

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**Evaluación geoestadística del cuerpo mineralizado Karol -**

**Mina Raura**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Geólogo**

**Autor: Bach. Stefany Karol ROJAS ROJAS**

**Asesor: Mg. Vidal Victor CALSINA COLQUI**

**Cerro de Pasco - Perú - 2019**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS**

**Evaluación geoestadística del cuerpo mineralizado Karol -**

**Mina Raura**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

Mg. Luis Arturo LAZO PAGAN  
PRESIDENTE

---

Ing. Eder Guido ROBLES MORALES  
MIEMBRO

---

Ing. Ramiro Ernesto DE LA CRUZ FERRUZO  
MIEMBRO

## **DEDICATORIA**

A Dios, mis padres y hermanos por siempre darme lo mejor de cada uno y apoyarme en este camino largo y complicado que es la minería.

## RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo conocer el comportamiento geoestadístico de la mineralización del cuerpo Karol de la Mina Raura.

Es necesario determinar el comportamiento geológico y geoestadístico de la mineralización del mencionado Cuerpo, para establecer la estimación de recursos.

Los rasgos característicos para la identificación de este Cuerpo en la Mina Raura ha sido básicamente encontrarnos en una zona favorable para la mineralización como zonas de contacto metasomático entre las calizas e intrusivos pórfidos cuarcíferos con importantes leyes de Ag, Zn, Pb y Cu. Así mismo, es importante el control estructural asociada con la mineralización.

El entendimiento de las características geológicas del Cuerpo requiere de un análisis, así como es necesario conocer los controles geológicos de mineralización del Cuerpo Karol y determinar la estimación de recursos.

La estimación de recursos se realiza utilizando la Geoestadística, para ello se realiza una serie de procesos, los cuales servirán como parámetros de entrada para la estimación de recursos.

**Palabras clave:** Comportamiento geoestadístico, Estimación de recursos, Controles geológicos.

## **ABSTRACT**

This thesis aims to know the geostatistical behavior of the mineralization of the Karol body of the Raura Mine.

It is necessary to determine the geological and geostatistical behavior of the mineralization of the mentioned Body, to establish the estimation of resources.

The characteristic features for the identification of this Body in the Raura Mine has been basically to find ourselves in a favorable zone for mineralization as zones of metasomatic contact between limestone and intrusive porphyry quartziferous with important laws of Ag, Zn, Pb and Cu. Likewise, the structural control associated with mineralization is important.

The understanding of the geological characteristics of the Body requires an analysis, as well as it is necessary to know the geological controls of mineralization of the Karol Body and determine the estimation of resources.

The estimation of resources is carried out using Geostatistics, for this a series of processes are carried out, which will serve as input parameters for the estimation of resources.

**Keywords:** Geostatistical behavior, Resource estimation, Geological controls.

## INTRODUCCIÓN

El yacimiento minero Raura, está enmarcado dentro de la provincia metalogénica polimetálica en la franja sedimentaria mesozoica de la cordillera occidental, tipificado como un yacimiento del tipo Skarn de Zn-Pb, el cual se desarrolló dentro en un ambiente de óxido-reducción.

La profundidad de emplazamiento de las diferentes series magmáticas corresponden a un nivel mesotermal, los cuales fueron generados a partir de plutones precursores de trasarcos correspondientes al batolito de la cordillera blanca, generando cámaras de magma parental los cuales proporcionaron el magma necesario para la formación de los stocks granodioríticos y monzoníticos de 10-15 Ma y diques sub volcánicos de cuarzo monzonita y dacita porfidítica de 7-10 Ma respectivamente, ambos con una composición calco alcalina emplazados por debajo de las tobas de lapilli soldadas del cenozoico.

Estructuralmente se halla en el borde oeste de la Faja Corrida, Plegada y Fallada del Marañón, limitada regionalmente por la Falla Chonta y Sistemas de Fallas del Marañón; localmente se encuentra relacionada directamente por el oeste a la Falla Chonta y por el este a la Falla Raura ambas de rumbo andino NW-SE, estos sistemas están conformados por dos o más fallas, de las cuales se puede decir que, las fallas con buzamiento menor corresponden a fallas inversas y de corrimiento, en cambio las fallas con buzamiento sub verticales son fallas transcurrentes; también presenta un segundo sistema fallas transversales de las cuales se diferencian tres familias NWW-SEE, E-W y NE-SW, las dos primeras conforman un corredor estructural transversal al rumbo andino.

Los depósitos minerales del yacimiento minero Raura, presentan una paragénesis de Cu-Zn-Pb-Ag, la mineralización se encuentra estrechamente ligada a las zonas de contacto con stocks de cuarzo monzonita y granodiorita con rocas carbonatadas pertenecientes a la formación Jumasha del Cretáceo Superior; se puede distinguir una etapa de

mineralización progradada de granate-piroxeno cálcico y una fase retrogradada con calcita, epidota, cuarzo, clorita, y sulfuros. Los minerales metálicos son la Calcopirita, Esfalerita, Galena, Galena Argentífera, Pirita, y Freibergita.

Aparentemente existe una relación directa entre la mineralización de Skarn y los diferentes sistemas estructurales los cuales muestran una transición de zonas de contacto a enriquecimiento en vetas, clavos y bolsonadas mineralizadas como se muestra en el cuerpo Skarn Santa Rosa; los pórfidos propiamente dicho poseen un sistema de venillas Tipo A, B, y D cuanto más profundo las leyes de Cu-Mo se hacen más notorias.

## INDICE

**DEDICATORIA**

**RESUMEN**

**ABSTRACT**

**INTRODUCCIÓN**

**INDICE**

### CAPITULO I

#### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del Problema .....	- 1 -
1.2. Delimitación de la Investigación .....	- 1 -
1.3. Formulación del Problema.....	- 2 -
1.3.1 Problema general.....	- 2 -
1.3.2 Problema específico .....	- 2 -
1.4. Formulación de Objetivos.....	- 2 -
1.4.1. Objetivo General .....	- 2 -
1.4.2. Objetivos Específicos .....	- 2 -
1.5. Justificación de la investigación .....	- 3 -
1.6. Limitaciones de la investigación.....	- 3 -

### CAPITULO II

#### MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de Estudio.....	- 4 -
2.2. Bases teóricas -científicas.....	- 4 -
2.2.1 Generalidades.....	- 4 -
2.2.2 Yacimientos tipo Skarn .....	- 39 -
2.3. Definición de términos básicos.....	- 75 -

2.4. Formulación de Hipótesis .....	- 81 -
2.4.1. Hipótesis general .....	- 81 -
2.4.2. Hipótesis específicas .....	- 82 -
2.5. Identificación de variables .....	- 82 -
2.5.1. Variable Independiente .....	- 82 -
2.5.2. Variable Dependiente .....	- 82 -
2.5.3. Variable Interviniente .....	- 82 -
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	- 82 -

**CAPÍTULO III  
METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1. Tipo de investigación.....	- 84 -
3.2. Métodos de investigación .....	- 84 -
3.3. Diseño de la investigación .....	- 84 -
3.4. Población y Muestra .....	- 85 -
3.5. Instrumentos de recolección de datos .....	- 85 -
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	- 85 -
3.7. Tratamiento estadístico.....	- 85 -
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación .....	- 86 -
3.9 Orientación ética .....	- 94 -

**CAPITULO IV  
RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1 Descripción del trabajo de campo.....	- 95 -
4.1.1 Bloque de cubicación .....	- 95 -
4.1.2 Cálculo de leyes .....	- 95 -
4.1.3 Desarrollo.....	- 102 -
4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados .....	- 105 -
4.2.1 Método Geoestadístico .....	- 105 -
4.2.2 Responsabilidades .....	- 106 -

4.2.3 Controles .....	- 106 -
4.2.4 Revisión y mejoramiento continuo .....	- 107 -
4.2.5 Procedimiento .....	- 107 -
4.3 Prueba de hipótesis .....	- 112 -
4.3.1 Geoestadística del cuerpo Karol.....	- 112 -
4.3.2 Validación mediante volúmenes .....	- 119 -
4.3.3 Modelo de bloques cuerpo Karol .....	- 120 -
4.4 Discusión de resultados .....	- 121 -

**CONCLUSIONES**

**RECOMENDACIONES**

**BIBLIOGRAFÍA**

**ANEXOS**

Matriz de Consistencia

## **CAPITULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del Problema**

Es importante cuantificar los recursos minerales y realizar el estudio geoestadístico correspondiente, incluso diseñar la forma de explotar la mina. Por lo tanto, es necesario establecer un método de cuantificar los recursos minerales del cuerpo Karol utilizando estratégicamente, los parámetros de la geoestadística.

#### **1.2. Delimitación de la Investigación**

La presente investigación, tendrá sus delimitaciones en:

a) Delimitación temporal

En el estudio que se llevara a cabo, reúne las condiciones de una investigación actual que abarca de Diciembre del 2016 a Diciembre del 2017

b) Delimitación espacial

La investigación e lleva a cabo a nivel de la actividad de la Geología y Geoestadística

c) Delimitación social

Ejecutivos y trabajadores de la mina Raura

d) Delimitación geológica

Se tomara en cuenta el comportamiento geológico y de manera que esta influye a la hora de cuantificar los recursos minerales a través de la Geoestadística.

e) Alcances de la investigación en el área de influencia

El área de influencia, de la investigación está determinado en los departamentos de Huánuco (Provincia de Lauricocha, distrito de San Miguel de Cauri), Lima (Provincia y distrito de Oyón) y Pasco (Provincia Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca).

### **1.3. Formulación del Problema**

#### **1.3.1 Problema general**

¿La evaluación geoestadística de la mineralización del Cuerpo Karol, determinará el incremento de reservas minerales en la Mina Raura?

#### **1.3.2 Problema específico**

- a. ¿De qué manera se podrá categorizar los recursos minerales?
- b. ¿En qué tipo de yacimiento y geología nos encontramos?
- c. ¿Qué tipo de controles estructurales de mineralización encontramos en la zona?
- d. ¿Cuáles son los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos?

### **1.4. Formulación de Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Determinar el comportamiento geoestadístico del Cuerpo Mineralizado Karol de la Mina Raura.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- a. Categorizar los recursos minerales

- b. Caracterizar la geología del yacimiento.
- c. Conocer los controles estructurales de la mineralización.
- d. Conocer los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos

### **1.5. Justificación de la investigación**

El proyecto se justifica porque es necesario conocer el comportamiento geológico y geoestadístico de la mineralización del Cuerpo Karol, contribuyendo a la geología de la zona y esto se retribuye en el incremento de reservas de minerales creando un aporte benéfico y económico para el yacimiento minero.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

La información solo es para el yacimiento estudiado.

La información del yacimiento Raura es restringida

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de Estudio**

Se tiene la tesis titulada “Formulación de un modelo geológico – estructural, en el sistema skarn Santa Rosa Compañía Minera Raura” realizado por A. J. Suaña A., donde se expone la importancia de los yacimientos tipo Skarn, al cual pertenece el Yacimiento de Raura.

Es importante conocer el comportamiento geoestadístico de la mineralización del cuerpo Karol para incrementar las reservas de minerales del yacimiento y mejorar la vida útil del yacimiento.

#### **2.2. Bases teóricas -científicas**

##### **2.2.1 Generalidades**

###### **Ubicación**

El yacimiento minero Raura se encuentra ubicado entre los departamentos de Huánuco (Provincia de Lauricocha, distrito de San Miguel de Cauri), Lima (Provincia y distrito de Oyón) y Pasco (Provincia Daniel Alcides Carrión, distrito de Yanahuanca), a una altura promedio de 4,700 m.s.n.m.; forma parte de la Cordillera Occidental de los andes peruanos y se ubica en la

divisoria continental de las cuencas del Pacífico y del Atlántico, formando una cabecera de cuenca de los ríos Huaura y Marañon (Imagen N°01)

Raura abarca una extensión delimitada por las siguientes coordenadas UTM

(Datum PSAD 56):

- Norte: (8840000 - 8848000) N
- Este: (304000 - 313000) E



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLOGICA	
PLANO DE UBICACIÓN DE YACIMIENTO MINERO RAURA	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Celsina Colqui
I-01	

## Accesibilidad

El yacimiento minero Raura es accesible por una ruta de 415 Km la cual se indica a continuación:

TRAMO	Km	TIPO DE ACCESO	CONDICIONES
LIMA- HUACHO	170	ASFALTADA	MUY BUENA
HUACHO-SAYAN	50	ASFALTADA	BUENA
SAYAN-CHURIN	61	AFIRMADA	REGULAR
CHURIN-OYON	74	ASFALTADA	BUENA
OYON - RAURA	60	AFIRMADA	BUENA
<b>TOTAL</b>	<b>415</b>		

## Clima

Existen dos ciclos climáticos claramente diferenciados, los cuales se desarrollan a lo largo del año y constan de:

Seis meses de intensas precipitaciones fluviales correspondientes al verano austral, comprendidos entre los meses de Noviembre a Abril.

Seis meses de Verano, comprendidos entre los meses de Mayo a Octubre.

La temperatura en la estación de verano varía de 3° a 20° C y en invierno de -4°C a 14°C, la velocidad de los vientos alcanza los 45 Km/h en el mes de Agosto. Dependiendo de la época del año, la temperatura suele variar de acuerdo a la estación.

## Geomorfología

El yacimiento minero Raura se encuentra enmarcado dentro la cadena montañosa perteneciente a la Cordillera Occidental de los Andes peruanos, las rocas calcáreas muestran el labrado de los circos glaciares que corresponden a la sub cuenca del Marañón. Los glaciares se encuentran confinados en las partes altas bajo la forma

de lenguas de retroceso en las diversas circlas y en los casquetes que cubren los picos terminales. En las partes bajas se encuentran extensos depósitos de morrenas.

El relieve de la zona es extremadamente abrupto y accidentado con grandes escarpados y fuertes pendientes del orden de 50 a 60°. En las zonas existen terrazas ligeramente onduladas ubicadas en desniveles importantes de aproximadamente 50 a 100 m. Las áreas planas están cubiertas en su mayor parte por lagunas y bofedales, las cuales exhiben en sus orillas los frentes de retroceso de los glaciares.

### **Fauna y flora**

Existen un total de cinco tipos de vegetación: pajonal (alto y bajo), bofedal, vegetación de roquedal, matorral y vegetación acuática, siendo el pajonal el tipo de vegetación que alberga el mayor número de especies. Asimismo, se han identificado siete especies endémicas y seis especies amenazadas. La composición de especies y familias vegetales que se registra en el área es típica de las zonas alto andinas del Perú, no registrándose variaciones marcadas a lo largo del tiempo. Sin embargo, se reporta una disminución de la cobertura vegetal de algunas especies, relacionada con el régimen de quema realizado por parte de los pobladores locales (Imagen N°2)

En cuanto a la fauna encontramos a la Vicuña y Alpaca, auquénidos muy comunes de climas fríos. También se encuentra animales como Cóndor, Zorro y Huachua. (Imagen N°3)



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<b>VEGETACIÓN TIPO BAJONAL BAJO</b>	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Calsina Colqui
<b>I-02</b>	



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<b>FAUNA COMUNENTE DE CLIMAS FRIOS</b>	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Calsina Colqui
<b>I-03</b>	

## **Geología regional**

El entorno regional del yacimiento minero Raura se constituye a partir del afloramiento de una cadena montañosa perteneciente al flanco Occidental de la Cordillera de los Andes Peruanos (Imagen 04)

Las rocas que constituyen el basamento continental, no afloran dentro de la región, pero se sabe que forman el piso sobre el cual se depositó la secuencia sedimentaria; las estructuras y movimientos de dicho basamento determinaron la situación del geoanticlinal del Marañón y de la Cuenca Occidental; esta parte del cinturón andino la podemos considerar, en forma general, como una zona de fallas paralelas y poco espaciadas que llegaron a afectar hasta el basamento Pre-Cambriano, dando lugar a movimientos relativos que han producido cuencas sedimentarias y horst intermedios.

La secuencia de los depósitos sedimentarios, se formó a partir de secuencia relativamente delgada de sedimentos de plataforma durante el Cretáceo, que ahora corresponde a la Cordillera Oriental y el Altiplano, actuando como un bloque positivo. Inmediatamente después se inició la sedimentación de la cuenca occidental del Perú, caracterizada por ser una de las más potentes, pero similar en muchos aspectos a la de cordillera Oriental y el Altiplano.

En la región afloran unidades estratigráficas, cuyas edades fluctúan desde el Jurásico superior al Terciario inferior y están conformadas por rocas sedimentarias, volcánicas e intrusivas.

La base de las unidades sedimentarias expuestas en la región Raura – Uchucchacua están conformadas por los sedimentos silicoclásticos del Grupo Goyllarisquizga del Cretáceo inferior. Esta secuencia aflora a 4 km al Sur de la mina Raura, en contacto con los niveles superiores calcáreos pertenecientes a la

Formación Pariatambo, el contacto entre estas dos unidades sedimentarias se da a partir de un sobre-escurrimiento ocasionado por la falla chonta.

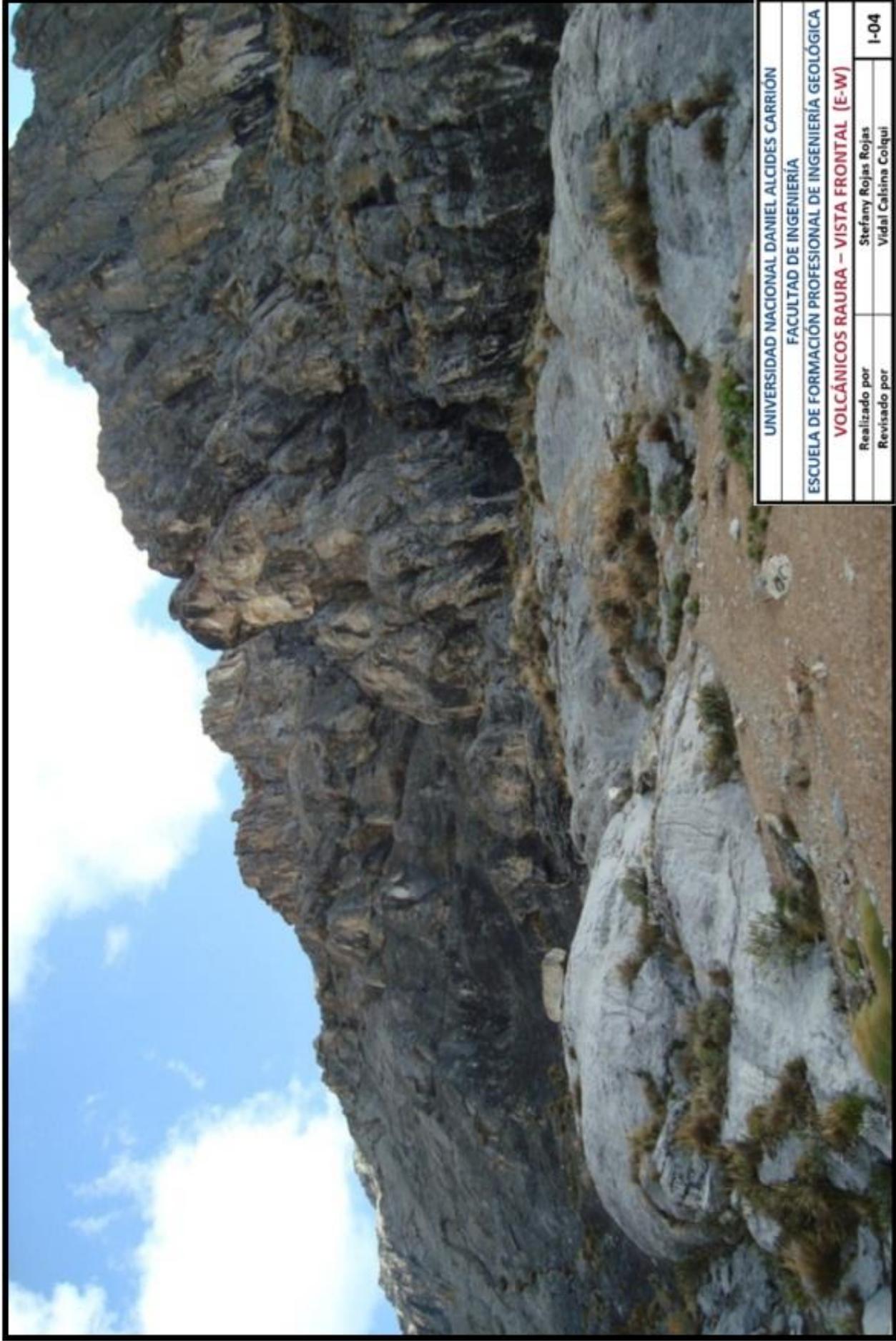
Por cambios de facies las rocas del Cretáceo inferior (niveles superiores) a superior, compuestas por las formaciones Pariahuanca, Chúlec, Pariatambo y Jumasha, se hacen cada vez más calcáreas; luego, hacia el tope de la secuencia, cambia a una alternancia de calizas arenosas y margosas conocidas como la formación Celendín. La Formación Jumasha es el metalotecto más importante en la región, la misma que se expone ampliamente como una potente secuencia sedimentaria entre las minas Uchucchacua y Raura. Culminando este ciclo sedimentario se tienen afloramientos continentales de la Formación Casapalca del Cretáceo-Terciario al Norte de la Mina Raura y al Este de la Mina Uchucchacua.

Rocas volcánicas Terciarias del Grupo Calipuy cubren indistintamente, en discordancia angular, a las rocas Mesozoicas e intrusivas. Otras rocas de edad Terciaria de composición dacítica a riodacítica, así como stocks y subvolcánicos porfiríticos de tipo granodiorita, granito, diorita y andesita, se encuentran en las inmediaciones de las minas Uchucchacua y Raura.

Estructuralmente la región estuvo sometida a los ciclos evolutivos de la tectónica Andina, plegando y fallando a toda la secuencia del Mesozoico, creando zonas de debilidad cortical por donde se desarrollaron diferentes eventos plutónico - volcánicos y de mineralización en la región.

Fuerzas de compresión NE-SW originaron un sistema de estructuras Andino N-NW, que ha generado la presencia de fuertes plegamientos y sobre-escurrimientos en la misma dirección. La falla Chonta, ubicada en el extremo Oeste del distrito minero de Raura, es una de las principales estructuras regionales de rumbo NorOeste que se comporta como una falla inversa de sobre-

escurrimiento. Un segundo sistema de fallas tensionales E-W en la zona de Raura, y E-W a NE en la zona de Uchucchacua, son las estructuras más favorables para el fracturamiento de las rocas. La intersección de fracturas y un horizonte favorable como son el Jumasha medio e inferior constituyen los lugares más favorables para la formación de depósitos minerales dentro del yacimiento minero.



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<b>VOLCÁNICOS RAURA - VISTA FRONTAL (E-W)</b>	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Calsina Colqui
I-04	

### **Geología local**

El contexto geológico del yacimiento minero Raura viene precedido por la ocurrencia de múltiples eventos geológicos; tales eventos se desarrollaron en un marco estructural complejo (Imagen 05), los cuales comprenden múltiples repeticiones tectónicas en las unidades estratigráficas del Cretácico, además del plegamiento, fallamiento y cabalgamiento de los sedimentos calcáreos mesozoicos de las Formaciones Jumasha y Celendín; la preparación estructural del yacimiento minero se dio durante la fase tectónica Quechua II, a lo largo de la falla Chonta N-NW en forma de un salto estructural con fallas sigmoidales NE-SW.

El ascenso de magma coetáneo al batolito de la Cordillera Blanca, con una edad aproximada de alrededor de 10 a 11 Ma., Erupción magmática masiva de piroclásticos (tobas de Lapilli) de varios kilómetros cúbicos y subsecuente colapso del área de erupción en forma de caldera. La caldera de 2 x 2.5 km extensión tiene forma rómbica limitada por las principales fallas del distrito. Subsistencia de bloques de las calizas y relleno de la cubeta de caldera con tobas de lapilli soldada en un espesor de probablemente mucho más de 1200 m, actualmente se encuentran preservados al menos 600 m verticales.

Magmatismo resurgente lleva a la intrusión de stocks de composición diorítica - granodiorítica - cuarzo monzonítico en el sector Oeste de la caldera, indicando la zona alimentadora principal. Brechas de turmalina en la cúpula de intrusivo indican el alto nivel de emplazamiento.

Ascenso y emplazamiento de diques y stocks de pórfido de cuarzo y en zonas periféricas como el dique Siete Caballeros y diques dacíticos en el lado Oeste del glaciar Brazzini hasta la zona Surasaca.

Erosión parcial del sistema y erupción de diatremas (Complejo de Brechas) probablemente causado por la cristalización y el ascenso de magma cuarzo-

porfirítico a nivel distrital (Sta. Ana-Esperanza-Farallón-Santa Rosa-Putusay-Surasaca). Intrusión de diques y stocks tipo pórfido de cuarzo en la diatrema principal del Complejo de Brechas, alrededor de 8 Ma.

Establecimiento de un sistema epitermal en la zona del complejo de brechas. Erupción de brechas hidrotermales - freáticas. Erosión hasta nivel de raíz de caldera. Skarnización se presenta principalmente en el contacto de los intrusivos granodioríticos a monzodioríticos con las calizas roca huésped (Imagen 06). La mineralización conocida está relacionada a la reactivación de las fallas sigmoidales NE-SW y skarn retrogrado (exoskarn y también endoskarn).



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**COMPLEJO DE BRECHA-MUESTRA DE MANO**

Realizado por

Stefany Rojas Rojas

Revisado por

Vidal Calsina Colqui

I-05



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**CONTACTO: GRANODIORITA-PÓRFIDO CUARZO MONZONITA**

Realizado por

Stefany Rojas Rojas

Revisado por

Vidal Calisima Colqui

I-06

## **Geología estructural**

En Raura, los sistemas de fallas que conforman la Faja Corrida, Plegada y Fallada del Marañón, de oeste a este son, el sistema de fallas Chonta, el sistema de fallas Restauradora, y el sistema de fallas Raura y Oriental. Cada uno de los sistemas están conformados por dos o más fallas, de las cuales se puede decir que las fallas con buzamiento menor corresponden a fallas inversas de corrimiento, en tanto que las fallas verticales son fallas transcurrentes.

En el sistema de fallas transversales se pueden diferenciar tres familias, NWW-SEE, E-W y NE-SW, las dos primeras conforman un corredor estructural transversal al rumbo andino; en Raura este corredor tiene aproximadamente 4 km de ancho y está delimitado por el norte con la falla Matapaloma y por el sur con la falla Brazzini. Desde el punto de vista regional las fallas transversales forman un sistema de fallas de transferencia.

### **Fallas longitudinales**

El sistema de fallas longitudinales corresponde a las fallas regionales de rumbo andino. En Raura existen tres sistemas estructurales definidos, los cuales son denominados, sistema de fallas Chonta, falla Raura y falla Oriental. Adicionalmente se puede considerar un cuarto sistema que corresponde a la falla Restauradora.

#### **Sistema de fallas chonta**

El sistema de falla Chonta está compuesto por tres fallas principales, Chonta Oriental, Chonta Central y Chonta Occidental; de las tres, la falla Chonta Oriental es la que presenta un buzamiento más suave de aproximadamente 70° SW.

##### **a. La falla Chonta Oriental**

Aflora en la parte sur del yacimiento, cerca al túnel Shucshapaj; la falla Chonta Oriental ocasiona el cabalgamiento de la Formación Pariatambo sobre el

Jumasha IV, este movimiento estructural se repite en varios sectores, tal es el caso del sector de Jimena donde ocasiona el cabalgamiento de la Formación Chulec sobre el Jumasha IV. Finalmente al norte, en el sector de Gayco, la falla Chonta Oriental, pone al Jumasha II sobre la Formación Celendín.

**b. La falla Chonta Central**

Se muestra manifiesto en el sector Jimena-Shucshapaj, la falla Chonta Central ocasiona el cabalgamiento de la Formación Chulec sobre la Formación Pariatambo, su buzamiento es cercano a la vertical pero con tendencia al SW; sin embargo en algunos sectores puede tener un buzamiento al NE, tal es el caso de la zona de la veta Yanco. El cambio de buzamiento, aparentemente, se debe a la presencia de zonas sigmoidales verticales a la largo de la traza de esta falla.

**c. La Falla Chonta Occidental**

Se manifiesta en el sector de Jimena- Shucshapaj, su buzamiento es cercano a la vertical y desplaza a las calizas marmolizadas de la Formación Jumasha, igualmente en el sector de Gayco afecta a las calizas marmolizadas de la Formación Jumasha.

**Sistema Restauradora**

El sistema de fallas Restauradora está constituido por dos fallas principales, la falla Restauradora y la falla Condorsencca. La traza del sistema de fallas Restauradora se manifiesta desde el norte a partir del glaciar Niño Perdido, el cual es interrumpido por la ocurrencia de pulsos intrusivos (caldera Raura); más al sur, vuelve aparecer en el glaciar Condorsencca proyectándose hacia la laguna Suerococha. La traza de la falla tiene una dirección aproximada N 160°, el buzamiento es variable, siendo cercano a la vertical en el sector de Niño perdido y 50° SW en el sector de Condorsencca.

**a. La Falla Restauradora**

Se manifiesta entre el glaciar Condorsencca y Shuchshapaj, colocando al Jumasha III sobre el Jumasha IV. Mientras que al norte del yacimiento la traza de la falla pasa por el tajo de niño perdido.

**b. La Falla Condorsencca**

Se encuentra en el glaciar del mismo nombre, posee un buzamiento cercano a los  $50^{\circ}$  W y ocasiona el cabalgamiento del Jumasha III sobre el Jumasha IV, su nivel de despegue es un nivel margoso que puede corresponder al contacto entre el Jumasha II, y el Jumasha III; en su trayecto hacia el sur se une a la falla Restauradora formando una sola estructura. Las fallas Restauradora y Condorsencca son interrumpidas o cortadas por las fallas transversales, en este caso por la Falla Putusay bajo, de dirección E-W.

**Falla Raura**

La Falla Raura posee rumbo N  $150^{\circ}$  y un buzamiento de  $70^{\circ}$  SW. La relación geométrica entre los buzamientos del estrato y de la falla, permiten inferir que la falla Raura puede cambiar de buzamiento. En el sector norte se une con la falla Flor de Loto, la cual corresponde a una rampa lateral del sistema Raura. La traza de la falla pasa por el este de la laguna Santa Ana, hacia el Sur se proyecta a la laguna Puyhuancocha, y hacia el oriente con las labores mineras del sector de Puyhuancocha; en este sector, la actividad de la falla ha formado brechas tectónicas sin mineralización. Más al sur la falla Raura coincide con el sistema de fallas que pasan por el oeste del depósito de Garpo y las fallas de Pozo Rico, las cuales están cartografiadas en el plano estructural de Valdivia et al. (2005).

### **Falla oriental**

La Falla Oriental es una falla inversa de dirección N 160° con buzamientos que varían de 60 y 70° W. Su traza pasa por el este de la laguna Tinquicocha, siendo desplazada por la falla Nieve Ucro; posteriormente continúa por el sector de Siete Caballeros en donde limita al anticlinal de Raura.

El anticlinal de Raura es un pliegue de falla ocasionado por la actividad inversa de la Falla Oriental que hace repetir al Jumasha II. Las reactivaciones de la Falla Oriental han originado brechas tectónicas en el bloque techo, sin embargo estas no están mineralizadas.

### **Fallas transversales**

Las fallas transversales al rumbo andino se encuentran cortando las fallas longitudinales del Distrito Minero de Raura. Estas fallas son de dirección NWW-SEE, E-W y NE-SW y están relacionadas al emplazamiento de magmatismo y fluidos mineralizantes. Se han identificado tres sistemas de fallas transversales:

- Sistema NWW-SEE: Farallón, Brazzini, Matapaloma, Puyhuancocha y Oblicua.
- Sistema E-W: Santa Rosa, Margot, Putusay bajo etc.
- Sistema NE-SW: Falla Nieve Ucro.

#### **Sistema NWW-SEE: farallón, brazzini, matapaloma, puyhuancocha y oblicua.**

Las fallas Brazzini, Farallón, Matapaloma, Puyhuancocha están relacionadas al emplazamiento de vetas, entre estas fallas se encuentran zonas de cizalla que representan zonas de saltos estructurales para el emplazamiento de la mineralización.

##### **a. La Falla Brazzini**

Posee una dirección N 120° y un buzamiento entre 70 y 80° SW. En el sector de Jimena, en donde aflora la mineralización en superficie, la falla tiene

ramales que se asemejan a una estructura en cola de caballo, la cual fue originada posteriormente a la mineralización. Más al sureste la traza de la falla se infiere al este de la laguna Putusay Bajo y se alinea con las brechas pipe que se encuentran al sureste de la misma laguna, en este sector la falla Brazzini cambia de dirección a E-W, dando origen a saltos estructurales por donde se introdujo dicha brecha. La proyección al sur ya no se observa debido a que está por debajo de la cobertura glaciaria.

**b. La Falla Farallón**

La falla Farallón presenta varios ramales a lo largo de su extensión, además de una morfología compleja, en general representa un salto estructural de dirección N105° en promedio, su buzamiento varía entre 70° y 80° SW, su movimiento es siniestral. En la zona de los intrusivos la falla Farallón presenta escasa mineralización y solo está restringida a los cambios de dirección E-W a NE-SW, paralelos a las vetas del sector de Farallón.

**c. La Falla Matapaloma**

La falla Matapaloma corresponde a zonas de sigmoides relacionados a la mineralización. En este caso las vetas guardan la relación con las principales fallas de la estructura de Matapaloma.

**Sistema E-W : santa rosa, margot, putusay bajo, etc.**

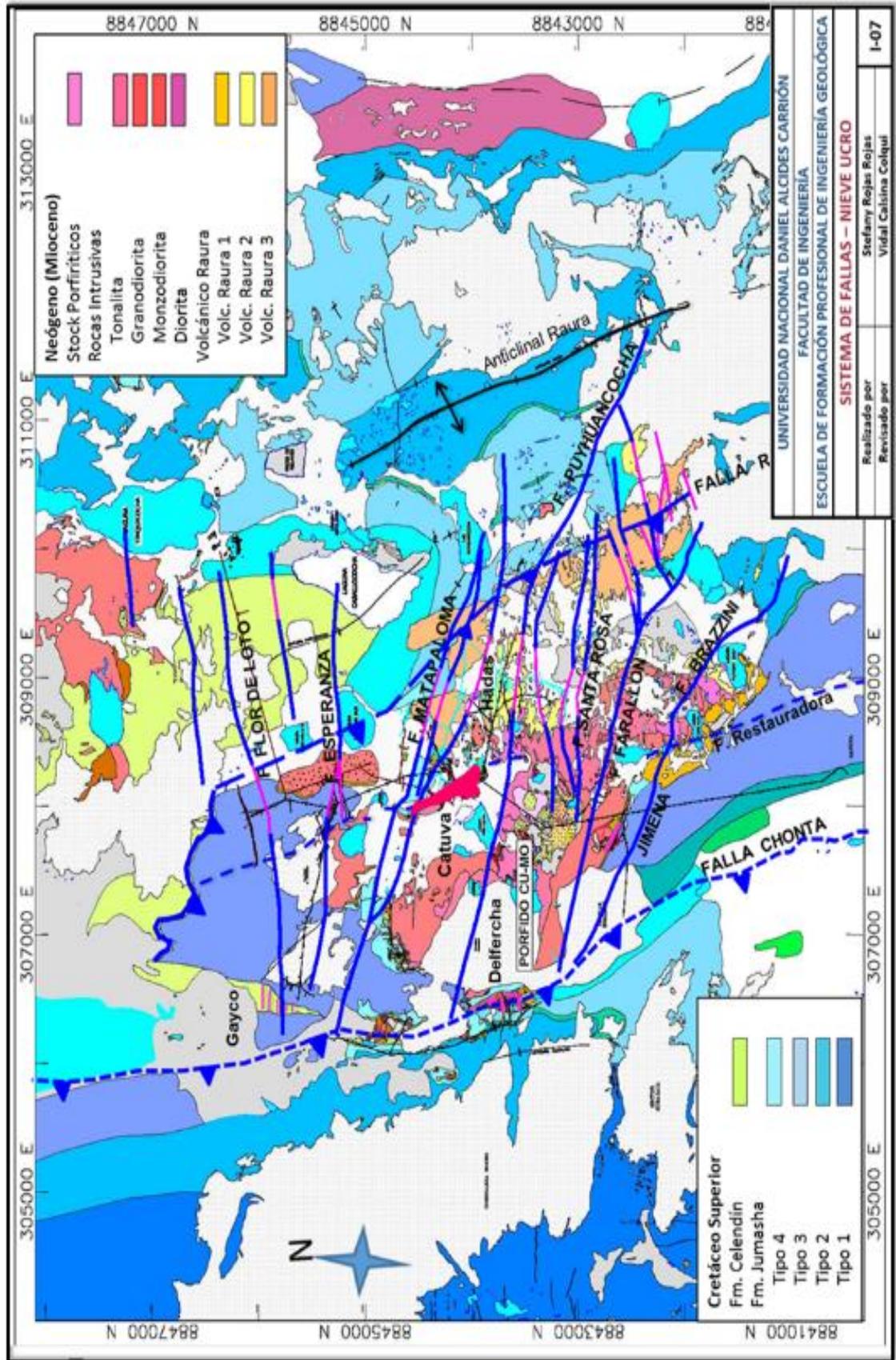
Las vetas Santa Rosa y Margot corresponden a una sola falla que conforma una estructura tipo salto, la cual encierra una zona de cizalla de aproximadamente 3 km de largo y 250 m de ancho. Las características de la roca al parecer no han permitido que la mineralización aproveche esta estructura para su emplazamiento, sin embargo, en las labores subterráneas desarrolladas a profundidad, la exposición de

las vetas 1 y 5 se encuentran asociadas a estas fallas. La mineralización en vetas no es paralela a este salto, por lo que la continuidad de las vetas mencionadas podría ser corta y rellenando fallas tensionales dentro del salto.

La Falla Putusay Bajo es una falla de dirección N 60 a 80° y buzamiento 65° a 70 SE, se encuentra alineada con la rampa lateral del cabalgamiento de la Formación Chimú sobre la Formación Jumasha, también es coincidente con la deflexión que realiza la Falla Chonta Oriental. La Falla Putusay Bajo, corresponde al límite sur de las fallas transversales del Distrito Minero de Raura.

#### **Sistema N-E: falla nieve ucro**

La Falla Nieve Ucro se muestra en sector denominado Siete Caballeros, tiene dirección N 30° a N 50° con un buzamiento entre 50° y 60 ° al SE, su movimiento es inverso. La actividad de esta falla ha desplazado el trazo de la Falla Oriental y controla el límite norte del anticlinal Raura, el origen de esta falla puede estar ligado a un retrocabalgamiento de otra falla más regional que se encontraría al este del Distrito Minero de Raura (Imagen 07)



## **Estratigrafía regional**

### **Grupo Goyllarisquizga**

#### **a. Formación Oyón**

La formación Oyón aflora principalmente en las vecindades del Lago Surasaca, al Noroeste de Oyón; también se le puede observar a lo largo de la carretera entre Oyón y el Lago Cochaquilla.

La formación consiste principalmente de lutitas grises oscuras, con importantes horizontes de areniscas y mantos de carbón en la zona transicional a la formación suprayacente (Chimú). Posee un espesor promedio de 400 m.

#### **b. Formación Chimú**

La formación Chimú aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio que varía desde los 500 y 700 m. Litológicamente la formación consiste de una ortocuarcita de grano medio, la que sin embargo ha sido recristalizada, teniendo en muestra de mano el aspecto general de una cuarcita metamórfica. Dentro de las capas arcillosas transicionales a la formación subyacente aparecen lechos de carbón, siendo difícil mapear el contacto entre las dos unidades.

#### **c. Formación Santa**

La formación Santa aflora en el sector de Churin, y posee un espesor de 150 m. Litológicamente la formación consiste de calizas azul o gris finamente estratificadas, con algunos horizontes de calizas arcillosas, ocasionales nódulos de chert aplanados y abundantes fragmentos de conchas.

#### **d. Formación Carhuaz**

La formación Santa aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio de 600 m. Litológicamente, la formación consiste de lutitas y areniscas que

por intemperismo presentan una coloración marrón o marrón amarillenta. Suelen presentarse algunos horizontes de areniscas más o menos prominentes, similares en litología y color a los de la formación Chimú.

#### **e. Formación Farrat**

La formación Farrat aflora en el sector de Churin, y posee un espesor promedio que varía desde los 20 a 50 m. Litológicamente, la formación consiste de areniscas de color blanco y ocasionalmente poseen manchas rojas y amarillas. Con frecuencia son deleznable y cuando se presentan masivas tienen un grosor mayor que el normal.

#### **Formación Pariahuanca**

Conformada por calizas intemperizadas de color gris, masivas. Generalmente la potencia es muy variable, asignándole una potencia promedio de 50 m. Aunque esta formación es fosilífera, los especímenes diagnosticadas son raros.

#### **Formación Chulec**

Está constituida por margas con bancos de calizas. Los niveles de margas generalmente tienen más o menos 20 m. de potencia, mientras que los de caliza varían de 1 a 5 m., ofreciendo en conjunto un grosor total de 200 m. en promedio. Esta alternancia, sin embargo no siempre es general, habiendo localidades donde la formación consiste totalmente de calizas masivas.

Tanto las calizas como las lutitas son de color azul grisáceo, y por intemperismo adquieren una coloración amarillenta a crema, la cual las caracteriza.

La formación Chulec es una de las más fosilíferas del Cretáceo, correspondiendo al Albiano inferior a medio.

### **Formación Pariatambo**

Esta unidad tiene una litología muy uniforme, consiste esencialmente de margas de color marrón oscuro o gris, con horizontes bien marcados de caliza nodular o tabular de color gris oscuro o negro (se hallan a través de todas las secuencias) y otros nodulares de Chert gris oscuro. Cuando se les fractura tanto las margas como las calizas emiten un olor fétido.

Debido a su color y estructura la formación Pariatambo se identifica fácilmente tectónicamente en la zona axial de los sinclinales.

### **Formación Jumasha**

Esta unidad tiene una litología muy uniforme, consiste esencialmente de margas de color marrón oscuro o gris, con horizontes bien marcados de caliza nodular o tabular de color gris oscuro o negro (se hallan a través de todas las secuencias) y otros nodulares de Chert gris oscuro. Cuando se les fractura tanto las margas como las calizas emiten un olor fétido.

Debido a su color y estructura la formación Pariatambo se identifica fácilmente tectónicamente en la zona axial de los sinclinales.

### **Formación Celendín**

Consiste en margas gris azuladas que intemperizan a un color amarillo crema. En el campo se parece a la formación Chulec, pero sin presentarse tan bien estratificada y con bancos de caliza. Sin embargo, la zona de transición con la formación Jumasha, está marcada por una serie finamente estratificada y con el mismo color y litología que está, pero con delgadas intercalaciones de margas entre ellas.

Yace concordantemente sobre la formación Jumasha y está cubierta discordantemente por la formación Casapalca, mostrando generalmente un grosor que no pasa de los 200 m.

### **Formación Casapalca**

Litológicamente consiste de areniscas y margas de colores rojo y verde con algunos lechos de conglomerados y ocasionales horizontes lenticulares de calizas grises.

La formación se encuentra especialmente en cuencas estructurales formadas después de su deposición tal como puede verse en el área de Cachipampa, donde unos 1,000 m. de grosor son un promedio razonable al igual que el que estimó Harrison en el área de Marcapomacocha, ya que es imposible precisar su verdadera potencia debido a que no se observa el tope.

### **Formación Calipuy**

Esta unidad yace en gran discordancia sobre la secuencia plegada del Cretáceo. En esta zona la formación no es potente, teniendo quizás unos 500 m., lo que demuestra que ha sido afectada por una gran actividad erosiva si se hace una comparación regional, corroborada por remanentes que permiten inferir que anteriormente debió cubrir, por lo menos, gran parte de la zona.

Su descripción se ha hecho en la parte correspondiente a la zona de los volcánicos de la Sierra.

- **Estratigrafía local**

#### **Jumasha II**

Caracterizado por poseer una gran potencia, la cual supera a los demás miembros pertenecientes a este paquete sedimentario. La base de esta unidad sedimentaria fue hallada en la zona de Gayco, donde se exponen más de 110 m. de una sucesión netamente calcárea; en cambio, la columna estratigráfica

levantada desde el sureste de la laguna de Puyhuancocha hasta las inmediaciones de Siete Caballeros al sur de la presa de relaves, marca una sucesión de más de 650 m. de calizas con horizontes delgados de margas. La formación Jumasha II está limitado hacia la base por un anticlinal y hacia el techo por una falla inversa que corta la secuencia impidiendo conocer el verdadero espesor y las relaciones estratigráficas con las demás unidades litológicas (Imagen 09)

#### **A. Jumasha II inferior**

El miembro inferior del Jumasha II no aflora completamente en el distrito minero Raura, es por ello que solamente se ha llegado a determinar un espesor de 300 m. Las calizas están agrupadas en secuencias elementales que presentan a la base estratos delgados de calizas tipo packstone y mudstone, en la parte media, presentan calizas tipo packstone gris oscura formado por la acumulación de clastos irregulares que desarrollan estratos cada vez más potentes; el techo está generalmente conformado por estratos potentes de brecha sedimentaria con clastos irregulares. En general las secuencias elementales son grano estrato creciente, donde los niveles de caliza tipo packstone van incrementando su espesor desde los 10 cm. en la base hasta los 3 m. de espesor al techo, en cambio los estratos de caliza tipo mudstone que se caracterizan por su coloración negra, se inicia a la base con estratos continuos de 5 cm, desapareciendo metros más arriba.

La presencia de brechas sedimentarias caracteriza al miembro inferior del Jumasha II, la cual posee clastos irregulares de caliza tipo grainstone y una matriz tipo packstone a mudstone. En algunos sectores, la matriz presenta estructuras sedimentarias tales como ripples y laminaciones oblicuas a

horizontales, las cuales evidencian que los clastos fueron transportados; este fenómeno ocurrió cuando el sedimento calcáreo aún no estaba litificado.

A la base del miembro inferior del Jumasha II existe un nivel fino de aproximadamente 6 m de espesor, este nivel está conformado por una sucesión de estratos delgados de calizas tipo mudstone y packstone, siendo una secuencia grano-estrato creciente; los estratos de la base poseen espesores que van desde los 10 cm. a los 15 cm laminados y continuos. Lateralmente se aprecia que estos estratos disminuyen en espesor, formando canales alargados sin continuidad lateral. Esta característica hace que este nivel fino sea muy variable y por ende su ubicación vertical variada.

#### **B. Jumasha II medio**

El miembro intermedio del Jumasha II posee aproximadamente un espesor de 110 m. Litológicamente está compuesto por secuencias elementales de caliza, los cuales se inician con una intercalación de calizas tipo mudstone y packstone de color negro, dispuestos en estratos delgados de 10 a 30 cm de espesor, y terminan con estratos potentes, de hasta 5 m de brechas sedimentarias con clastos angulosos de caliza tipo packstone y grainstone, unidos por una matriz escasa de limolita calcárea, las cuales son la característica más resaltante de esta unidad litológica. La forma angulosa y definida de los clastos de las brechas indica que fueron transportados cuando ya se encontraban consolidados al menos parcialmente, esta es la principal diferencia con el miembro inferior y superior del Jumasha II.

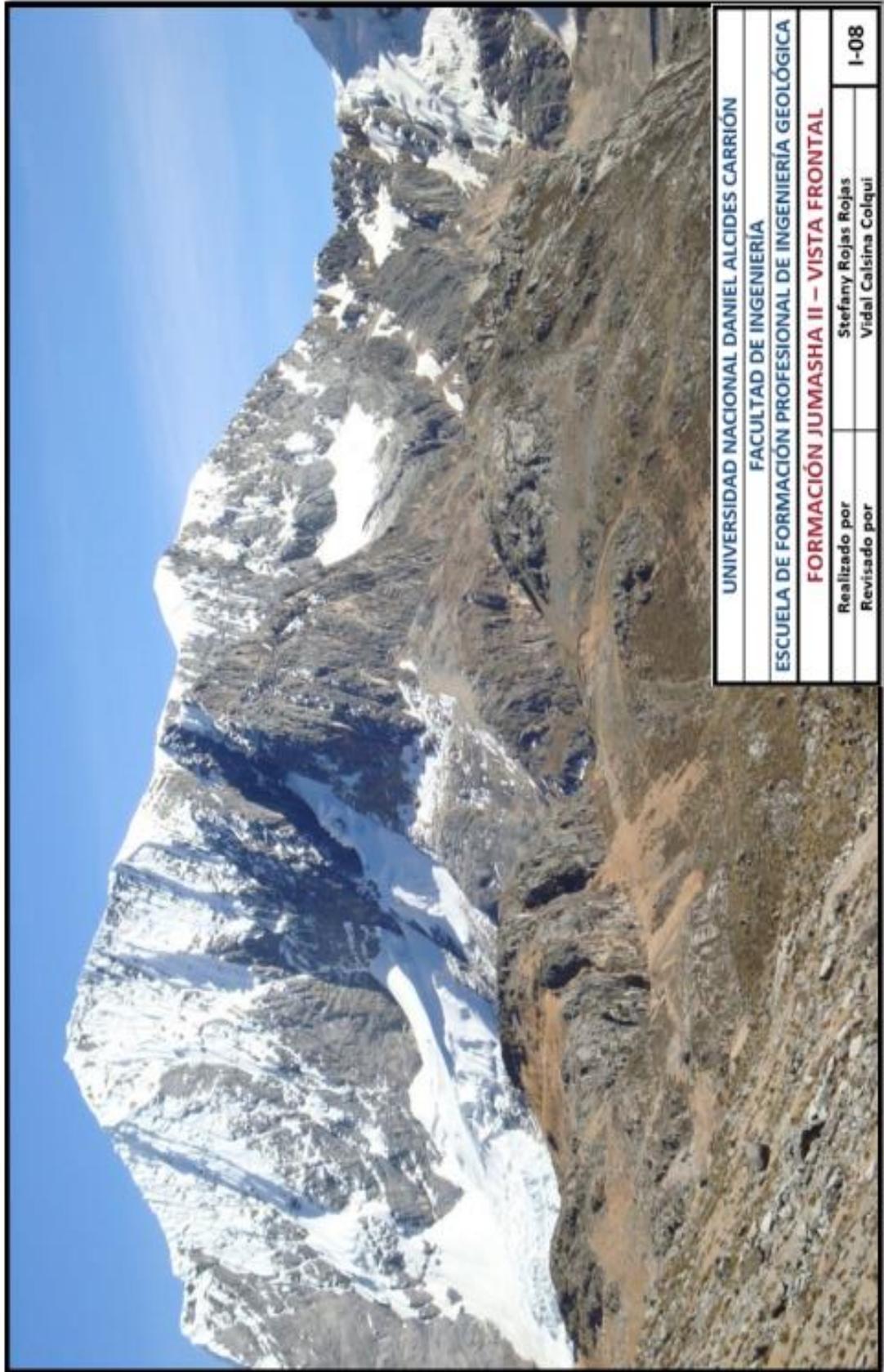
#### **C. Jumasha II superior**

El miembro superior del Jumasha II posee un espesor aproximado de 240 m. La relación estratigráfica con el miembro intermedio del Jumasha II es normal;

litológicamente está constituida por una repetición de secuencias elementales grano estrato crecientes, donde a la base de cada secuencia se observan estratos delgados de caliza tipo mudstone de color negro intercaladas con estratos de caliza tipo packstone gris oscuras de espesores variables, los cuales empiezan con un espesor de 10 cm y rápidamente van aumentando hasta alcanzar los 30 cm. La parte superior de la secuencia elemental está constituida por estratos gruesos de brechas sedimentarias con clastos irregulares de caliza que fueron transportados en estado semi consolidado y fueron acumulados en estratos que pueden alcanzar los 3 m de espesor; los clastos irregulares son de caliza tipo grainstone y packstone con diámetros variables entre 1 a 15 cm de espesor, los cuales están suspendidos en una matriz lodosa mudstone con una coloración negra preferentemente calcárea, y que en ocasiones pueden tratarse de limolitas negras bien laminadas (Imagen 08). Las secuencias elementales, en la base del miembro superior del Jumasha II muestran los primeros estratos formados por la acumulación de clastos con bordes irregulares; los clastos aislados de diámetro variable fueron transportados y lentamente asimilados por la matriz de mudstone, mezclándose para formar calizas tipo wackestone o packstone; esta mezcla lógicamente no se realizó por completo, los clastos que no fueron asimilados forman aglomeraciones distribuidos en estratos potentes. La matriz de caliza tipo wackestone y mudstone es de color negro, y el hecho de transportar clastos irregulares condiciona a que presente laminaciones oblicuas curvas y canales que indican una dirección de flujo hacia el este.

El origen de las brechas sedimentarias con clastos irregulares probablemente esté ligado a la intensa actividad tectónica ocurrida durante o inmediatamente

después de la sedimentación de este material. Esto significa que la cuenca donde se depositaron los sedimentos del Jumasha II tuvo una fuerte subsidencia y que al margen de la cuenca quedaron suspendidas grandes extensiones de terrenos de lecho marino o de plataforma carbonatada, los que al ser ubicados en niveles más altos, fueron erosionados y transportados hacia los grabens o partes bajas de la cuenca. En la parte media del miembro superior del Jumasha II, existe una secuencia margosa con un espesor aproximado de 7 m, la cual está constituido por una sucesión grano estrato creciente, donde lógicamente dominan los niveles margas color negro y limolitas negras. La forma de los estratos es lenticular alargado, lo que significa que lateralmente tienden a desaparecer en vista que se trata de un depósito dinámico. En algunos casos la cantidad de estratos de margas hace más potente el paquete sedimentario y marca un punto de distinción con respecto a los demás afloramientos.



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

**FORMACIÓN JUMASHA II – VISTA FRONTAL**

Realizado por

Stefany Rojas Rojas

Revisado por

Vidal Calsina Colqui

I-08

### **Jumasha III**

La formación Jumasha III se logró identificar en la columna estratigráfica levantada en la zona de Putusay Bajo. La parte inferior de la columna estratigráfica está cortada por una falla inversa que pone este bloque cabalgante sobre la formación Jumasha IV, la parte superior está en contacto con progresivo con el Jumasha IV. Se calcula que el espesor promedio alcanza los 223 m.

La parte inferior de esta unidad litoestratigráfica está compuesta por una sucesión calizas tipo grainstone con intercalaciones de calizas mudstone, con un espesor aproximado de 20 m. Los estratos varían de 20 a 30 cm de espesor y son de color gris claro a beige con laminación horizontal, fosilíferas y convolutas bien definidas. La parte media y superior de la formación Jumasha III está formada por una serie de secuencias elementales grano estrato decrecientes que varían de 5 a 15 m de espesor. La secuencia elemental empieza con estratos potentes color gris claro de calizas grainstone, con laminación oblicua curva, ripples, y canales alargados dispuestos uno sobre otro a manera de entrecruzamiento. Las estructuras sedimentarias indican que la polaridad de los estratos está normal y corresponden a una plataforma carbonatada con corrientes de agua que transportaron el material calcáreo con dirección al este y sureste. Los estratos de caliza tipo grainstone tienen una alta concentración de clastos de caliza compactada con escasa porosidad. En la parte superior de las secuencias básicas se inicia una ligera intercalación con calizas packstone, para finalmente encontrarse delgados niveles de calizas tipo mudstone color negro.

Es característica de la parte superior de la formación Jumasha III la presencia de cherts inmersos a manera de nódulos irregulares y con coloración gris oscura a negra dentro de las calizas grainstone.

## **Jumasha IV**

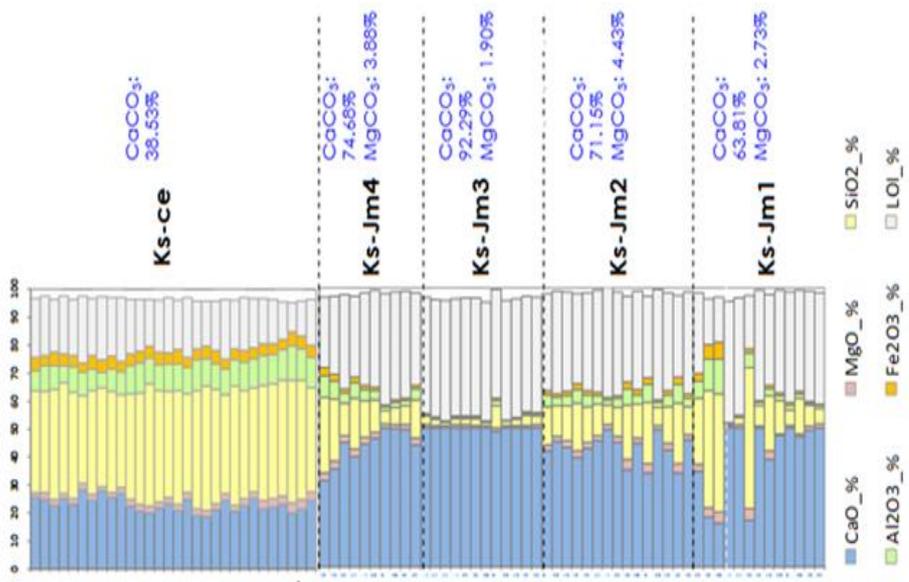
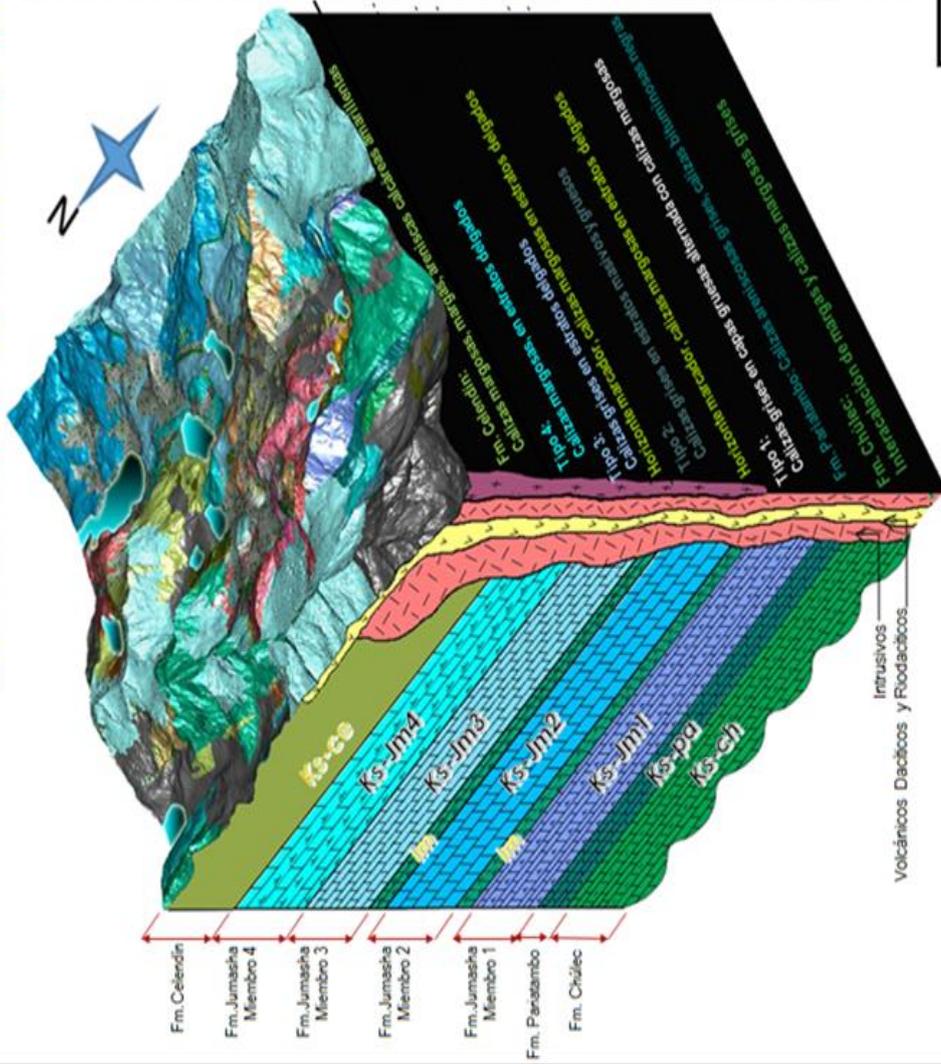
La formación Jumasha IV se logró identificar en la columna estratigráfica levantada al suroeste de la laguna Putusay bajo, la formación Jumasha IV abarca desde los 223 m hasta los 400 m, teniendo una potencia aproximada de 177 m; sin embargo, este espesor solo es parcial, ya que la parte superior está afectada por la Falla Chonta Oriental que hace cabalgar a los sedimentos de la Formación Pariatambo.

La formación Jumasha IV está conformado por una repetición de secuencias elementales grano y estrato decrecientes de 3 y 20 m de espesor, observándose que en la parte inferior hay un dominio de calizas tipo wackestone con espesores que superan los 3 m; al techo hay un evidente incremento de calizas tipo mudstone y limolitas.

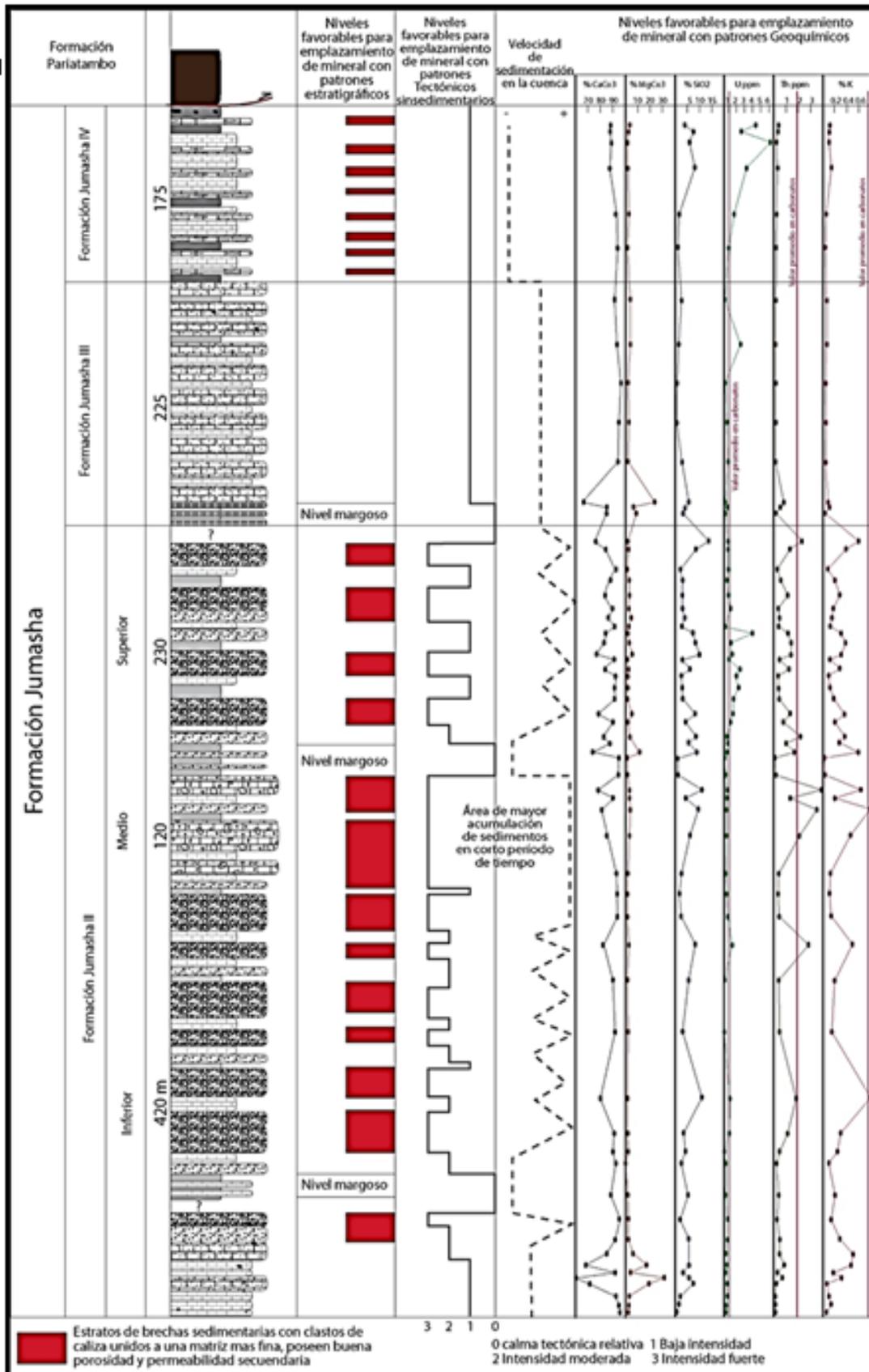
El análisis estratigráfico hecho a las secuencias básicas revela que los estratos ubicados a la base son generalmente de calizas tipo packstone con nódulos de intercrecimiento cuya forma característica lenticular es la que define esta unidad. Los nódulos de intercrecimiento se desarrollan a partir de la concentración de material calcáreo alrededor de un fragmento fósil o grano de sílice u otro material, observándose que se trata de numerosas capas estilo cebolla que forman estos nódulos agrupados consecutivamente hasta conformar paquetes o estratos potentes. La matriz que rodea a los nódulos es de caliza tipo mudstone es de color negro y se encuentran a manera de delgadas laminas. La acumulación de nódulos, formando estratos potentes de caliza, predispone a que la roca sea fácilmente fracturada en las uniones entre nódulos, lo que la convierte en un potencial receptor de mineralización (Imagen 10)

La parte superior de la secuencia básica está conformada por una intercalación de calizas tipo wackestone y mudstone, donde los estratos de calizas mudstone son más potentes y están conformados por una masa algo estratificada de lodo color negro, con ocasionales acumulaciones de cherts formando horizontes delgados de hasta 10 cm de ancho.

# COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL YACIMIENTO RAURA



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<b>COLUMNA ESTRATIGRAFICA DEL YACIMIENTO RAURA</b>	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Calsina Colqui
	I-09



**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**  
**COLUMNA ESTRATIGRÁFICA - FORMACIÓN JUMASHA**

Realizado por	Stefany Rojas Rojas	<b>I-10</b>
Revisado por	Vidal Calsina Colqui	

### **2.2.2 Yacimientos tipo Skarn**

El depósito es considerado de tipo Skarn emplazado en rocas sedimentarias y volcánicas. Asimismo, tiene zonas de mineralización Epitermal.

#### **Franja XXI de pórfidos de cu-mo (au), skarns de pb-zn-cu (ag) y depósitos polimetálicos relacionados con intrusivos del mioceno**

Esta franja se ubica en la Cordillera Occidental del centro y norte del Perú (5°-12°S) y es una de las más variadas en cuanto a tipo de yacimientos. Sin embargo, hay 3 factores que permiten agruparlos y son: 1) todos tienen como roca de caja regional a las rocas sedimentarias mesozoicas que corresponden a la cuenca occidental mesozoica, 2) no hay grandes extensiones de rocas ígneas, pero si una variedad y cantidad de cuerpos intrusivos pequeños cuyas edades son básicamente miocenas, y 3) la edad de mineralización miocena es común para estos yacimientos. Estructuralmente, la franja está controlada, al oeste por el sistema de fallas de la Cordillera Blanca y al este por el sistema de pliegues y fallas del Marañón, que en realidad es un solo conjunto de dirección NO-SE y forma una faja plegada y corrida, convergencia al NE, que es el resultado de la deformación mayor del Eoceno (Ángeles, 1987; Mourier, 1988; Noble et al., 1979a; Benavides, 1999). Las fallas han sido normales durante el Mesozoico, separando la cuenca occidental de un alto estructural denominado geoanticlinal del Marañón (Benavides, 1956). En el Cenozoico, durante la inversión tectónica estas jugaron como inversas, produciendo un engrosamiento importante de la corteza, factor condicionante para la evolución de magmas durante el Mioceno, y por lo tanto, para los fluidos magmáticos-hidrotermales.

Sistemas de fallas NE-SO transversales, también han controlado la geometría de la cuenca occidental y la sedimentación en el Mesozoico; luego se reactivaron en el Cenozoico actuando, en algunos casos, como rampas laterales delimitando bloques con mayor o menor acortamiento y controlando, en algunos casos, el emplazamiento del Batolito de la Cordillera Blanca y algunos yacimientos como Antamina o Pasto Bueno.

En consecuencia, las reactivaciones en el Mioceno de los sistemas de fallas NO-SE de la faja corrida y plegada, así como las fallas NE-SO transversales, han favoreciendo el emplazamiento de intrusivos relacionados con los depósitos minerales de este dominio.

La cuenca occidental peruana (2000-3000 m) se desarrolló a partir del Jurásico superior (Benavides, 1956; Cobbing et al., 1981) con una sedimentación marina de plataforma silicoclástica, evolucionando a un ambiente de talud de la Formación Chicama (Jaillard y Jacay, 1989; Romero et al., 2004). En el Jurásico superior-Cretácico inferior, la sedimentación cambia a un ambiente deltaico hasta fluvial; correspondiendo a las formaciones Oyón y Chimú. En el Valanginiano se instala una plataforma carbonatada (Formación Santa), la que pasa progresivamente a secuencias de llanura deltaica y fluvio-deltaica (Formación Carhuaz), terminando en el Aptiano inferior con los depósitos fluvio-deltaicos de la Formación Farrat. En el Albiano inferior la sedimentación es carbonatada (Formación Pariahuanca) mientras que más hacia el oeste se instala el arco volcánico Casma. La sedimentación carbonatada sigue en el Albiano medio hasta el Campaniano y corresponde a las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín. Todas estas secuencias han sido deformadas en el Eoceno por el evento tectónico Inca que se inició en ~43 Ma y produjo el sistema de faja plegada y corrida de la Cordillera

Blanca y del Marañón, con vergencia hacia el este, es decir hacia el geoanticlinal de Marañón que fue un alto estructural en el Mesozoico, que separó la cuenca occidental de la cuenca oriental. En este alto, donde se ubican las franjas I y II, las secuencias mesozoicas (100-500 m) se depositaron en discordancia sobre rocas paleozoicas, triásicas y jurásicas. Las unidades sedimentarias corresponden al Grupo Goyllarisquizga (Neocomiano) a las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín (Albiano-Campaniano), las que son seguidas por las capas rojas del Cretácico superior-Paleoceno (Formación Casapalca) y del Eoceno-Oligoceno, depositadas en el frente de los cabalgamientos del sistema plegado y corrido del Marañón, como cuencas de antepaís.

Las rocas magmáticas a lo largo de esta franja son típicamente de composición calco alcalino. Muchos pulsos de actividad intrusiva y volcánica son contemporáneos con la mineralización y emplazados entre 24 y 4 Ma, desde entonces el magmatismo es inactivo. Lavas de composición intermedia son dominantes en algunas partes de esta franja y particularmente en el norte, al límite con la franja XXII (Franja de depósitos epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno), donde se depositaron localmente flujos de ceniza, que acompañan a los cuerpos intrusivos de esta edad. Algunos análisis químicos y datos isotópicos de Sr y Nd de esta franja son consistentes con magmas derivados de fuentes relativamente discretas en el manto litosférico o cortezas máficas engrosadas por underplating (Noble y Mckee, 1999). Los depósitos de pórfidos de Cu y skarns relacionados, están asociados con stocks de granodioritas a monzonitas calco alcalinas, que cortan a las rocas detríticas y carbonatadas intensamente plegadas y falladas de la cuenca occidental.

Esta franja presenta tres eventos magmáticos relacionados con la mineralización: 22-20 Ma, 18-13 Ma y 10-5 Ma (Quispe et al., 2008). Así, los yacimientos de pórfido de Cu-Mo de Michiquillay y Aurora Patricia pertenecen al primer evento. Los pórfidos de Cu-Mo de El Galeno, La Granja, Cañariaco, Parón y Magistral; y los pórfidos Cu-Au de Perol-Chailhuagon y Cerro Corona se relacionan con el segundo evento registrado entre 18 y 13 Ma, en este caso muchos intrusivos de esta edad han formado skarns y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag en el contacto con rocas carbonatadas del Cretácico, como en Chungar, Iscaycruz datados en 13 Ma (Bissig et al., 2008). Por otro lado, existen evidencias de un emplazamiento sintectónico de los stocks de pórfidos de Cu durante los eventos miocenos, como es el caso de El Galeno (Córdova y Hoyos, 2000), Magistral (Perelló et al., 2001) y Pachagón (Perelló et al., 2003b). Otros sistemas porfiríticos similares a los anteriores, se exponen puntualmente en sectores erosionados del dominio volcánico mioceno (Franja XXII), donde se puede mencionar a los depósitos de Chamis, Colpayoc, Cascabamba, San José, La Arena, Alto Dorado, Pashpap, Los Latinos, así como el depósito transicional pórfido-epitermal El Toro y el skarn de Pb-Zn-Cu de El Extraño. El tercer evento magmático de 10-5 Ma está representado por pórfido Cu-Mo (Au) de Río Blanco en el norte del Perú, mientras que Toromocho y Puy Puy al sur de la franja. Los intrusivos de este último evento, en contacto con rocas calcáreas del Cretácico (9°-12°30'S) desarrollaron skarns y cuerpos de reemplazamiento de Cu-Zn y Pb-Zn-Ag, como Antamina, Huanzalá, Pachapaqui, Raura, Ucchuchacua (aunque puede ser más antigua), Huarón, Yauricocha, entre otros. Igualmente, los intrusivos han generado vetas y cuerpos de reemplazamiento de Pb-Zn-Ag, similares a Yauliyacu-Casapalca, Morococha, Mina Solitaria y San Cristóbal, este último con una edad de aproximadamente 6 Ma (Noble & McKee,

1999). En la parte norte de la franja, los depósitos de El Galeno (Cu-Au-Mo), Michiquillay (Cu-Au-Mo) y Chailhuagon-Perol (Au-Cu) están asociados a complejos intrusivos, porfiríticos, calcoalcalinos que contienen plagioclasa, máficos y fenocristales de cuarzo, relacionados con la mineralización y alteración tipo pórfido de Cu (Davies y Williams, 2005).

El Galeno está dominado por cuarcitas como rocas de caja, Michiquillay por cuarcitas y calizas, mientras que Chailhuagon y Perol (Minas Conga) están hospedados en calizas y margas. En Michiquillay las dataciones obtenidas en isócronas  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  20.02  $\pm$  0.15 de biotita, así como edades plateau y gases totales de 20.10  $\pm$  0.13 y 19.95  $\pm$  0.13 (Noble et al., 2004) respectivamente, son concordantes y consistentes con las edades K/Ar de 21.0  $\pm$  0.6 y 18.8  $\pm$  1.6 Ma reportados por Laughlin et al. (1968) y Llosa et al. (1996). El Galeno tiene edades de mineralización  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  en biotita de 17.50  $\pm$  0.30 y 16.5  $\pm$  0.18 Ma (Davies, 2002). Finalmente, Minas Conga tiene edades de alteración y mineralización  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 15.80  $\pm$  0.09 y 15.58  $\pm$  0.12 Ma (roca con alteración potásica y ortoclasa) para Perol y Chailhuagon, respectivamente (Noble et al., 2004). Los resultados de  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de Davies (2002), en el norte del Perú, sugieren que las mineralizaciones tipo pórfido como Chailhuagon, El Perol y El Galeno tienen como fuente al manto con ligera contaminación de la corteza inferior ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  de 0.70424 a 0.70501).

Antamina es el depósito de skarn Cu-Zn más grande del mundo, con una reserva de 561 Mt y leyes de 1.24% de Cu, 1.03 de Zn y 13 g/t de Ag, y 0.029 % de Mo (Love et al., 2004). Se trata de un skarn relacionado a stocks porfiríticos de cuarzomonzonitas conteniendo mineralización subeconómica del tipo pórfido de Cu-Mo (Redwood, 2004), además de presentar una zona externa de Zn que está inusualmente bien desarrollada. Los factores que pueden haber contribuido al tamaño del yacimiento son el posible origen mantélico de los intrusivos y su contaminación en la corteza, el tipo de roca sedimentaria favorable y sobre todo el control estructural; además de la falta de alteración retrógrada y la preservación parcial del techo del yacimiento (Redwood, 2004). El skarn cálcico se ha formado en la aureola de un stock porfirítico de monzogranitos emplazado en las calizas y margas de la Formación Jumasha del Cretácico superior, las que han sufrido una tectónica de corrimiento dentro el sistema de fallas y pliegues del Marañón con vergencia al NE, producto de la tectónica del Eoceno (Love et al., 2004). Sin embargo, recientes observaciones de campo muestran que lo principal de la mineralización de Antamina se halla en calizas brechadas a manera de olistolitos que han sufrido los efectos de deslizamientos sinsedimentarios en el Cretácico y retomados por fallas inversas durante la tectónica andina. De acuerdo a las interpretaciones tectónicas regionales de Love et al. (2004) Antamina se ha formado sobre un arco estructural local denominado Querococha de dirección NE-SO y que es el resultado de la reactivación de antiguas fallas transversales. Estas fallas han segmentado la cuenca mesozoica y luego en el Cenozoico han actuado como una rampa lateral dextral del sistema de cabalgamientos de la faja corrida y plegada del Marañón, localizada cerca del alto del Marañón de dirección NO-SE. La estructura NE-SO tiene que ver con los cambios de direcciones de pliegues y fallas, y

sobretudo con el emplazamiento de cuerpos intrusivos y el desarrollo de la mineralización, datada entre  $10.4 \pm 0.4$  y  $9.1 \pm 0.4$  Ma (K/Ar en feldespatos K; Mckee et al., 1979). En el extremo sur de esta franja y más precisamente en la parte este de la Cordillera Occidental del Perú central se tiene depósitos tipo pórfido, como es el caso de Toromocho que es un depósito de Cu-Mo que está emplazado en un alto estructural NO-SE del Domo de Yauli, similar pero de menor dimensión que el alto del Marañón. Aquí aflora un substrato con rocas sedimentarias del Grupo Mitu (Permo- Triásico) calizas y rocas volcánicas del Grupo Pucará (Triásico-Jurásico) y luego las series cretácicas del Grupo Goyllarisquizga, y las formaciones Chulec, Pariatambo, Jumasha y Celendín, cortadas por intrusivos miocenos. Las estructuras son pliegues y fallas de propagación y corresponden a la parte distal del sistema corrido y plegado de la falla Chonta, con vergencia NE, y que a su vez es una prolongación del sistema de fallas del Marañón. Ambos sistemas, se desarrollaron en el Eoceno y se reactivaron en el Mioceno, controlando el emplazamiento de cuerpos intrusivos. El sistema magmático hidrotermal de Toromocho está relacionado a múltiples stocks porfiríticos como pórfido de cuarzo, pórfido feldespático y pórfido granodiorítico, datados entre 6 y 9 Ma (Eyzaguirre et al., 1975; Kouzmanov et al., 2008). Un gran cuerpo porfirítico conocido como pórfido Yantac (8.8 Ma, Beuchat, 2003) muestra una alteración que es más antigua que los stocks magmáticos. Sin embargo, una edad  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de 7.14 Ma en flogopitas del skarn del Porvenir, espacialmente asociado con el intrusivo Yantac, correlaciona bien el tiempo de la alteración potásica en Toromocho y postdata en 1.5 Ma el emplazamiento del intrusivo mismo (Kouzmanov et al., 2008). Una amplia skarnificación y localmente skarn de magnetita masiva se ha desarrollado a lo largo del contacto de los intrusivos del Mioceno superior (~8.8 Ma

## **Skarn como origen de la mineralización**

### **El skarn en el mundo**

Ubicación de acuerdo a la tectónica de placas

Un ambiente orogénico temprano puede ser visualizado como un arco magmático asociado con un empujado ángulo en la zona de subducción en un ambiente oceánico dominante. En algunos casos estos terrenos son subsecuentemente acrecionados creciendo márgenes continentales. Magmatismo de arco de islas incluye rocas volcánicas basálticas y andesíticas las cuales pueden localmente interdigitarse con rocas clásticas de tras-arco o con arcos volcánicos bajo el nivel del mar, con rocas marinas superficiales clásticas incluyendo arrecifes calcáreos. Rocas intrusivas con rangos de gabro a granodiorita con menores rocas alcalinas. Depósitos de skarn ricos en magnetita son asociados con tales plutones y se forman en andesitas volcánicas y en calizas. Algunas de las características claves de que grupo de estos skarn aparte de estas asociaciones con magmas más evolucionados y corteza son su asociación con plutones gabroicos y dioríticos, los grandes volúmenes de endoskarn y los más difundidos metasomatismos de sodio, la mayor parte de composición ricos en Fe y pobres en magnesio, y la presencia de elementos anómalos Fe, Co, Au, (Ni) y (Zn) y la ausencia de Sn, W y Pb reflejan la primitiva naturaleza oceánica de la corteza, roca caja y plutones. Arcos magmáticos desarrollados en corteza continental representan un más evolucionado ambiente orogénico que los arcos de islas oceánicos; plutones son granodiorita a diorita, y las composiciones de estroncio y oxígeno isotópico muestran una mayor característica continental. Estos estados pueden continuar el estado orogénico temprano si un arco de islas es acrecionado a un margen continental.

Variaciones en el ángulo de subducción pueden tener efectos significantes, incluyendo migración de arcos magmáticos, cambios en la composición del magma y cambios en el estilo estructural de los emplazamientos de magma. Estas variaciones combinadas con perturbaciones causadas por cambios de facies estratigráficas, profundidad de las formaciones y otras variables pueden dar aumento en la variación en la geometría de depósitos skarn, mineralogía y contenido del mineral dominante. Evidencia disponible sugiere que el ángulo de subducción podría disminuir con el tiempo y en algunos casos exhibir alguna inclinación reversa. La presente discusión considera dos casos generalizados: un orogénico medio, caso en el cual la inclinación moderada causa subducción en un dominante arco magmático tipo-I, y el caso en el cual la transición de tectonismo post-subducción causa más discontinuidades magmáticas de tipo I y S, rocas más lejos hacia el cratón interior. Skarns asociados con subducción relacionados a plutones de granodiorita y cuarzo monzonita son los más comunes y más estudiados de todos estos depósitos. Donde el magma es emplazado a relativamente grandes profundidades (5 a 15 km), grandes batolitos de grano grueso resultan como causa típica de extenso metamorfismo, pero, carece de cantidad significativa de alteración de baja temperatura. Skarns asociados con plutones son minados mayormente para Tungsteno, con menores cantidades para Cobre y Molibdeno; Zinc y Plata pueden estar presentes en Skarn distales. Skarn de tungsteno son caracterizados por relativamente reducido calco-silicato y asociación de minerales opacos, menores cantidades de alteración de baja temperatura y generalmente pequeñas cantidades de sulfuros de baja sulfuración.

Donde el magma es emplazado a profundidades intermedias a superficiales de la corteza (1 a 6 km), stocks porfiríticos y plugs de granodiorita a cuarzo monzonita

resulta que comúnmente tienen rocas volcánicas cogenéticas. Aureolas metamórficas no son extensas o con alto grado como en los alrededores de los batolitos más profundos y la alteración de los stocks puede ser muy extendido. Skarns asociados son ricos en sulfuros y son minados mayormente para Cu, Fe-Cu y Zn-Pb, con localmente importantes subproductos de Mo, Au y Ag. La distribución mineralógica y razones de metales de estos depósitos Skarn son bastante variables. Correlaciones con los tipos de magma, estado de oxidación, profundidad de formación y distancia de las fuentes intrusivas han sido sugeridas para ocurrencias específicas.

Durante la transición a tectonismo de post subducción, el arco magmático puede ensancharse o migrar más hacia el interior. Las intrusiones pueden ser tipo I o S basados en evidencia isotópica, se supone que tienen mayor interacción con corteza continental que con los arcos magmáticos más tempranos. Los magmas tipo I son de composición de cuarzo monzonita a granito y son asociados con skarns que son minados para una variedad de metales; W y Mo son generalmente dominantes con mayores cantidades de Cu y Zn y menores cantidades de Bi, Pb, Ag y Au. En algunos casos la intrusión también contiene mineralización de molibdeno.

Los intrusivos tipo S asociados con este estado orogénico tardío son de composición granítica; rocas volcánicas cogenéticas o aureolas metamórficas extensas son raras. Los plutones son generalmente de grano grueso y contienen megacristales de cuarzo gris oscuro, cavidades miarolíticas, canales pegmatíticos y alteración de tipo greisen. Skarn asociados son minados para Sn, aunque otros elementos son usualmente presentes y pueden ser de importancia económica. Estos incluyen Be, B, F, Bi, W, Cu, Zn, Pb y U.

La disposición de los depósitos skarn depende de la ocurrencia de rocas carbonatadas. De esta forma, la ocurrencia de los skarn puede ser errática y en algunas porciones mayores del cinturón orogénico ellos son ausentes o notablemente esparcidos.

Ambiente de formación de los Skarn, referido a un arco magmático donde los intrusivos de composición media - ácida entran en contacto con rocas sedimentarias del tipo calizas y dolomitas y de esta interacción suceden fenómenos de metamorfismo de contacto y que posteriormente con el enfriamiento del intrusivo se liberan fluidos que reaccionan con las calizas y sucede el fenómeno de metasomatismo.

El término skarn fue introducido por petrólogos metamórficos suecos para designar rocas metamórficas regionales o de contacto constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg. De modo que se entiende por skarn rocas que contienen minerales calcosilicatados, tales como por ejemplo: diópsido, wollastonita, granate andradita y actinolita. Estas comúnmente ocurren en aureolas metamórficas de contacto en torno a plutones que intruyen secuencias calcáreas. A este tipo de rocas metamórficas se asocia un variado grupo de depósitos minerales extremadamente irregulares, los que pueden formar lenguas de mena que se extienden a lo largo de cualquier estructura planar (estratificación, diaclasas, fallas, etc.) y su distribución dentro de la aureola de contacto de un intrusivo es a menudo caprichosa. Los cuerpos de mena pueden terminar abruptamente cambios en la estructura. Los depósitos de tipo skarn han sido denominados también: metamórficos hidrotermales metamórficos ígneos metamórficos de contacto pirometasomáticos (Lindgren, 1922) Sin embargo, el

término SKARN es ampliamente utilizado y es adecuado para referirse a este tipo de depósitos relacionados a aureolas de contacto de intrusiones dentro de secuencias calcáreas (calizas, dolomitas).

Estas últimas rocas formadas por calcita o dolomita ( $\text{CaCO}_3$  y  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ) se convierten en mármoles, rocas córneas calcosilicatadas (hornfels) y/o skarns por el efecto del metamorfismo de contacto. La producción principal de depósitos de tipo skarn incluye: Fe, Cu, W, C (grafito), Zn, Pb, Mo, Sn, U, Au., granate, talco y wollastonita.

### **Yacimientos tipo skarn en el peru**

Los yacimientos tipo skarn en el Perú se han formado mayormente en la franja sedimentaria mesozoica de la Cordillera Interandina, en el contacto de stocks de intrusivos del terciario de composición intermedia (granodiorita, monzonita, monzonita cuarcífera) con calizas del mesozoico (Triásico-Jurásico, Cretáceo) como Antamina, Raura, Morococha, Milpo, Atacocha, Tintaya; su mineralización es polimetálica; su profundización está en función de la profundización de la caliza. Excepcionalmente se tiene mineralización de tipo skarn de hierro en la Cordillera de la Costa en el contacto de intrusivo con caliza del paleozoico como es el yacimiento de hierro de Marcona. Y yacimiento tipo Skarn de cobre como manto en caliza del paleozoico en la Cordillera Oriental, representado por el yacimiento de cobre de Cobriza (Imagen 11)



### **Importancia de yacimientos tipo skarn en el Perú**

El único yacimiento de fierro en producción en el Perú es el yacimiento tipo Skarn de fierro de Marcona. El futuro de explotación de yacimientos de fierro de este tipo de yacimiento está en la franja sedimentaria mesozoica de la Cordillera Interandina entre Andahuaylas (departamento de Andahuaylas) y Yauri (departamento del Cusco). Parte de la gran producción polimetálica (zinc, plomo, cobre, plata) provienen de estos yacimientos tipo skarn que se emplazan en la Franja Sedimentaria Mesozoica en la Cordillera Interandina como son: Antamina, Raura, Morococha, Milpo, Atacocha, Tintaya y Cobriza en la Cordillera Oriental.

### **Yacimiento tipo Skarn en la cordillera de la Costa.**

#### **Yacimiento tipo Skarn de Marcona**

Se ubica en la provincia de nazca en la Cordillera de la Costa. El skarn se emplazó en calizas del paleozoico al ser intruidas por el stock San Juan de composición granítica más joven que la caliza. Su mineralización está constituída por limonita hasta una profundidad de 100 m. magnetita, hematita, disseminaciones de piritita, muy poca chalcopirita y trazas de minerales de cobalto. Los minerales tipo skarn están constituidos mayormente por tremolita y actinolita.

### **Yacimientos tipo skarn polimetálicos en la franja Mesozoica del Perú de la cordillera interandina**

La Franja Sedimentaria Mesozoica de la Cordillera Interandina tiene potente estratificación de calizas en el Triásico, Jurásico y Cretáceo.

En esta franja se han emplazado stocks de intrusivos de composición intermedia del tipo diorita, diorita cuarcífera, granodiorita, monzonita, monzonita cuarcífera; con adición del emplazamiento del batolito de la Cordillera Blanca en el Norte en el

departamento de Ancash y del batolito de Andahuaylas – Yauri (Andahuaylas en el departamento de Apurímac y Yauri en el departamento del Cuzco).

Por la presencia de estas calizas e intrusivos se han formado grandes yacimientos tipo Skarn polimetálicos de zinc, plomo, cobre, plata, molibdeno, fierro. La profundización de estos yacimientos está en función de la profundización de la caliza. La mineralización económica se emplaza en la caliza en el exoskarn, los minerales metálicos están con los minerales no metálicos propios del skarn como granate, wollastonita, anfíboles (actinolita, tremolita, hornblenda), piroxenos (diópsido, augita), escapolita, epidota. A la primera fase de formación del skarn referido entre la temperatura de 400°C a 600°C se produjo una reactivación tectónica del skarn con fracturas y fallas y una siguiente fase de mineralización de menor temperatura 300°C con aporte de flujos hidrotermales de mineralización polimetálica, por estos fluidos hidrotermales el skarn sufre un metamorfismo retrogresivo con la formación de sericitización, argilización y epidotización. Por lo tanto la metalización tiene un rango amplio de temperatura en el Skarn de 400°C a 600°C y en la fase de fluidos hidrotermales. Se presenta un resumen de la geología de los siguientes yacimientos tipo Skarn polimetálico.

#### **Yacimiento tipo skarn de Antamina**

El yacimiento tipo skarn de Antamina se emplaza en el departamento de Ancash, en la Franja Sedimentaria Mesozoica, en la Cordillera Interandina. Tectónicamente se tiene un anticlinal de rumbo Noroeste, el cual sufrió un fallamiento dextral de rumbo Noreste. Las calizas de la Formación Machay del cretáceo medio fueron intruidas por stocks de cuarzo monzonita del terciario superior, produciéndose la mineralización tipo skarn de cobre, zinc, plomo, plata, molibdeno (Petersen, U. 1965). Los silicatos más comunes están constituidos por granate, wollastonita,

anfíbol, piroxeno en el skarn. Su profundización es mayor de 600 m. Actualmente es un megaproyecto. La laguna Antamina cubre una gran área del stock de cuarzo monzonita, una buena proporción de los cuerpos tipo skarn rodea a esta laguna.

#### **Yacimiento tipo skarn de Raura**

El yacimiento polimetálico de Raura se emplaza en el departamento de Lima, en la Franja Sedimentaria Mesozoica, en la Cordillera Interandina. Estructuralmente se tiene un anticlinal y un sinclinal de rumbo Noroeste, los cuales fueron disectados por fallas siniéstrales. Estratigráficamente se tiene a las calizas de la Formación Jumasha del Cretáceo medio, el cual fue intruido por un stock de granodiorita del terciario superior. De Norte a Sur se tiene vetas de Cu-ag de la zona Esperanza-Flor de Loto, vetas de Zn-Pb de la zona Hada y de la zona Lead-Hill Niño y los cuerpos tipo skarn de Zn, Pb, Ag, Cu de Niño Peridodo, Catuva, Bescheva, primavera, verano, Brunilda, en caliza Jumasha en contacto con el stock de granodiorita. La profundización de estos cuerpos es de 300 m. en Niño Perdido, catuva, en los otros cuerpos profundiza mayor de 500 m.; al lado opuesto de estos cuerpos tipo skarn se tiene diseminación polimetálica en skarn de Gayco en plena exploración.

#### **Yacimiento tipo skarn Morococha**

El distrito minero de Morococha se ubica en el departamento de Lima, en la Franja Sedimentaria Mesozoica, en la Cordillera Interandina. Tectónicamente se observa un gran anticlinal llamado el anticlinal de Morococha, su eje en la parte Sur, tiene un rumbo Norte Sur y un rumbo Noroeste en la parte Norte; formado por fuerzas de compresión perpendicular a dicho eje dando lugar a fallas dextrales y sinextrales y fracturas tensionales inclinadas y perpendiculares al eje del anticlinal que al mineralizarse en el terciario superior dio lugar a las vetas polimetálicas. Estratigráficamente se tiene en el eje del anticlinal, Volcánicos Catalina del Pérmico,

alejándose del eje del anticlinal y en ambos flancos se observa calizas Pucará del Triásico-Jurásico, areniscas Goyllar del Cretáceo inferior, calizas Machay del Cretáceo medio; en el Terciario medio se emplazó el stock de diorita Anticoná, en el Terciario superior se intruyó el stock de cuarzo monzonita. En el Terciario superior se formó las vetas hidrotermales polimetálicas; en el contacto de los intrusivos referidos con las calizas Pucará se formaron los cuerpos polimetálicos de skarn en las zonas de Ombla-Gertrudis. En el distrito minero de Morococha se tiene mantos polimetálicos de exhalación volcánica singenética en las calizas Pucará. En el contacto de la diorita con el cuarzo monzonita se formó el pórfido de cobre de toro Mocho. Se observa en dicho distrito un zonamiento concéntrico simétrico de la parte central de mayor temperatura a la parte externa de menor temperatura con mineralización de Cu, Ag, Zn, Pb.

#### **Yacimiento tipo skarn de Milpo – Atacocha**

Milpo-Atacocha se emplaza en el departamento de Pasco, en la Franja Sedimentaria Mesozoica, en la Cordillera Interandina. Estructuralmente se tiene una gran falla distrital de rumbo Noroeste conocido como la Falla de Atacocha. Estratigráficamente se tiene calizas Pucará del Triásico-Jurásico, areniscas Goyllar del Cretáceo inferior, calizas Machay del Cretáceo medio. Estas rocas fueron intruidas por stocks dioríticos del Terciario superior. La mineralización tipo skarn de Milpo se produjo en el contacto del stock de diorita con la caliza Pucará el cual fue fallado cerca al margen Oeste con un desplazamiento vertical de 700m., el block Noreste ha ascendido respecto al block Sudoeste; el skarn inicial fue disectado por vetas hidrotermales produciéndose en la intersección de las vetas con el skarn mayor concentración de minerales polimetálicos de zinc, plomo, plata, cobre. Su profundización es mayor a 700 m. En Atacocha, la falla Atacocha tiene una gran falla

a manera de gran lazo sigmoide, entre ambas fallas se formó los grandes cuerpos tensionales con relleno de mineralización hidrotermal polimetálica en caliza. Al Este de la falla Atacocha se emplazó un stock diorítico que al intruir a las calizas Pucará dio lugar a la mineralización tipo skarn polimetálica de la sección Santa Bárbara, con una profundidad de mineralización mayor de 700 m. (Tumialán, P.H. 1978).

### **Geología del yacimiento de cobre de Tintaya (Yauri-Cusco)**

El yacimiento de cobre de Tintaya se emplaza al SE de la franja cuprífera Andahuaylas-Yauri, ubicado en el distrito de Yauri, provincia de Espinar, departamento del Cusco. El yacimiento de cobre de Tintaya es un yacimiento tipo Skarn, el exoskarn mineralizado se emplaza en las calizas de la Formación Ferrobamba del Cretáceo medio en contacto con un Lacolito de monzonita del terciario medio, previo a la intrusión de la monzonita se emplazó la diorita del Cretáceo superior-terciario inferior, estos intrusivos constituyen parte del sector SE del Batolito de Andahuaylas-Yauri.

A la fecha la mineralización tiene la forma de un herraje de 3 Km., cuya parte cóncava se dirige al Norte, su mineralización es discontinua; de este a Oeste se tiene el Tajo Actual, Chabuca este, Chabuca, Chabuca Norte; paralelo al herraje en su parte externa al SW se tiene una franja mineralizada discontinua tipo skarn de cobre de 810 m. de longitud conocido como Chabuca Sur. La mineralización se produjo en el skarn de granate, en el Skarn de colcosilicatos, en el skarn de magnetita. La mineralización de cobre se observa en la chalcopirita y en la bornita el cual está en menor proporción como sulfuro secundario y sulfuro primario. Como subproducto se tiene la molibdenita el cual se emplazó en un amplio rango de temperatura, como subproducto se tiene oro y plata distribuidos un 65 % en los sulfuros de cobre y un 35 % en la magnetita. La profundización se estima en 600 m. que sería la

profundización de las calizas Ferrobamba. Los isovalores de cobre indican 7 flujos mineralizantes en el tajo, a mayor profundidad de 320 m. habrá leyes menores de 2 % de Cu. En Chabuca este se observa 6 flujos mineralizantes, a profundidad mayor de 320 m. habrá leyes menores de 2 % de Cu. En Chabuca Norte en el cuerpo este se detectó 6 flujos mineralizantes, a mayor profundidad de 170 m. habrá leyes menores de 2 % de Cu. En Chabuca se determinó 14 flujos, de 0 m. a mayor de 150 m. las leyes de Cu serán menores de 1.5 % de Cu. La reserva probada-probable es mayor de 100 millones de toneladas métricas de 1.95 % de Cu (Pincock and Holt, 1994). Yacimiento tipo skarn en la Cordillera Oriental

### **Yacimiento tipo skarn de Cobriza**

Está ubicado en la provincia de Huancavelica, en la Cordillera Oriental. Estructuralmente se tiene un gran anticlinal cuyo eje tiene el rumbo Noroeste.

Estratigráficamente se tiene pizarras de la Formación Copacabana del Carbonífero, endicha formación está el horizonte de la caliza Cobriza, hacia el este se emplaza un batolito de granito del Paleozoico más joven que las pizarras de la Formación Copacabana. La caliza Cobriza ha sufrido un intenso metamorfismo con la formación de un manto tipo skarn con mineralización de cobre con una longitud según el manto de skarn de 5 Km., un ancho promedio de 30 m. y una profundización según el buzamiento del manto hasta 900 m. Su génesis es bastante discutible por cuanto aparentemente el skarn no está ligado a un intrusivo (Petersen, U. 1965).

Tipos de skarn depósitos skarn de AU, CU, FE, MO, SN, W Y PB-ZN

Grupos de depósitos de skarn puede basarse en las características descriptivas, como composición del protolito, el tipo de roca y de metal económico dominante (s), así como características genéticas como el mecanismo de circulación de fluidos, la temperatura de formación, y el grado de partición magmática. La tendencia general

de autores modernos es adoptar una clasificación descriptiva de skarn basada en el dominio económico de los metales y a continuación, modificar la base de cada una de las categorías de composición, tectónica, o variaciones genéticas. Esto es similar a la clasificación de los depósitos de pórfido en pórfido de cobre, molibdeno y estaño; depósitos que comparten muchas características geoquímicas y alteración, pero son, no obstante, fácilmente distinguibles. Los siete principales tipos de skarn (Au, Cu, Fe, Mo, Sn, W y Pb-Zn) han recibido un importante estudio moderno y muchos otros (incluyendo F, C, Ba, Pt, U, REE) son importantes localmente. Además, skarns pueden ser minadas para el sector de los minerales tales como granate y wollastonita.

### **Skarn de Hierro**

Los skarns más grandes son los depósitos de hierro. Las principales evaluaciones de este tipo de depósito incluyen Sangster (1969), Sokolov y Grigorev (1977), y Einaudi y otros. (1981). Skarns de Hierro son minadas por su contenido de magnetita y aunque pequeñas cantidades de Cu, Co, Ni y Au puede estar presente, el hierro es generalmente la única mercancía recuperable. Muchos de los depósitos son muy grandes (>500 millones de toneladas, >300 millones de toneladas que figuran Fe) y consisten predominantemente de magnetita con poco silicato de ganga. Algunos depósitos contienen cantidades significativas de cobre y son más típicos de transición a Skarns de Cobre (por ejemplo, Kesler, 1968; Vidal y otros., 1990). Skarns cálcicos de hierro en los arcos de islas oceánicas están asociados con plutones ricos en hierro invadiendo la pared de caliza y rocas volcánicas. En algunos depósitos a la vista, la cantidad de endoskarn puede superar exoskarn. Minerales de Skarn consisten predominantemente de granate y piroxeno con menos epidota, ilvaita y actinolita; todos son ricos en hierro (Purtov et al. 1989). Alteración de rocas

ígneas es común con bastante albita, ortoclasa, y escapolita venas y reemplazos, además de endoskarn. En cambio, skarns de hierro y magnesio están asociados con diversos plutones en una variedad de entornos tectónicos, la característica común es que todos ellos forman la pared de roca dolomítica. En skarns magnesianos, los principales minerales de skarn, como forsterita, diópsido, periclasa, talco y serpentina, no contienen mucho hierro, por lo que la solución de hierro tiende a magnetita en vez de andradita o hedenbergita (por ejemplo, Hall y otros. 1989).

### **Skarns de oro**

El término "Skarn de oro" se utiliza en el sentido económico propuesto por Einaudi et al. (1981) y se refiere a los depósitos de minerales que son extraídos, exclusiva o predominantemente oro y que exhiben alteración de rocas calcosilicáticas, por lo general dominado por granate y piroxeno, que está relacionada con la mineralización.

Esto excluye el uso de los depósitos que contienen oro pero que están minadas principalmente para otros productos básicos como el cobre. Por el contrario, esta definición incluye a los depósitos que contienen grandes cantidades de otros metales (como Fe, en forma de magnetita) que no están minadas.

### **Skarn de oro reducidos**

Depósitos de skarn de oro reducido tienen relativamente grado más alto (5-15 g/t de Au), se encuentran varias minas de oro sólo por su contenido, la carencia económica de las concentraciones de otros metales, y tienen un distintivo Au - Bi - Te como asociación geoquímica. La mayoría de skarns con alto grado de oro se asocia con una reducción (ilmenita,  $Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO) \ll 0,75$ ) plutones de diorita granodiorita, y dique/sill complejos. Ellos normalmente ocurren en protolitos clásticos ricos en lugar de caliza pura y skarn de alteración de diques, sills, y

unidades volcanoclásticas. La reducción de skarns de oro están dominados por piroxeno rico en hierro (normalmente  $>Hd 50$ ), pero las zonas proximales pueden contener abundante grandita. Otros minerales comunes incluyen feldespato K, escapolita, vesuvianita, apatita, y anfíboles.

Zonas Distal/temprano contienen biotita + hornfels, que se puede extender por 100 metros de la masa más allá de skarn. Debido a las rocas ricas-clásticas de naturaleza sedimentaria carbonacea en estos depósitos, la mayor parte de skarn es relativamente fino.

### **Skarn de oro oxidados**

Considerando que el depósito "clásico" de skarn de oro se caracteriza por bajo granate: razones de piroxeno, hedenbergita piroxeno, y abundantes sulfuros dominados por arsenopirita y pirrotita, varios skarns han sido minados por el oro que tienen un estilo muy diferente de la mineralogía y la mineralización. Estos depósitos se han clasificado por Brooks y otros. (1991) como skarns de oro oxidado. Sus características esenciales son de alta granate: razones de piroxeno, granate y piroxeno relativamente pobres en Fe, la baja total de sulfuros, pirita, pirrotita, y menores pero presentes las ocurrencias de calcopirita, esfalerita, y galena-bismutinita-argentita. Además, los más altos grados de oro no están asociados con granate-piroxeno prógrado, sino más bien alteración retrógrada tardía incluyendo abundante feldespato K (adularia) y cuarzo. Algunos de esos depósitos se pueden considerar de transición a otros tipos de mineralización de oro epitermal, tales como depósitos en el que la fase de separación (ebullición) puede ser un importante mecanismo de las precipitaciones (por ejemplo, Hedenquist y otros. 1996).

### **Skarn magnesianos de oro**

La mayoría de skarns de oro son skarns cálcicos. La mayoría de skarns magnesianos se forman de protolitos dolomíticos y muestran una mineralogía de diagnóstico que incluye Forsterita, espinela y la serpentina. Aunque una variedad de fases de Espinela pueden estar presentes, por lo general magnetita es dominante y, por lo tanto, la mayoría de skarns magnesianos están minadas de hierro y son relativamente fáciles de encontrar debido a su fuerte firma magnética.

### **Skarn de oro metamórficos**

Muchos skarns están asociados a plutones fanerozoicos que han invadido anteriormente rocas sedimentarias no metamorfizadas (por ejemplo, Einaudi y otros. 1981). Sin embargo, la mineralogía de skarn también ha sido descrita por varios depósitos en cinturones orogénico mayores de Skarn donde se asocia con ambos plutonismo y metamorfismo de alta T-P. Además de estas ocurrencias plutónico/metamórficas, hay varios depósitos de filones "mesotermales" de oro con alteración de Skarn en terrenos

### **Precámbrico sin rocas intrusivas asociadas.**

Estos sucesos son significativamente diferentes de los sistemas de skarn Fanerozoicos y se conoce poco acerca de las relaciones geológicas de skarn de alteración o la relación entre el oro y la mineralización de formación de skarn. Estos skarns parecen ser híbridos con características tanto de ambiente de metamorfismo regional como plutonismo fanerozoico. Lo que une a estos sucesos dispares es una mineralogía dominada por componentes muy ricos en Fe y la reducción de ensamblajes incluidos granate con importantes almandino - espessartina, hedenbergita y anfíboles ricos en Fe. En algunos casos, parece que un protolito ricos en hierro como la formación, komatiita, o metabasita es responsable de la inusual mineralogía. Además, estos depósitos suelen tener una parte o la totalidad de

geoquímica de Au-As-Bi-Te característica de depósitos de skarn de oro. Estos depósitos "metamórficos" se presentan como un grupo debido a su vínculo común a metamorfismo regional, aunque existen grandes diferencias en la configuración geológica y geoquímica entre ellos.

### **Skarn de Tungsteno**

Skarns de Tungsteno se encuentran en la mayoría de los continentes en asociación con plutones calco-alcálinos en los principales cinturones orogénicos. Las principales referencias de skarns de tungsteno son Newberry y Einaudi (1981), Newberry y Swanson (1986), Kwak (1987), y Newberry (1998). Como grupo, skarns de tungsteno se asocian con batolitos de grano grueso, equigranular (con diques de pegmatita y aplita), rodeado de grandes aureolas metamórficas de alta temperatura. Estas características son colectivamente indicativo de un ambiente profundo. Plutones con endoskarn cerca de las zonas de contacto típicamente frescos con solamente pequeñas cantidades de mirmakita-plagioclasa y piroxeno.

La alta temperatura de aureolas metamórficas común en el entorno de Skarn de tungsteno contienen abundantes rocas hornfels calcosilicáticas, reacción skarns, y skarnoide mixto formado de secuencias de carbonato-pelita. Tales minerales metamórficos calco-silicatos, reflejan la composición y textura del protolito y se pueden distinguir a partir de minerales de la categoría Skarn metasomático en el campo y en el laboratorio.

Newberry y Einaudi (1981) dividen skarns de tungsteno en dos grupos: tipos reducidos y oxidados, sobre la composición base de roca huésped (carbón versus hematita), la mineralogía de Skarn (ferrosos versus hierro férrico), y relativa profundidad (temperatura metamórfica y la participación de las aguas subterráneas oxigenada).

Skarn tempranos ensamblados de tungsteno están dominadas por hedenbergita y granate con menor grandita asociados diseminados de grano fino, ricos en molibdeno scheelita (powellita). Granates tardíos son subcálcicos (Newberry, 1983) con cantidades importantes (hasta un 80% mol), de espessartina y almandino.

Este granate subcálcico está asociada a la lixiviación de los tempranos diseminados de scheelita y redeposición como de grano grueso, a menudo controladas por vetas, de bajo molibdeno scheelita.

También se asocia con la introducción de los sulfuros, como pirrotina, molibdenita, calcopirita, esfalerita y arsenopirita hidratada y minerales como biotita, hornblenda y epidota.

En skarns de tungsteno oxidados, andradita es más abundante que piroxeno, scheelita es pobre en molibdeno, y fases de hierro férrico son más comunes que las fases ferrosas.

En general, los skarns oxidados de tungsteno tienden a ser más pequeños que skarns de tungsteno reducidos, aunque las calificaciones más altas en las dos redes normalmente están asociados con minerales hidratados y alteración retrógrada.

### **Skarn de cobre**

Skarns de cobre son tal vez el tipo más abundante del mundo. Son especialmente frecuentes en las zonas relacionadas con subducción orogénica, tanto en la configuración continental y oceánica. Los principales referencias de los skarns de cobre incluyen Einaudi et al. (1981) y Einaudi (1982).

La mayoría de skarns de cobre están relacionados con tipo-I, serie magnetita, calcoalcalinas, plutones porfíricos, muchos de los cuales son co-genéticos a rocas volcánicas, venas en stockwork, y brechiación fractura frágil, y la intensa alteración hidrotermal. Estas son características indicativas de un entorno relativamente de la

formación. La mayoría de skarns de cobre se forman en las cercanías de contactos con una mineralogía relativamente dominada por andradita. Otras fases incluyen diópsido, idocrasa, wollastonita, actinolita, y epidota.

Magnetita y hematita son comunes en la mayoría de los depósitos y la presencia de rocas dolomíticas receptoras son coincidente con vetas de magnetita masiva que pueden ser minadas a escala local para el hierro. Los skarns de cobre comúnmente son zonas con masiva garnetita cerca de plutón y el aumento de piroxeno y finalmente idocrasa y/o wollastonita cerca del contacto con el mármol. Además, granate puede ser zonado por el color como proximales de color marrón rojizo oscuro a distales variedades verdes y amarillas. Mineralogía de Sulfuros y razones de metal también pueden ser sistemáticamente zonado relativo a la causal del plutón. En general, la pirita y la calcopirita son más abundantes cerca de plutón con el aumento de calcopirita y bornita finalmente en wollastonita cerca de las zonas de contacto de mármol. En skarns de cobre que contiene monticellita, bornita-calcocita dominante son los sulfuros de Cu-Fe en lugar de pirita-calcopirita. Los mayores skarns de cobre están asociados a la mineralización de plutones pórfido de cobre. Estos depósitos pueden exceder de 1 mil millones de toneladas de pórfido y combinado Skarn mineral con más de 5 millones de toneladas de cobre recuperable de Skarn.

Los plutones mineralizados presentan características de silicato de potasio y alteración sericítica que se puede correlacionar con granate-piroxeno prógrado y epidota-actinolita retrógrada, respectivamente en el Skarn.

Intensa alteración retrograda es común en skarns de cobre y en algunos pórfidos relacionados con los depósitos pueden destruir la mayoría de los granate y piroxeno prógrado. Alteración de Endoskarn de la mineralización de plutones es raro. En

cambio, las existencias estéril asociada a skarns de cobre contienen abundante epidota-actinolita-clorita y menos intensa alteración retrógrada de Skarn. Algunos yacimientos de cobre son de grano grueso, actinolita-calcopirita-pirita-magnetita, pero contienen sólo escasos granate-piroxeno prógrado.

### **Skarn de zinc-plomo**

La mayoría de skarns de zinc ocurren en el territorio continental asociados a zonas subducción o rifting. Son minas de minerales de zinc, plomo, plata aunque zinc suele ser dominante. También son de alto grado (10-20% Zn + Pb, 30-300 g / t Ag).

Relacionado a rocas ígneas cubren una amplia variedad de composiciones a través de diorita a alto sílice granito. También abarcan diversos ambientes geológicos de profundidad como batolitos a someras dique-sills complejos en la superficie de extrusiones volcánicas. El criterio común que une la mayoría de los minerales de Skarn de zinc distal es que se produzcan asociados a rocas ígneas. Las principales referencias de los depósitos de Skarn de zinc incluyen Einaudi et al. (1981) y Megaw et al. (1988).

Skarns de Zinc puede subdividirse según varios criterios, entre ellos la distancia de origen magmático, la temperatura de formación, la proporción relativa de Skarn y sulfuros, y la forma geométrica del cuerpo mineral.

Ninguno de estos criterios es del todo satisfactoria porque una fuente magmática no puede ser identificado por algunos yacimientos, debido a que la mayoría de skarns desarrollan más de una gama de temperaturas, y porque la mayoría de los grandes depósitos de Skarn contienen tanto Skarn ricos en minerales y menas como Skarn pobres dentro de una variedad geométrica incluida la configuración de mantos y chimeneas (por ejemplo Megaw, 1998). La mayoría de los distritos de Skarn de zinc aumentan el grado hacia el exterior de la mineralización, vetas, cuerpos y sulfuros

masivos que puedan contener pocos, o ningún, minerales de skarns. Distritos explorados de forma incompleta sólo puede tener algunas de estas zonas expuestas. Pero como ya se señaló anteriormente, la presencia de minerales como el granate y piroxeno dentro del sistema, es importante porque indica un entorno geoquímico restringido que es totalmente distinta de los tipos de mineral, que también contienen minerales Zn-Pb-Ag, pero que falta absolutamente minerales de Skarn.

Además de sus contenido de metal Pb-Zn-Ag, skarns de zinc pueden distinguirse de otros tipos de Skarn por su distintiva mineralogía rica de manganeso y hierro, por su ocurrencia a lo largo de contactos litológicos y estructurales, y por la ausencia de importantes aureolas metamórficas centrado en el skarn. Casi todos los skarn en esos depósitos minerales pueden enriquecerse en manganeso incluidos granate, piroxeno, olivino, ilvaita, piroxenoide, anfíbol, clorita, y serpentina.

En algunos yacimientos razones piroxeno:granate y el contenido de manganeso en piroxeno aumentan sistemáticamente a lo largo de la trayectoria del flujo de líquidos. Esta característica ha sido utilizada para identificar skarns proximal y distal y zonas proximal y distal dentro de los depósitos de skarn.

Una típica secuencia de zonación de proximal a distal es: plutón alterado/endoskarneado, granate, piroxeno, piroxenoide, y sulfuro/óxido de reemplazamiento de cuerpos (a veces llamados mantos y chimeneas basada en la geometría y las costumbres locales). La presencia de zinc en skarns en porciones distales de los principales sistemas magmáticos/hidrotermales pueden incluso ser pequeños depósitos útiles como guías en la exploración de distritos mal expuestos.

Por lo tanto, los reportes de minerales ricos en manganeso pueden aportar pistas a los distritos que aún no han recibido importantes actividades de exploración. Otra evidencia de alteración hidrotermal distal relacionadas con depósitos de skarn es la

aparición de fracturas y estilolitos en los límites en las rocas sedimentarias más allá de los límites de rocas calcosilicáticas minerales. Esto ha sido documentado por muchos depósitos de skarn diferentes (por ejemplo, Meinert et al., 1997), pero es particularmente común en skarns de Zn.

### **Skarn de molibdeno**

La mayoría de skarns de molibdeno se asocian con granitos leucocráticos y la gama de alto rango, relativamente pequeños depósitos de bajo grado. Numerosos pequeños depósitos también se encuentran en el Precámbrico asociados a cratones estables de pegmatita, aplita, rocas y otros leucocráticos (Vokes, 1963). La mayoría de skarns de molibdeno contienen una variedad de metales como W, Cu, Zn, Pb, Bi, Sn, y U, y algunos son realmente polimetálicos en varios metales que deben ser recuperados con el fin de ser minadas económicamente. Mo-W-Cu es la asociación más común de algunos skarns de tungsteno y skarns de cobre contienen zonas de molibdeno recuperable.

La mayoría de skarns de molibdeno se producen en arcillas carbonatadas o rocas calcáreas clásticas. Hedenbergita piroxeno es el más común de rocas calcosilicáticas reportadas de minerales de skarns de molibdeno con menor grandita (con menor componente piralspita), wollastonita, anfíboles, y la fluorita. Esta mineralogía de Skarn indica una reducción de ambiente, con actividades de alto flúor.

### **Skarn de estaño**

Skarns de estaño son casi exclusivamente asociados con granitos de alta sílice producido por la fusión de la corteza continental. Las principales referencias de los depósitos de Skarn de estaño incluyen Einaudi et al. (1981) y Kwak (1987). Skarns de estaño puede subdividirse según varios criterios, entre ellos proximal versus distal, magnesiano versus cálcica, Skarn ricos versus skarns pobres, óxidos ricos

versus sulfuro ricos, y greisen versus Skarn. Por desgracia, algunas de estas categorías se excluyen mutuamente.

Muchos de los grandes sistemas de Skarn de estaño están zonados espacialmente de Skarn ricos a Skarn pobres (o ausente).

Einaudi et al. (1981) hizo hincapié en que hay un hilo común que une los diversos tipos de depósitos de Skarn de estaño y que es la característica de la suite de elementos traza (Sn, F, B, Be, Li, W, Mo, y Rb) en el mineral y en asociaciones a rocas ígneas.

Esta suite de skarns de estaño distingue de todos los demás tipos de Skarn. Kwak (1987) hace una nueva distinción en la que muchos depósitos de Skarn de estaño desarrollan una alteración greisen, etapa que se superpone a la intrusión, Skarn temprana, y sin alteraciones de carbonato.

Alteración Greisen se caracteriza por la alta flúor y la presencia de minerales como fluorita, topacio, turmalina, moscovita, grunerita, ilmenita, y abundante cuarzo. En muchos casos esta alteración greisen destruye completamente la alteración de etapas anteriores. De particular importancia, el estilo de alteración greisen está ausente de todos los demás tipos de Skarn.

Hay varias características mineralógicas de skarns de estaño que deben tomarse en cuenta. Desde un punto de vista minero, lo más importante es que el estaño puede incorporarse a silicatos, como el granate, esfena e idocrasa, donde es económicamente irrecuperables. Así, grandes depósitos pueden contener importantes cantidades de estaño que no se pueden recuperar con la tecnología actual o previsible. Amplia alteración retrógrada o principios de greisen puede liberar este estaño y hacer que se precipiten en óxido o sulfuro mineral. Así, Skarn que destruye fases de alteración son especialmente importantes en los depósitos de estaño. Como

señaló Kwak (1987), el más atractivo mineral de cuerpos se produce en la porción distal de los grandes distritos donde Skarn de sulfuros masivos o de óxido de sustituciones se producen sin pérdida significativa de estaño en calco-silicatos, como el granate.

### **Otros tipos de skarn**

Hay muchos otros tipos de Skarn que históricamente han sido minadas o para explorar una variedad de metales y minerales industriales.

Algunos skarns contienen concentraciones económicas de REEs y de uranio.

Concentraciones de REEs y minerales de uranio en inclusiones fluidas sugieren que estos elementos pueden ser fuertemente concentrados de alta temperatura en fluidos hidrotermales. Esto sugiere que otros entornos metasomáticos deben examinarse para su posible contenido de REEs y de las concentraciones de uranio.

La presencia de elementos del grupo del platino se informa, en algunos skarns. Estos depósitos no han sido bien documentados en la literatura, y más parecen representar metasomatismo de rocas ultramáficas. Consideraciones Geoquímicas sugieren que PGEs podría ser transportados en condiciones muy ácidas, oxidadas. En el entorno de Skarn esas condiciones podrían ser alcanzadas en la etapa de alteración greisen de skarns de estaño. Esta podría ser una dirección para la futura investigación y exploración.

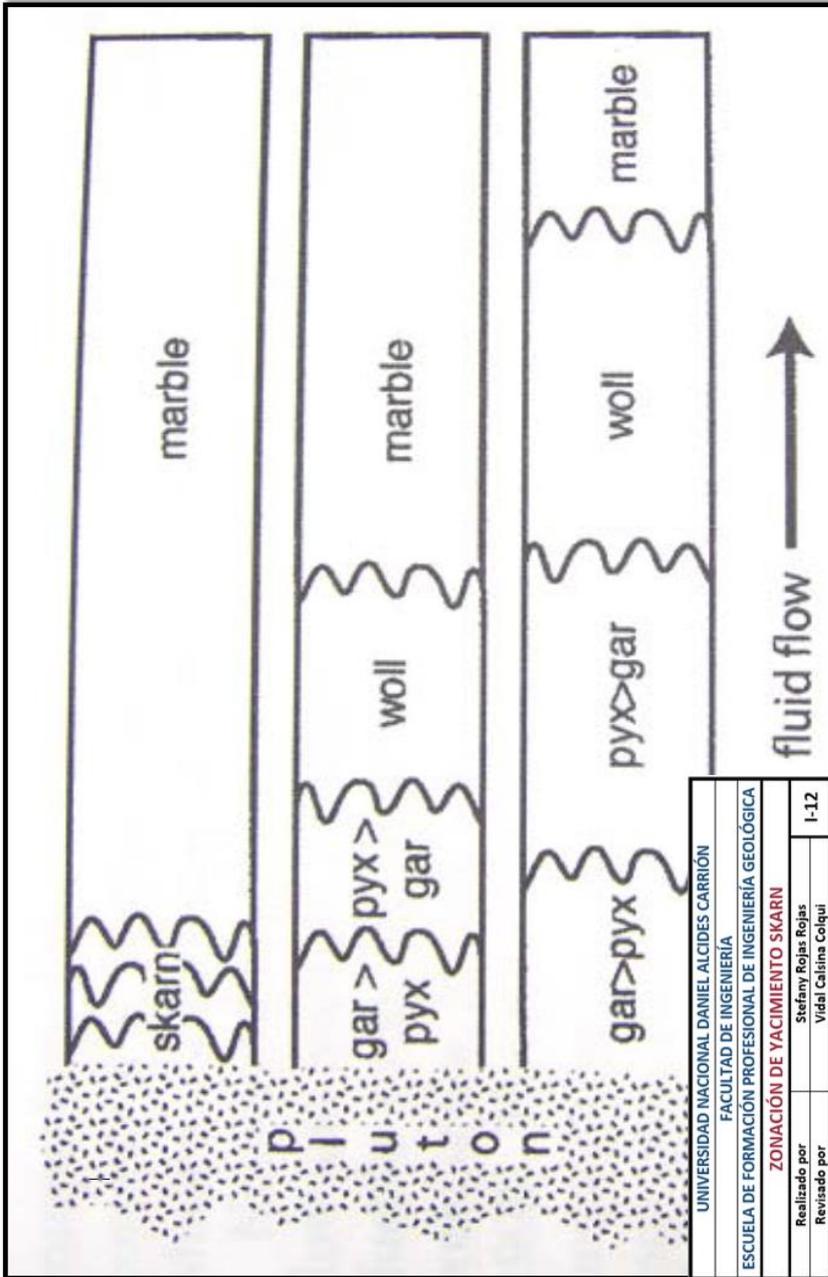
**Estructuras y zonación del skarn** En la mayoría de skarns hay un patrón general de zonación granate proximales, distales piroxeno e idocrase (o un pyroxenoide como wollastonita, bustamita, o rodonita) en el contacto entre Skarn y mármol (Imagen 12)

Además, los minerales pueden mostrar más grandes variaciones en el patrón de zonación a través de sistemática de color o de composición. Por ejemplo, es común

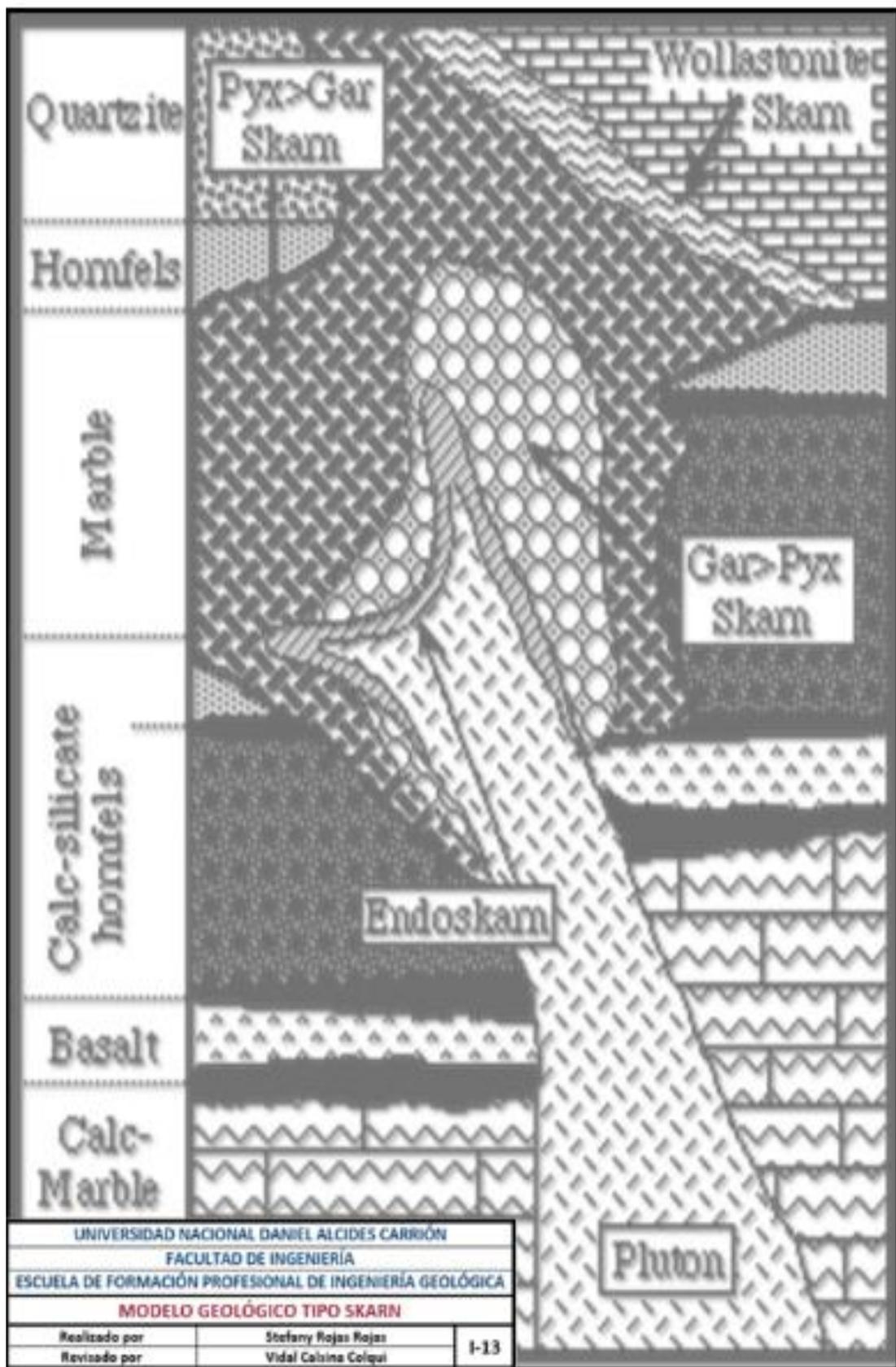
proximal granate rojo-marrón oscuro, marrón cada vez más ligeros y por último, de color verde pálido cerca de la parte frontal de mármol. (por ejemplo, Atkinson y Einaudi, 1978). El cambio de color del piroxeno es menos pronunciado, pero en general refleja un aumento progresivo en hierro y/o manganeso hacia el frente de mármol (por ejemplo, Harris y Einaudi, 1982). Para algunos sistemas de Skarn, estos patrones de zonación pueden ser "extendida" a una distancia de varios kilómetros y puede proporcionar una guía para la exploración (Imagen 13)

Detalles de la mineralogía y la zonificación de skarns pueden ser utilizados para la construcción de depósito de exploración de modelos específicos, así como los modelos de utilidad más general en el desarrollo de programas de bases de exploración o de síntesis regionales. Razonablemente detallados modelos de zonación están disponibles para el cobre, oro, zinc y skarns (Meinert, 1997).

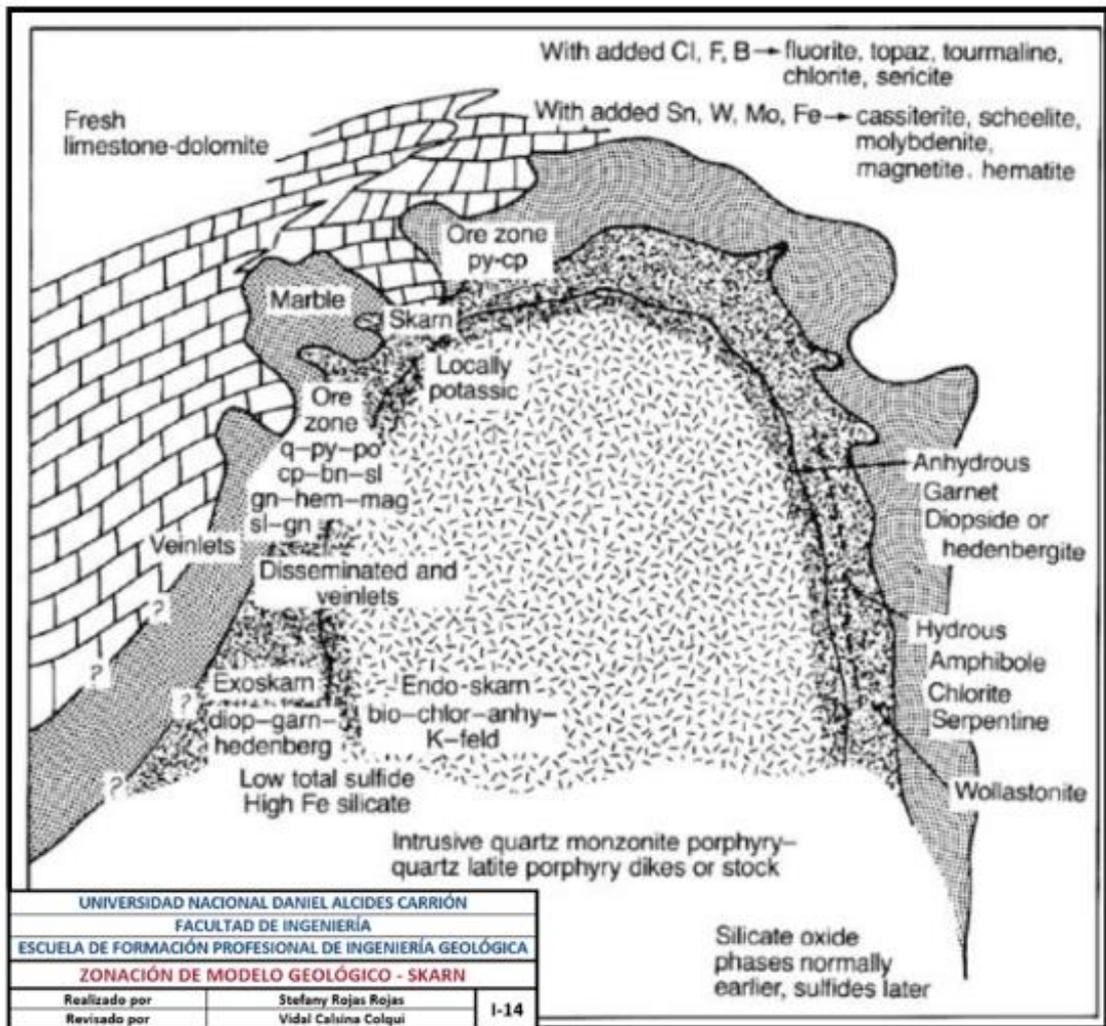
Otros modelos pueden ser construidos a partir de los depósitos que han sido bien estudiados, como la Hedley Au Skarn (Ettlinger, 1992; Ray et al., 1993) o la Groundhog Skarn de Zn (Meinert, 1982).



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN	
FACULTAD DE INGENIERÍA	
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA	
<b>ZONACIÓN DE YACIMIENTO SKARN</b>	
Realizado por	Stefany Rojas Rojas
Revisado por	Vidal Calsina Colqui
	I-12



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN		
FACULTAD DE INGENIERÍA		
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA		
<b>MODELO GEOLÓGICO TIPO SKARN</b>		
Realizado por	Stefany Rojas Rojas	I-13
Revisado por	Vidal Calvina Colqui	



Zonación que sucede en la mayoría de los skarn la cual copia la geometría del contacto del plutón y los flujos de fluidos. Los Skarn son zonados y la zona de endoskarn y exoskarn proximal posee un alto contenido de Granate. Las zonas distales son más ricas en piroxeno y en la zona más frontal, relacionada con mármoles puede estar dominada por piroxenoides o vesuvianita.

La aureola de metamorfismo de contacto en el cuerpo skarn santa rosa, compañía minera Raura se desarrolla entre un cuerpo porfídico de monzonita de cuarzo y un paquete de calizas, recristalizados por metamorfismo, presumiblemente del Paleozoico superior (Pérez-Segura, 2006). Ambos tipos de roca están en contacto tectónico con andesitas del Cretácico Superior, las cuales presentan alteración hidrotermal de tipo propilítico.

Una cartografía a semidetalle del área permite identificar una serie de zonas de alteración hidrotermal. Los límites entre ellas son graduales y la composición mineralógica está controlada tanto por la distancia al contacto con la intrusión, como por la composición del protolito. Partiendo de la intrusión hacia las rocas encajonantes, las zonas corresponden a:

a) Zona de intrusión fresca. Se trata de un pórfido de monzonita de cuarzo, con fenocristales de plagioclasa y cuarzo (en forma de “ojos”), además de biotita + hornblenda (estos últimos en menos de 10 % modal), en una matriz rosada, afanítica a microlítica, muy rica en feldespatos potásicos.

b) Zona con endoskarn en vetas y disseminaciones. Esta zona corresponde al mismo pórfido y se desarrolla en una franja de unos 300 metros de ancho. Contiene estructuras tabulares de espesor centimétrico con granate y piroxeno cálcico, los cuales también se encuentran en vetillas o disseminaciones (spots) pero nunca de manera masiva en la roca. Por otra parte, epidota, clorita, calcita, minerales opacos y sericita, producto de metamorfismo retrógrado, afectan hasta un 25 % del pórfido o se encuentran en vetillas.

c) Zona de endoskarn con granate en mayor proporción que piroxeno. Se diferencia de la anterior porque existe un desarrollo generalizado del skarn progrado que oblitera la litología original. El skarn progrado afecta de manera masiva a la roca,

aunque hay también menor presencia de disseminaciones o vetillas que contienen calcita, clorita y hematita (skarn retrogradante).

d) Zona de exoskarn con granate en mayor proporción que piroxeno. Se desarrolla sobre las calizas en bancos gruesos de espesores métricos a decimétricos, y un banco de conglomerados de matriz carbonatada, con una orientación general hacia el N80E y echados de 20° a 30° al N. Se compone de abundante granate y piroxeno cálcico, calcita, feldespato secundario, cuarzo, epidota, pirita y hematita. El granate está zonado y pertenece a la serie grosularia-andradita. Los minerales del skarn retrogradante tienen un desarrollo limitado; se observan en vetillas o bien intersticiales y se componen de epidota, calcita, cuarzo, clorita, feldespato secundario (albita), hematita y pirita

### 2.3. Definición de términos básicos

- **Lote:** Se refiere a un conjunto de material cuya composición quiere estimarse.
- **Incremento:** Corresponde a un grupo de partículas extraídos del lote en una sola operación del aparato que toma la muestra.
- **Muestra (M):** Es parte o porción representativa de un lote; generalmente obtenida por la unión de varios incrementos o fracciones del lote, cuyo objetivo es representar el lote en las operaciones subsecuentes.

Sin embargo, una muestra no es cualquier parte del lote, su extracción debe respetar las reglas que la teoría de muestreo establece.

- **Espécimen:** Es una parte del lote obtenida sin respetar las reglas de la teoría de muestreo. Un espécimen debe etiquetarse como tal y no debe usarse para representar el lote, su propósito solo puede ser cualitativo
- **Muestreo:** Es la acción de recoger muestras representativas de la calidad o condiciones medias de un todo o la técnica empleada en esta selección o la selección

de una pequeña parte estadísticamente determinada para inferir el valor de una o varias características del conjunto.

- **Muestreo Sistemático:** Muestras que se toman en una malla regular, en intervalos regulares de tiempo o de espacio.
- **Muestreo Aleatorio:** Muestras que se toman en intervalos de tiempo o espacios variables y distribuidos al azar.
- **Equiprobable:** Cuando todos los componentes tienen la misma probabilidad de ser elegido. Cuando el muestreo no cumple la condición de equiprobabilidad sólo se obtiene un espécimen.
- **Calidad:** La Calidad es una propiedad o conjunto de propiedades cuantitativas o cualitativas inherentes a algo que permiten juzgar su valor y le confiere la capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas y que permite que ésta sea comparada con cualquier otra de su misma especie. Calidad = Satisfacción Personal.
- **Calidad en la actividad profesional.** - Es un concepto generalmente concreto, objetivo y mensurable. Tiene elevados parámetros de eficacia y trabaja según estándares internacionales. Generalmente mediante una inversión significativa, para estandarizar y mejorar continuamente sus procesos, y con el objetivo de obtener por un lado productos y servicios estandarizados, uniformes, estables y confiables que satisfagan en forma continua al cliente para el cual están diseñados, y por otro lado lograr productividad, competitividad, seguridad, replicabilidad y globalización de las actividades, operaciones, entre otros beneficios.

- **Aseguramiento de la Calidad.** - Es un conjunto de actividades preestablecidas y sistemáticas necesarias para garantizar que una determinada actividad u operación alcance un grado aceptable de calidad.
- **Protocolos de Muestreo:** Es un conjunto de pasos y operaciones de toma de muestras y preparación.
- **Control de Calidad.** - Son técnicas y actividades de carácter operativo, utilizadas para determinar el nivel de calidad realmente alcanzado. Monitoreando los posibles errores mediante la inserción de muestras de control en el flujo de muestras.
- **Programas de Control de Calidad.** - Evaluar su comportamiento en las etapas esenciales de la secuencia muestreo-preparación-análisis, en un esfuerzo por determinar reducir al mínimo el error total posible.

Las etapas y los parámetros monitoreados en cada una de ellas se muestran a continuación:

- ❖ Muestreo: error (o precisión) de muestreo.
  - ❖ Preparación: error (o precisión) de sub-muestreo; contaminación durante la preparación.
  - ❖ Análisis: exactitud, precisión y contaminación analíticas.
  - ❖ Entrada de datos: exactitud de la entrada de datos.
- **Precisión:** Es la habilidad de reproducir consistentemente una medición en condiciones similares, vinculada a errores aleatorios, su evaluación exige reproducir la medición en condiciones tan cercanas como sea posible a las existentes en el momento en que tuvo lugar la medición original.
  - **Exactitud:** Se define como la proximidad de los resultados a un valor verdadero o aceptado, y se vincula a errores sistemáticos. Este concepto de exactitud está

indisolublemente vinculado al de valor real. Al determinar la ley de la muestra, nunca se llega a conocer el valor real; sin embargo, es posible preparar estándares en condiciones muy controladas, y establecer el mejor valor.

- **Contaminación:** Al preparar o analizar algunas muestras, particularmente las muy mineralizadas, es posible que cierta porción de una muestra o de una solución quede retenida accidentalmente en el equipo y contamine las muestras siguientes. La contaminación se determina mediante aplicación de muestras blancos, que son muestras estériles en las que los elementos a evaluar se encuentran presentes en cantidades inferiores a los correspondientes límites de detección.
- **Errores:** Existen en cualquier procedimiento de estimación. Es necesario diferenciar los distintos tipos de error.
- **Errores Aleatorios:** Fluctuaciones estadísticas en los resultados de las mediciones que pueden producirse en cualquier dirección, debido a limitaciones en la precisión del instrumento de medición, o del método de muestreo o del análisis, debido a la inhabilidad del experimentador o del equipo de repetir la misma medición exactamente del mismo modo para obtener el mismo resultado.
- **Errores Sistemáticos:** Son desviaciones de exactitud que generalmente se reproducen y que ocurren consistentemente en la misma dirección, frecuentemente se deben a la persistencia de un problema durante todo el experimento.
- **Errores Groseros:** Se deben a la incorrecta puesta en práctica de los protocolos de trabajo, cuando ocurren no deben de considerarse en el análisis del error experimental, puesto que se asume que los participantes en el experimento son cuidadoso y competentes.

- **Mineral:** Material que tiene un interés económico, en oposición al estéril. Esta definición depende de varios factores.
- **Ley:** Es la concentración de un elemento (elemento principal, subproducto o contaminante) en el subsuelo.
- **Potencia, Acumulación, Ley de corte:** Se trata de un valor de ley que separa categorías distintas de material, por ejemplo, mineral y estéril.
- **Modelamiento geológico:** Determinación de unidades geológicas en base a la litología, mineralogía, alteración, etc. En general, cada unidad se estudia y se estima por separado.
- **Estimación de Recursos:** Consiste en evaluar o predecir el valor de la variable regionalizada en un sitio no muestreado del espacio, utilizando para ellos datos circundantes disponibles.
- **Geoestadística:** La Geoestadística se define como la aplicación de la Teoría de Funciones Aleatorias al reconocimiento y estimación de fenómenos naturales (Journel y Huijbregts, 1978), o simplemente, el estudio de las variables numéricas distribuidas en el espacio (Chauvet, 1994),
- **Variables regionalizadas:** Una variable regionalizada es una función que representa el desplazamiento en el espacio de una cierta magnitud asociada a un fenómeno natural.
- **Recurso Mineral Inferido:** Es aquella parte de un Recurso Mineral por la cual se puede estimar el tonelaje, ley y contenido de mineral con un bajo nivel de confianza. Se infiere a partir de evidencia geológica y se asume pero no se certifica la continuidad geológica ni de la ley. Se basa en información inferida mediante técnicas apropiadas de localizaciones como pueden ser afloramientos,

zanjas, rajos, laboreos y sondajes que pueden ser limitados o de calidad y confiabilidad incierta.

- **Recurso Mineral Indicado:** Es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un nivel razonable de confianza el tonelaje, densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Se basa en información sobre exploración, muestreo y pruebas reunidas mediante técnicas apropiadas en ubicaciones como pueden ser: afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes.
- **Recurso Mineral Medido:** Es aquella parte de un Recurso Mineral para el cual puede estimarse con un alto nivel de confianza el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido de mineral. Se basa en la exploración detallada e información confiable sobre muestreo y pruebas obtenidas mediante técnicas apropiadas de lugares como pueden ser afloramientos, zanjas, rajos, túneles, laboreos y sondajes.

Las ubicaciones están espaciadas con suficiente cercanía para confirmar continuidad geológica y/o de la ley.

- **Reserva Mineral:** Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Medido o Indicado. Incluye dilución de materiales y tolerancias por pérdidas que se puedan producir cuando se extraiga el material. Se han realizado las evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad e incluyen la consideración de modificaciones por factores razonablemente asumidos de extracciones, metalúrgicas, económicos, de mercados, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran en la fecha en que se reporta que podría justificarse razonablemente la extracción. Las

Reservas de Mena se subdividen en orden creciente de confianza en Reservas Probables Minerales y Reservas Probadas Minerales

- **Reserva Probable de Minerales:** Es la parte económicamente explotable de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias Recurso Mineral Medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de factores modificadores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales
- **Recurso Geológico:** Concentración u ocurrencia de material de interés económico intrínseco en o sobre la corteza de la Tierra en forma y cantidad en que haya probabilidades razonables de una eventual extracción económica. Se habla indistintamente de recursos geológicos, minerales o in situ.
- **Ordinary Kriging (OK):** Método que consiste en asignar a un punto un valor estimado donde cada compósito contribuye a este valor estimado, con un peso y sumado a los otros compósitos que también tienen su respectivo ponderador. La condición es que la suma de estos ponderadores es igual a uno. La ventaja de este método es que se obtienen varianzas mínimas.

## **2.4. Formulación de Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

La evaluación Geoestadística del Cuerpo mineralizado Karol, determinará el incremento de recursos del yacimiento.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- a. La evaluación Geoestadística podrá Categorizar los recursos minerales
- b. Caracterizar la geología del yacimiento nos ayudara a determinar las reservas de la misma
- c. Se podrá determinar los recursos conociendo los controles estructurales de la mineralización
- d. Se podrá determinar los recursos conociendo los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos

### **2.5. Identificación de variables**

#### **2.5.1. Variable Independiente**

La evaluación Geoestadística

#### **2.5.2. Variable Dependiente**

Incremento de recursos

#### **2.5.3. Variable Interviniente**

Leyes de muestreo

### **2.6. Definición operacional de variables e indicadores**

- **Variable Independiente**

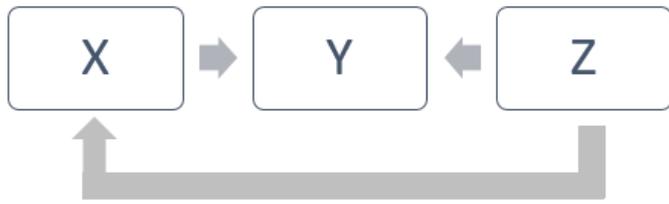
X= La evaluación Geoestadística

- **Variable dependiente**

Y= Incremento de recursos

- **Variable Interviniente**

Z= Leyes de muestreo



## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

Basado según el objetivo de estudio se realizará una investigación del tipo aplicada, que es aquella definida como: la investigación que utiliza los conocimientos obtenidos mediante el método investigativo, y con ello desarrolla aplicaciones en busca de satisfacer una necesidad.

#### **3.2. Métodos de investigación**

El método que utilizara la investigación, es de carácter “Descriptivo – explicativo – correlacional”

#### **3.3. Diseño de la investigación**

Sobre la base de la información ya existente, se realizó el siguiente proceso:

- **Método de Logueo Geológico**

Se tomarán fotografías, RQD, muestreo de densidad y muestreo de cores, todos estos procedimientos que se realiza de acuerdo a los protocolos, cumpliendo con los estándares que se demanda.

- **Petrografía**

Se realizará la descripción macroscópica y microscópica de los diferentes tipos de roca que se encuentran en el yacimiento.

### **3.4. Población y Muestra**

Considerando a la población como el conjunto espacial del yacimiento y las muestras es el Cuerpo mineralizado Karol.

### **3.5. Instrumentos de recolección de datos**

- En base al cartografiado geológico existente se identificarán la zona de interés, en donde se realizará cartografiado a detalle, selección y toma de datos y muestras.
- Se realizará columnas estratigráficas para diferenciar las facies litológicas y mineralógicas.
- Registro y codificación de datos.
- Para seleccionar los diferentes datos y muestras, se recolectarán muestras de roca, tanto de superficie como de los diferentes sondajes DDH; la recolección estará orientada a las zonas de interés.

### **3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

- Ejecución de estudios de geoestadística, que nos servirá para determinar el incremento de recursos minerales en el yacimiento.
- Técnicas Analíticas e Interpretación de toda la información obtenida en las diferentes etapas de Trabajo.

### **3.7. Tratamiento estadístico**

Para procesar los datos se utilizarán los programas estadísticos: Minitab, SPSS y DATAMINE

### **3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

#### **QA/QC**

A partir de octubre 2011 había QA/QC parcial sólo para Sondajes de Exploraciones, se insertaban: Estándar de Ley Alta (ST1100025), Blanco fino y Muestra Gemela de ¼ de testigo, no hubo qa/qc en muestras de mina; En el período 2012 el QA/QC también fue parcial y se realizaron inserciones solo para sondajes pero en este caso de exploraciones y también de operaciones, se insertaron: Estándar de Ley Alta (ST1100025), Estándar de Ley Baja (ST1100026), Blanco fino y Muestra Gemela de ¼ de testigo, no hubo qa/qc en muestras de mina.

A inicios del 2013 el manejo del muestreo estaba dividido en: Exploraciones y Operaciones cada uno manejaba su propio muestreo.

Las muestras de Operaciones tanto de sondajes como de mina no tenían QA/QC. El principal método de muestreo era por puntos/paneles en mina y de ½ testigo en caso de DDH, las muestras eran analizadas en el laboratorio Minlab-Raura, el método de análisis de las muestras enviadas a Minlab Raura es digestión por agua regia y terminación por EAA (Espectroscopia por Absorción Atómica).

Las muestras de exploraciones tanto de Sondajes como de mina eran despachadas al laboratorio ALS Lima y tenían un QC parcial: se introducían sólo estándares (Ley alta), blancos finos y muestras gemelas en el caso de muestras de mina cuyo método de muestreo era por puntos/paneles y en el caso de DDH estándares (Ley Alta, Ley Baja), blancos finos, muestras gemelas (1/4 de testigo) que no es lo recomendable, duplicados gruesos y duplicados finos, el método de muestreo era medio testigo. El método de análisis de las muestras enviadas a ALS era digestión multiácida y terminación ICP-OES y tenía límites de detección muy bajos.

En setiembre del 2013 se uniformizó el muestreo tanto de DDH como de Mina, en el caso de mina se cambió el muestro por paneles/puntos a muestreo por canales y se unificó el laboratorio y el método de ensayo: todas las muestras eran despachadas a Minlab Raura para ser analizadas por digestión por agua regia y terminación por EAA.

Para ese entonces sólo las muestras de DDH tenían QA/QC parcial.

En Octubre del 2013 se inició la inserción de controles para las muestras de mina, de tal forma que tanto las muestras de mina como de DDH tenían QA/QC parcial, se insertaban: Estándares (ley alta-ley baja), blanco fino y muestras gemelas(a partir del 23 de setiembre se cambió en el caso de DDH la extracción de muestra gemela de  $\frac{1}{4}$  de testigo a  $\frac{1}{2}$  testigo). Los duplicados finos y gruesos se introdujeron desde el 23 de noviembre del 2013. Asimismo en Octubre 2013 se inició con el envío de muestras de Controles Externos al laboratorio SGS. A partir de Febrero del 2014 se dio inicio a la inserción de 3 nuevos estándares (ELA-ley alta, ELM-ley media, ELB-ley baja), blanco fino, muestras gemelas, duplicado grueso, duplicado fino y Controles externos.

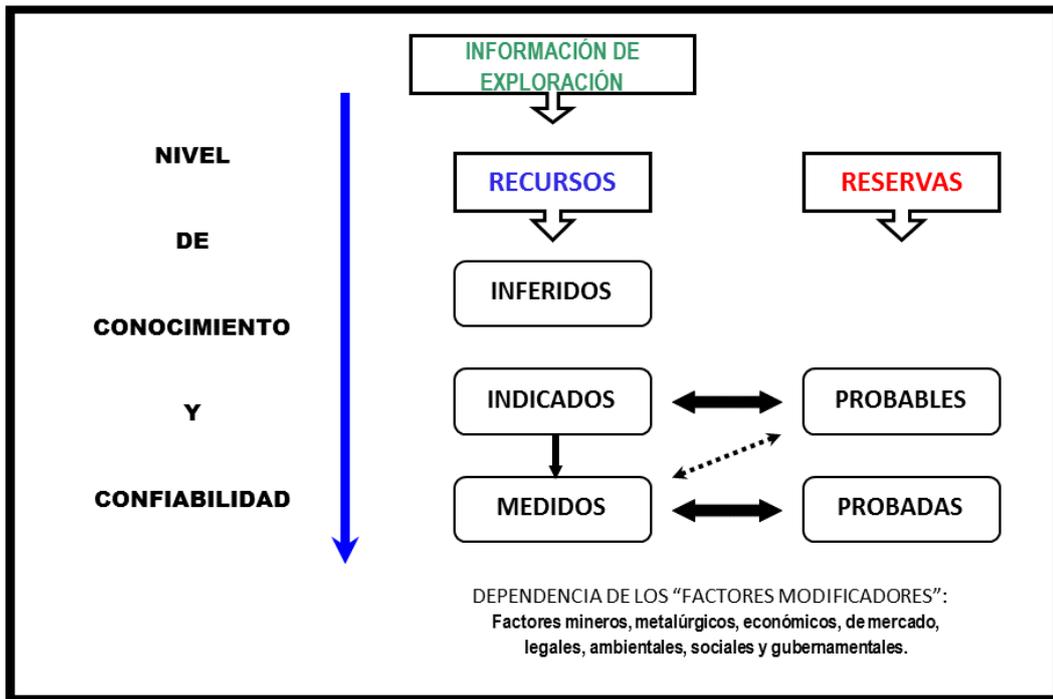
RAURA ha adoptado como norma para los Informes de Recursos y Reservas Minerales los principios internacionales referidos por el Joint Ore Reserves Committee (JORC), Australasian Institute of Mining and Metallurgy (AusIMM), y Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia.

Estos Principios fundamentalmente son: la transparencia, total entrega de la información pertinente, e idoneidad del personal evaluador. Para adecuarnos a las normas se están adoptando las acciones necesarias para otorgar la confianza en los estimados mediante la definición de la metodología de cada proceso y hacerlos

sustentables, de igual manera se aplican técnicas de verificación y validación para confirmar los resultados.

En la siguiente figura se muestra la relación secuencial que existe entre la Información de Exploración, Recursos y Reservas. La clasificación de los estimados debe tomar este marco de referencia, de modo tal que reflejen los diferentes niveles de confianza geológica y los diferentes grados de evaluación técnica y económica. Conforme aumenta el conocimiento geológico, es posible que la Información de la Exploración llegue a ser la suficiente como para estimar un Recurso Mineral. Conforme aumenta la información económica, es posible que parte del total de un Recurso Mineral se convierta en una Reserva Mineral. Las flechas de doble sentido entre Reservas y Recursos que se incluyen en la Fig.12 indican que los cambios en algunos factores podrían hacer que el material estimado se desplace de una categoría a otra.

La importancia relativa de los criterios sugeridos variará en cada yacimiento, dependiendo del ambiente geológico, restricciones técnicas, condiciones legales y normas existentes al momento de la evaluación.



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>		
<b>RECURSOS MINERALES</b>		
Realizado por	Stefany Rojas Rojas	I-15
Revisado por	Vidal Calsina Colqui	

Las principales definiciones que RAURA asume y se obliga a seguir están enunciadas en los párrafos siguientes.

**Recursos minerales**

Son concentraciones de minerales que existen de manera natural en la corteza terrestre en forma, cantidad y calidad tales que la extracción económica de un producto, a partir de la concentración, sea actual o potencialmente factible. La ubicación, cantidad, ley, características geológicas y continuidad de un Recurso Mineral se conocen o estiman o interpretan a partir de información, evidencias y conocimiento geológicos específicos, con alguna contribución de otras disciplinas (Imagen 15).

Las declaraciones de Recursos Minerales, generalmente son documentos dinámicos y cambiantes que se ven afectados por la tecnología, la infraestructura, los precios de metales y otros factores. Según cambien estos diversos factores, el material puede entrar o salir de la estimación de Recursos.

Las partes de un yacimiento que no tengan perspectivas razonables de extracción económica eventual, no deben incluirse en un Recurso Mineral.

Los Recursos Minerales se subdividen, en orden de confianza geológica creciente en las categorías de Inferido, Indicado y Medido.

### **Recurso mineral inferido**

Parte de un Recurso Mineral cuyos tonelaje, leyes y contenido mineral pueden estimarse con un bajo nivel de confianza. Se le infiere o asume de evidencia geológica y/o de leyes asumidas, pero no verificadas. El estimado se basa en información reunida con técnicas adecuadas en lugares tales como afloramientos, trincheras, cateos, beneficios y taladros, la cual puede ser limitada o de calidad - fiabilidad incierta.

Se asume la continuidad geológica y puede o no estar respaldada por muestras representativas o evidencia geológica.

La confianza en el estimado es insuficiente como para aplicar parámetros técnicos y económicos, o realizar una evaluación económica de pre-factibilidad que merezca darse a conocer al público.

### **Recurso mineral indicado**

Parte de un Recurso Mineral cuyos tonelajes, densidades, forma, características físicas, leyes y contenido mineral pueden estimarse con un nivel de confianza razonable. El estimado se basa en la información de exploración, muestreo y pruebas reunidas con técnicas apropiadas de lugares tales como afloramientos,

trincheras, cateos, beneficios y taladros. Los lugares están demasiado o inadecuadamente espaciados para confirmar la continuidad geológica y de leyes, pero sí lo suficientemente cercanos como para asumirlas.

Se asume la continuidad geológica con muestras inadecuadamente espaciadas y que no permiten confirmar totalmente.

La confianza en el estimado pese a ser menor que en el caso de los Recursos Medidos, es suficientemente alta como para aplicar los parámetros técnicos y económicos para una posible evaluación de pre-factibilidad económica.

El estimado se basa en información de la exploración, muestreo e información reunida mediante técnicas apropiadas sobre afloramientos, trincheras, pozos, taladros y pruebas de beneficio.

### **Recurso mineral medido**

Parte de un Recurso Mineral cuyos tonelajes, densidades, forma, características físicas, leyes y contenido mineral pueden estimarse con un alto nivel de confianza.

El estimado se basa en información confiable y detallada de exploración, muestreo y pruebas reunidas con técnicas adecuadas de lugares tales como los afloramientos, trincheras, piques, beneficios y taladros. Los lugares están espaciados con proximidad suficiente para confirmar la continuidad geológica y/o la de leyes.

Se confirma la continuidad geológica mediante muestreo adecuadamente espaciado.

La confianza en el grado de conocimiento de la geología y controles del yacimiento mineral, es suficiente como para permitir la aplicación adecuada de los parámetros técnicos y económicos como para posibilitar una evaluación de viabilidad económica.

## **Reservas minerales**

Es la parte económica y legalmente extraíble de un Recurso Mineral Medido o Indicado y que incluye materiales de dilución y descuentos por las mermas que pueden ocurrir durante el minado. Requiere haber efectuado evaluaciones que pueden incluir estudios de pre-factibilidad o factibilidad considerando los factores de minado, procesamiento, metalurgia, economía, mercadeo, legales, ambientales, sociales y gubernamentales asumidos en forma realista.

El término económico implica que se ha podido establecer o demostrar analíticamente que es posible una extracción o producción rentable, bajo hipótesis definidas de inversión. Las hipótesis deberán ser razonables, incluyendo los supuestos relacionados con los precios y costos que prevalecerán durante la vida del proyecto. La evaluación dinámica de las operaciones implica que un cálculo válido efectuado en un momento dado, puede cambiar significativamente cuando se dispone de nueva información.

El término legalmente implica que no debería haber incertidumbre en lo que respecta a los permisos necesarios para el minado y el procesamiento de los minerales, ni tampoco con la resolución de asuntos legales que estuvieran pendientes.

Se reconoce que las estimaciones de reservas, siendo estas predicciones de lo que ocurrirá en el futuro tendrán cierto grado de inexactitud. Se reconoce también que diferentes técnicos que pudieran analizar los mismos datos, pueden llegar a interpretaciones y conclusiones discrepantes. El hecho de que se demuestre, en una fecha posterior, que la estimación de una reserva fue inexacta debido a que no se contó con información suficiente o a que cambiaron las condiciones económicas, no significa necesariamente que la estimación se hizo de manera incompetente o

fraudulenta. La información relacionada con la estimación de reservas debe tener una base sustentable y debe hacerse de buena fe.

En ciertas circunstancias, las Reservas Minerales previamente reportadas podrían revertir a Recursos Minerales. Su reclasificación no debe aplicarse cuando se prevé que los cambios serán temporales, de corta duración o cuando la Gerencia decide operar a corto plazo en forma no económica. Ejemplos de estas situaciones son la caída del precio del producto que se espera sea de corta duración, emergencia temporal en la mina, huelga de transportes, etc. Se subdividen en orden de confianza creciente en Reservas Probables y Reservas Probadas.

### **Reserva mineral probable**

Es la parte económicamente extraíble de un Recurso Mineral Indicado y en algunas circunstancias de un Recurso Mineral Medido. Esta Reserva incluye los materiales de dilución y los materiales por mermas que puedan ocurrir durante la explotación. Implica evaluaciones a nivel de un estudio de pre factibilidad o factibilidad con las consideraciones respecto a los factores económicos modificadores; estas evaluaciones demuestran que la extracción podría justificarse razonablemente en el momento del informe.

Una Reserva Mineral Probable tiene menos confianza que una Reserva Mineral Probada y su estimado debe tener la calidad suficiente como para servir de base a decisiones sobre compromisos mayores de capital y al desarrollo final del yacimiento. Sin embargo, requiere mayor información para demostrar la continuidad geológica y su ley.

En ciertas circunstancias un Recurso Mineral Medido puede convertirse en Reserva Mineral Probable, debido a la incertidumbre asociada con los factores modificadores tomados en cuenta. En este caso no implica una reducción en el

nivel de confianza o conocimiento geológico; en una situación así, los factores modificadores deberán explicarse fehacientemente.

### **Reservas minerales probada**

Es la parte económicamente extraíble de un Recurso Mineral Medido e incluye los materiales de dilución y descuentos por mermas durante la explotación. La aplicación de la categoría de Reserva Mineral Probada implica el más alto grado de confianza en el estimado y se asume que existe suficiente información disponible para demostrar razonablemente la continuidad geológica y la ley.

Involucra efectuar evaluaciones de pre-factibilidad o factibilidad en las que se consideran las modificaciones por factores realistas de minado, metalúrgicos, económicos, mercadeo, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran que la extracción es viable al momento del informe. Normalmente involucra al material que se está minando y para el cual hay un plan de mina detallado.

En ningún caso los Recursos Minerales Indicados podrían convertirse directamente en Reservas Minerales Probadas.

### **3.9 Orientación ética**

La presente tesis tiene la finalidad poder contribuir con el desarrollo de personas interesadas en la geoestadística y más aún con la estimación de recursos adecuado para la empresa minera Raura.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Descripción del trabajo de campo

##### 4.1.1 Bloque de cubicación

Los bloques de Cubicación han sido definidos según los siguientes parámetros:

- Potencia de las Estructuras
- La existencia de zonas estériles
- Dirección de Fluidos (Isovalores)
- Criterios Geológicos
- Labores de Preparación

##### 4.1.2 Cálculo de leyes

Las leyes de muestreo han sido calculadas usando la siguiente fórmula:

$$\text{Ley Promedio} = \frac{\Sigma(\text{Ancho Veta} \times \text{Ley})}{\Sigma (\text{Anchos})}$$

## **Muestreo y procedimiento**

Es el proceso de coger parte, generalmente pequeña, representativa de una población cualquiera, siguiendo una técnica optimizada de tal forma que la proporción y distribución de su calidad para análisis sean representativas del conjunto. El muestreo da información sobre la ley y espesor de una parte del depósito y tiene como objetivo el precisar su geometría con vistas a la evaluación general del conjunto mineralizado. En este sentido el muestreo también puede ser dirigido a distinguir zonas estériles, determinar zonas con minerales refractarios a la metalurgia (óxidos, silicatos,...), determinar zonas con elementos contaminantes dentro de la MENA (Hg, As, Bi,...), o determinar zonas con metales que proporcionen beneficio como subproductos (Au,...).

En todo muestreo, debe estar bien establecido lo siguiente:

- Objetivo del muestreo.
- Población a muestrear
- Datos a recolectar
- Manera de recolectar los datos
- Grado de precisión deseado
- Método de medida.

Para cumplir bien con la definición inicial de muestreo, se debe cumplir el hecho siguiente, de vital importancia:

***“El muestreo debe ser equiprobable”***

El muestreo es equiprobable cuando todos los fragmentos que constituyen el lote tienen la misma probabilidad de ser elegidos para la constitución de la muestra.

### Muestreo Cores DDH

El muestreo de cores es un trabajo de coordinación entre el Geólogo Responsable de Logueo y el muestrero de cores, el Geólogo determinará los tramos a cortar (Imagen 16).



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>		
<b>MUESTREO GEOLÓGICO – MINA RAURA</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>I-16</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

Se genera una orden que incluye la relación de taladros programados para el corte, por parte del supervisor de Logueo, ubicar las cajas correspondientes del taladro y trasladarlas de manera ordenada y apilada hacia un costado de la maquina cortadora (Petrótomo) para iniciar el corte con la ayuda de la transpaleta o carreta.

Se codifica las bolsas de muestreo con plumón indeleble de acuerdo a la relación de muestreo.

Se ubicarán en forma ordenada las cajas porta testigos en la mesa marcadas previamente por el Geólogo de Logueo, indicando con plumón especial los tramos e intervalos a muestrear en las paredes de las canaletas de las cajas porta testigos además de verificar la información de la lámina permatac la conformidad del número del muestra y el intervalo por muestrear (partes mineralizadas, diseminadas, zonas de falla, estructura, caballos entre otros) (Imagen 17). Además el Geólogo responsable debe de indicar la línea de corte en los cores diamantinos por la mitad utilizando lápiz de cera.



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>		
<b>CAJAS PARA LOGUEO – MINA RAURA</b>		
Realizado por	Stefany Rojas Rojas	I-17
Revisado por	Vidal Calsina Colqui	

Después se procede a encender la máquina, aperturar la válvula de agua, seccionar el core en tramos de 15 a 20 cm; se inicia la maniobra de corte del testigo siguiendo la línea de corte, (15 a 20 cm), presionando lentamente hacia delante; en referencia al disco circular el cual partirá en 02 mitades distribuidas de la siguiente manera una depositada en la bolsa de muestreo y la otra será devuelta en su posición original, en la canaleta correspondiente, donde estuvo inicialmente el testigo (Imagen 18)



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>		
<b>CORTE DE MUESTRAS – MINA RAURA</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>I-18</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

Una vez realizado el corte de los cores del intervalo indicado cerrar la bolsa en pliegues desde la boca de la bolsa con el talón de muestreo de manera que se muestre el número de muestra claramente en la esquina superior de la bolsa, proceder a etiquetar y cerrar la bolsa. Pasar a la siguiente muestra.

Una vez culminada la jornada o guardia de trabajo ordenar, colocar en sacos y rotularlos (incluidos los Controles del QA/QC por saco).

Se registra los tiempos de parada de la máquina según formato para verificar las horas máquina.

Se realiza orden y limpieza en la sala de corte es decir del Petrótomo, canaletas de drenajes etc., alcanzar el reporte de muestreo firmado (Documento de custodia) por el responsable DDH para él envío de las muestras al respectivo laboratorio químico.

### **Interpretación Geológica**

#### ***a) Planos en Planta y Secciones Transversales (mapeo, litología, estructural)***

Actualmente contamos con planos en planta y secciones Longitudinales, en cuanto a las secciones transversales se está implementando paulatinamente ya contamos con la malla sistemática definida con bloques a cada 25 metros.

El mapeo Geológico se hace en forma permanente dependiendo del avance en labores de Desarrollo y Exploración, este proceso de mapeo se extiende hasta los Tajos en casos de irregularidad Notoria, variabilidad en las estructuras, etc.

También contamos con información de mapeo estructural y litológico que proviene en su mayoría de los Sondajes Diamantinos.

#### ***b) Validación de Interpretaciones***

La información obtenida por las perforaciones DDH, son de gran ayuda al momento de interpretar los interceptos registrados, los mismos que se proyectan relacionándolos con los mapeos geológicos e información adicional que se

pueda obtener, toda esta información se eleva a secciones ya sea en CAD o en DATAMINE para que la interpretación se ajuste o se reinterprete si fuera el caso, valga mencionar que una forma de validar nuestra interpretación se hace con ayuda del Software Datamine.

**c) Isovalores**

A inicios del presente año se comenzó con un trabajo de recopilación de información basado en tajos actualmente operativos, se procede con la ubicación espacial de las muestras de canales como de sondajes (x,y,z), con ayuda del mapeo geológico se ajustan dichos canales para luego generar string o contornos que luego serán importados al software para su tratamiento, posterior análisis y validación, de la misma forma se analiza la base de datos, se somete a estadísticas para finalmente generar nuestro modelo de Bloques que contendrá la información de interés para crear nuestras líneas de tendencia de Isovalores, Isopotencias, etc.

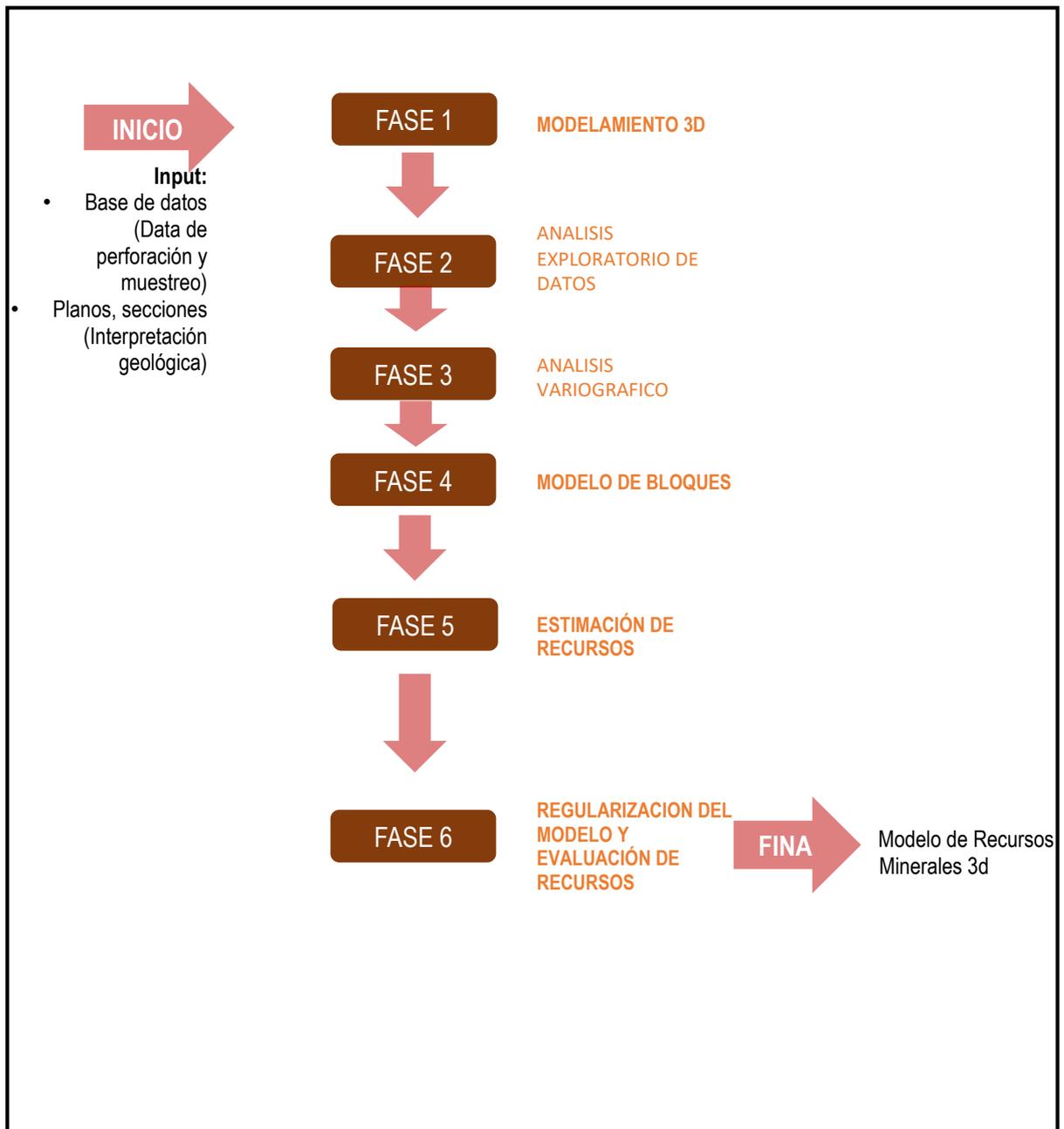
**d) Modelo 3D**

Gracias al trabajo de isovalores se está dando uso a la información obtenida y completándola para crear nuestro modelo Geológico con ayuda del Software DATAMINE, partiendo de Mapeo Geológico, Muestras de Canales, Sondajes Diamantinos, etc.

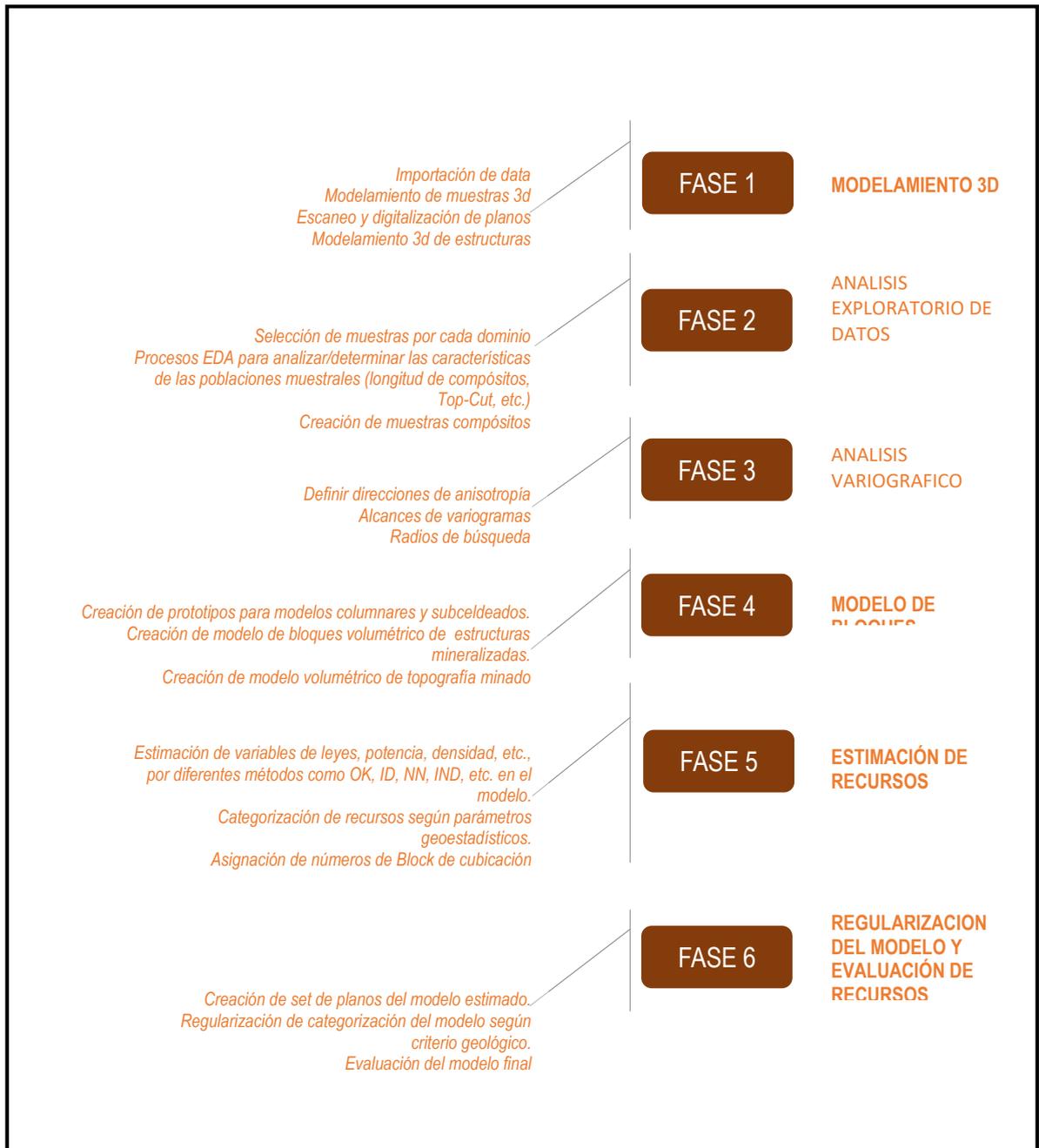
#### **4.1.3 Desarrollo**

- Usar la información guardada en la Base de Datos del Área de Geología GDMS.
- Recibirla en archivo texto para poderlo cargar en programa donde se calcularán las interpolaciones (Datamine). Este punto ideal, se ha cumplido totalmente y se asume que los chequeos de consistencia y validación de datos geológicos y de análisis químicos son correctamente validado por el Área de Geología como paso previo al trabajo del Consultor.
- Preparar los archivos con los parámetros variográficas y los distintos radios de búsqueda inicial que se usarán iterativamente hasta conseguir un resultado en concordancia con la observación y el modelo implícito que tiene el staff de geología respecto al cuerpo en estudio; de presentar la estructura inflexiones muy notorias y determinantes se procederá a realizar radios de búsqueda por zona.

## DIAGRAMA DE PROCESOS GENERAL



## DIAGRAMA DE PROCESOS - ACTIVIDADES



**DESARROLLO SEGÚN CADA FASE (ANEXOS)**

## 4.2 Presentación, análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1 Método Geoestadístico

La Estimación de Recursos con Software Estudio RM (Datamine) al 31 de Diciembre del 2017 se elaboró con soporte técnico del Dr. Alfredo Marín, quien actualmente es consultor geoestadístico de Raura.

La estimación geoestadística con Ordinary Kriging garantiza para cada bloque o celda dos aspectos:

- A) Estimación no sesgada o sea sin error sistemático y
- B) Optimizar la estimación en el sentido de proporcionar la varianza de estimación mínima.

Para realizar el procedimiento se tomará en cuenta lo siguiente:

- Se calculará todos los paneles o bloques creados dentro del sólido de veta que proporciona Área de Modelamiento por la interpretación de geología.
- El algoritmo consiste básicamente en asignar un peso a cada valor de ley de un compósito que se encuentre dentro del área de influencia dado por la elipse de radios de búsqueda (basados en los alcances variográficos).
- Se trabaja según el peso geológico que tiene la interpretación de las continuidades mineralógicas y de la continuidad de la estructura según opinión del geólogo que trabaja en el mapeo. Este criterio prevalece sobre el radio que puede darse de búsqueda, donde inicialmente para los Recursos medidos se otorga 50% del alcance variográfico y el doble para los Indicados. Los Recursos Inferidos se extenderán casi siempre más de 2 veces el radio de búsqueda.
- La estimación global obtenida siempre se busca tenerse un sesgo cercano al 5% de error, sobretodo en zinc (Zn\_pct) que es el metal según el cual se

llega a clasificar. Estas interpolaciones iterativas nos conducen a variar los radios de búsqueda procurando estar cerca del criterio de radios de búsqueda descrito.

- Según el alcance anterior cada interpolación es sometida a la confrontación de la opinión geológica de su continuidad como estructura. La última versión es con el peso geológico que se da en comparación a los resultados de la estimación tradicional, cuando existe.

#### **4.2.2 Responsabilidades**

- Los geólogos y personas de Modelamiento y Recursos Minerales deben estar familiarizados con este procedimiento, así como con los términos.
- Hacer énfasis, tratándose de relacionar los resultados de la interpolación y las interpretaciones geológicas, con los geólogos que estudian la veta calculada.
- Hacer entrega de los resultados, así como los Reportes geoestadístico a todos los geólogos que realizan los trabajos en mina para que observen diferencias o cercanías del modelo, y así ir mejorando con ajustes técnicos de Dominios o ensambles mineralógicos, los futuros cálculos de recursos.

#### **4.2.3 Controles**

- Conociendo la estimación Ordinary Kriging realizada, es indispensable hacer un seguimiento con la preparación y explotación de la veta en estudio.
- Mediante los trabajos de Reconciliación se tendrá que realizar ajustes al Modelo estimado en comparación al real explotado.
- Con los criterios necesarios, a medida que aumentan los datos serán necesarias ciertas actualizaciones que, dependiendo de la continuidad geológica, tomar decisión de seguir usando los mismos parámetros de los variogramas o calcular nuevos parámetros.

- A medida que aumenten los datos de tajos es indispensable tener variogramas encaminados a trabajar en corto y mediano plazo. La varianza de dispersión tendrá que ser trabajada, optimizando bloques de estimación relacionados a variaciones de volumen optimizando el criterio de explotación.

#### **4.2.4 Revisión y mejoramiento continuo**

- Buscar mejoramientos de variogramas a medida que los datos aumentan sobre todo en los tajos. Luego usarlos en nuevas interpolaciones, incluso con otros interpoladores geoestadísticos como Simple.
- Un ejercicio importante podría ser ensayar otras longitudes de compósitos que ofrezcan diferentes varianzas de la población y mejorando los parámetros variográficos.
- Posteriormente realizar nuevas interpolaciones comparando resultados con lo explotado. De ese modo irán mejorando los Modelos de bloques interpolados.
- Usar los criterios de interpolación geoestadística logarítmica para los metales que según su histograma presentan esta distribución. Con este criterio mejorarán los promedios de Recursos Minerales entregables.

#### **4.2.5 Procedimiento**

1. Escaneo de imágenes, Georeferenciación y Modelamiento 3d, combinación de imágenes para modelamiento 3d
2. Estadísticas de los datos iniciales, calculando los promedios de leyes ponderadas por la longitud de muestreo.
3. Dependiendo del ancho de la estructura se realiza la composición de los datos para tener una población regularizada.

4. Se calcula estadísticas de los compósitos y se presenta en cuadro parecido a los datos iniciales. Los promedios de leyes son ponderados por la longitud de los compósitos (LENGTH).
5. Tareas para realizar el Capping (acotamientos de los valores altos de la población de compósitos, permite eliminar algunos sesgos de valores altos), se realiza con tres pasos básicos:
  - A) Estadísticas con histogramas.
  - B) Gráficos Probabilistic plots (Logarítmicos) para cada metal en estudio y
  - C) Centiles Metodología
6. Este paso puede tener influencia subjetiva porque en algunos trabajos de Geoquímica se usa  $TH = \text{media} + 2 \text{ desviaciones estándar}$ . Como referencia se incluye TH en las tablas estadísticas, pero se espera la decisión o el visto bueno de Geología para usar los capping calculados.
7. Con tabla de Acotamientos (capping), en los compósitos se llega a determinar campos de leyes acotadas para cada metal: ag\_ac para la plata, cu\_ac para el cobre, pb\_ac para el plomo y zn\_ac para el zinc. Todos los valores altos mayores o iguales al capping serán reemplazados por este valor.
8. La variable Acumulada (LENGTH\*Ley acotada), donde LENGTH es la longitud de compósito se determina para cada metal. Esta variable calculada con las leyes acotadas para el caso de Raura son ACCU para el cobre, ACPB para el plomo, ACZN para el Zinc y ACAG para la plata. El archivo de compósitos con estos campos se llama holes\_com\_capp.dm y será INPUT en cálculo de variogramas y en las interpolaciones de leyes.
9. Variogramas de variables acumuladas acotadas (ACCU, ACPB, ACZN y ACAG). Se lleva a cabo en dos etapas:

- A) Los variogramas experimentales trabajados mayormente con datos horizontales de labores, a falta de datos verticales y B) Modelamiento de los variogramas experimentales llevándolos a un ajuste a la función denominada esférica.
10. Tabla de parámetros variográficos, se obtiene del paso B) anterior, llegando a obtenerse tres parámetros básicos:
- A) El efecto de pepita.
- B) La meseta que sumada al efecto de pepita es 1.0 porque el ajuste se hace normalizado y
- C) El alcance, parámetros en metros que nos entrega la influencia de autocorrelación de esa ley en la dirección estudiada.
11. Crear Modelo de bloques Rotado en sus 3 ejes, dependiendo su tamaño a la escala de trabajo que hay en la mina. Para vetas angostas pueden ser cubos de 1 metro de lado, pero en cuerpos como Karol llegan a ser cubos de 3 metros de lado.
12. Validación de sólido con el Volumen del Modelo de bloques, el modelo de bloques debe ser medida su volumen en comparación al volumen que genera el sólido. Las diferencias de estos volúmenes deben tender a 0.0.
13. Estimación de la Potencia del sólido en Modelo de bloques, dependiendo de la complejidad del sólido puede llegar a ser tarea que toma su tiempo de ejecución. Se generan sondajes ficticios creados en el sólido buscando perpendicularidad a éste. Luego son INPUT para calcular en modelo de bloques la Potencia veta (Pot\_Vet).

14. Parámetros para la interpolación Geoestadística de los metales en Datamine se requiere de tres archivos:
- 1) search\_volum.dm-Tabla de radios de búsqueda basados en las longitudes de los alcances variográficos del metal relevante (Zinc). Los radios de Cobre, plomo, Plata pueden variar según se acomode a obtener una interpolación con sesgo +/- 5%.
  - 2) xmod\_zn1.dm- Tabla de parámetros variográficos y
  - 3) Métodos de interpolación (Metales con OK y longitud de compósito LENGTH con Inverso a la distancia potencia 3, usando elipsoide de Zinc, por ser relevante a usarse en la Clasificación de Recursos.
15. La interpolación se realiza en una misma sesión usando modelo de bloques con celdas rotadas y optimizada con el uso de Sub-celdas, con la rutina ESTIMATE. Se calcula 4 puntos en cada eje relativo del bloque. El archivo INPUT de bloques es holes\_fic.dm que contiene la potencia del sólido estimado. En este proceso el OUTPUT es el archivo est\_rc\_pot.dm.
16. El archivo est\_rc.dm sirve de base para gestionar resultados de estimación y obtenerse con rutinas varias (entregada en una macro) las leyes estimadas respectivas, de la misma forma se Estimó la Densidad Aparente por separado y luego se une a la base de datos Estimada cuyo campo se llama DA y reemplazará al campo DENSITY. De esta gestión se desprende el archivo est\_rc\_final.dm con todos los bloques estimados.
17. Para la presente estimación se ha aplicado el cálculo de Confianza; es decir que cada reporte de bloques también contará con el porcentaje de confianza que resulta de la mayor Varianza, para esto se aplica la siguiente fórmula en la base de datos estimada.

$$CM = (100 - ((100*VK)/VAR))$$

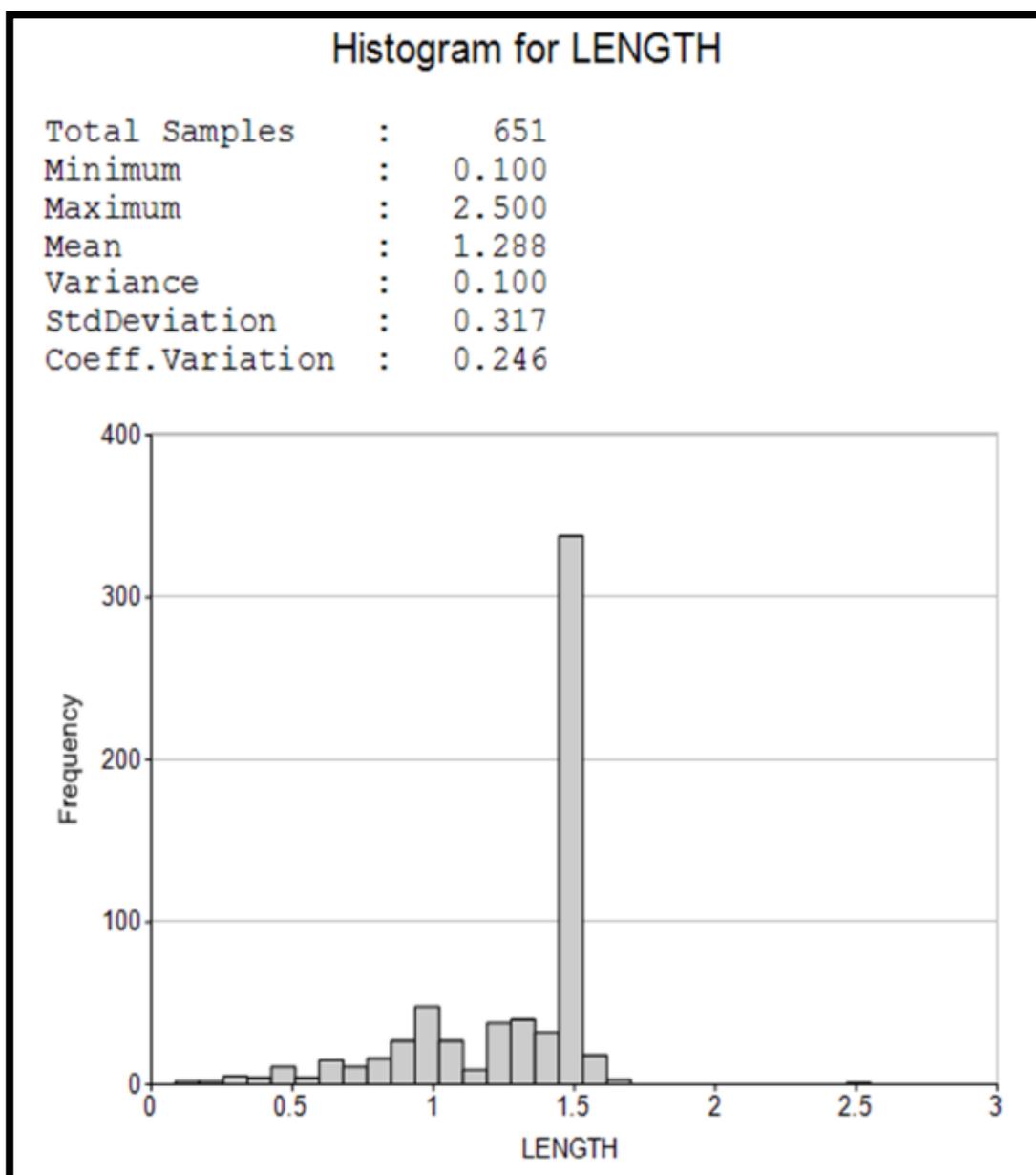
18. Categorización de los Recursos Minerales (RRMM) se ha combinado distancia de radio de búsqueda y número de compósitos que intervienen en la estimación del bloque. Con 50% del alcance variográfico para los Medidos (MED) si cumple con el número de compósitos en tabla y el doble o sea todo el alcance, para los Indicados (IND). Los Recursos Inferidos (INF) se extenderán casi siempre más de 4 veces el radio de búsqueda para garantizar que la totalidad de bloques sean estimados.
19. La validación de los Recursos Minerales se hace en forma gráfica mostrando en secciones longitudinales con los mismos rangos de colores tanto los compósitos como los bloques estimados.
20. Otra validación, es la forma estadística con los gráficos probabilísticas ploteadas, buscando que al menos hasta en el 95% de la población sea semejante, habría sido importante.
21. En caso que al mostrarse los resultados se nota alguna falencia entonces será necesaria retornar a realizar otra interpolación con nuevos radios de búsqueda. Los parámetros variográficos no cambian pero si se cambiará los radios de búsqueda. Las interpolaciones continuarán hasta que sea aceptable.
22. Un aspecto importante es trabajar los bloques geológicos con los resultados de la Interpolación geoestadística. Se trabajará estos bloques geológicos de 12.5 metros de alto por la longitud que considere el laboreo en horizontal, agrupando los resultados de los pequeños bloques geoestadísticos.

### 4.3 Prueba de hipótesis

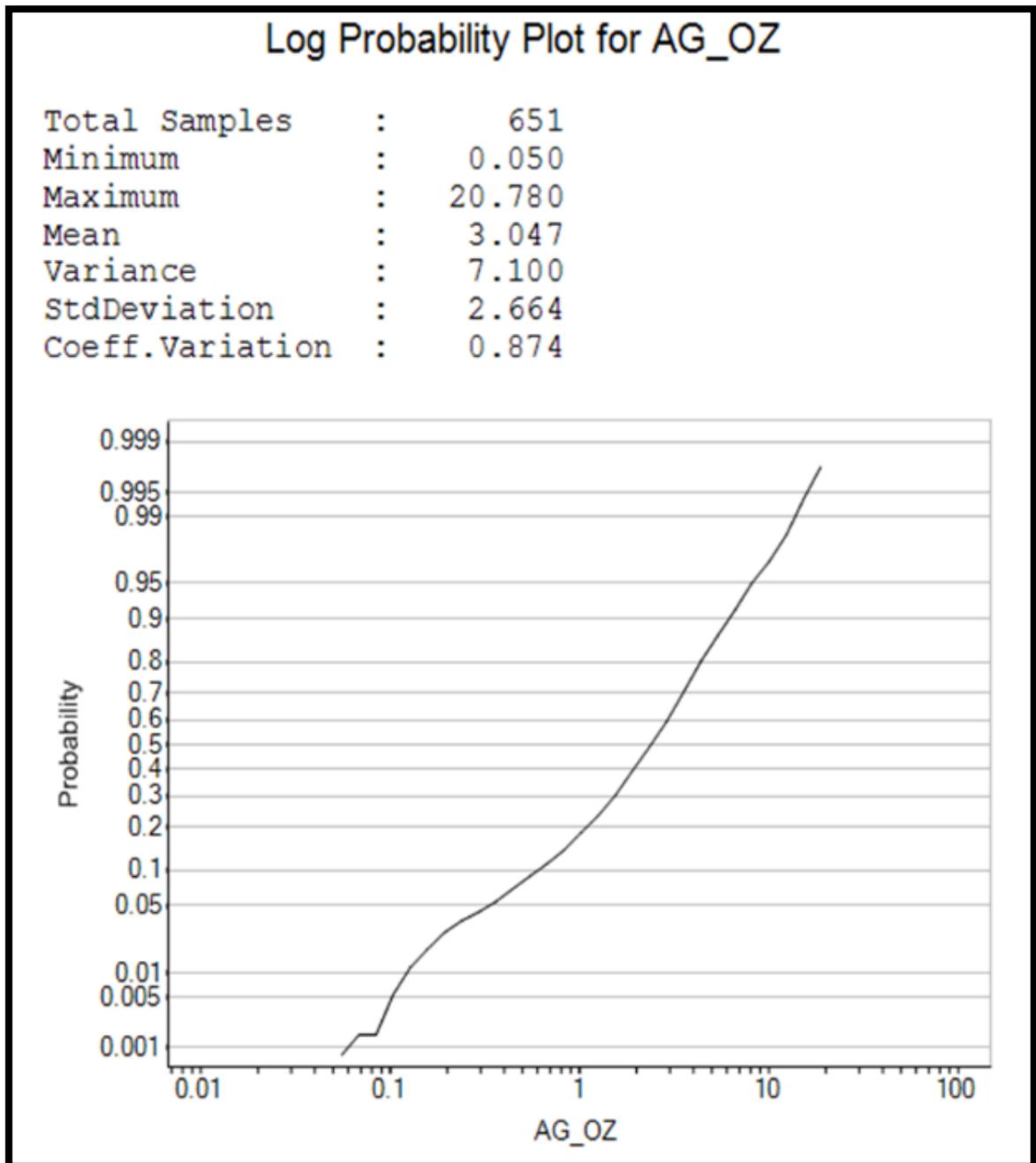
#### 4.3.1 Geoestadística del cuerpo Karol

Realizado el procedimiento propio de la Estimación Geoestadística para esta estructura presentamos el siguiente resumen:

**COMPOSITOS:** Se hicieron los compósitos a 1.5 mts. tomando como referencia la moda de del campo LENGTH según se aprecia en el histograma.



**Altos erráticos (CAPPING):** Para el tema de los erráticos de igual forma se trabajó apoyándonos en los Histogramas y en los gráficos “Log\_Probability\_Plot”.



Cuadro Resumen de valores Capping para Cuerpo Karol:

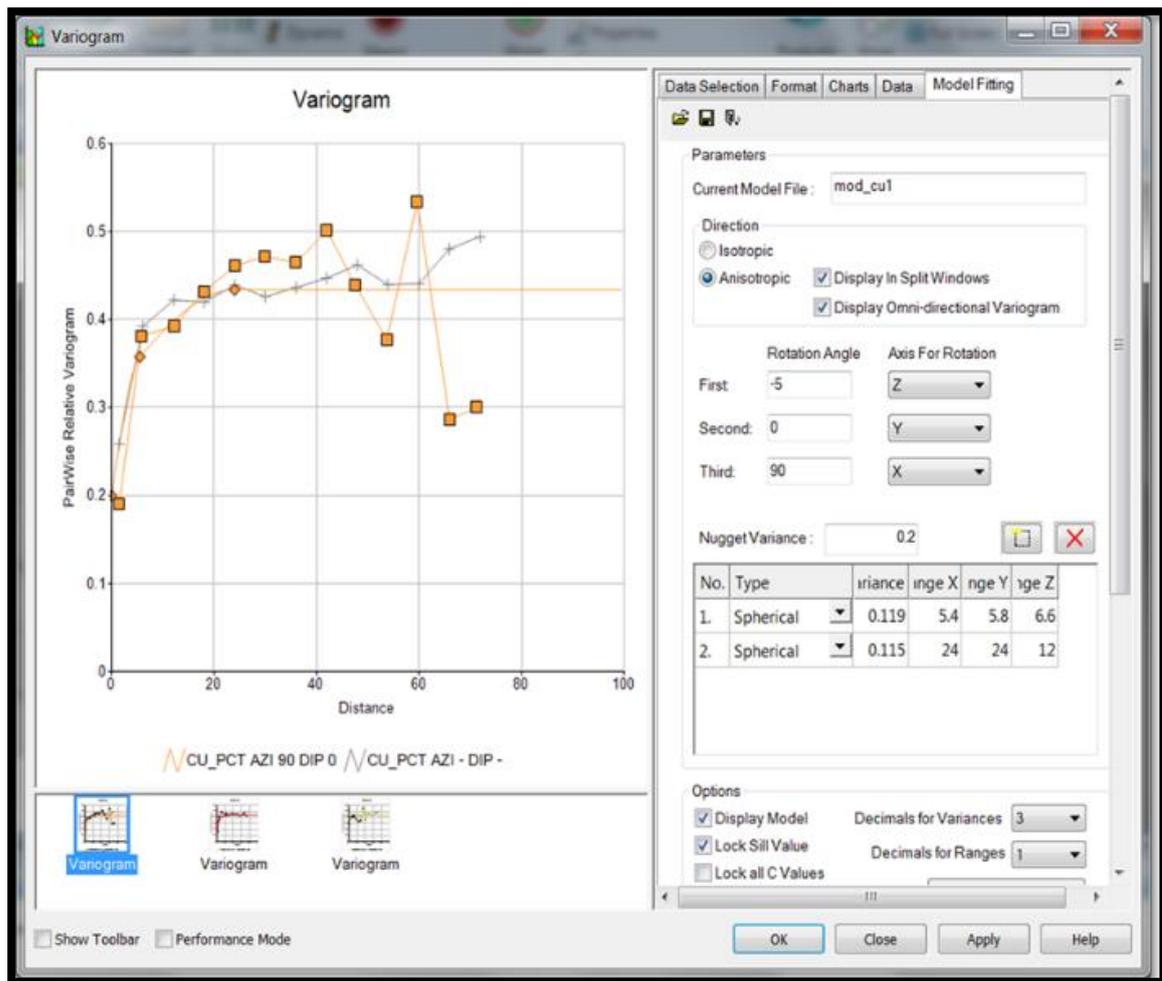
Elemento	Valor_Capping
<b>Cu%</b>	1.20
<b>Pb%</b>	12.00
<b>Zn%</b>	35.00
<b>AgOz</b>	13.00

Estadística de los compósitos (1.5 mts.)

COMPOSITADO	N° Muestras	Minimo	Maximo	Media	Varianza	Desv. Estandar	Cohef. Variacion
<b>Cu%</b>	582	0.01	1.200	0.355	0.071	0.266	0.749
<b>Pb%</b>	582	0.02	12.000	2.147	5.676	2.382	1.110
<b>Zn%</b>	582	0.02	35.000	9.736	55.181	7.428	0.763
<b>AgOz</b>	582	0.05	13.000	3.018	5.324	2.307	0.765

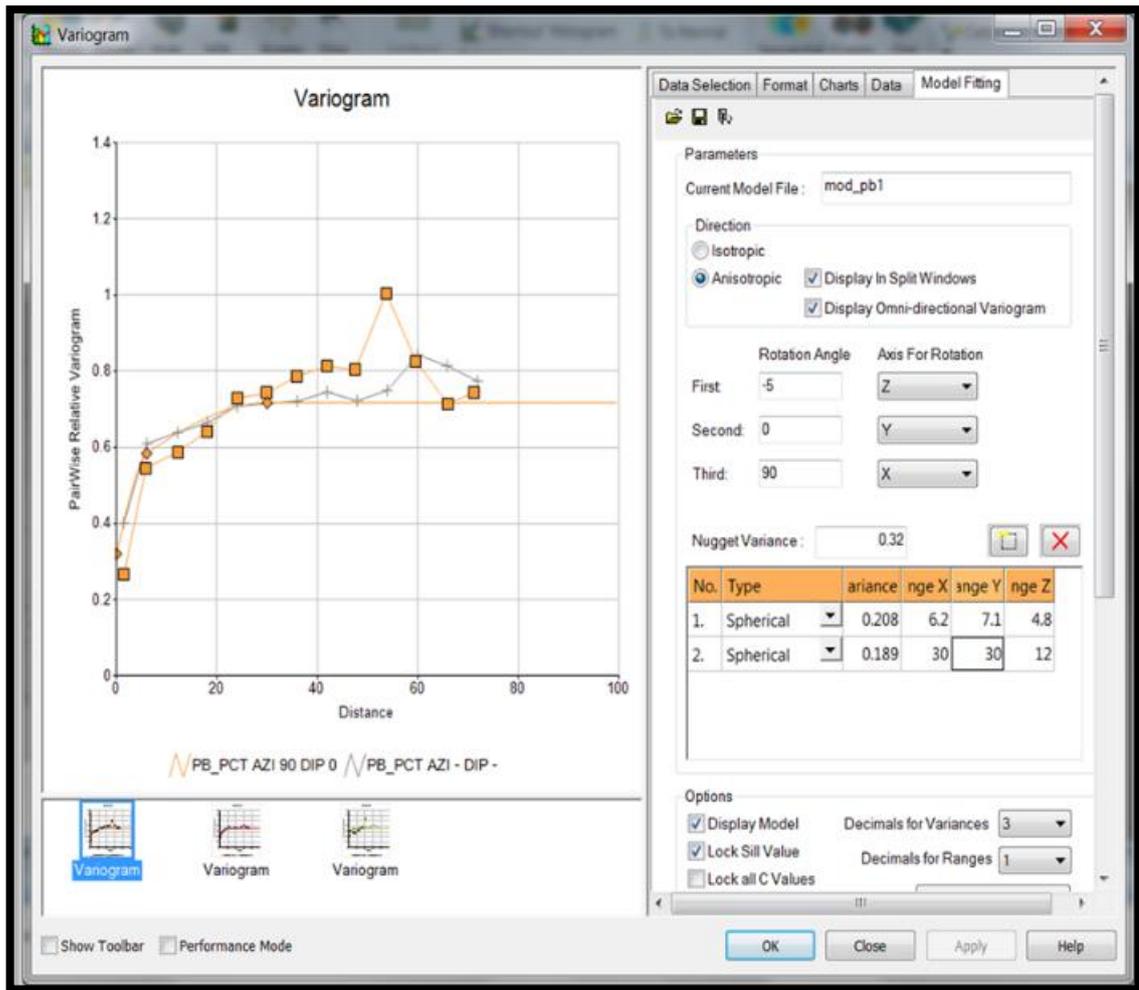
**Variogramas:** Elaboramos los variogramas por elemento, en este caso para Cuerpo Karol la variografía nos recomienda alcances de 30 mts. En promedio, entonces para Estimar utilizaremos un alcance de 15 mts. para clasificar los Recursos.

## COBRE (CU)



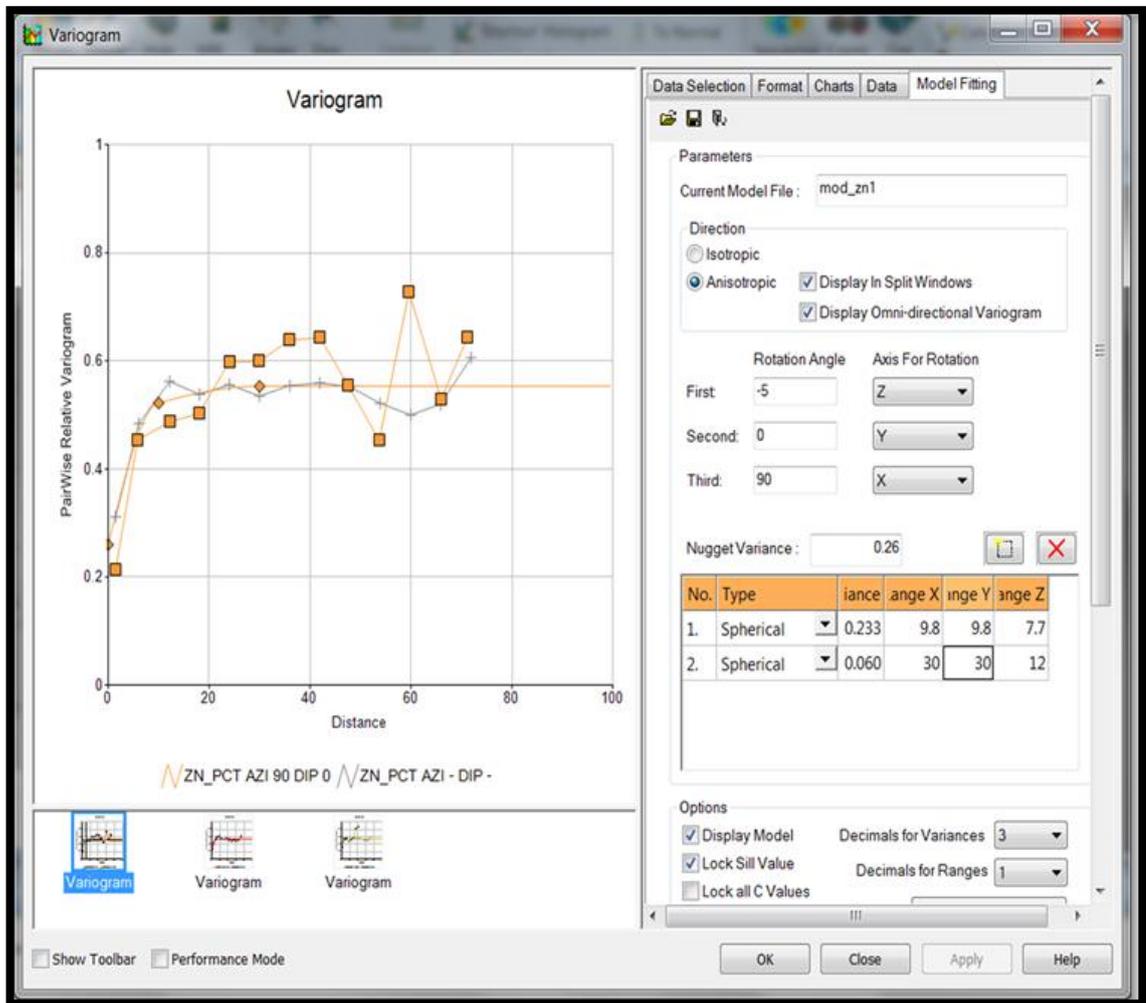
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA</b>		
<b>VARIOGRAMA DEL CU</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>T-09</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

## PLOMO (PB)



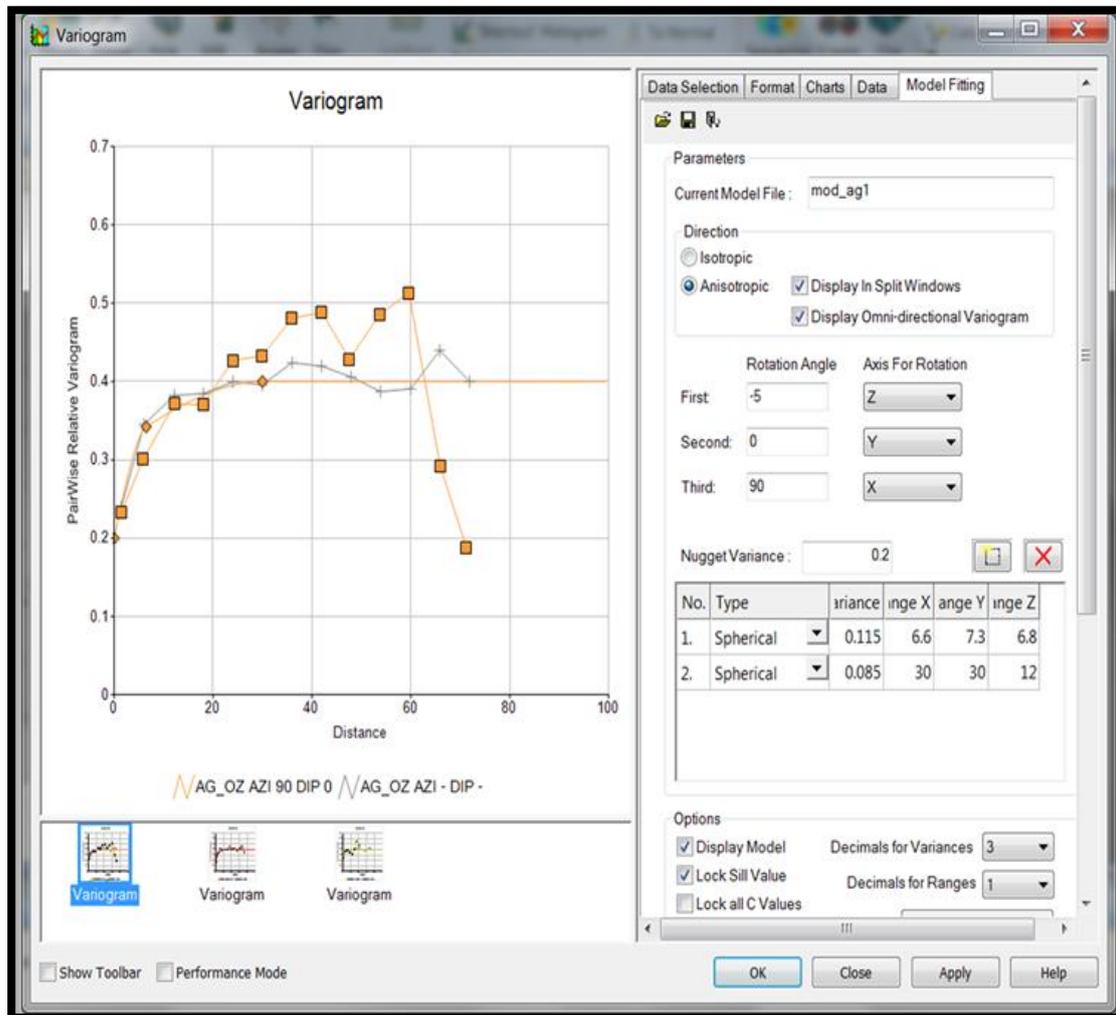
<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA</b>		
<b>VARIOGRAMA DEL Pb</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>T-10</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

## ZINC (ZN)



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA</b>		
<b>VARIOGRAMA DEL Zn</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>T-11</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

# PLATA (AG)



<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE GEOLOGÍA</b>		
<b>VARIOGRAMA DEL Ag</b>		
<b>Realizado por</b>	<b>Stefany Rojas Rojas</b>	<b>T-12</b>
<b>Revisado por</b>	<b>Vidal Calsina Colqui</b>	

#### 4.3.2 Validación mediante volúmenes

Se realizó la evaluación de los volúmenes entre el Sólido (Wireframe) y el Modelo de Bloques para determinar anomalías y posibles errores a la hora de construir el sólido que pudiera generar efectos de Sobre o Sub estimación. Como se aprecia en la imagen adjunta la diferencia entre uno y otro es mínima y no representa riesgo alguno para proceder con la Estimación:

Sólido	M_Bloques	Dif_aritmética	% DIF
81,323	81,321	2	0.0027%

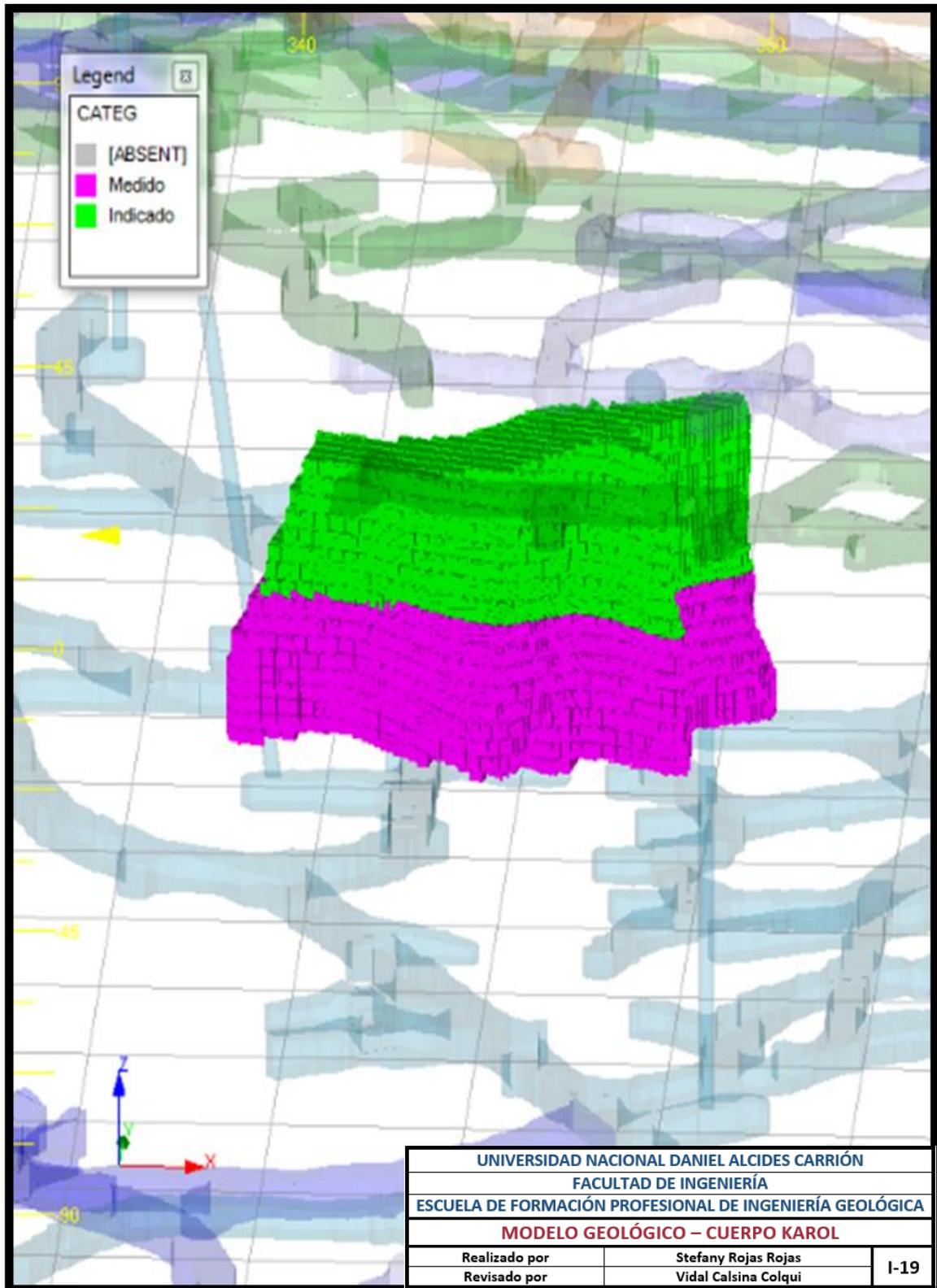
**Reporte final:** Así mismo, luego de realizar la Estimación Geoestadística El Cuerpo Karol y nos reporta los siguientes resultados entre Medidos e Indicados.

CATEG	TONNES	Pot_Veta	Cu_%	Pb_%	Zn_%	Ag_Oz	US\$
Medido	44,800	17.73	0.24	2.89	8.66	2.60	248
Indicado	46,600	18.18	0.24	3.02	7.26	2.43	222
Total Med+Ind	91,400	17.96	0.24	2.96	7.95	2.51	235

Este cuerpo se recortó y solo se reporta desde el Nivel 4200 hacia arriba; lo que se encuentra de este nivel hacia abajo pasó a formar parte de la Estimación del Cuerpo BREKA.

### 4.3.3 Modelo de bloques cuerpo Karol

Según clasificación por Recursos Medido, Indicado e Inferidos se presenta el bloqueo regularizado del Cuerpo Karol:



#### **4.4 Discusión de resultados**

Este trabajo de investigación tiene como finalidad aportar al análisis geoestadístico con el método Kriging para el cuerpo mineralizado Karol - compañía minera Raura. Todo ello en base a la recopilación de datos de sondajes diamantinos obtenidos años anteriores por la compañía, así como el uso del software Datamine el cual nos facilita el modelamiento del cuerpo señalado, obteniendo así los recursos que el cuerpo mineralizado contiene.

De los resultados obtenidos se intuye que las técnicas a usar para la determinación de recursos es muy importantes así como el análisis geoestadísticos y conocer los controles geológicos.

## CONCLUSIONES

- Después del estudio se tiene estimado 44800 toneladas de recursos medidos y 46600 de recursos indicados con leyes promedio de 2,60 de Ag/oz, 0,24 % Cu, 2,89 % Pb, 8,66% de Zn.
- En total se tiene 91400 toneladas de recursos de minerales.
- En profundidad el Cuerpo Karol cambia por lo que al nuevo cuerpo se le denomina Brenka
- Se generó información de recursos minerales auditables conforme al código JORC.
- Se estableció el procedimiento para la elaboración del modelamiento geológico 3d y la estimación de recursos minerales con aplicaciones de modelo de bloques y herramientas geoestadísticas.

## **RECOMENDACIONES**

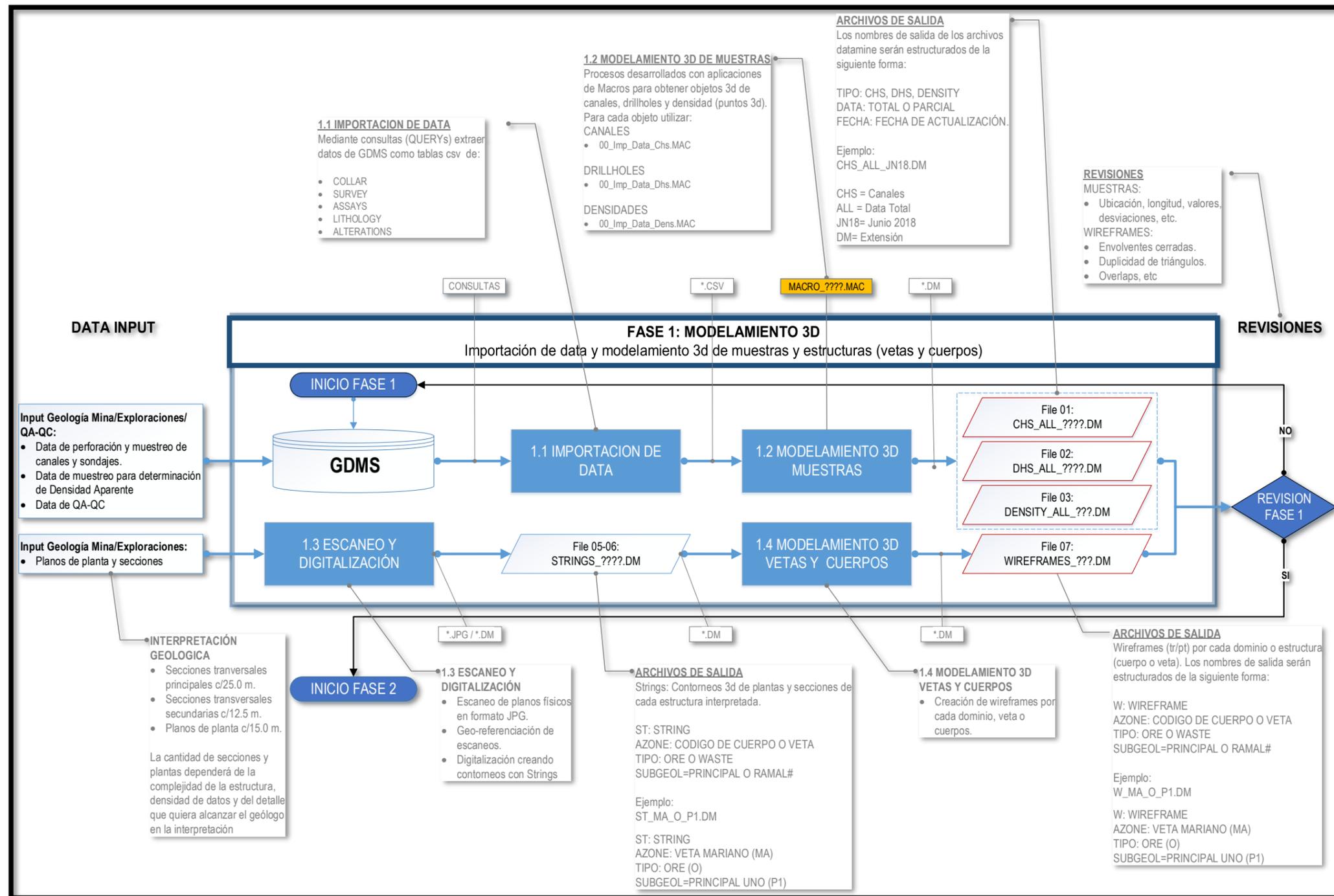
- Debe existir intercambio de opiniones entre personal de Modelamiento, Recursos Minerales y con los ingenieros geólogos responsables del cuerpo mineral en estudio.
- Capacitar en cursos de Geoestadística ya que eso le proporcionará al geólogo ideas más claras en cuanto a la estimación de recursos.
- A pesar de que la Estimación de Recursos mediante Geoestadística se presenta como el mejor método para estimar recursos, no es recomendable descartar los métodos clásicos pues se los puede utilizar como comprobación.
- Se recomienda realizar una explotación en profundidad del Cuerpo Brenka, porque tiene las características geológicas y estructurales de continuidad de la mineralización.
- Se recomienda hacer comparativos con otros métodos de estimación y que no todos se aplican para un determinado yacimiento minero.

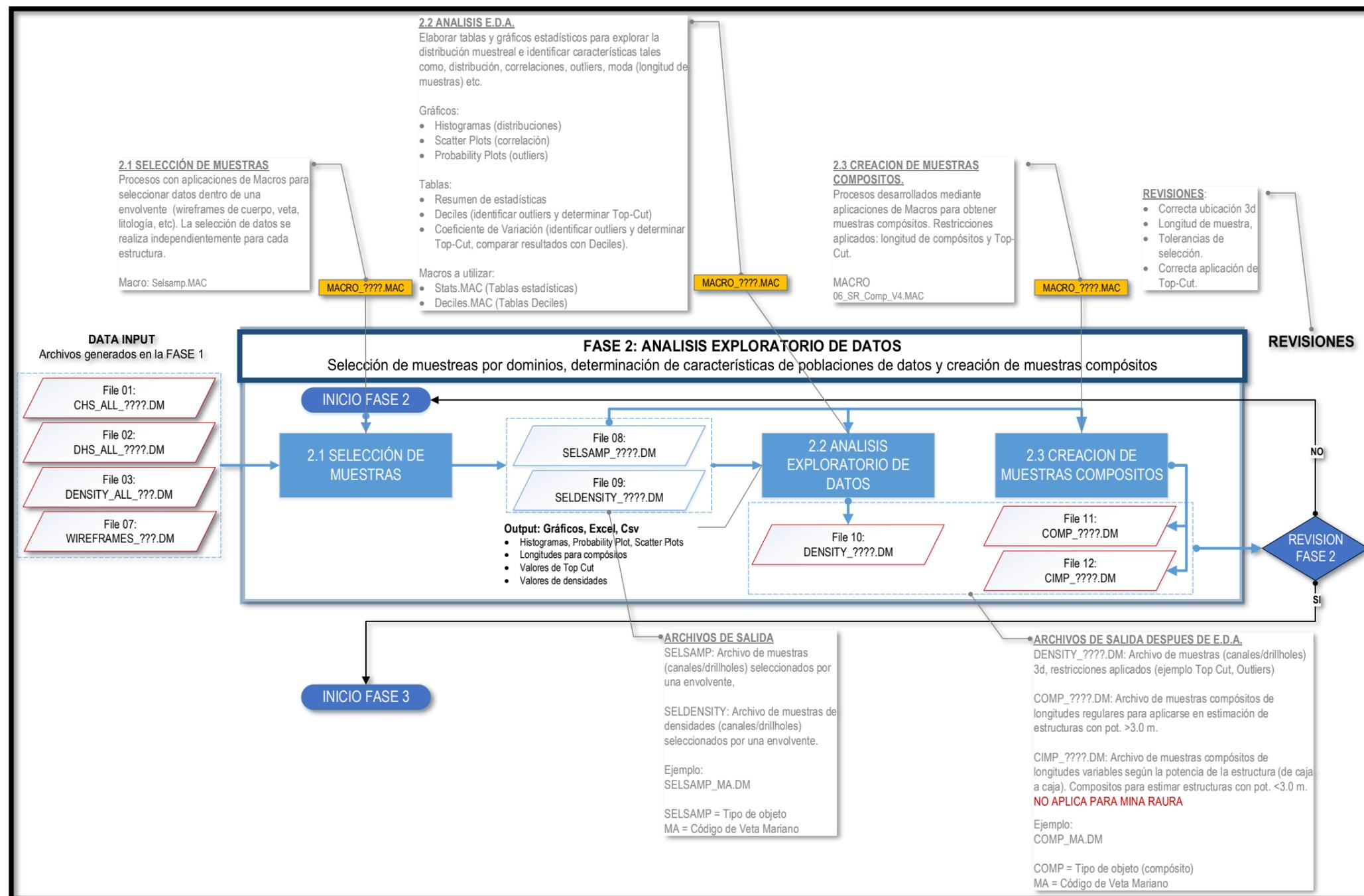
## BIBLIOGRAFÍA

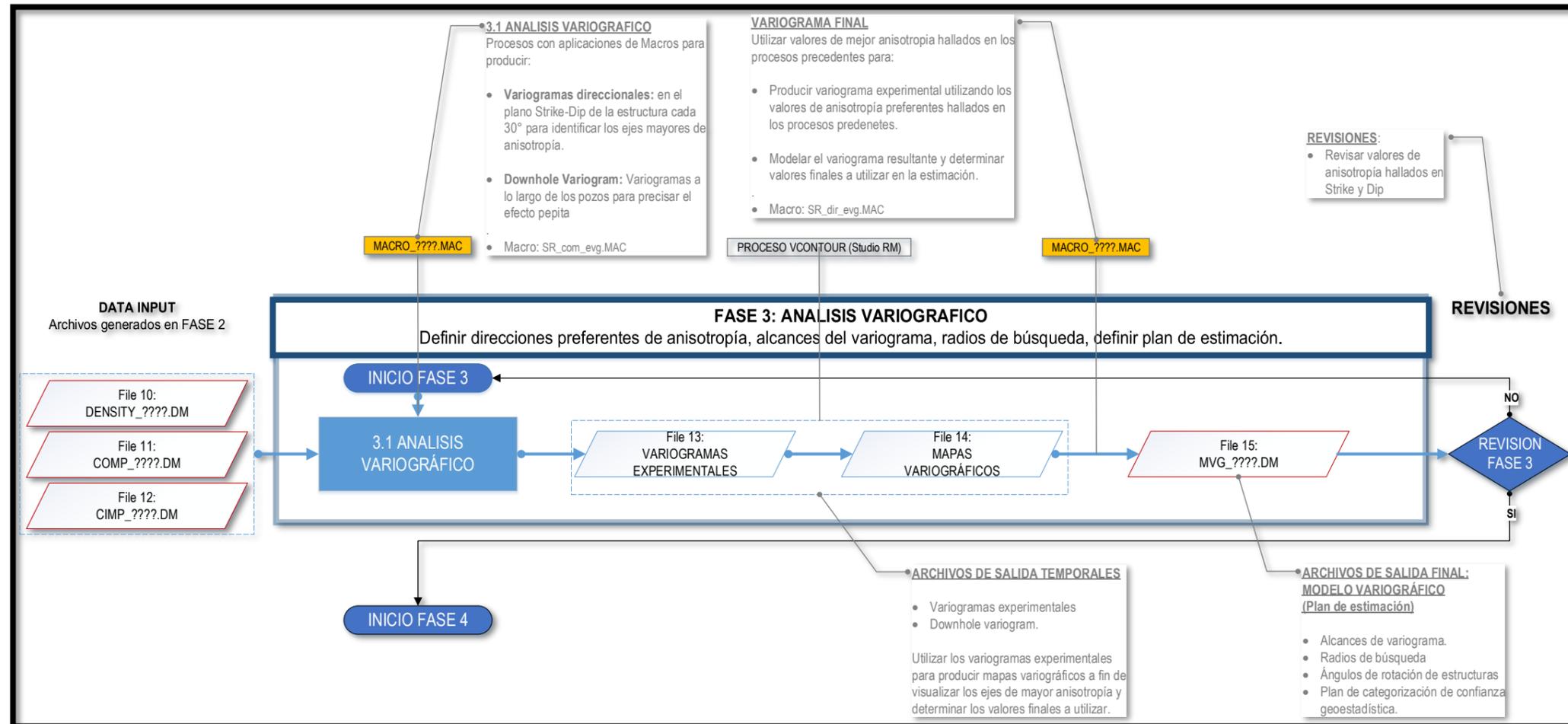
- **Almeida, A.S. y Journel, A.G., 1994**, Joint Simulation of Multiple Variables with a Markov-Type. Coregionalization Model, *Mathematical Geology*, Vol. 26, No. 5, pp. 565-588.
- **Armstrong, M. y Roth, C., 1997**, Notas del curso Geoestadística Lineal, en el CFSG “Ciclo de Formación Especializada en Geoestadística”, Curso: 1997-98, Centro de Geoestadística de la Escuela Nacional Superior de Minas de Paris, Fontainebleau, Francia.
- **ASCE Task, 1990**, Committed on Geostatistics Techniques in Geohydrology of the Ground Water Hydrology Committee of the ASCE Hydraulics Division, Review of Geostatistics in Geohydrology II: Applications, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol.116, No. 5, pp. 633-658.
- **Bacchi, B. y Kottegoda, N.T., 1995**. Identification and Calibration of Spatial Correlation Patterns of Rainfall, *Journal of Hydrology* 165, Elsevier Science B.V., pp. 311-348.
- **Carr, J.R. y Myers, D.E., 1990**. Efficiency of Different, Equation Solvers in CoKriging, *Computers & Geosciences*, Vol. 16, No. 5, pp. 705-716.
- **Carrasco-Castelli, P. y Jara-Salame, E., 1998**, Information Impact in Mining Decisions Case Study Radomiro Tomic, *Journées de Géostatistique*, Centre de Géostatistique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, France, 25 et 26 Mai 1998, 14 p.
- **TESIS Estimación de Reservas Aplicando el Software. SURPAC VISIÓN UNIVERSIDAD DE ATACAMA**

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA		
TÍTULO: "Evaluación Geoestadística del cuerpo mineralizado Karol - Mina Raura"		
AUTOR: Bach. Stefany Karol ROJAS ROJAS		
PROBLEMA	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b></p> <p>¿La evaluación geoestadística de la mineralización del Cuerpo Karol, determinará el incremento de reservas minerales en la Mina Raura?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS:</b></p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 1:</b></p> <p>¿De qué manera se podrá categorizar los recursos minerales?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 2:</b></p> <p>¿En qué tipo de yacimiento y geología nos encontramos?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 3:</b></p> <p>¿Qué tipo de controles estructurales de mineralización encontramos en la zona?</p> <p><b>PROBLEMA ESPECÍFICO 4:</b></p> <p>¿Cuáles son los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b></p> <p>Determinar el comportamiento geoestadístico del Cuerpo Mineralizado Karol de la Mina Raura.</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b></p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 1:</b></p> <p>Categorizar los recursos minerales.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 2:</b></p> <p>Caracterizar la geología del yacimiento.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 3:</b></p> <p>Conocer los controles estructurales de la mineralización.</p> <p><b>OBJETIVO ESPECÍFICO 4:</b></p> <p>Conocer los controles litológicos, estratigráficos y mineralógicos.</p>	<p>El proyecto se justifica porque es necesario conocer el comportamiento geológico y geoestadístico de la mineralización del Cuerpo Karol, contribuyendo a la geología de la zona y esto se retribuye en el incremento de reservas de minerales creando un aporte benéfico y económico para el yacimiento minero.</p> <hr/> <p><b>LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p>La información solo es para el yacimiento estudiado.</p> <p>La información del yacimiento Raura es restringida</p>







<b>UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN</b>		
<b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b>		
<b>ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA</b>		
<b>DIAGRAMA DE PROCESOS – FASE 3</b>		
Realizado por	Stefany Rojas Rojas	<b>T-15</b>
Revisado por	Vidal Calsina Colqui	

