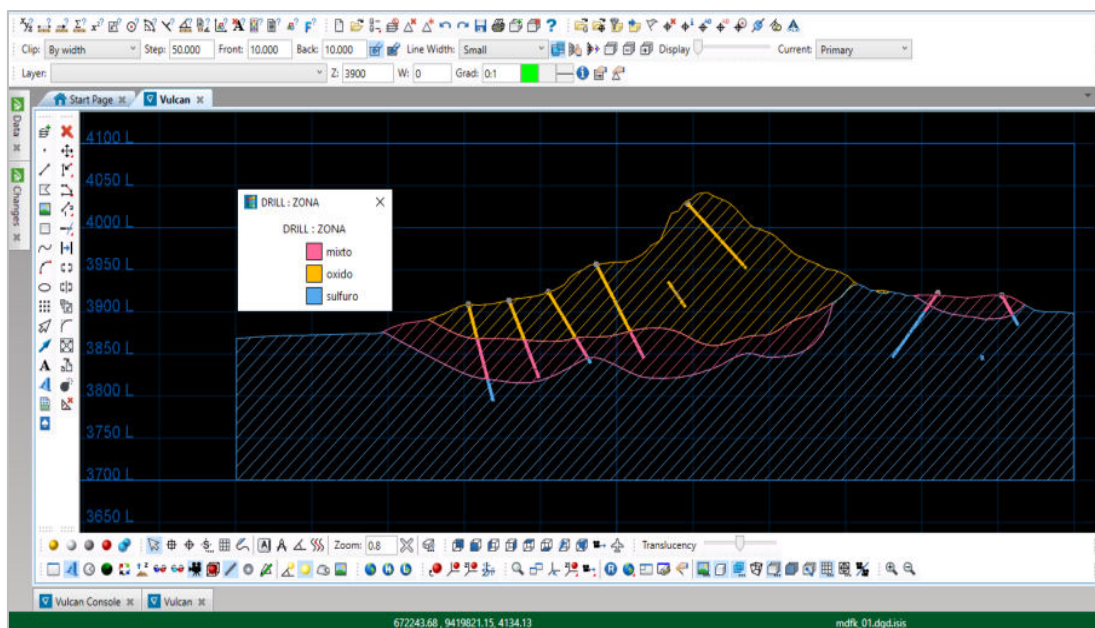




Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 14 — Sondajes diamantinos con zonas de mineralización.

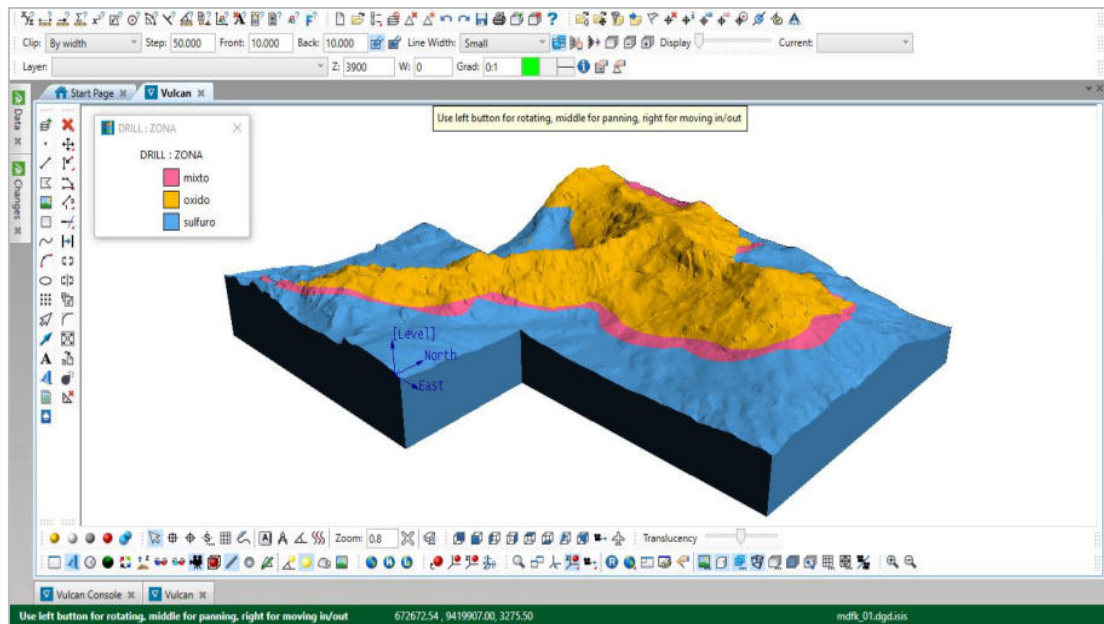
En la imagen de puede observar el despliegue de los sondajes y la caracterización de las zonas mineralizadas amarillo la zona de oxidados, rosa zona de mixtos y celeste zona de sulfuros.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 15 — Vista en perfil se despliega sondajes y set de polígonos.

En la imagen se puede observar la digitalización de polígonos que encierran las zonas mineralizadas, los chequeos para su definición del juego de polígonos en secciones de perfil, transversal y planta son respaldados y auditados por geólogos de exploraciones con amplia experiencia en depósitos minerales.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

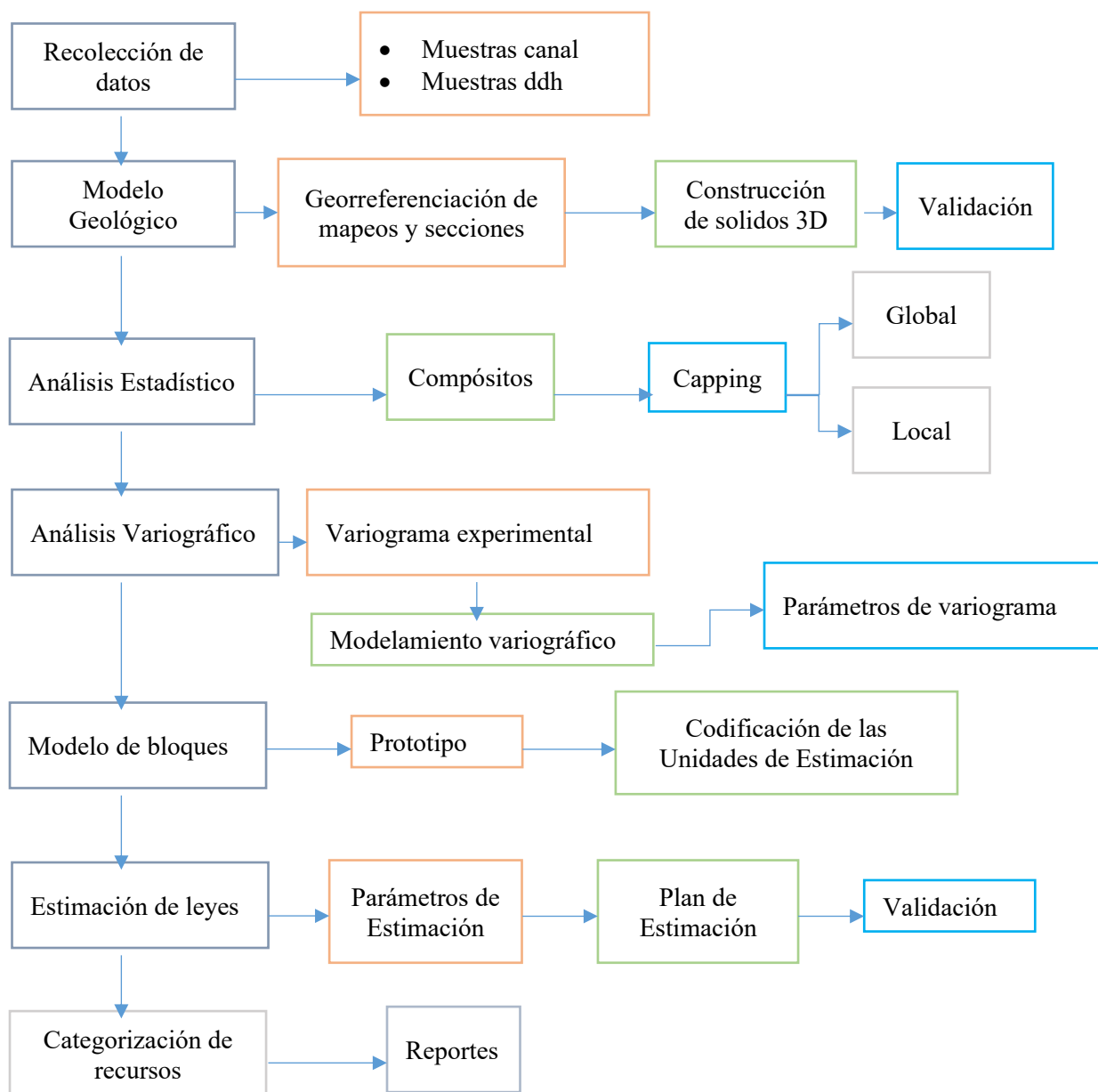
Figura 16 — Wireframes generados por juego de polígonos

Wireframes generados en base a un set de polígonos, en las tres direcciones, a estos wireframes se le han asignado un código numérico por cada zona mineralizada, para su manipulación y filtrado de datos en el sistema vulcan, óxidos eq 201, mixtos eq 202 sulfuros eq 203.

### c) Proceso de Estimación de Recursos

Para el procedimiento de estimación de recursos minerales se ha elaborado un mapa de procesos, el cual tiene como objetivo generar una secuencia de procedimientos correctos que será retroalimentado en cuanto se avance y o se detecten errores o fallas en cada etapa.





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 17— Esquema implementado para la estimación de recursos minerales koripampa.**

#### 4.5.2 Limpieza y depuración de valores erróneos

Se ha revisado exhaustivamente la base de datos con el apoyo de un QP (quality person) experto en base de datos y estimación de recursos minerales, para identificar los umbrales límites de detección que ayudaron a no tener valores vacíos, se llevó toda la información al sistema de información vulcan 3D para proceder a generar los dominios litológicos, regularización de muestras, generación de dominios de estimación, correlación de leyes mediante, estudio variografico, plan de estimación, validación de estimación, categorización y reportabilidad de los resultados.



#### 4.6 Técnica e instrumentos

Como primer procedimiento y material contemplan, revisión de bibliográfica, la investigación de antecedentes de otros proyectos mineros e información tomada de la experiencia en la ejecución de anteriores proyectos; de donde se usa la siguiente información.

- Bibliografía.
- Reportes de los primeros y últimos trabajos de exploración considerando (zonas de mineralización, alteración y mapeos en superficie).
- Integración de la base de datos en el sistema vulcan 3D.
- Procedimientos de cálculo en tablas Excel, Jupyter Notebook (Python) y vulcan 3D.

#### 4.7 Análisis estadístico

Cumple con los siguientes pasos y elementos, para obtener resultados con su respectiva interpretación, a fin de determinar las conclusiones y recomendaciones.

Los resultados fueron analizados estadísticamente para entender la naturaleza de cada uno de los commodities, entender el tipo de distribución realizando pruebas de bondad de ajuste por la metodología de Kolmogórov-Smirnov y gráficos de qq plot, con el propósito de generar dominios de estimación estacionarios, y aplicar modelos de regresión lineal para la estimación de leyes.



## CAPÍTULO V

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 5.1 Análisis de resultados

##### 5.1.1 Análisis Exploratorio de datos

En el procesamiento estadístico se calcularon medidas de tendencia central, medidas de dispersión fundamentales: número de datos, media, mediana, valor mínimo, valor máximo, varianza, desviación estándar, sesgo, cuartiles, etc. para tener en claro o una idea del comportamiento en el espacio.

Se realizó un resumen estadístico global, por litología, mineralización obteniendo, matriz de correlación, histogramas, box plot y gráficos de probabilidad. El cual nos indica el tipo de distribución y el procedimiento a seguir.

#### a) Estadística Global

**Tabla 6 — Estadística global**

Koripampa Project				
Item / Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
Number of samples	13998	13998	9233	12832
Total weight	24173.69	24173.69	15640.79	22162.29
Minimum	0.01	0.00	0.01	0.01
Maximum	9.85	16.82	9.24	5.48
Range	9.84	16.82	9.23	5.47
Average	0.22	0.43	0.13	0.06
Standard deviation	0.34	0.68	0.22	0.19
Variance	0.12	0.47	0.05	0.04
Geometric mean	0.13	0.20	0.06	0.03
Skewness	0.05	0.03	0.08	0.07
Fisher Kurtosis	132.88	62.76	268.31	180.58
Coef. of variance	1.57	1.60	1.70	3.05
Sichel t	0.20	0.45	0.12	0.04
Q1	0.08	0.09	0.02	0.01
Median	0.13	0.21	0.06	0.02
Q3	0.23	0.47	0.14	0.04
<b>Fuente:</b> elaborado por el autor.				

b) Estadística Poblacional

**Tabla 7 — Estadística por dominio de mineralización**

Dominion	Oxide				Mixto				Sulfide			
Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
Number of samples	11385	11385	7758	10314	1808	1808	1041	1748	673	673	340	643
Total weight	19373.84	19373.84	12940.25	17543.15	3342.55	3342.55	1915.30	3227.05	1217.15	1217.15	613.35	1160.95
Minimum	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Maximum	9.85	16.82	9.24	3.52	3.38	7.90	1.00	2.74	1.62	6.40	1.00	5.48
Range	9.84	16.82	9.23	3.51	3.37	7.89	0.99	2.73	1.61	6.39	0.99	5.47
Average	0.23	0.43	0.13	0.04	0.14	0.52	0.10	0.12	0.16	0.22	0.12	0.29
Standard deviation	0.37	0.65	0.23	0.12	0.18	0.88	0.15	0.23	0.15	0.58	0.18	0.50
Variance	0.13	0.42	0.05	0.01	0.03	0.77	0.02	0.05	0.02	0.34	0.03	0.25
Skewness	0.06	0.04	0.09	0.12	0.13	0.07	0.08	0.09	0.09	0.18	0.12	0.15
Fisher Kurtosis	120.09	80.22	266.89	307.94	98.03	22.36	19.71	40.06	22.28	48.15	13.37	40.24
Coef. of variance	1.57	1.52	1.71	3.27	1.29	1.68	1.54	1.95	0.93	2.66	1.49	1.71
Sichel t	0.22	0.44	0.13	0.03	0.14	0.60	0.09	0.10	0.17	0.17	0.12	0.29
Q1	0.08	0.10	0.03	0.01	0.06	0.09	0.02	0.02	0.07	0.03	0.02	0.05
Median	0.13	0.22	0.06	0.02	0.09	0.23	0.04	0.04	0.12	0.07	0.06	0.14
Q3	0.25	0.48	0.14	0.03	0.16	0.55	0.11	0.10	0.21	0.16	0.14	0.32
<b>Fuente:</b> elaborado por el autor.												

En la **Tabla 6**. Se describe las estadísticas globales de las variables involucradas en el proyecto, se describen en general el número de muestras y los valores promedio por variable.

**La Tabla 7.** Describe las estadísticas de las variables quebrado por zonas de mineralización.

### 5.1.2 Análisis de soporte y elección de compósitos

El logeo y el muestreo es a menudo muy minucioso en zonas con intervalos de mineralización económica, el objetivo es caracterizar lo mejor posible la mineralización económica, por lo que las zonas con mayor ley, tienen más muestras por los intervalos cortos tomados, A continuación, se realiza un análisis estadístico tomando en cuenta los dominios o zonas mineralizadas, se evaluarán diferentes tamaños para ir viendo cómo va afectando los cambios de soporte en los dominios.

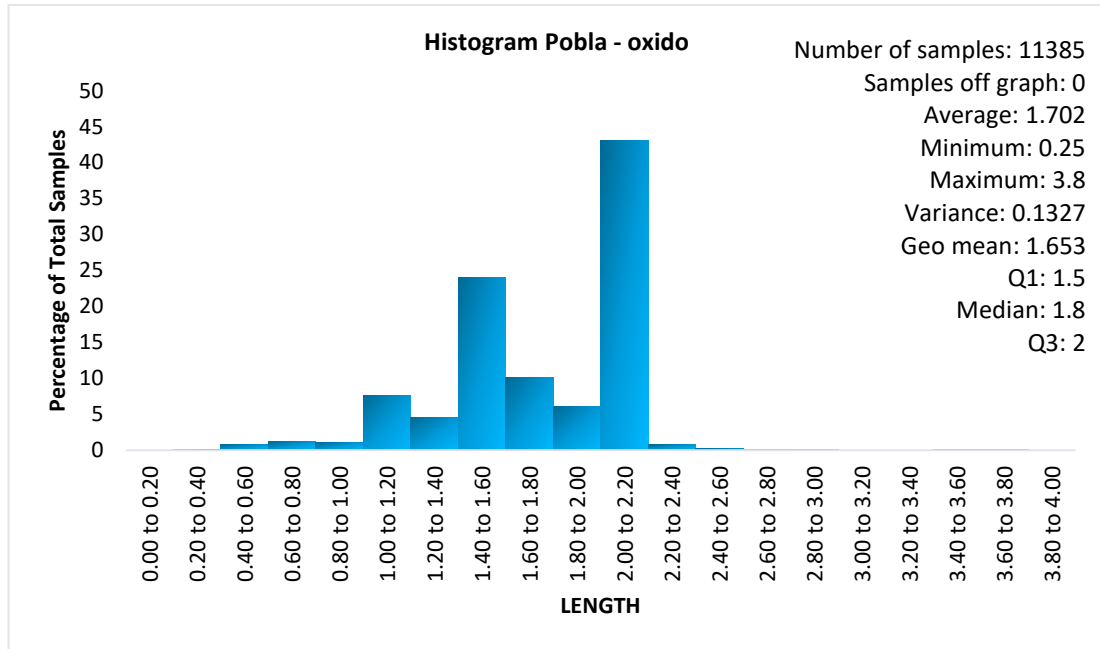
Las recomendaciones de las personas competentes en este tema, sugieren tener enfoque en la cantidad de muestras, distribuidos en los diferentes intervalos de sondaje por cada una de las zonas mineralizadas.

Otro indicador importante a tener en cuenta es analizar el agrupamiento o porcentaje de intervalos de longitud en la población global.

**Tabla 8 — Estadística de los intervalos de sondajes con elementos de interés**

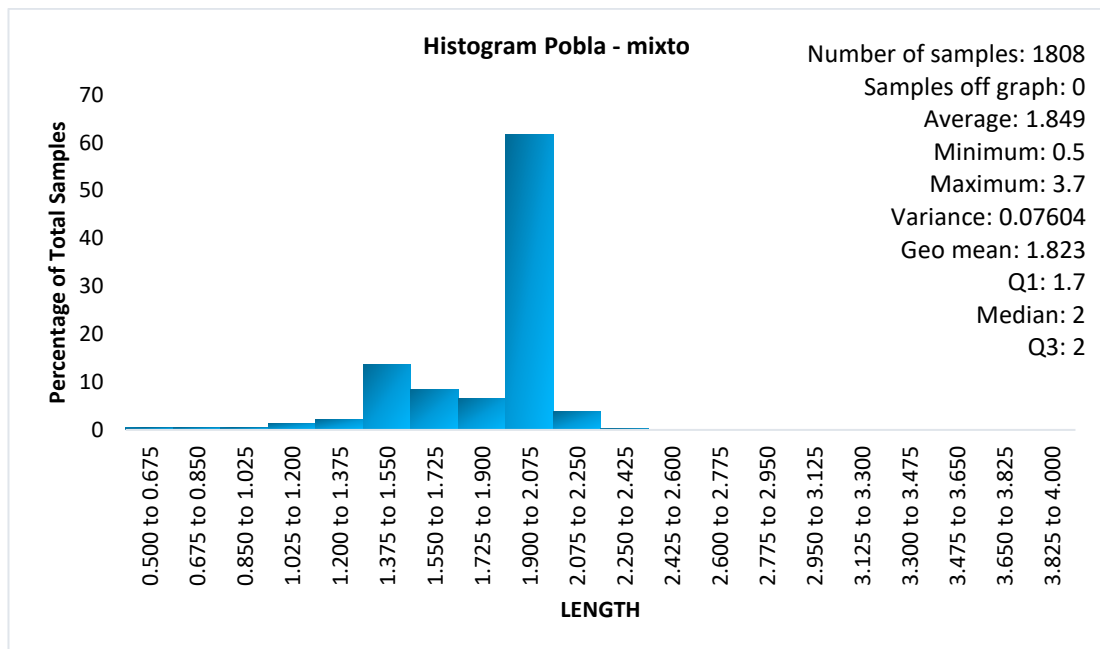
Length [m]					
Item / Mineral	lastre 1	lastre 2	oxido	mixto	sulfuro
Number of samples	74	58	11385	1808	673
Minimum	2.00	0.50	0.25	0.50	0.60
Maximum	2.30	4.00	3.80	3.70	2.70
Range	0.30	3.50	3.55	3.20	2.10
Average	2.01	1.58	1.70	1.85	1.81
Standard deviation	0.04	0.51	0.36	0.28	0.31
Variance	0.00	0.26	0.13	0.08	0.10
Geometric mean	2.01	1.50	1.65	1.82	1.78
Geometric variance	1.00	1.11	1.07	1.03	1.04
Harmonic mean	2.01	1.43	1.59	1.79	1.73
Skewness	6.19	1.59	-0.90	-1.31	-1.27
Fisher Kurtosis	37.58	6.88	0.64	4.36	1.09
Nat. log mean	0.70	0.41	0.50	0.60	0.57
Nat. log variance	0.00	0.10	0.07	0.03	0.04
Coef. of variance	0.02	0.32	0.21	0.15	0.17
Sichel t	2.01	1.58	1.71	1.85	1.81
Q1	2.00	1.30	1.50	1.70	1.60
Median	2.00	1.50	1.80	2.00	2.00
Q3	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
<b>Fuente:</b> elaborado por el autor.					





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

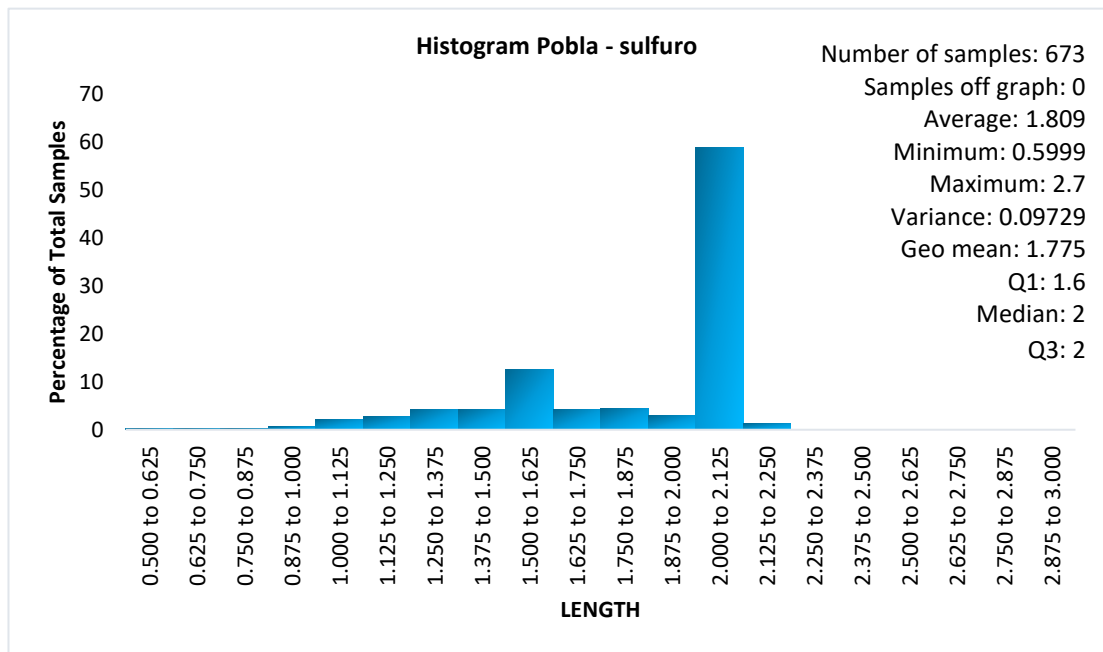
Figura 18 — Histograma longitud variable en óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 19 — Histograma longitud variable en mixtos.

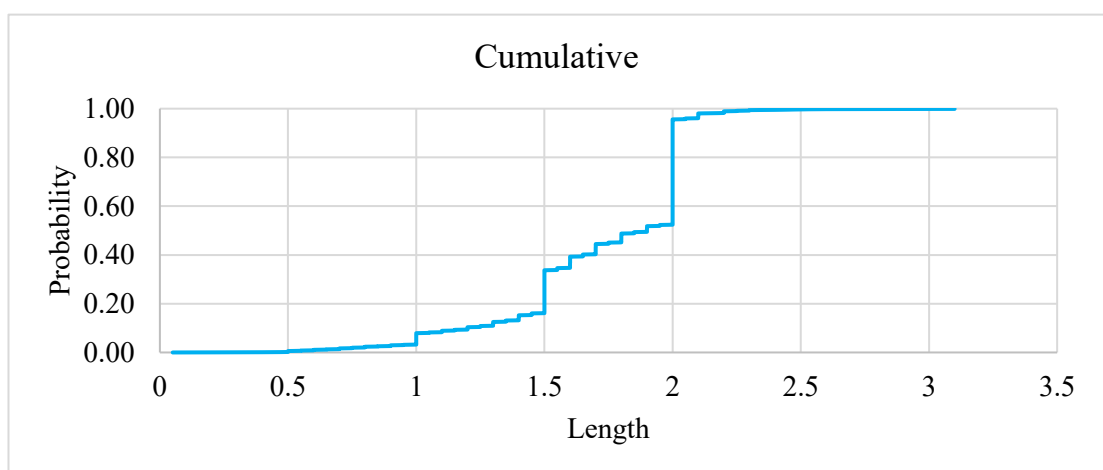




Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 20 — Histograma longitud variable en sulfuros.

La (Tabla 8) y las (Figuras 18, 19, 20) detalla que, la concentración de los elementos, están distribuidos en intervalos en un rango 1.0 a 2.0 metros de longitud, por lo que tendremos que regularizar los sondeos a intervalos de una sola longitud, el cual dará una mejor ponderación de la ley media en cada uno de zonas.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 21 — Porcentaje de intervalos de la toda la población.

Se indica, el mayor porcentaje de intervalos de toda la población, se encuentra a 2.0 metros, por lo que compositaremos a un intervalo constante ya mencionado, con lo que



Se compositaron los intervalos no regulares a intervalos regulares o constantes de 1m, 2m, 3m, 4m, 5m y se realizó una comparación estadística de los datos iniciales versus los datos compositados.

Con él, se obtuvo el análisis de sensibilidad de la media global con los valores compositados de los elementos en estudio, así como la varianza y su coeficiente de variación.

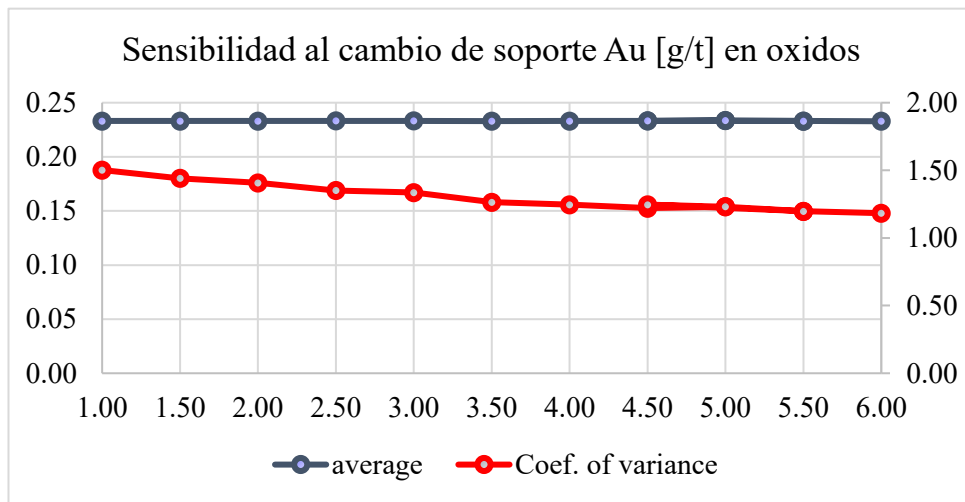


**Tabla 9 — Estadísticas de las muestras de Au [g/t] regularizadas a diferentes soportes**

Cambio de soporte Au [g/t] en Oxido												
	scomp	1m	1.5m	2m	2.5m	3m	3.5m	4m	4.5m	5m	5.5m	6m
Number of samples	11385	19433	12969	9751	7813	6521	5601	4918	4373	3937	3600	3307
Total weight	19373.84	19379.34	19373.84	19391.34	19375.34	19378.34	19375.84	19407.34	19372.34	19360.34	19409.34	19434.79
Minimum	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Maximum	9.85	9.85	7.12	7.65	6.08	7.02	5.11	4.86	5.16	4.94	4.36	4.30
Range	9.84	9.84	7.11	7.64	6.07	7.01	5.10	4.85	5.15	4.93	4.35	4.29
Average	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Standard deviation	0.37	0.35	0.34	0.33	0.32	0.31	0.29	0.29	0.28	0.29	0.28	0.28
Variance	0.13	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
Skewness	0.06	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Fisher Kurtosis	120.09	110.29	91.08	101.24	70.76	91.11	57.92	57.93	69.55	65.69	57.85	53.69
Coef. of variance	1.57	1.50	1.44	1.41	1.35	1.34	1.27	1.25	1.22	1.23	1.20	1.18
Sichel t	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23
Q1	0.08	0.08	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.10
Median	0.13	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.16
Q3	0.25	0.25	0.25	0.26	0.25	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26

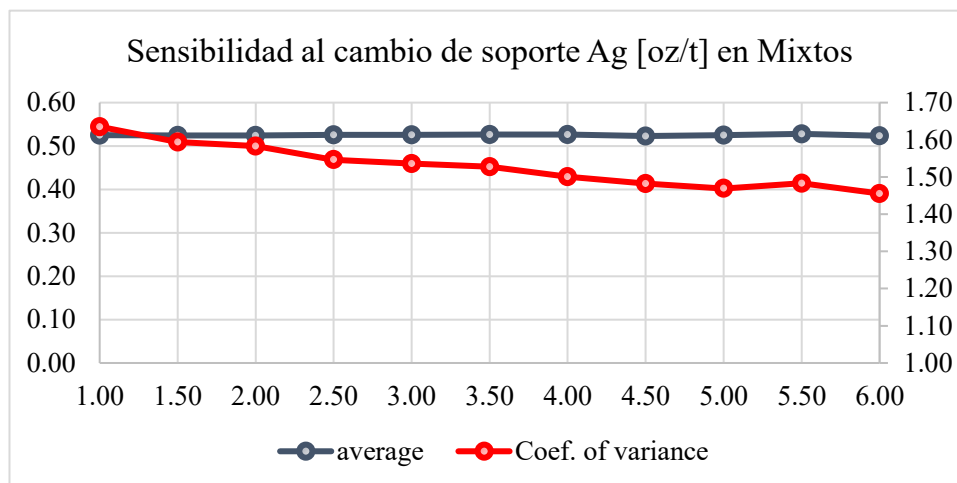
**Tabla 10 — Estadísticas de las muestras de Ag [oz/t] regularizadas a diferentes soportes.**

Cambio de soporte Ag [oz/t] en Oxidos												
	<b>scomp</b>	<b>1m</b>	<b>1.5m</b>	<b>2m</b>	<b>2.5m</b>	<b>3m</b>	<b>3.5m</b>	<b>4m</b>	<b>4.5m</b>	<b>5m</b>	<b>5.5m</b>	<b>6m</b>
Number of samples	1808	3374	2266	1698	1371	1156	998	872	783	709	644	594
Total weight	3342.55	3340.85	3339.85	3324.85	3341.35	3345.85	3350.35	3326.85	3338.35	3356.95	3306.85	3312.50
Minimum	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Maximum	7.90	7.46	7.26	7.26	7.26	7.26	6.47	7.26	7.26	5.53	5.81	5.68
Range	7.89	7.45	7.25	7.25	7.25	7.25	6.47	7.25	7.25	5.52	5.81	5.67
Average	0.52	0.53	0.52	0.52	0.53	0.53	0.53	0.53	0.52	0.53	0.53	0.52
Standard deviation	0.88	0.86	0.84	0.83	0.81	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.78	0.76
Variance	0.77	0.74	0.70	0.69	0.66	0.65	0.65	0.62	0.60	0.60	0.61	0.58
Skewness	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
Fisher Kurtosis	22.36	20.48	19.90	19.69	18.17	18.01	18.65	19.39	17.15	16.86	17.84	17.10
Coef. Of variance	1.68	1.64	1.59	1.58	1.55	1.54	1.53	1.50	1.48	1.47	1.48	1.46
Sichel t	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Q1	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12
Median	0.23	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26	0.26	0.27	0.26	0.27
Q3	0.55	0.55	0.55	0.55	0.54	0.56	0.55	0.56	0.57	0.57	0.55	0.57



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 22 — Sensibilidad al cambio de soporte Au [g/t] óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 23 — Sensibilidad al cambio de soporte Ag [oz/t] óxidos.

**Tabla 11 — Resumen y selección de compositos a intervalos de 1.5 metros.**

Dominion	Oxido				Mixto				Sulfuro			
Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
Number of samples	12969	12969	8801	12108	2266	2266	1311	2205	833	833	434	800
Total weight	19373.84	19373.84	13138.60	18086.49	3339.85	3339.85	1935.35	3248.35	1217.00	1217.00	629.25	1167.50
Minimum	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Maximum	7.12	16.82	6.67	2.59	3.38	7.26	1.00	2.51	1.62	5.85	1.00	5.13
Range	7.11	16.82	6.67	2.59	3.37	7.25	1.00	2.51	1.61	5.85	1.00	5.13
Average	0.23	0.43	0.13	0.03	0.14	0.52	0.10	0.12	0.16	0.22	0.11	0.29
Standard deviation	0.34	0.60	0.20	0.11	0.17	0.84	0.14	0.21	0.14	0.56	0.17	0.47
Variance	0.11	0.36	0.04	0.01	0.03	0.70	0.02	0.04	0.02	0.31	0.03	0.22
Skewness	0.05	0.04	0.06	0.11	0.11	0.06	0.08	0.09	0.08	0.17	0.12	0.15
Fisher Kurtosis	91.08	72.54	143.09	264.05	87.09	19.90	20.04	34.86	21.55	43.53	13.71	38.56
Coef. of variance	1.44	1.41	1.56	3.07	1.17	1.59	1.47	1.81	0.88	2.56	1.45	1.63
Sichel t	0.22	0.44	0.13	0.03	0.14	0.60	0.09	0.10	0.17	0.17	0.12	0.30
Q1	0.09	0.11	0.03	0.01	0.06	0.10	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05
Median	0.14	0.23	0.07	0.02	0.10	0.24	0.05	0.05	0.13	0.07	0.06	0.14
Q3	0.25	0.50	0.15	0.03	0.16	0.55	0.11	0.11	0.21	0.16	0.14	0.34

En la (Tabla 11). Podemos concluir que cualquier compósito mayor a 2.0 metros va a ser representativo sin pérdidas mayores de información y sin creación de información, al final de cada cuadro estadístico podemos observar que los compósitos a 2.0 m tiene una pérdida promedio menor al 13.78% del total de los datos iniciales y los compósitos mayores a 2.0 m tiene una pérdida de volumen de información superior al 42.48%, por ello es que se eligió el compósito de 1.5 metros, con lo que se quiere mantener la variabilidad real del yacimiento.

### 5.1.3 Tratamiento de valores atípicos (outliers)

Los valores atípicos (outliers) o valores extremos, son aquellos que no parecen pertenecer a la misma población constituida por el resto de los datos, debido a la gran densidad de datos es imposible pensar que los datos muestreados sean 100% precisos o fidedignos, es posible que aparezcan observaciones anómalas, que pueden corresponder a errores inducidos, es decir errores humanos (error de tipeo), o errores asociados al mal funcionamiento, o calibración de los equipos.

Por lo general cobran gran relevancia ya que, en una evaluación de un yacimiento, el valor económico de un yacimiento está directamente influenciado por la presencia de pepitas de muy alta ley.

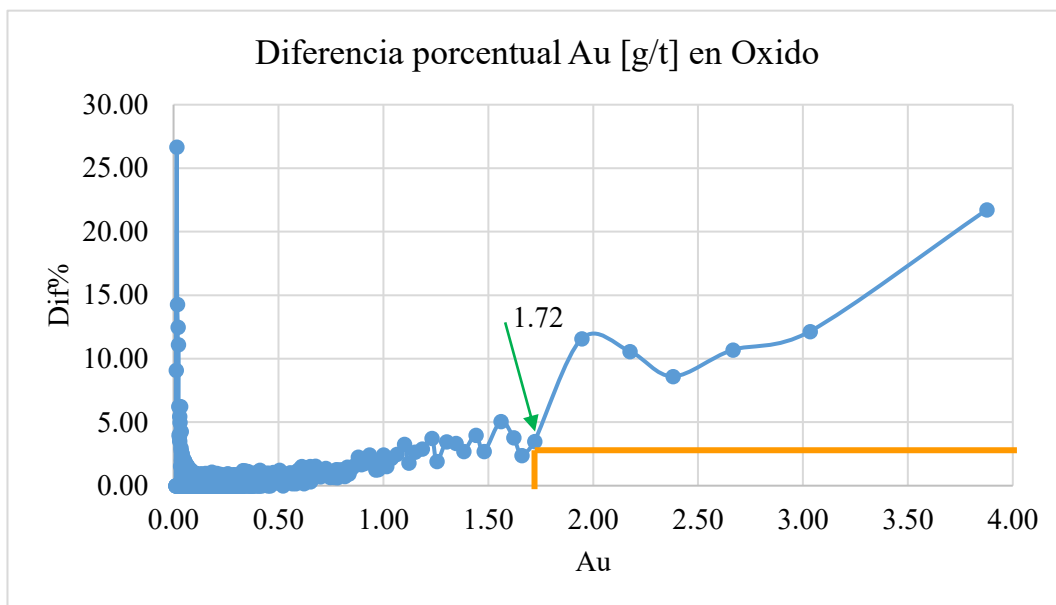
Esto genera una serie de inconvenientes en la estimación de recursos ya que estos valores extremos introducen variabilidad y complican el estudio variográfico, pudiendo generar sobreestimación de leyes en amplias zonas, al verse influenciadas por estos valores, ahora si se elimina un valor que no es atípico es posible que pueda producir un efecto de subestimación del área en cuestión.

Por lo que ningún test estadístico puede indicar si un valor es aberrante o no, sin embargo, existen técnicas que permiten tratar estos datos aberrantes sin mitigar su impacto, tales como.

- Capping
- Aumentar el tamaño de compósito.
- Transformar los datos.
- Utilizar estadísticas robustas.
- Uso de radios restringidos.
- Identificar diferentes poblaciones de datos y agruparlos por unidades de estimación.

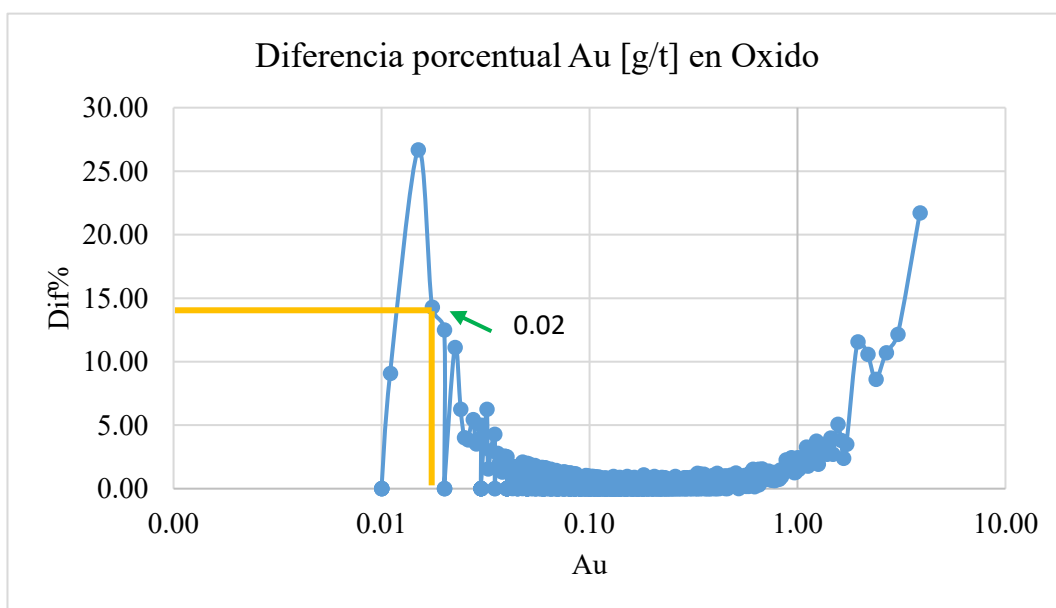


Para determinar los valores atípicos de las variables analizadas en las unidades de estimación, se realiza un gráfico de diferencia porcentual de las muestras. Los valores de las leyes son ordenados de mayor a menor para luego generar una función en donde se evalúa la diferencia porcentual entre una muestra y la que inmediatamente le sigue.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 24 — Diferencia porcentual Au [g/t] óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 25 — Diferencia porcentual Au [g/t] óxidos.



El análisis permite evaluar la existencia de valores que escapen a la población al presentar estas diferencias porcentuales mayores a la tendencia mayoritaria de las muestras, el primer gráfico muestra una distribución lineal en el eje de Au, el segundo gráfico muestra una escala logarítmica de los valores de Au para detectar el valor mínimo que escapa de la tendencia de agrupamiento valor mínimo está en 0.02 g/t y valor máximo de corte 1.72 g/t, los valores de corte serán indicadores para minimizar la variabilidad de correlación de las muestras en el espacio, y evitar problemas mayores en la sobre estimación y subestimación.

A continuación, se muestra los límites de umbral máximo de cada elemento, de tal manera que no se pierdan más del 5% de las muestras por dominio y la cantidad de finos, se consideró la media más dos veces la desviación estándar como umbral del límite superior, los resultados serán indicadores clave para evaluar la normalidad o log normalidad poblacional.



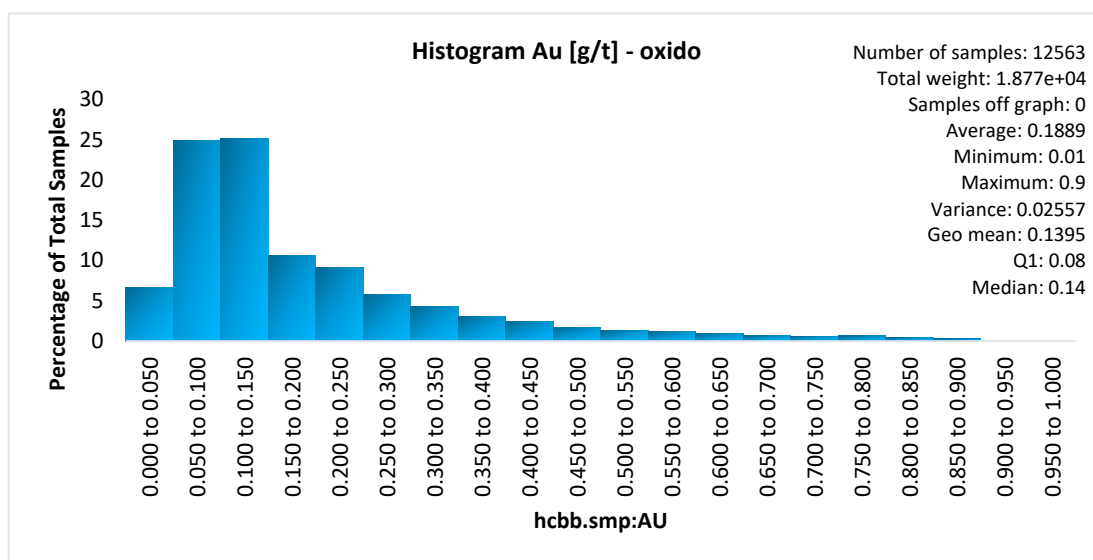
**Tabla 12 — Limite umbral máximo para capping**

Dominion	Oxido				Mixto				Sulfuro			
Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
Capping (x+2*sd)	<b>0.91</b>	<b>1.63</b>	<b>0.54</b>	<b>0.25</b>	<b>0.47</b>	<b>2.19</b>	<b>0.38</b>	<b>0.54</b>	<b>0.44</b>	<b>1.33</b>	<b>0.45</b>	<b>1.22</b>

**Tabla 13 — Estadísticas de los elementos capeados sin outliers**

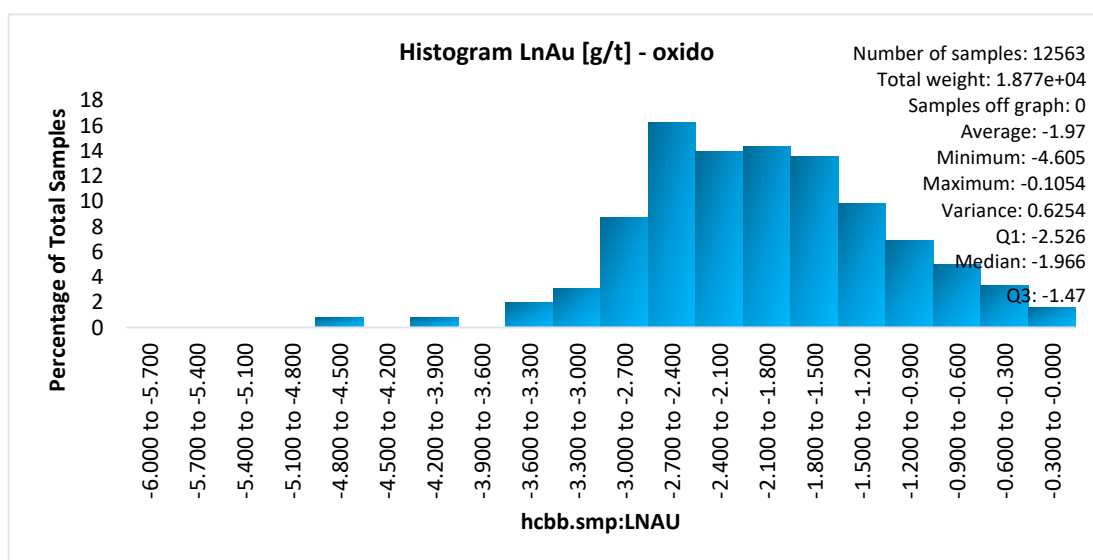
Dominion	Oxido				Mixto				Sulfuro			
Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
Number of samples	12565	12424	8442	11907	2191	2154	1258	2116	799	803	415	771
Total weight	18768.29	18559.49	12603.55	17787.84	3228.35	3176.15	1857.40	3117.70	1167.20	1174.20	600.75	1124.20
Minimum	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01
Maximum	0.91	1.63	0.54	0.25	0.46	2.19	0.38	0.53	0.43	1.33	0.43	1.08
Range	0.90	1.62	0.54	0.25	0.45	2.18	0.37	0.53	0.42	1.32	0.43	1.07
Average	0.19	0.33	0.10	0.02	0.12	0.37	0.07	0.08	0.14	0.12	0.09	0.22
Standard deviation	0.16	0.32	0.10	0.03	0.09	0.42	0.08	0.09	0.09	0.16	0.09	0.23
Variance	0.03	0.10	0.01	0.00	0.01	0.17	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.05
Skewness	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.02	0.11	0.07	0.05
Fisher Kurtosis	6.79	5.51	6.20	22.45	5.44	7.14	6.09	8.23	3.06	21.21	5.14	4.74
Coef. of variance	0.85	0.97	1.05	1.11	0.72	1.13	1.03	1.12	0.68	1.32	1.10	1.05
Sichel t	0.19	0.36	0.11	0.02	0.12	0.45	0.08	0.08	0.15	0.12	0.10	0.24
Q1	0.08	0.11	0.03	0.01	0.06	0.09	0.02	0.03	0.07	0.03	0.02	0.05
Median	0.14	0.22	0.06	0.02	0.10	0.23	0.04	0.04	0.12	0.07	0.05	0.13
Q3	0.23	0.45	0.13	0.03	0.15	0.48	0.10	0.10	0.20	0.15	0.12	0.30
Number of samples	<b>404</b>	<b>545</b>	<b>359</b>	<b>201</b>	<b>75</b>	<b>112</b>	<b>53</b>	<b>89</b>	<b>34</b>	<b>30</b>	<b>19</b>	<b>29</b>
% Samples	0.031	0.042	0.041	0.017	0.033	0.049	0.040	0.040	0.041	0.036	0.044	0.036

En la (Tabla 12) se menciona que se tomaron la media más dos veces la desviación estándar para restringir los valores altos (outliers), a la vez se muestra las estadísticas descriptivas de los valores de cada elemento, se puede observar la mediana y la mediana presentan valores muy diferentes, y muy pequeño con relación a su valor máximo, el coeficiente de variación es cercano y mayor a 1. Por lo que se puede inferir que las distribuciones de los elementos Au [g/t] y Ag [oz/t] en los óxidos son simétricos mientras el As [%] y Cu [%] son asimétricas, a continuación, se presentan histogramas del comportamiento de cada elemento mediante histogramas.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

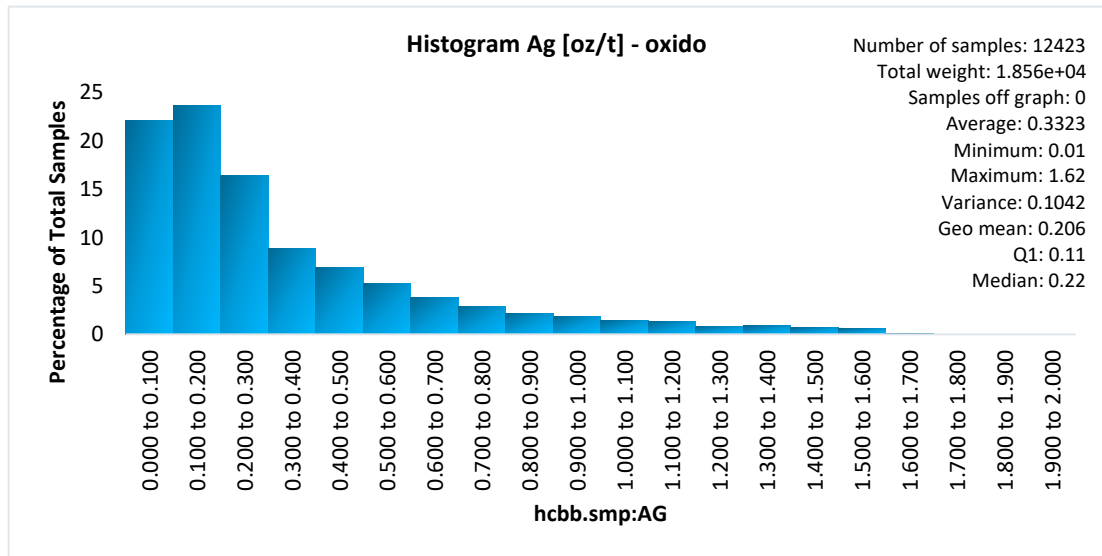
Figura 26 — Histograma de Au [g/t] en óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

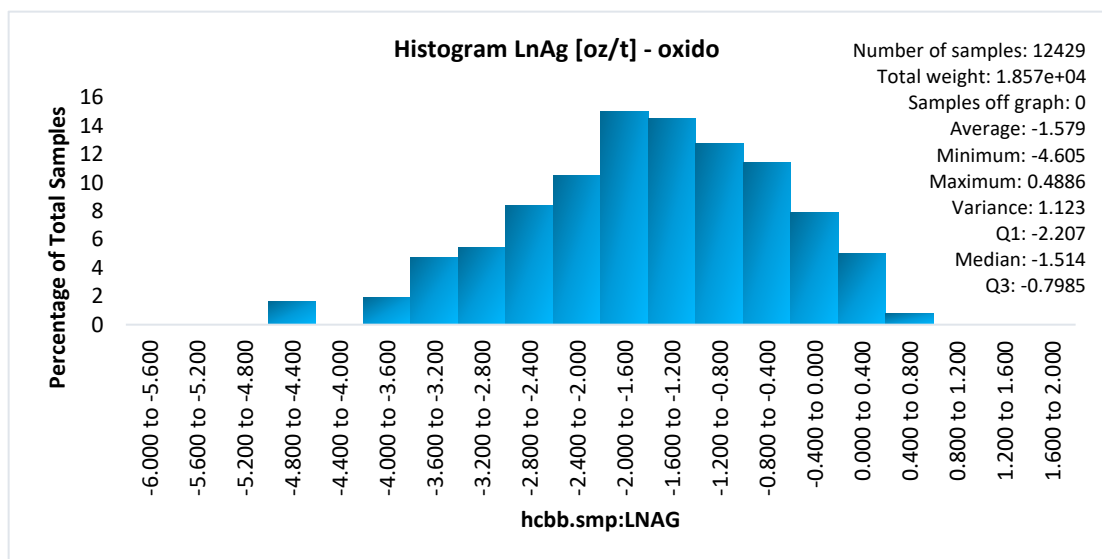
Figura 27 — Histograma LnAu [g/t] en óxidos.

En la (Figura 26) Histograma de Au[g/t] en la zona de óxidos, con un total de 12563 muestras con una media de 0.1395 Au[g/t], varianza de 0.025 con coeficiente de variación de 0.85, el cual indica una moderada variabilidad de las leyes de Au[g/t].



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 28 — Histograma de Ag [oz/t] en óxidos.

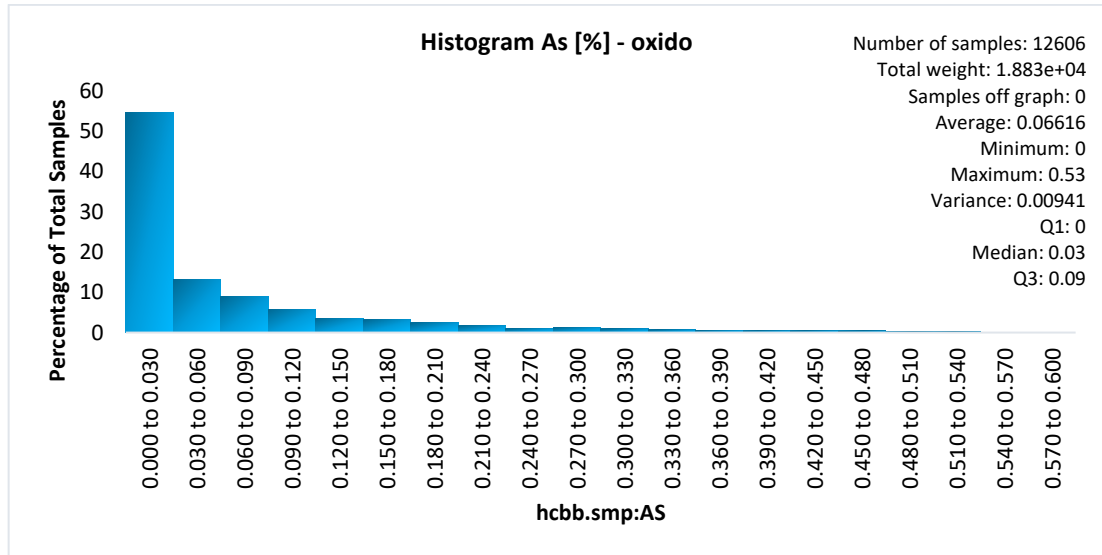


Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 29 — Histograma LnAg [oz/t] en óxidos.

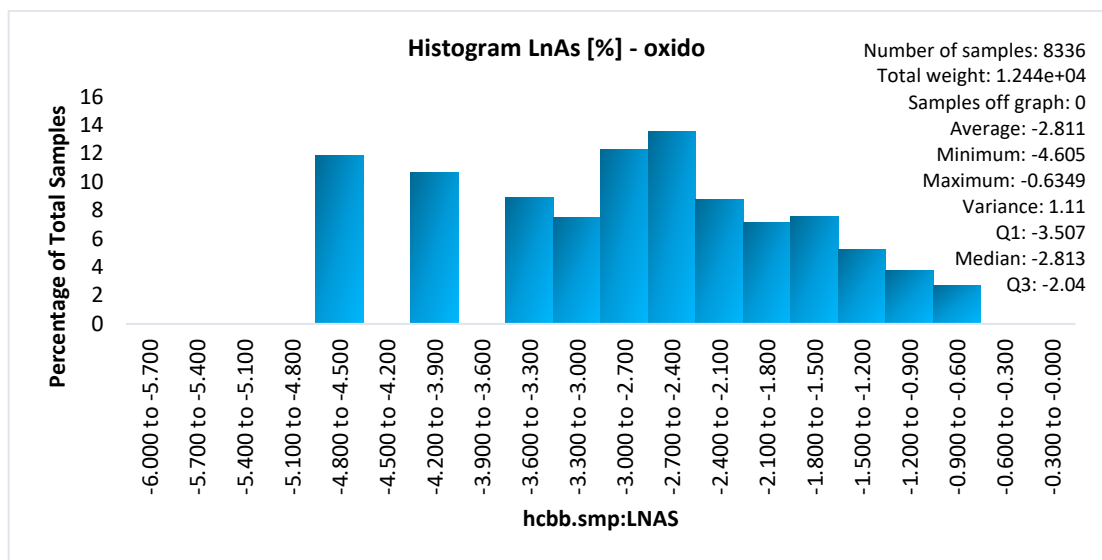
Las (Figuras 28 y 29) Histograma de Ag[oz/t] en la zona de óxidos, con un total de 12424 muestras con una media de 0.33 Ag[oz/t], varianza de 0.10 con coeficiente de variación de 0.95, el cual indica una moderada variabilidad de las leyes de Ag[oz/t].





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 30 — Histograma de As [%] en óxidos.

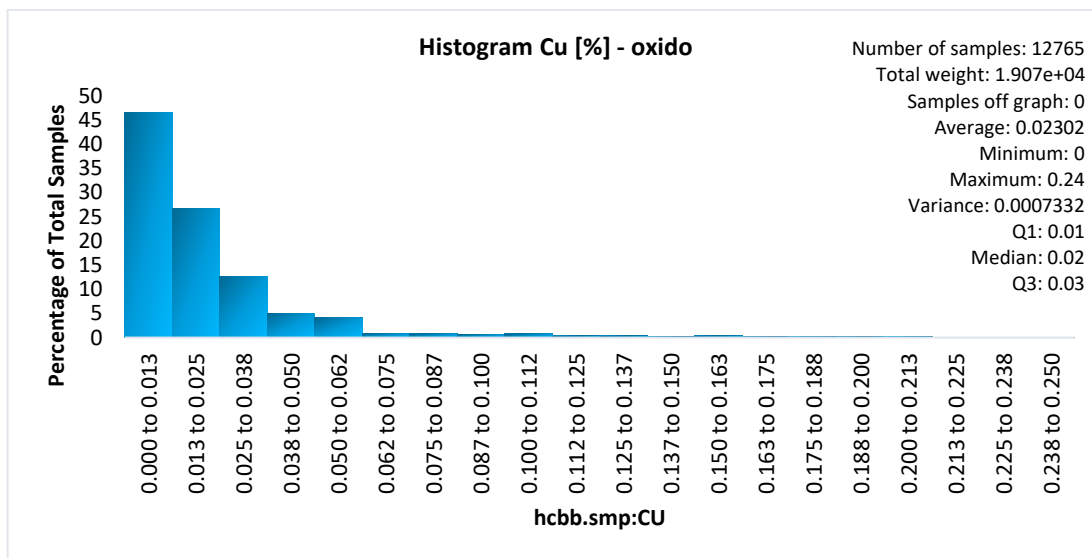


Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 31 — Histograma LnAs [%] en óxidos.

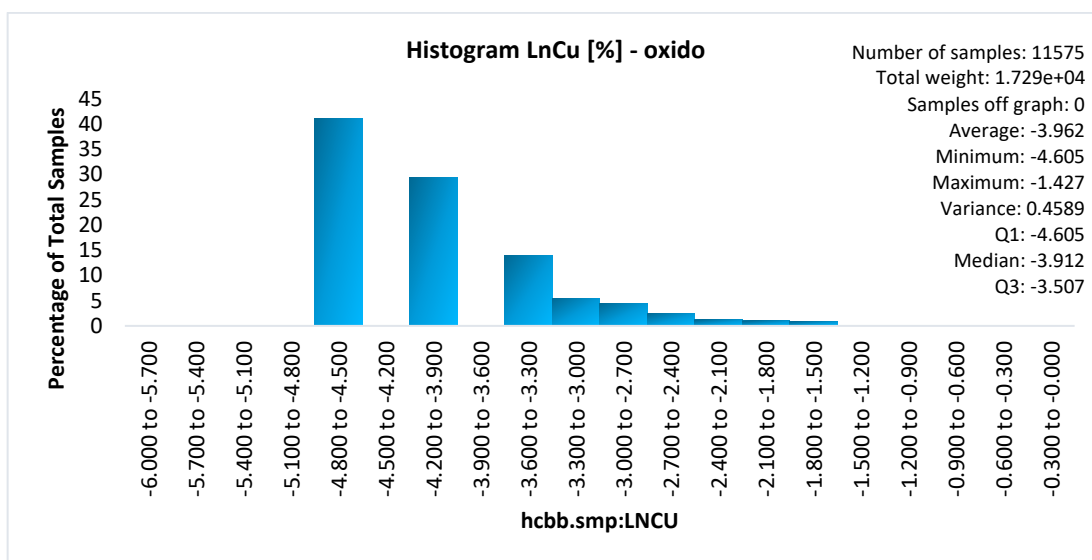
Las (Figuras 30 y 31) Histograma de As [%] en la zona de óxidos, con un total de 12606 muestras con una media de 0.10 As [%], varianza de 0.01 con coeficiente de variación de 1.05, el cual indica una alta variabilidad de las leyes de As [%].





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 32 — Histograma de Cu [%] en óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 33 — Histograma LnCu [%] en óxidos.

Las (Figuras 32 y 33) Histograma de Cu [%] en la zona de óxidos, con un total de 11907 muestras con una media de 0.02 Cu [%], varianza de 0.01 con coeficiente de variación de 1.10, el cual indica una alta variabilidad de las leyes de Cu [%].

### 5.1.4 Prueba de bondad de ajuste

Las pruebas de bondad de ajuste se utilizan para contrastar si los datos de la muestra pueden considerarse si vienen o proceden de una distribución o modelo de probabilidad.

Las principales pruebas de bondad de ajuste, son usados para contrastar la normalidad de nuestros datos, por ejemplo, si nuestras muestras fueron extraídas aleatoriamente de una población que sigue un modelo de probabilidad ajustado a la distribución normal. Las pruebas de bondad de ajuste de una distribución normal, pueden evaluarse de las siguientes formas.

- Prueba de KOLMOGÓROV-SMIRNOV
- Pruebas de LILLIEFORS
- Pruebas de gráficos histogramas, q-q plots
- Prueba de SHAPIRO-WILKS



**Tabla 14 — Parámetros de la prueba de bondad de juste de KOLMOGÓROV-SMIRNOV**

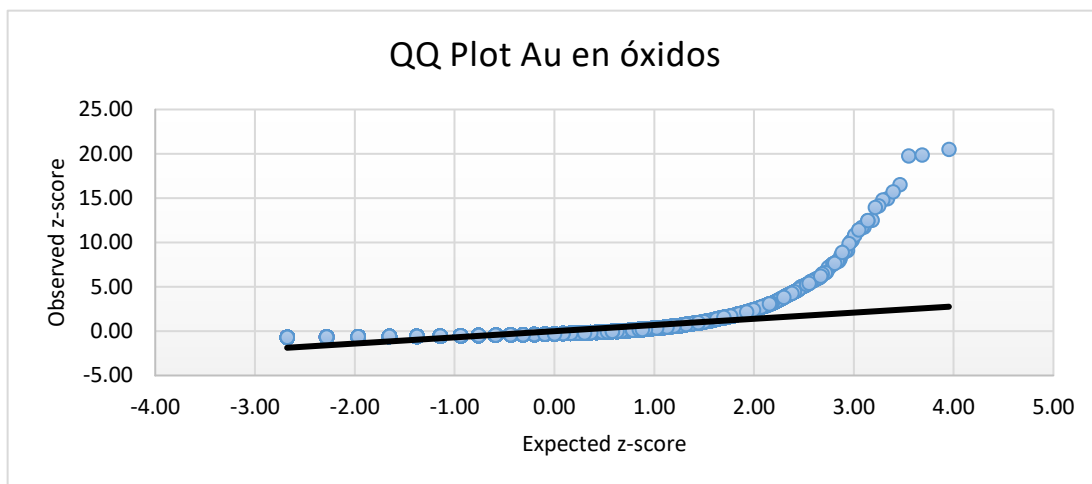
Dominion	Oxido				Mixto				Sulfuro			
Element	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]	Au [g/t]	Ag [oz/t]	As [%]	Cu [%]
K-S	0.258	0.244	0.275	0.406	0.215	0.270	0.270	0.316	0.508	0.354	0.259	0.274
Dominion	Oxido				Mixto				Sulfuro			
Element	LnAu [g/t]	LnAg [oz/t]	LnAs [%]	LnCu [%]	LnAu [g/t]	LnAg [oz/t]	LnAs [%]	LnCu [%]	LnAu [g/t]	LnAg [oz/t]	LnAs [%]	LnCu [%]
K-S	<b>0.050</b>	<b>0.025</b>	0.068	0.213	0.060	0.053	0.089	0.120	0.498	0.054	0.134	0.063

Como se puede apreciar en la (Tabla 13), los resultados de la prueba de bondad de ajuste se realizaron para cada uno de los elementos definido por dominio, la prueba de hipótesis de KOLMOGOROV SMIRNOV evaluado a un grado de confianza limitado por  $\alpha$  igual 0.05, quiere decir que si el valor máximo  $H_0 > 0.05$  la prueba de hipótesis se rechaza y que la población es no normal y no se pueden aplicar modelos de regresión lineal como kriging simple y kriging ordinario, los valores de los elementos en la zona de óxidos tiene valores 0.258 para el Au, 0.224 para la Ag, 0.275 para el As y 0.406 para el Cu, en la zona de transición (mixtos) 0.215 para el Au, 0.270 para la Ag 0.270 para el As y 0.316 para el Cu, zona de sulfuros tienen valores de 0.508 para el Au 0.354 para la Ag 0.259 para el As y 0.274 para el Cu, concluyendo que las muestras de cada dominio presentan una distribución no normal y que están por encima del grado de confianza mencionado.

Las estadísticas de la tabla muestran que los elementos presentan sesgo (skewness) con cola hacia la derecha en los histogramas, concentrándose gran cantidad de datos en zonas de baja ley y pocas muestras con valores altos, Por lo que es necesario hacer una transformación al logaritmo natural, para expandir los valores bajos y comprimir los valores altos y reducir la variabilidad (varianza), causadas por los valores altos y el fenómeno natural del yacimiento.

La prueba de bondad de ajuste para las variables transformadas dio resultados de 0.050 para el LnAu y 0.025 para el LnAg, ambos valores de las muestras en la zona de óxidos, se acepta la prueba de hipótesis como distribución normal, el estudio se concentrará en aplicar interpoladores de la regresión lineal kriging simple y kriging ordinario solo en 2 elementos.

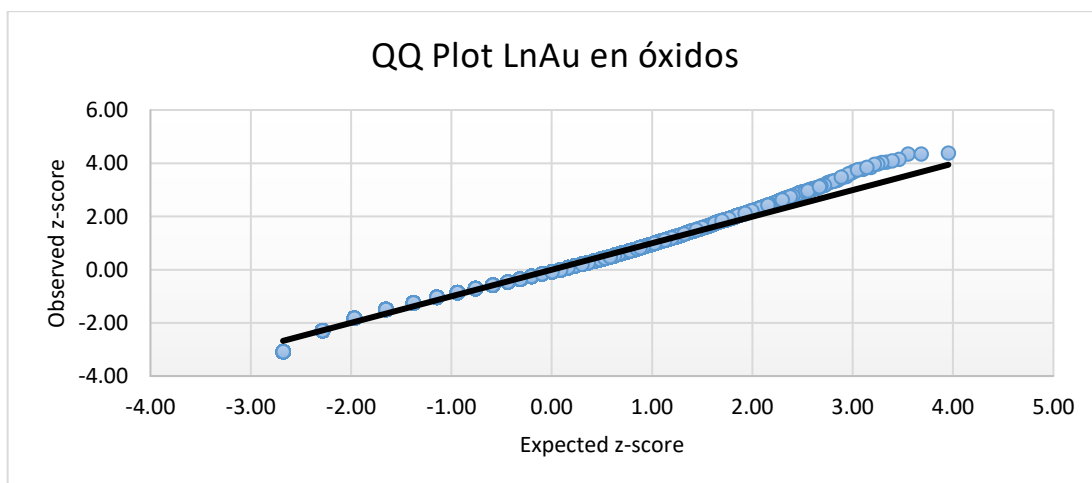




**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 34 — QQ Plot Au [g/t] en óxidos.**

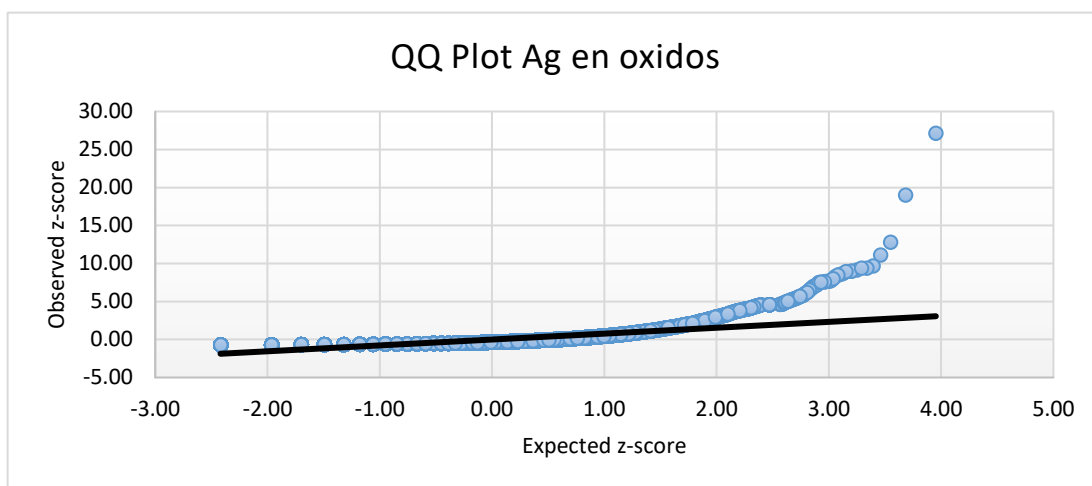
Gráfico cuantil cuantil QQ Plot para el elemento Au comparadas con las muestras de una distribución normal en la zona de óxidos.



**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 35 — QQ Plot LnAu [g/t] en óxidos.**

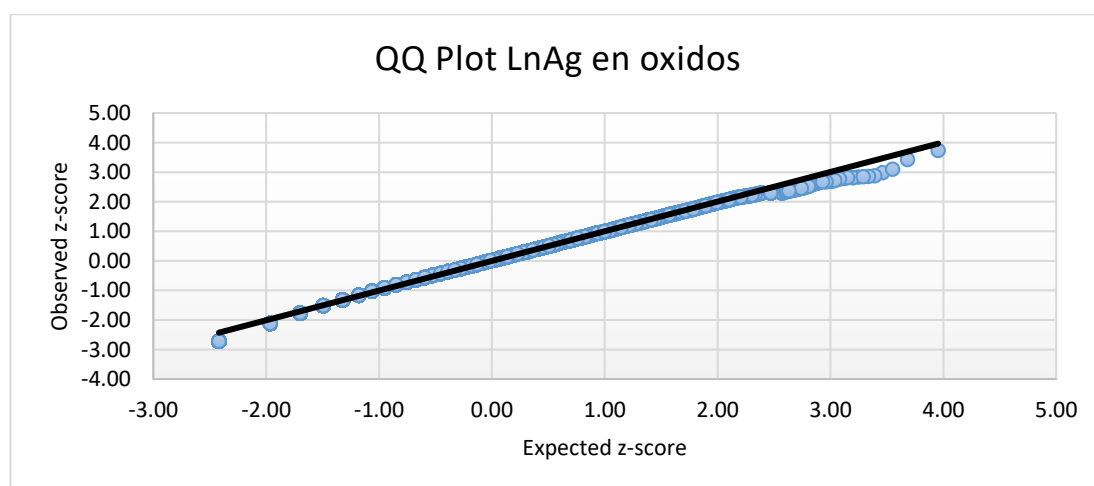




**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 36 — QQ Plot Ag [oz/t] en óxidos.**

Gráfico cuantil cuantil QQ Plot para elemento Ag comparadas con las muestras de una distribución normal en la zona de óxidos.

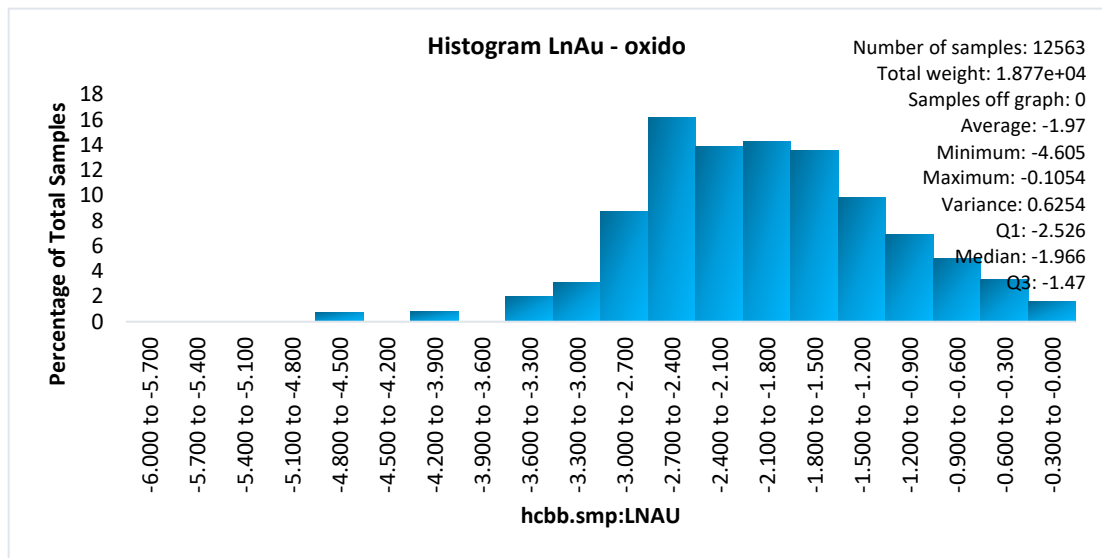


**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 37 — QQ Plot LnAg [oz/t] en óxidos.**

Gráfico cuantil cuantil QQ Plot para el elemento LnAu comparadas con las muestras de una distribución normal, las muestras se ajustan a la recta y se acepta como una distribución normal en la zona de óxidos.

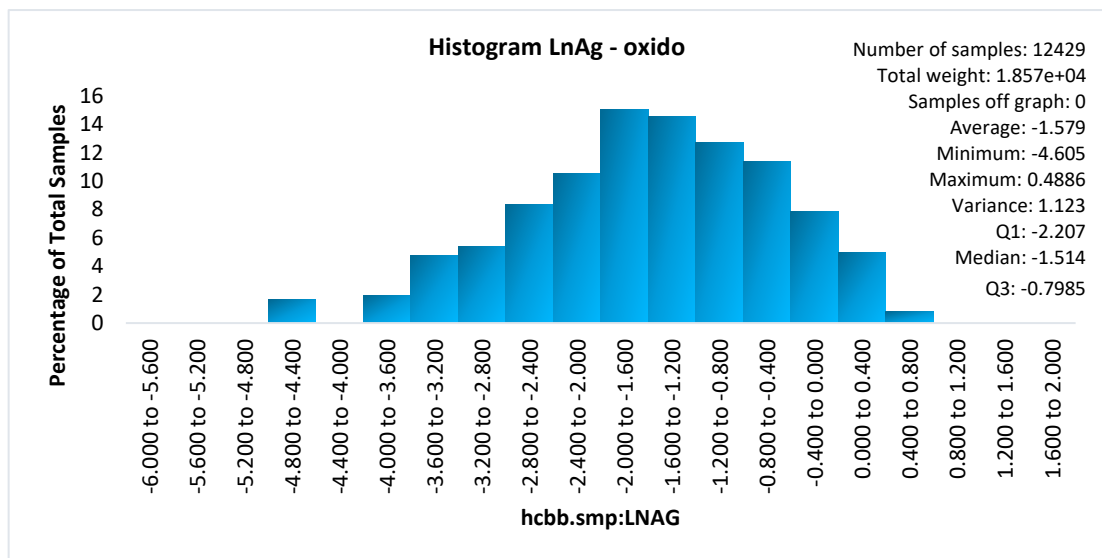




Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 38 — Histograma LnAu [g/t] en óxidos.

Histograma del elemento LnAu [g/t] normalizado en la zona de óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 39 — Histograma LnAg [oz/t] en óxidos.

### 5.1.5 Análisis Variografico

El variograma corresponde a una herramienta que permite medir la regularidad espacial de una variable en un área definida, el cual permite constatar la dispersión existente entre pares de datos a diferentes distancias.



El variograma se define como como la media aritmética de las diferencias entre pares de los valores experimentales separados a una distancia  $h$ , que es lo mismo que la varianza de los incrementos de la variable regionalizada.

En la mayoría de los depósitos, la correlación de las leyes entre dos puntos dados:

- Disminuye con la distancia entre dos puntos
- Varía con la dirección
- Depende de la continuidad

El variograma es una herramienta matemática que trata de cuantificar la correlación espacial en los valores de una variable.

Esta herramienta cuantifica la correlación lineal espacial por medio del promedio de las diferencias al cuadrado entre dos puntos separados por un vector  $h$

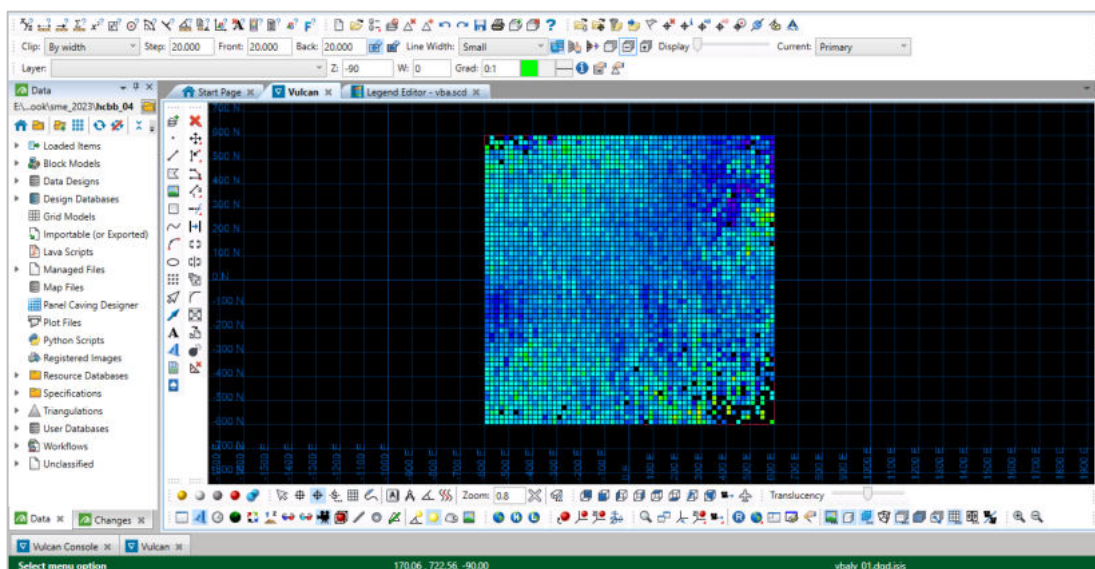
#### 5.1.6 Mapa Variografico

Corresponde a un tipo de variograma, que presenta los isovalores del variograma experimental en todas las direcciones del espacio, en forma de mapa mediante escala de colores o mapas de calor, ello permite analizar y distinguir la existencia de una tendencia del flujo mineralizante o anisotropía, para luego calcular el variograma experimental a lo largo de las direcciones principales de las variables en estudio.

Para generar el mapa variográfico analizaremos por lo menos la mitad del área de estudio tanto en los ejes con dirección este, norte y elevación, para su construcción es necesario definir una malla  $(2n+1) * (2n+1)$ .

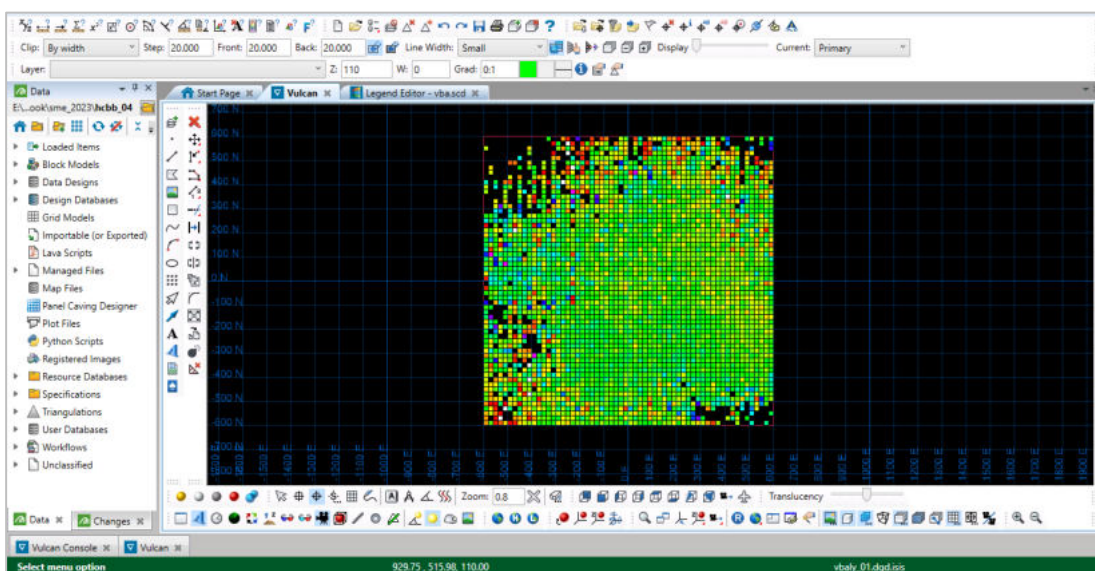
Se definió un área de búsqueda de 1200 metros en el este 1200 metros hacia el norte 400 metros en la elevación con una búsqueda a intervalos o celdas de 20x20x20 metros para la variable Au y Ag en la zona de óxidos, luego se definió un área en el espacio, para georreferenciar los valores calculados y plotearlos en un mapa variográfico indicando los valores en un mapa de calor, el área georreferenciada tiene coordenadas al este con -2000 a 2000, norte -2000 a 2000, elevación -2000 a 2000 3D. Mapa variográfico, vista en planta con celdas de 20mx20m, para los elemento Au  $[g/t]^2$  y Ag  $[oz/t]^2$  en la zona de óxidos, no se detectan patrones de tendencia de mineralización.





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 40 — Mapa variografico para el Au [g/t]² en óxidos.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 41 — Mapa variografico para el Ag [oz/t]² en óxidos.

Las (Figuras 40 y 41) se despliegan mapas de calor de (azul más frío a rojo más cálido) la tendencia de variabilidad de leyes de Au [g/t]² y Ag [oz/t]² en la zona de óxidos. Por lo que la búsqueda de los variogramas se calcula haciendo uso de rosetas de búsqueda definidos por paso variable, ángulos de separación. Tolerancia en los pasos y ángulos de separación para encontrar la orientación del flujo mineralizante.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 42 — Variogramas experimentales y teóricos para el elemento Au [g/t]<sup>2</sup>.

En la (Figura 42) se muestra las tres direcciones principales de mineralización del elemento Au [g/t] en la zona de óxidos, la dirección principal o eje mayor tiene un azimut de 15° plunge 0° el semi eje azimut 105° plunge -15° eje menor azimut 105° plunge 75°.

El ajuste del variograma teórico se realizaron en las tres direcciones ortogonales de los radiogramas experimentales con mayor cantidad de puntos correlacionados, eje mayor, eje semi y eje menor, a las que se han ajustado cuatro modelos esféricos como se muestra en el siguiente cuadro.

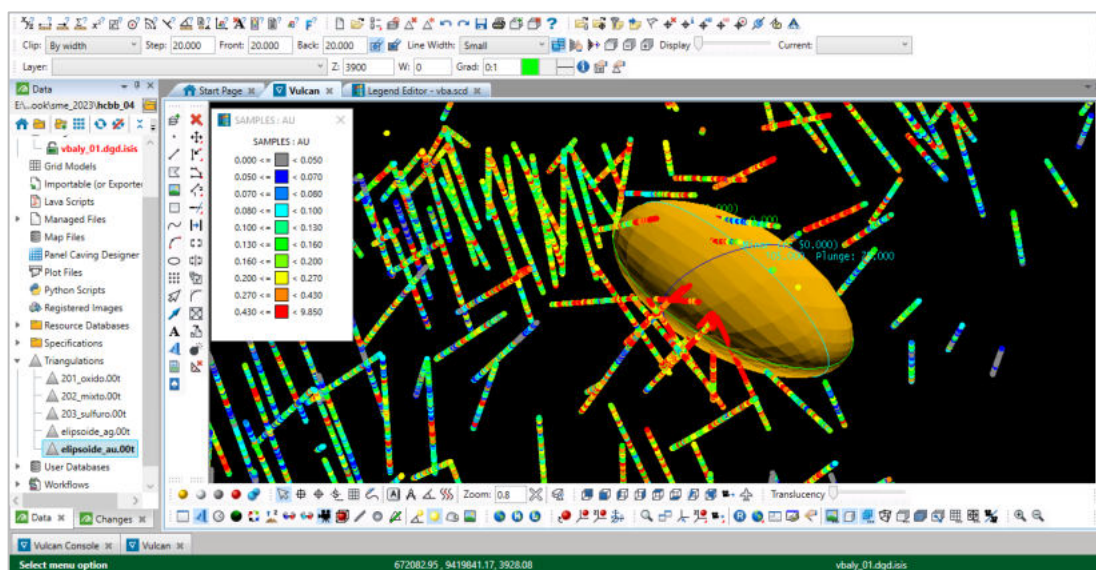
Tabla 15 — Parámetros del variograma teórico para elemento Au

Type	Sill	Azimuth	Plunge	Dip	Major	Semi	Minor
Nugget	0.074						
Spherical	0.112	15	0	-15	23	15	10
Spherical	0.152	15	0	-15	80	56	76
Spherical	0.008	15	0	-15	297	146	255
Spherical	0.639	15	0	-15	469	329	429

**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.



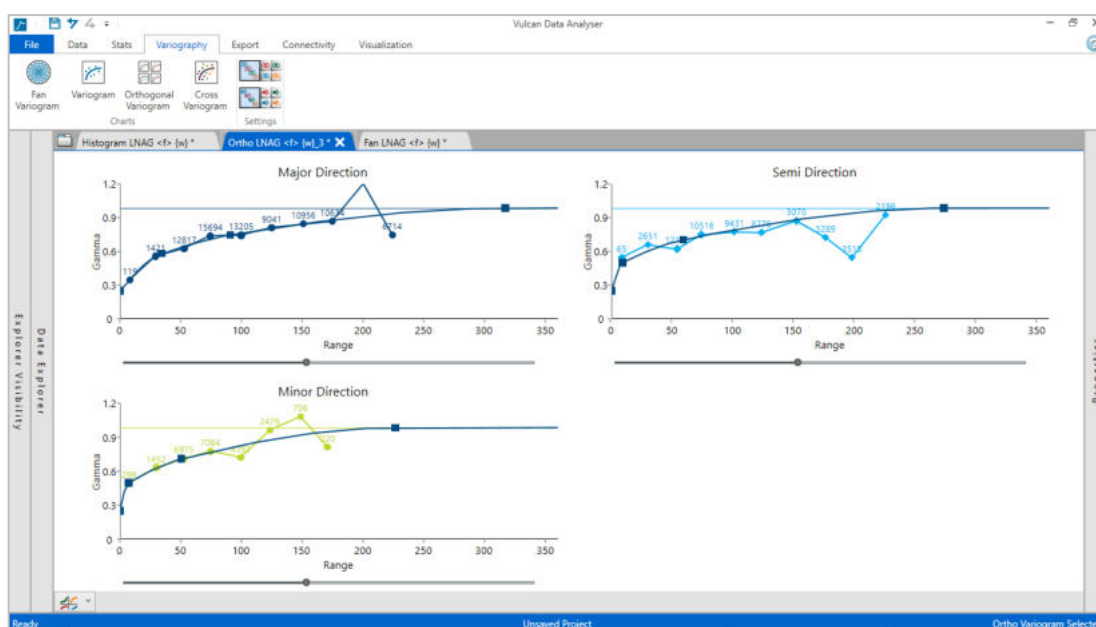
En la (Tabla 14) se detallan los parámetros del variograma teórico en los ejes principales de anisotropía del elemento Au [g/t], los que serán abordados en estimación de la varianza de kriging y estimación por kriging.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 43 — Elipsoide de búsqueda con tendencia de anisotropía para el Au [g/t].

Elipsoide de búsqueda, generado por los alcances y dirección de los ejes perpendiculares del variograma teórico para el elemento Au [g/t].



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 44 — Variogramas experimentales y teóricos para el elemento Ag [oz/t]<sup>2</sup>.



La dirección principal o eje mayor tiene un azimut de 165° plunge 0° el semi eje azimut 75° plunge 30° eje menor azimut 75° plunge -60°.

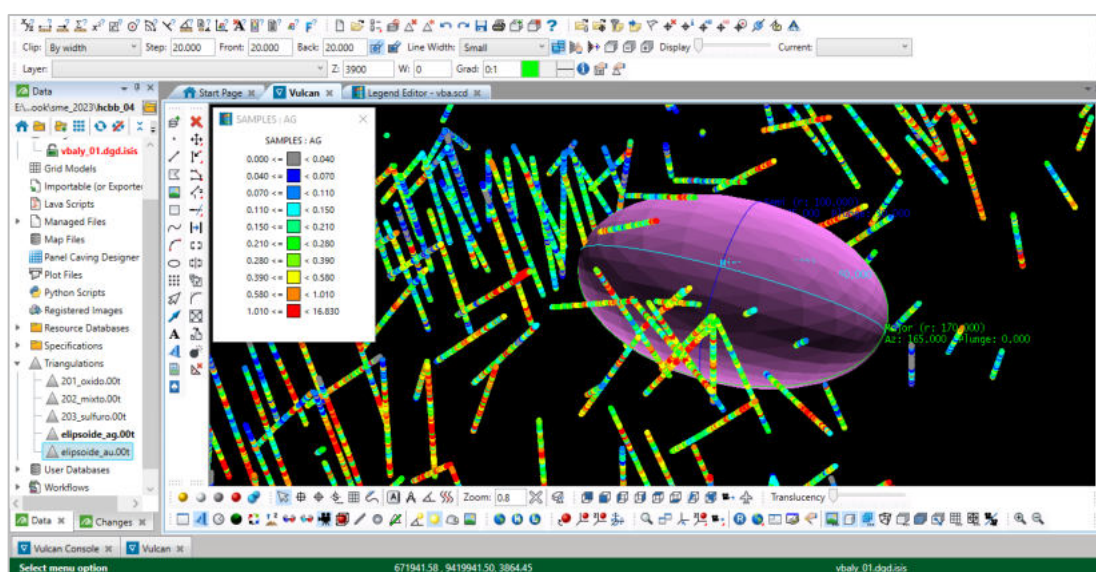
El ajuste del variograma teórico se realizaron en las tres direcciones ortogonales de los radiogramas experimentales con mayor cantidad de puntos correlacionados, eje mayor, eje semi y eje menor, a las que se han ajustado tres modelos esféricos como se muestra en el siguiente cuadro.

**Tabla 16 — Parámetros del variograma teórico para elemento Ag**

Type	Sill	Azimuth	Plunge	Dip	Major	Semi	Minor
Nugget	0.249						
Spherical	0.204	165	0	-30	34	9	7
Spherical	0.122	165	0	-30	90	59	50
Spherical	0.410	165	0	-30	316	273	226

**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

En la (Tabla 15) se detallan los parámetros del variograma teórico en los ejes principales de anisotropía del elemento Ag [oz/t], los que serán abordados en estimación de la varianza de kriging y estimación por kriging.



**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 45 — Elipsoide de búsqueda con tendencia de anisotropía para el Ag [oz/t].**

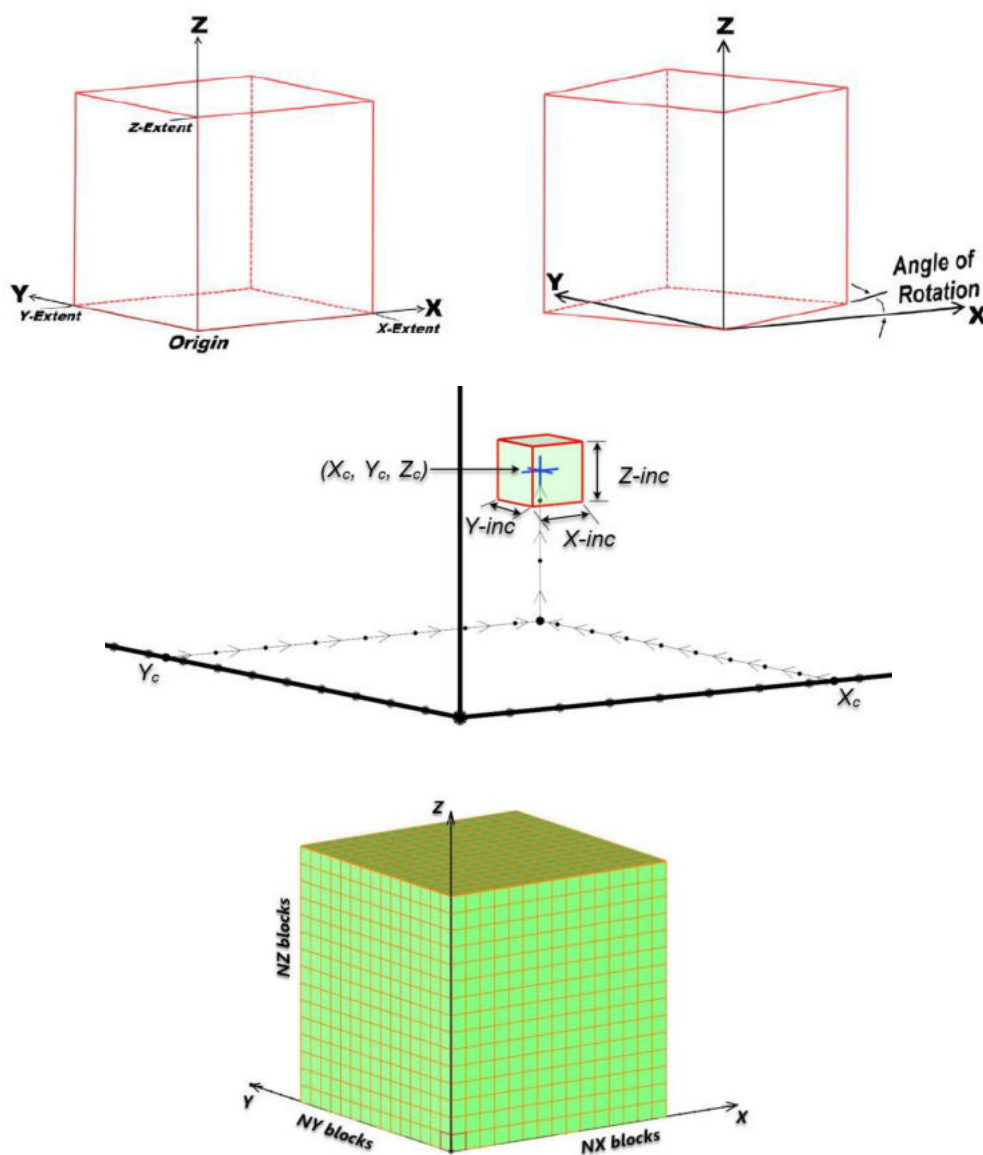


Elipsoide de búsqueda, generado por los alcances y dirección de los ejes perpendiculares del variograma teórico para el elemento Ag [oz/t].

### 5.1.7 Determinación del modelo de bloques

El modelo de bloques es una representación simplificada de un yacimiento mineral, tanto para las zonas mineralizadas y sus alrededores, se puede considerar como el conjunto de paralelepípedos generados por un ordenador que representaran pequeños volúmenes de roca de un depósito.

El número de bloques en cada dirección del eje de coordenadas generalmente se especifica para definir el marco del modelo del potencial completo.



Fuente: Micromine Software Handbook.

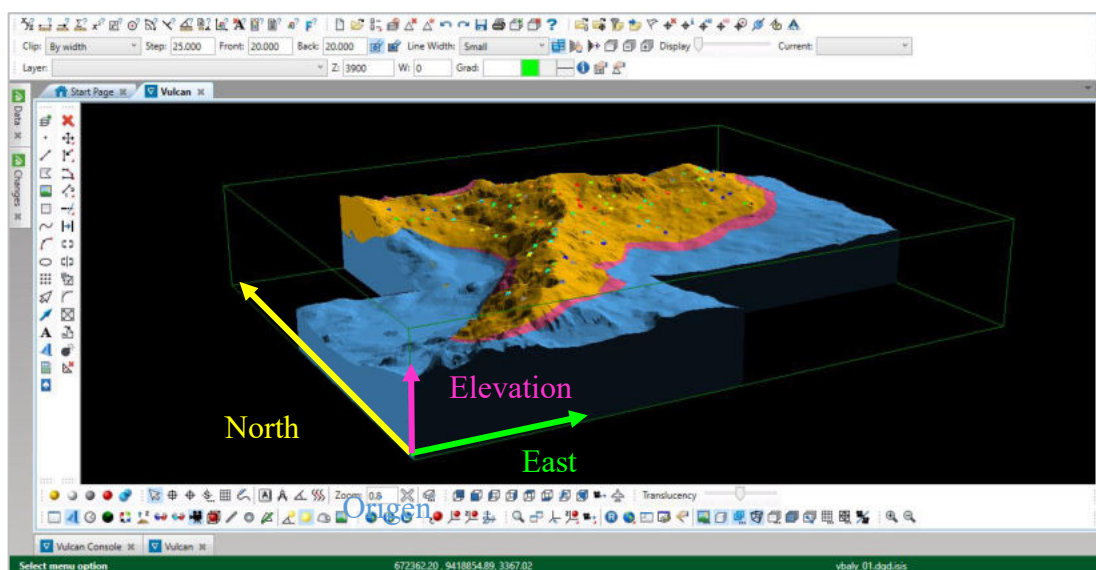


**Figura 46 — Configuración para generar modelo de bloques.**

Dentro de este marco que engloba la zona regionalizada, hay bloques individuales, todos con una longitud designada (incremento X), ancho asignado (incremento Y) y altura asignada (Z-incremento). La posición del bloque puede ser definida por un centroide ( $X_c, Y_c, Z_c$ ) o un origen de bloque ( $X_{min}, Y_{min}, Z_{min}$ ).

El número de bloques en cada dirección del eje de coordenadas generalmente se especifica para definir el marco del modelo de potencial completo.

La determinación del tamaño de bloque es una tarea fundamental para asignar valores de infinidad de variables para caracterizar el fenómeno regionalizado a caracterizar.



**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

**Figura 47 — Origen del modelo de bloques en vulcan 3D.**

Origen para generar el marco del modelo de bloques que discretice y caracterice en su totalidad al modelo geológico en el proyecto koripampa, en el siguiente cuadro se puede visualizar las características y seteo del modelo de bloques.



**Tabla 17 — Parámetros de la configuración del modelo de bloques (No rotado)**

Origen y configuración del modelo de bloques			
	<b>East</b>	<b>North</b>	<b>Elevation</b>
Minimum	671000	9419000	3700
Maximum	673000	9420600	4100
Length	2000	1600	400
dx, dy, dz	5	5	5
Nº block	400	320	80
Total block	10240000		

Los límites del modelo de bloques para el proyecto Koripampa, están definidos de tal forma que encierre toda la zona donde se ha elaborado el modelo geológico, tienen un alcance de 2000 metros de longitud a lo largo del eje este, 1600 metros a lo largo del eje norte y 400 metros a lo largo del eje elevación, los bloques individuales esta discretizados en medias de 5x5x5 metros que dan un total de 10 millones 240 mil bloques, que representa la zona de óxidos, mixtos y sulfuros.

#### 5.1.8 Estimación de leyes

La estimación tiene como propósito proporcionar en cada centroide o red de bloques, un valor lo más próximo posible del valor real y desconocido, a través del cualquier interpolador lineal o estimador lineal, este estimador exige además del modelo de bloques, el modelo de continuidad de anisotropía de la mineralización (vecindad de búsqueda) para evitar un exceso de efecto de pantalla en el kriging, para nuestro caso experimental, estimación de recursos minerales, es importante realizar una serie de realizaciones con diferentes estimadores para calcular el valor de cada elemento en cada bloque (vecino cercano, kriging simple, kriging ordinario) por lo que es necesario encontrar el mejor interpolador que tenga mejores valores de resultado.

Una vez generado el modelo de variabilidad espacial para las variables de interés, se procedió a estimar las leyes de Au [g/t] y Ag [oz/t], se estimaron solo aquellos bloques que se localizan al interior de la zona de óxidos, ya que tienen muestras suficientes para interpolar y asignar una ley.

El proceso de estimación de leyes utilizado fue kriging simple con (media estacionaria) y kriging ordinario (media localmente estacionaria) con una cantidad mínima de 4 muestras y una máxima de 18 muestras por bloque, el alcance utilizado para el área de



búsqueda se definió según el variograma, se limitaron los alcances hasta los puntos de los variograma experimental que muestran mayor dependencia entre ellos, para reducir el error asociado a los pesos de muestras lejanas.

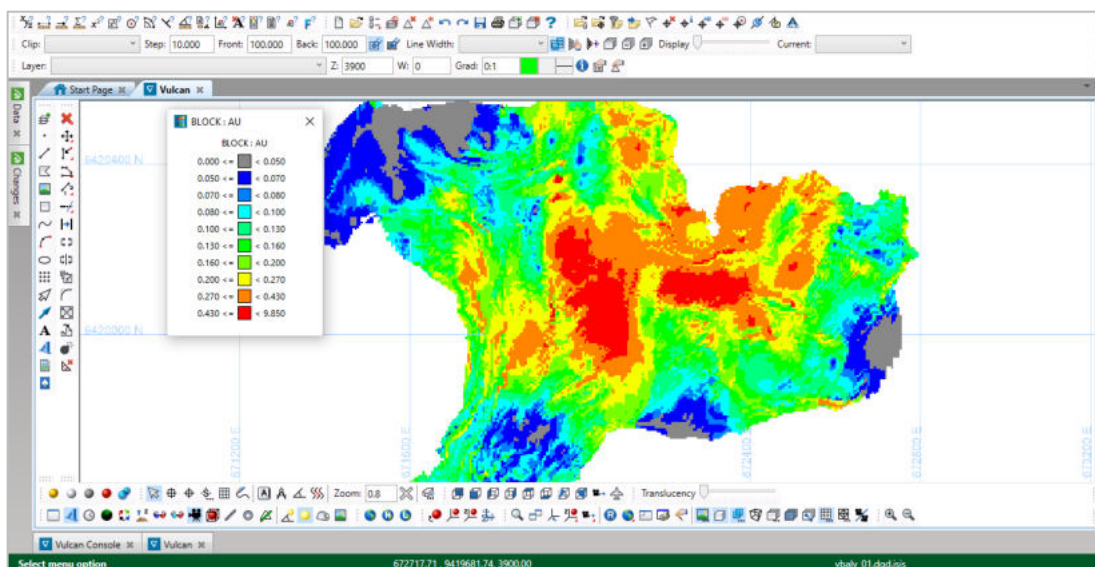
**Tabla 18 — Plan de estimación para el Au con Kriging Ordinario y Kriging Simple**

OK Plan estimates Au[g/t] Oxide														
UE	Pass	Search Radii			Comps. Number		Nº Oct	Comps. Per Oct		Comps. per drill	Rotation			Comps.
		Mj	Sm	Mn	Min	Max	Min	min	max		Mj	Sm	Mn	Min
201	1	90	50	40	12	32	5	1	4	5	15	0	-15	0
	2	135	75	60	12	24	6	1	4	5	15	0	-15	0
	3	180	100	80	6	20	NA	NA	NA	5	15	0	-15	0
	4	460	320	300	1	1	NA	NA	NA	10	15	0	-15	0

**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC.

En el cuadro N° 17 se detalla la configuración del plan de estimación para el Au [g/t] en el dominio de la zona de óxidos, se describe las condiciones para su interpolación de los bloques independientes, los requisitos y restricciones para su cumplimiento.





Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 48 — Realización de Au [g/t] del plan de estimación KO en óxidos.

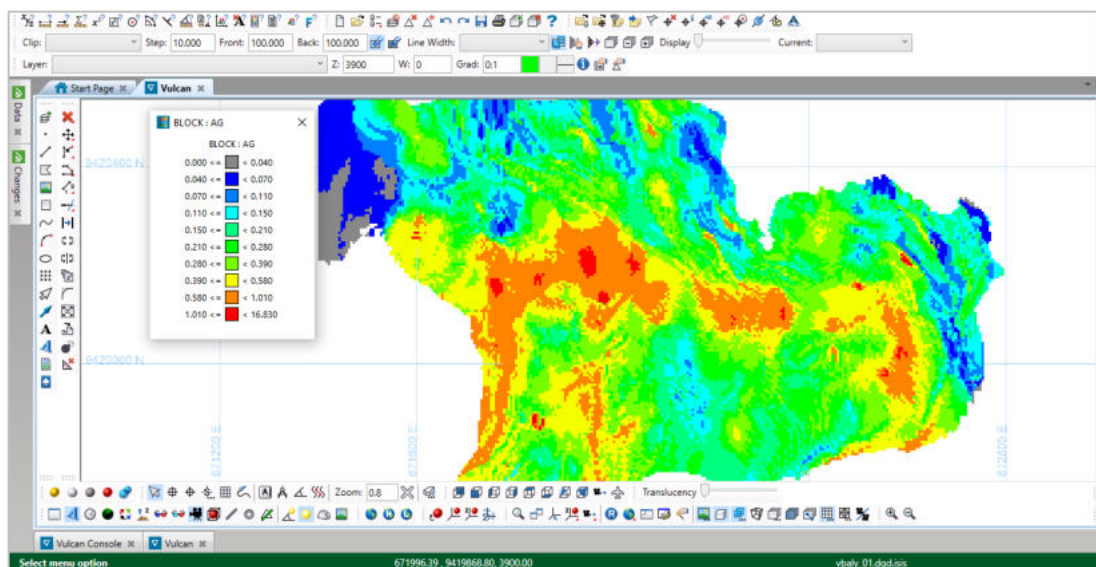
Tabla 19 — Plan de estimación para la Ag con Kriging Ordinario y Kriging Simple

OK Plan estimates Ag[oz/t] Oxidos														
UE	Pass	Search Radii			Comps. Number		N° Oct	Comps. Per Oct		Comps. per drill	Rotation			Comps. Min
		Mj	Sm	Mn	Min	Max		Min	min		max	Mj	Sm	
201	1	90	80	40	12	32	5	1	4	5	165	0	-30	0
	2	140	120	60	12	24	6	1	4	5	165	0	-30	0
	3	180	160	80	6	20	NA	NA	NA	5	165	0	-30	0
	4	280	220	200	1	1	NA	NA	NA	10	165	0	-30	0

Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

En la tabla 18 se describe la configuración del plan de estimación para el Ag [oz/t] en el dominio de la zona de óxidos, se describe las condiciones para su interpolación de los bloques independientes, los requisitos y restricciones para su cumplimiento.





Fuente: Colaboración Koripampa SAC

Figura 49 — Realización de Ag[oz/t] del plan de estimación KO en óxidos.

### 5.1.9 Validación de Estimación

El orden para validar el modelo de recursos, es una de las etapas fundamentales para reducir riesgos en la estimación, las formas de validar están en función al número de pasadas considerando el número de compósitos usados en la estimación.

- Comparación visual del Vecino cercano NN vs Kriging Ordinario.
- Estadística global entre Vecino cercano NN vs Kriging Ordinario.
- OK vs modelo de los blasthole (reconciliación).
- Wash plots (gráficos de deriva) para comparar la ley media Vecino cercano NN vs Kriging Ordinario.

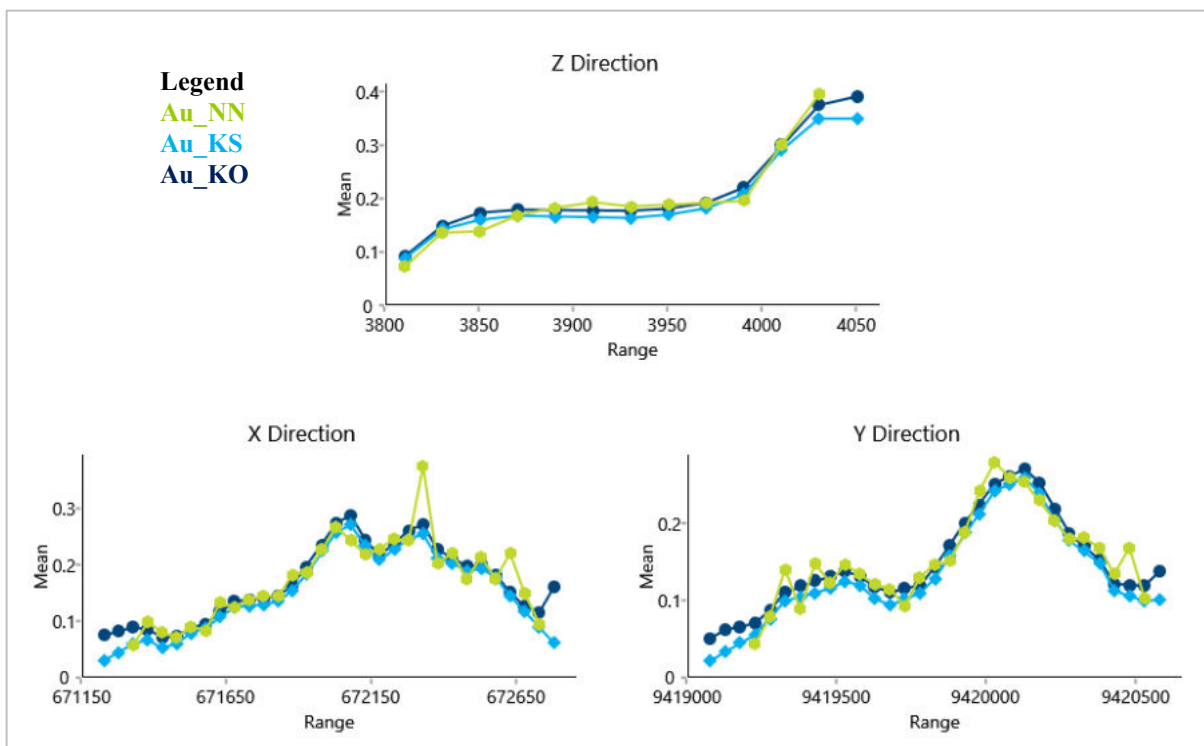
Tabla 20 — validación de valores reales versus valores estimados para el elemento Au

Estadísticas valores reales versus estimados en óxidos			
Source name	Block Model	Block Model	Block Model
Variable name	Au [g/t] NN	Au [g/t] KO	Au [g/t] KS
Count	681980	681980	681980
Mean	0.189	0.186	0.174
Standard deviation	0.160	0.113	0.114
Variance	0.026	0.013	0.013
CV	0.847	0.609	0.656
Max	0.900	1.095	1.085
Upper quartile	0.230	0.241	0.229



Median	0.140	0.163	0.152
Lower quartile	0.080	0.107	0.096
Min	0.010	0.010	0.009

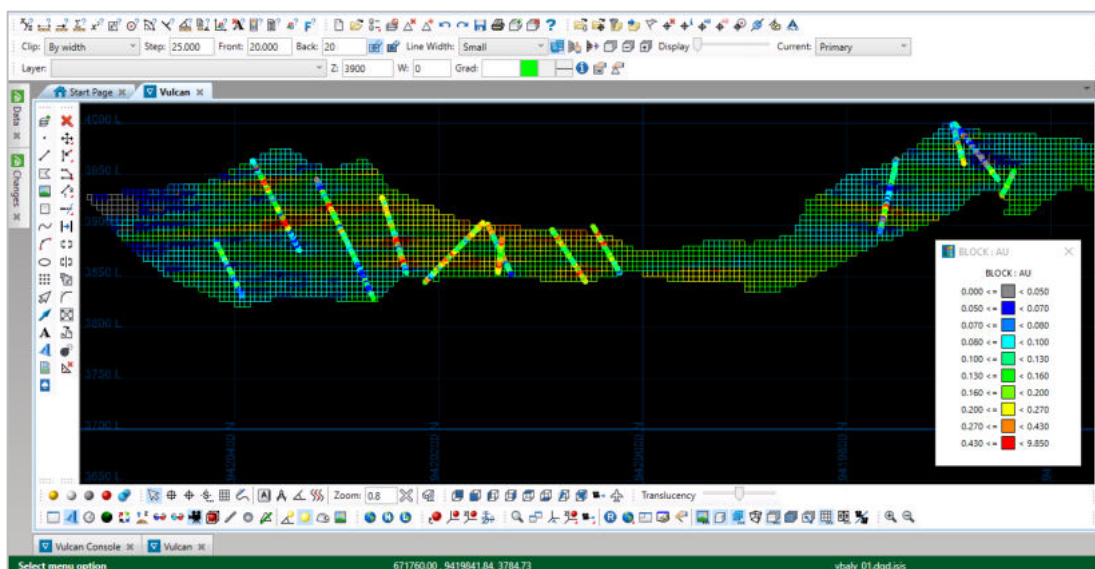
En el cuadro, se puede comparar las diferencias de valores de la ley media de Au [g/t] NN vecino cercano vs la ley media de valores estimados tanto por kriging ordinario Au [g/t] KO y kriging simple Au [g/t] KS.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 50 — Wash plots valores reales versus estimados elemento Au.

(Figura 50) Comparación de las medias locales de los valores del Au [g/t] NN vs las leyes medias locales estimados por OK y KS en las direcciones del este, norte y elevación, las leyes medias a cada 50 metros en los ejes del este y norte, ley media en la elevación en cada 20 metros.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 51 — Validación visual reales vs estimados sección Norte Sur Au [g/t].

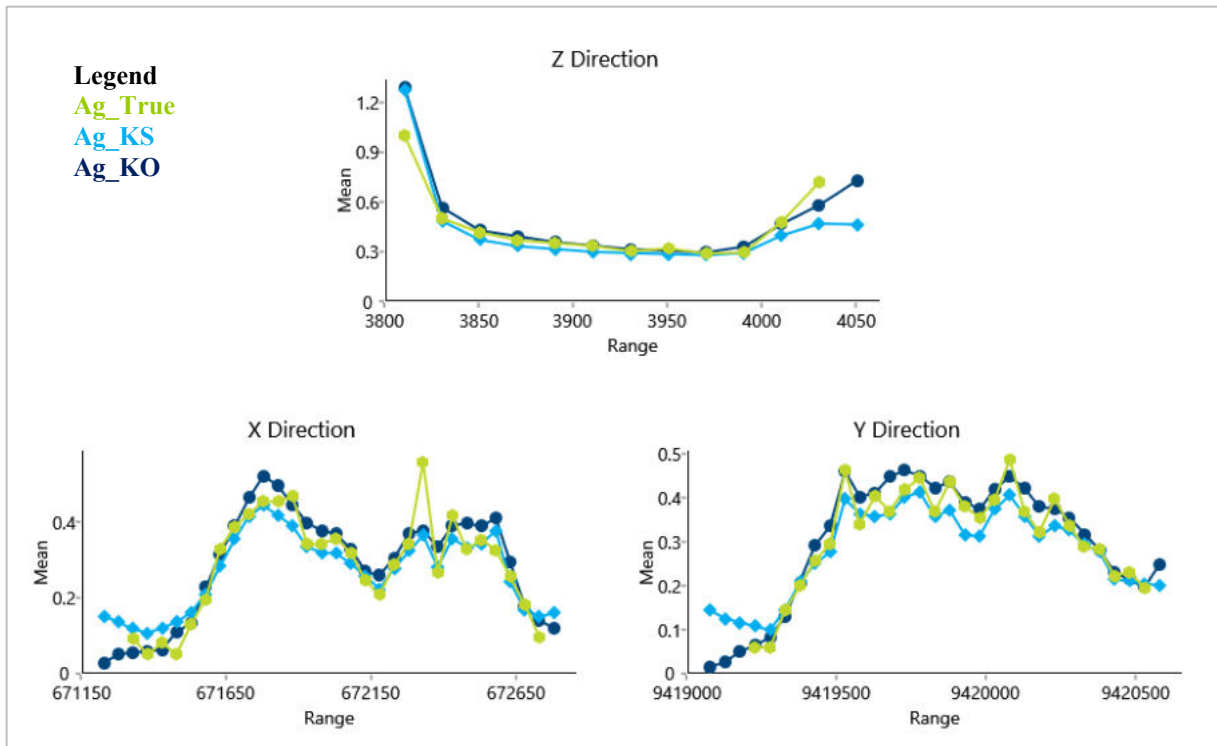
Validación visual vista N-S, entre las muestras de los composites vs las muestras del modelo estimado por OK para la variable Au [g/t], podemos apreciar tres maneras de comparación de la realización de la variabilidad de los valores estimados tienen una semejanza a los valores de la variable de interés.

Tabla 21 — Validación de valores reales versus valores estimados para el elemento Ag

Estadísticas valores reales versus estimados en óxidos			
Source name	Block Model	Block Model	Block Model
Variable name	Ag_[oz/t] NN	Ag_[oz/t] KO	Ag_[oz/t] KS
Count	681980	681980	681980
Mean	0.332	0.344	0.306
Standard deviation	0.323	0.215	0.186
Variance	0.104	0.046	0.034
CV	0.971	0.627	0.606
Max	1.620	1.512	1.283
Upper quartile	0.450	0.457	0.403
Median	0.220	0.312	0.270
Lower quartile	0.110	0.193	0.171
Min	0.010	0.010	0.017

En el cuadro, se puede comparar las diferencias de los valores de la ley media de Ag\_[oz/t] NN vs la ley media de valores estimados tanto por kriging ordinario Ag\_[oz/t] KO y kriging simple Ag\_[oz/t] KS.

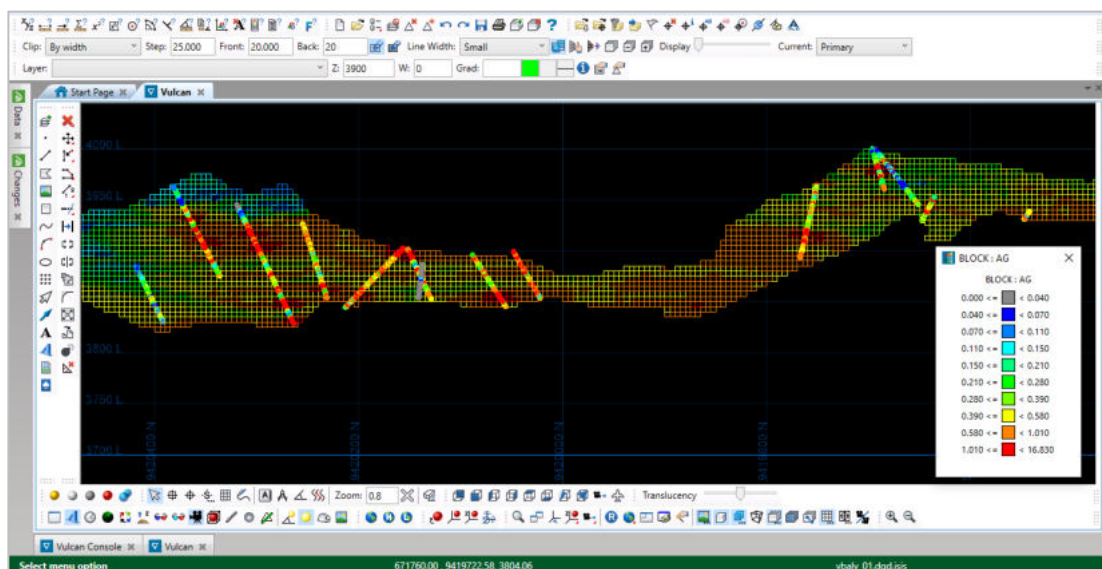




Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 52 — Wash plots valores reales vs estimados elementos Ag.

Comparación de las medias locales de los valores del Ag [oz/t] NN vs las leyes medias locales estimados por OK y KS en las direcciones del este, norte y elevación, las leyes medias a cada 50 metros en los ejes del este y norte, ley media en la elevación en cada 20 metros.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 53 — Validación visual reales vs estimados sección Norte Sur Ag [oz/t].



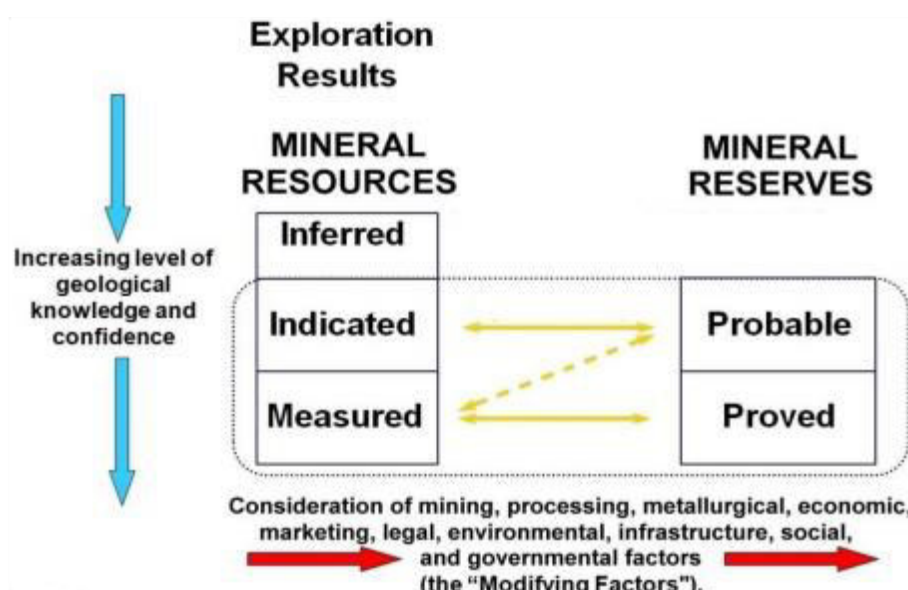
Validación visual vista N-S, de los valores de la Ag[oz/t] de los compósitos en puntos vs los valores de las muestras del modelo, se aprecia la reproducción de la variabilidad de estimado por OK.

### 5.1.10 Clasificación de recursos

Una vez estimado los valores del modelo de bloques a partir de simulaciones o las diferentes variantes de kriging o cualquier tipo de estimación, es necesario definir la cantidad de los recursos y reservas como su (incertidumbre), esta definición es crítica en el negocio minero. Es la herramienta de evaluación de potenciales inversionistas en donde raramente existen garantías de activos para la búsqueda de financiamiento.

El objetivo final es que su definición y evaluación siga estándares internacionales de tal forma hacerla homogénea e independiente del tipo de empresa (privada, estatal) o inversionista que se busque.

De tal manera que la incertidumbre en los recursos minerales se trata a través de la calificación en recursos medidos, recursos indicados y recursos inferidos, la interpretación en cuanto a la incertidumbre está definido de acuerdo al siguiente esquema.



**Fuente:** Committee for mineral reserves international reporting standards (CRIRSCO).

**Figura 54** — Esquema de clasificación de recursos y reservas minerales.



Para contextualizar los resultados con respecto a criterios tradicionales de categorización, la primera metodología se basa en uso de los criterios de comparar la distancia de la muestra más cercana al bloque con respecto al alcance del variograma. El criterio para seleccionar la distancia óptima es cortando la meseta al 50% e interceptando con el alcance para definir los recursos medidos, corte al 80% de la meseta intercepta con la distancia óptima para los recursos indicados y todas las muestras alejadas al último alcance se les denominara como recursos inferidos. La distancia está dada por el radio de búsqueda, el cual debe estar en relación con el alcance, la distancia geométrica está vinculada con la variabilidad.

La segunda metodología es haciendo uso de la varianza de estimación del kriging.

$X_{\beta}$  = valor medio del bloque

$Y_{\beta}^2$  = varianza del bloque

$Y_{\beta} = \sqrt{Y_{\beta}^2}$  desviación estándar de los bloques

$$\frac{Y_{\beta}}{X_{\beta}} 100 = CV \text{ del kriging}$$

$Y_{\beta} < \text{al } 25\% \text{ de } X_{\beta}$  (Recursos medidos)

$Y_{\beta} > \text{al } 25\% \text{ de } X_{\beta}$  (Recursos indicados)

$Y_{\beta} > \text{al } 40\% \text{ de } X_{\beta}$  (Recursos inferidos)

El porcentaje puede variar, tratándose de diferentes materiales, o bien son los bloques de diferentes tamaños.

En nuestro caso el mínimo valor es 0.05 y 2.25 representa el 25% del coeficiente de variación de kriging, 2.85 representa el 40% de coeficiente de variación de kriging, con estos valores se ha elaborado un script que permite calcular y filtrar los datos de manera automática, este script es ejecutado desde la consola vulcan entregando una nueva variable con las categorías de medido, indicado e inferido.

\*\*\*script para categorizar recursos en óxidos koripampa\*\*\*

```
if (cvkr ge 0.05 and cvkr le 2.25) then
```

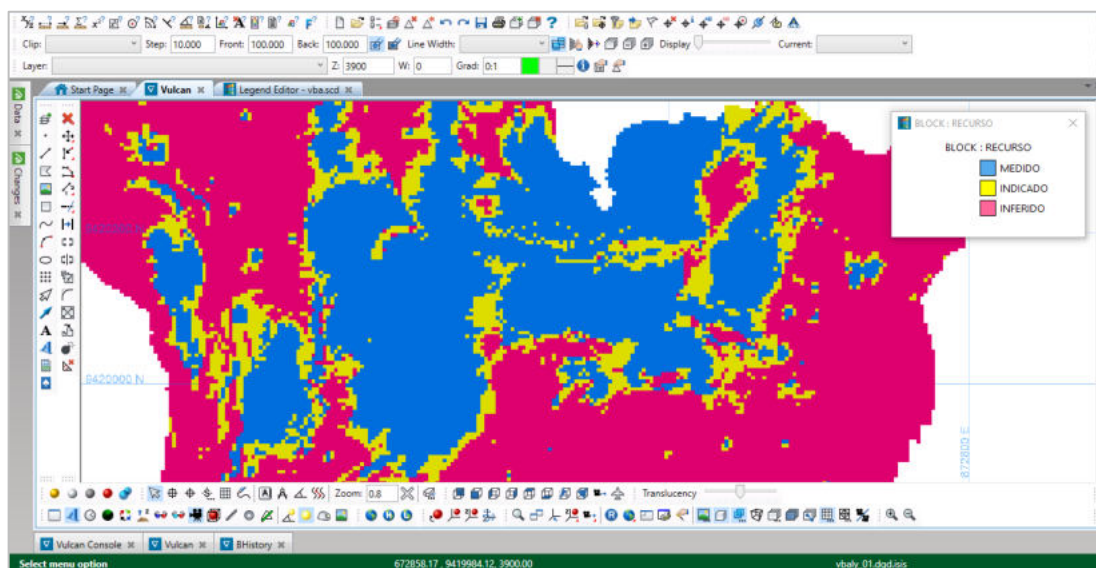
```
    cat=1
```

```
elseif (cvkr gt 2.25 and cvkr lt 2.85) then
```

```
    cat=2
```



```
elseif (cvkr gt 2.85) then
    cat=3
endif
```



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 55 — Clasificación de recursos en óxidos.

La imagen muestra los bloques clasificados según el grado de confianza y la proporción de cada uno con respecto a la mineralización del total de óxidos.

### 5.1.11 Inventario de recursos

Los recursos finales obtenidos del proceso de estimación de recursos minerales para la zona de interés del proyecto Koripampa, con información de leyes y una densidad promedio de 2.38 ton/m<sup>3</sup> para la zona de óxidos, considerando una ley de corte de 0.0 Au [g/t] asciende a 2 millones 581 mil 407 toneladas con ley de 0.17 Au [g/t], y para una ley de corte de 0.20 Au [g/t] tenemos 40 millones 966 millones 380 mil 270 toneladas con ley de 0.30 Au [g/t], con un aproximado de 741 mil 684 onzas de Au.

Tabla 22 — Inventario de recursos geológicos por ley de corte de Au [oz] en óxidos

Reporte de Recursos en Óxidos Koripampa						
Categoría	Cut off	Ley Au [g/t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Tonnage [ton]	Fino Au [gr]	Fino Au [oz]
Medido	0.20	0.30	16,966,500	40,380,270	11,977,703.45	385,093.06
	0.40	0.47	2,734,125	6,507,218	3,030,933.51	97,447.02
	0.60	0.66	320,875	763,683	504,775.65	16,228.95
	0.80	0.89	67,375	160,353	142,340.15	4,576.35



	1.00	1.09	35,750	85,085	92,560.87	2,975.91
	1.20	1.28	17,875	42,543	54,455.15	1,750.78
	1.40	1.49	11,500	27,370	40,878.27	1,314.27
	1.60	1.69	7,000	16,660	28,101.44	903.48
	1.80	1.90	4,625	11,008	20,929.83	672.91
	2.00	2.66	10,875	25,883	68,848.00	2,213.52
Indicado	0.20	0.24	9,070,500	21,587,790	5,075,944.88	163,195.82
	0.40	0.44	625	1,488	647.22	20.81
Inferido	0.20	0.21	2,254,875	5,366,603	1,150,142.64	36,978.04

Los recursos obtenidos del proceso de estimación de recursos minerales para la zona de interés del proyecto, con información de leyes y una densidad de 2.38 ton/m<sup>3</sup> para la zona de óxidos, considerando una ley de corte de 0.0 Au [g/t] asciende a 6 millones 586 mil 947 toneladas con ley de 0.15 Ag [oz/t], y para una ley de corte de 0.20 Au [g/t] tenemos 23 millones 004 millones 187 mil 270 toneladas con ley de 0.30 Ag [oz/t], con un aproximado de 31 millones 813 mil 926 onzas de Ag.

**Tabla 23 — Inventario de recursos geológicos por ley de corte de Ag [oz] en óxidos**

Reporte de Recursos en Óxidos Koripampa					
Categoría	Cut Off	Ley Ag [oz/t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Tonnage [ton]	Fino Ag [oz]
Medido	0.20	0.30	9665625	23004188	6,917,672.00
	0.40	0.48	5761250	13711775	6,638,472.07
	0.60	0.68	2050625	4880488	3,325,583.26
	0.80	0.88	639750	1522605	1,342,359.29
	1.00	1.08	183000	435540	469,679.31
	1.20	1.29	79125	188318	243,437.24
	1.40	1.49	44500	105910	158,109.89
	1.60	1.70	28875	68723	116,713.14
	1.80	1.89	15250	36295	68,577.08
	2.00	2.42	25500	60690	146,806.18
Indicado	0.20	0.30	5998500	14276430	4,326,827.90
	0.40	0.48	3375625	8033988	3,882,143.89
	0.60	0.68	1056375	2514173	1,701,631.11
	0.80	0.87	195125	464398	404,911.11
	1.00	1.08	40750	96985	104,742.91
	1.20	1.29	22250	52955	68,293.50
	1.40	1.49	9875	23503	34,969.44
	1.60	1.69	6125	14578	24,564.72
	1.80	1.89	4000	9520	17,993.48
	2.00	2.67	7000	16660	44,492.30

Inferido	0.20	0.29	18646750	44379265	13,026,218.55
	0.40	0.49	10078125	23985938	11,683,228.06
	0.60	0.68	4067000	9679460	6,576,956.16
	0.80	0.86	768000	1827840	1,576,465.33
	1.00	1.08	102125	243058	262,333.10
	1.20	1.30	43875	104423	135,400.50
	1.40	1.49	28250	67235	100,259.29
	1.60	1.69	17750	42245	71,546.53
	1.80	1.89	11875	28263	53,433.17
	2.00	2.60	18375	43733	113,888.25

Tabla 24 — reporte de recursos minerales de Au [g/t] y Ag [oz/t] en óxidos

Reporte de recursos minerales en óxidos Koripampa				
Categoría	Au [g/t]	Ag [oz/t]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Tonnage [ton]
Medido	0.32	0.40	21,261125.00	50,601,477.50
Indicado	0.22	0.37	12,912250.00	30,731,155.00
Inferido	0.12	0.31	51,073875.00	121,555,822.50
Med+Ind	<b>0.28</b>	<b>0.39</b>	<b>34,173375.00</b>	<b>81,332,632.50</b>

La clasificación de recursos minerales en la zona de óxidos dio como resultado 526 mil 919 Onzas de Au, 20 millones 437 mil 074 Onzas de Ag en los recursos medidos, 214 mil 765.47 Onzas de Au 11 millones 376 mil 851.87 Onzas de Ag en recursos indicados.

Con un total de 81 millones 332 mil 632 toneladas de mineral de oxido con 0.28 [g/t] Au y 0.39 oz/t Ag.

## 5.2 Contrastación de hipótesis

El uso y la aplicación de modelos estadísticos están sujetos a distribuciones normales o gaussianas representadas por histogramas con forma de una campana de gauss en el que se puede inferir o buscar la probabilidad de ocurrencia de cualquier tipo de valor de interés. La selección de modelos a implementar está en función al comportamiento de la variable de interés, se ha evaluado la normalidad y lognormalidad de datos, para ello nos apoyamos con el valor de skewness o sesgo el que indica que el valor de nuestras muestras no presenta valores uniformes ya que la mayoría del valor de nuestras muestras se ubican cercanos al valor cero lado izquierdo y pocas muestras con valores altos al lado derecho graficados mediante un histograma tiene una cola hacia la derecha característico de una distribución lognormal, el siguiente indicador es el coeficiente de variación cercano a 1 este indica que nuestros datos necesitan una transformación al logaritmo natural con el



propósito de expandir los valores bajos y comprimir los valores altos con lo que el histograma de esta nueva variable se asemeja a una campana de gauss, un tercer análisis es el valor de la prueba de normalidad de Kolmogorov Smirnov que dio 0.258 para el Au [g/t] y 0.244 para la Ag [oz/t] mayores a 0.05 los resultados muestran un comportamiento no normal, los valores de la nueva variable transformados logarítmicamente tienen valores de 0.05 para el Au y 0.025 para la Ag menores a 0.05 lo que asegura un comportamiento normal. Por lo anterior la estacionariedad puede ser asumida en el comportamiento de la nueva variable, estas nuevas variables fueron usados para calcular los variogramas, para el cálculo del valor de los bloques los valores sin transformar.

### 5.3 Discusión

Para lograr resultados confiables se ha elaborado una secuencia de tareas auditables que garantice el valor de los resultados, sujeto a cálculos por computadora controlados por la experiencia y expertís del tesista.

Los modelos geoestadísticos requieren modelos teóricos de variogramas que le darán pesos a los puntos donde se ubican las muestras para reducir la varianza de kriging, por ello es necesario modelar o ajustar los variogramas teóricos a los variogramas experimentales lo más parecido posible, al estimar el valor de cada bloque el modelo de kriging simple toma en cuenta que la media es estrictamente estacionaria en la zona de óxidos, mientras que el kriging ordinario considera que la media es localmente estacionario influenciado por los alcances del variograma seleccionado, pues este método reproduce la ley media local y la variabilidad del fenómeno como son la ley del Au [g/t] y la ley de la Ag [oz/t] del proyecto Koripampa.

Se ha elaborado el plan de estimación sujeto a la metodología del (kna) análisis de la vecindad de kriging, el cual contempla el mínimo y máximo número de muestras que participaran en la estimación, la distancia optima de cada eje fueron 180 metros en el eje mayor 100 metros en el eje menor y 80 metros en el eje menor formando un elipsoide móvil que se posicionara en el centroide cada bloque y calcular su valor, para la discretización de cada bloque fueron tomados 4x3x2 32 puntos en cual reduce la varianza o error de estimación.

Posterior a este análisis se ha tomado en consideración la varianza y el valor medio de cada bloque para cuantificar la categoría de los recursos minerales en función al grado de error



cometido en la estimación, con lo que obtuvimos una clasificación de recursos sujetos a estándares internacionales que garanticen la publicación de informes y reportes técnicos en la bolsa de valores, y asegurar capitales que pongan en valor el depósito.

Si realizamos manualmente los cálculos para la varianza de kriging discretizado por 32 puntos a más y valor de la ley media del bloque nos demoraríamos en promedio de 1 hora y media y de todo el depósito por la gran cantidad de bloques y muestras demandaría meses hasta años, con lo que se ha optado el uso de software comercial auditable Vulcan 3D que ha reducido drásticamente el tiempo de cálculo a horas definidas.



## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

La aplicación del método del kriging ordinario permitió obtener una estimación precisa de los recursos minerales en la zona de estudio con una diferencia porcentual menor al 5% comparada con el método del vecino más cercano.

Se categorizaron los recursos minerales en Medidos, Indicados e Inferidos en función de su concentración y se identificaron áreas de mayor interés, obteniéndose 81.33 Mt de mineral de óxidos entre recursos medidos + indicados.

Se reportaron leyes medias con leyes de 0.28[g/t]Au y 0.39[oz/t]Ag, cuantificándose 741, 684 .68 Onzas de Au y 31, 831, 926 .39 onzas de Ag.

#### 6.2 Recomendaciones

Se recomienda utilizar el método de kriging ordinario para futuras estimaciones de recursos minerales en la zona de estudio, debido a su precisión y efectividad.

Se recomienda refinar el modelo de kriging mediante la incorporación de más datos de perforación y la utilización de modelos más avanzados, para mejorar la precisión y reducir la incertidumbre.

Se recomienda considerar la implementación de un programa de monitoreo y seguimiento para evaluar cambios en la distribución de los recursos minerales en la zona de estudio



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A. G. JOURNAL, CH. J. HUIJBREGTS. (1981) Mining Geoestistics. Francia: Centre de Geostatistique Fontainebleau.

ALFARO SIRONVALLE, MARCO ANTONIO. (2003). Introducción al Muestreo Minero. Chile: Instituto de Ingenieros de Minas de Chile.

ALFARO SIRONVALLE, MARCO ANTONIO. (2007). Estimación de recursos Mineros. Santiago de Chile: Springer.

ALFARO SIRONVALLE, MARCO ANTONIO. (2015). El error de estimación, aplicación a la estimación de recursos y reservas. Chile: Comisión calificadora de competencias en recursos y reservas mineras.

ÁVILA INDO, MATÍAS ANDRÉS. (2019). Desarrollo de guía de mejores prácticas en estimación de recursos mineros para yacimientos tipo pórfido cuprífero en Chile. Chile: Universidad de Chile.

BUSTILLO, M. & LÓPEZ, C. (1997). Manual de Evaluación y Diseño de Explotaciones Mineras, 640 P.

CÁCERES, A. (2015). Modelamiento geológico pasado, presente y futuro. GeoInnova Consultores Ltda., 106.

CARRASCO, P., MÜLLER, G., SULLIVAN, J., SILVIA, S., & FUENZALIDA, J. (2004). Guía Mejores Prácticas Estimación de Recursos Geológicos.

CENTENO VELÁSQUEZ, EDUAR ROYCER. (2014). Optimización en la estimación y límites de explotación en el proyecto Michiquillay. Tacna. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

CLAYTON, V. DEUTSCH, ANDRÉ, G. JOURNAL (1998). Geoestatistical Software Library and Users Guide. New York. Stanford University, 369P.



CLASIFICACIÓN Y DEFINICIONES TOMADAS DEL CÓDIGO CHILENO, 2. (2016). Metodología de Clasificación de Recursos y Reservas.

CODELCO. (25 de agosto de 2007). Guía de mejores prácticas para el tratamiento de la información geológica, CODELCO. En G. C. Proyectos). Santiago de Chile.

COMMITTEE FOR MINERAL RESERVES INTERNATIONAL REPORTING STANDARDS. (Septiembre de 2019). Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards

DIEHL, P., & DAVID. (1982). Classification of ore reserves/resources based on geostatistical.

EMERY, X. (2007). Diploma de Postítulo en Evaluación Geoestadística de Yacimientos, Apunte de Geoestadística. Santiago de Chile.

FERNÁNDEZ LÓPEZ, R. (2012). Metodología y estimación geoestadística de recursos del yacimiento epitermal santa Rosa - Puno. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

GARZÓN, C. L. (2018). Geoestadística. Oaxaca.

GALLARDO PINTO, LUIS; GALLARDO SALAS, MAURICIO. (2014). Estimación de recursos de un yacimiento mediante el software vulcan. La Serena: Universidad de la Serena.

GUTIÉRREZ RAMÍREZ, JOSÉ ENRIQUE. (2007). Modelamiento geológico e inventario de recursos aplicando elementos de geoestadística en el depósito de caliza oeste Sider Nivin Casma. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

HERNÁNDEZ, R Y MENDOZA, C. Metodología de la investigación. México: MC Graw Hill, 2019

LA TORRE CHAMBI, WALTER WILLIAM. (1996). Estimación de reservas de la veta candelaria segunda mina caudalosa grande por el método geoestadístico. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.



LIMAYLLA AQUINO, JESÚS ANTONIO. (1996). Metodología para el tratamiento de leyes en una mina de oro. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería

LOAYZA MONTENEGRO, MARIO ERICK. (2011). Estimación de recursos del yacimiento la virgen, La Libertad y prueba piloto de simulación sobre un banco bxqz utilizando el software gslib. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

MARÍN BALLÓN, EDGAR MICHEL (2016). Fundamento matemático de métodos geoestadísticos y su aplicación en la estimación de yacimientos mineros. Arequipa: Universidad Nacional San Agustín de Arequipa.

MARISCAL SUCNO, EMERSON KLIM. (2022). Gestión para la predicción de recursos y reservas de un yacimiento minero, utilizando programaciones en Matlab. Lima: Pontificie Universidad Católica del Perú.

MATHERON, GEORGE. (1965), Variable regionalizada y su estimación, Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París.

MATHERON, GEORGE. (1969). Curso de geoestadística. Paris: Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París.

MEDRANO RAYMUNDO, CARLOS ALBERTO. (2011). Metodología de estimación de recursos minerales y reconciliación de reservas de la veta Jimena en el sector norte del batolito de Pataz. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

MEJÍA AGUILAR, JOEL ROLANDO. (2009). Geología y categorización de recursos geológicos mineros del proyecto Invicta – Provincia de Huaura. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

MENDENHALL, W., BEAVER, R., & BEAVER, B. (2006). Introducción a la probabilidad y Estadística. México: Cengage Learning Editores, S.A. de C.V

ORTIZ CABRERA. JULIÁN (2004), Apuntes de curso de evaluación de yacimientos. Santiago de Chile: Universidad de Chile.



ORTIZ CABRERA, JULIÁN (2006), Apuntes de simulación geoestadística. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

PÉREZ PAREDES, ELIZABETH JACINTA. (2010). Metodología de modelamiento de variogramas como tema de aplicación de la geoestadística a la ingeniería geológica. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

SALAZAR MUÑOZ, JAVIER. (1989). Comparación de métodos de estimación de ley de Cobre. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

SERRANO CORTEZ, LUIS ALBERTO (2015). Modelo de sustitución para la simulación condicional de leyes. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

SMEE, B. (2010), Results of an audit of SGS Lima and SGS Juliaca Laboratories Peru and Quality Control Data Review for Chucapaca Project, Vancouver, p. 72.

SOTO CÓRDOVA, C. (2012). Estimación de recursos por métodos geoestadísticos en la mina Cerro Lindo.

TULCANAZA, EDMUNDO. (1992). Técnicas geoestadísticas y criterios técnico económicos para la estimación y evaluación de yacimientos mineros. Editorial Estudios Mineros, 256 P.

TULCANAZA, EDMUNDO. (1999). Evaluación de recursos y negocios mineros incertidumbre, riesgos y modelos numéricos. Instituto de Ingenieros de Minas de Chile, 350 P.



## ANEXOS



**Tabla 25 — Matriz de consistencia**

Problema	Objetivos	Hipotesis	Variable	Metodologia
<p><b>Problema General</b></p> <p>¿De qué manera los modelos geoestadísticos relacionan la cuantificación de recursos minerales en el depósito del Proyecto Koripampa, Apurímac – 2022?</p>	<p><b>Objetivo General</b></p> <p>Implementar los modelos geoestadísticos para cuantificar los recursos minerales en el depósito Koripampa, Apurímac 2022.</p>	<p><b>Hipotesis General</b></p> <p>La implementación de modelos geoestadísticos influye significativamente en la caracterización y la reproducción de la variabilidad espacial del fenómeno en estudio.</p>	<p><b>Independiente</b></p> <p>Implementacion de modelos geoestadísticos</p> <p><b>Dependiente</b></p> <p>Cuantificación de recursos minerales</p>	<p><b>Población</b></p> <p>variables presentes en la geología del depósito koripampa.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>conformada por las leyes de Au [g/t] y Ag [oz/t] dentro de los dominios de mineralización</p> <p><b>Tipo de Investigacion</b></p> <p>Aplicada</p> <p><b>Nivel de Investigacion</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>Diseño de Investigacion</b></p> <p>Experimental</p> <p><b>Tecnicas de Investigacion</b></p> <p>Recoleccion de datos, Observacion</p> <p><b>Instrumentos</b></p> <p>Reportes y fichas técnicas</p>
<p><b>Problema específico</b></p>	<p><b>Objetivos específicos</b></p>	<p><b>Hipotesis específicos</b></p>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>De qué manera se implementarán los modelos geoestadísticos en la cuantificación de los recursos minerales del proyecto Koripampa Apurímac – 2022.</li> <li>¿Como seleccionar el modelo geoestadístico apropiado para cuantificar los recursos minerales en el proyecto Koripampa Apurímac – 2022?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Al determinar el modelo matemático adecuado reduce significativamente el riesgo y la incertidumbre en los resultados.</li> <li>Evaluar la correlación espacial, plan de estimación, validación y reportabilidad de los resultados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Los procedimientos adecuados reducen significativamente el riesgo e incertidumbre en los resultados.</li> <li>Al seleccionar el modelo geoestadístico apropiado para cuantificar los recursos minerales, reducen el tiempo de cálculo de un gran volumen de en el proyecto Koripampa Apurímac - 2022.</li> </ul>		



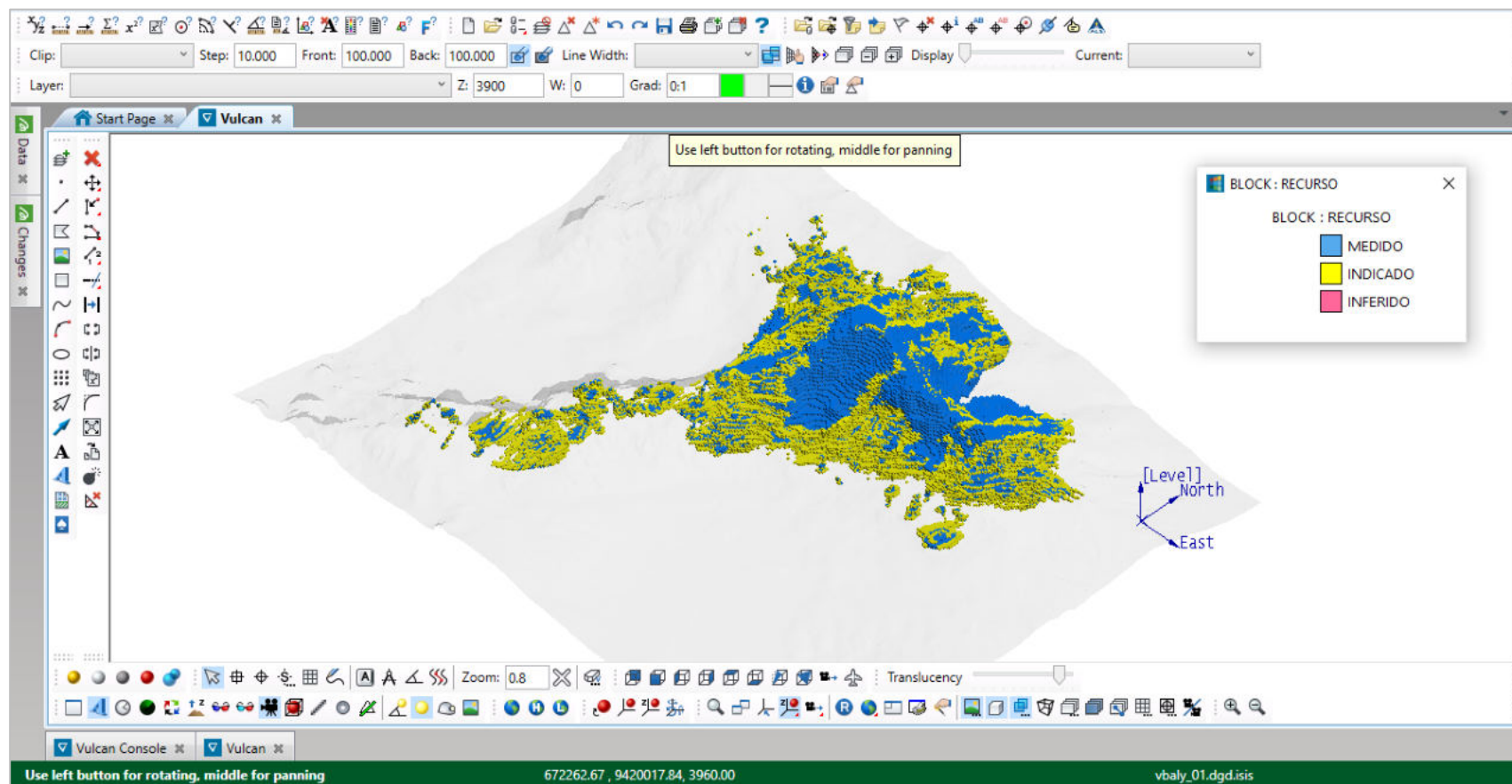
**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC

**Figura 56 — Sondaje KP-64 Colpa.**



**Fuente:** Colaboración Koripampa SAC

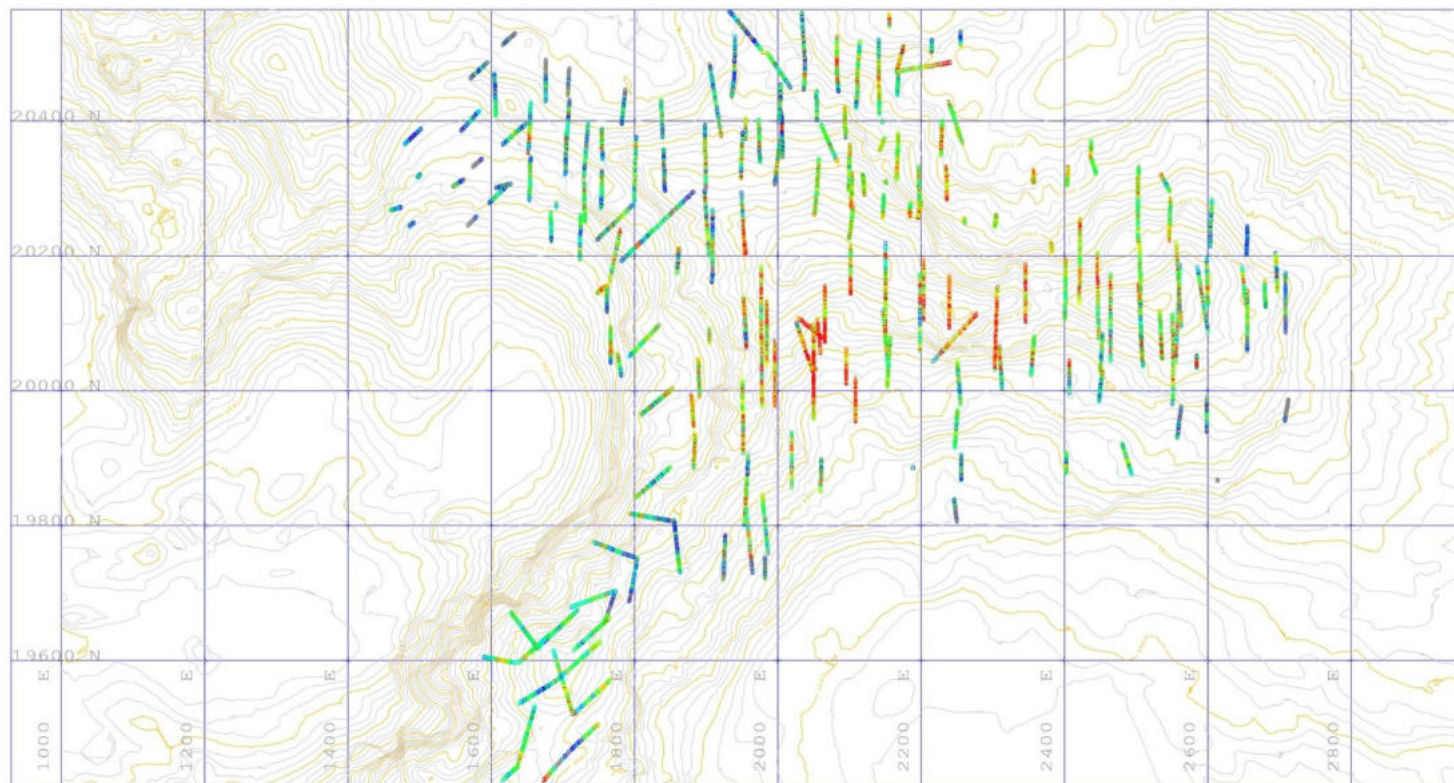
**Figura 57 — Sondaje KP17-217 Pamparqui.**



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 58 — Despliegue grade Shell, clasificado según su grado de certeza en óxidos.

PLANO DE MUESTRAS A LOS LARGO DE LOS SONDAJES



VISTA EN PLANTA



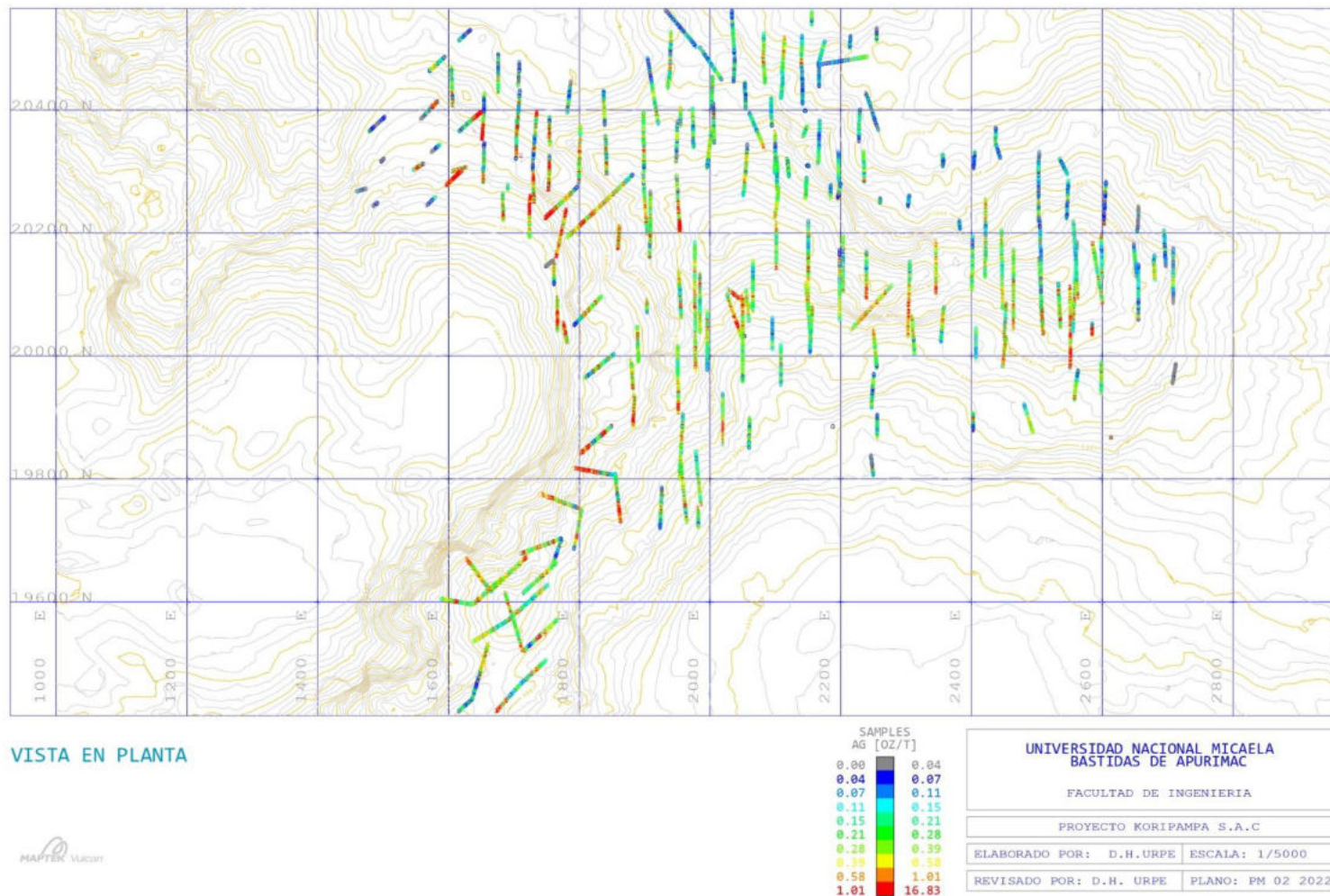
SAMPLES	
AU [G/T]	
0.00	0.05
0.05	0.07
0.07	0.08
0.08	0.10
0.10	0.13
0.13	0.16
0.16	0.20
0.20	0.27
0.27	0.43
0.43	9.85

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURIMAC	
FACULTAD DE INGENIERIA	
PROYECTO KORIPAMPA S.A.C	
ELABORADO POR: D.H.URPE	ESCALA: 1/5000
REVISADO POR: D.H. URPE	PLANO: PM 01 2022

Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

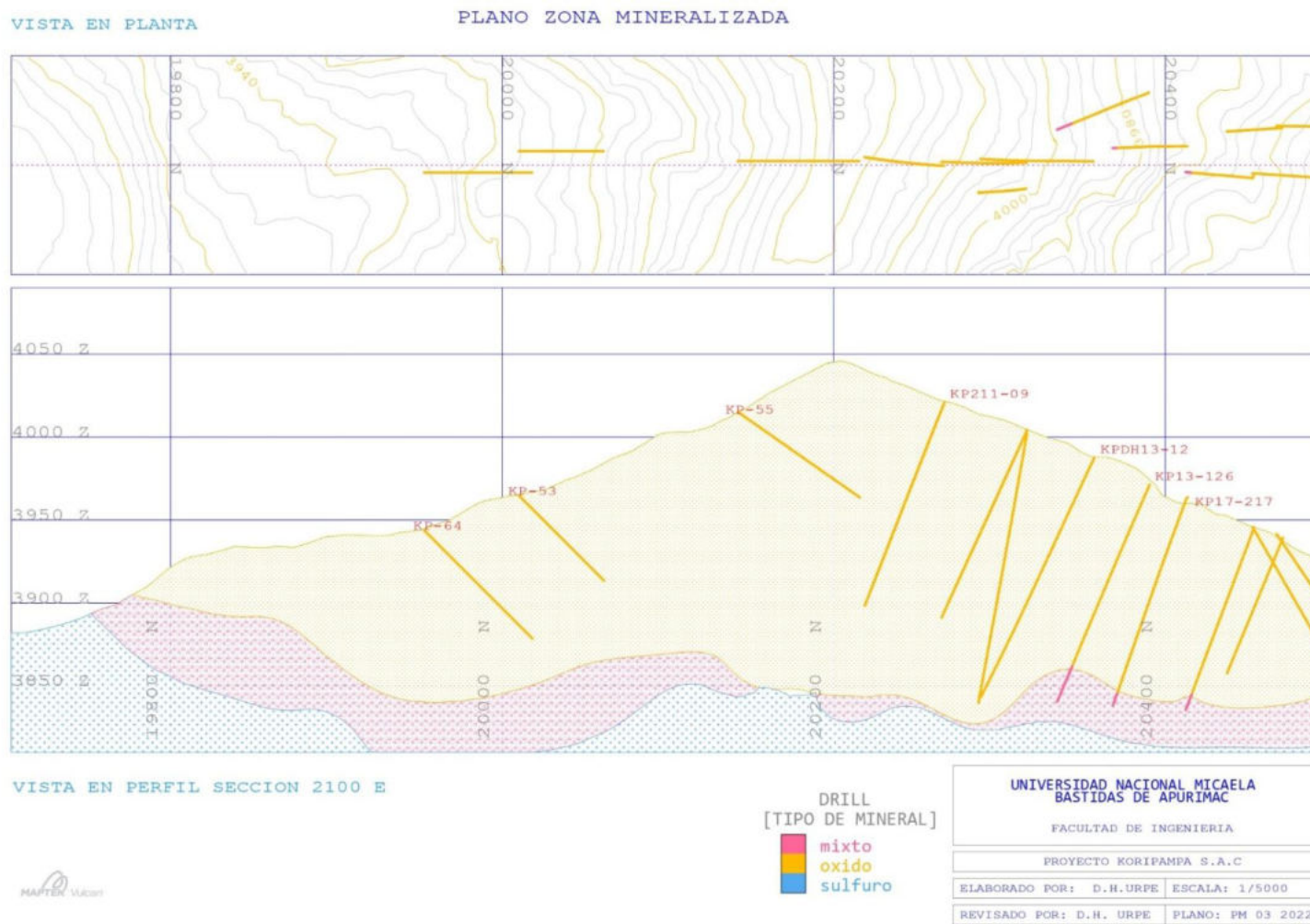
Figura 59 — Muestras de Au [g/t] a lo largo de sondaje.

PLANO DE MUESTRAS A LOS LARGO DE LOS SONDAJES



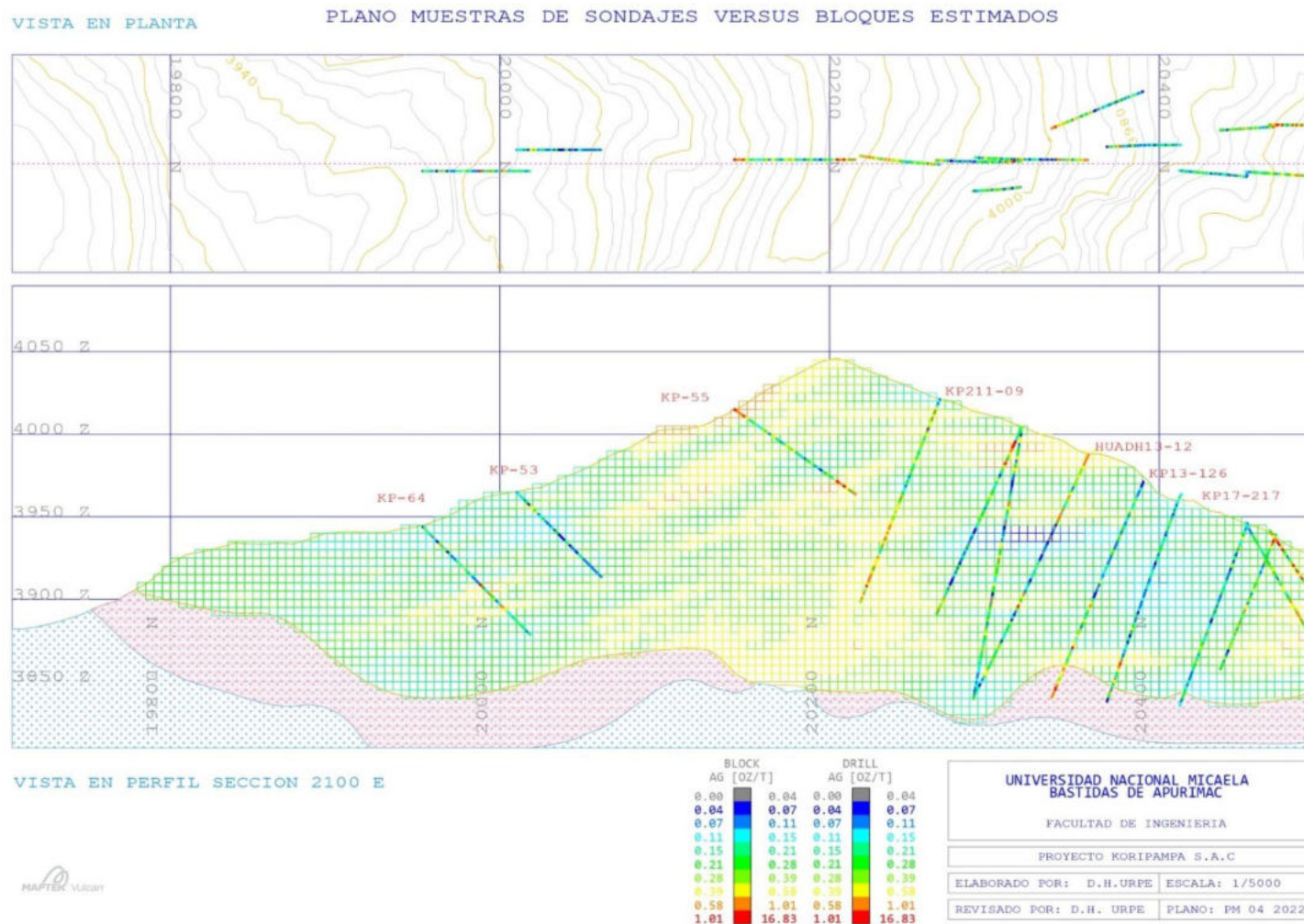
Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 60 — Muestras de Ag [Oz/t] a lo largo de sondaje.



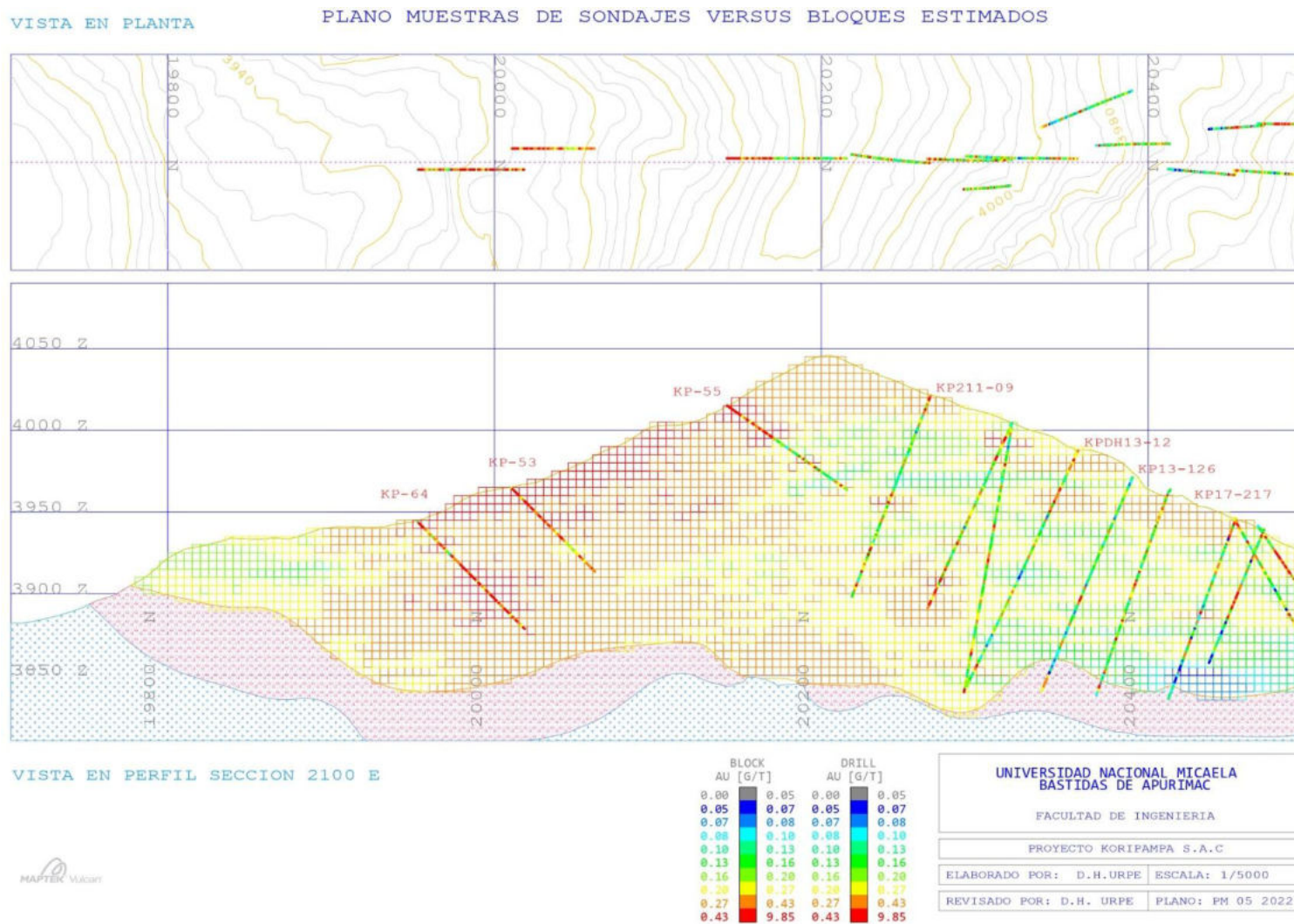
Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 61 — Zonas Mineralizadas.



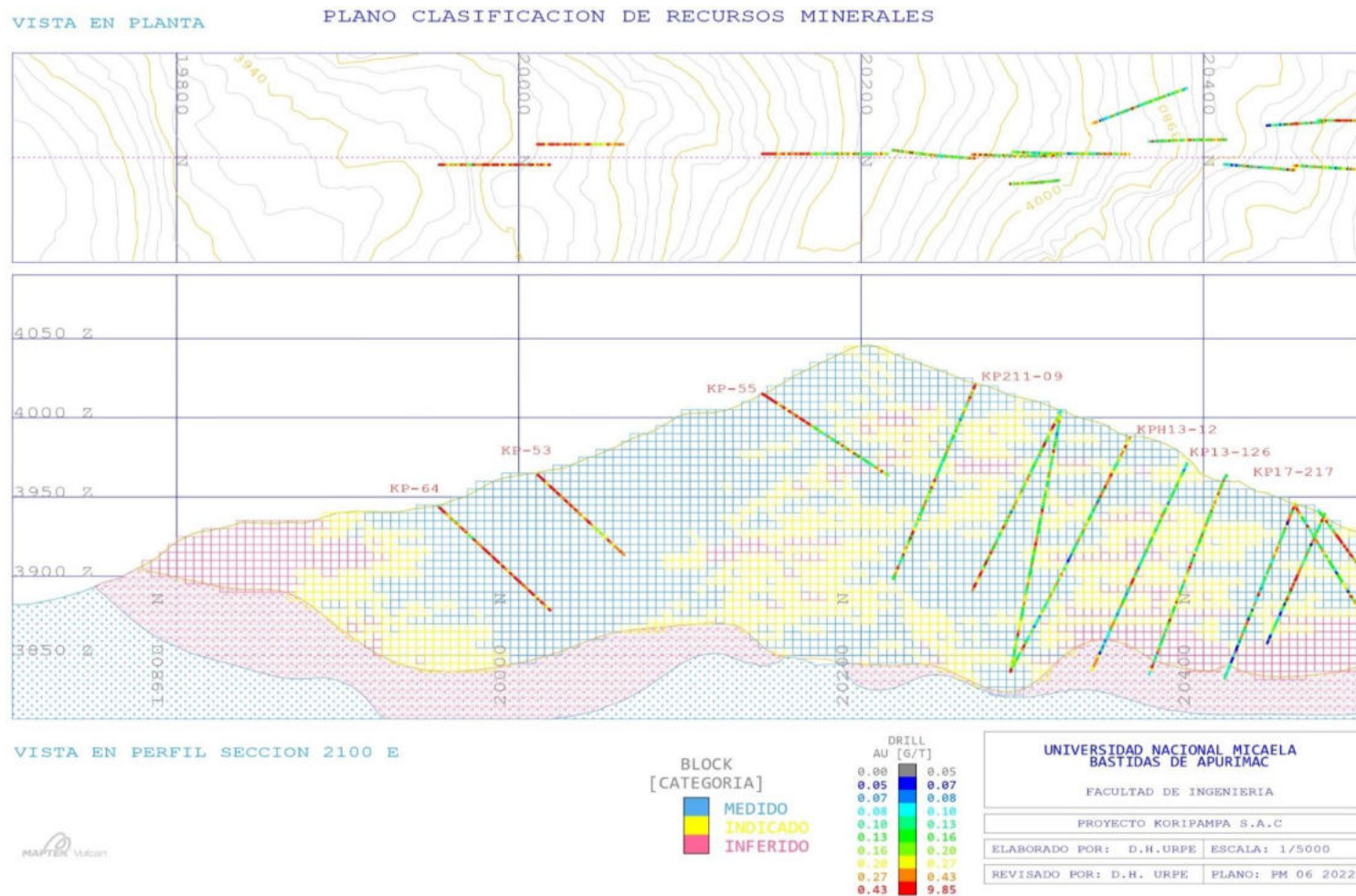
Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 62 — Muestras reales de Ag [Oz/t] versus Estimados.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 63 — Muestras reales de Au [g/t] versus Estimados.



Fuente: Colaboración Koripampa SAC.

Figura 64 — Muestras de Au [g/t] en recurso