



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado
Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y
Geográfica
Unidad de Posgrado

**Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de
bloques en el yacimiento Pampacancha, Constancia -
Perú**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Magíster en Geología con
mención en Recursos Mineros

AUTOR

Livia Maxnelly CACERES BEIZAGA

ASESOR

Dr. Jorge Eduardo CHIRA FERNÁNDEZ

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Caceres, L. (2022). *Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de bloques en el yacimiento Pampacancha, Constanca - Perú*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Livia Maxnelly Caceres Beizaga
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	72298795
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-6667-5217
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Jorge Eduardo Chira Fernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	07342254
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-5194-9940
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Dr. Alfonso Alberto Romero Baylón
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	31625834
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Dr. Jaime Cesar Mayorga Rojas
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10369482
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Mg. Enrique Guadalupe Gómez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191995
Miembro del jurado 3	
Nombres y apellidos	Dr. Jorge Eduardo Chira Fernández
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07342254
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.1.11 Recursos Mineros
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento

Ubicación geográfica de la investigación	Unidad Minera Constancia País: Perú Departamento: Cusco Provincia: Chumbivilcas Distrito: Chamaca, Livitaca, Velille Latitud: -14.464186, Longitud: -71.7951173
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2021 – Noviembre 2021
URL de disciplinas OCDE	Geología https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.06 Geoquímica, Geofísica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#1.05.04



Acta de Sustentación de Tesis

Sustentación Pública

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos – Lima, a los ocho días del mes de noviembre del año 2022, siendo las 12:00 horas, se reúnen los suscritos Miembros del Jurado Examinador de Tesis, nombrado mediante Dictamen N° 000647-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM del 26 de octubre del 2022, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

Título

«Evaluación geoquímica para optimizar el modelo de bloques en el yacimiento Pampacancha, Constancia - Perú»

Que, presenta la Bach. **Livia Maxnelly Caceres Beizaga**, para optar el grado académico de **Magister en Geología** con mención en **Recursos Mineros**.

El Secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente digital N° UNMSM-20210070232 del 25 de setiembre del 2021, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento General de Estudios de Posgrado», aprobado con Resolución Rectoral N° 04790-R-18 del 08 de agosto del 2018.

Luego de la Sustentación, se procede con la calificación de la Tesis, de acuerdo al procedimiento respectivo y se registra en el acta correspondiente en conformidad al Art. 100 del precitado Reglamento, correspondiéndole al graduando la siguiente calificación:

Muy Bueno (17)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el grado académico de **Magister en Geología** con mención en **Recursos Mineros** a la Bach. **Livia Maxnelly Caceres Beizaga**.

Siendo las 13:00 horas, se dio por concluido al acto académico.

Dr. Alfonso Alberto Romero Baylón
Presidente

Dr. Jaime César Mayorga Rojas
Secretario

Mg. Enrique Guadalupe Gómez
Miembro

Dr. Jorge Eduardo Chira Fernández
Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

Lima, 12 de Julio del 2022

INFORME N° 000084-2022-UPG-VDIP-FIGMMG/UNMSM

INFORME DE ORIGINALIDAD

DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

Dr. Rolando Reategui Lozano

OPERADOR DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES

Tec. Wendy María Sanca Bernabé

DOCUMENTO EVALUADO:

Tesis para optar el Grado Académico de Magister en Geología con mención en Recursos Mineros titulado: **“EVALUACIÓN GEOQUÍMICA PARA OPTIMIZAR EL MODELO DE BLOQUES EN EL YACIMIENTO PAMPACANCHA, CONSTANCIA-PERÚ”**

AUTOR DEL DOCUMENTO:

ING. LIVIA MAXNELLY CACERES BEIZAGA

FECHA DE RECEPCIÓN DEL DOCUMENTO:

11/07/2022

FECHA DE APLICACIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO DE SIMILITUDES:

11/07/2022

SOFTWARE UTILIZADO

Turnitin

CONFIGURACIÓN DEL PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

- Excluye textos entrecomillados
- Excluye fuentes para buscar similitud
- Excluye Bibliografía
- Excluye cadenas menores a 35 palabras

PORCENTAJE DE SIMILITUDES SEGÚN PROGRAMA DETECTOR DE SIMILITUDES

Cinco por ciento (05 %)

FUENTES ORIGINALES DE LAS SIMILITUDES ENCONTRADAS

- | | |
|---|-----|
| • repositorio.unsa.edu.pe | 1% |
| • cybertesis.unmsm.edu.pe | 1% |
| • repositorio.uchile.cl | 1% |
| • Submitted to Universidad Nacional de Colombia | <1% |
| • cran.R-Project.org | <1% |
| • www.coursehero.com | <1% |
| • repositorio.uancv.edu.pe | <1% |





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
Universidad del Perú. Decana de América
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA
UNIDAD DE POSGRADO

- Submitted to Universidad Inca Garcilaso de la Vega <1%
- www.scribd.com <1%
- 123docz.net <1%
- qdoc.tips <1%
- www.econstor.eu <1%

OBSERVACIONES

Ninguna

CALIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD

Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones

- **11/07/2022**

ROLANDO REATEGUI LOZANO
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE POSGRADO

RRL/wsb



DEDICATORIA

A Emma Rafaella.

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
SUMMARY	2
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 Situación problemática	3
1.2 Formulación del problema.....	5
1.2.1 Problema general:.....	5
1.2.2 Problemas específicos:	5
1.3 Justificación de la investigación	6
1.4 Objetivos	7
1.4.1 Objetivo general:	7
1.4.2 Objetivos específicos:.....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Antecedentes del Problema.....	8
2.2 Bases Teóricas	13
Evaluación geoquímica	13
Análisis Geoquímico mediante Geoestadística	13
Variogramas.....	15
Modelamiento de un variograma experimental	16
Efecto Pepita.....	16
Anisotropía	17
Modelos teóricos de variogramas.....	18
Principales aplicaciones del análisis variografico	18
Ajuste de un variograma a un modelo teórico	19
Geoquímica de un yacimiento tipo Skarn.....	20
Yacimiento tipo skarn	21
Skarn de Pampacancha.....	23
Optimización de un modelo de Bloques	24
Composicion de sondajes diamantinos.....	24
Métodos de estimación de recursos.....	25
Kriging de media desconocida (kriging ordinario).....	25
Inverso de la distancia.....	26

Reconciliación en Minería.....	27
Reservas minerales y reconciliación	27
2.3 Marco geológico.....	29
2.3.1 Ubicación	29
2.3.4 Estratigrafía.....	32
2.3.4.1 Intrusiones.....	32
2.3.5 Geología estructural.....	35
2.3.6 Hidrogeología.....	37
2.3.7 Geomorfología, Peligros Naturales y Sismicidad.....	38
CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	40
3.1. Hipótesis General	40
3.2. Hipótesis Específicas.....	40
3.3. Identificación de Variables	40
3.3.1 Variable Independiente:	40
3.3.2 Variable dependiente:.....	40
3.4. Operacionalización de variables	41
CAPITULO IV: METODOLOGÍA.....	42
4.1 Tipo y diseño de investigación	42
4.2 Unidad de análisis.....	42
4.3 Población de estudio	43
4.4 Tamaño de muestra	43
4.5 Selección de muestra	43
4.6 Técnicas de recolección de datos	43
4.6.1 Perforación.....	44
4.6.2 Preparación de la muestra y análisis	44
4.6.2.1 Metodología de ensayo	45
4.7 Procesamiento Análisis e interpretación de la información	46
4.7.1 Estadísticas de los ensayos	46
4.7.2 Modelamiento de dominios.....	47
4.7.3 Análisis espacial.....	47
4.7.4 Estimación	47
4.7.5 Reconciliación.....	48
CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES	49
5.1 Interpretación geológica	49

5.2 Estadística de análisis geoquímico.....	53
5.3 Modelamiento de dominios Geoquímicos.....	60
5.3.1 Dominios de Cobre-Plata-Oro.....	60
5.3.2 Dominios de Zinc-Plomo.....	61
5.3.3 Dominios de Molibdeno.....	61
5.3 Composición de sondajes diamantinos.....	62
5.3.1 Elaboración de variogramas.....	63
5.4 Estimación en el modelo de bloques.....	67
5.4.1 Dimensiones del modelo de recursos.....	67
5.4.2 Proceso de estimación.....	68
5.4.2.1 Codificación en sondajes y bloques.....	68
5.4.2.2 Interpolación por Kriging Ordinario e inverso a la distancia.....	69
5.4.2.3 Clasificación por tipo de material.....	69
5.4.2.4 Calculo de NSR.....	69
5.4.3 Validación del modelo de bloques.....	71
5.5 Reconciliación de modelo de bloques.....	76
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	84
ANEXOS.....	85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Representación gráfica de un variograma básico.....	16
<i>Figura 2.</i> Composicion tradicional de sondajes diamantinos.....	25
<i>Figura 3.</i> Representación esquemática del Kriging ordinario.....	26
<i>Figura 4.</i> Mapa de ubicación del yacimiento Pampacancha.....	29
<i>Figura 5.</i> Geología Regional del área de Andahuaylas-Yauri.....	31
<i>Figura 6.</i> Geologia Local del Yacimiento Pampacancha.....	34
<i>Figura 7.</i> Mapa estructural del yacimiento Pampacancha.....	36
<i>Figura 8.</i> Vista de sección N-S de la Geologia del yacimiento Pampacancha.....	50
<i>Figura 9.</i> Vista 3D de litología tipo Caliza del yacimiento Pampacancha.....	51
<i>Figura 10.</i> Vista 3D de litología tipo Diorita del yacimiento Pampacancha.....	51

<i>Figura 11.</i> Vista 3D de litología tipo MP2 del yacimiento Pampacancha.....	52
<i>Figura 12.</i> Vista 3D de litología tipo Skarn del yacimiento Pampacancha.....	52
<i>Figura 13.</i> Histogramas de distribución de frecuencias de los elementos analizados para litología tipo Skarn.	56
<i>Figura 14.</i> Histogramas de distribución de frecuencias de los elementos analizados para litología tipo Caliza, Diorita, MP2, PDI.....	57
<i>Figura 15.</i> Diagramas de verificación visual de outliers por elemento.	58
<i>Figura 16.</i> Vista 3D de los dominios 1 y 2 de Cobre-Oro-Plata.....	60
<i>Figura 17.</i> Vista 3D de los dominios de Zinc y Plomo.....	61
<i>Figura 18.</i> Vista 3D de los dominios de Zinc y Plomo.....	62
<i>Figura 19.</i> Variograma Downhole de Cu%.....	63
<i>Figura 20.</i> Variograma Downhole de Mopppm.....	63
<i>Figura 21.</i> Variograma Downhole de Aupppb.....	64
<i>Figura 22.</i> Variograma Downhole de Agppm.....	64
<i>Figura 23.</i> Variograma Downhole de Pb%.....	65
<i>Figura 24.</i> Variograma Downhole de Zn%.....	65
<i>Figura 25.</i> Vista de sección Este-Oeste de los bloques interpolados y los compositos.	72
<i>Figura 26.</i> Vista de sección Norte-Sur de los bloques interpolados y los compositos.	72
<i>Figura 27.</i> Vista de planta de los bloques interpolados y los compositos.....	73
<i>Figura 28.</i> Reconciliación mensual por tonelaje.....	77
<i>Figura 29.</i> Reconciliación mensual por Cu%.....	78
<i>Figura 30.</i> Reconciliación mensual por Mo%.....	79
<i>Figura 31.</i> Reconciliación mensual por Zn%.....	79
<i>Figura 32.</i> Reconciliación mensual por Pb%.....	80
<i>Figura 33.</i> Reconciliación mensual por Agppm.....	80
<i>Figura 34.</i> Reconciliación mensual por Aupppm.....	81
<i>Figura 35.</i> Grafico de correlograma de Cobre %.....	86
<i>Figura 36.</i> Grafico de correlograma de Molibdeno %.....	86
<i>Figura 37.</i> Grafico de correlograma de Oro (ppm).....	87
<i>Figura 38.</i> Grafico de correlograma de Plata (ppm).....	87
<i>Figura 39.</i> Grafico de correlograma de Plomo %.....	88
<i>Figura 40.</i> Grafico de correlograma de Zinc %.....	88

Índice de Tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	41
Tabla 2: Límites de ensayo de SGS.....	46
Tabla 3: Dominios litológicos utilizados en el modelado y su relación con los datos de extracción de los núcleos de perforación.....	49
Tabla 4: Estadística descriptiva de los principales elementos limitado a la litología.....	53
Tabla 5: Estadística descriptiva de los principales elementos limitado a la litología tipo Diorita.....	53
Tabla 6: Estadística descriptiva de los principales elementos limitados a la litología tipo Caliza.....	54
Tabla 7: Estadística descriptiva de los principales elementos limitados a la litología tipo MP2.....	54
Tabla 8: Estadística descriptiva de los principales elementos limitados a la litología tipo PDI.....	55
Tabla 9: Correlación de Pearson para litologías Caliza, Diorita, PDI, MP2.....	59
Tabla 10: Correlación de Pearson para litologías tipo Skarn.....	59
Tabla 11: Dominios geoquímicos según litología y valores químicos.....	59
Tabla 12: Parámetros de interpolación para Kriging ordinario.....	66
Tabla 13 Límites del proyecto del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.....	67
Tabla 14: Codificación por dominios geoquímicos.....	68
Tabla 15: Valores estadísticos para la envolvente tipo 1.....	73
Tabla 16: Evaluación de estadísticos para la envolvente tipo 1.....	74
Tabla 17: Valores estadísticos para la envolvente tipo 2.....	74
Tabla 18: Evaluación de estadísticos para la envolvente tipo 2.....	75
Tabla 19: Resultados de reconciliación para tonelaje, Cu%, Mo%.....	76
Tabla 20: Resultados de reconciliación para Zn%, Auppm.....	77
Tabla 21: Resultados de reconciliación para Pb%, Agppm.....	77

RESUMEN

El yacimiento Pampacancha localizado en provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco explota un Pórfido-Skarn de Cobre, obteniendo un principalmente concentrado de cobre. Actualmente se cuenta con un modelo de recursos y reservas basado en la interpretación del modelo geológico el cual diferencia el yacimiento en Skarn de alto y bajo grado. Sin Embargo no considera el comportamiento de los demás elementos como Oro, Plata, Zinc, Plomo y Molibdeno por lo que existen discrepancias entre los resultados de reconciliación entre lo proyectado y lo obtenido en producción. Mediante la evaluación geoquímica cuyo objetivo fue identificar correlaciones y dominios se identificó poblaciones diferenciadas por rango de leyes dentro de los dominios Cobre-Oro-Plata, Plomo-Zinc y Molibdeno que se traducen finalmente en subdominios divididos a su vez por tipo de litología. Se utilizó dichos subdominios en el proceso de estimación para la construcción del modelo de bloques optimizado, respetando la distribución espacial definida por los variogramas para cada dominio. Finalmente se realizó la reconciliación mensual con el objetivo de comparar el modelo de bloques optimizado, el modelo de bloques existente y el modelo de corto plazo basado en datos de producción. A partir de dicho análisis se identificó la optimización de reconciliación en un 2% para el cobre, 16 % para el zinc, 13% para el oro, 3 % para el plomo y 1% para la plata todos estos datos durante una evaluación de cortes de 8 meses de producción.

Palabras clave: Geoquímica, modelo de bloques, yacimiento, reconciliación, optimización.

SUMMARY

The Pampacancha deposit is located in the province of Chumbivilcas, department of Cusco; the type of deposit is a Porphyry-Skarn Copper and a copper concentrate is mainly obtained from it. Currently there is a model of resources and reserves based on the interpretation of the geological model which divides the deposit in high and low grade Skarn. However, it does not consider the behavior of other elements such as Gold, Silver, Zinc, Lead and Molybdenum, so there are discrepancies between the reconciliation results between what is projected and what is obtained in production. Through the geochemical evaluation whose objective was to identify correlations and domains, there where domains identified such as populations differentiated by grade range within the Copper-Gold-Silver, Lead-Zinc and Molybdenum, which are finally translated into subdomains divided also by type of lithology. These subdomains were used in the estimation process for the construction of the optimized block model, respecting the spatial distribution defined by the variograms for each domain. Finally, the monthly reconciliation was carried out with the objective of comparing the optimized block model, the existing block model and the short-term model based on production data. From this analysis, the reconciliation optimization was identified in 2% for copper, 16% for zinc, 13% for gold, 3% for lead and 1% for silver, all these data during a cut evaluation 8 months of production.

Key words: Geochemistry, block model, reservoir, reconciliation, optimization.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

La mina Constancia localizada en la provincia de Chumbivilcas del departamento del Cusco explota actualmente un yacimiento tipo pórfido y Skarn de Cobre, obteniendo un concentrado de cobre y un concentrado de Molibdeno; en la zona sur este del tajo Constancia se localiza el yacimiento Pampacancha en el cual se inició recientemente operaciones de explotación y procesamiento.

Existen varios estudios previos que contemplan un cálculo de reservas y modelo de bloques así como reconciliaciones un ejemplo es el realizado por Medrano (2011) que consiste básicamente en la descripción de la metodología para estimación de recursos minerales cuya finalidad es realizar el modelo geométrico de vetas y fallas para determinar la distribución de la mineralización de oro, compositos y modelo de bloques; Por otro lado una investigación referente a la segunda variable de este estudio corresponde al realizado por Zeballos en el 2014 que está enfocado en determinar las características geológicas y la aplicación geoquímica de la exploración en un depósito tipo Skarn de Huacravilca. Sin embargo, no existen antecedentes previos de la determinación de dominios geoquímicos para la optimización del modelo de bloques en yacimientos tipo Skarn en el Perú.

Actualmente el yacimiento Pampacancha cuenta con un modelo de recursos y reservas basado en la interpretación del modelo geológico el cual utiliza la

litología predominante que comprende Skarn con leyes de cobre de alto y bajo grado; Como parte del modelo de recursos y reservas se cuenta también con un modelo de bloques que está elaborado en base a distribuciones de Cobre debido a que es el elemento de mayor importancia para la operación, sin embargo también se tienen valores económicos de Oro y Plata para los cuales no se ha realizado un análisis geoquímico ni una distribución variográfica adecuada como el que detallan Ortiz y Emery (2006) para un depósito tipo pórfido de cobre en Chile que trata de una estimación geoestadística de los recursos minerales con límites geológicos suavizados.

Mediante la evaluación geoquímica se prevee encontrar la correlación de Cobre, Oro, Plata, Plomo y Zinc siendo estos dos últimos considerados como elementos contaminantes, los cuales podrían perjudicar el proceso de recuperación de los elementos de importancia económica, por lo cual es necesario realizar una zonificación y modelamiento con el fin de identificar dominios y subdominios geoquímicos de estimación que serán empleados como input en el modelo bloques para mejorar la predictibilidad y la reconciliación de todos los elementos de importancia existentes en el Yacimiento.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general:

¿De qué manera mediante la evaluación geoquímica se puede optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha, Constancia-Perú?

1.2.2 Problemas específicos:

¿De qué manera el análisis del contenido geoquímico de sondajes diamantinos mediante la revisión de distribución y tendencias de los datos puede optimizar el yacimiento de bloques del yacimiento Pampacancha?

¿De qué manera la determinación de los dominios geoquímicos mediante modelamiento de cuerpos con características similares puede optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha?

¿De qué manera se puede optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha mediante la utilización de los dominios geoquímicos en la estimación?

¿De qué manera mediante la reconciliación mensual de minado se puede verificar la optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha?

1.3 Justificación de la investigación

Previo al desarrollo de las operaciones mineras es decir durante las etapas de prefactibilidad y factibilidad se realizan los estudios geológicos correspondientes, con la finalidad de conocer la naturaleza del yacimiento y el futuro comportamiento para estimar los presupuestos que aseguren una correcta explotación y beneficio del mineral. El modelo de recursos y reservas es un componente importante de este análisis dentro del cual se encuentra específicamente el modelo de bloques que es la representación en 3 dimensiones de las características del yacimiento a explotar ; este modelo de bloques consta principalmente de valores de leyes, geología, parámetros metalúrgicos y de operación proyectados entre otros.

Sin embargo con el paso de los años se observa que es común en las operaciones mineras la existencia del sesgo en cuanto a reconciliaciones de mineral, es decir existe un margen de error entre lo proyectado y lo explotado, por lo que es común la actualización y mejoras en el modelo de bloques. El yacimiento Pampacancha explota principalmente cobre además se tiene que considerar la existencia de elementos como el Oro y la Plata los cuales no son modelados correctamente en el modelo de bloques actual. El propósito principal del trabajo de investigación es optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha mediante la evaluación de la información geológica y geoquímica existente a la fecha haciendo énfasis en elementos como el oro, plata y molibdeno considerados como elementos pagables y otros elementos como el zinc y plomo considerados elementos contaminantes en concentrado. Finalmente se realizará reconciliaciones mensuales usando el modelo de bloques generado y el modelo de bloques original para verificar y comprobar la optimización en cuanto a leyes para mejorar el planeamiento de la explotación durante los años de vida de la mina.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la geoquímica para optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha, Constancia-Perú.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar el contenido geoquímico de sondajes diamantinos mediante la revisión de distribución y tendencias de los datos para optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.
- Determinar los dominios geoquímicos mediante modelamiento de cuerpos con características similares para optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.
- Realizar la estimación del modelo de bloques utilizando los dominios geoquímicos identificados para optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.
- Verificar la incidencia del modelo de bloques optimizado a través de la reconciliación mensual de minado.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

Rodríguez (2009) realizó una investigación titulada ***Petrología y geoquímica en el Skarn de Cu-Au de la Mina Tintaya, Cusco*** este trabajo de investigación tuvo como objetivos identificar posibles puntos de interés exploratorio y revisar el comportamiento geoquímico en función de parámetros como alteración y mineralización de skarn.

La metodología consistió en realizar el análisis geoquímico de los taladros históricos para litologías tipo intrusivas y tipo skarn mediante la selección de 334 muestras. También se realizó secciones delgadas y secciones pulidas un total de 5 por cada uno, además se reunió información bibliográfica que hacía referencia a la geología de la zona, las anomalías geoquímicas en las zonas de interés y finalmente se elaboraron cuadros de correlación.

El estudio concluye que Tintaya es un yacimiento tipo Skarn que se forma a partir de la intrusión en la formación Ferrobamba cuya litología se basa principalmente en rocas calcáreas del cretácico superior, también se evidencia la acción de los procesos metasomáticos que da origen a dos fases de alteración principales. La fase Prograda que se da a temperaturas elevadas cuya mineralogía se basa en Granate, Piroxenos y magnetita principalmente y otra fase de temperatura baja denominada retrograda cuya mineralogía principal es Clorita, Piroxeno con skarn y exoskarn como litologías resaltantes. En el análisis Pearson se observó que los elementos

de cobre-oro, oro-plata muestran alta correlación, existe gran variabilidad geoquímica en función de la litología, es decir está fuertemente marcada la diferencia de las muestras de Skarn y las muestras de intrusivo. Las mayores anomalías geoquímicas se observan en zonas profundas en el caso de los intrusivos, en el caso de los skarn las anomalías se presentan generalmente en las zonas superficiales.

Durante el 2014 Zeballos realizó la investigación titulada ***Geología y aplicación Geoquímica en la exploración del depósito Skarn Huacravilca***, el objetivo principal fue estudiar la geología económica que comprende petrografía, mineralogía, litología, geoquímica y la geología estructural para poder elaborar el modelo geológico base. También tuvo como objetivo identificar la evolución geológica del yacimiento con la finalidad de mejorar la exploración de los yacimientos tipo skarn que están estrechamente relacionados a los pórfidos localizados en el cinturón metalogénico de Andahuaylas-Yauri.

Los trabajos realizados consistieron en realizar un mapeo cartográfico a escala regional, levantamiento de perfiles geológicos y varios tipos de muestreos. La investigación determina que el proyecto Huacravilca es un Skarn de Hierro (Magnetita) cuyo interés económico son el cobre y el oro que rodea a las rocas metamórficas que fueron producidas por rocas tipo granodioritas, monzodiorita y microdiorita. El análisis estructural indica que las direcciones favorables para la mineralización económica son Este-Oeste con leyes que varían desde 100 ppm hasta 10000 ppm de oro que finalmente pueden ser catalogadas como vetas auríferas

En el 2006 Markowski et al realizaron otra investigación titulada ***Mineral zoning and gold occurrence in the Fortuna skarn mine, Nambija district, Ecuador*** cuyos objetivos fueron describir el modelo geológico del distrito de Nambija, realizar un mapeo geológico detallado en la mina Fortuna, realizar estudios petrográficos y secciones pulidas bajo el microscopio. La metodología de la investigación consistió en un mapeo geológico, se recolectó trescientas catorce muestras de rocas ígneas, skarn y muestras

de mineralización de Fortuna y otras partes del distrito (Cambana, Campanillas y Guaysimi). Se realizaron estudios petrográficos en muestra de mano, seguidas de un estudio de unas 150 secciones delgadas y secciones pulidas bajo el microscopio. Los análisis se realizaron en granate, piroxeno, epidota, anfíbol, clorita y oro de muestras seleccionadas mediante una Microsonda de electrones Camebax SX 50.

El estudio concluyó que el skarn de Fortuna parece estar relacionado con la intrusión porfídica de cuarzo-diorita en la parte sur del área. Sugirieron que el skarn se desarrolló principalmente en rocas volcánicas y volcanoclásticas de la unidad Triásica Piuntza, y subordinadamente, en rocas carbonatadas, cuya posible presencia es sólo indicado por pequeñas cantidades de rocas que contienen bioclastos en la mina. Una aureola de metasomatismo de K-Na es observado en las rocas volcánicas que rodean los cuerpos de skarn que probablemente debido a la movilización de K y Na durante skarnificación. Los grados de oro más altos coinciden también con abundancia de hematitas, y en general, con la ausencia de pirita sugiriendo una alta fugacidad de oxígeno durante la deposición de oro. Más al norte, la pirita se vuelve más abundante y la hematita desaparece y el contenido de Zn y Cu aumenta en promedio. Estas observaciones sugieren que las rocas huésped en zonas distales redujeron los fluidos retrógrados que contienen mineral oxidado, o alternativamente, esta zonificación podría resultar de la disminución temperatura en la zona distal.

Otro antecedente se titula ***Propuesta metodológica para la validación de los modelos de recursos de Codelco, Chile*** realizada por Cuevas en el 2017. Los objetivos principales del estudio consistieron en elaborar una metodología para la elaboración y verificación de los modelos de recursos de Codelco. Con la finalidad de organizar y verificar la confiabilidad de los datos de entrada así como de los requisitos mínimos necesarios para una buena gestión de base de datos, modelo geológico y modelo de recursos.

La metodología de estudio consistió en una recopilación bibliográfica de la información existente respecto a modelos geológicos, modelos de bloques, para realizar un análisis en función de los criterios de validación de base de datos, usos correctos de software, estimación y verificación de la categorización de recursos, así como los informes respectivos elaborados por cada área técnica encargada y las áreas de auditorías.

La investigación concluye que existe una metodología estandarizada en el proceso de actualización y validación del modelo de recursos, ya que posee un correcto sistema organizativo de cada sección del trabajo cuyos ejemplos son cronogramas de actividades, formatos, procesos de aprobación documentada y seguimiento y evidencia de todo el proceso. Asimismo existe un solo lugar de almacenamiento de todas las versiones de los entregables con fines de auditoría y revisión. Esta verificación incluía los requisitos base para que etapas del proceso. Además, se escogió un solo servidor para almacenar los entregables, que incluye la capacidad para controlar las versiones del modelo y auditarlo. Al mismo tiempo, dentro de este procedimiento, se incorpora la regulación de los contenidos mínimos necesarios para la entrega de las versiones de cada informe.

En el 2017 Chanderman et al realizaron una investigación titulada ***3D geological modelling and resource estimation for a gold deposit in Mali*** cuyos objetivos fueron generar una metodología que puede ser aplicada para construir un modelo geológico y entender la geología del depósito para la estimación de los recursos mineros. La metodología de estudio consistió en la recopilación y preparación de datos para servir como base para el modelado, análisis, y estimación. Estos datos incluyen collar, orientación, alteración, ensayos, litología, dureza, ensayos químicos libre de errores, generación del modelo geológico en tres dimensiones para la creación del modelo de recursos, con el propósito de definir dominios fijos de estimación, cálculo de variogramas experimentales en función de las direcciones predominantes de mineralización y estimación de recursos y finalmente la realización de una reconciliación entre el modelo de recursos antiguo y el nuevo modelo generado.

Finalmente el estudio describió la identificación de mineral de óxido adicional potencial en un depósito de oro en Mali basado en datos geológicos 3D, técnicas de modelado y evaluación geoestadística. Los hallazgos del proceso de ERM de diez pasos adoptado revelaron que el depósito contenía un recurso mineral de óxido adicional (7191 onzas) identificado en el nuevo modelo geológico 3D. Debido a la nueva información de perforación, se mejoró la comprensión del depósito, lo que posible restringir mejor las estimaciones de recursos dentro de un nuevo modelo geológico. Esto incluyó mejoras la interpretación de la envolvente mineralizada en las áreas donde la campaña de perforación proporcionó nueva información. En algunas áreas la continuidad de la mineralización modelada fue extendida, y en otras áreas los sobres estaban restringidos para reducir el desperdicio límite que se incluía anteriormente. Los nuevos datos también permitieron la actualización de variogramas, se aplican parámetros de estimación y tope. El riesgo potencial para el modelo podría originarse en el sesgo identificado en curvas de tonelaje-ley que existen independientemente de la efectividad del proceso de estimación, así como el riesgo inherente asociado con la incertidumbre geológica como un resultado de no poder capturar completamente la verdadera naturaleza de la geología. Desde el contexto de un enfoque convencional del modelado geológico 3D y RME, los resultados fueron aceptables.

2.2 Bases Teóricas

Evaluación geoquímica

Según Goldschmidt (1954) la ciencia geoquímica es la doctrina de la composición y evolución química de la tierra asimismo indica que la geoquímica moderna debe estar basada en los siguientes principios:

- Determinación de la abundancia de los elementos químicos y sus especies atómicas en la corteza de la tierra.
- En la descripción de la distribución de los elementos individuales en las distintas capas de la tierra, minerales y rocas.
- En la determinación de las leyes que dominan la abundancia y la distribución de los elementos químicos en la tierra y en los cuerpos celestes.

La aplicación principal de la geoquímica durante la exploración consiste en hallar anomalías que consisten en valores que estadísticamente son mayores a la media más dos veces la desviación estándar (Oyarzun, 2011).

Análisis Geoquímico mediante Geoestadística

El tratamiento estadístico de los datos geoquímicos estuvo limitado anteriormente a estadísticos básicos como media, promedio y desviación estándar con el fin de identificar los límites de referencia y las poblaciones anómalas. Los gráficos de las distribuciones también se realizaron y demostraron que en general la distribución de las poblaciones se asemeja a una distribución log-normal sin embargo como en todo sistema natural existen excepciones. Los geoquímicos determinaron valores límite, rangos de referencia y valores anómalos para una gran cantidad de datos utilizando gráficos de frecuencias acumuladas (Lepeltier, 1969)

De acuerdo a Chaffee (2015) algunos ejemplos de análisis estadísticos que se aplican a datos geoquímicos se muestran a continuación:

Análisis de correlación: Un simple análisis de correlación mide el grado de asociación entre dos o más variables tomadas dos a la vez. Un análisis de correlación múltiple mide el efecto combinado de varias variables en una variable seleccionada.

Análisis de regresión: El análisis de regresión intenta comparar matemáticamente una variable (la variable dependiente) con un grupo de otras variables (las variables independientes). Cuando solo se utilizan dos variables, el análisis se llama análisis de regresión simple; cuando más de dos variables están involucradas, el análisis se llama análisis de regresión múltiple. La técnica se ha utilizado en investigaciones para explicar la variación de un elemento dado en términos de otros elementos y de otros factores físicos y químicos.

Análisis de factor: El análisis factorial es un método para identificar factores comunes en las variables de un conjunto de datos. El análisis comienza con una matriz de valores similar a una matriz de correlación de datos geoquímicos y agrupa los diversos elementos de la matriz basados en una variabilidad común de estos elementos,

Análisis de discriminantes: El análisis discriminante es un esquema de clasificación para estudiar datos geoquímicos este tipo de análisis discriminante crea y utiliza un ecuación matemática basada en alguna combinación de variables para maximizar las diferencias entre dos poblaciones.

Análisis de grupos (Clúster): Los conjuntos de datos de varios elementos también se pueden clasificar en grupos mediante el uso de análisis de conglomerados. Comúnmente las versiones utilizadas de esta técnica son el modo Q o R, compara pares de variables o muestras, o pares de pares y luego organiza estos pares (grupos) en una jerarquización diagrama dendrítico (dendograma) en el que las variables o las muestras se agrupan según niveles de pares.

Análisis de tendencias en superficie: Este método es especialmente aplicable a grandes conjuntos de datos de muestras recolectadas de grandes regiones, el análisis es similar a la regresión múltiple, pero implica el ajuste matemático a la superficie. La variable dependiente química o geológica se equipara matemáticamente a las coordenadas geográficas y se representa mediante una superficie plana o curva (tendencia).

Análisis de promedio móvil: El análisis de media móvil (también llamado análisis medio) es otra técnica popular para tratar los datos espacialmente. En esta técnica se realiza una búsqueda de un área lo suficientemente grande como para incluir varios puntos de datos en un mapa. Los valores dentro del área de búsqueda en un momento dado se promedian, y el valor promedio se traza en el centro de la zona de búsqueda.

Variogramas

Según Emery (2013) una de las etapas más importantes del análisis geoestadístico consiste en interpretar si la variable en estudio que puede ser grado de mineral tiene un comportamiento continuo en el espacio, ya que es necesario ajustar la información obtenida en el variograma experimental a un modelo teórico de variograma debido a que durante la construcción del variograma experimental solo se usa una cierta cantidad de muestras, distancias y direcciones. Asimismo está sujeto a variaciones debido a al ajuste de las aproximaciones y las tolerancias usadas.

El variograma es una herramienta estadística (Figura 1), definida como de gran importancia ya que a través de esta se puede identificar las características principales de cada fenómeno estudiado así como la correlación espacial en cada dirección usada. El variograma utiliza la variación o desviación cuadrática del fenómeno en función de la distancia entre ellos utilizando un vector que indica la dirección de análisis aunque solamente se calcula para ciertos datos determinados por un rango de estudio (Pérez, 2016).

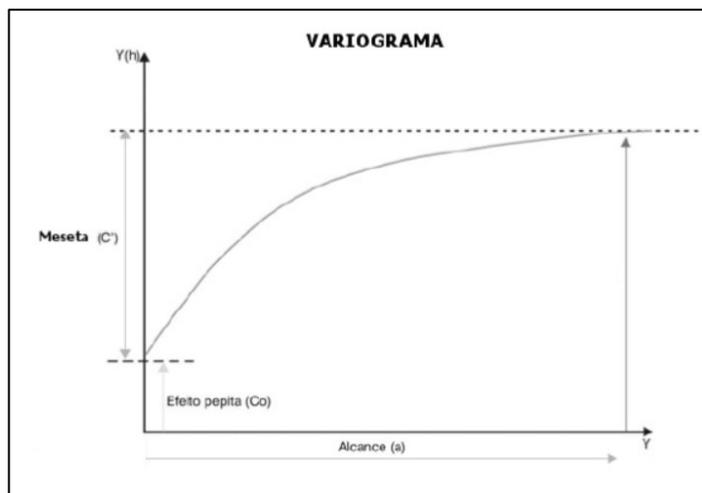


Figura 1. Representación gráfica de un variograma básico.

Fuente. Pérez, S. (2016). Aplicación de geoestadística como metodología para la estimación de recursos de un yacimiento sedimentario. Práctica empresarial como modalidad de grado para la obtención del título de Ingeniera Geóloga. Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia, Colombia

Modelamiento de un variograma experimental

Los variogramas experimentales expresan la variación promedio entre cada dato y el subsiguiente analizado en función de la distancia que los separa, los gráficos construidos durante el modelamiento de un variograma experimental suelen presentar variaciones en las pendientes que se expresan como estructuras distintas, se puede identificar cual es la escala mediante cada variación de pendiente. Finalmente el modelo de un variograma experimental se expresa en estructuras unidades secuencialmente (Emery, 2013).

Efecto Pepita

Como parte de la definición del efecto pepita, se hace referencia a la variabilidad inherente del depósito de mineral. Existe un tipo de contribución del tipo geológico al efecto pepita. Una de las medidas importantes de esta contribución es la evaluación de la continuidad, el término "continuidad" se puede aplicar tanto a la geología como a la ley del depósito en cuestión, pero debe ser específico de la escala. Dominy et al. (2003) definen la continuidad geológica en términos de "continuidad geométrica de las estructuras geológicas que albergan la mineralización", mientras que la

continuidad de ley se define como la que existe dentro de una zona particular de características geológicas y/o corte de ley. Dominy et al. (2003) sugieren que la continuidad se informe en términos de una escala global, que se refiere a la continuidad a gran escala (cientos a miles de metros), y a escalas locales (decenas de metros). Una de las características comunes de los yacimientos de alto efecto pepita es la inconsistencia de la continuidad de la ley en todas las escalas en comparación con la continuidad geológica. Al realizar estimaciones de recursos, la fase de modelado geológico es muy importante. La primera fase del modelado geológico es intentar representar el yacimiento en un espacio tridimensional. Esto se hace mediante la creación de tramas basadas en datos de muestreo, y generalmente se hace usando un paquete de software y necesariamente implica un grado de extrapolación. Una vez que el cuerpo ha sido definido geoméricamente, se intenta definir lo que se denomina 'dominios'. Los dominios se crean en base a una serie de criterios que incluyen (Dominy et al., 2002).

- Continuidad y variabilidad de rangos de mineral
- Continuidad y variabilidad geológicas
- Efectos de fallamiento y plegamiento
- Zonas internas estériles o de bajo grado
- Características metalúrgicas
- Mineralogía, química y petrografía

Anisotropía

La anisotropía generalmente se modela a través de modelos geoméricos, zonales o separables de anisotropía. Estos modelos elementales de anisotropía se pueden componer para proporcionar más anisotropías complejas (Journel y Froidevaux, 1982).

Se puede identificar la existencia de anisotropía realizando una comparación de los variogramas experimentales construidos en varias direcciones, se realiza un gráfico en un mapa variográfico. Las anisotropías se manifiestan cuando el variograma, en el caso de que exista isotropía los mapas se

superponen y se presentan gráficos de círculos en el caso de dos dimensiones y esferas en el caso de tres dimensiones si es que no existe tales gráficos se puede decir que se está en presencia de una anisotropía que se puede clasificar como geométrica o zonal (Emery, 2013)

Modelos teóricos de variogramas

El resultado del análisis variográfico se traduce en un variograma del tipo experimental, se le puede considerar imperfecto ya que para su construcción se usó un número determinado de distancias y direcciones. Estos variogramas experimentales pueden ajustarse a modelos teóricos entre los cuales destacan el que tiene el comportamiento con meseta, aquel variograma cuyo origen tiene una estructura lineal, el modelo teórico denominado esférico es el que se ajusta a la mayoría de los casos experimentales (Matheron, 1969).

A partir del análisis que hizo Matheron en 1969 existen otros tipos de modelos teóricos, entre los que destacan el modelo teórico exponencial, que tiene una diferencia específica en función del esférico ya que la curva de este modelo no se equipara a la meseta por ser asintótica. Otro modelo es del tipo lineal que es más sencillo que el esférico o exponencial, se puede representar mediante una recta que pasa por el origen, carece de meseta. En contraste se encuentra el modelo de efecto pepita puro que se puede definir como un modelo totalmente errático.

Principales aplicaciones del análisis variográfico

El análisis variográfico se realizó siguiendo los principios de la teoría de muestreo, que se originan en las geo ciencias y dentro de ciertos sectores de la industria de procesos, principalmente en la industria minera (Esbensen et al., 2018). Establece que la heterogeneidad material es la fuente dominante de errores de muestreo, ya que si los materiales fueran

homogéneos, entonces sólo una muestra sería suficiente para proporcionar una estimación fiable de las propiedades químicas o físicas del material de lote completo independientemente del tamaño (masa). La teoría del muestreo define un material homogéneo como uno donde cada unidad de lote constituyente, partículas, es estrictamente idéntica (Gy, 2004).

Matheron en (1971) presenta un esquema con la finalidad de identificar la varianza o los errores de casos sencillos a través del uso de los variogramas esféricos, las curvas que se representan en los diagramas representas tres situaciones específicas que tienen mayor ocurrencia , la primera representa un muestreo en una línea donde la muestra es extraída en la parte central del perfil , el segundo caso expresa una muestra en la parte central de un área cuadrada, el tercer caso una muestra tomada en un área circular .

Ajuste de un variograma a un modelo teórico

Según Alfaro (2007) el resultado del ajuste de un variograma experimental a un modelo teórico es una ecuación que se puede usar a través de un software con la finalidad de realizar los procesos de estimación , existen básicamente dos tipos de variogramas; el primero es el variograma experimental con parámetros calculado a partir de datos reales del fenómeno estudiado , y el variograma teórico que es simplemente una ecuación cuyos parámetros están ajustados con la finalidad de aplicarlo en análisis siguientes del yacimiento.

El proceso de ajuste de variograma experimental a variograma teórico debe respetar lo más posible los datos reales , por lo menos los primeros datos del variograma que son los que son los que tienen mayor confiabilidad, se debe garantizar la reproductibilidad del variograma teórico en las distintas direcciones aplicada principalmente se debe repetir el efecto pepita, la cantidad de estructuras y los tipos de ellas , por ejemplo un variograma a usar en el modelado debe tener dos estructuras esféricas en todas las direcciones si es que esta adecuadamente ajustado a un modelo teórico (Alfaro, 2007)

Geoquímica de un yacimiento tipo Skarn

Los depósitos de skarn se forman en una amplia variedad de rocas huésped de cualquier edad geológica. La mayoría de los skarns ocurren en rocas carbonatadas adyacentes a las intrusiones, pero los skarns también pueden formarse en ajustes más distales. Los skarns son ensamblajes de silicato de calcio que se forman por metasomática. Procesos que involucran fluidos magmáticos, metamórficos y meteóricos. Los minerales omnipresentes son cuarzo y feldespato con cantidades variables de granate, piroxeno, piroxenoides (como la wollastonita), olivino, anfíbol y epidota. Existen skarns de Fe, W, Sn, Cu, Pb, Zn, Mo, Ag, Au, U, REE, F y B, se clasifican descriptivamente con base en el metal del mineral predominante. También se contemplan los ensamblajes de silicato de calcio, los entornos tectónicos y las asociaciones ígneas en detalle (Meinert et al, 2005). La mayoría de los skarns se forman adyacentes a plutones donde la geometría de las zonas metasomáticas está controlado por el flujo de fluidos y controles estructurales sobre el movimiento de fluidos.

Los exoskarns se concentran en frentes de reacción en mármol, pero el endoskarn puede formarse dentro del plutón. Los procesos de formación de skarn son extremadamente variados debido a la amplia variedad de rocas huésped y fluidos que pueden estar involucrados. Los estudios de inclusión de fluidos (Kwak, 1986) han demostrado que la mayoría skarns mineralizados formados cerca de un contacto ígneo a temperaturas de 500 a >700 C; Skarns de Pb-Zn y skarns más distales se forman a temperaturas más bajas (150–400 C). Las inclusiones fluidas es decir la química muestra evidencia de separación de fases con la presencia de salmueras de muy alta salinidad (>40 % en peso de NaCl) y conjugados vapores de baja salinidad (Pat, 2014)

Yacimiento tipo skarn

Los skarns son rocas metamórficas de cristal grueso compuestas de minerales de silicato de calcio-hierro-magnesio-manganeso-aluminio (comúnmente denominados minerales de "calcosilicato") que se forman por reemplazo principalmente de rocas carbonatadas durante contacto o metamorfismo y metasomatismo regional.

Se cree que los principales depósitos de skarn del mundo están relacionados con sistemas hidrotermales (Einaudi y otros, 1981). Los skarns pueden ser estériles o pueden contener metales u otros minerales con valor económico. Los depósitos de skarn son importantes fuentes de metales básicos y preciosos, así como de estaño, tungsteno y hierro. Los skarns son de temperatura relativamente alta. Se consideran depósitos minerales resultantes de la actividad magmático-hidrotermal asociada con plutones granitoides en escenarios tectónicos orogénicos. Los skarns generalmente se forman donde un plutón granitoide ha intruido estratos sedimentarios que incluyen caliza u otras rocas ricas en carbonato. Los procesos que conducen a la formación de todo tipo de depósitos de skarn incluyen las siguientes etapas:

1. Metamorfismo de contacto isoquímico durante el emplazamiento de plutones,
2. Progrado formación de skarn metasomático a medida que el plutón se enfría y se desarrolla un fluido mineral
3. Alteración retrógrada de ensamblajes minerales formados anteriormente la deposición de minerales acompaña a las etapas 2 y 3.

La mineralogía del depósito Skarn es espacialmente dividido en zonas con respecto a los contactos de plutones, la litología de la roca huésped y/o las vías de fluidos. Los procesos de petrogenética posterior pueden eliminar parcial o completamente las etapas anteriores del desarrollo del skarn. Los skarns se clasifican como cálcicos si el protolito era piedra caliza, y como magnesio si el protolito es dolomía. En algunos casos, las subdivisiones

también se hacen sobre la base del estado de oxidación (oxidado versus reducido) como reflejada por la mineralogía.

Los skarn se presentan comúnmente en forma de anillos alrededor de intrusiones denominadas plutones, en el proceso intrusivo existen soluciones hidrotermales que alteran la roca huésped, suele presentar mineralogía del tipo calcosilicatada. (Maksaev, 2001).

La distribución a lo largo del mundo de los yacimientos tipo skarn están relacionados a algunas condiciones tectónicas como el ángulo de subducción ya que de esto depende la migración de los fluidos del magma estas características combinadas con las características litológicas pueden incidir en las dimensiones geométricas de los yacimientos (Townley, 2001).

Existen cinco etapas principales en el ciclo evolutivo de un skarn (Tornos, 2015):

- En las zonas superficiales de la corteza terrestre se produce la intrusión de rocas intermedias a ácidas.
- Metamorfismo isoquímico de la roca encajante por una intrusión ígnea
- Metasomatismo de alta temperatura gracias a los fluidos ígneos
- Metasomatismo de baja temperatura así como mayor influencia de aguas meteóricas
- Alteración hidrotermal tardía debido a la fracturación

Skarn de Cu

Según Cox y Singer (1969) los skarn de cobre, varían según su tipo de intrusivo que puede ser desde Tonalita hasta Monzogranito que intruyen a las rocas calcáreas. Las texturas varían desde granítica porfiritica, granoblástica hasta textura tipo hornfels en rocas sedimentarias. Los ambientes más comunes de depositación son las secuencias miogeosinclinales intruidas por plutones félsicos. Con respecto a la mineralogía, el skarn de cobre tiene como principales minerales a la calcopirita, pirita, hematita, magnetita, bornita, pirrotina entre otros. La textura es granoblástica con sulfuros intersticiales

Skarn de Pampacancha

El depósito de Pampacancha es un pórfido de Cu-Mo-Au relacionado a un sistema Skarn. La diorita del Oligoceno que está en el basamento es intruida por la diorita porfiritica que es señalada como la fuente de la mineralización de Skarn. Esto, a su vez, es cortado por intrusiones de monzonita intra-mineral que proporcionan aumentos locales menores en Cu-Au y también definen la mineralización skarn de Cu-Au que está más desarrollada en los márgenes superior e inferior del cuerpo de caliza. El skarn de magnetita-calcopirita-pirita grada a skarn de granate y piroxeno menos con mineralización de tipo marginal que están sobreimpresos localmente por skarn retrógrado de epidota (Hudbay, 2017)

La mineralización epitermal del estilo Au + Cu de sulfuro de cuarzo de baja sulfuración junto con otras características como la alteración hidrotermal y las vetas típicas cerca de las ubicaciones de pórfido explica las anomalías comunes de Au en las zonas de enriquecimiento supergeno (Hudbay, 2017).

Optimización de un modelo de Bloques

Según Cuevas (2017) un modelo de bloques se puede construir a partir de la división de un yacimiento en tantos cubos o bloques se pueda, donde cada uno de estos bloques tiene contenido estimado por procesos de interpolación como leyes, tonelaje entre otros. Asimismo las dimensiones de cada bloque depende de algunos parámetros del yacimiento como la variación entre leyes, la geología, si existe un cierto grado de continuidad espacial, también se toma en cuenta la escala de explotación del yacimiento es decir qué tipo de maquinaria minera va a minar dicho yacimiento, este dimensionamiento de los bloques generalmente se construye a partir de un estudio geoestadístico. Cada modelo de bloques debe tener en cuenta la localización espacial de los límites geológicos y las densidades correspondientes.

Composición de sondajes diamantinos

Los datos de ensayos en la base de datos generalmente se promedian a longitudes pre especificadas mediante un procedimiento denominado composición. Esto no es estrictamente un requisito para la estimación de recursos; sin embargo, la homogeneización de la escala de datos o el soporte y la corrección de intervalos muestreados de forma incompleta motiva la composición en casi todos los casos. La mayoría de softwares de estimación de recursos asume que los datos están en una longitud constante. La composición también incorpora una cierta cantidad de dilución en los datos sin procesar antes de la estimación o simulación. Se espera que la operación minera funcione a un cierto nivel de selectividad que es mayor que la escala de los ensayos sin procesar.

En el caso de los tajos abiertos, la selectividad en la dimensión vertical generalmente está determinada por la altura del banco. En el caso de las minas subterráneas, la selectividad es una función del método de extracción. La altura del levantamiento o corte en un método de corte y relleno o similar determina la selectividad en la dirección vertical. La longitud compuesta se puede hacer igual a la altura del banco o de elevación para colocar los datos

en el mismo soporte vertical que la selectividad de la mina (Mining Geologist, 2020)

Según Cansino (2014) el proceso de compositación permite homogenizar el soporte de los datos para que cada dato represente el volumen del sólido proporcional al total. La figura 2 muestra un ejemplo para comprender este proceso de compositación.

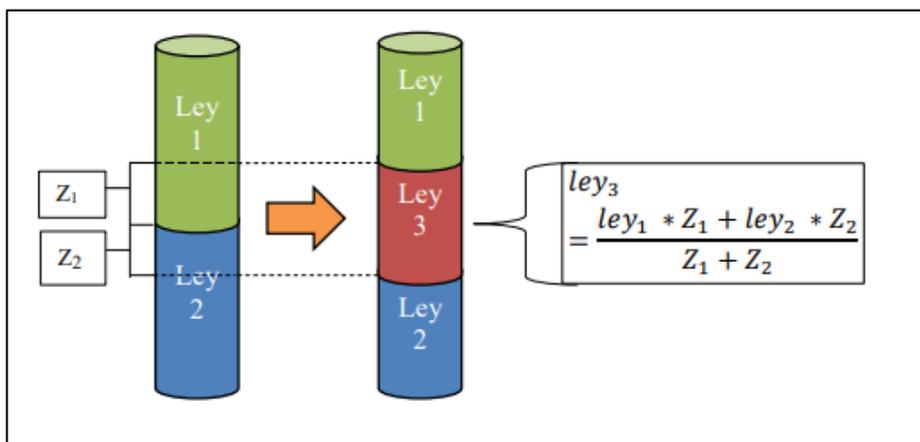


Figura 2. Compositación tradicional de sondajes diamantinos

Fuente: Cansino, A. (2014). *Comparación de estrategias de compositación*, Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas

Métodos de estimación de recursos

Kriging de media desconocida (kriging ordinario)

Los modelos kriging se originan en las áreas de minería y geoestadística que involucran datos correlacionados espacial y temporalmente. Su característica única se deriva de su capacidad de combinar modelos globales y locales. Tener un conjunto de datos de entrenamiento de entrada-salida el kriging asume un predictor general que está compuesto por una función polinomial de interés, que proporciona el comportamiento global o la tendencia principal del sistema a aproximar, y en muchos casos se toma como valor constante. El segundo término es una realización de un proceso estocástico, con una media de valor cero, varianza y una función de correlación (Ardakani, 2016)

Según Alfaro (2007), el kriging (Figura 3) consiste en encontrar la mejor estimación lineal no sesgada de un bloque o zona considerando la información disponible; es decir, las muestras interiores y exteriores al área delimitada durante el proceso de kriging se le asigna un peso a cada muestra mediante los cuales se logra reducir la varianza del error, con lo que se puede obtener una estimación más cercana a la realidad, también aprovechar toda la información existente en los procesos de interpolación.

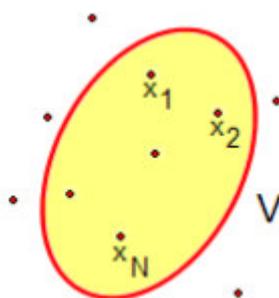


Figura 3. Representación esquemática del Kriging ordinario

Fuente. Alfaro, M. (2007). *Estimación de Recursos Mineros*. Escuela de Minas de París

Inverso de la distancia

Una interpolación de distancia inversa es una de las técnicas de interpolación más simples y populares. Eso combina el concepto de proximidad con el cambio paulatino de la superficie de tendencia. Una distancia inversa (ID) la interpolación ponderada se define como un promedio ponderado espacialmente de los valores de muestra dentro de una búsqueda barrio como lo indican Shepard (1968), Franke (1982) y Diodato y Ceccarelli (2005).

El valor más común aplicado para la potencia es 2; entonces el estimador en (1)-(2) se llama cuadrado inverso interpolador de distancia (ISD). Sin embargo, se puede elegir cualquier valor para p . A medida que aumenta p , el valor interpolado por distancia inversa se le asigna el valor del punto de muestra más cercano, es decir, estimación de distancia inversa se vuelve

igual a la estimación producida por el método poligonal. (Diadato y Ceccarelli, 2005).

La ventaja de la técnica de la distancia inversa es que se puede aplicar fácilmente en cualquier número de dimensiones y proporcionar estimaciones razonables. Hoy en día varias modificaciones de la distancia inversa se desarrollan métodos que incluyen interpolación de distancia inversa de gradiente (GIDW) (Nalder y Wein, 2000).

Según Alfaro (2007) para aplicar el inverso a la distancia es necesario asignar mayor peso ponderado a las muestras que tienen menor distancia caso contrario al de las muestras que tienen mayor distancia con el bloque a estimar.

Reconciliación en Minería

Reservas minerales y reconciliación

Según Medrano (2011) es necesario conocer el grado de confiabilidad con el que fueron estimados los recursos y las reservas minerales de un yacimiento debido a que son considerados como su riqueza económicos, a través de este grado de certeza se puede realizar un correcto planeamiento de la explotación de recursos. La reconciliación de recursos y reservas tiene la finalidad de verificación y comparación entre lo planeado y lo real obtenido en campo en lo concerniente a leyes de mineral, tonelaje, tonelaje de finos extraídos, para este proceso existen una serie de pasos que se muestran a continuación:

- Se realiza un levantamiento topografico detallado cada mes, mediante el cual se conocen los volúmenes y tonelajes de las áreas minadas mensualmente.
- Mediante el uso de software el geólogo encargado utiliza el corte mensual de minado para hacer la consulta con el modelo

de bloques de largo plazo vigente obteniendo datos de leyes, densidad, litología, dureza entre otros que figuren como parámetros del modelo.

- Finalmente se realiza un comparación con la información obtenido de modelo de corto plazo construida por los geólogos de operación mina.
- Se realiza un análisis del sesgo entre ambos modelos para los para los datos de leyes, (gr/TM, %, ppm), toneladas (TMS) y otros parámetros de importancia.

2.3 Marco geológico

2.3.1 Ubicación

Norsemont descubrió el depósito de Pampacancha en 2008 como una anomalía geoquímica superficial. Desde su descubrimiento, la propiedad ha sido objeto de muestreo geoquímico, geofísica, mapeo y perforación. La propiedad fue perforada por Norsemont en 2008 hasta 2011. El depósito de Pampacancha se ha interpretado como un depósito de skarn. El depósito está ubicado en el cinturón metalogénico Yauri-Andalhuaylas, conocido por depósitos de skarn de cobre, como Tintaya y Las Bambas. Esta región del Perú también es conocida por depósitos de pórfidos como Constancia, Antapaccay, Quechua y Los Chancas. Muchos de estos depósitos, incluido Constancia, tienen mineralización skarn asociada.



Figura 4. Mapa de ubicación del yacimiento Pampacancha

2.3.2 Geología Regional

Los yacimientos Constancia y Pampacancha se ubican en los andes surorientales del Perú, en los distritos de Velille y Chamaca, provincia de Chumbivilcas, departamento de Cusco.

El área de estudio está emplazada en el lado Este del Batolito Andahuaylas-Yauri, a una distancia de 3 km al sur-este de la antigua mina Katanga (Figura 5).

La litología de mayor edad está representada por areniscas pertenecientes a la Formación Chilloroya del Cretácico Inferior, de grano medio de color blanco, rojo, violeta o gris con intercalaciones de esquistos de color rojizo. También aflora en la zona de estudio la formación Arcurquina que sobreyace a la formación Chilloroya y tiene gran relación con la Formación Ferrobamba del Cretácico Superior. El área en la que afloran es de aproximadamente 15km por 5 km, y está conformado por calizas, calcarenitas y lentes de conglomerados.

El Batolito Andahuaylas-Yauri, presenta una composición diorítica-granodiorítica y con presencia de mantos pequeños, vetas y lentes de skarn de magnetita. Existen en la zona una serie de intrusiones de tipo monzonitas, diques o lacolitos que cortan de manera transversal a las litologías sedimentarias, estas intrusiones tiene características típicas de yacimientos de cobre tipo porfirítica.

Finalmente se observa la cobertura de depósitos cuaternarios diferenciándose de los depósitos glaciales y hacia la parte superior los depósitos aluviales.

El yacimiento Contancia es del tipo Pórfido de Cu-Mo-Au y los tipos de mineralización son los siguientes: Óxidos (Malaquita-Cuprita), Supergeno (Calcocita-Pirita), Mixta (Calcosina-Pirita-Calcopirita) e Hipogena (Calcopirita-Pirita-Molibdenita).

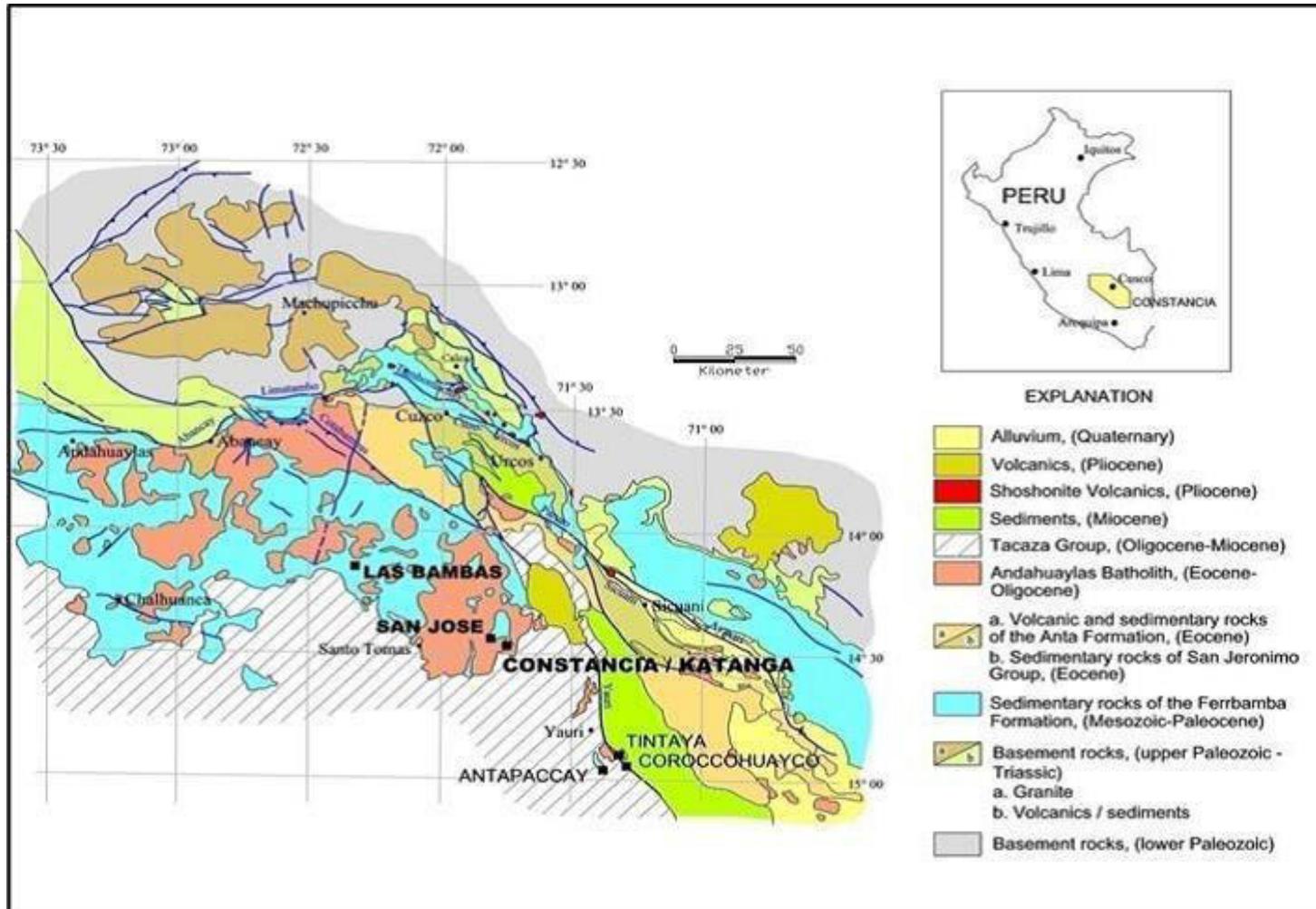


Figura 5. Geología Regional del área de Andahuaylas-Yauri
Fuente: Grupo Geología HUBBAY PERU

2.3.4 Estratigrafía.

La principal unidad estratigráfica en el área de Pampacancha es una caliza masiva gris micrítica que forma parte de la formación Ferrobamba del Cretáceo superior.

2.3.4.1 Intrusiones

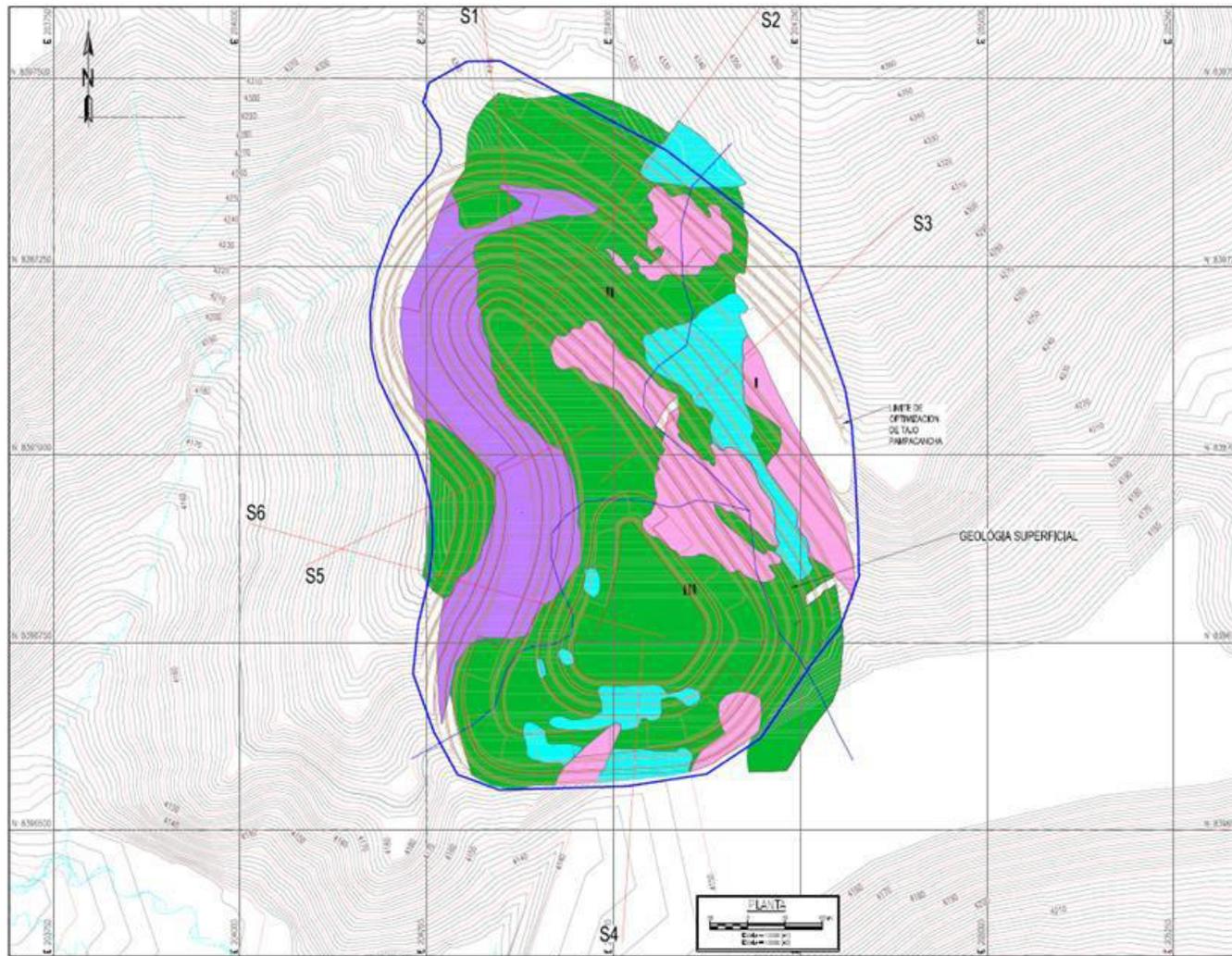
La secuencia sedimentaria descrita es intruida por una diorita porfírica que es la fase que generó el skarn de magnetita que hospeda la mineralización económica de Cu, Au, Mo.

Otras secuencias intrusivas pueden ser asignadas a los batolitos dioríticos no mineralizados del basamento del oligoceno. La diorita también es intruida por la diorita porfírica mineralizada descrita previamente. Las fases intrusivas jóvenes incluyen monzonitas intraminerales que proveen incrementos locales de Cu y Au, cortan también el Skarn mineralizado de Cu y Au (Figura 6).

Diorita (DIO): Esta unidad aflora en el yacimiento Pampacancha. Se caracteriza por una textura fanerítica; en composición muestra abundantes fenocristales de plagioclasa (40-60%) hasta 3 mm de largo. Hornblenda / Biotita constituyen 20-30%, con cristales alargados de hasta 4 mm de largo. Otros accesorios como el piroxeno y la magnetita pueden representar menos del 8%. La diorita y caliza constituyen la roca anfitriona del depósito.

Diorita Porfírica (PDI): esta roca se caracteriza por una textura porfírica con fenocristales de hornblenda (menos del 10%) y sulfuros (pirita-calcopirita-molibdenita) disseminados y vetillas con cuarzo en el interior de una matriz afanítica verde claro; estos afloramientos rocosos en la superficie cubren un área de 730 x 370 m.

Monzonita Porfiritica 2 (MP2): Esta roca en Pampacancha se presenta como stock de lopolitos en la zona oeste del depósito que cortan toda la roca; se caracteriza por feldespato-K, fenocristales de plagioclasa (25-30)%, hornblenda, fenocristales de biotita (5-7%) y magnetita (1%) dentro de una matriz afanítica gris media; estos afloramientos rocosos en la superficie cubre un área de 600 x 450 m.



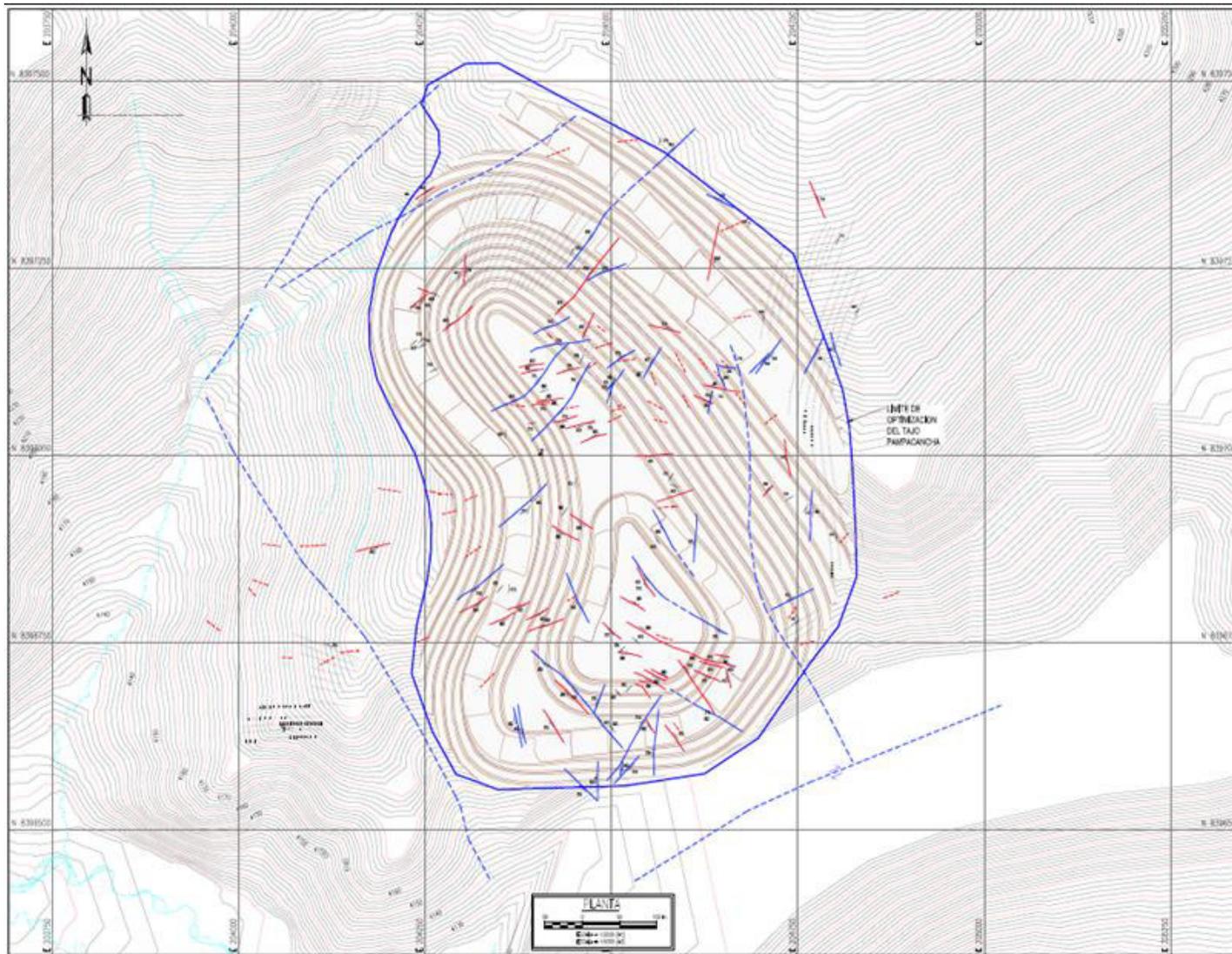
LEYENDA	
SIMBOLOGIA	DESCRIPCION
	Curva de Nivel
	CN límite del tajo
	Quebradas
	Caliza
	Diorita
	Monzonita
	Skarn

Figura 6. Geología Local del Yacimiento Pampacancha
 Fuente: Grupo Geología HUBBAY PERU

2.3.5 Geología estructural

La actividad estructural en Pampacancha ha jugado el papel más importante en la preparación y localización del pórfido-skarn de Cu-Mo y venas de Au en Pampacancha.

Pampacancha se ubica en la falla tensional NE-SO determinó el emplazamiento de pórfido; en el área los geólogos han identificado tres patrones de fallas y zona de cizallamiento de direcciones NE-SO, NO-SE y NNE-SSO, los depósitos se dividen en tres dominios estructurales con estructuras (fallas y vetas) de las mismas direcciones como se puede observar en la Figura 7.



LEYENDA	
SIMBOLOGIA	DESCRIPCIÓN
	Curva de Nivel
	CN límite del tajo
	Quebradas
	Rumbo y Buzamiento
	Límite de tajo
	Falla reconocida
	Falla inferida
	Falla de rumbo inferida
	Veta o estructura mineral
	Veta o estructura inferida
	Traza de estratificación

Figura 7. Mapa estructural del yacimiento Pampacancha

Fuente: Grupo Geotecnia e Hidrogeología HUBBAY PERU

2.3.6 Hidrogeología

Las unidades hidrogeológicas que afloran en el entorno de la U.M. Constancia se agrupan en las unidades denominados depósitos no consolidados y sustrato rocoso. Los depósitos no consolidados comprenden till glacial (depósitos morrénicos), los cuales presentan una baja capacidad portadora de agua debido a la baja permeabilidad; y sedimentos aluviales y fluvio-glaciares, los cuales representan zonas de almacenamiento de aguas subterráneas, de escasa capacidad por su espesor muy limitado (0 m a 10 m). Por su parte, el sustrato rocoso consiste en estratos de caliza cristalina en bancos de color gris claro, y caliza gris oscura a blanquecina. Por su grado de carstificación, el sustrato rocoso se ha clasificado en epicarst, calizas cársticas, bloques de calizas (no cársticas), capas de margas y diques, y zonas de fallas. Además, se han identificado las unidades hidrogeológicas areniscas, intrusivos (meteorizados), intrusivos (tajo Constancia) e intrusivos (competentes), relacionadas con las areniscas de la Formación Chilloroya y las rocas intrusivas del Batolito de Andahuaylas-Yauri.

En el área del Tajo Constancia predominan rocas intrusivas de naturaleza monzonítica-diorítica, con una conductividad hidráulica estimada de baja a moderada, que funciona mayormente como un área de recarga con coeficiente de almacenamiento considerable. Respecto a la dirección del flujo en esta área, en la parte central y suroeste, se tiene una dirección sur-suroeste (SSO); para la parte norte y noroeste, una dirección oeste-suroeste (OSO) y en la zona sur, sureste y este, se tiene una dirección sur-suroeste (SSO). En términos generales, se puede decir que el agua subterránea fluye al oeste en dirección al río Chilloroya, con potencial descarga local en las Quebradas Sacrane, Soropata y Huayllachane. Por su parte, en el área considerada para el Tajo Pampacancha, las calizas funcionan como vías preferentes de flujo, y son, además de las fracturas y de la zona de skarn, la evidencia de un acuífero profundo, que ha generado gradientes hidráulicas descendentes. Los niveles de agua alcanzan profundidades que oscilan entre los 80 m a 90 m hacia el nor-noreste del futuro tajo Pampacancha;

mientras que, los flujos llevan dirección preferente sur-suroeste (SSO), hacia la Quebrada Telaracaca.

2.3.7 Geomorfología, Peligros Naturales y Sismicidad

La unidad minera Constancia se ubica en la franja mineralizada del Batolito Andahuaylas – Yauri, que comprende también yacimientos como Tintaya, Antapaccay, Las Bambas, Katanga, entre otros. En el AET se encuentran principalmente rocas ígneas intrusivas del batolito de Andahuaylas-Yauri, rocas sedimentarias consistentes de limonitas, areniscas y calizas de las formaciones Chilloroya y Arcurquina; así como rocas volcánicas de las formaciones Alfabamba, Orcopampa, Casanuma y Haycha.

La geología local está conformada por unidades de suelos y unidades de rocas. Las unidades de suelo identificadas corresponden a depósitos aluviales, depósitos fluvioglaciares, depósitos morrénicos, depósitos coluviales, suelos hidromórficos y suelos residuales⁸; mientras que, las unidades de roca corresponden a la formación Chilloroya, Arcurquina, Orcopampa, Alfabamba, Huaycha/Huaylla y al batolito Andahuaylas -Yauri. La unidad minera Constancia se sitúa entre las unidades geomorfológicas regionales estables: colinas y peniplanicies andinas. Estas unidades se caracterizan por presentar relieves suaves a ondulados, con algunas superficies escarpadas en el caso de las colinas, cerros de baja a moderada altitud, extensas superficies de erosión, llanuras de origen fluvial o lacustre, y valles glaciares que hacia el norte van cambiando a un componente aluvial. A nivel local, las unidades geomorfológicas identificadas son Colinas y Lomadas, Valles o Quebradas y Montañas las cuales se describen a continuación:

- Valles o Quebradas: conformadas por planicies aluviales y fluvioglaciares, cauces aluviales, valle encañonado, planicies con suelos hidromórficos y lagunas. Comprende aquellas áreas donde discurren las aguas superficiales temporales y permanentes hacia el Río Chilloroya.
- Colinas y Lomadas: conformadas por colinas y lomadas estructurales, así como por lomadas morrénicas. Comprende cadenas de cerros de

aspecto alargado, subredondeados a redondeados, constituidas por afloramientos rocosos de naturaleza sedimentaria, volcánica, intrusiva y depósitos morrénicos.

- Montañas: conformado por montañas de moderada pendiente y relieves montañosos. Comprende las cadenas de cerros de aspecto agreste, constituidas por afloramientos rocosos expuestos o ligeramente cubiertos por suelos residuales. Su configuración geomorfológica presenta pendiente moderada a baja en las laderas inferiores y cauces aluviales, con presencia de cobertura vegetal. .

De otro lado, de acuerdo al estudio de peligro sísmico, los principales rasgos tectónicos superficiales están relacionados con la presencia de La Dorsal de Nazca, La Cordillera de los Andes, y los sistemas regionales de fallas normales e inversas, localizados a lo largo del flanco oriental de los Andes.

CAPITULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis General

Mediante la evaluación geoquímica se puede optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha Constancia-Perú.

3.2. Hipótesis Específicas

- Mediante el análisis de la distribución y tendencia del contenido geoquímico en sondajes diamantinos se puede optimizar el modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.
- A través de la determinación de dominios geoquímicos mediante modelamiento de cuerpos con características similares se puede optimizar el modelo de bloques
- Mediante el uso de dominios geoquímicos en la estimación se puede optimizar el modelo de bloques.
- La reconciliación mensual de minado puede verificar la optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha.

3.3. Identificación de Variables

3.3.1 Variable Independiente:

X1= Evaluación geoquímica

3.3.2 Variable dependiente:

Y1= Modelo de bloques

3.4. Operacionalizacion de variables

Tabla 1:

Operacionalizacion de variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE: EVALUACION GEOQUÍMICA	Según Goldschmidt (1954) la ciencia geoquímica es la doctrina de la composición y evolución química de la tierra asimismo indica que la geoquímica moderna debe estar basada en la determinación de las leyes que dominan la abundancia y la distribución de los elementos químicos en la tierra y en los cuerpos celestes.	La evaluación geoquímica se realizara mediante el análisis de la distribución y tendencia de los datos geoquímicos en sondajes diamantinos. Se realizara un análisis variográfico y creación de dominios geoquímicos.	Contenido geoquímico sondajes en	-Leyes de Cu, Au, Ag, Zn, Pb en ppm o % -Parámetros geoestadístico de leyes
			Dominios Geoquímicos	-Porcentaje de litología y alteración -Parámetros de Variogramas -Volumen de Cuerpos mineralizados -construidos en base a dominios geoquímicos (Ton)
DEPENDIENTE: MODELO DE BLOQUES	El modelo de bloques se construye mediante la división del volumen del yacimiento en cubos, cuyas dimensiones se determinan mediante análisis geoestadístico, cada bloque presenta características geológicas y económicas como leyes, tonelaje, densidad entre otros (Cuevas, 2017). Un modelo de bloques óptimo tiene que representar con la mayor exactitud posible la realidad geológica, respetando los contactos y la gradación y variabilidad de leyes.	Se utilizara los dominios geoquímicos definidos mediante evaluación geoquímica para realizar la estimación y optimización del modelo de bloques. Finalmente se realizara reconciliaciones mensuales de los volúmenes minados para verificar la efectividad del nuevo modelo de bloques generado.	Contenido geoquímico bloques en	Leyes de Cu, Au, Ag, Zn, Pb en ppm o %
			Reconciliación mensual de minado	-Valores de reconciliación mensual de leyes (PPM, %) -Valores de reconciliación mensual de tonelaje (Ton)

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1 Tipo y diseño de investigación

La presente tesis, es un estudio de investigación del tipo **no experimental**, en el sentido que se realizara una evaluación geoquímica de fenómenos tal como se dan en su contexto natural.

El **diseño** de la investigación corresponde al **transeccional correlacional – causal**, ya que se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único (Liu, 2008 y Tucker, 2004).

Para el estudio se tiene dos variables X1: Evaluación geoquímica (variable independiente) que será analizada en su contexto natural y mediante este análisis se verá la incidencia sobre la Y1: Optimización del modelo de bloques (variable dependiente)

4.2 Unidad de análisis

Para la variable correspondiente a optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha la unidad de análisis comprende cada bloque con dimensiones de 20mx20mx15m.

4.3 Población de estudio

Para la variable correspondiente a optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha la población comprende 275400 bloques que son los que intersectan el yacimiento Pampacancha; cada bloque con dimensiones de 20mx20mx15m.

4.4 Tamaño de muestra

Para la variable correspondiente a optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha la muestra comprende 4800 bloques. Dichos bloques son los que intersectan los sólidos minados correspondientes a los 8 meses analizados en el proceso de reconciliación del yacimiento Pampacancha; cada bloque con dimensiones de 20mx20mx15m.

4.5 Selección de muestra

Para la variable correspondiente a optimización del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha la selección de muestra se realizó considerando que la única forma de comprobar la optimización del modelo de bloques es utilizar los bloques minados durante un periodo de 8 meses considerando que es un lapso de tiempo significativo para poder evaluar la predictibilidad de un modelo en la etapa de operación.

4.6 Técnicas de recolección de datos

La técnica empleada es la **observación** la investigación necesita como punto de partida los datos geoquímicos de las muestras de los sondajes diamantinos, dicha información corresponde a una observación real del fenómeno. La

información básica se recibió de laboratorio en hojas Excel, que son ingresadas y almacenadas en la base de datos oficial del proyecto en Datashed.

4.6.1 Perforación.

El proyecto Pampacancha fue perforado por Norsemont desde 2008 y posteriormente por Hudbay, con un total de 192 pozos, el espaciamiento aproximado es de 50m, la recuperación de los testigos fue casi el 100% para todos los pozos con un diámetro HQ y NQ.

La roca se perforó con una broca de diamante y se recuperó todo el núcleo de un barril de extracción de tres metros. El ayudante de perforación quitó el núcleo del barril y colocó el núcleo en cajas que están etiquetadas con el nombre del pozo y el número de caja.

El personal de operación entregó las cajas de testigos al geólogo en la instalación de extracción de testigos en el campamento de Constancia. El geólogo y / o técnico transfirió el testigo a las tablas de registro de testigos. El geólogo orientó el núcleo para encajar piezas coincidentes y marco intervalos de un metro en el núcleo con un lápiz de grasa.

El procedimiento estándar es que el núcleo se registra para litología, alteración, mineralización y estructura con descripción de minerales de alteración, minerales de mena, intensidad, vetas, fallas, juntas y contactos. La mayoría de los intervalos de muestreo fueron cada 2 m.

4.6.2 Preparación de la muestra y análisis

Una vez que se marcan los límites preliminares de rotura de muestra de 2 m el geólogo decide intervalos más pequeños para que coincidan con las características geológicas cuando sea necesario.

Se asignan números de muestra y luego se lleva a cabo un registro litológico y mineralógico detallado. El geólogo marca las líneas de corte en el núcleo. Para núcleos muy fracturados, se utiliza una barra de acero como divisor. Siempre se

toma el mismo lado del núcleo para la muestra. En esta etapa se extraen muestras para medir la densidad en cada unidad de roca principal, a intervalos de aproximadamente 50 m.

Las muestras se transfieren a los técnicos para dividir las en dos mitades mediante una sierra de diamante. La mitad del núcleo se colocó en una bolsa de plástico con su etiqueta de identificación de muestra única. La otra mitad del núcleo se devolvió a la caja de núcleos para su almacenamiento.

El equipo de Pampacancha envió un total de 27580 muestras de 192 perforaciones a laboratorio SGS del Perú S.A.C. El procedimiento de preparación de muestra consistió en trituración en trituradoras de mandíbulas oscilantes al 90% pasando malla 10 (1,70 mm). Las muestras se dividieron en riffle y se pulverizó un peso de 250 g. Los pulverizadores de molino de anillo trituraron las muestras al 95% pasando la malla 150 (106 micrones). Las trituradoras, raspadores y bandejas se limpian con aire comprimido entre muestras.

4.6.2.1 Metodología de ensayo

Todas las muestras fueron analizadas por el laboratorio de SGS a través de espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-AES) después de la digestión de múltiples ácidos, el oro se determinó mediante ensayo de fuego con espectroscopia de absorción atómica (AAS).

Las muestras fueron analizadas por 32 elementos a través de ICP-AES, después de la digestión multiácida de 0.20 g de muestra. Si los valores de plata, cobre, hierro, molibdeno, plomo y zinc se elevan por encima del límite superior indicado en la Tabla 2, entonces ese elemento se reanalizó usando AAS, después de la digestión con múltiples ácidos de 0.25 g de muestra. El oro se analizó mediante AAS después del ensayo de fuego utilizando 30 g de muestra y los valores superiores a 5000 ppb reanalizaron utilizando un acabado gravimétrico. Todas las balanzas analíticas son certificadas anualmente por un

tercero. Los pesos de control se utilizan a diario para verificar la calibración de las balanzas. Todos los estándares de metal utilizados para hacer los estándares de calibración para AAS e ICP están certificados y son trazables. Los resultados fueron entregados cada uno con un certificado de análisis.

Tabla 2:

Límites de ensayo de SGS

Elemento	Au	Ag	Cu	Fe	Mo	Zn	Pb
Unidad	ppb	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
Código de Metodología	FAA313	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B	ICP40B
Límite de Detección	5	0.2	0.5	0.01	1	0.5	2
Límite superior	5000	100	10000	15	10000	10000	10000

Fuente: Reportes de análisis químicos SGS – Ensayos químicos Pampacancha

4.7 Procesamiento Análisis e interpretación de la información

4.7.1 Estadísticas de los ensayos

La primera etapa del estudio comprende el análisis de los datos geoquímicos de las muestras de los sondeos diamantinos, identificando tendencias y valores anómalos.

Las muestras fueron agrupadas de acuerdo a la litología interpretada, también se evaluó los valores altos mediante la elaboración de histogramas y gráficos de frecuencia acumulada, Debido a que los valores atípicos de alto grado pueden llevar a la sobreestimación de un recurso.

4.7.2 Modelamiento de dominios

La segunda etapa comprende el modelamiento de dominios geoquímicos para los elementos de interés Au, Cu, Ag, Pb, Zn. En esta etapa se usó el software Leapfrog, los pozos fueron cargados con la finalidad de identificar zonas con tendencias y relaciones entre los valores de Au, Cu, Ag, Pb, Zn. La etapa de construcción de sólidos se realizó mediante la selección de intervalos dentro de los subdominios definidos para generar las geometrías delimitantes.

4.7.3 Análisis espacial

La tercera etapa del estudio comprende la creación de variogramas para definir los parámetros de estimación en cada dominio geoquímico.

Se completaron los variogramas utilizando el software Minesight para los compuestos de cobre skarn basados en la interpretación de la estructura modelada mediante Leapfrog. Se generaron variogramas para determinar la continuidad espacial de la mineralización compuesta utilizando parámetros de búsqueda omnidireccionales. La rotación de búsqueda se ajusta a las tendencias de mineralización interpretadas de las unidades geológicas.

4.7.4 Estimación

La cuarta etapa comprende la utilización de los dominios geoquímicos identificados en la estimación y construcción del modelo de bloques optimizado. El plan de interpolación del modelo de estimación de recursos de Pampacancha se completó utilizando los siguientes métodos de estimación: Kriging ordinario (OK), e inverso a la distancia

Las estimaciones de Kriging ordinario e Inverso de la distancia se completaron en tres iteraciones. Los parámetros de la primera pasada está diseñada para

estimar el grado de un bloque donde hay un mínimo de 1 composito encontrados y hasta un máximo de 32 con un límite de seis compositos por pozo de perforación según las distancias de búsqueda mostradas. La segunda pasada divide la distancia de búsqueda, lo que permite estimar los bloques con mayor precisión y la tercera pasada tiene la finalidad de lograr exactitud en la estimación.

4.7.5 Reconciliación

La quinta etapa corresponde a la verificación de la optimización del modelo de bloques mediante la reconciliación de los sólidos mensuales de minado. Se utilizaron los sólidos de 8 meses de operación para la verificación de los valores de tonelaje, leyes de cobre, oro, plata, plomo, zinc con la finalidad de comparar el desempeño del modelo de bloques optimizado.

CAPITULO V: RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Interpretación geológica

El modelo geológico utilizado corresponde a un modelo litológico desarrollado por el equipo de geología de Hudbay, que se basa en datos de litología del registro de testigos. Las unidades litológicas modeladas son: Caliza (LMT), Diorita (DIO), Pórfido de Diorita (PDI), Skarn (SKN) y Pórfido de Monzonita (MP2). Para simplificar la cantidad de unidades litológicas registradas, el equipo de geología de Hudbay ignoró los códigos de registro que no representan rocas (por ejemplo, SO, FA, VN, NN, NR) y litologías con baja representación en la geología del depósito (por ejemplo, AN, ANP, PAN, FP, TBX, HBX, CBX, TBX, SMS). Además, se agrupó las litologías como se muestra en la Tabla 3 que resume los dominios litológicos utilizados para el modelado y su relación con los datos de extracción de núcleos.

Tabla 3:

Dominios litológicos utilizados en el modelado y su relación con los datos de extracción de los núcleos de perforación.

Unidad	Código	Información de logueo	%
Caliza	LMT	LMT-HF-MAR-SLT-SS	10.12
Diorita	DIO	DIO	23.43
Diorita porfirítica	PDI	PDI	6.69
Skarn	SKN	ESK-SKN	31.53
Monzonita porfirítica	MP2	MP1-MP2	14.62

Se determinó que la unidad Skarn alberga la mayor parte del cobre y la estimación de recursos minerales se completó solo para Skarn. No se estimó ninguna otra unidad de litología mineralizada. La interpretación geológica se basa en una intrusión de pórfido de diorita que es la fuente de los fluidos de cobre y que las soluciones se diseminan posteriormente a través del Skarn actuando finalmente este actúa como un amortiguador precipitando el contenido de cobre. Cabe resaltar que las litologías PDI y DIO fueron modeladas como una sola litología para efectos de modelo geológico.

Los dominios litológicos en sección se observa en la figura 8 las figuras 9 al 11 muestran la litología en 3 dimensiones.

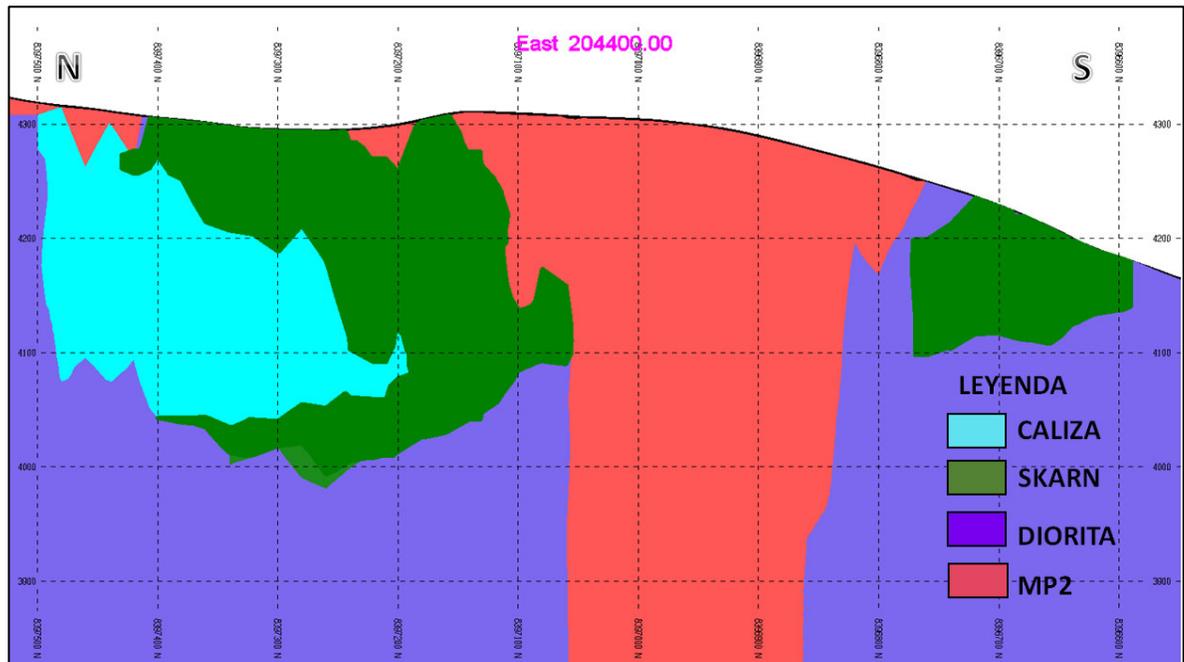


Figura 8. Vista de sección N-S de la Geología del yacimiento Pampacancha

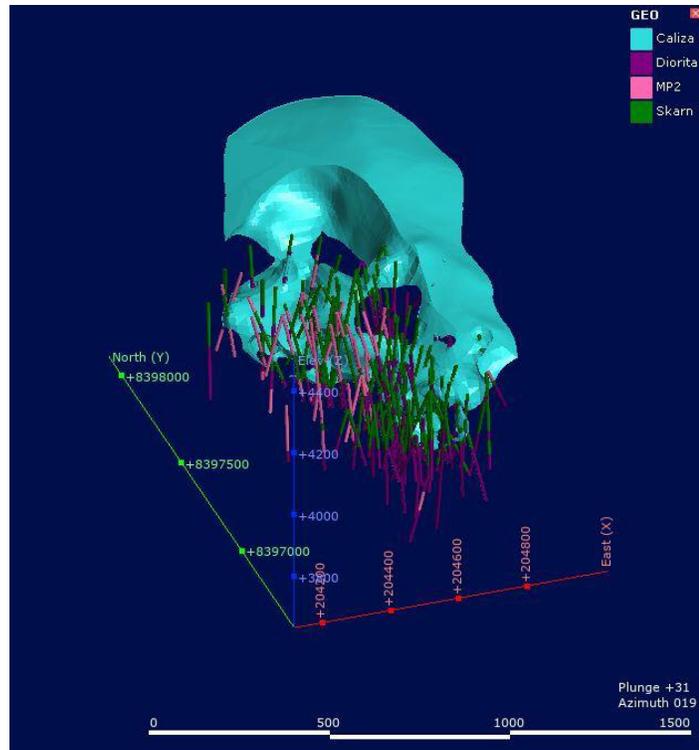


Figura 9. Vista 3D de litología tipo Caliza del yacimiento Pampacancha

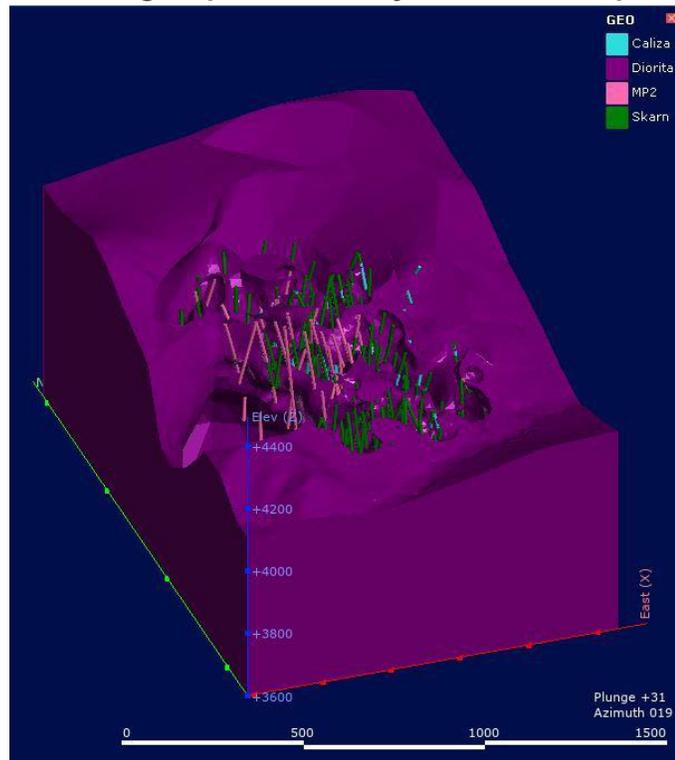


Figura 10. Vista 3D de litología tipo Diorita del yacimiento Pampacancha

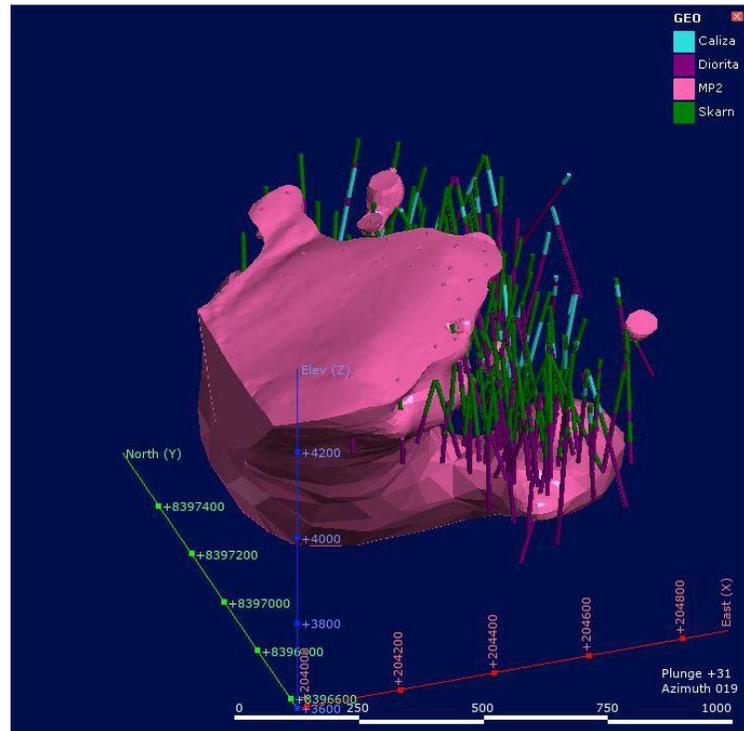


Figura 11. Vista 3D de litología tipo MP2 del yacimiento Pampacancha

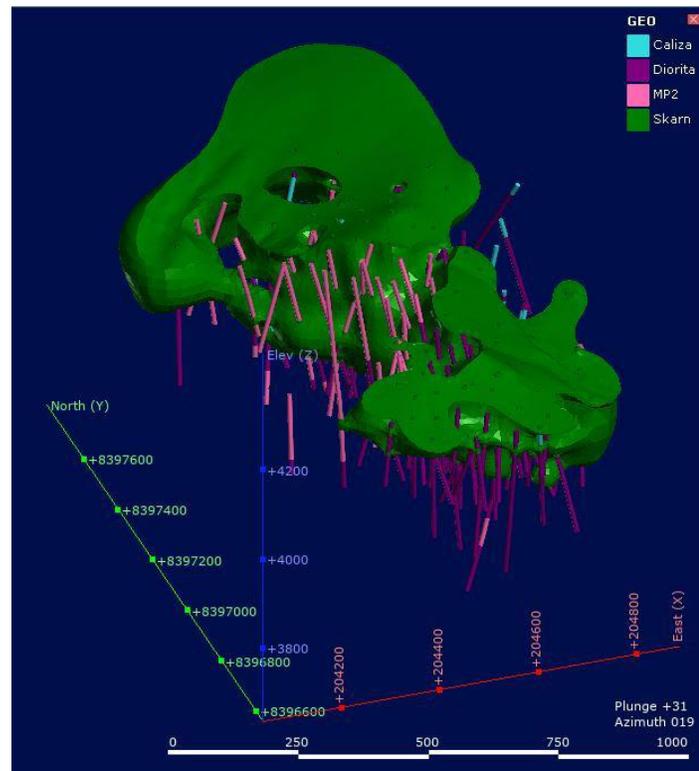


Figura 12. Vista 3D de litología tipo Skarn del yacimiento Pampacancha

Tabla 8:

Estadística descriptiva de los principales elementos limitados a la litología tipo PDI

PDI	Cu%	Moppm	Agppm	Auppm	Pb%	Zn%
Mean	0.054	53.958	1.539	0.108	0.036	0.060
Standard Error	0.003	3.721	0.208	0.014	0.005	0.004
Median	0.025645	10	0.9	0.031	0.0075	0.023025
Mode	0.018	3	0.1	0.002	0.0026	0.00698
Standard Deviation	0.115	159.802	8.910	0.599	0.225	0.189
Sample Variance	0.013	25536.592	79.396	0.359	0.051	0.036
Kurtosis	193.085	106.739	1624.990	300.829	1232.914	280.597
Skewness	11.679	8.559	39.268	15.940	32.470	14.416
Range	2.390	3036	371.9	14.528	8.77	4.607
Minimum	0.00032	0	0.1	0.002	0.0001	0.0032
Maximum	2.39	3036	372	14.53	8.77	4.61
Sum	99.24722	99499	2837.9	199.526	66.2579	110.9187
Count	1844	1844	1844	1844	1844	1844

El yacimiento Pampacancha tiene al skarn como litología que alberga el material denominado económico, para realizar el análisis referente a esta litología se consideró únicamente los intervalos cuyo valor de Cobre porcentual es igual o supera el 0.1, ya que es este valor el que se considera como cut off en el proceso de explotación del yacimiento.

La figura 13 muestra los diagramas de distribución de frecuencias de los distintos elementos de interés dentro de la litología Skarn.

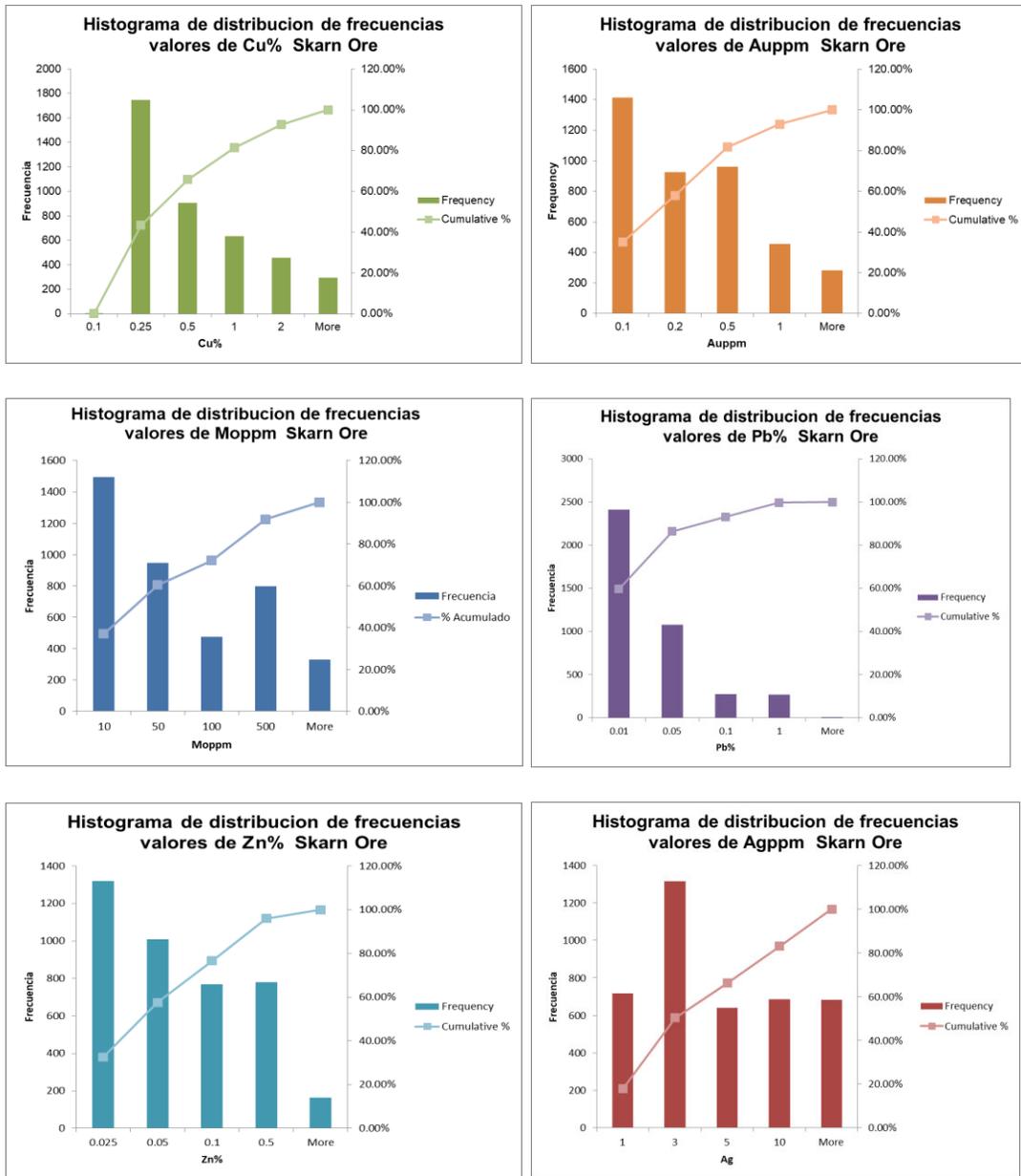


Figura 13. Histogramas de distribución de frecuencias de los elementos analizados para litología tipo Skarn.

También se realizó el análisis de distribución de frecuencias para los intervalos cuyos valores de cobre superan el 0.1% cuyas litologías son diferentes a Skarn, la figura 14 muestra los resultados por elemento.

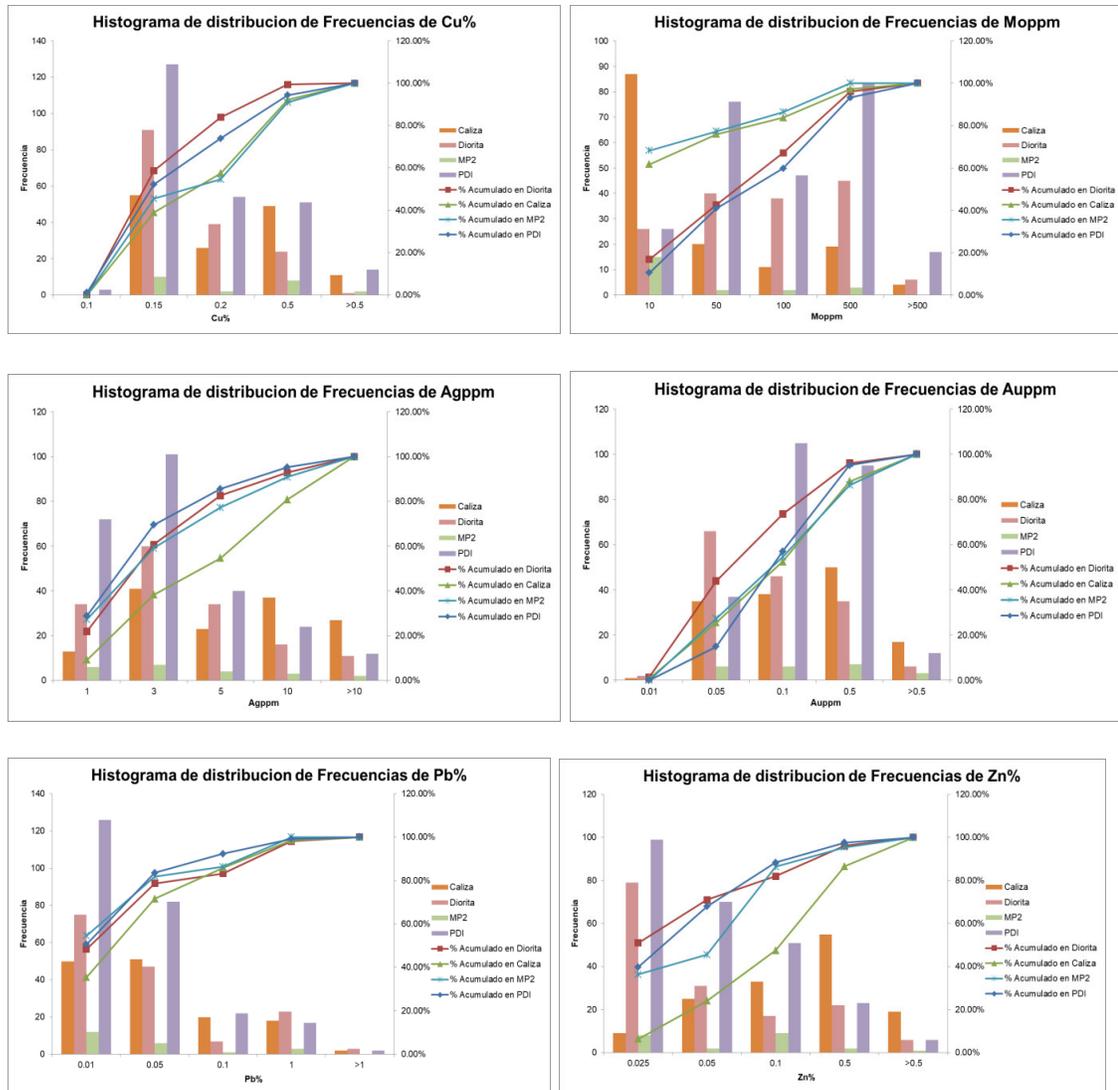


Figura 14. Histogramas de distribución de frecuencias de los elementos analizados para litología tipo Caliza, Diorita, MP2, PDI.

Otra etapa del análisis estadístico de los resultados de análisis químico, contempla la evaluación de outliers o valores anómalos, cuya influencia podría generar un sesgo en el proceso de estimación, para efectos de este análisis, no se considera los valores menores a 0.1% de cobre, ya que durante el proceso de modelamiento de cuerpos en Leapfrog y durante el proceso de estimación serán considerados como desmonte. La figura 15 muestra los outliers encontrados por elemento.

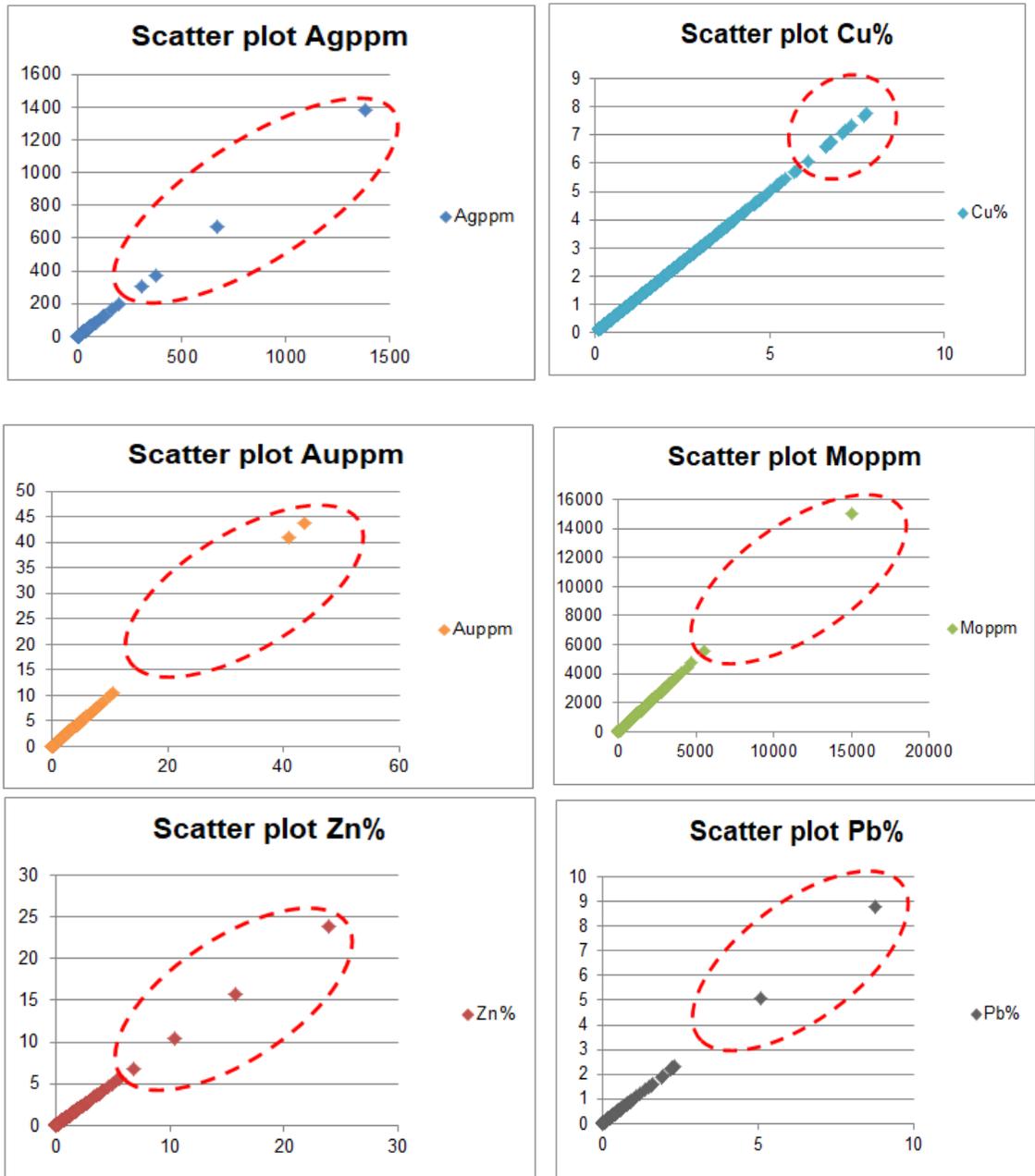


Figura 15. Diagramas de verificación visual de outliers por elemento.

Para verificar la correlación existente entre la distribución de los valores geoquímicos, se realizó el análisis de Pearson, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 9 y 10

Tabla 9:

Correlación de Pearson para litologías Caliza, Diorita, PDI, MP2

PEARSON	Cu%	Moppm	Agppm	Auppm	Pb%	Zn%
Cu%	-	-	-	-	-	-
Moppm	0.01	-	-	-	-	-
Agppm	0.41	-0.12	-	-	-	-
Auppm	0.36	0.02	0.48	-	-	-
Pb%	0.12	0.01	0.69	0.45	-	-
Zn%	0.24	-0.19	0.26	0.38	0.75	-

Tabla 10:

Correlación de Pearson para litologías tipo Skarn

PEARSON	Cu%	Moppm	Agppm	Auppm	Pb%	Zn%
Cu%	-	-	-	-	-	-
Moppm	-0.06	-	-	-	-	-
Agppm	0.59	-0.12	-	-	-	-
Auppm	0.69	-0.09	0.56	-	-	-
Pb%	0.03	0.04	0.54	0.26	-	-
Zn%	0.15	-0.01	0.55	0.24	0.71	-

De este análisis de Pearson se observa, correlación positiva entre los valores de Cobre-Plata-Oro, Plata-Oro-Plomo-Zinc, Plomo y Zinc, esta información se considera como guía para establecer los dominios geoquímicos a modelar los cuales se establecen en la Tabla 11.

Tabla 11:

Dominios geoquímicos según litología y valores químicos

DOMINIOS SEGÚN CORRELACION	ELEMENTO GUIA	Skarn	Caliza	Diorita	MP2	PDI
DOMINIOS DE COBRE-PLATA-ORO	Cu%	0.1-0.5 0.5- mas		0.1-0.2 0.2- mas		
DOMINIO PLOMO-ZINC	Pb%-Zn%	<0.01Pb%+<0.05Zn% >0.01Pb%+>0.05Zn%		<0.01Pb%+<0.05Zn% >0.01Pb%+>0.05Zn%		
DOMINIO MOLIBDENO	Mo ppm	<50 ppm >50 ppm		<50 ppm >50 ppm		

5.3 Modelamiento de dominios Geoquímicos

Posterior a la determinación de los dominios geoquímicos mediante el uso de la estadística descriptiva e histogramas de frecuencia que identifico la poblaciones más significativas de datos, se procedió a la elaboración de los sólidos en 3D que representan los dominios geoquímicos.

5.3.1 Dominios de Cobre-Plata-Oro

Mediante el análisis de correlación de Pearson, se identificó una alta correlación entre los datos de Cobre-Plata y Oro, en zonas con valores de Cobre mayor a 0.1 % es decir lo que se considera como mineral para explotar el yacimiento Pampacancha. A partir de dicha correlación se armó 5 dominios geoquímicos, los 4 primeros están restringidos a las zonas de mineral dentro de las distintas litologías y el ultimo subdominio está delimitado por los valores menores a 0.1%. La figura 16 muestra una vista en 3D de los dominios principales para cobre-plata-oro.

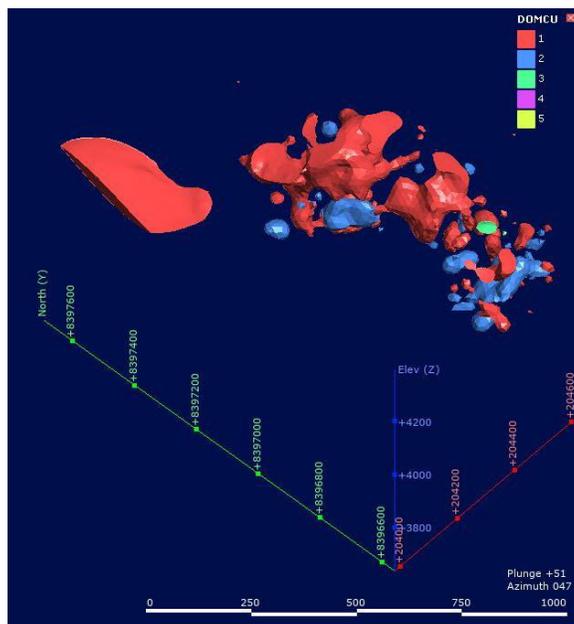


Figura 16. Vista 3D de los dominios 1 y 2 de Cobre-Oro-Plata

5.3.2 Dominios de Zinc-Plomo

Mediante el análisis de correlación de Pearson, se identificó una alta correlación entre los datos de Zinc y Plomo. A partir de dicha correlación se armó 4 dominios geoquímicos, dos de los cuales están delimitados a la agrupación de litologías distintas a Skarn como una sola unidad y los dos últimos dominios corresponden a los rangos predominantes dentro del Skarn. La figura 17 muestra una vista en 3D de los dominios principales para cobre-plata-oro.

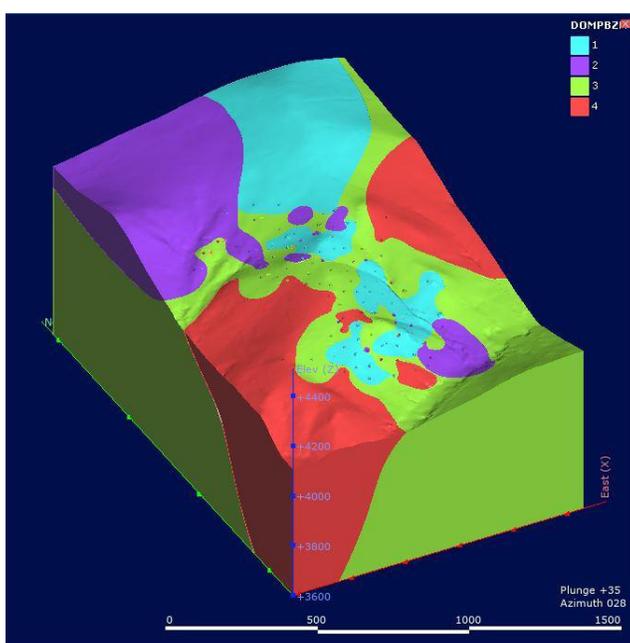


Figura 17. Vista 3D de los dominios de Zinc y Plomo

5.3.3 Dominios de Molibdeno

Del análisis de correlación de Pearson no se identificó, una correlación directa con ninguno de los elementos analizados, por lo tanto se procedió a modelar el dominio geoquímico de molibdeno individualmente, el cual está restringido únicamente a las poblaciones más significativas identificadas en el histograma, así como a la litología agrupada. La figura 18 muestra una vista en 3D de los dominios de molibdeno.

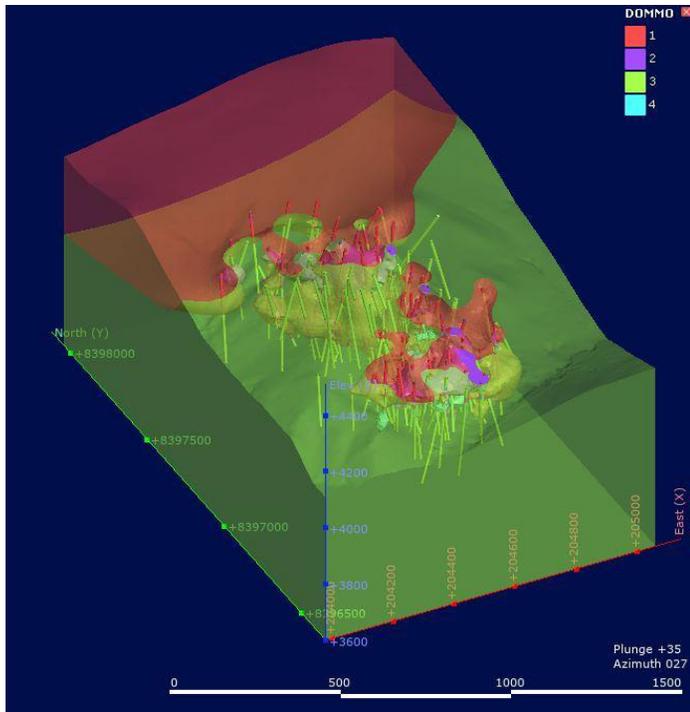


Figura 18. Vista 3D de los dominios de Zinc y Plomo

5.3 Composición de sondajes diamantinos

La etapa de composición de sondajes se realizó utilizando tramos de 7.5 metros de profundidad para la todo el proyecto Pampacancha. El inicio de los compósitos se consideró el collar del pozo. Los valores por debajo de los límites de detección del ensayo se establecieron en la mitad de ese valor. Los códigos se asignaron en función de la ubicación del compuesto centroide relativo al modelo de bloque geológico.

5.3.1 Elaboración de variogramas

Con la información de los pozos compositados a 7.5 m se realizó el análisis variográfico de los elementos, con la finalidad de observar el comportamiento a nivel espacial. Los variogramas se observan en las figuras 19-24, durante el análisis variográfico Downhole, se observó que las curvas se ajustan de mejor manera a un variograma exponencial, así mismo se observan por lo menos dos estructuras.

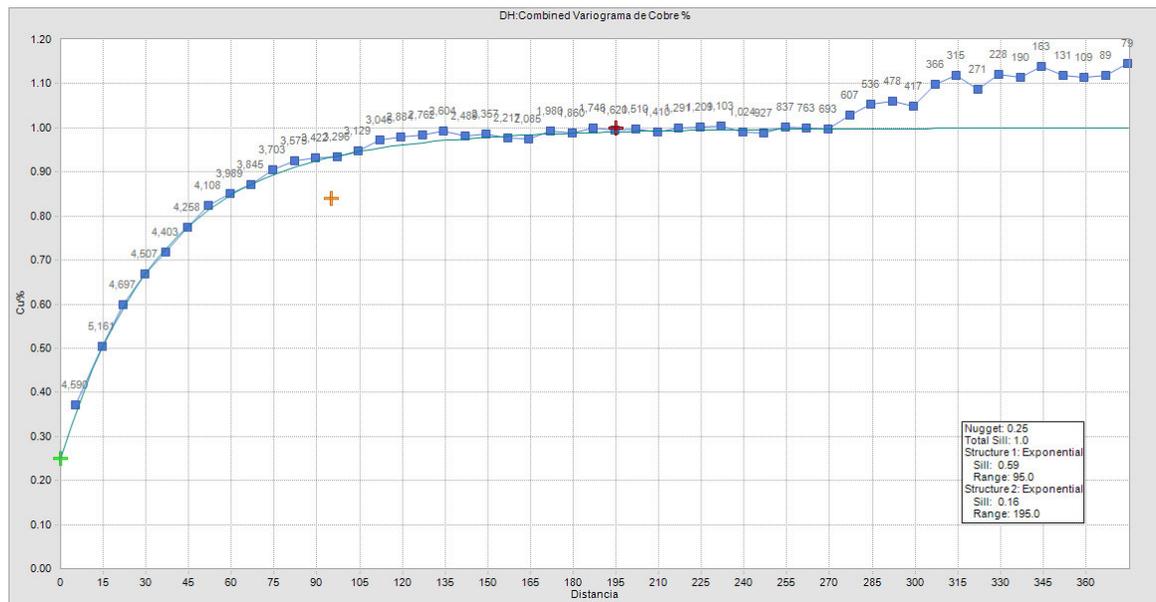


Figura 19. Variograma Downhole de Cu%

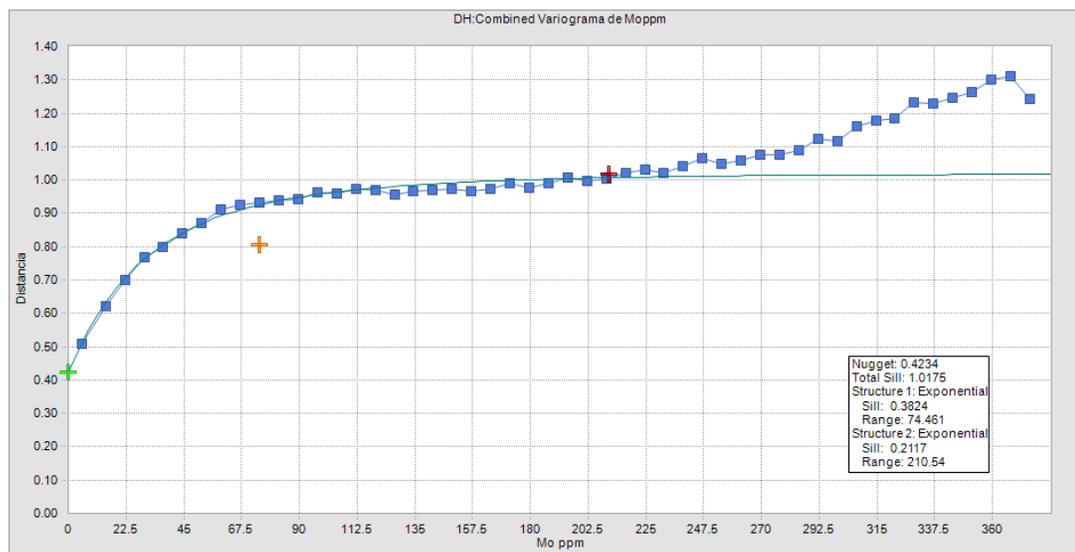


Figura 20. Variograma Downhole de Moppm

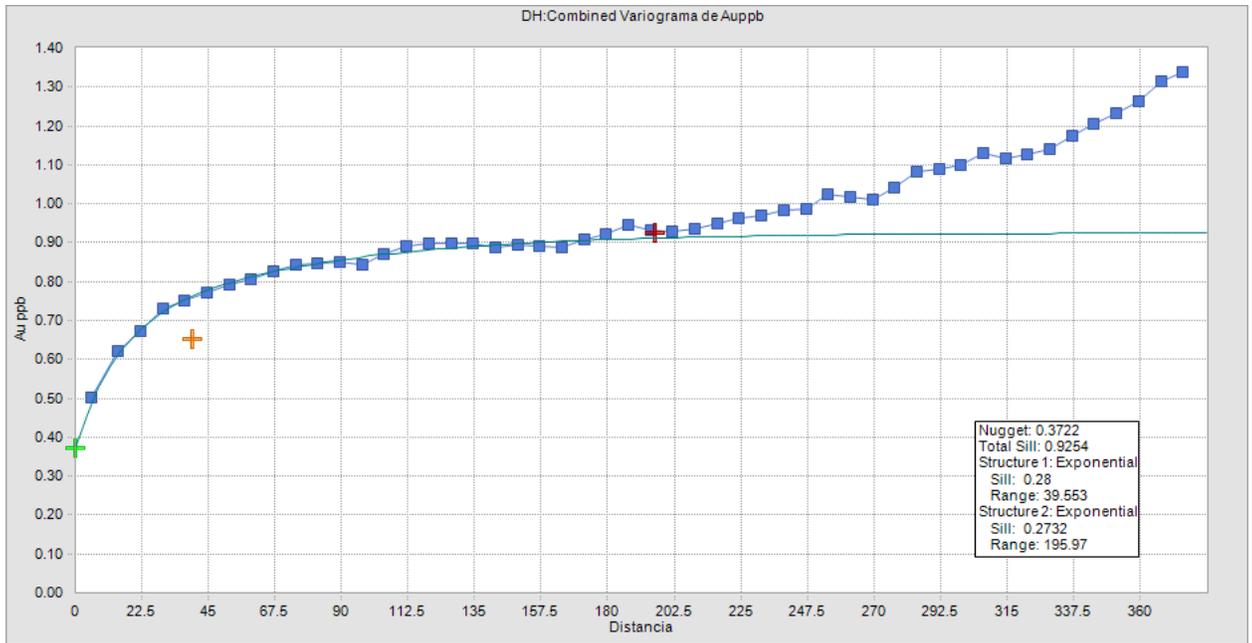


Figura 21. Variograma Downhole de Auppb

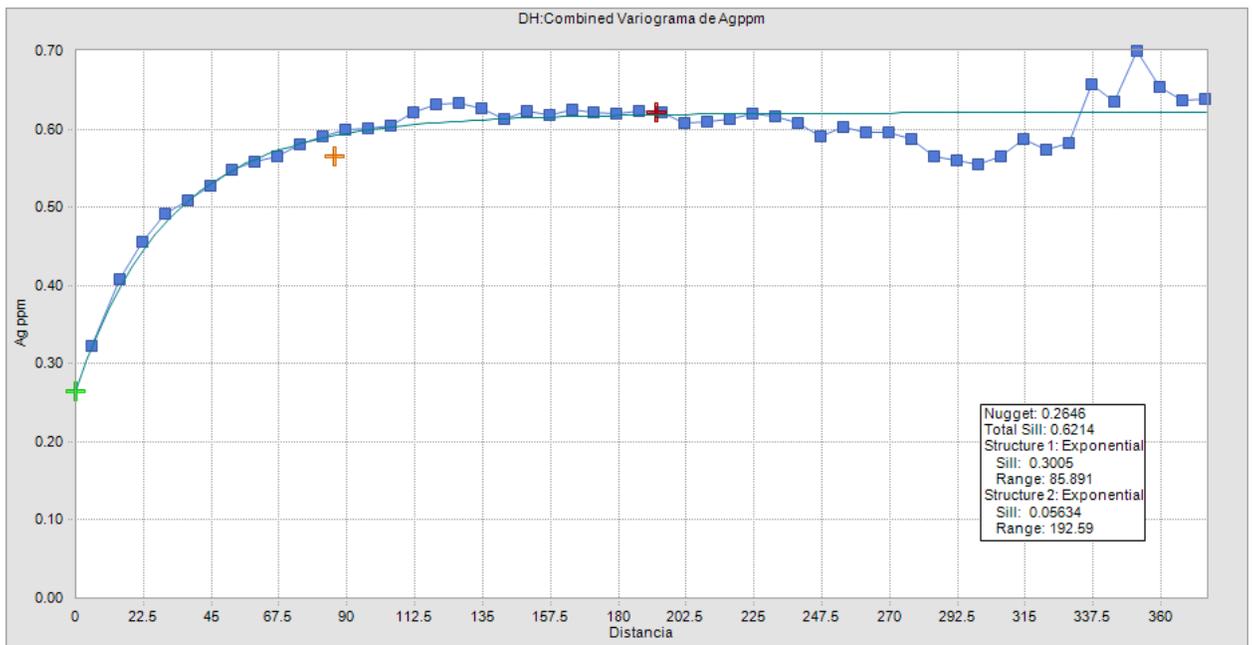


Figura 22. Variograma Downhole de Agppm

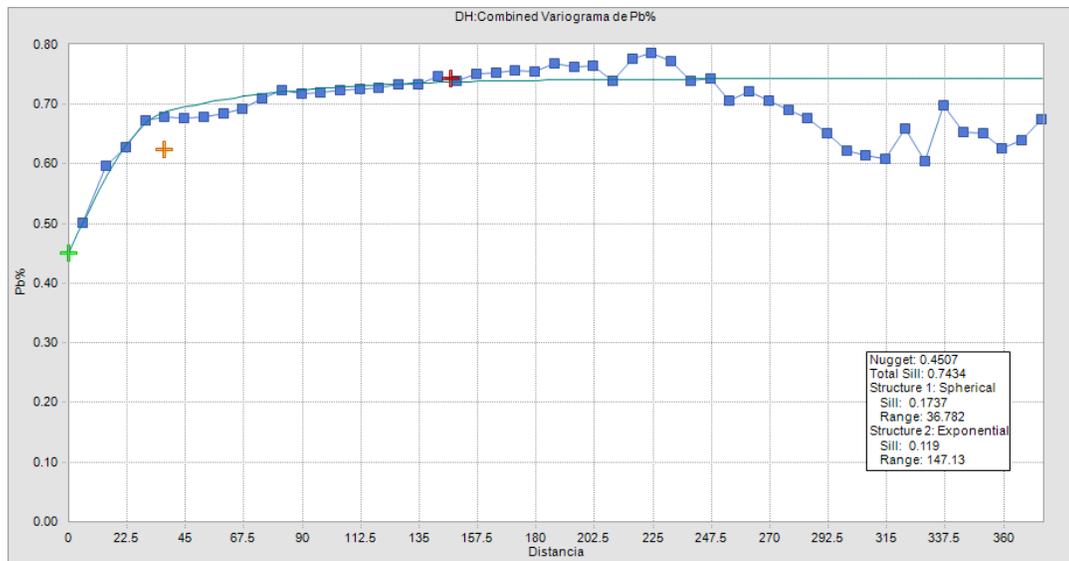


Figura 23. Variograma Downhole de Pb%

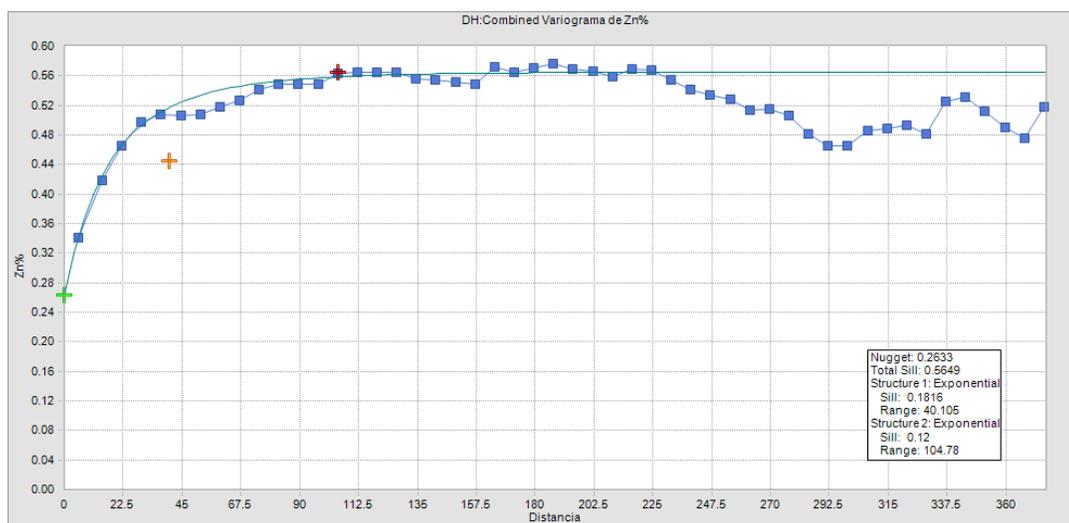


Figura 24. Variograma Downhole de Zn%

Los variogramas se realizaron principalmente para obtener los parámetros de interpolación para cada elemento, entre los parámetros necesarios se encuentran el valor de efecto pepita, el valor de la meseta y el alcance, para 1 o dos estructuras según sea el caso. Adicional también se obtiene el ángulo preferente de las direcciones de mineralización que en este caso son perpendiculares predominantemente. La tabla 12 muestra los principales parámetros por elemento.

5.4 Estimación en el modelo de bloques

El modelo de bloques para Pampacancha se construyó con el software Minesight. Toda la información requerida sobre el depósito se almacena en cada bloque individual. Características estadísticas como el cuadrado de la distancia inversa, el número de las muestras utilizadas en una estimación, las distancias al pozo de perforación más cercano, etc., también son almacenados en cada bloque individual para evaluaciones descriptivas también se incluye tipos de rocas y densidades aparentes para evaluar los parámetros de ingeniería, producción y geotécnica que podrían utilizarse para determinar la viabilidad del depósito de mineral.

5.4.1 Dimensiones del modelo de recursos

Las dimensiones del modelo en Minesight se enumeran en la Tabla 13. El modelo se guarda como. Unidad de Minería de 20 m eje X, 20 m eje Y y 15 m eje Z. Se creó el bloque modelo utilizando la geología delimitada por el modelo geológico. Codificando en el ítem LITHO cuando el límite del sólido entre cada unidad geológica supera el 50% del bloque.

Tabla 13:

Límites del proyecto del modelo de bloques del yacimiento Pampacancha

Limites	Este	Norte	Elevación
Mínimo	203980	2050060	3600
Máximo	205060	8398040	4500

5.4.2 Proceso de estimación

5.4.2.1 Codificación en sondajes y bloques.

Para realizar el proceso de estimación primero es necesario, definir las zonas, subzonas en las cuales se realizara la estimación, estas zonas y subzonas están delimitadas básicamente por la geología y por la geoquímica del yacimiento.

- **Codificación de litología:** La litología se codifico tanto en sondajes como en bloques de acuerdo al modelo geológico que está compuesto de Caliza, Diorita, MP2, Skarn.
- **Codificación por zona mineralizada:** Para esta codificación se usó dos zonas, la primera que cumple la restricción de valores de cobre superiores a 0.1% denominada ENVLP1 y la segunda que cumple con la restricción de valores de cobre menores a 0.1% denominada ENVLP2.
- **Codificación por dominios geoquímicos**
Para la codificación por dominios geoquímicos se utilizó 3 grupos de subdominios que se muestran en la tabla 14.

Tabla 14:

Codificación por dominios geoquímicos

DOMINIO	ELEMENTO GUIA	Litologia Skarn	Codigo	Otras Litologia	Codigo
DOM CUAUAG	Cu%	0.1-0.5	1	0.1-0.2	2
		0.5- mas	3	0.2- mas	4
DOM PB ZN	Pb%-Zn%	<0.01Pb%+<0.05Zn%	1	<0.01Pb%+<0.05Zn%	2
		>0.01Pb%+>0.05Zn%	3	>0.01Pb%+>0.05Zn%	4
DOM MO	Mo ppm	<50 ppm	1	<50 ppm	2
		>50 ppm	3	>50 ppm	4

5.4.2.2 Interpolación por Kriging Ordinario e inverso a la distancia

Las estimaciones de OK e IDW se completaron en tres iteraciones para cada dominio. El primer paso se diseñó para estimar un bloque utilizando los parámetros de búsqueda y el número mínimo de compuestos con los parámetros de estimación calculados mediante la variografía. La segunda y tercera pasada redujo la distancia de búsqueda y ajustaron el número de compuestos con la finalidad de proporcionar una estimación más local de la mineralización. Se siguió la misma metodología para cada uno de los elementos interpolados.

5.4.2.3 Clasificación por tipo de material

La clasificación por tipo de material se realizó en los bloques, esta clasificación se realiza con fines puramente metalúrgicos, ya que permite tener una idea del tipo de material que se va a procesar. En el yacimiento Pampacancha se realiza la clasificación basada en la cantidad de óxidos, zinc y la Litología predominante.

Se cuenta con las siguientes categorías:

- Skarn-Supergeno
- Skarn-Mixto
- Skarn-Hipogeno
- Skarn High Zinc
- Skarn Super High Zinc

5.4.2.4 Calculo de NSR

El NSR es el valor neto de los metales contenidos en un concentrado producido a partir de un bloque de mineral después fundición y refinación. Usando la recuperación del concentrador de los metales en el concentrado y el grado del concentrado producido, el tirón masivo de cada bloque en el modelo de recurso expresado en términos de

toneladas de concentrado por tonelada de mineral procesado se estima en primer lugar.

El valor de los metales pagaderos en el concentrado se calcula luego sobre la base del contenido de metal en el concentrado sujeto a deducciones con fundiciones y tostadores. En el caso del concentrado de cobre, los metales preciosos pagaderos plata y oro se añaden al valor del cobre pagadero. En el caso del concentrado de molibdeno, solo se paga el molibdeno metálico.

Del valor de los metales pagaderos, los costos de venta que incluyen los costos de comercialización, costos de transporte, tasas portuarias, costos de seguro, costos de envío y gastos de fundición expresados en \$ / dmt concentrado y otras deducciones como los cargos de refinación y participación en el precio expresados en \$ / metal pagadero se toman para obtener el valor NSR bruto del concentrado (antes regalías).

Las regalías aplicables se deducen luego del valor bruto de NSR del concentrado para obtener el valor neto de NSR del concentrado (después de regalías). Los cálculos del valor de NSR concentrado descritos anteriores se aplican tanto a los concentrados de cobre como a los de molibdeno.

El valor NSR del concentrado después de la regalía para los concentrados de cobre y molibdeno se multiplicado por su respectiva atracción de masa expresada en toneladas de concentrado producido por tonelada de mineral procesado para obtener la contribución de cada concentrado al valor NSR.

La NSR de cada bloque en el modelo de recurso regularizado es la suma del valor de NSR in situ del concentrado de cobre y el concentrado de molibdeno. Bloques de modelos de recursos que pertenecen a las categorías de recursos indicadas o medidas con NSR valores mayores que sus costos de procesamiento se consideran minerales potenciales, mientras que los bloques que tienen. Los valores NSR inferiores a sus

costes de procesamiento se consideran residuos. Las recuperaciones de la planta de proceso, los rendimientos, los costos operativos y las leyes de concentrado varían según el mineral escríbe. De acuerdo con las pautas de informes de reservas de mineral, solo recursos medidos e indicados están codificados para generar ingresos en el modelo NSR. Los recursos inferidos se codifican y notifican como desmonte.

5.4.3 Validación del modelo de bloques

El modelo de bloques se validó en dos pasos fundamentales el primero de manera visual y el segundo en función de los valores de ensayos, compositos y boques interpolados.

- Comparación de valores de bloques locales en función de la compositos que le dieron información a dichos bloques.

Las Figuras 25,26 y 27 muestran una comparación de las leyes de bloques de cobre estimadas con las leyes de ensayo de pozo de los compositos contenidos dentro de esos bloques delimitados por el skarn. En promedio, los bloques estimados son muy similares a los datos del ensayo y existe una correlación relativamente buena entre ellos. Las leyes estimadas en los bloques son más suaves que los datos del ensayo. Generalmente, en los compositos con valores más bajos, las estimaciones son más altas, mientras que en los compositos con valores más altos, las estimaciones son más bajas. Otros metales presentan un comportamiento similar.

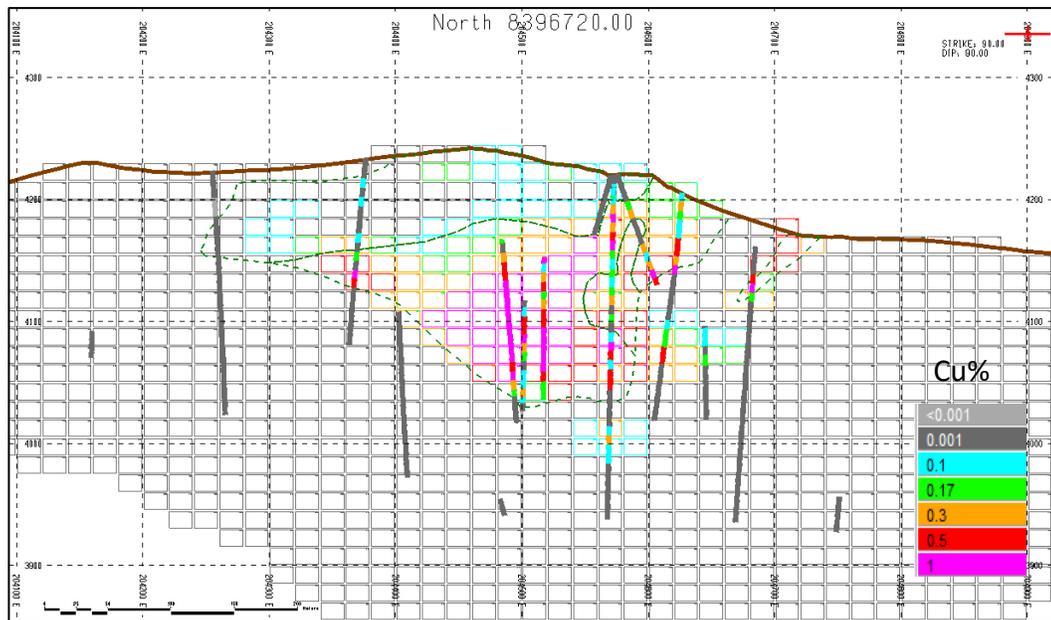


Figura 25. Vista de sección Este-Oeste de los bloques interpolados y los compositos.

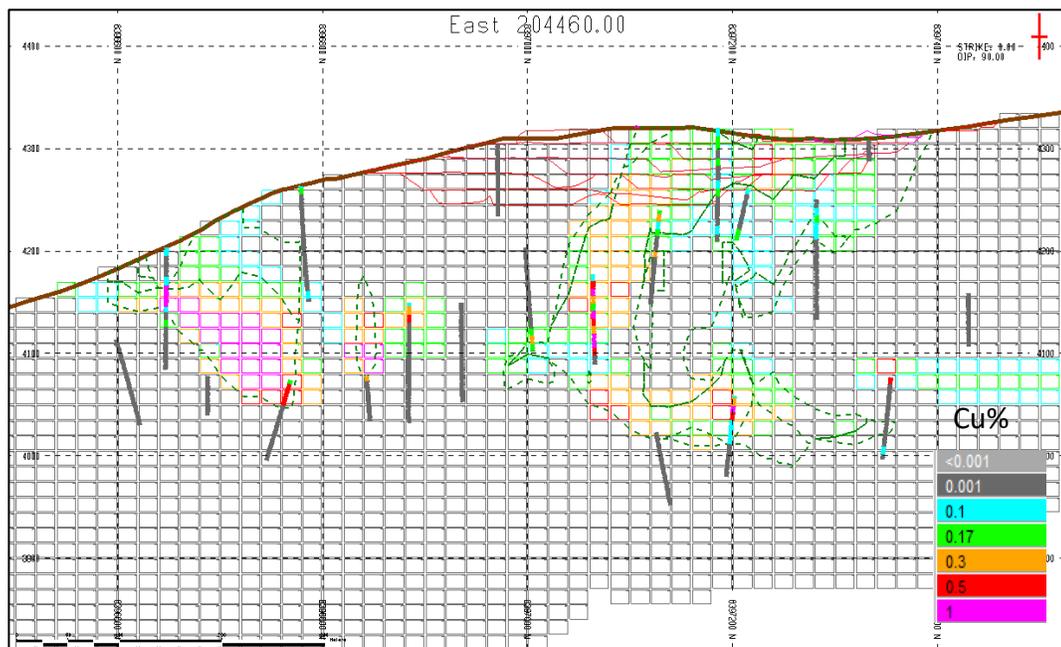


Figura 26. Vista de sección Norte-Sur de los bloques interpolados y los compositos.

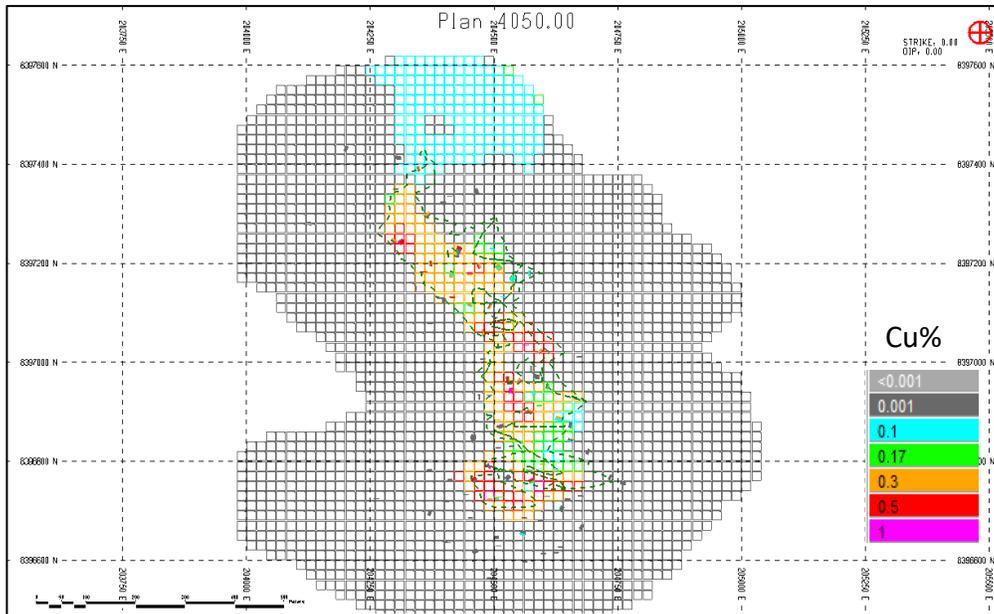


Figura 27. Vista de planta de los bloques interpolados y los composites.

La segunda validación, comprende una revisión de los datos estadísticos de composites, ensayos y bloques en función del promedio, desviación estándar y máximo valor de cada elemento, los resultados se observan en las tablas 15 y 17.

Tabla 15:

Valores estadísticos para la envolvente tipo 1

	Column	Count	Min	Max	Mean	Variance	StDev	CV
DHs	CU%	9,123	0	25.38	0.5	0.7	0.8	1.82
	MOPPM	9,123	0	15,000.00	135.9	168579.5	410.6	3.00
	AGPPM	9,123	0.1	1382	4.6	275.5	16.6	3.60
	AUPPM	9,123	2	77000	317.2	2277918.0	1509.3	4.76
	PB%	9,123	0.0001	4.75	0.0	0.0	0.2	4.21
	ZN%	9,123	0.0033	23.95	0.1	0.3	0.5	4.43
7.5m composites	CU%	1,648	0.0006	6.3637	0.46	0.43	0.66	1.43
	MOPPM	1,648	0	3,337.00	131.40	69604.10	263.80	2.00
	AGPPM	1,648	0.1	277.3	4.51	84.90	9.21	2.04
	AUPPM	1,648	2	23016.6	299.24	546094.00	738.98	2.47
	PB%	1,648	0.0002	1.066	0.03	0.00	0.07	2.20
OK block model	ZN%	1,648	0.0044	5.4157	0.11	0.06	0.25	2.39
	CU%	4,090	0.0197	2.8323	0.39	0.12	0.35	0.89
	MOPPM	4,090	0.3487	900.31	125.23	20293.10	142.45	1.14
	AGPPM	4,090	0.4	91.5	4.48	19.47	4.41	0.98
	AUPPM	4,090	23.7	7299.66	270.85	58243.74	241.34	0.89
	PB%	4,090	0.0022	0.3406	0.03	0.00	0.03	0.93
	ZN%	4,090	0.0147	2.0859	0.11	0.01	0.10	0.97

Tabla 16:

Evaluación de estadísticos para la envolvente tipo 1

		Check		
Comps vs DDH	Max	Mean	STD	
CU%	OK	OK	OK	OK
MOPPM	OK	OK	OK	OK
AGPPM	OK	OK	OK	OK
AUPPM	OK	OK	OK	OK
PB%	OK	OK	OK	OK
ZN%	OK	OK	OK	OK
OK vs Comps	Max	Mean	STD	
CU%	OK	OK	OK	OK
MOPPM	OK	OK	OK	OK
AGPPM	OK	OK	OK	OK
AUPPM	OK	OK	OK	OK
PB%	OK	OK	OK	OK
ZN%	OK	CHECK	OK	OK

Tabla 17:

Valores estadísticos para la envolvente tipo 2

	Column	Count	Min	Max	Mean	Variance	StDev	CV
DHs	CU%	17,700	0	9.26	0.03	0.01	0.12	4.06
	MOPPM	17,700	0	3,049.00	31.00	18198.30	134.90	4.40
	AGPPM	17,700	0.1	666	1.44	60.39	7.77	5.40
	AUPPM	17,700	2	43670	95.15	543842.90	737.46	7.75
	PB%	17,700	0.0001	8.77	0.03	0.03	0.17	4.87
	ZN%	17,700	0.001	6.54	0.07	0.06	0.24	3.41
7.5m composites	CU%	3,440	0	1.9007	0.03	0.00	0.07	2.42
	MOPPM	3,440	0	1,505.00	28.10	8958.80	94.70	3.40
	AGPPM	3,440	0.1	162.8	1.31	15.68	3.96	3.03
	AUPPM	3,440	2	13050.8	82.27	129677.70	360.11	4.38
	PB%	3,440	0.0001	0.9247	0.03	0.00	0.06	2.25
	ZN%	3,440	0.0034	1.4372	0.06	0.01	0.11	1.87
OK block model	CU%	43,333	0.0002	0.6274	0.02	0.00	0.03	1.34
	MOPPM	43,333	0	1,015.37	14.95	1202.52	34.68	2.32
	AGPPM	43,333	0.1	34.3	1.07	0.75	0.87	0.81
	AUPPM	42,774	2	4407.61	55.90	9334.04	96.61	1.73
	PB%	43,333	0.0011	0.6293	0.02	0.00	0.03	1.23
	ZN%	43,333	0.0039	1.0194	0.04	0.00	0.05	1.04

Tabla 18:**Evaluación de estadísticos para la envoltante tipo 2**

Comps vs	Check		
	Max	Mean	STD
DDH			
CU%	OK	OK	OK
MOPPM	OK	OK	OK
AGPPM	OK	OK	OK
AUPPM	OK	OK	OK
PB%	OK	OK	OK
ZN%	OK	OK	OK
OK vs	Max	Mean	STD
Comps			
CU%	OK	OK	OK
MOPPM	OK	OK	OK
AGPPM	OK	OK	OK
AUPPM	OK	OK	OK
PB%	OK	OK	OK
ZN%	OK	OK	OK

Las tablas 16 y 18 muestran la evaluación de estadísticos de los valores de ensayos químicos en los sondajes, los valores de los compositos de 7.5 m de largo y los valores de los bloques interpolados por elementos, la verificación consistió en identificar que los datos máximo, promedio y desviación estándar estén dentro del rango del procedimiento inmediato anterior, es decir los valores de los compositos tendrían que ser menores al dato de ensayos y los valores de bloques tendrían que ser menores a los valores de compositos, se verifico que existe tal correspondencia para todos los elementos analizados dentro de la envoltante 1 y 2 a excepción del valor de Zn% en los bloques en el cual se observa una diferencia superior de 0.01 el cual no es de importancia significativa.

5.5 Reconciliación de modelo de bloques

Una vez culminado el proceso de estimación en el modelo de bloques, se procedió a realizar la reconciliación mensual, este proceso consiste en usar el sólido minado mensual brinda el área de topografía, con el objetivo de hacer la consulta de que bloques y con qué valores de leyes y tonelaje cuentan esos bloques.

Para la elaboración de la reconciliación mensual se realiza la comparación del modelo de bloques de largo plazo sobre el cual se realizó la optimización y el modelo de bloques de corto plazo el cual utiliza pozos de producción de 15 m de profundidad, que alimentan dicho modelo con la información más detallada ya que las malla de producción se arman con un distanciamiento de 5 m.

Los resultados de la reconciliación mensual entre los modelos Largo plazo, largo plazo optimizado y corto plazo se muestra en las tablas 19,20 y 21 para un tiempo de 8 meses.

Tabla 19:

Resultados de reconciliación para tonelaje, Cu%, Mo%.

Month	M Tonne LT	M Tonne ST	M Tonne LT Optimizado	Cu% LT	Cu% ST	Cu% LT Optimizado	Mo% LT	Mo% ST	Mo% LT Optimizado
Apr	0.005	0.062	0.005	0.287	0.176	0.254	0.015	0.002	0.005
May	0.109	0.130	0.133	0.270	0.253	0.259	0.028	0.008	0.018
Jun	0.887	0.839	0.876	0.271	0.280	0.274	0.019	0.009	0.015
Jul	0.534	0.502	0.556	0.240	0.330	0.265	0.014	0.012	0.012
Aug	1.125	0.969	1.083	0.299	0.254	0.309	0.021	0.010	0.018
Sep	0.655	0.568	0.620	0.282	0.290	0.304	0.014	0.007	0.015
Oct	0.414	0.530	0.331	0.275	0.276	0.307	0.018	0.009	0.018
Nov	1.155	1.141	1.175	0.229	0.303	0.262	0.019	0.009	0.016

Tabla 20:

Resultados de reconciliación para Zn%, Auppm.

Month	Zn% LT	Zn% ST	Zn% LT Optimizado	Au ppm LT	Au ppm ST	Au ppm LT Optimizado
Apr	0.044	0.103	0.065	0.170	0.125	0.221
May	0.036	0.066	0.061	0.242	0.228	0.262
Jun	0.044	0.076	0.060	0.223	0.274	0.245
Jul	0.044	0.068	0.066	0.260	0.298	0.293
Aug	0.055	0.101	0.069	0.249	0.244	0.263
Sep	0.064	0.088	0.086	0.286	0.329	0.308
Oct	0.108	0.142	0.093	0.252	0.387	0.223
Nov	0.112	0.115	0.093	0.194	0.354	0.314

Tabla 21:

Resultados de reconciliación para Pb%, Agppm.

Month	Pb% LT	Pb% ST	Pb% LT Optimizado	Ag ppm LT	Ag ppm ST	Ag ppm LT Optimizado
Apr	0.009	0.071	0.013	3.303	4.536	3.030
May	0.016	0.046	0.023	3.418	4.266	3.475
Jun	0.019	0.028	0.021	4.576	4.686	3.746
Jul	0.015	0.029	0.019	2.468	3.776	2.711
Aug	0.018	0.046	0.017	4.566	3.942	4.099
Sep	0.016	0.027	0.016	2.878	4.013	3.540
Oct	0.025	0.036	0.021	2.975	3.749	3.095
Nov	0.028	0.039	0.025	2.625	4.846	3.558

La figura 28 muestra la reconciliación de tonelaje entre el modelo de largo plazo, modelo de corto plazo y modelo de largo plazo optimizado, se observa que con respecto a tonelaje no existe un sesgo considerable.

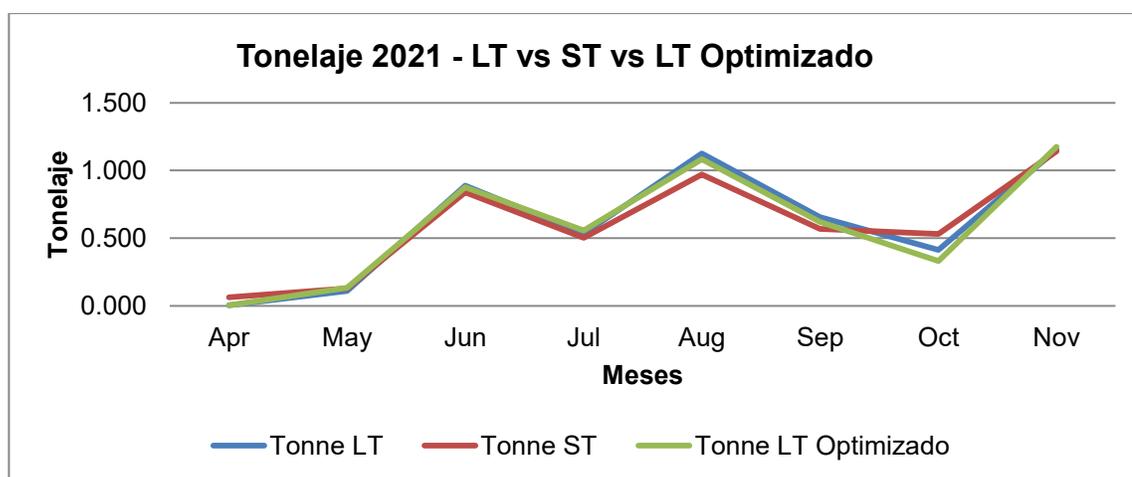


Figura 28. Reconciliación mensual por tonelaje

La figura 29 muestra la reconciliación de valores de cobre en porcentaje, se observa que la curva de cobre del modelo de largo plazo optimizado se ajusta de mejor forma a la curva del modelo de corto plazo, el modelo de largo plazo original tiene los meses de abril, julio agosto y noviembre como los más críticos por el mayor sesgo existente, sin embargo el modelo optimizado mejora los datos para esos meses.

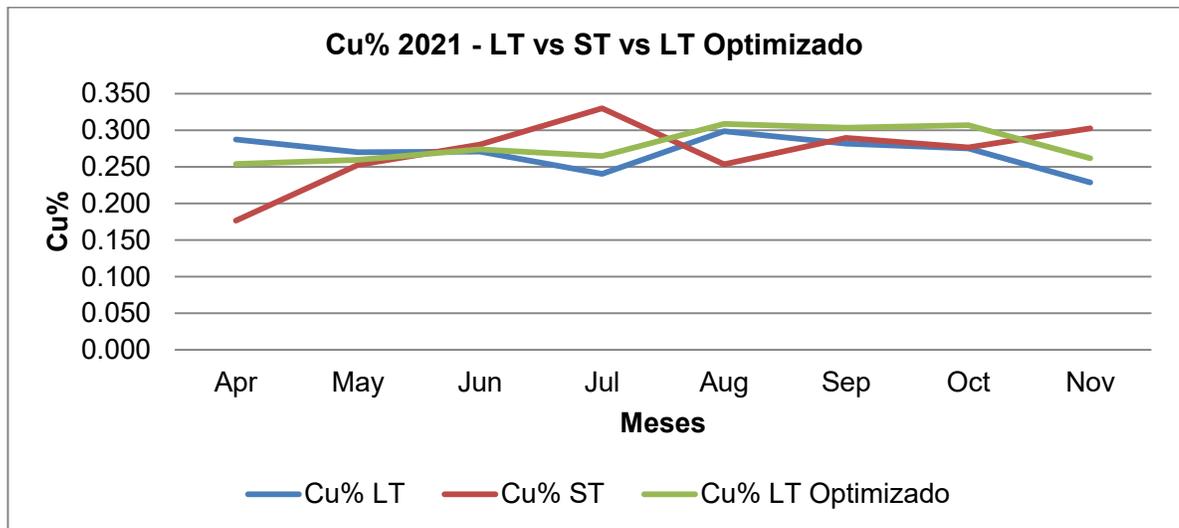


Figura 29. Reconciliación mensual por Cu%

La figura 30 muestra los valores de reconciliación entre los modelos de largo plazo, corto plazo y largo plazo optimizado, los valores del modelo de largo plazo optimizado se acercan más a la curva del modelo de corto plazo, por lo tanto el sesgo se ve disminuido a nivel global en todos los meses analizados.

De la misma forma ocurre con los valores de Zinc de la figura 31 ya que se observa una mejora de los valores de reconciliación para todos los meses a excepción de los meses de octubre y noviembre en los cuales los valores están por debajo del valor real (modelo corto plazo).

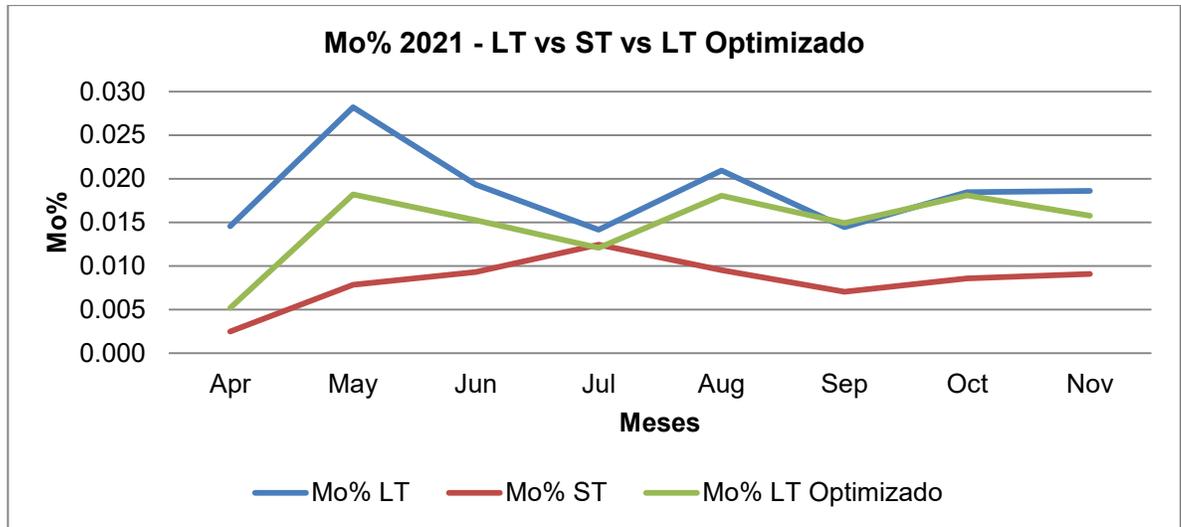


Figura 30. Reconciliación mensual por Mo%

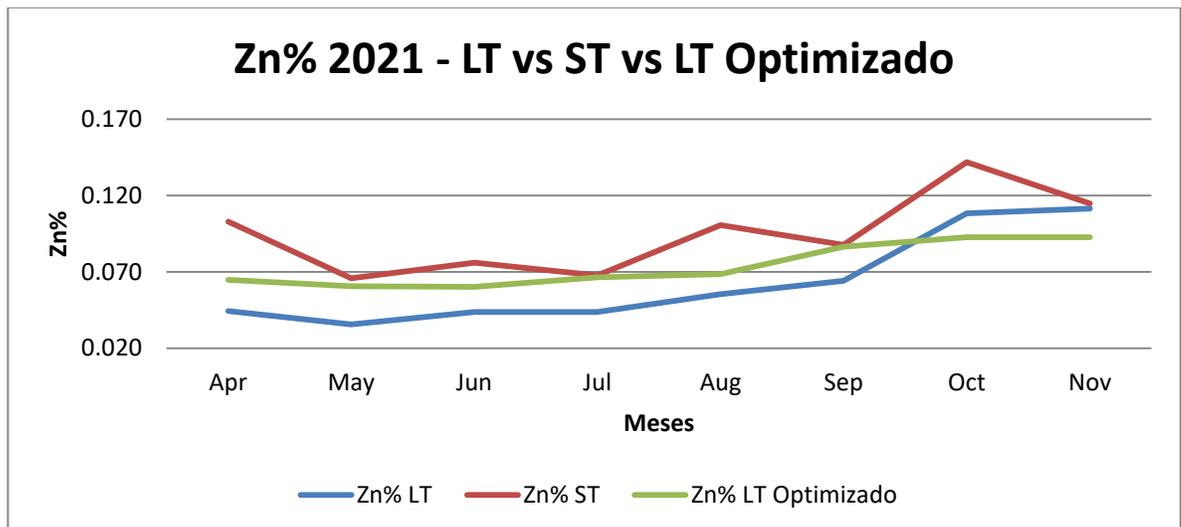


Figura 31. Reconciliación mensual por Zn%

Los valores de plomo (Figura 32) tienen un comportamiento similar a los valores de zinc, ya que ambos elementos fueron estimados usando los mismos dominios geoquímicos, se observa una disminución del sesgo ya que la curva del modelo optimizado se aproxima un poco más a comparación del modelo de largo plazo original.

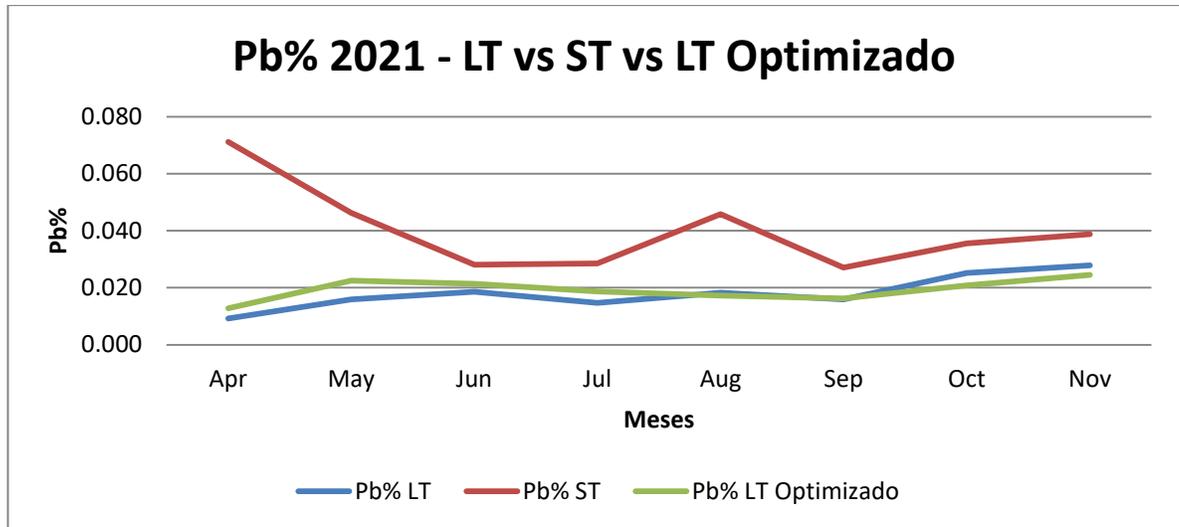


Figura 32. Reconciliación mensual por Pb%

En el caso de los valores de plata que se muestran en la Figura 33, se observa que existe una disminución del sesgo, para los meses de julio en adelante, para los meses previos a julio se observa una subestimación en comparación al modelo de largo plazo original y cortó plazo.

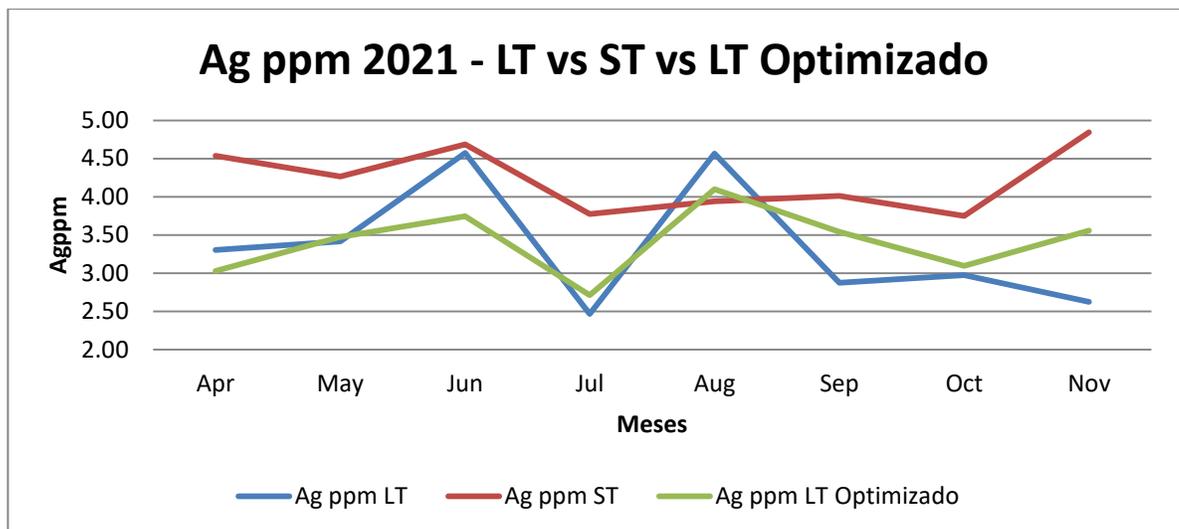


Figura 33. Reconciliación mensual por Agppm

La figura 34 muestra una mejora en la reconciliación en los valores de Oro entre el modelo de largo plazo optimizado y el modelo de corto plazo a excepción de los meses de abril, mayo en los que se observa sobre estimación.

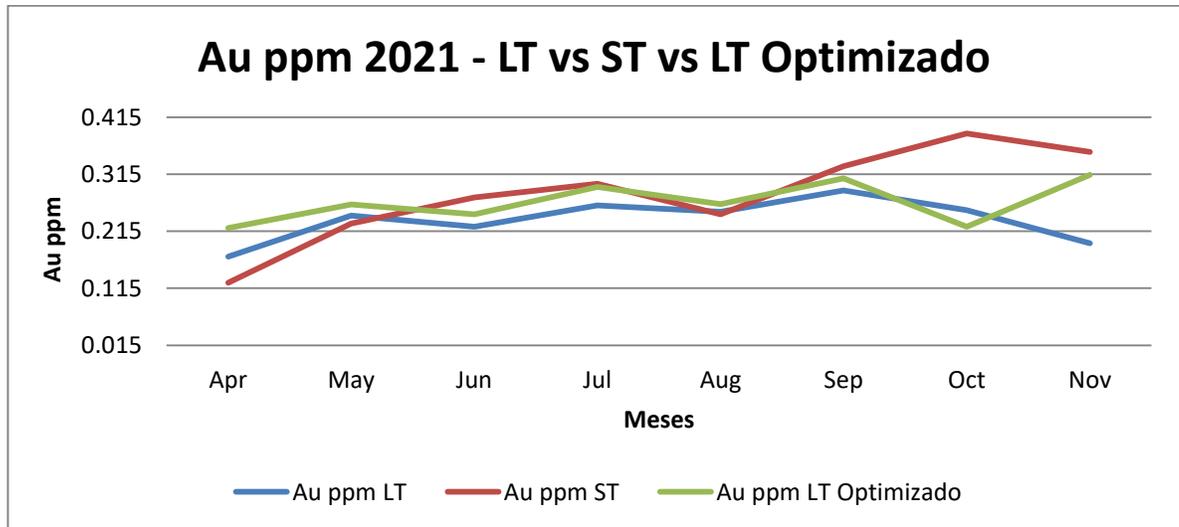


Figura 34. Reconciliación mensual por Auppm

CONCLUSIONES

Mediante el análisis geoquímico de sondajes diamantinos del yacimiento Pampacancha en el cual se realizó revisión de distribución y tendencias de los elementos de mayor interés como el Cu, Ag, Au, Mo Zn y Pb, se identificó que el 18 % de las muestras analizadas corresponden a mineral ya que superan el 0.1% de cobre de los cuales el 75 % corresponde a skarn y el resto de distribuye entre diorita, caliza mineralizada y monzonita porfírica. Siendo el skarn la litología que alberga la mayor parte de la mineralización en lo que respecta al oro y plata el 60 % de la población supera 0.2 y 3 ppm respectivamente, los valores de zinc y plomo superan 0.05 y 0.01 por ciento respectivamente en el 60 % de los casos. Para el caso de molibdeno el 60% de la población de minera supera los 50 ppm.

Se determinó la existencia de 3 dominios geoquímicos, el primero contemplo agrupar los valores de Cobre-Oro-Plata en el que existen 4 subdominios los dos primeros para valores que superan 0.5% de cobre y los dos últimos en valores que fluctúan entre 0.1 y 0.5% de Cu%. El segundo dominio corresponde a los elementos Zinc y Plomo agrupados, el que distingue 4 subdominios, los cuales se diferencian por litología y valores de Zn y Plomo menores y mayores a 0.01% en el caso de plomo y 0.05 % en el caso de Zinc . El tercer dominio corresponde al molibdeno como único elemento, cuyos subdominios se basan en litología y valores mayores a 50ppm.

Se utilizó los dominios y subdominios modelados para realizar la estimación en el modelo de bloques para los elementos cobre, oro, plata, plomo, zinc y molibdeno mediante kriging ordinario en caso de zonas de mineral e inverso a la distancia en caso de zonas de desmonte. Los dominios fueron utilizados para

restringir espacialmente la estimación a compositos que cumplieran las características del subdominio definido. Esta restricción permite definir de manera local los valores de cada elemento impidiendo que compositos que difieren demasiado de los rangos del subdominio interfieran en el valor asignado al bloque correspondiente a dicho subdominio.

Del proceso de reconciliación mensual de minado que consiste en comparar los valores del modelo de bloques de largo plazo sobre el cual se realizó la optimización y el modelo de bloques de corto plazo que se basa en datos de producción, se identificó una disminución trimestral del sesgo de 6.5% para los valores de cobre, 13% en el caso de molibdeno, 25% en el caso del zinc, 13% para el oro, 6% para plomo y finalmente 3% para plata.

Mediante la evaluación geoquímica de los valores de sondajes diamantinos se pudo identificar los dominios y subdominios que fueron aplicados durante el proceso de estimación de los elementos en el modelo de bloques, se identificó la optimización de reconciliación en un 2% para el cobre, 16 % para el zinc, 13% para el oro, 3 % para el plomo y 1% para la plata todos estos datos durante una evaluación de cortes de 8 meses de producción.

RECOMENDACIONES

- Construir un dominio geoquímico de estimación independiente para los valores de plata, esto con la finalidad de mejorar la reconciliación en los meses en los que los valores mensuales resultan sobre estimados.
- Analizar la posibilidad de implementar el uso exclusión de valores anómalos en el proceso de estimación mediante Kriging ordinario o inverso a la distancia según sea el caso.
- Implementar una corrección por varianza de Kriging una vez finalizado el proceso de estimación mediante Kriging ordinario.
- Utilizar la zonificación estructural en la determinación de subdominios de estimación.

ANEXOS

ANEXOS A: GRAFICOS DE CORRELOGRAMAS DE ELEMENTOS

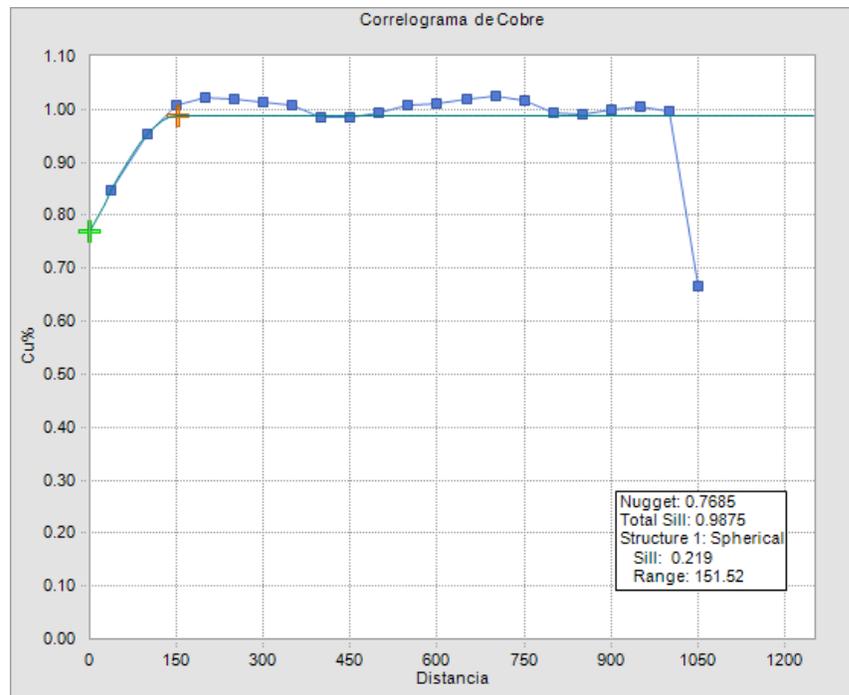


Figura 35. Grafico de correlograma de Cobre %

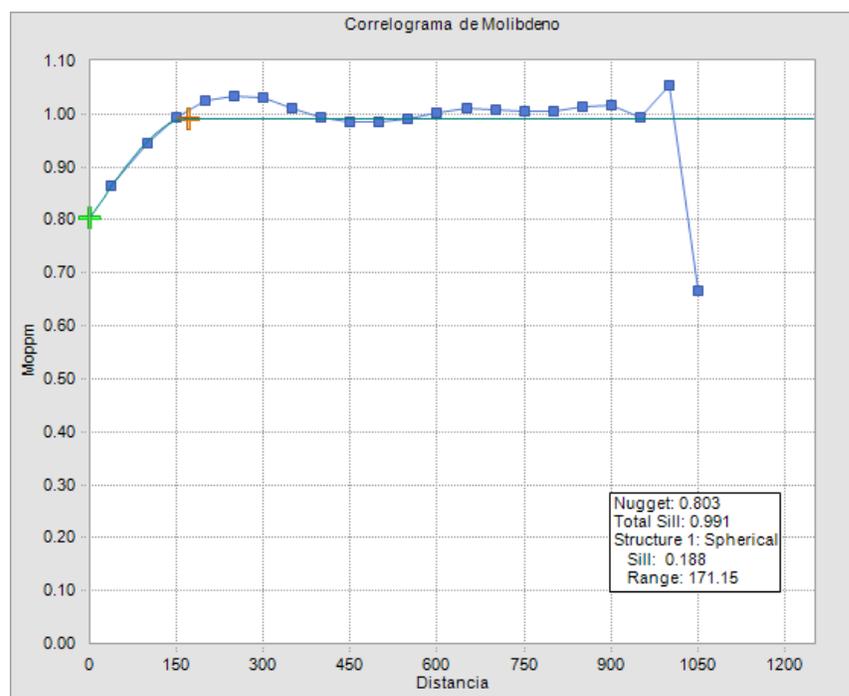


Figura 36. Grafico de correlograma de Molibdeno %

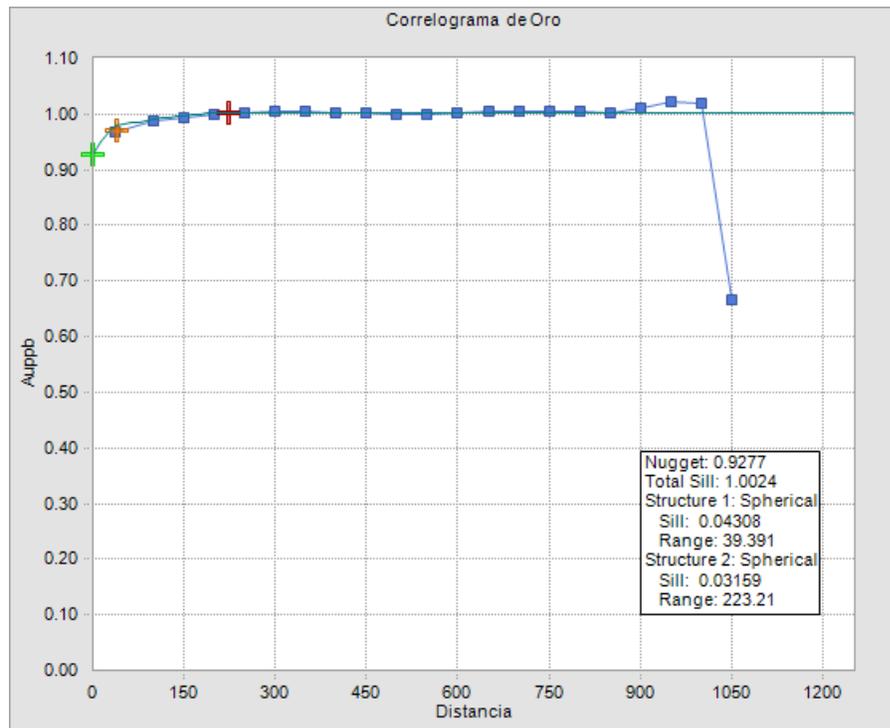


Figura 37. Grafico de correlograma de Oro (ppm)

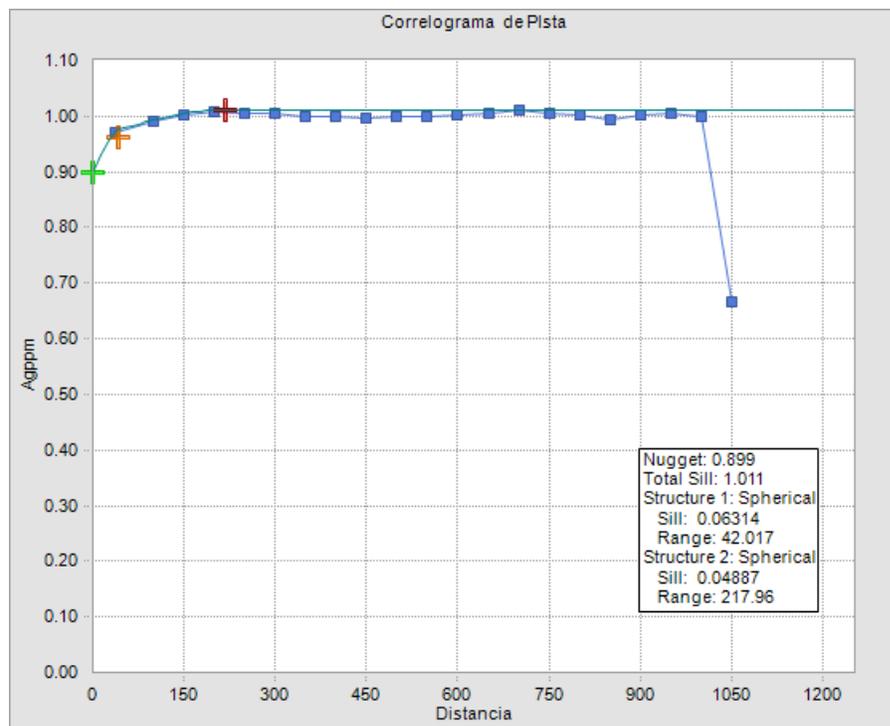


Figura 38. Grafico de correlograma de Plata (ppm)

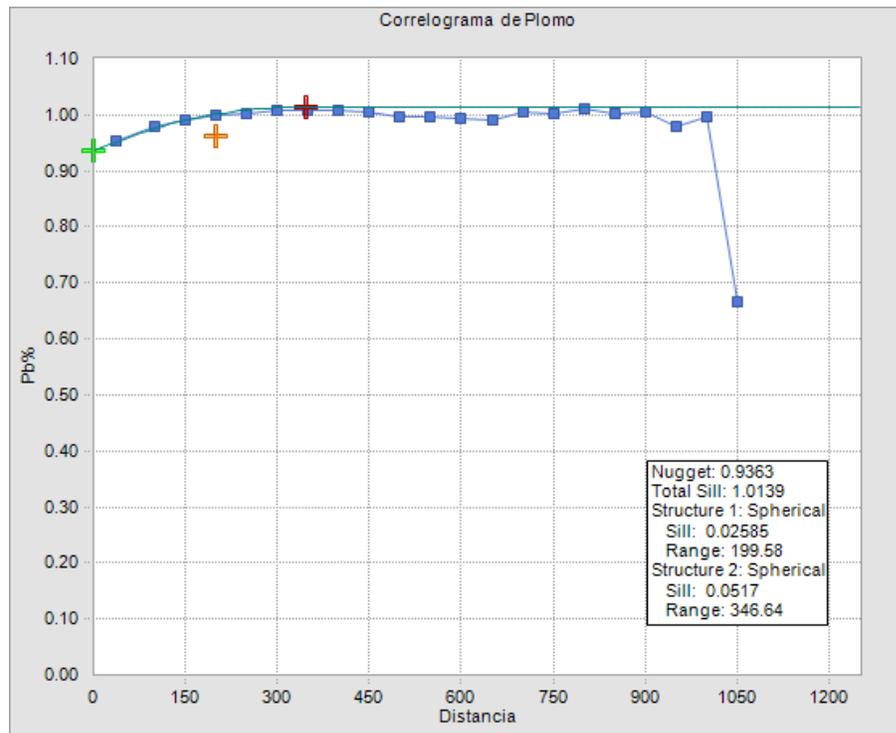


Figura 39. Grafico de correlograma de Plomo %

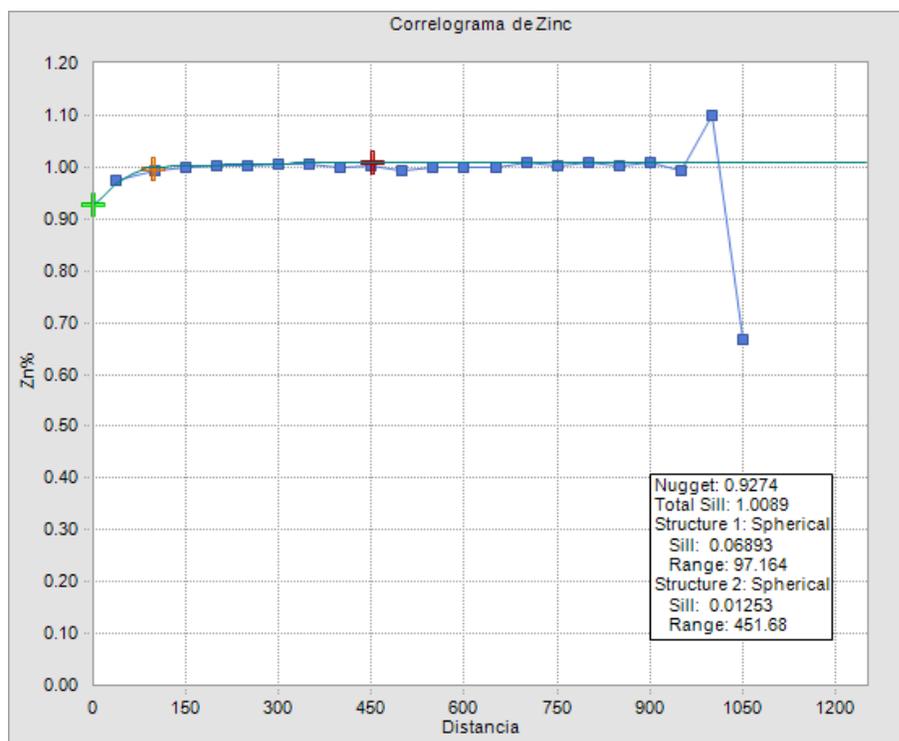


Figura 40. Grafico de correlograma de Zinc %

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, M. (2007). *Estimación de Recursos Mineros*. Escuela de Minas de París
- Ardakani, M., Shokry, A., Saki, G., Escudero, G., Graells, M., & Espuña, A. (2016). *Imputation of Missing Data with Ordinary Kriging for Enhancing Fault Detection and Diagnosis*. 26th European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 1377–1382. doi: 10.1016/b978-0-444-63428-3.50234-4
- Berbeyer, R. (1954). *Geoquímica*. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 17(2), 41-52. Retrieved January 31, 2021, from <http://www.jstor.org/stable/44164335>
- Cansino, A. (2014). *Comparación de estrategias de composición*. Memoria para optar al título de ingeniero civil de minas. Universidad de Chile facultad de ciencias físicas y matemáticas departamento de ingeniería de minas, Chile.
- Chaffee, M. (2015). *Geochemical Exploration Techniques Applicable in the Search for Copper*. Geology And Resources Of Copper Deposits United States. Geological Survey. Professional paper; 907-A, 907-B. Washington, D.C. US extraído de <https://doi.org/10.3133/pp907B>
- Cuevas, C. (2017). *Propuesta metodológica para la validación de los modelos de recursos de Codelco, Chile*. Memoria para optar al título de geóloga Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Geología. Chile extraído de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/148581>
- Cox, D. and Singer, D. (1963). *Mineral Deposit Models*. U.S. Geological Survey Bulletin
- Diodato N, Ceccarelli M (2005) *Interpolation processes using multivariate geostatistics for mapping of climatological precipitation mean in the Sannio Mountains (southern Italy)*. Earth Surf Proc Landforms 30: 259-268

Dominy, S., Noppé, M. and Annels, A. (2002). *Errors and uncertainty in Mineral Resource and Ore Reserve Estimation: The importance of getting it right*. Exploration Mining Geology, 11, 77-98.

Dominy, S., Platten, I.M., and Raine, M.(2003). *Grade and geological continuity in high-nugget effect gold-quartz reefs: implications for resource estimation and reporting*. Applied Earth Science: Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, Section B. 112, B239-B259.

Emery, X (2013). *Geoestadística*. Facultad de ciencias físicas y matemáticas de la universidad de Chile. Chile

Esbensen, K.E., Swarbrick, B., 2018. *Multivariate Data Analysis – in practice. An Introduction*. 6th ed. IMPublishing.

Gy, P., 2004. *Sampling of discrete materials - a new introduction to the theory of sampling -Qualitative approach*. Chemometrics Intellig. Lab. Syst. 74, 7-24

Goldschmidt, V. (1954) *Geochemistry*. Clarendon Press, 730 p., Oxford.

Hudbay Minerals Inc. (2017). *NI 43-101 Technical Report*, Toronto, Canada.

Journel, A. and Froidevaux, R.(1982) *Anisotropic hole-effect modeling*. Math Geol 14:217–239

Korzhinskii,D (1959).*Theory of metasomatic zoning*. Oxford Clarendon Press, Nueva York, 162pp.

Lepeltier, C. (1969) *A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation*: Econ. Geology, v. 64, no. 5, p. 538-550 extraído de <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.64.5.538>

Maksaev, V. (2001). *Reseña metalogénica de Chile y de los procesos que determinan la metalogénesis Andina*. Santiago, Chile.

Matheron, G (1969) *Curso De Geoestadística*. Centro de Geoestadística de la Escuela de Minas de París, Francia extraído de <https://docplayer.es/18446861-Curso-de-geoestadistica.html>

Medrano, C. (2011). *Metodología de estimación de recursos minerales y reconciliación de reservas de la veta Jimena en el sector norte del batolito de Pataz*. Informe de competencia profesional para optar el título profesional de Ingeniero Geólogo. Universidad Nacional De Ingeniería Facultad de Ingeniería Geológica Minera Y Metalúrgica. Lima-Perú.

Meinert LD, Dipple GM, and Nicolescu S (2005) *World skarn deposits*. Economic Geology 100th Anniversary Volume, 299–336.

Mining Geologist (2020). *Why Drillhole Compositing before Resource Estimation is Important?* Recuperado de <https://mining-geologist.com/index.php/2020/10/06/why-drillhole-compositing-before-resource-estimation-is-important/> el 07 de Julio del 2022.

Nader IA, Wein RW (1998) *Spatial interpolation of climatic normals: test of a new method in the canadian boreal forest*. Agric Forest Meteorol 92: 211-225

Pat Shanks, W. C. (2014). *Stable Isotope Geochemistry of Mineral Deposits. Treatise on Geochemistry*, 59–85. doi:10.1016/b978-0-08-095975-7.01103-7

Perez, S. (2016). *Aplicación de geoestadística como metodología para la estimación de recursos de un yacimiento sedimentario*. Práctica empresarial como modalidad de grado para la obtención del título de Ingeniera Geóloga. Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia, Colombia

Shepard D (1968) *A two-dimensional interpolation function for irregularly spaced data*. Proceedings of the 1968 23rd ACM, ACM Press, New York

Tornos, F.(2015). *Los skarns y mineralizaciones asociadas del Sistema Central Español: modelo de caracterización petrológica, geoquímica y metalogénica*. Memoria para optar al grado de doctor. Universidad Complutense De Madrid. Facultad De Ciencias Geológicas.

Townley, B. (2000). *Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimientos. Geología Económica*. Departamento de Geología, Universidad de Chile.

Oyarzun, R. (2011). *Introducción a la Geología de Minas. Exploración y Evaluación* Facultad de Ciencias Geológicas. Universidad Complutense Madrid España