

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y PETRÓLEOS**

### **CÁLCULO DE RESERVAS Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS MINERALES DE LA VETA VENADO DEL PROYECTO COLIBRÍ, CANTÓN SANTA ISABEL, PROVINCIA DEL AZUAY**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓLOGO**

**OPCIÓN: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**HIDALGO RUIZ DIEGO GIOVANNY**

**[diego.hidalgo@epn.edu.ec](mailto:diego.hidalgo@epn.edu.ec)**

**DIRECTOR: MSc. DARÍO ALEJANDRO FUENTES MEDINA**

**[dario.fuentes@epn.edu.ec](mailto:dario.fuentes@epn.edu.ec)**

**CO-DIRECTOR: DR. PEDRO SANTIAGO REYES BENÍTEZ**

**pedro.reyes@epn.edu.ec**

**Quito, Enero 2023**

## DECLARACIÓN

Yo, HIDALGO RUIZ DIEGO GIOVANNY, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual, correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

HIDALGO RUIZ DIEGO GIOVANNY

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Hidalgo Ruiz Diego Giovanni, bajo mi supervisión.



---

Darío Alejandro Fuentes Medina, MSc  
Director de Proyecto



---

Pedro Santiago Reyes Benítez, PhD  
Co-Director del Proyecto

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para continuar cada día y lograr este objetivo, que sin duda ha sido el más difícil en toda mi carrera universitaria.

A mi madre María, por enseñarme el valor del estudio y del trabajo, por haberme dado todo lo que estuvo a su alcance y disposición, siempre enseñándome que mientras esté vivo hay oportunidad de alcanzar las metas que me proponga, y sin duda la mejor madre que Dios me pudo haber dado.

A mi hermano Jorge que me apoyó desde el primer instante que seguí mi carrera profesional, siempre dándome consejos e inculcándome buenos hábitos para formarme como persona y profesional.

Le agradezco muy profundamente a mi tutor MSc. Darío Fuentes por su dedicación y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiese podido lograr llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaré grabados para siempre en la memoria en mi futuro profesional.

A la empresa EXPAUSA y su gerente Ing. Jorge Rengel, por darme la oportunidad de hacer esta investigación en uno de los proyectos más importantes de toda la empresa y siendo de vital importancia para el futuro de Colibrining, así mismo al Ing. Angel S quien me enseñó a solucionar problemas técnicos de maneras sencillas y al Gerente general Jorge Ramos por demostrarme que la lealtad es lo más valioso en una persona y lo aplicaré durante mi vida.

Al Ing. Yoner Bonilla el cual me dio la oportunidad de trabajar en su equipo, siempre enseñándome las mejores prácticas para ser un excelente geólogo y persona para la empresa, sin duda una de las mejores personas que he conocido en el mundo laboral. Sin olvidar, al equipo de geología que hemos trabajado juntos en distintos proyectos siempre aprendiendo como un gran equipo, el mejor trabajo del mundo con las mejores personas Julio C, Wilson D, David M, Royer T, Luis S, Milton C, Leonel C, Patricio C, Danny Q, Juan F, Erick M, Tatiana C, Carlos C y Juan V.

Finalmente, a mis amigos de facultad con los cuales viví muchas aventuras y las seguiré viviendo gracias por todo Bryan G, Cristhian C, Carlos Q, Tatiana E y **Paola P**.

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, María y Luis*

*A mi hermano, Jorge*

*A mi Sobrino, Nicolas*

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	12
ABSTRACT .....	13
CAPITULO 1 .....	14
1. INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. ANTECEDENTES .....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	14
1.3. OBJETIVOS .....	15
1.4. ALCANCE .....	16
1.5. METODOLOGÍA .....	16
1.6. GENERALIDADES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES ..	17
1.7. ESTIMACIÓN CONVENCIONAL DE RECURSOS Y RESERVAS .....	19
1.8. ESTIMACIÓN GEOESTADÍSTICA DE RECURSOS Y RESERVAS .....	23
CAPITULO 2 .....	26
2. MARCO GEOLÓGICO .....	26
2.1. CONTEXTO GEODINÁMICO .....	26
2.2. GEOLOGÍA REGIONAL .....	27
2.3. GEOLOGÍA DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL .....	28
2.4. GEOLOGÍA DEL PROYECTO MINERO COLIBRÍ .....	32
2.4.1. Litoestratigrafía Local del Yacimiento Colibrí .....	34
CAPITULO 3 .....	36
3. MATERIALES, MÉTODOS Y PETROGRAFÍA .....	36
3.1. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO, SONDEOS Y MUESTREO .....	36
3.1.1. TOPOGRAFÍA .....	36
3.1.2. SONDEOS .....	37
3.1.3. MUESTREO .....	38
3.2. METODOLOGÍA .....	39
3.3. PETROGRAFÍA Y MINERALOGÍA .....	41
3.3.1. Elaboración de secciones pulidas .....	41
3.3.2. Descripción Petrográfica del Proyecto Colibrí .....	43
3.3.2.1. Minerales de Mena .....	43

3.3.2.2.    Minerales de roca de caja.....	51
CAPITULO 4 .....	56
4.    CÁLCULO DE RESERVAS Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....	56
4.1.    CRITERIO PARA LA CLASIFICACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES.....	56
4.1.1.    Determinación del Cutoff.....	57
4.1.2.    Clasificación de ley mineral.....	57
4.2.    MÉTODO DE SECCIÓN LONGITUDINAL VERTICAL.....	61
4.3.    MÉTODO GEOESTADÍSTICO.....	67
4.4.    INVENTARIO DE RECURSOS Y RESERVAS MINERALES.....	77
CAPITULO 5 .....	78
5.    INTERPRETACIONES DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN .....	78
5.1.    PARAGÉNESIS DE LA VETA VENADO.....	78
5.2.    ESTIMACIÓN DE RECURSOS Y RESERVAS DE LA VETA VENADO.....	80
5.3.    VIDA ÚTIL DE PROYECTO MINERO COLIBRÍ.....	83
5.4.    CONCLUSIONES.....	86
5.5.    RECOMENDACIONES.....	88
BIBLIOGRAFIA .....	89
ANEXOS.....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Clasificación de recursos y reservas (JORC, 2012).	18
<b>Figura 1.2:</b> Sección transversal para la estimación de recursos (Haldar, S. K., 2018).	19
<b>Figura 1.3:</b> Método triangular para la estimación de recursos (Haldar, S. K., 2018).	20
<b>Figura 1.4:</b> Método de cuadrados y rectángulos para la estimación de recursos (Haldar, S. K., 2018).	21
<b>Figura 1.5:</b> Método de polígonos para la estimación de recursos (Gandhi, et al., 2016).	21
<b>Figura 1.6:</b> Método de isogradas para la estimación de recursos tomada de (Haldar, S. K., 2018).	22
<b>Figura 1.7:</b> Método de sección longitudinal para la estimación de recursos (Haldar, S. K., 2018).	23
<b>Figura 1.8:</b> Método de inverso a la distancia (Bustillos, 2018).	24
<b>Figura 1.9:</b> Método de kriging ordinario (Bustillos, 2018).	25
<b>Figura 1.10.</b> Método del vecino más cercano tomado de (Pérez, 2016).	25
<b>Figura 2.1:</b> Mapa del marco tectónico del Ecuador (modificado de Luzieux et al. 2006) (Tomado de Vallejo et al. 2019).	26
<b>Figura 2.2:</b> Mapa de las principales provincias tectónicas y unidades de Ecuador (modificado de Mamberti., 2003) (Vallejo et al., 2019).	28
<b>Figura 2.3:</b> Mapa Geológico de la Cordillera Occidental entre 1°N y 2°30`S (Modificado de Vallejo 2007 por Carrasco, 2019).	31
<b>Figura 2.4:</b> Mapa Geológico Local (Modificado de PRODEMINCA, 2000).	33
<b>Figura 3.1:</b> Equipo de topografía realizando el levantamiento dentro de la unidad minera.	36
<b>Figura 3.2:</b> A) Sondajes en superficie, B) Logueo de verificación y C) Ubicación de sondajes.	37
<b>Figura 3.3:</b> A) Toma de muestra, B) Codificación y almacenamiento de la muestra y C) Medición de la veta.	38
<b>Figura 3.4:</b> Ubicación de la toma de muestras de la veta (V1, V2, V3 y V4) y toma de muestra de la roca caja (1C,2C y 3C).	39
<b>Figura 3.5:</b> Flujograma que describe la metodología realizada en este estudio.	40

<b>Figura 3.6:</b> Herramientas para la elaboración de láminas secciones pulidas y láminas delgadas. A) Sierra de diamantina. B) Pulidora. C) Cortadora de succión. D) Pulidora de succión. E) Resultado final de las láminas pulidas. ....	42
<b>Figura 3.7:</b> Microscopio Olympus del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional. ....	43
<b>Figura 3.8:</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Pirita rellenando entre granos de cuarzo B) Galena reemplazando a pirita, y calcopirita reemplazando a pirita C) Muestra de mano D) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Cpy: Calcopirita, Gn: Galena.....	45
<b>Figura 3.9:</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita reemplazando a esfalerita y pirrotina B) Esfalerita reemplazando a pirita C) Esfalerita reemplazando a pirrotina D) Muestra de mano E) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina. ....	46
<b>Figura 3.10:</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Esfalerita reemplazando a pirita B) Calcopirita reemplazando a esfalerita C) Esfalerita reemplazando a pirita D) Pirrotina reemplazando a la pirita y la esfalerita reemplazando a la pirrotina E) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina. ....	48
<b>Figura 3.11:</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Esfalerita reemplazando a la calcopirita y la esfalerita reemplaza a la pirita B) Calcopirita reemplazando a la pirita C) Muestra de mano D) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Cpy: Calcopirita. ...	49
<b>Figura 3.12</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Esfalerita reemplazando a la calcopirita y pirrotina B) Esfalerita reemplazando a la pirita C) Muestra de mano D) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina, Qz: Cuarzo. ....	50
<b>Figura 3.13:</b> Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita reemplazando a la pirita y pirrotina B) Esfalerita reemplazando a la calcopirita C) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Esf: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina. ....	51
<b>Figura 3.14:</b> Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Cuarzo en vetilla de vidrio B) Con luz natural (XLP) se observa la vetilla de cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas. ....	52
<b>Figura 3.15</b> Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo en una matriz de vidrio B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas. ....	53

<b>Figura 3.16</b> Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo y arcillas B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de baja birrefringencia. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas.....	54
<b>Figura 3.17</b> Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo, arcillas, zeolitas B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas, Cl: Clorita, Ze: Zeolitas.....	55
<b>Figura 4.1:</b> A) Galerías de exploración, B) Formación de bloques para su explotación. ..	56
<b>Figura 4.2:</b> Bloques preparados para la explotación. ....	57
<b>Figura 4.3:</b> Ubicación de muestras en labores en interior mina y codificación de las mismas.....	62
<b>Figura 4.4</b> Vista en planta de la ubicación de muestras utilizadas para este trabajo (2700 muestras).....	63
<b>Figura 4.5:</b> Distribución logarítmica normal (Bustillos, 2018) .....	65
<b>Figura 4.6</b> Cubicación de bloques clasificados como Alta ley, Marginal, Sub-marginal y Baja ley del proyecto Colibrí.....	66
<b>Figura 4.7:</b> A Visualización de sondajes, B topografía de superficie e interior de mina...	68
<b>Figura 4.8:</b> A) Sección longitudinal, B) Corte en planta de la sección.....	69
<b>Figura 4.9:</b> Sección longitudinal e interpretación geológica.....	70
<b>Figura 4.10:</b> A) Visualización de litologías, B) Visualización de la veta venado. ....	71
<b>Figura 4.11:</b> Visualización del modelo de bloques para una estructura mineralizada (Rubio, 2009).....	71
<b>Figura 4.12:</b> Visualización del modelo de bloques (se determinó 31,258 bloques para el proyecto Colibrí). ....	72
<b>Figura 4.13:</b> Esquema del Variograma donde se muestra la covarianza, semivariograma y covariograma (Bustillos, 2018).....	73
<b>Figura 4.14:</b> Variograma con dirección de 0°, 45° y 135.....	74
<b>Figura 4.15:</b> A) interpolación vecino más cercano, B) interpolación ponderación de distancia inversa, C) interpolación kriging ordinario. ....	76
<b>Figura 5.1:</b> Paragénesis mineral de la veta Venado.....	78
<b>Figura 5.2:</b> Interpolación vecino más cercano .....	80
<b>Figura 5.3:</b> Interpolación ponderación de distancia inversa. ....	81
<b>Figura 5.4:</b> Interpolación inversa a la distancia.....	82
<b>Figura 5.5:</b> Mapa de estimación de recursos y reservas.....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 4.1:</b> Clasificación de recursos y reservas en base a parámetros geológicos en el proyecto minero Colibrí.....	57
<b>Tabla 4.2:</b> Cálculo de gastos para el desarrollo de labores de la mina. ....	59
<b>Tabla 4.3:</b> Gramos de oro calculado para cada operación minera. ....	59
<b>Tabla 4.4:</b> Promedio general del cutoff para la exploración de galerías, laterales y explotación.....	59
<b>Tabla 4.5:</b> Clasificación de reservas minerales de acuerdo al cutoff.....	61
<b>Tabla 4.6</b> Ponderación de leyes.....	65
<b>Tabla 4.6:</b> Inventario de reservas. ....	77
<b>Tabla 4.7:</b> Inventario de recursos. ....	77
<b>Tabla 5.1:</b> Reporte de reservas.....	84

## RESUMEN

El proyecto minero colibrí se ubica en el Cantón Santa Isabel provincia del Azuay y se encuentra concesionado por la empresa Colibrimining, Este proyecto presenta poca información geológica debido a su reciente descubrimiento, y por lo tanto, es necesario conocer la cantidad y calidad de mineral económico que existe en el subsuelo para comprender la viabilidad del proyecto. El propósito del estudio es describir petrográficamente la paragénesis mineral de la veta venado y roca caja, así como también, determinar la estimación de recursos y reservas minerales que posee el proyecto colibrí.

Para alcanzar los objetivos de este proyecto se estudiaron 6 láminas pulidas correspondientes a la veta venado y 4 láminas delgadas de la roca caja. Para la estimación de recursos y reservas minerales se utilizó dos métodos: 1) para la estimación de recursos se realizó por el método geoestadístico usando parámetros geológicos (Datamine Studio RM), y 2) para el cálculo de reservas se empleó el método convencional (método de sección vertical longitudinal).

La paragénesis de la veta venado observada con la petrografía de las láminas pulidas ha determinado tres etapas: la etapa 1 se tiene pirrotina y pirita en equilibrio, la pirita se presenta con texturas masiva, y esquelética, la pirrotina se encuentra de manera masiva. En la etapa 2 se observa esfalerita masiva con texturas vetiformes y coliformes que reemplazan a la pirita y pirrotina; la galena se encuentra en pequeñas cantidades de manera remanente. En la etapa 3 la calcopirita presenta una textura botroidal dentro de la esfalerita; la tetraedrita se encuentra reemplazando a pirita de forma diseminada; el electrum y oro se encuentra como granos libres alojados en la esfalerita y pirita; la covelina se presenta como mineral secundario reemplazando en los bordes de calcopirita. La roca en la cual se alojada la veta venado es una toba lítica de cuarzo perteneciente al Grupo Saraguro.

La estimación de recursos y reservas minerales se determinó por la combinación de los métodos de sección longitudinal vertical y geoestadístico y se obtuvo un total de reservas de 16 824 toneladas con una ley de 30,02 gr/Tn. El total de recursos es de 124 094 toneladas con una ley de 8,65 gr/Tn. Actualmente, la vida útil del proyecto colibrí es de 3 años y 6 meses con la estimación de recursos y reservas minerales realizado en este trabajo.

## ABSTRACT

The Colibri mining project is located in the Santa Isabel Canton; (Azuay province) and is under concession by the company Colibrining. This project presents little geological information due to its recent discovery it is necessary to know the quantity and quality of economic mineral that exists in the ore body to understand the feasibility of the project. The purpose of the study is to petrographically describe the mineral paragenesis of the Venado vein and wall rock, as well as to determine the mineral resources and reserves that the owns Colibrí project.

To achieve the objectives of this project, 6 polished sheets corresponding to the Venado vein and 4 thin sheets of the wall rock were studied. Two methods were used to estimate mineral resources and reserves: 1) the geostatistical method using geological parameters (Datamine Studio RM) was used to estimate resources, and 2) the conventional method (Longitudinal vertical section method) was used to calculate reserves.

The paragenesis of the venado vein observed with the petrography of the polished laminae has determined three stages: stage 1 has pyrrhotite and pyrite in equilibrium, the pyrite is presented with massive and skeletal textures, the pyrrhotite is found in a massive way. Stage 2 shows massive sphalerite with vetiform and colloform textures that replace pyrite and pyrrhotite; galena is found in small quantities in a remanent way. In stage 3 chalcopyrite presents a botroidal texture within the sphalerite; tetrahedrite is found replacing pyrite in a disseminated way; electrum and gold are found as free grains hosted in the sphalerite and pyrite; covellite is present as a secondary mineral replacing in the edges of chalcopyrite. The rock in which the venado vein is hosted is a quartz lithic tuff belonging to the Saraguro Group.

The estimation of mineral resources and reserves was determined by the combination of the vertical longitudinal section and geostatistical methods and resulted in total reserves of 16,824 tons at a grade of 30.02 gr/Tn. Total resources are 124,094 tons at a grade of 8.65 gr/Tn. Currently, the useful life of the Colibri project is 3 years and 6 months with the estimation of resources and mineral reserves carried out in this work.

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

El presente estudio fue realizado en la concesión minera “Leliatere 1” la cual cuenta con una extensión de aproximadamente 350 hectáreas, y se encuentra a cargo de la compañía minera Ecuatoriana Grupo Minero Bonanza. Las labores de exploración en la zona minera han aumentado y con ello nuevos datos geológicos se obtuvieron, por lo que son necesarios estudios petrográficos, mineralógicos y de modelamiento del yacimiento mineral.

Debido al desarrollo inicial del proyecto colibrí no se ha determinado la composición mineral de la veta venado su paragénesis mineral, lo cual es importante para entender los procesos geológicos y mineralógicos ocurridos en la formación del yacimiento. La falta de esta información presenta problemas en los diferentes avances de exploración como es la caracterización de la veta principal y la dirección y planificación de la mina. Es importante valorar el recurso mineral del yacimiento por lo que se realizará el modelamiento de la mina permitiendo estimar con gran medida los recursos y reservas minerales del yacimiento con la finalidad de determinar el valor económico y la viabilidad del proyecto.

Esta investigación contempla el estudio de minerales de mena y ganga a través de un análisis petrográfico de láminas pulidas y láminas delgadas en la veta venado del yacimiento minero Colibrí. Para la estimación de recursos y reservas minerales se necesita realizar el modelamiento geológico del proyecto Colibrí, por lo cual, se utilizará la topografía, sondajes, y muestreo sistemático de las principales labores mineras que se tienen en la actualidad.

### 1.2. Justificación

Existen trabajos previos realizados por diferentes instituciones en la zona donde se ubica el proyecto Colibrí. Los principales trabajos realizados fueron hecho por CODIGEM en 1997 en el cual se mapeo y se describió las diferentes unidades litológicas de la Cordillera Occidental, por parte del Ministerio de Energía y Minas en los años 2000 se llevó a cabo el Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental en el cual se describió los principales distritos mineros del Ecuador (Prodeminca, 2000). La zona de investigación se encuentra en

el distrito minero Azuay, sin embargo, los estudios anteriormente citados son generales y muy limitados para entender la geología de la zona de estudio.

Debido a la falta de estudios petrográficos en el proyecto Colibrí y para entender los procesos geológicos de mineralización, es importante determinar la paragénesis mineral de la veta venado, el tipo de roca caja y de alteración. Para realizar la caracterización petrográfica utilizaremos láminas pulidas y láminas delgadas las cuales ayudan a determinar los minerales de mena y ganga que contengan cada muestra tomada.

La estimación de recursos y reservas minerales es un punto muy importante en el desarrollo de exploración y explotación de una mina debido a que determina si un proyecto es rentable a largo o corto plazo. En la estimación de recursos y reservas se utilizará la potencia de la veta y su contenido de oro (Au) en gramos por tonelada, estos parámetros permiten determinar el total de tonelaje con leyes de oro del proyecto Colibrí y de esta manera, mediante criterios geológicos y leyes de corte, clasificar los recursos que son económicos, marginales y de baja ley.

Los resultados que se determinen en esta investigación aportarán al conocimiento geológico del proyecto Colibrí con la identificación de los minerales de mena y ganga, así como la posible secuencia paragenética de los fluidos de mineralización. Por otro lado, con la estimación de recursos y reservas minerales se pretende mejorar el planeamiento de minado y duración de la vida útil del proyecto.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Realizar el cálculo de reservas y estimar los recursos minerales que contiene el Proyecto Colibrí mediante el uso de criterios geológicos, como leyes de oro y espesor de la veta.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Reconocer y analizar la zona de estudio mediante mapas geológicos, datos estructurales y estudios mineralógicos.
- Caracterizar petrográficamente la mineralización, alteración y roca caja de la zona de estudio.
- Realizar el modelamiento del yacimiento vetiforme del Proyecto Colibrí.

- Elaborar un mapa con isovalores de leyes minerales de oro.

#### **1.4. Alcance**

La recopilación bibliográfica de la información y cartografía de la zona de estudio es muy importante debido a la poca información que existe o ha sido confundida con diferentes unidades litológicas. El reconocimiento de la zona de estudio es necesario para la interpretación de las litologías. La toma de muestras correspondiente de la zona mineralizada nos dará información acerca de la cantidad de oro que tiene y la roca caja nos indicara el tipo de roca que tenemos en nuestro yacimiento. La preparación y análisis de láminas pulidas y láminas delgadas son útiles para el reconocimiento de minerales y su formación.

La elaboración del modelo geológico del yacimiento nos permite clasificar los distintos tipos de litologías. El cálculo de la estimación de recursos y reservas minerales ayudan a determinar la cantidad y calidad de mineral que tiene nuestro yacimiento por distintos métodos de cálculo.

#### **1.5. Metodología**

La ejecución de este proyecto de titulación se realizó de la siguiente manera:

Se recopilará la información bibliográfica la cual consiste en mapas geológicos de estudios anteriores como son: British Geological Survey-CODIGEM en el año 1997 y del Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental en el año 2000, en estos estudios se tiene mapas litológicos o metalogénicos dentro o cerca al Proyecto Colibrí. Estos ayuda a generar una hipótesis del tipo de litología en la que se encuentra el Proyecto Colibrí.

Posteriormente, se realizará las salidas de campo para la toma de muestras de las diferentes unidades litológicas dentro y fuera de la mina del Proyecto Colibrí. Con las muestras tomadas de los sondajes y galerías se realizará láminas delgadas y laminas pulidas para su respectivo análisis petrográfico que consiste en el reconocimiento de las diferentes asociaciones minerales de mena y ganga que posee la roca. Se procederá luego al modelamiento del Proyecto Colibrí con el software Datamine Studio RM para la estimación de reservas de la Veta Venado, para la estimación de recursos necesitamos recopilar muestras en galerías, frentes de exploración y sondajes.

Necesitaremos la topografía para generar el mapa de bloques cubicados con ley de oro y tonelaje a partir del muestreo sistemático geológico realizado en galerías y labores en interior de la mina Colibrí.

## 1.6. Generalidades sobre la estimación de recursos y reservas minerales

La estimación de recursos y reservas es una de las etapas más importantes al inicio de un proyecto minero, por lo tanto, para el desarrollo de un área minera es necesario determinar con precisión el valor económico del mineral. El proyecto minero depende de la cantidad (tonelaje) de mineral y su calidad (ley) de los recursos y reservas (Vallée, 1999). Además, para el financiamiento del proyecto es importante la confiabilidad de la estimación de recursos y reservas minerales (Wober et al., 1993).

Un punto importante en la evaluación de los yacimientos minerales son definir los recursos geológicos que puede poseer el depósito mineral el cual se evaluará con datos obtenidos en campo como pueden ser sondajes de diamantina, toma de muestras e interpretaciones geológicas. La estimación de recursos y reservas considera los datos geológicos que tiene un yacimiento mineral, así como la geometría de los cuerpos minerales y la continuidad de la ley mineral de interés (Ortiz, et al., 2004).

El código de Australasia para el reporte de resultados de exploración, recursos minerales y reservas minerales (código JORC) ha sido modificado en el transcurso de los años hasta la actualidad por diversos organismos mineros como el Consejo de Instituciones Mineras y Metalúrgicas. El código JORC establece normas mínimas, recomendaciones y pautas para el reporte de recursos y reservas minerales (JORC, 2012).

Para la clasificación de recursos minerales se tienen dos parámetros: el primero es el nivel de conocimiento geológico que se tiene de un área determinada con la ayuda de datos geológicos como mapeos, muestras y sondajes; el segundo parámetro se lo considera como factores modificables que son: procesamiento, metalurgia, infraestructura, economía, ámbito legal, mercado, ámbito medio ambiental y ámbito geopolítico (JORC, 2012).

**Recurso mineral:** es la concentración de un material sólido que es de interés económico el cual se encuentra en la corteza terrestre de tal forma que su grado, cantidad, continuidad y otras características geológicas son conocidas, estimadas o interpretadas desde evidencia geológica específica (JORC, 2012).

**Reserva mineral:** es la parte económicamente explotable del recurso mineral en el cual se incluye dilución y pérdida de material que puede ocasionar al momento de la explotación cuando se han realizado los estudios apropiados, como factibilidad, extracción, análisis metalúrgicos, legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Con todas estas evaluaciones hechas se puede justificar la extracción de la reserva mineral (JORC, 2012).

La clasificación de recursos y reservas minerales como son indicados, medidos, probables y probados se resume en la siguiente Figura 1.1 y a continuación se define cada uno de estos términos.



Figura 1: Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales.

*Figura 1.1: Clasificación de recursos y reservas minerales (JORC, 2012).*

**Recurso mineral indicado:** es determinado cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de datos son tales que permiten una interpretación confiable del marco geológico y por consiguiente se asume una continuación de la exploración mineral (JORC, 2012).

**Recurso mineral medido:** es determinado cuando la naturaleza, calidad, cantidad y distribución de datos son tales que no dejan dudas razonables de la interpretación geológica, el tonelaje y la ley de la mineralización puede ser estimado dentro de límites estrechos y es poco probable que cualquier variación de estimación afecte significativamente la viabilidad económica del yacimiento (JORC, 2012).

**Reserva mineral probable:** es la parte económicamente explotable de los recursos indicados y algunas veces de los recursos medidos, considerando el nivel de confianza hay un cambio de recurso a reserva mineral (JORC, 2012).

**Reserva mineral probada:** es una categoría de la más alta confianza en la estimación de reservas y la continuación geológica, el estilo de mineralización u otros factores podrían significar que las reservas probadas no son alcanzables en algunos yacimientos (JORC, 2012).

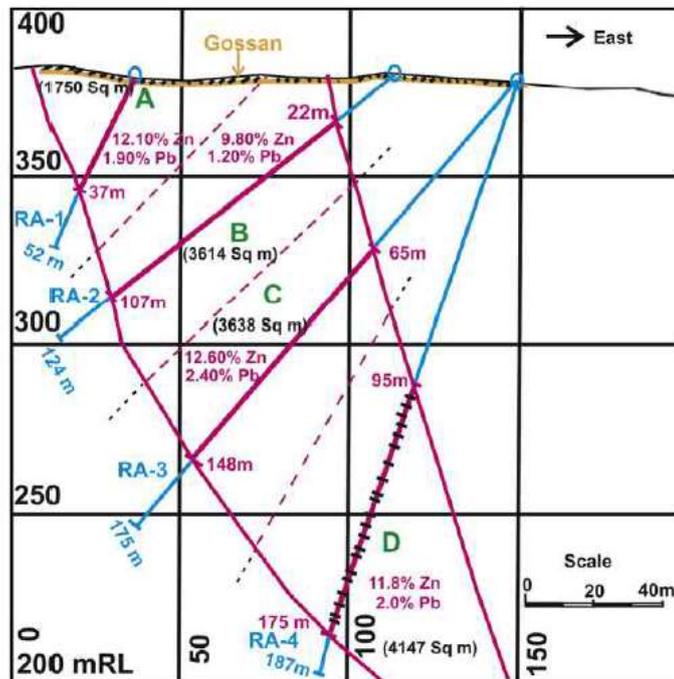
## 1.7. Estimación convencional de recursos y reservas

Los métodos convencionales utilizados para la estimación del grado y tonelaje en un yacimiento mineral dependen de la forma, complejidad y dimensión, los métodos utilizan geometrías las cuales facilitan los cálculos de grado y tonelaje, a continuación se describirá brevemente los diferentes métodos que existen (Gandhi, et al., 2016).

### Método de Secciones Transversales

El método de secciones transversales consiste en una sección geológica que corte la estructura mineralizada, para que se pueda realizar este método es necesario que exista una malla de sondeos bien distribuida en la estructura mineralizada para tener la mayor información posible dentro de la sección que se va a crear (Figura 1.2) (Haldar, S. K., 2018).

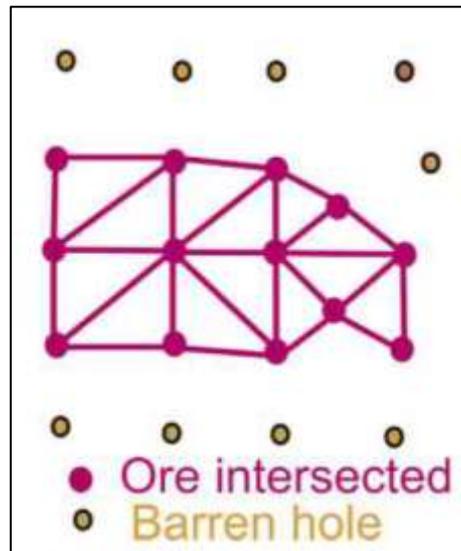
La sección será dibujada con una línea en la superficie con sus diferentes coordenadas, cotas de elevación, litología, contactos y estructuras, las secciones pueden contener vetas simples, múltiples o complejas las cuales pueden abrirse o cerrarse dentro de la sección, para calcular el tonelaje del cuerpo mineralizado se utiliza un cálculo tridimensional que consiste en multiplicar el volumen de la estructura por el peso específico que tiene el cuerpo mineralizado (Haldar, S. K., 2018).



*Figura 1.2: Sección transversal para la estimación de recursos minerales (Haldar, S. K., 2018).*

### **Método Triangular**

El método de triangulación es uno de los más simples y con un alto grado de precisión, consiste en la unión de tres sondajes adyacentes definiendo un bloque, para obtener el tonelaje se realiza el cálculo del volumen por el peso específico (Figura 1.3) (Haldar, S. K., 2018).



*Figura 1.3: Método triangular para la estimación de recursos minerales (Haldar, S. K., 2018).*

### **Método de Cuadrados y Rectángulos**

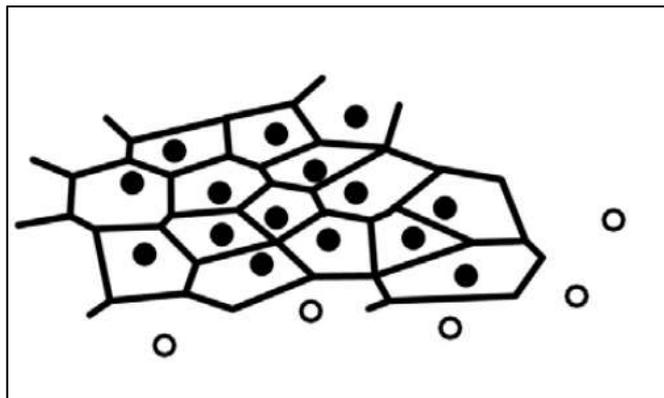
El método consiste en utilizar los sondajes que cortan la estructura mineralizada encerrando los sondajes de manera cuadrada o rectangular, para la estimación del tonelaje utilizaremos los mismos parámetros utilizados en los anteriores métodos que son el volumen por el peso específico de la estructura mineralizada (Figura 1.4) (Haldar, S. K., 2018).



**Figura 1.4:** Método de cuadrados y rectángulos para la estimación de recursos minerales (Haldar, S. K., 2018).

### Método Poligonal

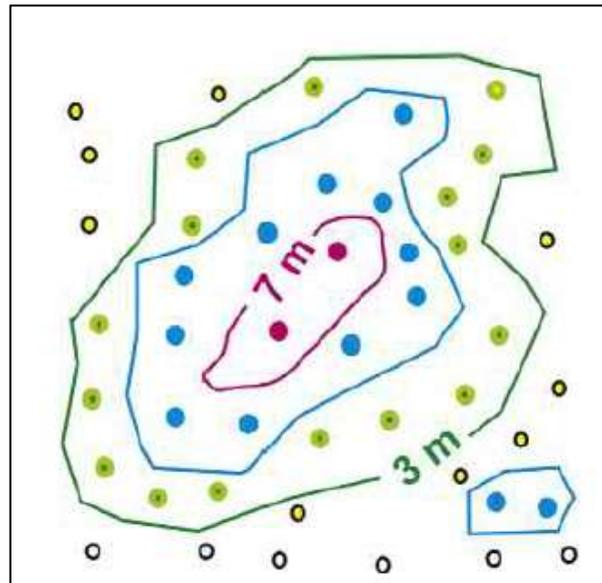
En este método los polígonos se van dibujando alrededor de cada sondaje que ha cortado la estructura mineralizada, para determinar el tonelaje de la estructura utilizaremos las mismas fórmulas que se utiliza en el método de triangulación y de cuadrados (Haldar, S. K., 2018).



**Figura 1.5:** Método de polígonos para la estimación de recursos minerales (Gandhi, et al., 2016).

### Método de Isograsas

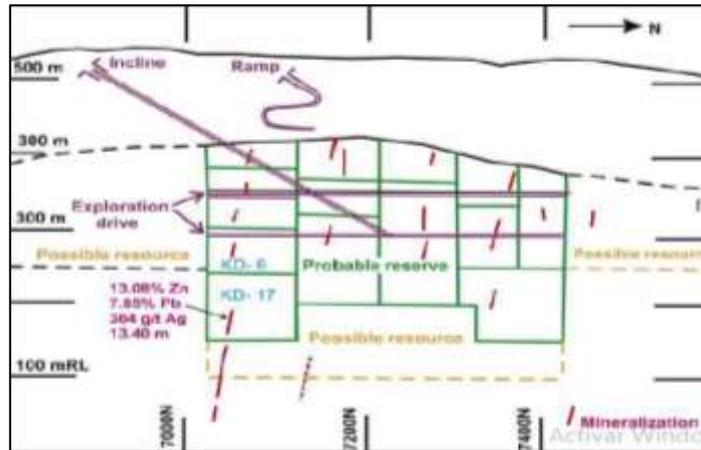
El método de las isogradas está basado en el concepto de isolíneas las cuales son creados por la interpolación de puntos. Las isogradas e isópacas creadas en un mapa representan el grado y espesor del cuerpo mineralizado, para determinar el tonelaje del cuerpo mineralizado es la suma de los volúmenes derivado del espesor multiplicado por el peso específico de la estructura mineralizada, este método funciona muy bien para estructuras con muy poca inclinación (Figura 1.6) (Haldar, S. K., 2018).



**Figura 1.6:** Método de isogradas para la estimación de recursos minerales (Haldar, S. K., 2018).

### **Método de Sección Vertical Longitudinal**

El método de las secciones longitudinales consiste en la creación de una imagen vertical en la cual se encuentre la litología, geometría de la estructura mineralizada, y la reserva mineral en toda la dirección de la estructura, la longitud de la estructura se dividirá en bloques o subbloques dependiendo de los requerimientos del proyecto, para el cálculo de tonelaje se aplicará las misma formulas del cálculo del volumen por el peso específico (Figura 1.7) (Haldar, S. K., 2018). En este trabajo, debido a la geometría y estilo de mineralización del Proyecto Colibrí, se utiliza este método convencional para el cálculo de reservas minerales.



**Figura 1.7:** Método de sección longitudinal para la estimación de reservas minerales (Haldar, S. K., 2018).

## 1.8. Estimación geoestadística de recursos y reservas

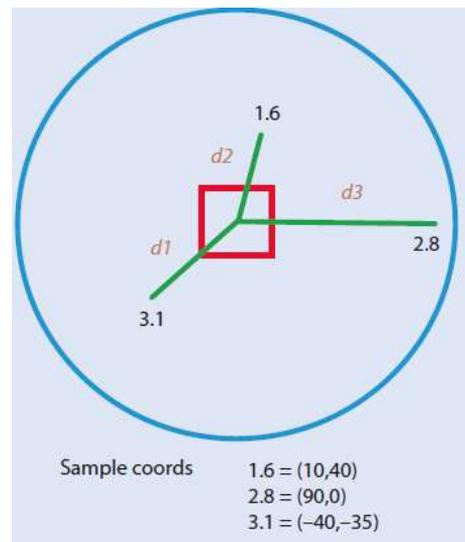
La geoestadística se basa en la correlación entre muestras cercanas dentro de un depósito mineral. La técnica de la geoestadística está basada en conceptos teóricos los cuales involucran el estudio de la relación espacial entre las muestras, valores, espesor y cualquier fenómeno geológico intrínseco de dispersión (Gandhi, et al., 2016). Para este estudio aplicamos tres métodos geoestadísticos que son el kriging ordinario (KO), el vecino más cercano (NN) y ponderación de distancia Inversa (IDW), los cuales se calcula mediante el software Datamine Studio RM.

A continuación, se describe brevemente acerca de estos métodos y parámetros geoestadísticos que nos ayudaran a comprender el uso de estas herramientas para la estimación de recursos y reservas minerales.

### 2.1.1. Método de Ponderación de Distancia Inversa (IDW)

Este método aplica un factor de ponderación en cada muestra que rodea el punto central de un bloque mineral. El método es utilizado debido a su suavidad (valores de la interpolación son continuos y diferenciables), en la geoestadística de estimación de recursos y reservas, este método propone un cambio gradual de valores entre múltiples puntos (muestras) y no un cambio abrupto de valores entre los bloques que pueden ser en 2 dimensiones o 3 dimensiones (Bustillo, 2018).

La distancia inversa se toma en consideración suponiendo que la influencia de un sondaje sobre un punto varía inversamente con la distancia. El procedimiento comprende la división de un yacimiento en bloques regulares dentro de la estructura que se quiere estimar. Los datos disponibles se utilizan para calcular el valor variable del espesor o ley mineral para el centro de cada bloque (Figura 1.8) (Bustillos, 2018).

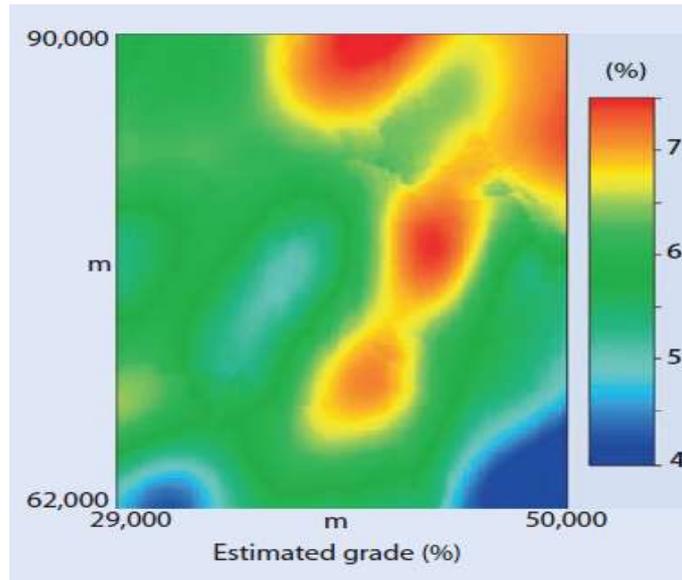


**Figura 1.8:** Método de inverso a la distancia (Bustillos, 2018).

### 2.1.2. Kriging Ordinario (KO)

El método de Kriging Ordinario (KO) es una técnica geoestadística para determinar la mejor estimación lineal con una varianza mínima, el kriging es una operación de ponderación de muestras las cuales minimicen el error en la estimación, generando una mejor estimación de un bloque desconocido con un grupo de muestras (Bustillos, 2018).

El kriging de puntos solo tiene en cuenta las relaciones entre los puntos de muestreo individuales, los cuales pueden ser de los sondajes, pero no tiene en cuenta el tamaño de los bloques, esta técnica se adapta mejor a isolíneas de contorno de leyes o espesores iguales del cuerpo mineralizado, mientras que el kriging de bloques estima el valor de un bloque a partir de los datos que lo rodean (Figura 1.9) (Bustillos, 2018).



*Figura 1.9: Método de kriging ordinario (Bustillos, 2018).*

### 2.1.3. Vecino más Cercano (NN)

El método del vecino más cercano es el promedio que se calcula como la distancia promedio observada dividida por la distancia promedio esperada, basada en una distribución hipotética aleatoria con el mismo número de entidades que cubren la misma área total (Pérez, 2016).

El método del vecino más cercano en estimación de recursos minerales consiste en asignar los valores de la muestra a los cubos más cercanos, este método tiende a dar valores más sesgados a medida que los bloques se alejan de la muestra (Pérez, 2016).



*Figura 1.10. Método del vecino más cercano tomado de (Pérez, 2016).*

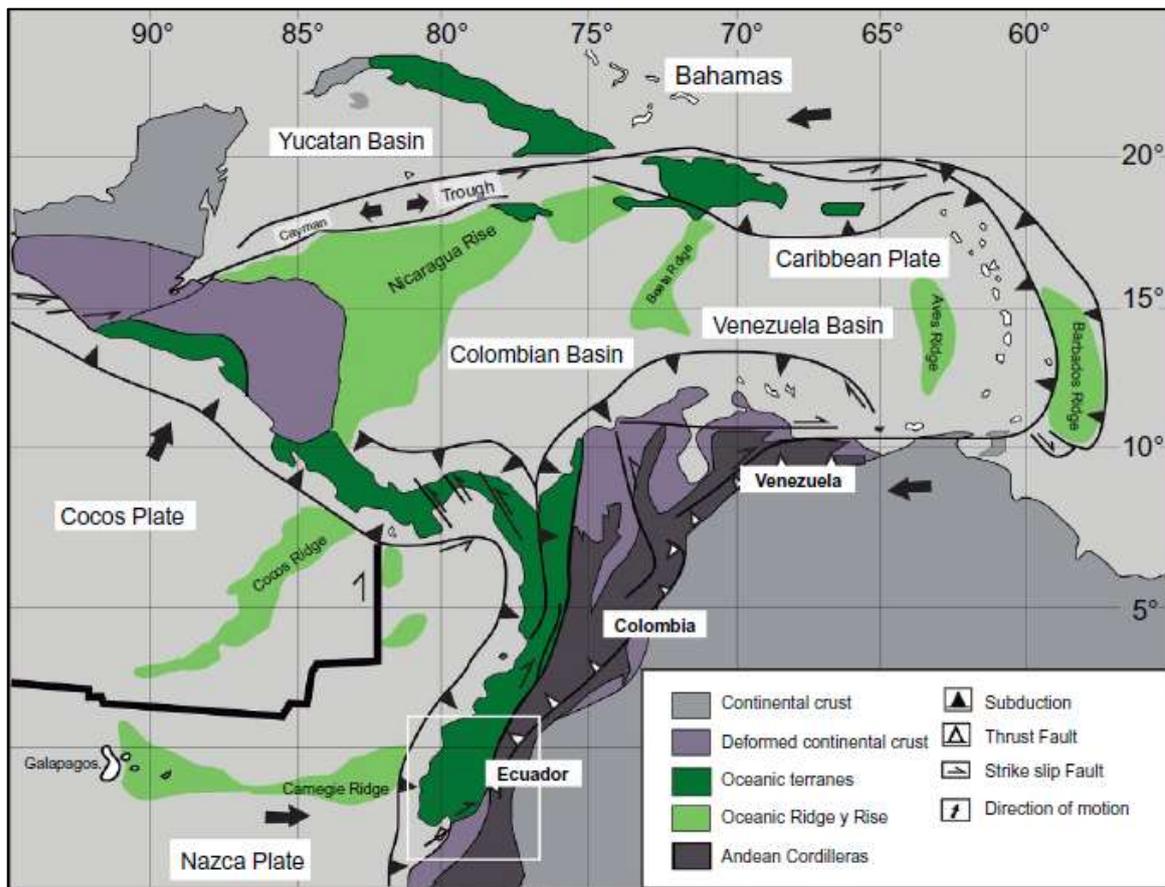
## CAPITULO 2

### 2. MARCO GEOLÓGICO

#### 2.1. Contexto Geodinámico

Los Andes forman una cadena montañosa de más de 7000 km de longitud aproximadamente. Este arco volcánico se encuentra en el borde occidental de Sudamérica. Este gran cuerpo rocoso se divide en tres segmentos que son: Andes del norte, central y del sur. El Ecuador se localiza en el segmento norte de los Andes (Argollo., 2006).

El Ecuador se encuentra ubicado en un ambiente geodinámico de convergencia, en el cual la placa Nazca subduce a la placa Sudamericana a una velocidad de 5 a 7 cm/año (Trenkamp et al., 2002). El Ecuador se divide en 5 regiones morfotectónicas que de oeste a este son: la Costa, Cordillera Occidental, Valle Interandino, Cordillera Real y la Cuenca Oriente (Vallejo et al., 2009) (Figura 2.1).



*Figura 2.1: Mapa del marco tectónico del Ecuador (modificado de Luzieux et al. 2006) (Tomado de Vallejo et al. 2019).*

Actualmente uno de los elementos topográficos que se encuentran subduciendo junto con la placa Nazca es la cordillera de Carnegie, la cual tiene un ancho de 200 km y una altura de 2000 metros (Yepes et al., 2016), esta cordillera se encuentra subduciendo desde hace aproximadamente 2 a 6 millones de años debajo del continente (Gutscher et al., 1999).

## **2.2. Geología Regional**

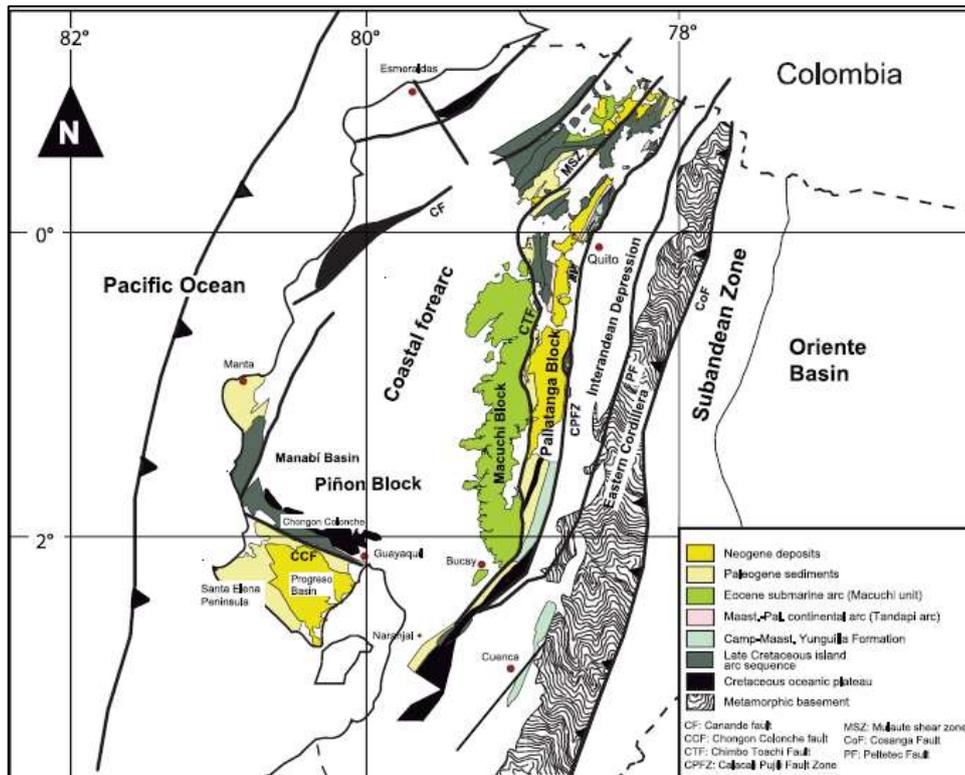
La Cordillera Occidental en Ecuador inicia desde Guayaquil y se extiende hasta la frontera norte con Colombia (Luzieux, 2006). La Cordillera Occidental es un segmento que forma parte del norte de los Andes y se caracteriza por la presencia de los terrenos Pallatanga y Macuchi (Hughes y Pilatasig, 2002). A continuación, se describen los terrenos de la Cordillera Occidental.

El terreno Pallatanga incluye varias formaciones volcánicas y sedimentarias (Vallejo et al., 2019), ha sido estudiado por varios autores, los cuales han hecho extensos análisis de geoquímica (Cosma et al., 1998; Lapierre et al., 2000; Kerr et al., 2002; Mamberti; et al., 2003; Vallejo., 2009), incluyen elementos trazas e isótopos como U, Nd, Sr y Pb (Vallejo, 2009). Los análisis se han realizado en rocas basálticas de la formación Pallatanga determinando patrones de manto primitivo (Reynaud et al., 1999). Las rocas son muy similares geoquímicamente a los basaltos del plateau del Caribe (Kerr et al., 2002), Los estudios han determinado que el terreno Pallatanga tiene una afinidad de plateau oceánico (Figura 2.2) (Reynaud et al., 1999; Mamberti et al., 2004 Lebrat et al., 1985; Hughes and Pilatasig, 2002).

Se han realizado varios estudios de geoquímica para el terreno Macuchi, en los cuales, los análisis de roca total indicaron un origen de arco para las rocas volcánicas de este terreno (Hughes and Pilatasig, 2002; Kerr et al., 2002), los análisis de multielementos y los ploteos de REE revela una anomalía de Nb negativo, estos estudios determinaron que las rocas del terreno Macuchi son pertenecientes a un arco volcánico submarino de composición toleítica y calco-alcalino (Figura 2.2) (Vallejo, 2009).

El bloque Piñón, el cual es catalogado por los autores como el basamento de todo el antearco de la región costa en el Ecuador, se compone de rocas como son basaltos y doleritas, estas rocas geoquímicamente son muy similares a la formación Pallatanga, la edad de la formación Piñón datada por el método de Ar / Ar por Luzieux et al. (2006) es de  $88.8 \pm 1.6$  Ma. Esta formación, se la proponen que pertenece a restos del plateau oceánico del Caribe debido a

otras edades obtenidas en regiones como Colombia y Caribe, las cuales dan edades similares a las obtenidas para la formación Piñon (Figura 2.2) (Vallejo et al., 2019).



**Figura 2.2:** Mapa de las principales provincias tectónicas y unidades de Ecuador (modificado de Mamberti., 2003) (Vallejo et al., 2019).

### 2.3. Geología de la Cordillera Occidental

Existen estudios de la estratigrafía de la Cordillera Occidental como son: BGS (1997), Prodeminca (2000) y Vallejo (2007), en este trabajo sintetizaremos las principales formaciones y grupos litológicos que comprenden a la Cordillera Occidental (Figura 2.3).

#### Formación Pallatanga

La Cordillera Occidental está formado por un basamento volcánico que comprenden la formación Pallatanga y la unidad San Juan (Vallejo, 2009). La formación Pallatanga se encuentra mejor expuesta en la parte sur del este de la Cordillera Occidental (Hughes y Pilatasig, 2002), y tiene una afinidad geoquímica de E-MORB y plateau oceánico (Mamberti et al., 2003; Vallejo 2007).

La formación Pallatanga aflora en el borde este de la Cordillera Occidental (Vallejo, 2007), esta contiene basaltos, peridotitas, pillows lavas y hialoclastitas (Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, 2000; Hughes y Pilatasig. 2002), la edad que se le asigna a esta formación es del Campaniano al Matriciano (86-85 Ma) (Vallejo, 2007).

### **Unidad San Juan**

La unidad San Juan se encuentra expuesta al oeste del pueblo San Juan (provincia de Esmeraldas) en el río Saloya, litológicamente la unidad San Juan es una secuencia ultramáfica que comprende peridotitas, serpentinitas, anortositas y gabros olivínicos (Vallejo, 2007). La edad fue obtenida en la datación de zircones la cual es de 87 Ma (Vallejo, 2007).

### **Grupo Rio Cala**

El Grupo Rio Cala se define como una secuencia volcánica y sedimentaria dentro de un arco de islas interoceánico, este grupo se sitúa encima de la formación Pallatanga. El grupo Rio Cala incluye las formaciones La Portada, Malaute, Pilatón, Natividad y Rio Cala (Vallejo, 2007).

### **Formación Yunguilla**

La formación Yunguilla se encuentra expuesta en el borde oriental de la Cordillera Occidental (Almagor, 2019). Litológicamente esta formación comprende areniscas lodolitas, lutitas y areniscas de grano fino (Hughes y Pilatasig. 2002; Vallejo 2007). Su edad es determinada por la bioestratigrafía desde el Campaniano tardío al Maastriciano (Jaillar, 2004), esta edad es acorde con Vallejo (2007) que reporta una edad de 69 -100 Ma determinada por zircones detríticos.

### **Formación Silante**

La formación Silante aparece restringida en la parte norte de la Cordillera Occidental (Vallejo, 2007). La litología que caracteriza a esta formación se encuentra compuesta por lutitas, areniscas, limolitas (Hughes y Pilatasig. 2002). La edad que se propone es de 58 Ma a 65 Ma según (Almagor, 2019), esta edad se aproxima a la de Egüez (1986) que le asocia al Maastrichtiano.

### **Formación Pilaló**

La formación Pilaló aflora entre la carretera Latacunga - La Maná (Vallejo, 2007). Está compuesta por lutitas, limolitas, areniscas y brechas volcánicas (Almagor, 2019). La edad de Jaillard et al. (2004) reporta una edad del Paleoceno.

### **Formación Saguangal**

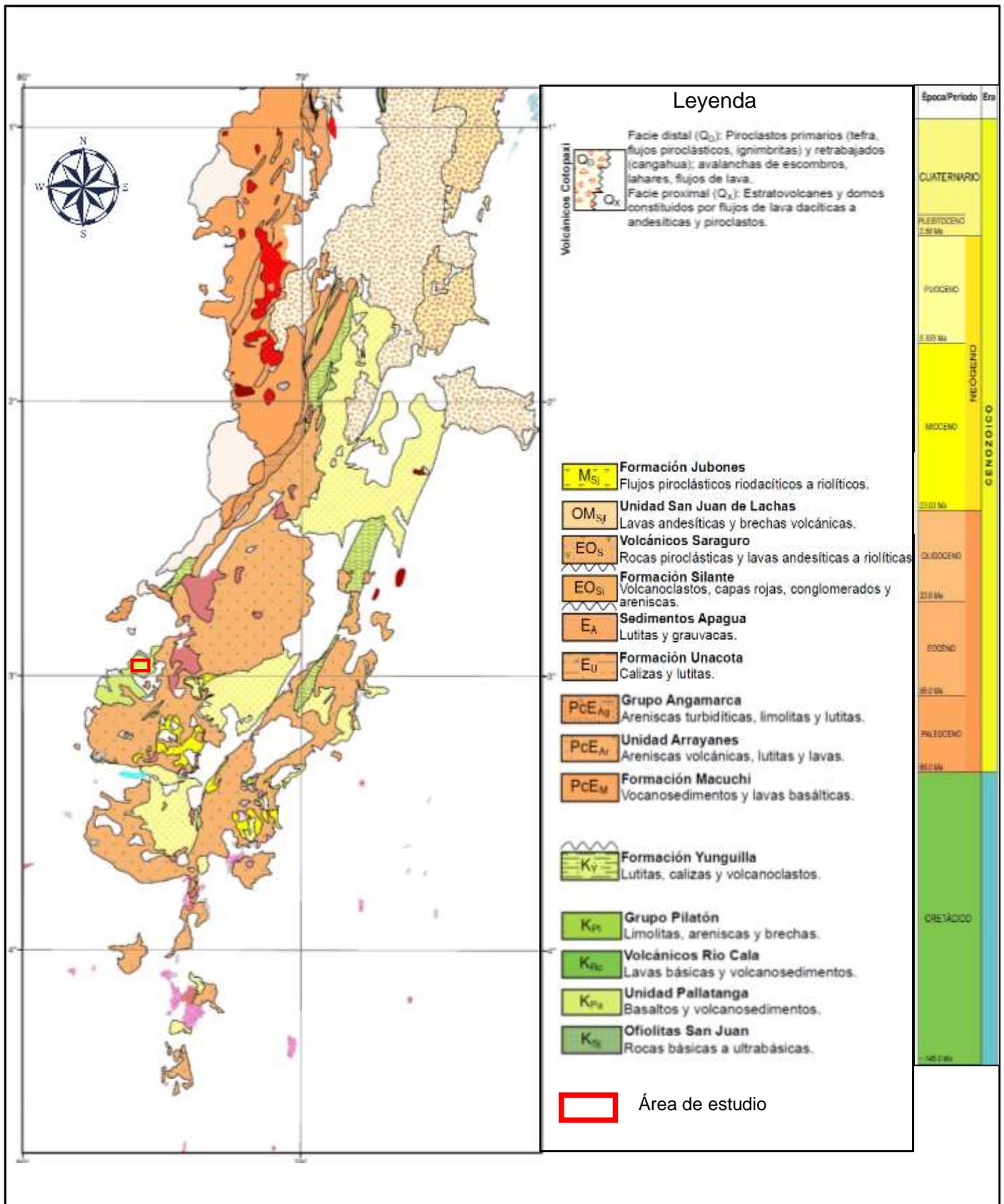
La formación Sanguangal aparece al noroeste del pueblo Saguangal cerca al río Guayllabamba. Esta formación contiene rocas como son lodolitas areniscas y brechas volcánicas (Vallejo, 2007). La edad fue determinada por el método U-Pb dando el resultado de  $58.8 \pm 8.0$  Ma, se determina que esta formación es derivada de un arco volcánico (Vallejo, 2007).

### **Grupo Angamarca**

El grupo Angamarca es una secuencia siliciclástica, incluye también areniscas turbidíticas, conglomerados y un intervalo de calizas, las formaciones contienen abundante cuarzo y minerales metamórficos. El grupo Angamarca fue depositado desde el Paleoceno hasta el Oligoceno, se subdivide en el tope por las formaciones Saquisilí, Apagua, Unacota y Rumi Cruz (Vallejo, 2007).

### **Unidad Macuchi**

La unidad Macuchi aflora en el borde oeste de la Cordillera Occidental, esta unidad es cubierta por depósitos cuaternarios (Almagro, 2019). La litología que caracteriza a esta unidad es pillow lavas, basaltos, andesitas, dacitas, hialoclastitas y areniscas turbidíticas (Hughes y Bermúdez, 1997). La edad de esta unidad se determina por varios autores como Egûez (1986) que plantea una edad Eoceno debido a la presencia de radiolarios *Dorcadospyris* cf en la unidad Tilipulo, el mismo autor reporta intrusiones andesíticas las cuales muestran edades K-Ar de  $41.6 \pm 2.1$  Ma y  $35.8 \pm 1.8$  Ma (Almagor, 2019). Finalmente, Vallejo (2007) obtiene una edad de  $42.62 \pm 1.3$  Ma mediante el método de Ar/Ar realizado en plagioclasas.



**Figura 2.3:** Mapa Geológico de la Cordillera Occidental entre 1°N y 5°S ( Mapa Geológico de la Republica del Ecuador, 2017).

## **2.4. Geología del Proyecto Minero Colibrí**

La ubicación del proyecto minero Colibrí se encuentra en la parte sur de la Cordillera Occidental, el lugar en el que se realiza este estudio se encuentra al noroeste del Distrito minero Azuay (Figura 2.2) (**Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, 2000**). En esta zona, la geología regional se encuentra caracterizada por dos litologías que se describen a continuación (Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, 2000).

### **Formación Pallatanga**

La formación Pallatanga se encuentra identificada al NW del distrito minero Azuay, esta formación es una corteza oceánica. La formación Pallatanga contiene basaltos, peridotitas, pillows lavas y hialoclastitas, tiene una edad del Campaniano al Matriciano (86-85 Ma) (Vallejo, 2007). Sobre esta litología se encuentra superpuesta la Unidad Yunguilla la cual no se encuentra muy bien preservada. Sobre la unidad Yunguilla se deposita las volcanitas del grupo Saraguro que consta de tobas andesíticas a riolíticas (**Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, 2000**), estas rocas tienen una edad que va del Eoceno tardío al Mioceno medio (Figura 2.2) (Baldock, 1982).

### **Intrusivo Granodiorita**

La formación Pallatanga, el grupo Saraguro y la formación Sacapalca se encuentra intruidos por cuarzo dioritas a granodioritas. La granodiorita la cual se observa en la figura 2.2, es de grano medio a grueso. El intrusivo posee vidrio cloritizado intersticial e intercrecimientos de cuarzo y feldespato de forma irregular, estas evidencias demuestran un enfriamiento rápido del intrusivo, la textura del intrusivo es porfirítica la cual indica un emplazamiento de alto grado (Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental, 2000).

Las rocas que alojan al depósito mineral Colibrí se encuentran en la formación Pallatanga, la descripción petrográfica a detalle de estas litologías se describe con la ayuda de muestras de mano, las cuáles fueron obtenidas mediante sondajes de diamantina, así como también de las principales galerías.

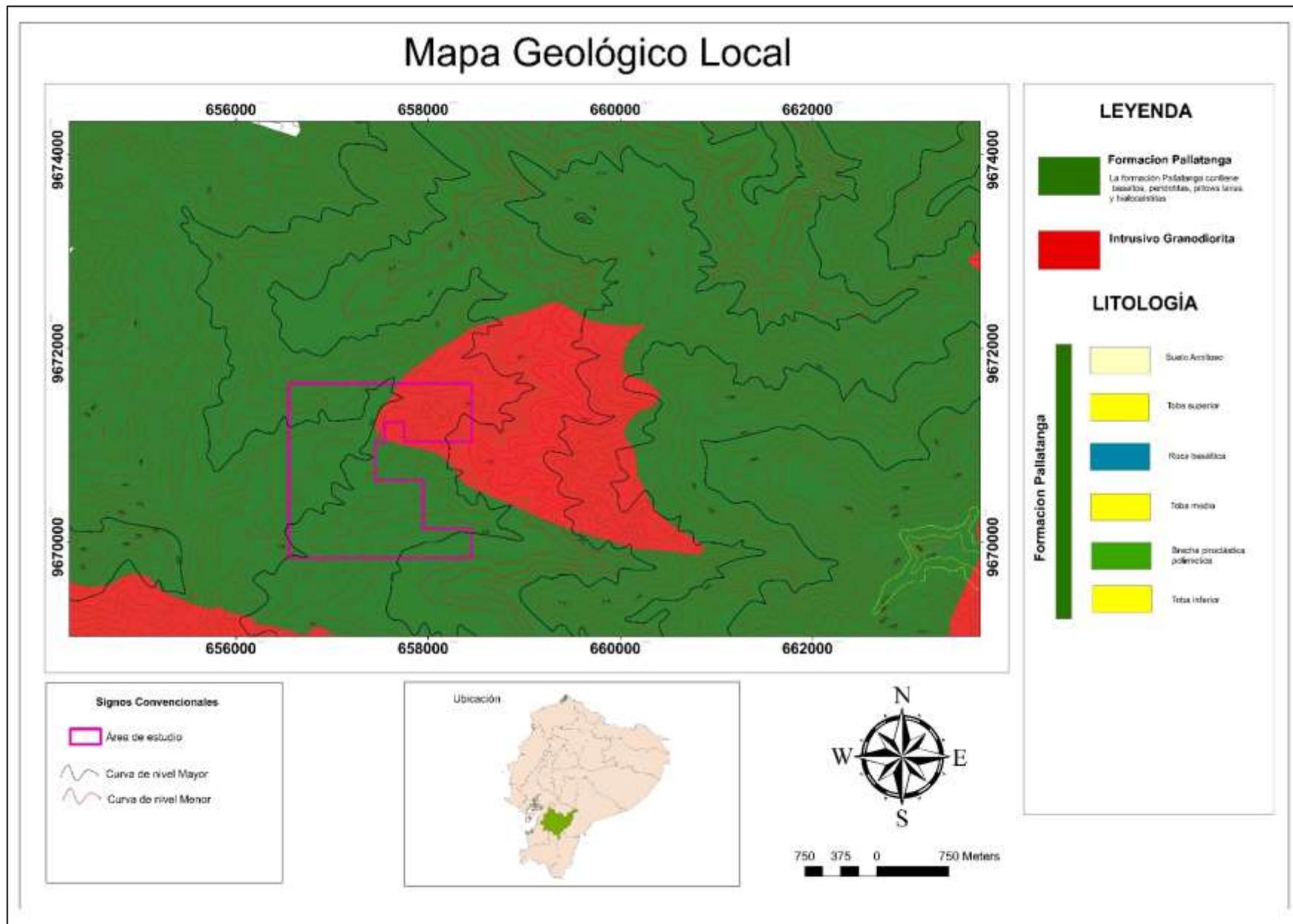


Figura 2.4: Mapa Geológico Local (Modificado de PRODEMINCA, 2000).

#### **2.4.1. Litoestratigrafía Local del Yacimiento Colibrí**

La clasificación y descripción de las litologías mediante el análisis de testigos de perforación en el proyecto minero Colibrí se presenta a continuación (Figura 2.4).

##### **Toba**

Esta litología se encuentra intercalada desde profundidad y presenta diferentes características como su tipo de grano, alteraciones y diferentes contenidos minerales. Se encuentran alternadas por otras litologías identificadas en los sondajes, por lo que se las clasifica de la siguiente manera:

##### **Toba superior**

Las rocas presentan un color azul claro de cristales con líticos de cuarzo de grano fino, posee una textura obliterada producto de la erosión, contiene arcillas y limos. La roca es afectada por una alteración argílica que contiene illita y caolinita. Esta capa de tobas se extiende por toda el área de estudio debido a que en todos los sondajes corta esta litología con un espesor promedio de 15 metros y se encuentra sobrepuesta por suelo arcilloso y sobreyace en una capa de basaltos.

##### **Toba media**

Las rocas presentan un color azul claro de cristales con líticos de cuarzo de grano medio, posee una textura porfídica, su matriz es fina y silicificada, el mineral que se encuentran es la plagioclasa, la roca no presenta alteración, el espesor de esta capa es de 20 metros y se extiende en toda la zona de estudio, la toba se sobreyace a una capa de brecha.

##### **Toba inferior**

La roca presenta un color verde claro, posee una textura porfídica de composición riolítica, contiene fenocristales de cuarzo de 6 mm de grano grueso, contiene xenolitos de horblenda y de tonalita silicificada de 5 mm, la roca tiene probablemente una alteración propilítica debido a que se encuentra presente el mineral de clorita. La toba contiene venillas esporádicas de calcita de 2 cm de espesor, esta litología tiene un espesor de 30 metros en la zona de estudio, esta toba se encuentra debajo de la capa de brecha.

### **Basalto**

Las rocas presentan un color negro, posee una textura afanítica y contiene arcillas en las fracturas que se encuentran presentes en la roca. La composición mineral está caracterizada principalmente por vidrio y pequeños cristales de plagioclasa. La roca se encuentra muy meteorizada en algunos sondajes por lo que presenta una alteración argílica caracterizada por caolinita, illita y esmectita.

### **Brecha**

La roca presenta un color azul claro con una textura porfírica, tiene una matriz silicificada del 40%, la brecha es clasto soportada, contiene un 60% de clastos subredondeados de 2 cm de cuarzo hialino y líticos de tonalita. La brecha tiene una sobreimpresión de clorita y epidota. Esta brecha contiene venillas de calcita de 1 cm de espesor. La alteración de esta brecha es propilítica debido al contenido de los minerales que son epidota y clorita.

## CAPITULO 3

### 3. MATERIALES, MÉTODOS Y PETROGRAFÍA

#### 3.1. Levantamiento topográfico, sondeos y muestreo

Para el estudio de este trabajo se realizó el levantamiento topográfico para ubicarnos en espacio sobre donde se encuentran las labores mineras, la exactitud que se encuentra cada sondeaje y cada muestra. Los sondeos realizados por la empresa son utilizados para la obtención de información geológica y para el modelamiento geológico en el software Datamine. El muestreo es utilizado para la obtención de leyes de oro y para el análisis de láminas delgadas y láminas pulidas. A continuación, se resume las siguientes actividades.

##### 3.1.1. Topografía

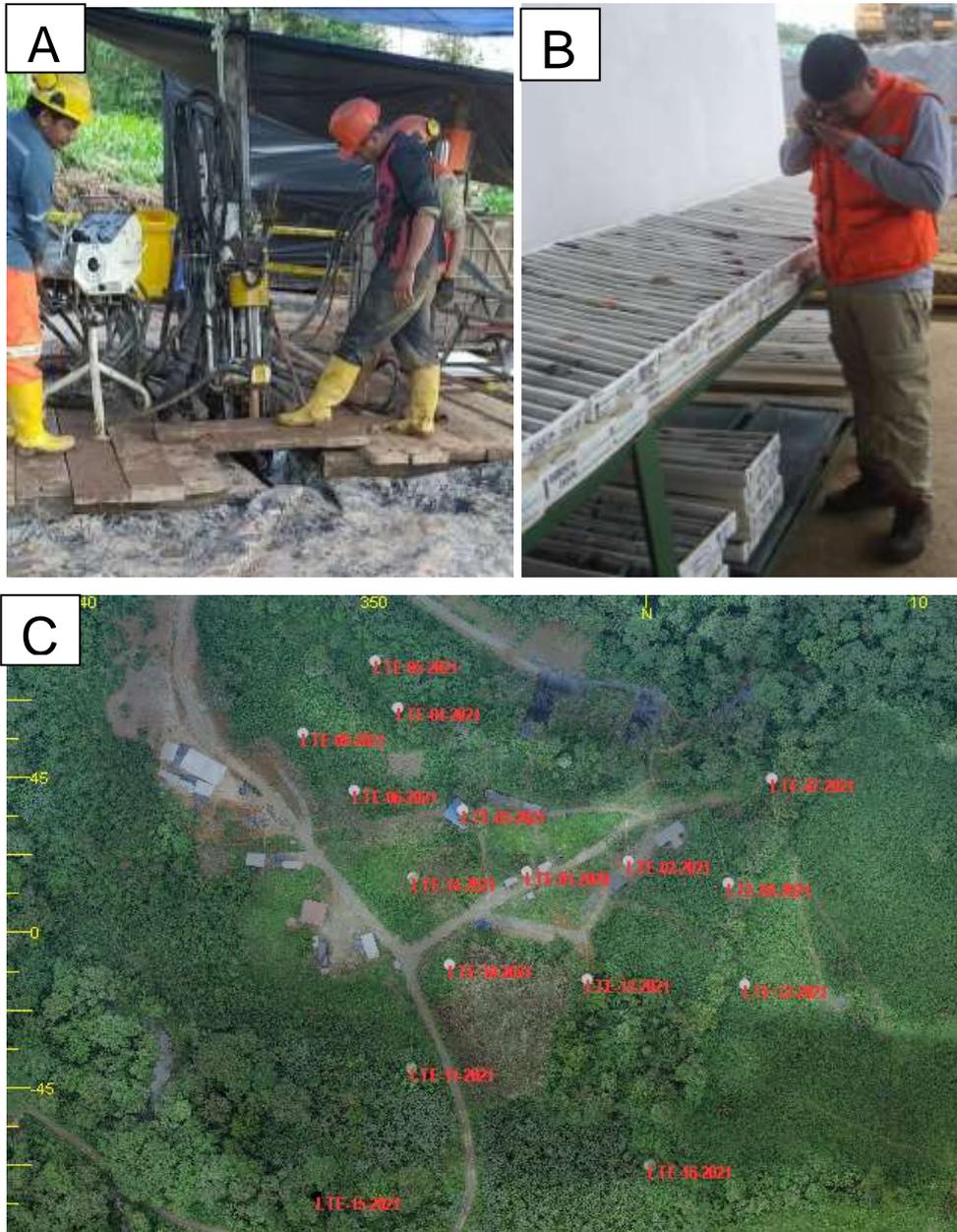
La mina ha sido levantada topográficamente con la ayuda de la estación total Leica, el equipo de topografía hace un levantamiento de la realidad plasmándola en información digital de tres dimensiones, las labores mineras levantadas contendrán los siguientes elementos: paredes, techo y piso (Figura 3.1). El sistema de coordenadas utilizadas son WGS 84, todos estos levantamientos son dibujados y actualizados en AutoCad.



*Figura 3.1: Equipo de topografía realizando el levantamiento dentro de la unidad minera.*

### 3.1.2. Sondeos

Actualmente, la empresa Geodrill efectuó 16 sondeos para la identificación de la estructura mineralizada (Figura 3.2). Se realizó un logueo rápido para verificar la mineralogía de todos los testigos de perforación, todos los sondajes fueron descritos a detalle por el equipo de logueo, los sondajes fueron utilizados en su totalidad para obtener análisis de contenido de oro y serán utilizados para realizar el modelamiento geológico en el programa Datamine Studio Rm.



**Figura 3.2:** A) Sondajes en superficie, B) Logueo de verificación y C) Ubicación de sondajes.

### 3.1.3. Muestreo

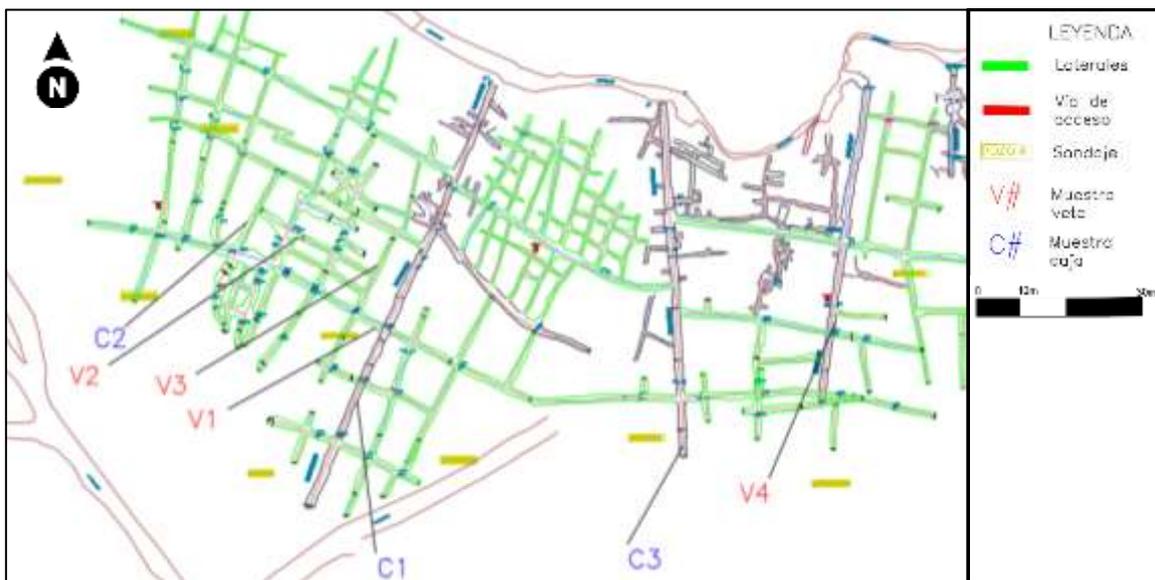
Para la adquisición de muestras se tomó cada dos metros en todas las galerías, se siguió el protocolo de QA/AC (Control y gestión de calidad), por lo que se envió al laboratorio muestras de material estéril al igual que muestras gemelas, en cada una de las muestras recolectadas. Para la toma de muestras de la veta se extrae aproximadamente 4 kg de mineral de mena, así como también se tomó la medida del espesor de la veta (Figura 3.3 A, B, y C).



**Figura 3.3:** A) Toma de muestra, B) Codificación y almacenamiento de la muestra y C) Medición de la veta.

La recolección de muestras para los diferentes análisis petrográficos se lo realizó en el interior de las galerías, cada muestra tiene un peso promedio de 4 kg y se lo ha tomado en el lugar donde las muestras son más frescas, cabe recalcar que el yacimiento mineral se localiza en la parte superficial, por lo que se encuentra bastante meteorizado.

Se tomaron cuatro muestras de veta mineralizada (V1, V2, V3 y V4), tres muestras de la roca caja (1C, 2C y 3C), las cuales se tomaron de las zonas menos afectada por la meteorización, las muestras fueron recolectadas en las labores en el interior de la mina (Figura 3.4).



**Figura 3.4:** Ubicación de la toma de muestras de la veta (V1, V2, V3 y V4) y toma de muestras de la roca caja (1C,2C y 3C).

### 3.2. Metodología.

La metodología de este estudio parte de la recopilación de mapas geológicos e información geológica que se ha descrito y obtenido hasta la actualidad para la elaboración del mapa geológico del proyecto Colibrí. La recolección de información geológica como son los sondeos y muestreos de la estructura mineraliza, sirven para la elaboración de láminas delgadas y láminas pulidas que nos permita reconocer minerales bajo el microscopio petrográfico. Los análisis de oro de las muestras de la estructura mineralizada y de los sondeos descritos; y con la ayuda del software Datamine Rm, sirven para la estimación de recursos y reservas minerales. La metodología realizada en este trabajo de titulación se describe en el siguiente flujograma de la Figura 3.5.

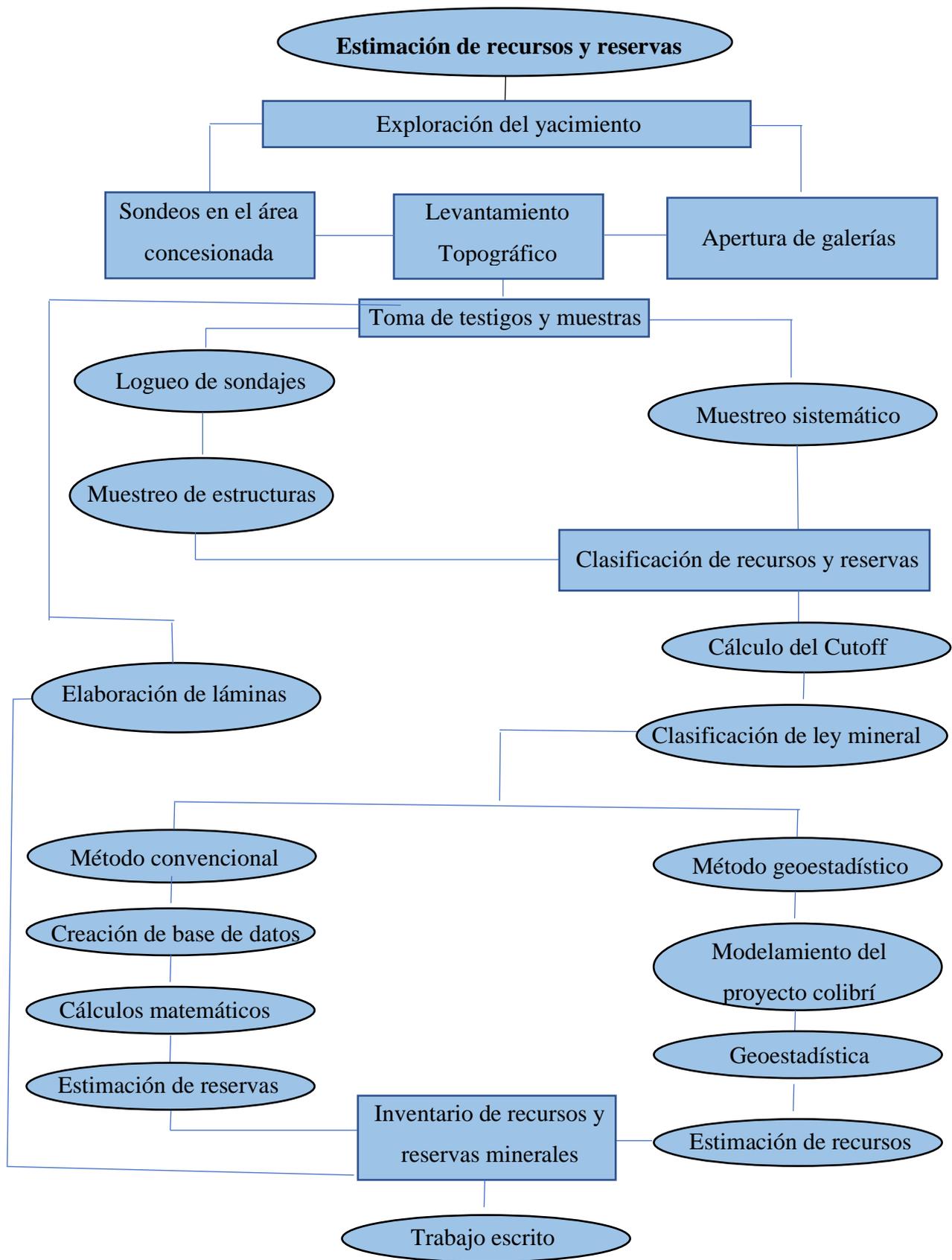


Figura 3.5: Flujograma que describe la metodología realizada en este estudio.

### **3.3. Petrografía y Mineralogía**

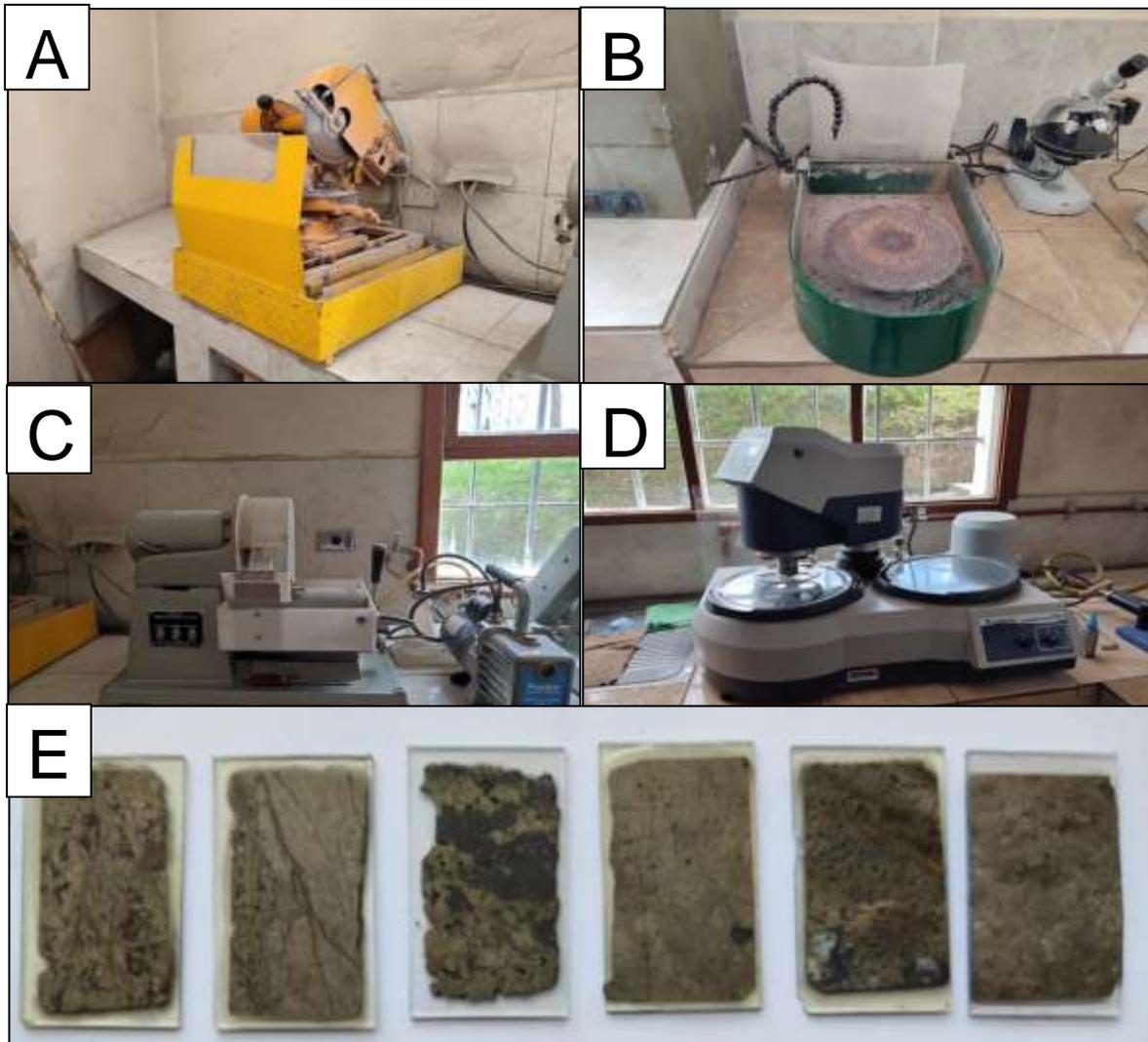
#### **3.3.1. Elaboración de secciones pulidas**

Para el estudio de la petrografía se tomaron un total de 4 muestras de veta mineral y 3 de roca caja. Se realizaron 6 láminas pulidas para el análisis petrográfico y mineralógico de la veta. Para la roca caja se elaboró 4 láminas delgadas para su descripción.

Los principales pasos que se realizaron para generar las láminas pulidas y láminas delgadas fueron:

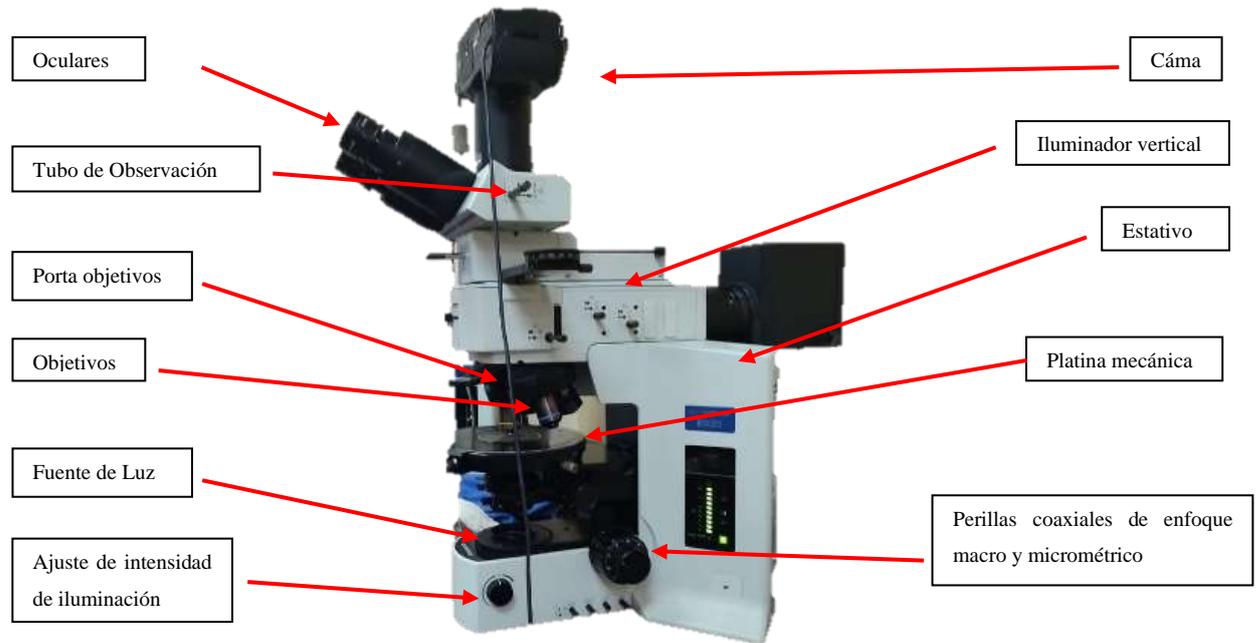
- Para obtener el chip se debe cortar la muestra de mano con una sierra de diamantina (Figura 3.2.A), hasta obtener una medida optima de entre 2 a 2.5 cm de ancho, 3 a 4.5 cm de largo y 1 a 1.5 cm de espesor, después se debe pasar el chip en la pulidora para suavizar el relieve de la cara posterior que será pegada a la lámina delgada de vidrio (Figura 3.5.B).
- El chip obtenido será pegado a una lámina de vidrio, posteriormente se nivela el relieve de la cara del chip, con el relieve nivelado se procederá a utilizar la cortadora de succión (Figura 3.5.C) para debastar el chip que se encuentra pegada a la lámina de vidrio.
- Para dar un mejor acabado de las láminas y poder observar los minerales se procede a la pulidora de succión (Figura 3.5.D) y se reducirá la lámina hasta 300  $\mu\text{m}$ .
- Para el esmerilado de las muestras se usó polvo de carburo de silicio el cual se utiliza en una lámina de vidrio, con todos estos materiales las láminas se deben pulir sobre esta superficie de vidrio con movimientos en forma de ocho, las láminas deben tener un tamaño óptimo de 30  $\mu\text{m}$ .
- Para eliminar los defectos más profundos del esmerilado se procede al desbastado de las láminas, lo cual consiste en pulir la lámina en una lija con movimientos circulares hasta obtener un brillo metálico de mediano grado.
- Finalmente, se aplica pasta de diamantes en cada lámina pulida, se realizó un pulido en la pulidora de succión que permite que los minerales se aplanen sin causar irregularidades hasta que se obtuvo un brillo metálico en las láminas de un alto grado (Figura 3.5.E). Para más detalles sobre la elaboración de láminas pulidas ver Cueva (2022).

- Para la elaboración de láminas delgadas se utilizó el mismo procedimiento que para las secciones pulidas el único paso que se ha omitido es el pulido en la pulidora de succión con el esmerilado de diamantina.



**Figura 3.6:** Equipos para la elaboración de láminas secciones pulidas y láminas delgadas. A) Sierra de diamantina. B) Pulidora. C) Cortadora de succión. D) Pulidora de succión. E) Resultado final de las láminas pulidas.

Para el análisis microscópico de las diferentes láminas pulidas y láminas delgadas utilizamos el microscopio Olympus BX51 del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional (Figura 3.6). Este estudio permite identificar minerales de mena; así como también, minerales de ganga. El microscopio petrográfico es una herramienta muy importante en geología que nos permite clasificar los distintos minerales mediante sus propiedades ópticas. Con la ampliación que brinda el microscopio podemos obtener información de texturas y sucesos que han ocurrido en la mineralización de las láminas analizadas.



*Figura 3.7: Microscopio Olympus del Departamento de Geología de la Escuela Politécnica Nacional.*

### 3.3.2. Descripción Petrográfica del Proyecto Colibrí

El estudio petrográfico que se realizó en el Proyecto minero Colibrí, a partir de muestras representativas de la veta venado, permitieron identificar minerales, texturas, alteraciones y la relación de los fluidos de mineralización. El estudio microscópico ayuda a identificar los minerales traslúcidos y opacos de las rocas analizadas, los minerales serán clasificados de acuerdo a sus propiedades ópticas.

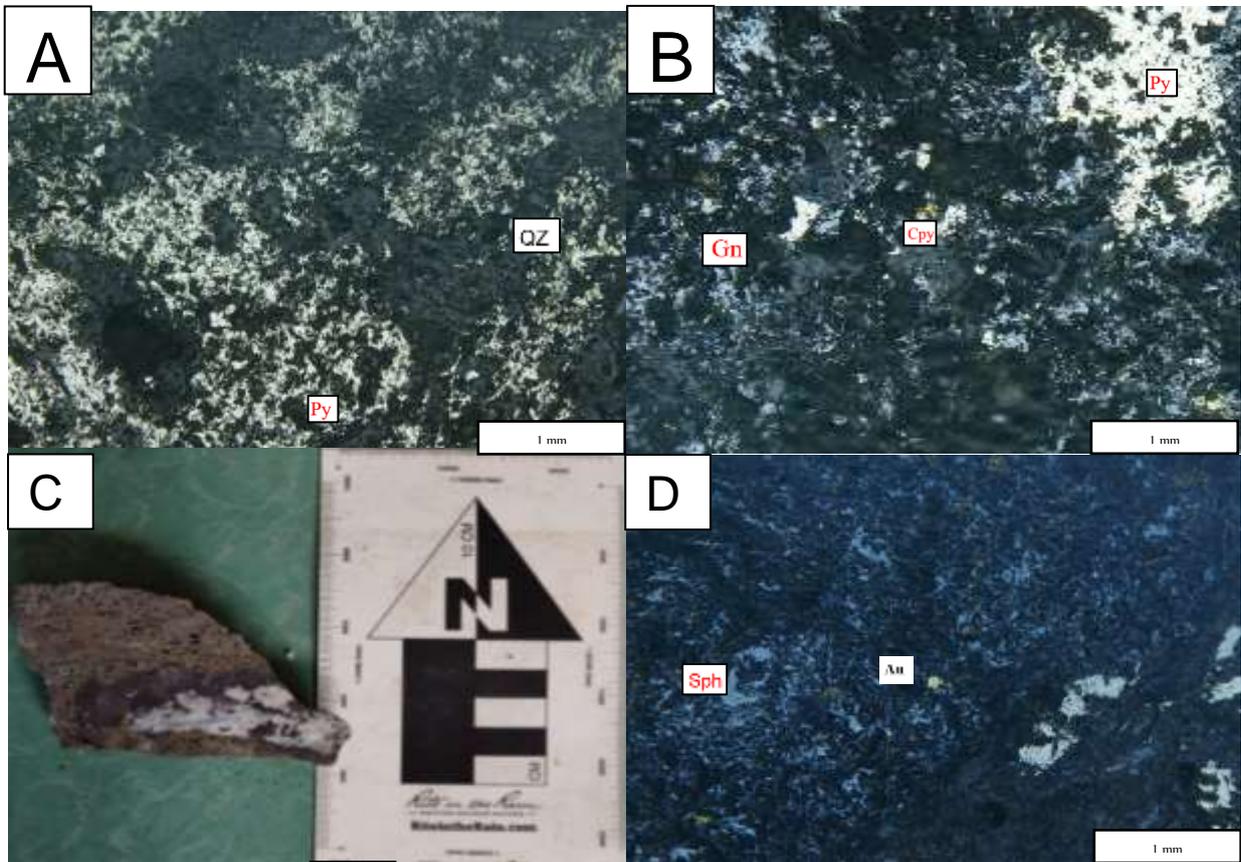
En este trabajo se realizaron y describieron 6 láminas pulidas (DH1, DH2, DH3, DH4, DH5 y DH6) y 4 láminas delgadas (LT1, LT2L LT3 y LT4), a continuación, se describe la mineralogía de cada una de las muestras.

#### 3.3.2.1. Minerales de Mena

##### Muestra DH1

La roca en muestra de mano presenta un color negro verdoso, contiene minerales como son: cuarzo, esfalerita, calcopirita, pirita, pirrotina, malaquita y bornita. Macroscópicamente presenta una textura en vetas (esfalerita, pirita y cuarzo), la esfalerita se presenta de forma masiva y la pirita de manera diseminada (Figura 3.8 C). Microscópicamente se observa cristales de pirita euhedrales con un 45% de contenido, su textura es semi-masiva y tiene forma subeuhedral a esquelética (Figura 3.8 A y 3.8 B). La esfalerita se encuentra de manera

masiva tiene un 40% de contenido y se encuentra cortando a la pirita. En mínima proporción se encuentra la calcopirita con un contenido del 5%, la calcopirita se presenta de manera anhedral y se encuentra reemplazando a la pirita (Figura 3.8 B). En lámina pulida se pudo observar pequeños cristales de galena ocupando un porcentaje de aproximadamente 2%, la galena se presenta de manera anhedral, su textura es de sobrecrecimiento, y se encuentra asociada con minerales de ganga (Figura 3.8 B). El oro se presenta en granos de manera dispersa y se localiza dentro de la esfalerita y representa un porcentaje del 1% (Figura 3.8 D). La ganga es de cuarzo, ocupa un porcentaje del 10% y se encuentra asociado principalmente a esfalerita y galena.

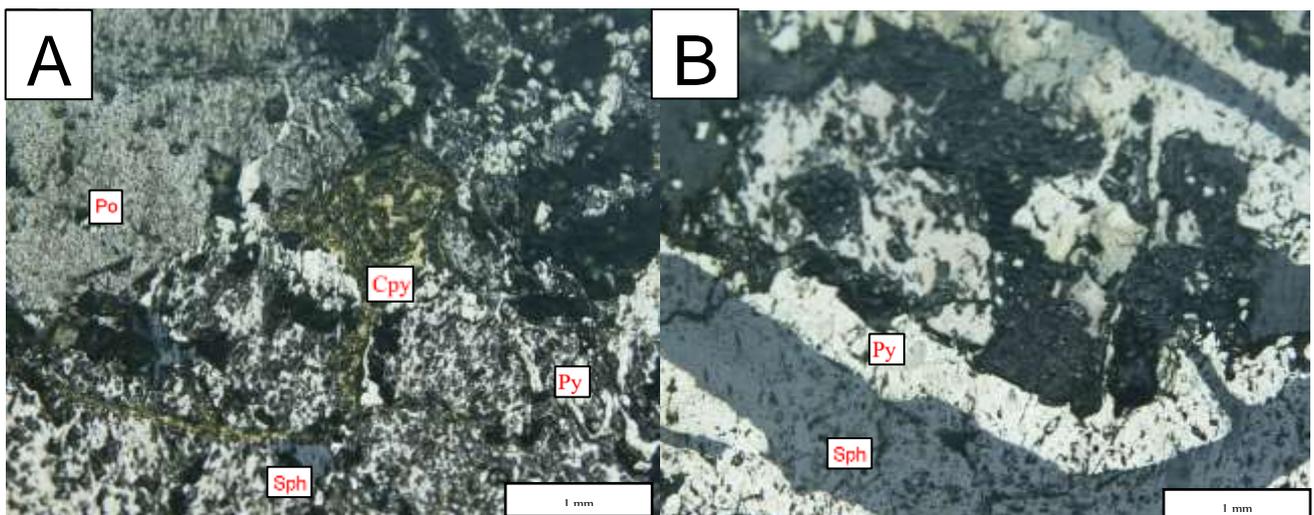


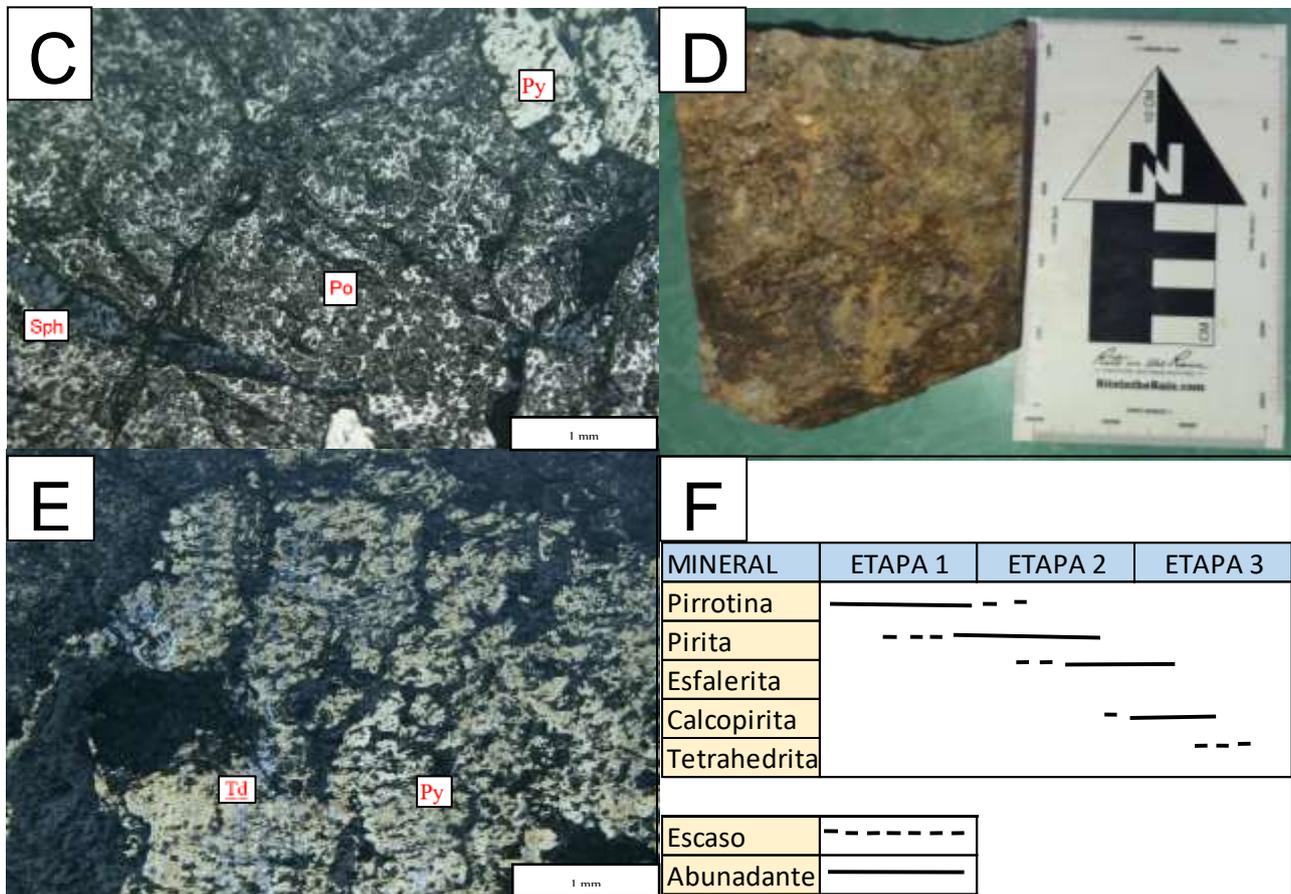
E			
MINERAL	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
Pirita	—————	---	
Esfalerita		-----	
Galena		---	
Calcopirita			-----
Oro			---
Escaso	-----		
Abundante	—————		

**Figura 3.8:** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Pirita rellenando entre granos de cuarzo B) Galena reemplazando a esfalerita, y calcopirita reemplazando a pirita C) Muestra de mano con esfalerita masiva D) Grano de oro entre la esfalerita E) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Cpy: Calcopirita, Gn: Galena, Au: Oro, Sph: Esfalerita.

### Muestra DH2

Macroscópicamente la muestra DH2 presenta una coloración amarillo verdoso, la textura de mineralización es en vetas, los minerales que se encuentran son: esfalerita, pirita, calcopirita, pirita, bornita, malaquita y cuarzo (Figura 3.9 D). Microscópicamente se puede observar de manera masiva la pirrotina la cual se presenta de forma anhedral con una abundancia de 35%, se encuentra de color marrón muy débil y está en equilibrio con pirita (Figura 3.9 A y C). La pirita se encuentra de manera anhedral, el contenido es de 30%, su textura es esquelética y se encuentra reemplazando por calcopirita (Figura 3.9 A y B). La esfalerita de color gris medio abarca un 20% en la lámina pulida, se presenta de forma alargada, se encuentra cortando a la pirita y en algunos casos rellenando fracturas en la pirrotina (Figura 3.9 A, B y C). La calcopirita se presenta en pequeñas cantidades con un 7%, posee una textura botroidal y se encuentra rellenando entre granos de pirita fracturada (Figura 3.9 A). La tetrahedrita se presenta de manera diseminada, con un contenido de 3%, se encuentra en forma anhedral y está reemplazando a pirita (Figura 3.9 E). La ganga ocupa un 5% de composición en la lámina pulida y es de cuarzo.



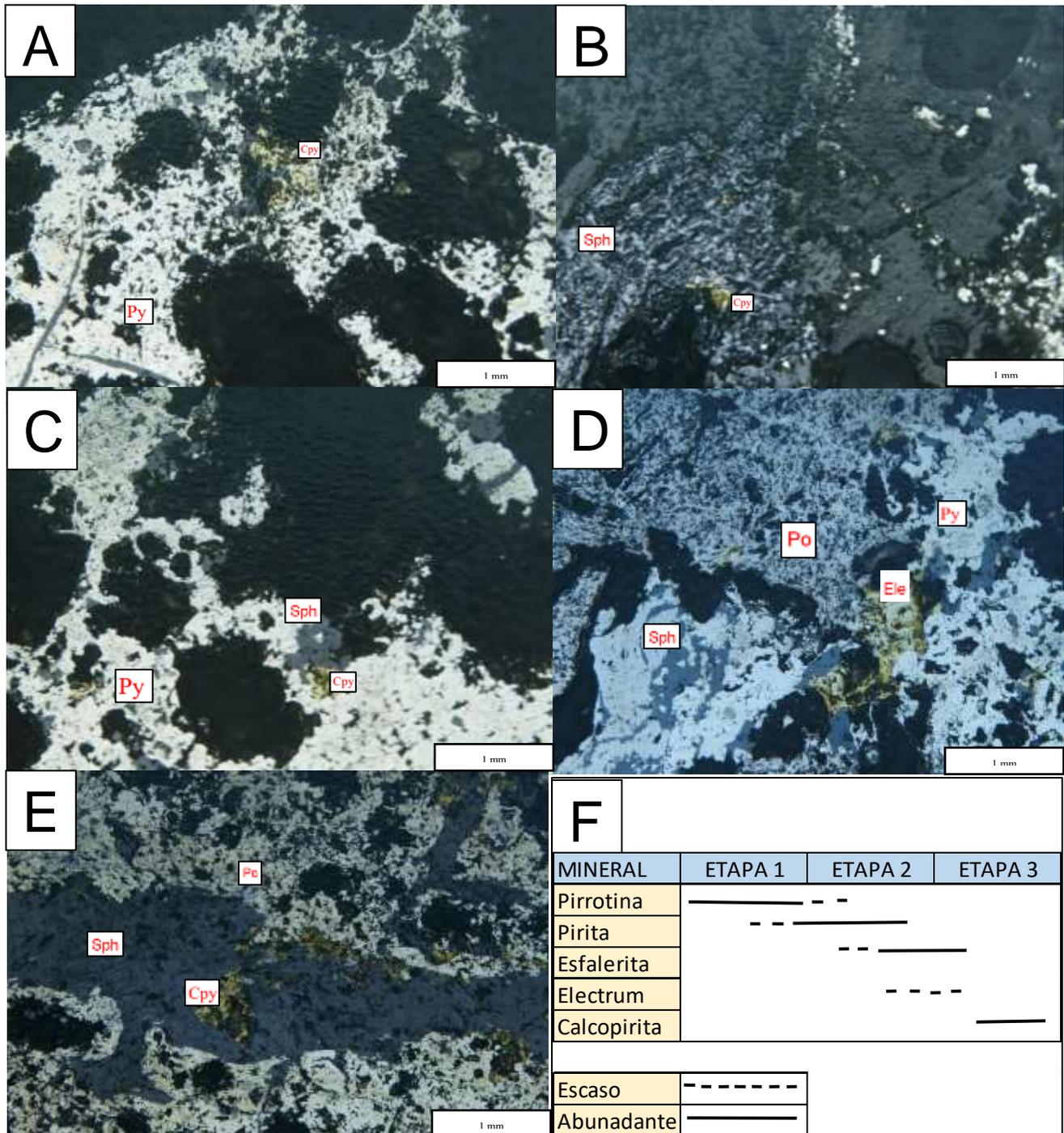


**Figura 3.9:** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita de forma botroidal y relleno de fracturas en pirrotina B) Esfalerita cortando a pirita C) Esfalerita reemplazando a pirrotina D) Muestra de mano con pirrotina y pirita E) Tetrahedrita reemplazando a pirita F) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Sph: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina, Td: Tetrahedrita, Qz: Cuarzo.

### Muestra DH3

La lámina pulida DH3 contiene pirita con un contenido del 40%, se presenta de manera anhedral, su textura es esquelética (Figura 3.10 C). La esfalerita con un contenido de 20% posee una textura coliforme, la cual reemplaza a pirita formando círculos entre estos minerales (Figura 3.10 A y B). La pirrotina con un contenido del 17% se presenta de manera euhedral, la pirrotina tiene una textura masiva microcristalina y bordea cristales de pirita y

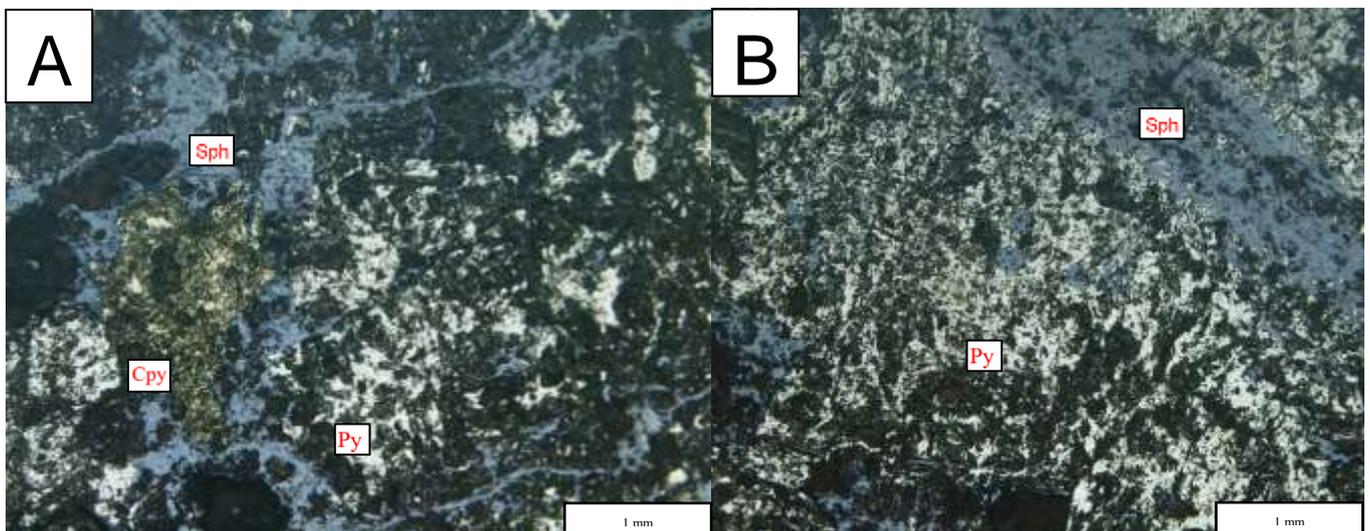
esfalerita (Figura 3.10 D). La calcopirita tiene un contenido del 11% en la lámina pulida, la calcopirita se presenta de manera anhedral, se encuentra remplazando a la esfalerita, pirrotina y pirita (Figura 3.10 F y B). Se observa electrum con un contenido de 2% y se encuentran dentro de la pirita (Figura 3.10 D y B). La ganga tiene un 10% de contenido en la lámina pulida y se encuentra caracterizada por cuarzo.

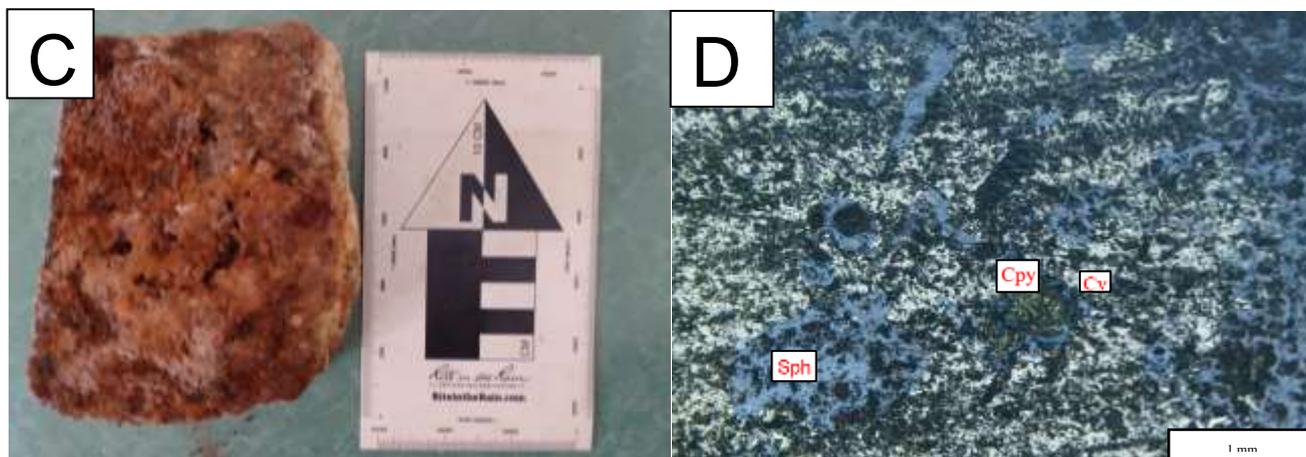


**Figura 3.10:** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Esfalerita reemplazando a pirita B) Calcopirita reemplazando a esfalerita C) Pirita con textura esquelética D) Pirita con textura coliforme reemplazada por esfalerita E) Vetilla de esfalerita cortando a pirrotina y reemplazada por calcopirita F) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Sph: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Ele: Electrum, Po: Pirrotina.

#### Muestra DH4

La muestra DH4 macroscópicamente posee un color café rojizo y tiene una textura en veta, se pueden observar minerales como calcopirita, pirita, pirrotina y ferrohídrita (Figura 3.11 C). Microscópicamente contiene una mayor proporción de pirita del 45% que se presenta de forma subeuhedral, tiene una textura esquelética y es reemplazado por esfalerita y calcopirita (Figura 3.11 A). La esfalerita con un contenido de 35% se presenta de manera anhedral, se encuentra reemplazando a la pirita, la esfalerita tiene una textura vetiforme (Figura 3.11 A y B). En menor cantidad se encuentra la calcopirita con un aproximado de 10%, tiene una textura botroidal, se encuentra reemplazando a la esfalerita (Figura 3.11 A). La covelina está presente con un 2%, se encuentra reemplazando como una corona en la calcopirita (Figura 3.11 D). La ganga es de cuarzo y tiene un contenido de 8% en la lámina pulida.





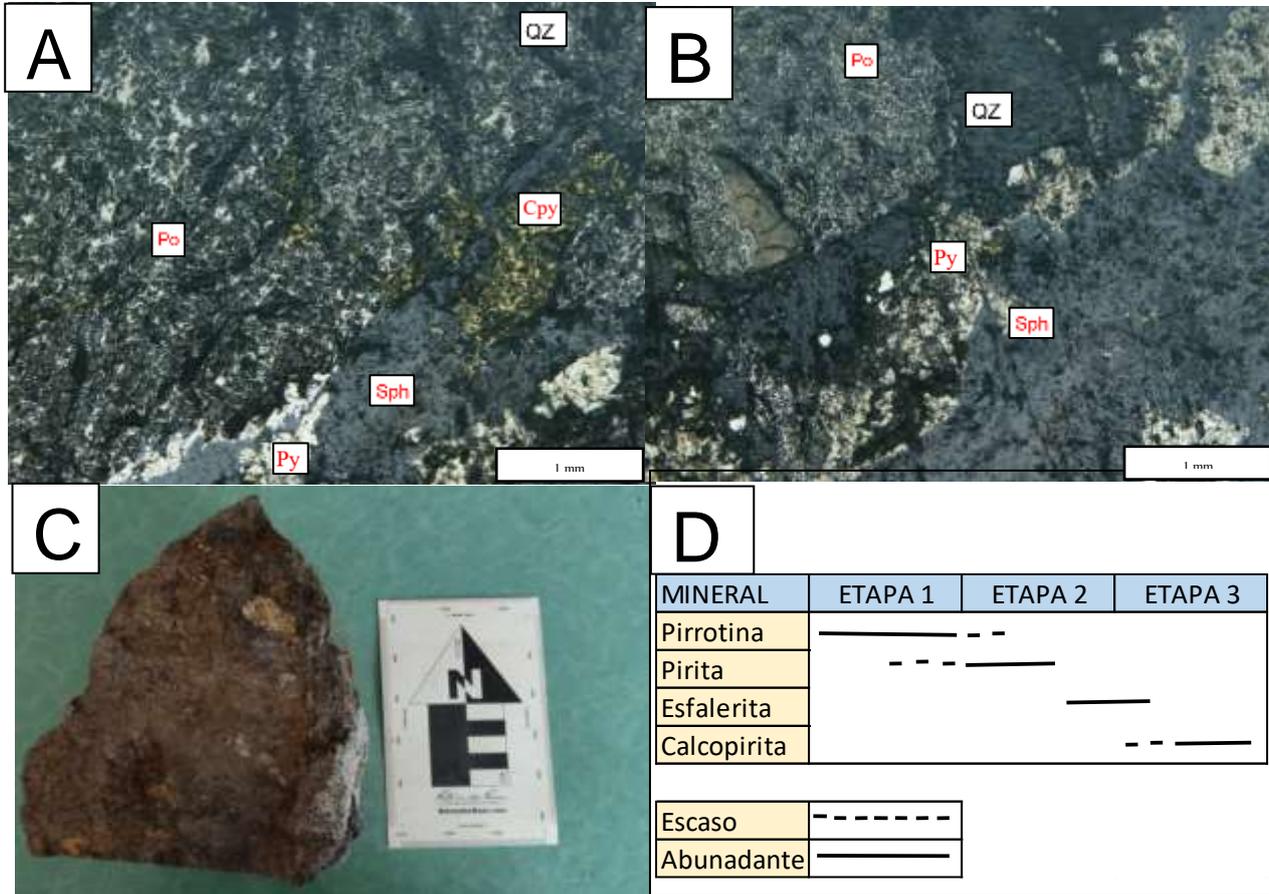
E			
MINERAL	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
Pirita	—————		
Esfalerita	- - - - -		
Calcopirita	- - - - -		
Covelina	- - - - -		
Escaso	- - - - -		
Abunadante	—————		

**Figura 3.11:** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita reemplazando a la esfalerita y la esfalerita reemplaza a la pirita B) Esfalerita reemplazando a la pirita C) Muestra de mano con pirita D) Calcopirita con corona de covelina E) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Sph: Esfalerita, Cv: Covelina, Cpy: Calcopirita.

### Muestra DH5

La muestra DH5 macroscópicamente presenta un color negro verdusco, y su textura en veta, se observa esfalerita, calcopirita, pirita, pirrotina y malaquita (Figura 3.12 C). Microscópicamente contiene pirrotina masiva (35%), la pirrotina tiene una textura masiva (Figura 3.12 A y B). La pirita tiene un contenido del 30%, presenta una textura esquelética y se encuentra reemplazada por esfalerita (Figura 3.12 A). La esfalerita se presenta de manera anhedral tiene un contenido del 20%, su textura es vetiforme, la esfalerita corta a la pirrotina y reemplazan a la pirita (Figura 3.12 C). La calcopirita tiene un contenido de 10%,

tiene una textura botroidal y un hábito anhedral, la calcopirita reemplaza a la esfalerita y pirrotina (Figura 3.12 A). La ganga es de cuarzo con un 5%.

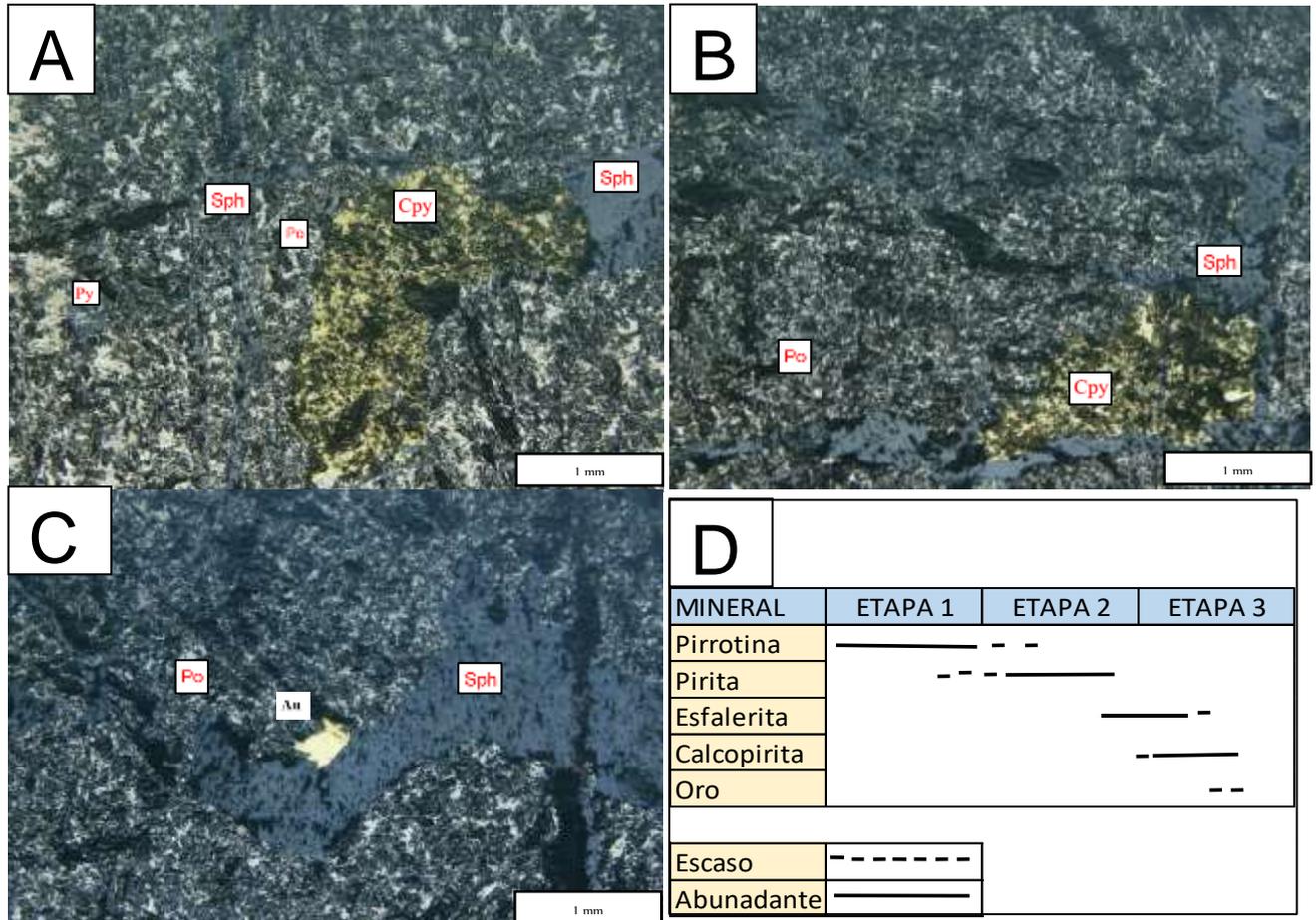


**Figura 3.12** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita reemplazando a esfalerita, esfalerita reemplazando a pirita y pirrotina masiva B) Esfalerita reemplazando a la pirita y cortando a pirrotina C) Muestra de mano con vetas de esfalerita y pirrotina diseminada D) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Sph: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina, Qz: Cuarzo.

### Muestra DH6

La muestra DH6 microscópicamente contiene pirrotina microcristalina de forma masiva, aproximadamente con un contenido de 40% (Figura 3.13 B). La esfalerita con un 30%, se encuentra de manera anhedral, la esfalerita se encuentra cortando y rellenando espacios entre granos de pirrotina (Figura 3.13 B). La pirita se presenta de manera anhedral tiene un contenido de 20%, tiene una textura semi masiva y se encuentra en equilibrio con pirrotina. La calcopirita tiene un contenido de 9%, la forma es anhedral, su textura es botroidal y se

encuentra reemplazando a la pirrotina (Figura 3.13 A). El oro se encuentra en granos dentro de la esfalerita y su porcentaje es del 1% (Figura 3.13 C).



**Figura 3.13:** Imágenes de microscopio con luz reflejada. A) Calcopirita reemplazando a la pirita y pirrotina B) Esfalerita cortando a pirrotina C) Oro dentro de esfalerita D) Paragénesis mineral. Py: Pirita, Sph: Esfalerita, Cpy: Calcopirita, Po: Pirrotina.

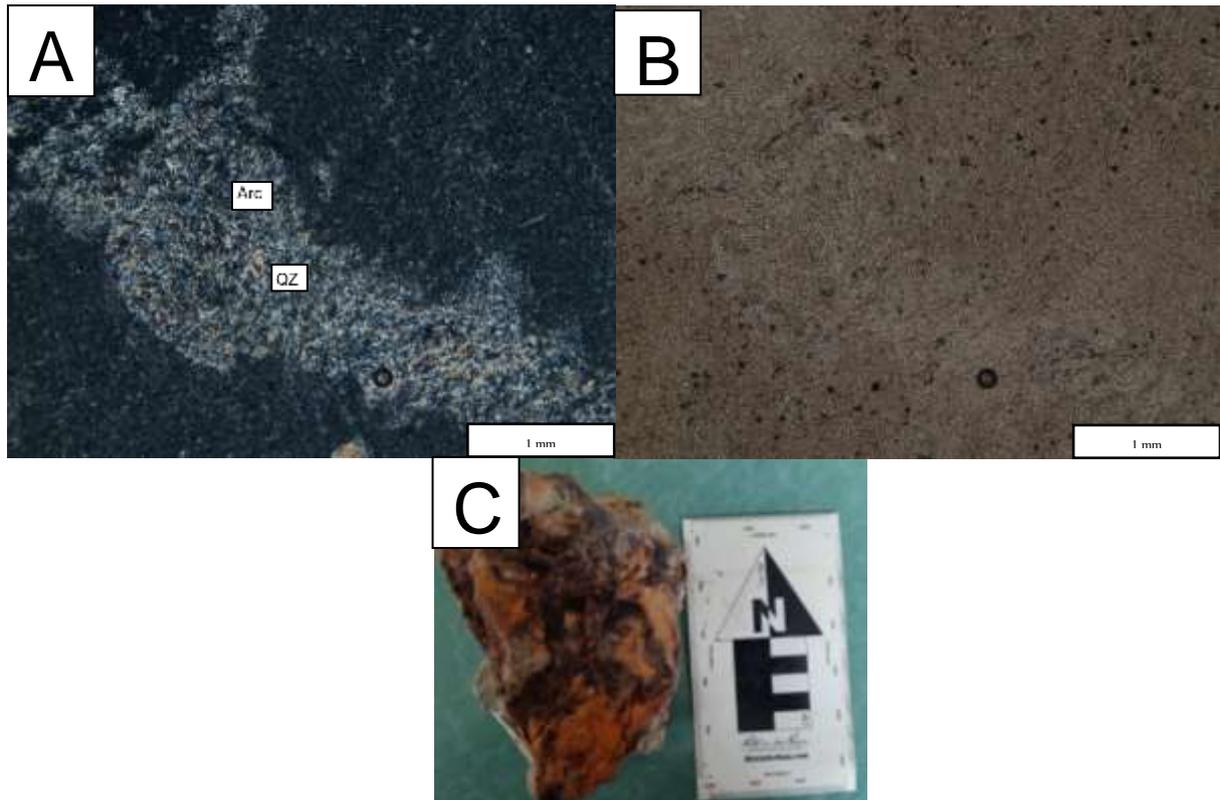
Para más información de la descripción de las rocas de mena revisar el Anexo I.

### 3.3.2.2. Minerales de roca de caja

#### Muestra LT1

La muestra de mano presenta un color amarillo ocre, posee una textura afanítica (Figura 3.14 C), microscópicamente tiene una textura eutaxítica, lo más abundante es el vidrio en un 80 %, el cuarzo posee un hábito anhédrico se encuentra presente en un 5 %, la arcilla es el

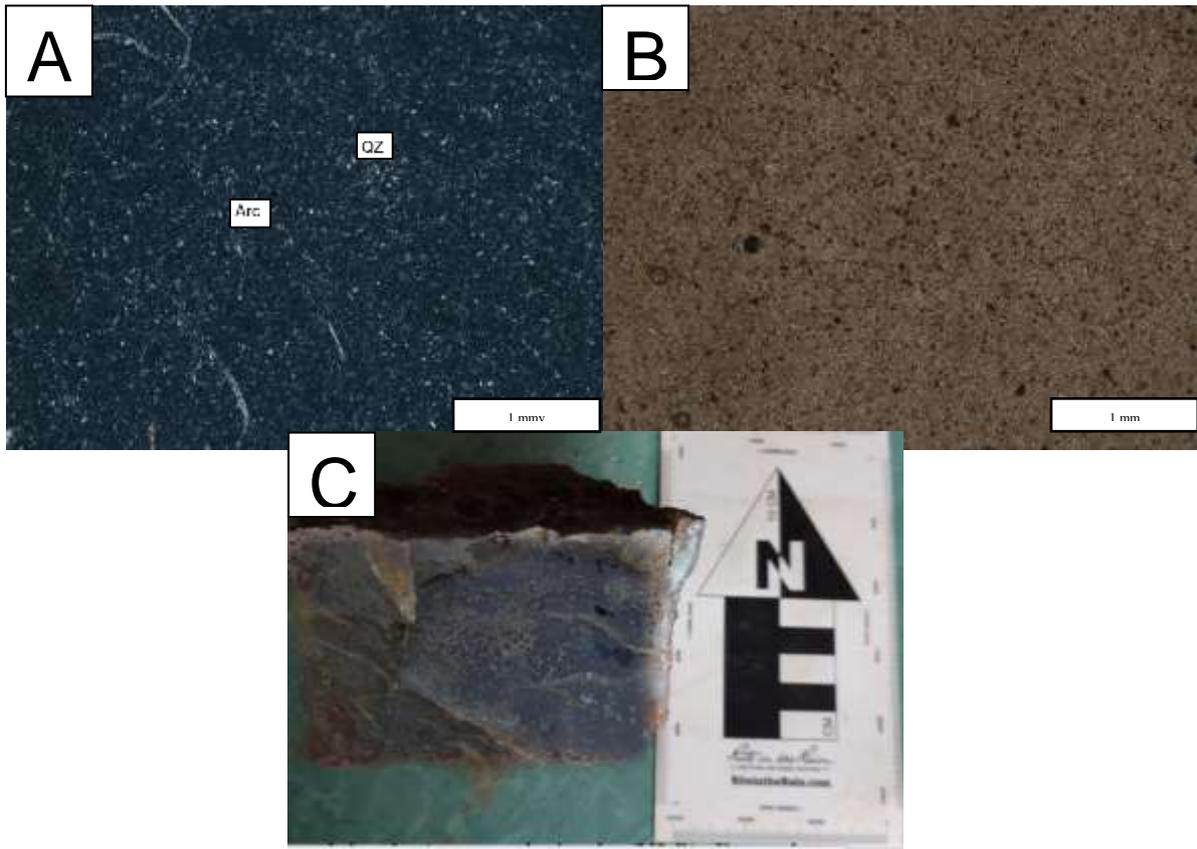
segundo mineral más abundante con un 15 % debido a la meteorización de la roca, forma pequeñas vetillas < 0.1 mm de líticos, la roca es una toba lítica de cuarzo.



**Figura 3.14:** Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Cuarzo en vetilla de vidrio B) Con luz natural (XLP) se observa la vetilla de cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas.

### Muestra LT2

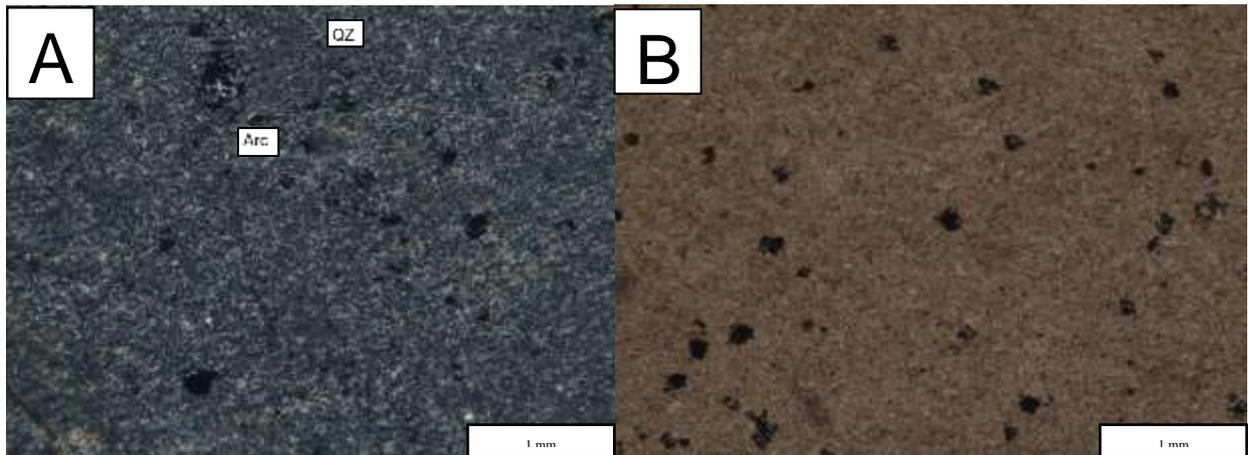
La muestra de mano tiene color negro, su textura es afanítica, presenta arcillas por su meteorización y líticos de cuarzos menores a 1 mm (Figura 3.15 C), en lámina delgada posee una textura pilotaxica (Figura 3.15 A). Lo más abundante que se encuentra en lámina delgada es el vidrio en un 90 %, contiene un 5 % de líticos de cuarzo, la arcilla tiene un contenido de 5 % debido a la meteorización de la roca, los líticos de cuarzo forman hábitos alargados. La roca es una toba lítica de cuarzo.



**Figura 3.15** Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo en una matriz de vidrio B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas.

### Muestra LT3

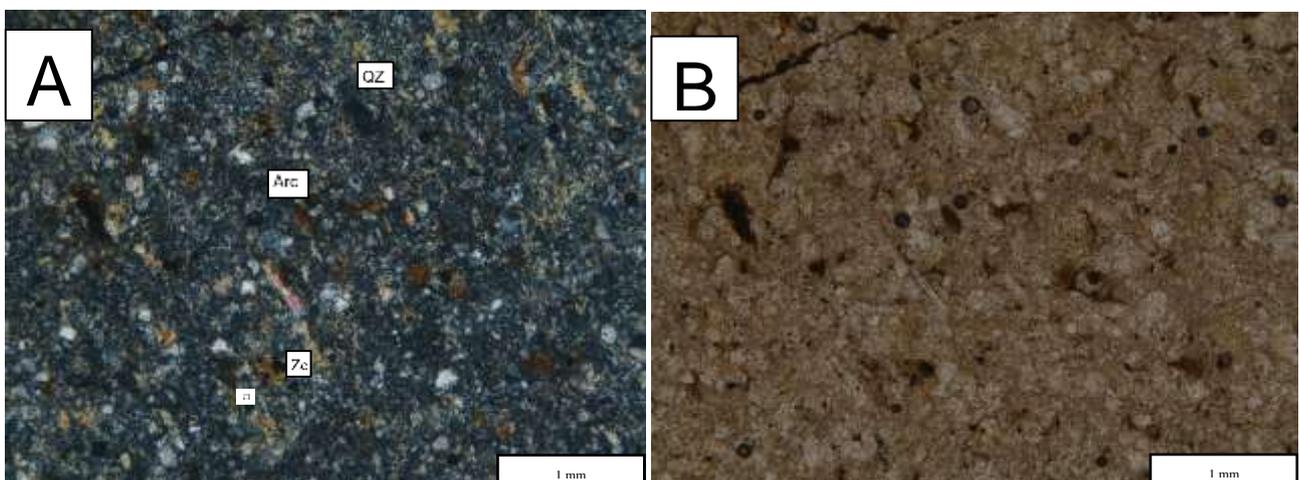
Microscópicamente en la lámina delgada se observa el vidrio con un contenido del 75% el cual rodea a los cristales de cuarzo y arcilla. El cuarzo en la lámina delgada tiene un 5%, presenta formas subredondeadas, las arcillas tienen un porcentaje del 20% están presentes por la meteorización a la que ha sido expuesta la roca (Figura 3.16A), microscópicamente la roca tiene una textura pilotáctica. La roca es una toba lítica de cuarzo.

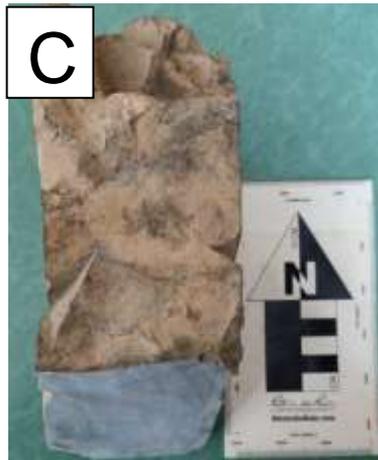


**Figura 3.16** Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo y arcillas B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de baja birrefringencia. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas.

#### **Muestra LT4**

La muestra macroscópicamente presenta un color azul claro, posee una textura afanítica (Figura 3.17C). Microscópicamente se observa el vidrio que rodea a cristales de cuarzo, el cuarzo tiene formas subredondeadas aproximadamente de 0.2 mm y presenta un contenido de 25%, la roca se encuentra alterada a minerales de arcillas 10%, clorita 2% y zeolitas 3%. Contiene arcillas y clorita debido a la meteorización que son identificables en la lámina delgada (Figura 3.17A), microscópicamente la roca tiene una textura eutaxítica. La roca es una toba lítica de cuarzo.





**Figura 3.17** Imágenes de microscopio con luz transmitida. A) Con polarizador (XLP) Líticos de cuarzo, arcillas, zeolitas B) Con luz natural (XLP) se observa el cuarzo de bajo relieve C) Muestra de mano. Qz: Cuarzo, Arc: Arcillas, Cl: Clorita, Ze: Zeolitas.

Para más información de la descripción de las rocas de caja revisar el ANEXO II.

## CAPITULO 4

### 4. CÁLCULO DE RESERVAS Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS

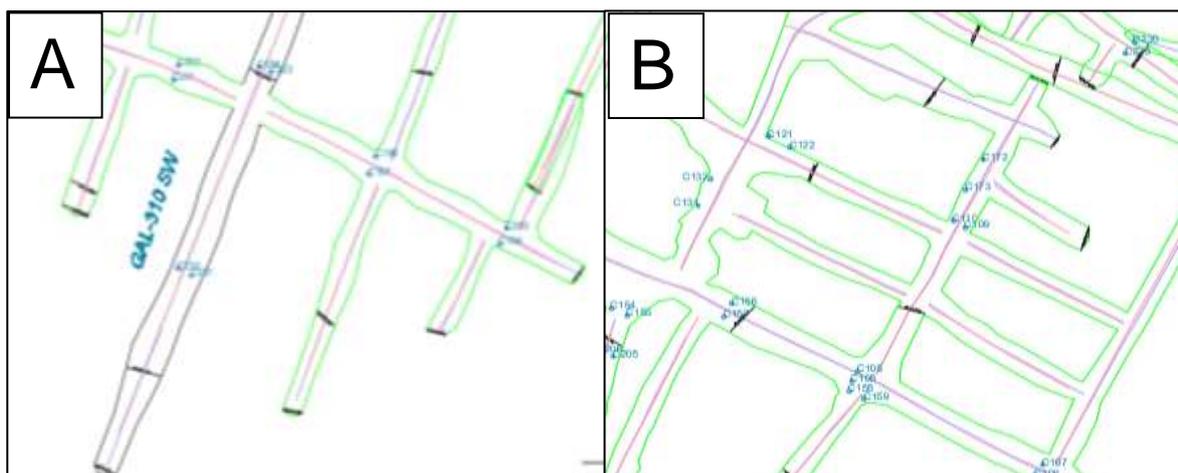
Para la estimación de recursos y reservas existen varios métodos los cuales han ido evolucionando a través del tiempo, cada método depende de la forma, dimensión y complejidad del yacimiento, así como también de la cantidad de muestras tomados del mismo (Haldar, S. K., 2018). En este trabajo para la estimación de recursos y reservas se utilizaron los métodos convencional y geoestadístico que se describieron en el primer capítulo.

#### 4.1. Criterio para la clasificación de recursos y reservas minerales

Para esta investigación se utilizó la clasificación de JORC que se resumió en el capítulo uno, en esta clasificación utilizaremos los siguientes parámetros que son sondajes, muestreo y labores mineras para la clasificación de recursos y reservas minerales.

**Sondajes.** – Tomaremos los sondajes que se encuentren en un área determinada y definiremos que tan representativa es la información que se tiene en el área que se encuentra el sondaje.

**Labores mineras.** – La exploración con labores mineras se las realiza siguiendo la estructura mineralizada por lo tanto se apertura de galerías (Figura 4.1 A) y se definen con estas labores las zonas de explotación (Figura 4.1 B).



*Figura 4.1: A) Galerías de exploración, B) Formación de bloques para su explotación.*



**Tabla 4.1:** Clasificación de recursos y reservas en base a parámetros geológicos en el proyecto minero Colibrí.

	Sondajes	Labores Mineras	Muestreo
<b>Recursos</b>			
<b>Indicado</b>	Existe por lo menos un sondaje dentro de un área determinada (7,4 KM <sup>2</sup> ).	No existe todavía.	Muestras tomadas del sondaje.
<b>Medido</b>	Existe al menos un sondaje dentro de un área determinada (2,8 KM <sup>2</sup> ).	No existe todavía.	Muestras tomadas del sondaje.
<b>Reservas</b>			
<b>Probable</b>	Puede tener un sondaje dentro del área de exploración de labores mineras (Aprox. 100 m <sup>2</sup> ).	Existen galerías o frentes de exploración.	Muestras tomadas en las paredes de los frentes o galerías de exploración.
<b>Probado</b>	Puede tener un sondaje dentro del área de exploración de labores mineras (Aprox. 50 m <sup>2</sup> ).	Las galerías de avance han definido un bloque.	Muestras tomadas en todos los frentes de los bloques.

Los límites del Cutoff pueden cambiar dependiendo de los siguientes factores: cambio en la complejidad de la estructura mineral, cambio en la extracción y producción de mena, recuperación metalúrgica, costo de producción, impuestos, regalías al estado y precios en el mercado del metal que se cotice (Haldar, S. K., 2018).

Para el proyecto colibrí se calcula el valor de extracción para un día operativo en mina por lo cual dividiremos en dos tablas con los siguientes parámetros.

En la tabla 4.2 se calcula el costo de los trabajos del desarrollo de la mina, estos trabajos son: apertura de laterales, galerías y bloques de explotación. En esta tabla se tiene como resultado en total de gastos de las operaciones mineras.

**Tabla 4.2:** Cálculo de gastos para el desarrollo de labores de la mina por tonelada de material.

	Personal	Energía	Cimbras metálicas	Madera	Impuesto	Planta Beneficio	Total
<b>Explotación</b>	375\$	23.62\$		231\$	1.48\$	99.22 \$	730.32\$
<b>Laterales</b>	58\$	23.62\$		150\$	1.48\$	99.22 \$	332.32\$
<b>Galerías</b>	208\$	23.62\$	160\$	202.5\$	1.48\$	99.22 \$	694.82\$

### Cálculo del cutoff

En la tabla 4.3 se calcula el total de costos de las operaciones mineras la expresaremos en gramos de oro para determinar el cutoff.

$$Cutoff = \frac{\text{Costo total de las operaciones mineras}}{\text{Precio del gramo de oro en el mercado}}$$

**Tabla 4.3:** Gramos de oro calculado para cada operación minera.

	Precio del gramo de oro en el mercado	Costo de operaciones	Gramos de oro
<b>Explotación</b>	48.13 \$	730.32\$	15.17 gr/Tn
<b>Laterales</b>	48.13 \$	332.32\$	6.9 gr/Tn
<b>Galerías</b>	48.13 \$	694.82\$	14.3 gr/Tn

**Tabla 4.4:** Promedio general del cutoff para la exploración de galerías, laterales y explotación

Desarrollo de Labores	Gramos de oro por tonelada
<b>Galerías</b>	14.3 gr/Tn
<b>Laterales</b>	6.9 gr/Tn
<b>Explotación</b>	15.17 gr/Tn
<b>Promedio</b>	12.12 gr/Tn

Para esta clasificación utilizamos el cutoff calculado anteriormente, debido a que calculamos la inversión real de la mina para los diferentes frentes de exploración y explotación. Para el cutoff obtenido con el promedio general se tiene que la ley de corte es de 12 gr/Tn, pero se debe obtener una ganancia de por lo menos la mitad de la inversión, por lo tanto, la ley de corte o cutoff es de 20 gr/Tn.

### **Clasificación de reservas económicas.**

En esta clasificación describiremos el rango de ley de oro con la que se definirá cada bloque mineral de acuerdo al cutoff calculado anteriormente.

#### **Reserva Alta ley.**

En este campo entra el mineral de alta ley el cual posee una ley diluida superior a 20 gr/Tn que es la ley de corte calculada, se lo representara con un color magenta en los mapas, esta reserva es la más importante ya que nos ayuda a extender la vida útil de la mina.

#### **Reserva Marginal.**

En este campo entra el mineral de ley media el cual posee una ley diluida superior a 12 gr/Tn y menor a 20 gr/Tn, estos bloques son rentables siempre y cuando se los utilice como dilución, se representa con el color rojo.

#### **Reserva Sub-Marginal.**

En este campo entra el mineral de ley media el cual posee una ley diluida superior a 7 gr/Tn y menor a 12 gr/Tn, estos bloques son rentables siempre y cuando se los utilice como dilución y depende del precio del oro, es representado con el color naranja.

#### **Reserva de baja ley.**

Este mineral es aquel que no genera rentabilidad debido a que su ley es menor a 7 gr/t, así como también sus costos operativos son muy elevados incluso para utilizarlos como dilución, los bloques seguirán en espera de explotación por diferentes cambios que puedan existir tanto en producción y operatividades, en los mapas se lo representado con el color verde.

#### **Explotado.**

Existe algunos bloques los cuales se han extraídos, estos bloques explotados se determinaron cuidadosamente por su tonelaje o cantidad de oro que se pueden obtener, por lo tanto, la extracción de estos bloques es necesarios para cumplir el tonelaje necesario para la planta de beneficio y obtener rentabilidad para el desarrollo de la mina (Figura 4.6).

**Tabla 4.5:** Clasificación de reservas minerales de acuerdo al cutoff.

Clasificación	Ley dada por el cutoff	Descripción
Baja ley	0-7	Se lo considera baja ley debido a que es menor al cutoff promedio calculado.
Sub-Marginal	7-12	Se lo considera sub-marginal debido al límite del cutoff puede ser considerado para dilución
Marginal	12-20	Se lo considera marginal debido a la ley que posee y se lo utiliza para dilución.
Alta ley	>20	Se lo considera alta ley por tener mayor ley del cutoff calculado.

#### **4.2. Método de sección longitudinal vertical**

Para clasificar los recursos y reservas minerales del proyecto Colibrí utilizando el código JORC, mediante el método convencional de sección longitudinal vertical, se necesita los siguientes datos como son topografía, sondajes y muestreo.

El método de sección longitudinal vertical consiste en la creación de una sección longitudinal vertical, sin embargo, para este estudio y cálculo de reservas haremos una modificación en la cual la sección será una vista en planta debido a la naturaleza de la estructura mineralizada. Con este método se pretende calcular las reservas probadas y probables gracias a la información que se tiene, las labores mineras han delimitado y descubierto la estructura mineralizada y los muestreos han definido la concentración de oro, por lo tanto, se tiene una mayor certeza de la cantidad y calidad de la estructura mineralizada.

A continuación, se describe los puntos más importantes que se realizaron para la clasificación de reservas minerales por este método.

**Topografía.** - La sección que se crea debe orientarnos en espacio, por lo que, el levantamiento topográfico genera un mapa que plasma la realidad de las labores mineras en información digital en el programa de AutoCAD, con esta información podemos delimitar bloques para la explotación y labores de exploración.

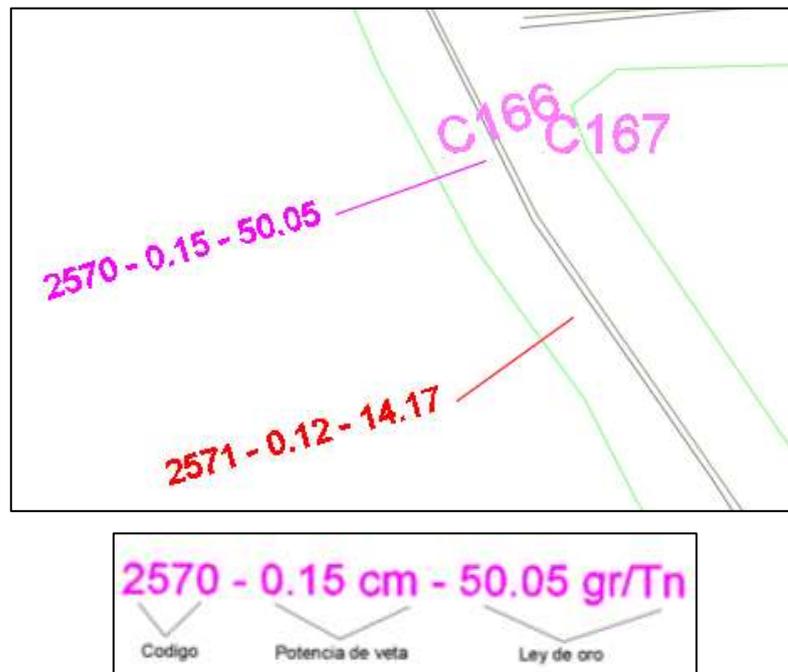
**Sondajes.** - La sección tendrá los sondajes que se han realizado para determinar la estructura mineralizada y obtener información como potencia y ley de oro en la extensión de la

estructura mineralizada. Además, se puede definir las zonas con mayor densidad de sondajes en un área determinada para clasificar las reservas minerales.

**Muestreo.** - El muestreo es utilizado para determinar la cantidad de oro y delimitar la potencia que posee la estructura mineralizada, el análisis de muestras ayuda a determinar el grado mineral y potencia mediante bloques para su clasificación mineral, el muestreo también sirve para desarrollar nuevos frentes de exploración.

- **Base de Datos**

Lo que se necesita en la base de datos son la codificación de cada muestra, así como también la ubicación de cada una, la potencia de la estructura mineralizada y su contenido de oro. La ubicación de cada una de las muestras se las georreferencia en el programa AutoCAD dónde se tiene la ubicación exacta de la muestra tomada (ver Figura 4.3).



**Figura 4.3:** Ubicación de muestras en labores en interior de mina y codificación de las mismas.

- **Ubicación de muestras**

Las muestras tomadas en toda la mina se ubican en el mapa topográfico para clasificar las diferentes zonas mineralizadas, existen lugares donde no se han tomado muestras debido a que son labores realizadas para facilidades que son de ventilación y transporte de agua (ver Figura 4.4).



*Figura 4.4* Vista en planta de la ubicación de muestras utilizadas para este trabajo (2700 muestras).

- **Estimación del grado mineral**

La estimación del grado es un análisis matemático cuantitativo de los datos de ley de oro que se utilizan para la estimación de recursos y reservas minerales. Para determinar el grado de un yacimiento o porción del mismo se requiere un promedio de los datos de ley obtenidos de las muestras tomadas. Para la determinación del grado se utiliza la técnica de ponderación y estadística (Bustillos, 2018).

- **Cubicación de bloques**

Para la cubicación uniremos todos los parámetros antes obtenidos que son el mapa topográfico, leyes de muestreos y sondajes, también se debe determinar cómo se calcula el área real de la estructura mineralizada y como obtenemos su tonelaje.

Para el cálculo del área real utilizamos la ecuación dada.

$$AREAL = \frac{A \times L}{\sin \theta}$$

Donde

A= ancho.

L= largo.

$\sin \theta$  = ángulo de buzamiento de la veta.

Para el cálculo del tonelaje utilizamos la ecuación dada.

$$AREAL \times H \times D = T$$

Donde

AREAL= área del bloque

H= la altura o ancho de la veta venado

D= densidad de la veta

T= toneladas

Todos los cálculos se han realizado para cada bloque de la mina utilizando todas las fórmulas que se han descrito anteriormente (ver Anexo III), cada bloque consta con tonelaje, promedio de ancho de la veta y su ley ponderada (ver Figura 4.6).

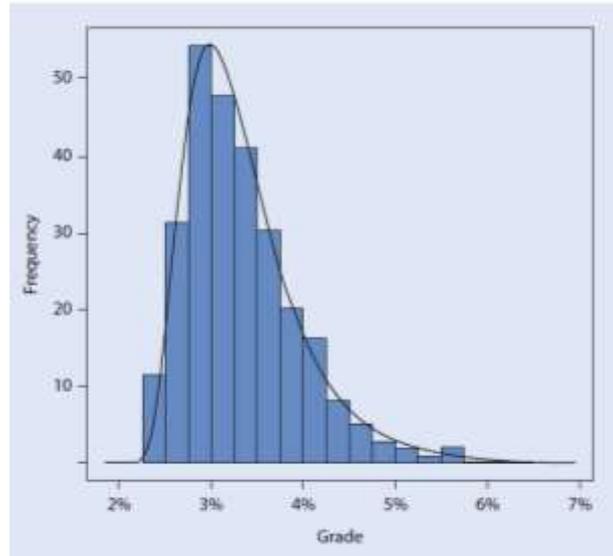
### **Técnica de ponderación**

Para la obtención de la ley ponderada utilizaremos la siguiente ecuación.

$$\text{Ley Ponderada} = \frac{\sum(\text{tonelaje} \times \text{leyes})}{\sum \text{tonelaje}}$$

### Técnica estadística.

Para la obtención de los castigos erráticos buscaremos las muestras que no tengan una distribución normal, estas muestras se reemplazaran con el valor ponderado (Bustillos, 2018).



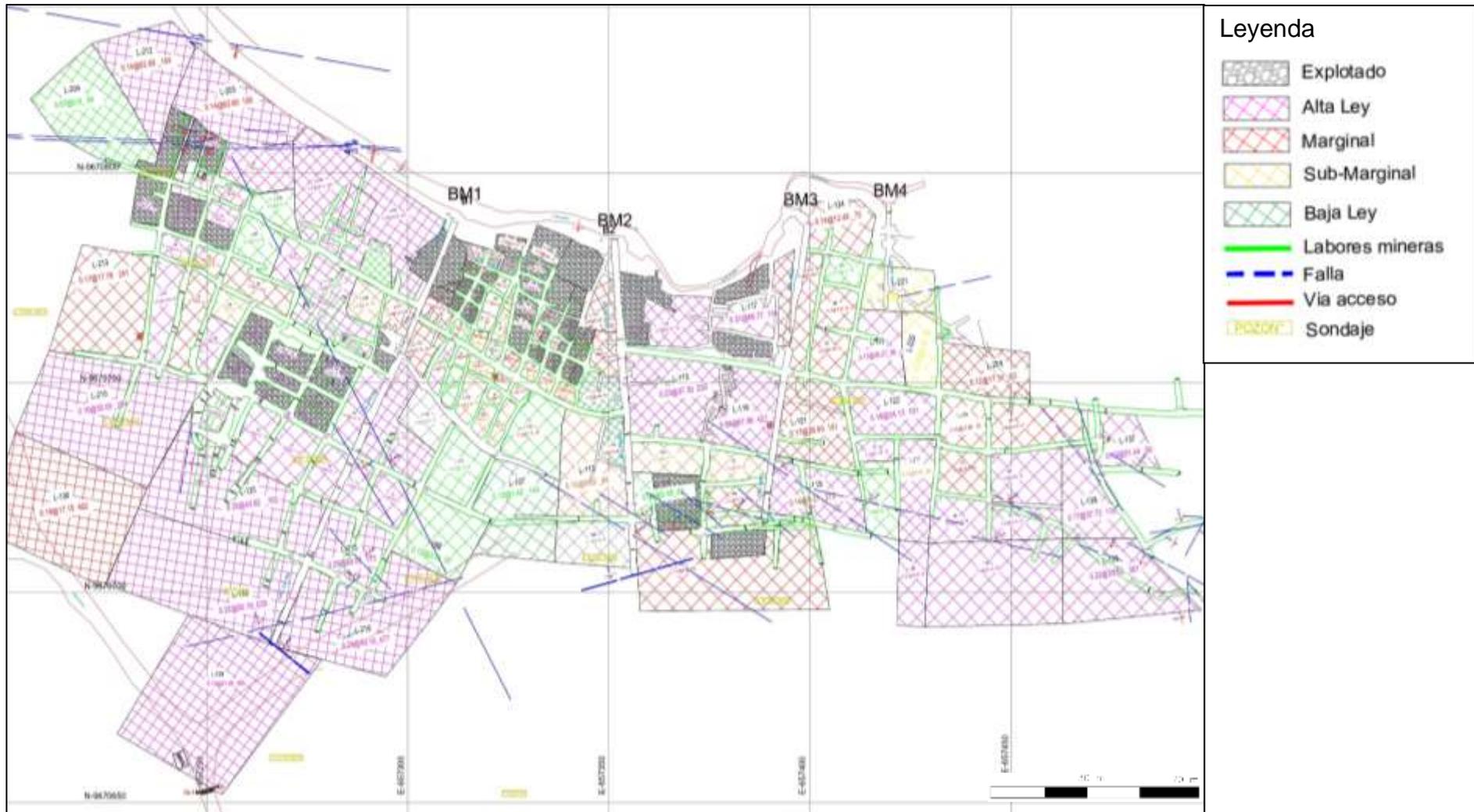
**Figura 4.5:** Distribución logarítmica normal (Bustillos, 2018)

Para su corrección realizaremos un intercambio de valores de la ley ponderada con las muestras que están fuera de la distribución normal como se muestra en la tabla 4.6, se tomara un porcentaje del 5% de las muestras que estén fuera de la distribución normal para intercambiar con la ley ponderada.

**Tabla 4.6** Ponderación de leyes.

Ley_Block_107			Castigo_altos erraticos		
Nro Muestra	Ancho en metros	Oro en gramos por tonelada	Nro Muestra	Ancho en metros	Oro en gramos por tonelada
LT-853	0.10	2.05	LT-853	0.10	2.05
LT-882	0.05	0.63	LT-882	0.05	0.63
LT-885	0.05	1.65	LT-885	0.05	1.65
LT-891	0.05	1.33	LT-891	0.05	1.33
LT-894	0.15	15.90	LT-894	0.15	3.21
LT-914	0.07	2.81	LT-914	0.07	2.81
LT-917	0.09	4.09	LT-917	0.09	4.09
LTE-01-2020	0.50	0.14	LTE-01-2020	0.50	0.14
Promedio	0.13	3.21	Promedio	0.13	1.42

Ley ponderada →



*Figura 4.6* Cubicación de bloques clasificados como Reservas de Alta ley, Marginal, Sub-marginal y Baja ley del proyecto Colibrí.

### 4.3. Método Geoestadístico

Para la estimación de recursos minerales en esta investigación se utilizará el software minero Datamine Studio RM. La historia del software Datamine Studio RM se remonta a los años de 1981 donde se creó la empresa Datamine con la misión de revolucionar la minería con herramientas de modelamiento geológico, estimación de recursos y planeamiento de mina (Tomado de: <https://n9.cl/nmqwjz>).

Para el cálculo de recursos se empleó el método geoestadístico, debido a que los sondajes que se distribuyen en diferentes zonas de la estructura mineralizada tienen una parte de la información geológica, la interpretación de la estructura mineralizada permite que el software Datamine Studio Rm, calcule los recursos que se encuentran alojados en las interpolaciones de los sondajes de diamantina, por lo tanto, se usa este método para el cálculo de recursos medidos e indicados.

- **Base de Datos**

Para la creación de la base de datos en el programa Datamine Studio Rm se necesita importar los sondajes (16) y los muestreos geológicos (2700 aproximadamente) realizados en el interior de las galerías y labores de exploración de la estructura mineralizada.

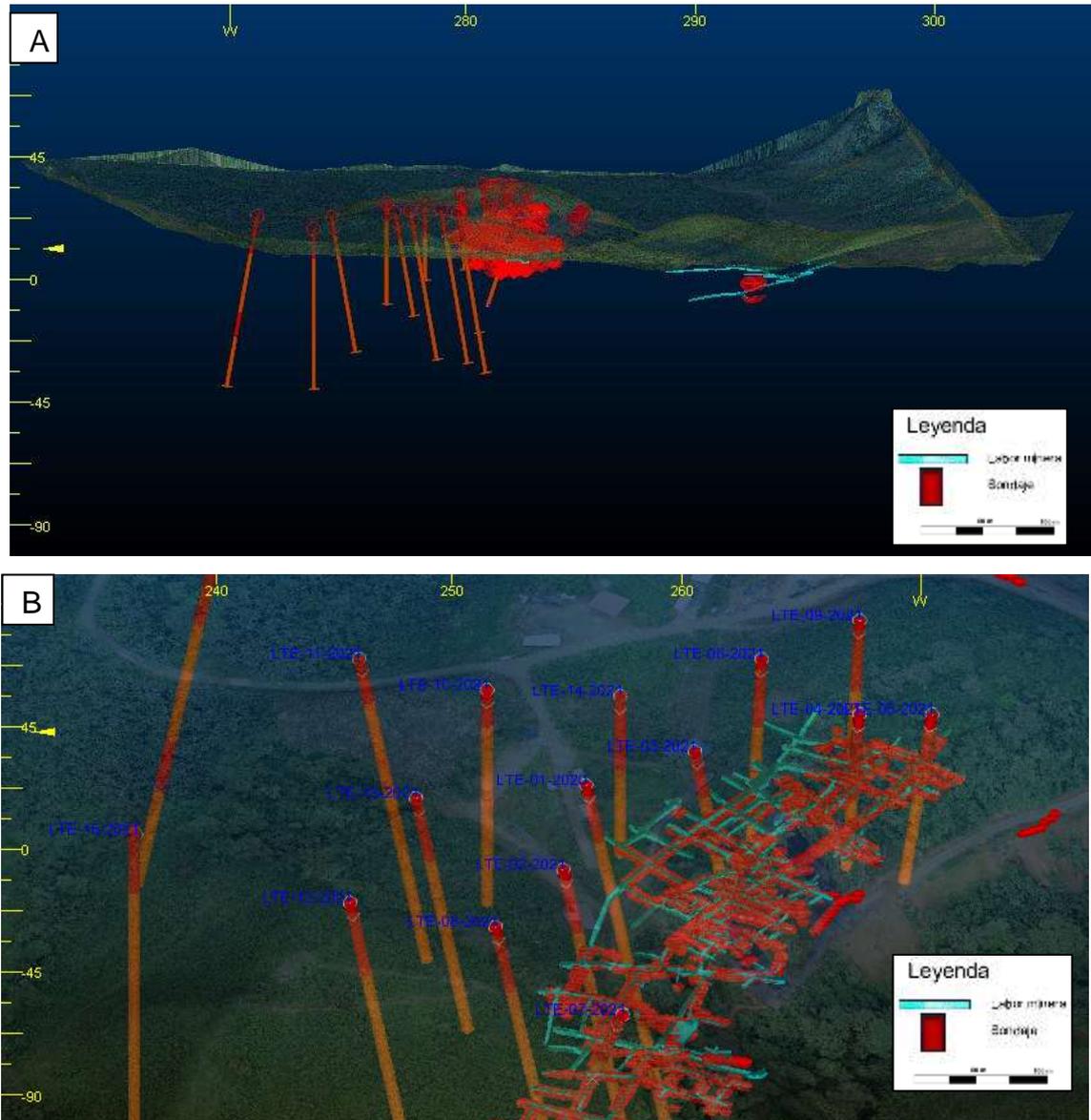
**Collar.** – La información que se necesita aquí son las coordenadas exactas de cada sondaje; así como también, las longitudes de cada uno de estos, los cuales han sido levantadas topográficamente. Estos datos tienen una codificación de cada sondaje y muestras tomadas en un archivo de Excel que deberá guardarse como un archivo .csv (Anexo IV).

**Survey.** – La información que se necesita aquí son las distancias de los sondajes, así como también su inclinación y buzamiento, esta tabla al igual que la anterior debe hacerse en Excel que deberá guardarse como un archivo .csv (Anexo IV).

**Assay.** – La información en esta tabla son las distancias del muestreo realizado en cada sondaje, por lo que, en cada zona de interés geológico en el sondaje se tomará la muestra con la longitud que tenga esta porción, lo más importante en esta tabla son las leyes de oro que se obtienen del laboratorio. Esta tabla al igual que la anterior debe hacerse en Excel que deberá guardarse como un archivo .csv (Anexo IV).

**Lithology.** – La información en esta tabla son las distancias y el tipo de litologías en cada sondaje que se obtiene del logueo, esta tabla debe hacerse en Excel y guardarse como un archivo .csv (Anexo IV).

Las muestras, sondajes y topografía se cargaron al software Datamine Studio RM (ver Figura 4.7), el procedimiento realizado para digitalizar y cargar toda la información en el software Datamine se presenta en el Anexo V.

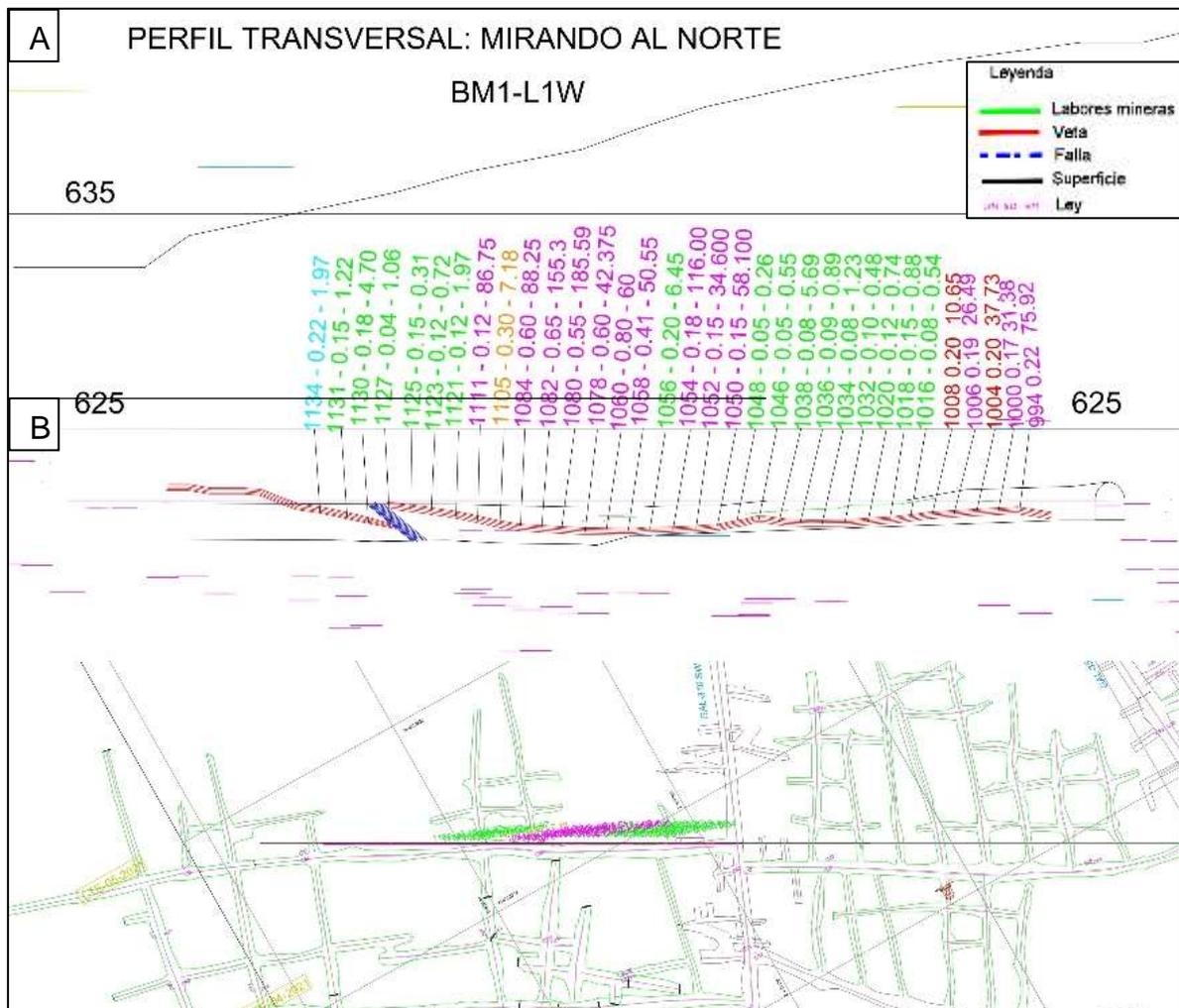


*Figura 4.7: A) Visualización de sondajes, B) topografía de superficie e interior de mina.*

- **Modelamiento Explícito de Litologías**

El modelamiento explícito de litologías es la creación de un sólido en 3 dimensiones el cual será inferido e interpretado por el geólogo modelador en base a mapeos y secciones geológicas de los sondajes realizados por el equipo de geología del proyecto (Figura 4.10 A y Anexo VI).

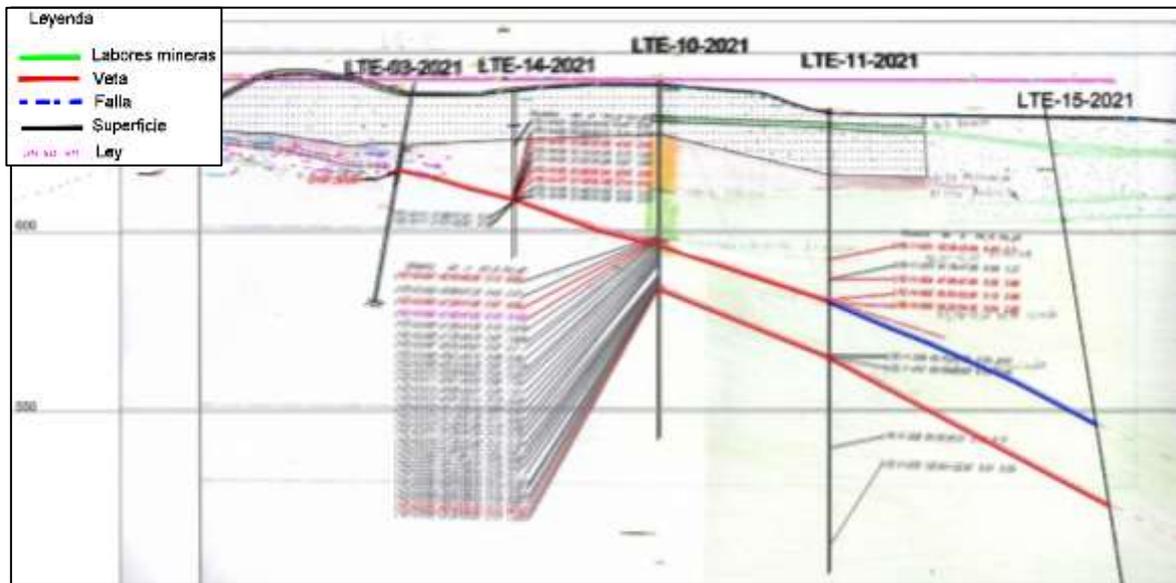
**Mapeo.** - El mapeo se lo realizó en las diferentes galerías exploradas, se toman rumbo y buzamiento de la veta para ser interpretado y subido a la base de datos con sus respectivas leyes, estos ayudan a delimitar el modelamiento de litologías y de la veta para interpretar su continuidad (Figura 4.8).



**Figura 4.8:** A) Sección longitudinal, B) Corte en planta de la sección.

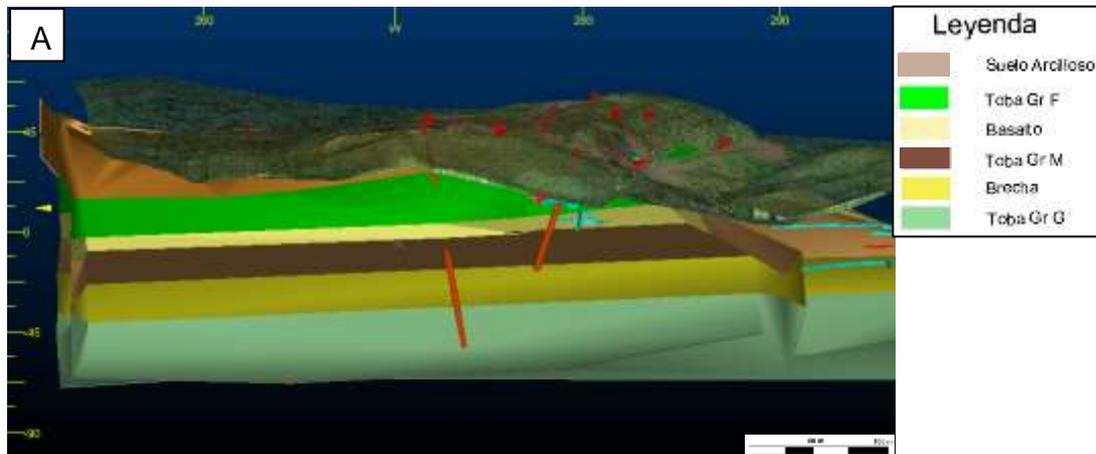
**Sondajes.** – Los sondajes también fueron interpretados como secciones para entender la continuidad de la veta, esto sirve para el modelamiento de las litologías, cada uno de los

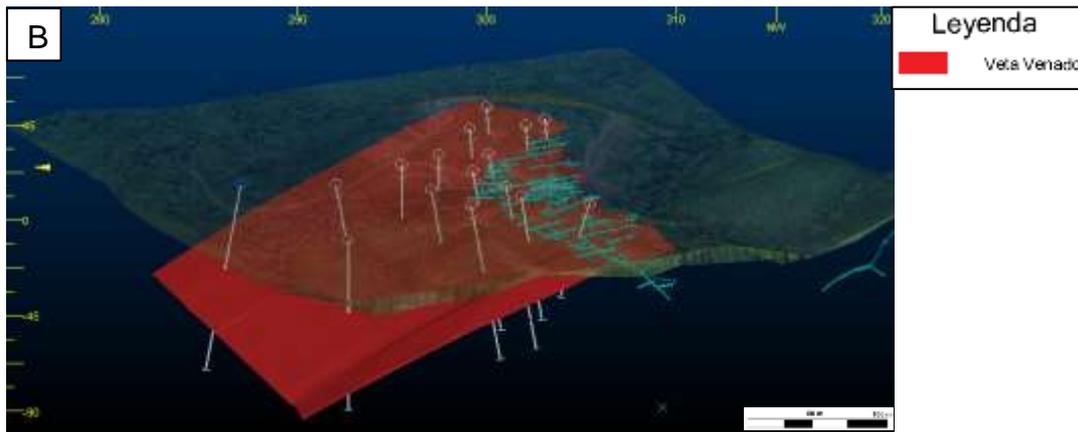
sondajes han sido interpretados y correlacionados, cada sondaje comprende leyes minerales de cada una de las muestras analizadas (Figura 4.9).



**Figura 4.9:** Sección longitudinal e interpretación geológica.

Con los mapeos en labores mineras de exploración y secciones de los sondeos permiten limitar las litologías, crear e interpretar el modelamiento de la veta en tres dimensiones lo más cercano a la realidad (ver Figura 4.10).

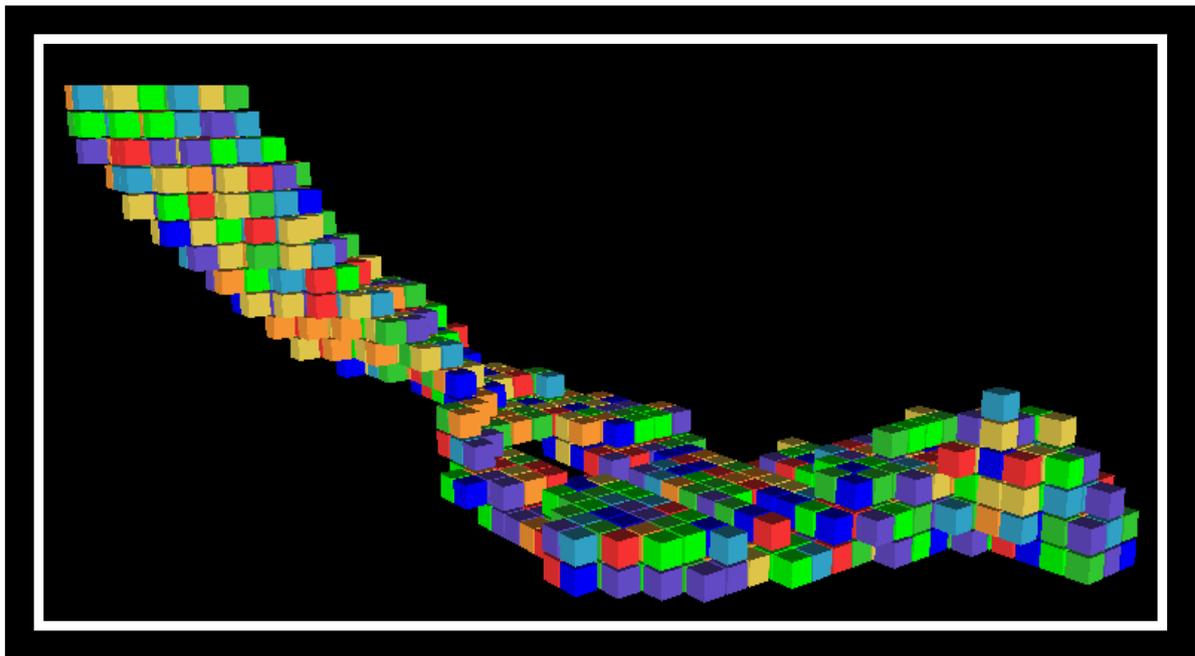




*Figura 4.10: A) Visualización de litologías, B) Visualización de la veta venado.*

- **Creación del Modelo de Bloques**

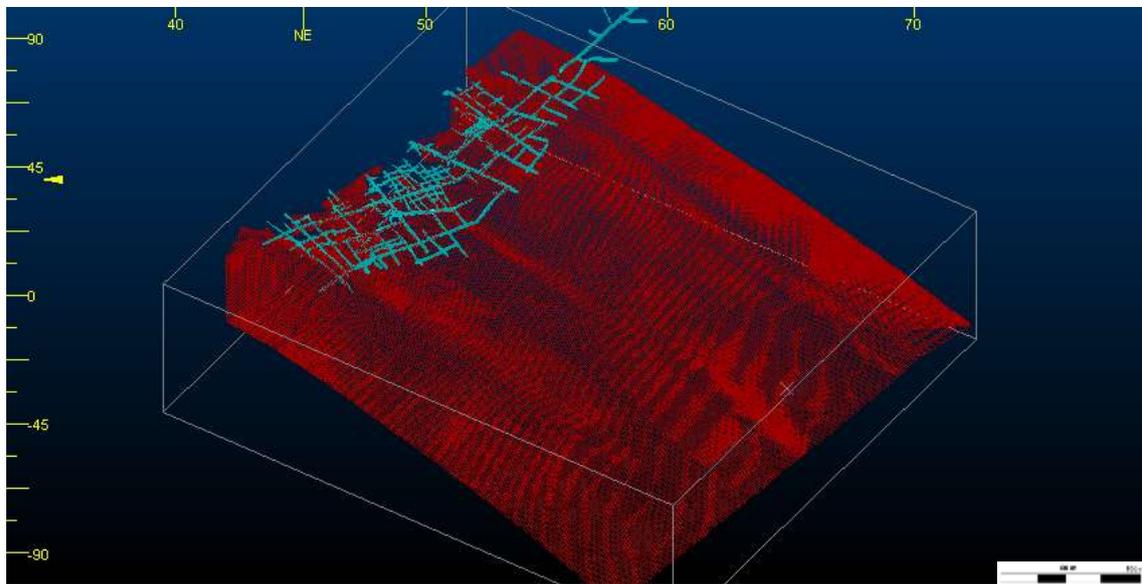
Para la creación del modelo de bloques primero debemos entender que existe detrás del cálculo que realiza el software Datamine para generar estos bloques. Para la creación del modelo de bloques lo que realiza el software es un arreglo de  $n$  volúmenes iguales, los cuales son cubos distribuidos en un espacio en el cual abarcara la estructura mineralizada que se estimara. Un conjunto completo de volúmenes representa la geometría global de un yacimiento (Rubio, 2009).



*Figura 4.11: Visualización del modelo de bloques para una estructura mineralizada. Los colores de cada bloque indican la concentración de mineral (Rubio, 2009).*

Cada cubo que conforma el modelo de bloques contiene información característica de dicho volumen, y de una parte de la estructura del yacimiento que se representa en coordenadas x, y, z y atributos tales como la densidad y ley del mineral de interés económico (oro en este estudio) (Rubio, 2009).

En la Figura 4.12 podemos observar el modelo de bloques realizado por el software Datamine, cada bloque tiene una medida en X, Y y Z de 1 metro el cual nos brinda mayor exactitud en la estimación de recursos, para la creación del modelo de bloques se necesita diferentes parámetros como el modelamiento de la veta e información geológica que se adjunta en el anexo VII.



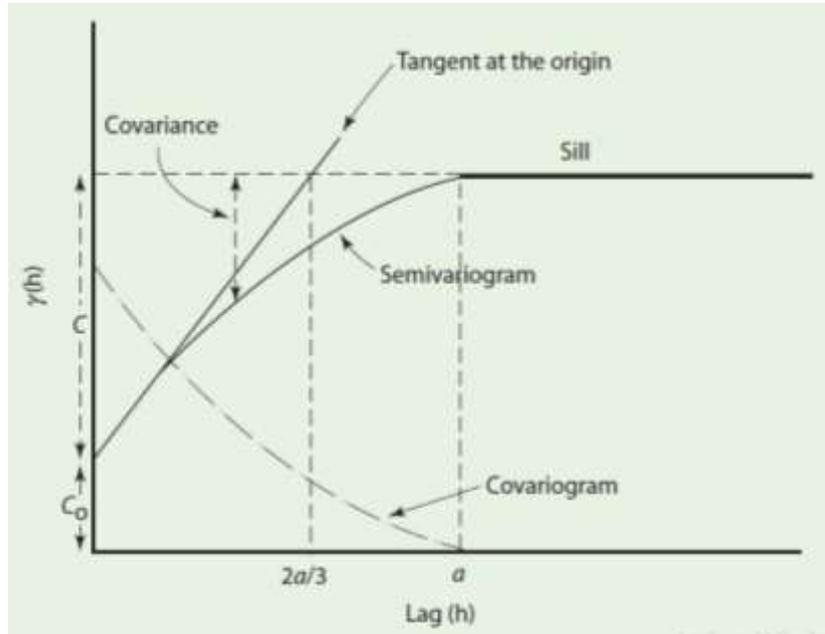
*Figura 4.12: Visualización del modelo de bloques (se determinó 31258 bloques para el proyecto Colibrí).*

- **Variogramas**

La cantidad de correlación espacial o continuidad está determinada por el variograma que es una herramienta geoestadística, el variograma representa las características de la distribución de la mineralización, es un requisito previo para cualquier estimación en la geoestadística de recursos minerales, se utiliza el variograma en todas las fases anteriores a la estimación de recursos. El variograma define el concepto de "área de influencia" y se puede utilizar para determinar el espaciado óptimo entre perforaciones (Bustillos, 2018).

El variograma sirve para medir y expresar la correlación de la variable considerada (muestras de Au) en un espacio específico y en una orientación dada. Este método implica que la

variabilidad entre dos muestras depende de la distancia entre ellas y sus valores relativos. Por definición, esta variabilidad se representa calculando la varianza entre un par de muestras separadas por una distancia (Bustillos, 2018).



**Figura 4.13:** Esquema del Variograma donde se muestra la covarianza, semivariograma y covariograma (Bustillos, 2018).

Para la generación de variogramas lo que se busca es la representación de la cantidad de muestras y sondajes que tiene la estructura mineralizada del proyecto Colibrí, por lo tanto, para obtener mayor información se han realizados tres variogramas en diferentes direcciones de un plano las cuales fueron  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $135^\circ$  (ver Figura 4.14), siendo las direcciones con mayor cantidad de muestras y sondajes. Los variogramas que se crearon con la ayuda del programa Datamine sirven para la estimación de recursos que serán utilizados más adelante.

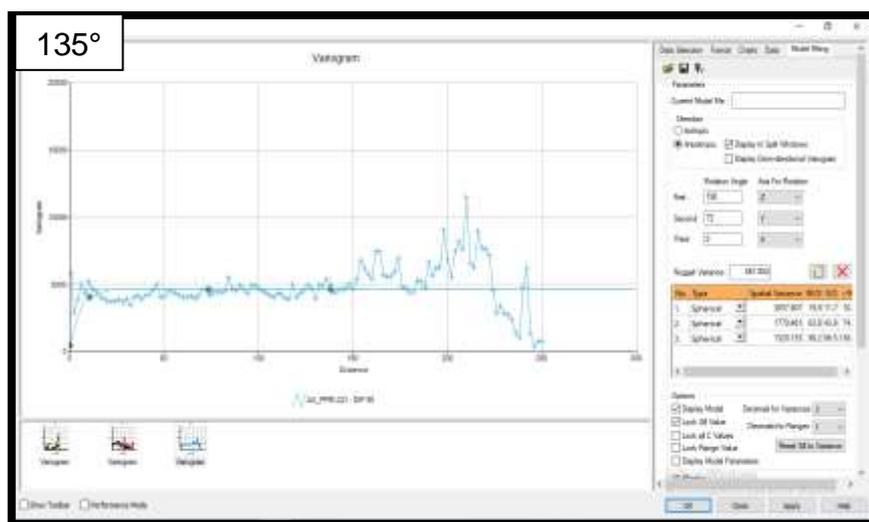
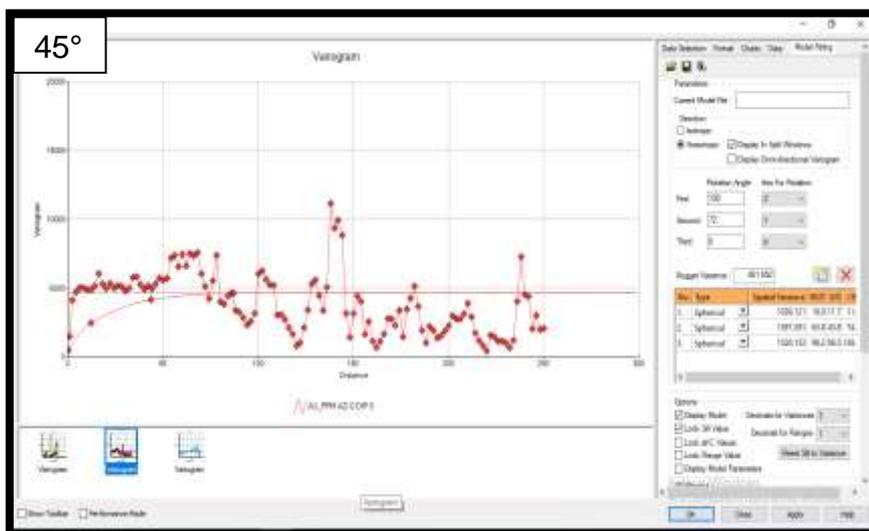
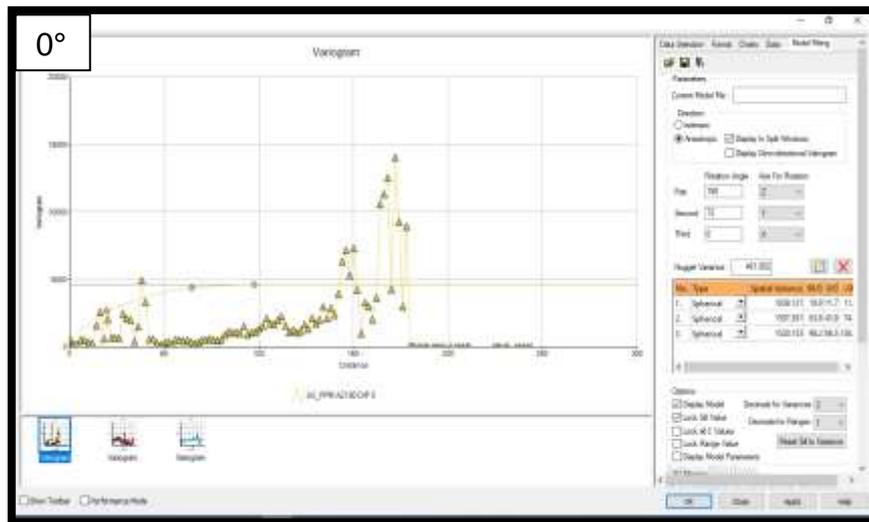


Figura 4.14: Variogramas con dirección de 0°, 45° y 135° utilizados para los datos de la veta venado.

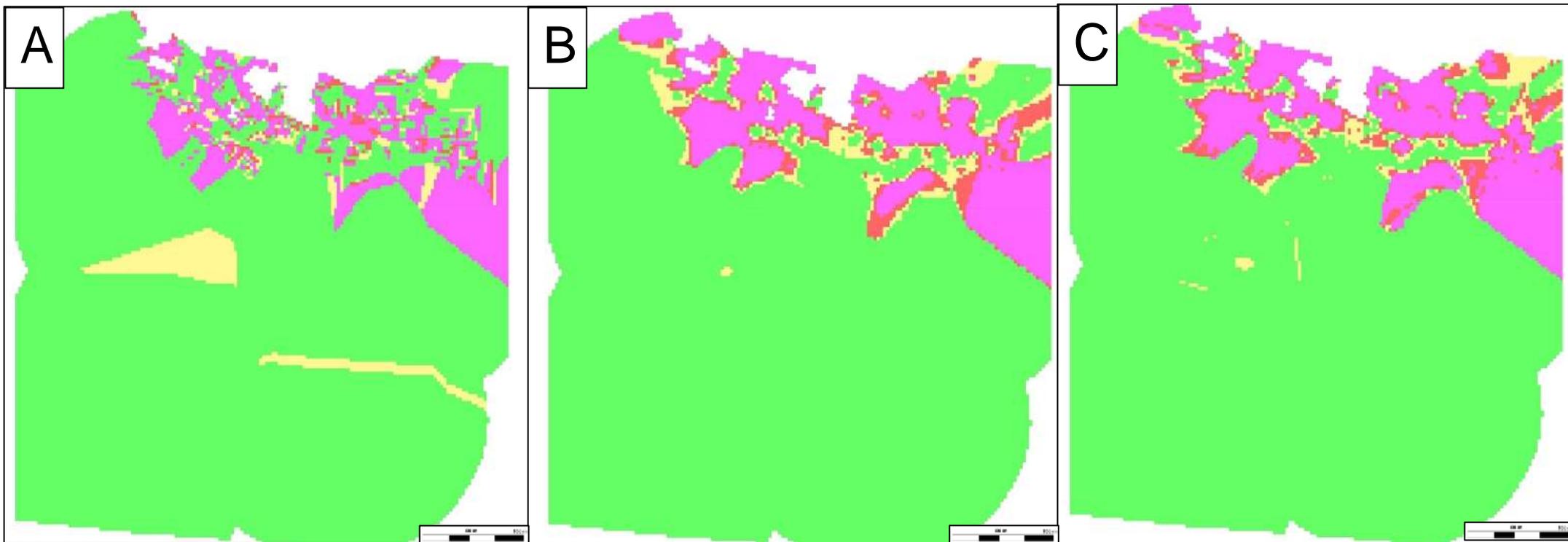
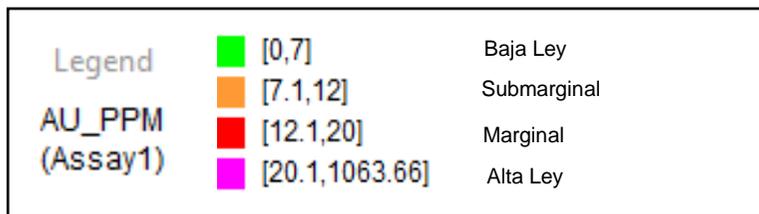
- **Estimación del modelo de bloques**

La estimación de recursos es un proceso que involucra la mayor información posible que se obtenga de un yacimiento como puede ser la cantidad de muestras, la densidad del muestreo y las interpretaciones geológicas que se hayan obtenido (Glaken et al, 2001).

En la estimación de recursos puede variar en complejidad por la cantidad de cálculos geoestadísticos que se deben realizar y analizar. La geoestadística juega un papel muy importante ya que nos ayudara en la toma de decisiones tanto como en exploraciones mineras, así como también, en la cantidad y calidad del depósito mineral.

Para la preparación de la estimación de recursos y reservas se debe elegir diferentes métodos geoestadísticos los cuales se dio una breve descripción en el capítulo 1, en esta investigación utilizaremos aquellos métodos que se puede calcular en el programa Datamine (ver Anexo VIII).

Los elementos que ayudan para la estimación de recursos y reservas son: 1) modelamiento de la veta Venado la cual define y limita la zona de extensión para la estimación, 2) la proyección de sondajes y muestras las cuales cuentan con la ley de oro y su ubicación, 3) el modelo de bloques que define la distancia en las diferentes direcciones con respecto al volumen, y 4) los variogramas creados los cuales ayudaran en la interpolación de valores para tener una continuidad de la mineralización. El resultado de la unión de los datos antes descritos mediante el software Datamine se representa en tres interpolaciones que son: vecino más cercano, ponderación de distancia inversa y kriging ordinario (Figura 4.15).



**Figura 4.15:** A) Interpolación vecino más cercano, B) Interpolación ponderación de distancia inversa, C) Interpolación kriging ordinario.

#### 4.4. Inventario de recursos y reservas minerales

Para el inventario de recursos y reservas minerales del proyecto Colibrí se determinó mediante el método convencional de sección longitudinal y el método geoestadístico, este inventario resume todos los valores obtenidos para la clasificación de recursos y reservas para el proyecto aplicando la metodología descrita en el capítulo 4 (Tablas 4.6 y 4.7). Para el cálculo de recursos se utilizó el método geoestadístico con el kriging debido a su mejor distribución espacial el cual se discute en el capítulo 5.

**Tabla 4.7:** Inventario de reservas.

Reservas			
Reservas Probadas			
CLASIFICACIÓN	Ancho de veta en metros	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	0.25	40.86	5408
MARGINAL	0.16	15.76	911
SUB-MARGINAL	0.15	9.54	634
BAJA LEY	0.12	3.61	1167
Reservas Probables			
CLASIFICACIÓN	Ancho de veta en metros	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	0.22	37.12	6235
MARGINAL	0.18	17.47	1081
SUB-MARGINAL	0.13	8.41	1000
BAJA LEY	0.1	1.6	388

**Tabla 4.8:** Inventario de recursos.

Recursos		
Recursos Medido		
CLASIFICACIÓN	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	49.1	2867
MARGINAL	16	1203
SUB-MARGINAL	9.3	1166
BAJA LEY	1.6	7417
Recursos Indicado		
CLASIFICACIÓN	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	75.6	2970
MARGINAL	16.8	247
SUB-MARGINAL	8.6	418
BAJA LEY	0.8	107806

## CAPITULO 5

### 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIÓN

#### 5.1. Paragénesis de la Veta Venado

En este trabajo se analizaron 6 láminas pulidas obtenidas en diferentes zonas de la veta venado. Los análisis petrográficos, mineralógicos y texturales de los minerales de mena permitieron identificar 3 etapas de mineralización (Figura 5.1). A continuación, se describe cada una de las etapas con sus principales características:

MINERAL	ETAPA 1	ETAPA 2	ETAPA 3
Pirrotina	—————	—	
Pirita	- - - - -		
Esfalerita		- - - - -	
Galena		- -	
Calcopirita			—————
Oro			- -
Electrum			- - - - -
Tetrahedrita			- -
Covelina			- - - - -
Cuarzo	- - - - -	—————	—————

Escaso	- - - - -
Abundante	—————

*Figura 5.1: Paragénesis mineral de la veta Venado.*

#### Etapa 1

En esta primera etapa precipita la pirrotina y pirita las cuales se encuentran en equilibrio. La pirrotina tiene una textura masiva, observamos al mineral de manera uniforme, no tiene una preferencia de cristalización por lo que indica una formación rápida del mineral, esta textura es observada en todas las láminas que se identifica está mineral (DH2, DH3, DH5 y DH6). La pirita tiene dos texturas: la primera es la textura masiva presente en las láminas DH1, DH3 Y DH6, la cual indica que la pirita se cristalizó muy rápido sin poder formar su estructura cristalina característica y en equilibrio con la pirrotina, la segunda textura presente esquelética que aparece en las láminas pulidas DH2, DH4 y DH5 la cual nos indica que el mineral tiene un crecimiento y enfriamiento rápido.

## **Etapa 2**

Durante la segunda etapa se tiene fluidos ricos Zn y en menor proporción en Pb. La esfalerita la cual se encuentra presente en las láminas pulidas DH2, DH3, DH4, DH5 y DH6, presenta una textura vetiforme lo que indica que el mineral tiene tendencia a depositarse en bandas cortando a la pirita y rellenando espacios entre granos de pirrotina, también se observa la textura coliforme debido a que presenta contornos esféricos los cuales reemplazan a la pirita. En algunas zonas se observa una textura semimasiva de esfalerita que indica fluidos enriquecidos principalmente en Zn. La galena tiene una textura residual lo cual indica que el mineral precipita en forma remanente y se presentan de manera anhédrica lo que genera un remplazamiento en la pirita y esfalerita.

## **Etapa 3**

En esta etapa se tiene sulfosales de Cu y Ag. La calcopirita se encuentra presente en todas las láminas pulidas, presenta una textura botroidal la cual indica que el mineral se encuentra de manera esférica principalmente reemplazando a pirita, esfalerita y pirrotina. La tetrahedrita se presenta de forma diseminada reemplazando a granos de pirita. El electrum se encuentra de manera libre en forma de granos dentro de la pirita y pirrotina en la lámina (ver lámina DH 3). El oro se presenta en granos libres dentro de la esfalerita. La covelina se encuentra como mineral secundario y está reemplazando a calcopirita formando coronas.

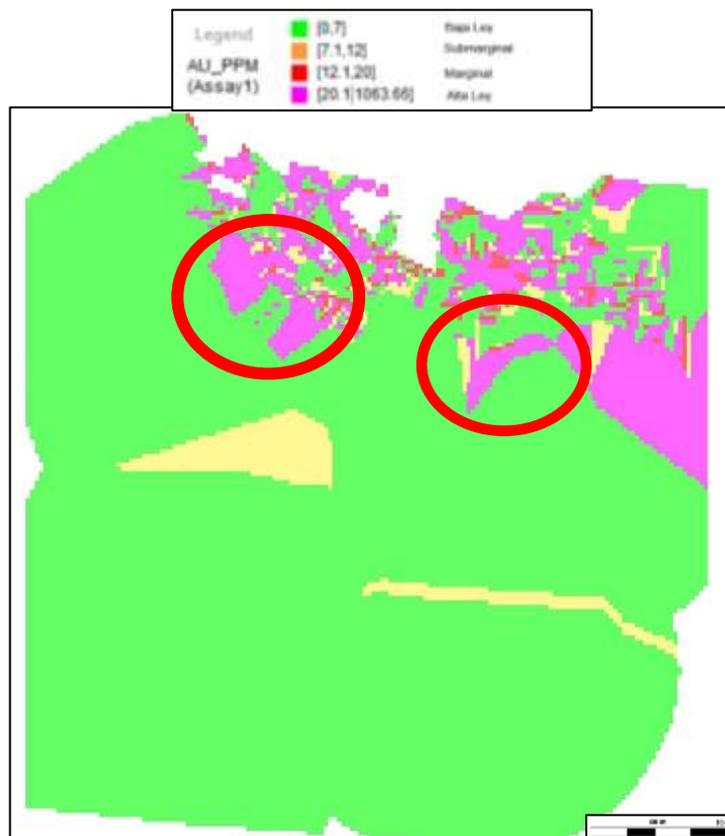
Finalmente, el cuarzo es el principal mineral de ganga y se encuentra presente en todas las etapas metálicas formando granos anhedrales y rellenando espacios entre fracturas.

Para determinar la roca caja de la veta venado, se realizó el estudio petrográfico en cuatro láminas delgadas, este análisis resulto difícil debido a la alta meteorización que presentó la zona mineral, observándose solo arcilla y vidrio muy alterado. En la lámina LT4 se pudo observar cuarzo, clorita, vidrio, zeolitas y arcillas, presenta tamaño de grano fino (< 2 mm) tiene una textura microcristalina, debido a su matriz de vidrio y los minerales presentes como son el cuarzo y arcillas se determina que la roca es una toba lítica de cuarzo perteneciente al Grupo Saraguro que cubre la mayor parte del distrito minero Azuay, y consta de tobas andesíticas a riolíticas y lavas con rocas sedimentarias subordinadas de acuerdo a PRODEMINCA, 2000.

## 5.2. Estimación de Recursos y Reservas de la Veta Venado

Se analizaron tres tipos de interpolación para la estimación de recursos como son: 1) vecino más cercano, 2) ponderación de distancia inversa y 3) kriging ordinario.

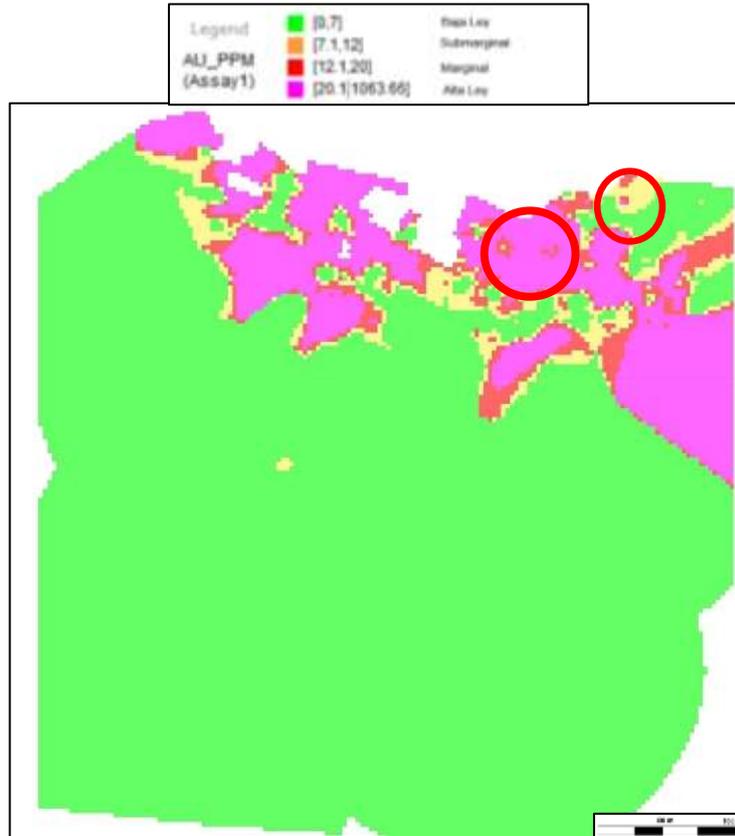
El primer método de interpolación del vecino más cercano (NN) se puede observar en el mapa que la zona de color magenta que corresponde a la zona de alta ley mineral, solo tiene valores interpolados de un grupo creando zonas aisladas de mineral (Figura 5.2), esto podría ser interpretado de manera errónea el cuerpo del yacimiento y al mismo tiempo la estimación debido a que tendría valores constantes de una determinada ley y no como en realidad se encuentra en campo, otro problema es que los valores se generan de manera lineal lo cual geológicamente no sucede en la veta venado.



**Figura 5.2:** Interpolación vecino más cercano (NN).

El segundo método de interpolación de ponderación de la distancia inversa (IDW), se puede observar una mejor distribución de los valores de ley mineral que la interpolación por el vecino más cercano, sin embargo, existe lugares en los cuales los valores no se interpretan de manera gradual (Figura 5.3), se puede observar que la interpolación no decrece de manera gradual de mineral de alta ley a mineral de baja ley; sino que por el

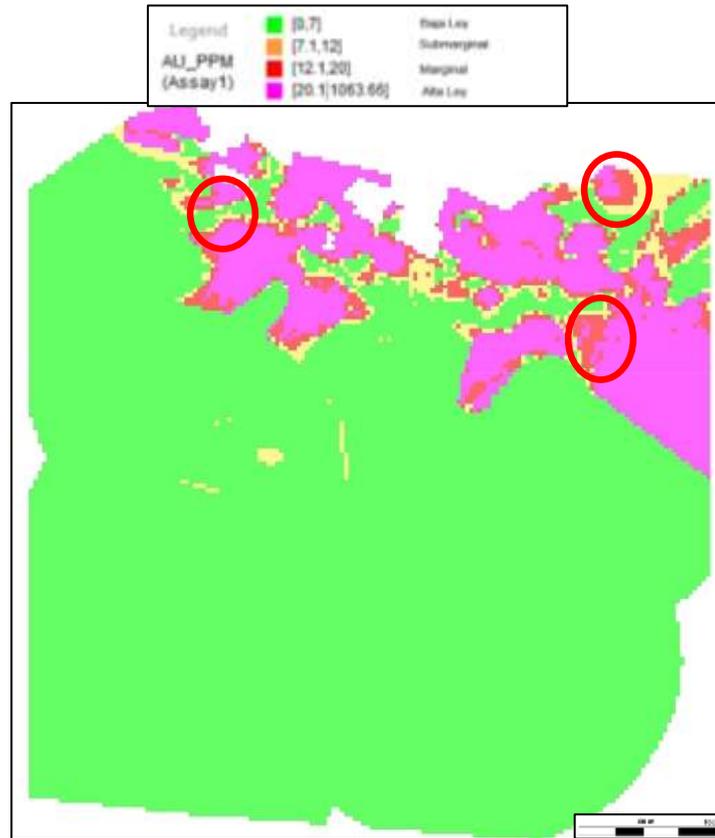
contrario, se observa que en la interpolación solo nos indica mineral sub-marginal en algunas áreas. Esto genera una interpretación errónea debido a que en la estimación de recursos las áreas que tenemos interpoladas no aparecen las zonas de alta ley si no que las toma como mineral sub-marginal dando una pérdida de mineral de alta ley (Figura 5.3), lo que conlleva a reportar menos recursos de los que se tienen observados en campo.



**Figura 5.3:** Interpolación ponderación de distancia inversa (IDW).

El ultimo método de interpolación es el Kriging ordinario (KO), este método aplica una interpolación de lugares donde se tiene muestras y se proyecta hacia los lugares que no han sido muestreados, por lo tanto, es sugerido por la empresa ya que en algunas labores es imposible el muestreo, aquí podemos observar una mejor distribución de los valores gradualmente acercándose a la realidad debido a que concuerda con las observaciones hechas en campo. Con este método se puede observar cómo los valores de ley de oro van decreciendo hacia los lugares de baja ley (Figura 5.4), se observa que el kriging no obvia los valores de alta ley si no que los toma como punto de partida para su interpolación

haciendo que no se pierda recursos como sucede con los métodos de la interpolación de ponderación de distancia inversa, y la interpolación del vecino más cercano.



**Figura 5.4:** Interpolación kriging Ordinario (KO).

### Método de sección longitudinal

Si bien el método de sección longitudinal aplicado sirve para el cálculo de reservas más específico, el cual permite a determinar bloques y zonas minerales, nos hace falta un vector de exploración en este método para poder aumentar de las reservas y cambiar las reservas probables a probadas.

Este método es mucho mejor para el cálculo de reservas que para el de recursos debido a que se tiene mayor información y se puede obtener incluso la potencia de la veta sin interpolar o inferir potencias que no son las reales, lo cual nos puede generar un problema en la estimación de reservas haciendo que exista una sobreestimación de reservas o al contrario estimación de reservas muy pobres en información.

### **Método geoestadístico**

El método geoestadístico como se analizó es útil calculando la estimación de recursos debido a que nos ayuda a determinar las probabilidades de explorar zonas con mayor concentración de oro, todo esto en base a las interpolaciones realizadas por el Kriging ordinario.

Este método es empleado para el cálculo de recursos debido a que sus interpolaciones y estimación de modelos de bloques utiliza todos los sondeos, una de las debilidades encontradas en la estimación de recursos es que no se puede obtener un ancho de veta promedio calculado con la interpolación, si no que calcula directamente su tonelaje.

### **Combinación de métodos**

Lo que se propone en este análisis es una combinación del método de sección longitudinal y el método geoestadístico en el cual se puede determinar de una manera más precisa los recursos y reservas minerales del proyecto Colibrí, utilizando la mayor cantidad de datos geológicos (muestras y sondajes) y aplicando geoestadística, para entender de mejor manera la distribución del oro en el yacimiento y así encontrar las zonas de alta ley que son definidas como clavos de oro.

Para la combinación de métodos se utiliza el kriging ordinario haciendo un mapa de isovalores con la base de datos obtenida y validada en esta investigación en el programa ArcGis, los isovalores nos indican las tendencias de mineralización y a esto se le denomina clavos de oro, por lo que combinaremos este mapa geoestadístico con la sección longitudinal obteniendo como resultado el mapa de la Figura 5.5.

El mapa que tiene los isovalores de oro obtenidos por la interpolación se puede observar la tendencia hacia el sur que posee los clavos de oro, con esta información podemos dirigir las nuevas galerías y labores de exploración, así como, también dirigir una nueva campaña de perforación para aumentar los recursos para la vida útil de la mina.

### **5.3. Vida útil de Proyecto minero Colibrí.**

Mensualmente se ha extraído un promedio de 350 toneladas de material de mena para la extracción de metales como son de oro (Au), por lo tanto, con la suma del volumen total de las reservas probadas y probables que serán utilizadas debido a su alto nivel de confianza geológico, se obtendrá la proyección de vida útil de la mina.

Para el cálculo de la vida útil de la mina se utilizó las reservas de alta ley, marginal y sub-marginal, en los cuales se obtiene promedio de ancho de la veta y la ponderación de ley de oro (Tabla 5.1). Para la estimación de vida útil no se utilizó las reservas de baja ley

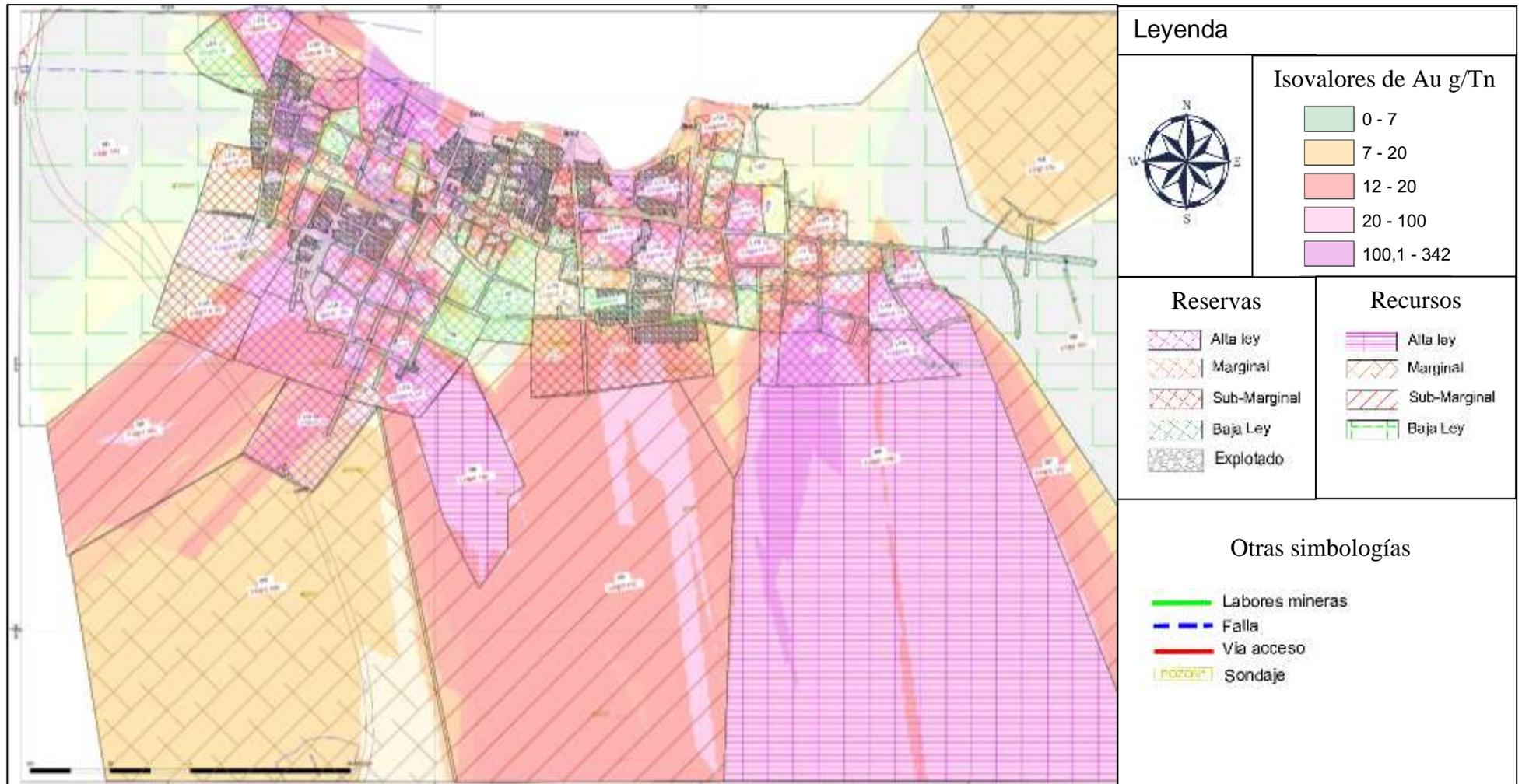
debido a que no son rentables en la actualidad. La vida útil de la mina hasta el presente trabajo es de 43.6 meses.

**Tabla 5.1:** Reporte de reservas.

Reservas			
Reservas Probadas			
CLASIFICACIÓN	Ancho de veta en metros	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	0.25	40.86	5408
MARGINAL	0.16	15.76	911
SUB-MARGINAL	0.15	9.54	634
Total	0.19	34.72	6953
Reservas Probables			
CLASIFICACIÓN	Ancho de veta en metros	Ley Geológica de oro en gramos	Cantidad en toneladas
ALTA LEY	0.22	37.12	6235
MARGINAL	0.18	17.47	1081
SUB-MARGINAL	0.13	8.41	1000
Total	0.17	31.11	8316

$$Explotación\ mensual = \frac{Total\ de\ toneladas}{Promedio\ de\ toneladas\ extraídas\ mensuales}$$

$$Explotación\ mensual = \frac{15.269}{350} = 43.6\ meses$$



**Figura 5.5:** Mapa de estimación de recursos y reservas del proyecto Colibrí.

## 5.4. Conclusiones

- La litología en la que se encuentra alojada la veta venado es una toba lítica de cuarzo perteneciente al Grupo Saraguro de edad Eoceno - Oligoceno.
- Se encontraron los minerales de mena como son pirrotina, pirita, esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita, electrum, covelina, y oro. Se proponen 3 etapas en la paragénesis del proyecto minero Colibrí.
  - Etapa 1: Contiene los minerales que son: pirrotina y pirita, la pirita tiene dos texturas masiva y esquelética, por sus texturas determinan un enfriamiento rápido del mineral, la pirrotina posee una textura masiva, la pirita y pirrotina se encuentran en equilibrio entre sí.
  - Etapa 2: Observamos la esfalerita con una textura vetiforme reemplazando a la pirita y pirrotina, también con una textura coliforme que reemplaza a la pirita, en algunas laminas se encuentran de manera semimasiva. La galena posee una textura residual, se encuentra de manera remanente reemplazando a la pirita.
  - Etapa 3: Se caracteriza por presencia de calcopirita encontramos una textura botroidal, reemplazando de manera esférica a la esfalerita, pirrotina y pirita, aparece de manera anhedral. La tetraedrita se encuentra diseminada reemplazando a la pirita. Precipitación de granos de electrum y oro alojados en la esfalerita y pirita. Finalmente, la covelina se presenta como mineral secundario formando una corona alrededor de la calcopirita.
- La combinación de los dos métodos, de sección longitudinal y el método geoestadístico, es mucho más robusto en confianza geológica para determinar los recursos y reservas minerales del proyecto Colibrí; así como también para realizar interpretaciones de exploración. El mejor método de interpolación que se acerca a la realidad en este estudio es el kriging ordinario.
- Se tiene un total de recursos indicados calculados en el software Datamine de 111.441 toneladas de veta, los cuales se dividen en:
  - Mineral alta ley 2.970 toneladas con una ley de oro 75.6 gr/Tn.
  - Mineral marginal 247 toneladas con una ley de oro 16.8 gr/Tn.
  - Mineral sub-marginal 418 toneladas con una ley de oro 8.6 gr/Tn.
  - Mineral de baja ley 107.806 toneladas con una ley de oro 0.8 g/Tn.

- Tenemos un total de recursos medidos, calculados en el software Datamine de 12.653 toneladas de veta, los cuales se dividen en:
  - Mineral alta ley 2.870 toneladas con una ley de oro 49.1 gr/Tn.
  - Mineral marginal 1.203 toneladas con una ley de oro 16 gr/Tn.
  - Mineral sub-marginal 1.166 toneladas con una ley de oro 9.3 gr/Tn.
  - Mineral de baja ley 7.417 toneladas con una ley de oro 1.6 g/Tn.
- Las reservas probables de mineral calculadas por el método convencional son de 8.704 toneladas, las cuales se dividen en:
  - Mineral alta ley 6.235 toneladas con una ley de oro 37.12 gr/Tn.
  - Mineral marginal 1.081 toneladas con una ley de oro 17.47 gr/Tn.
  - Mineral sub-marginal 1.000 toneladas con una ley de oro 8.41 gr/Tn.
  - Mineral de baja ley 388 toneladas con una ley de oro 1.6 g/Tn.
- Las reservas probadas de mineral calculadas por el método convencional son de 8.120 toneladas, las cuales se dividen en:
  - Mineral alta ley 5.408 toneladas con una ley de oro 40.86 gr/Tn.
  - Mineral marginal 911 toneladas con una ley de oro 15.76 gr/Tn.
  - Mineral sub-marginal 634 toneladas con una ley de oro 9.54 gr/Tn.
  - Mineral de baja ley 1.167 toneladas con una ley de oro 3.6 g/Tn.
- La vida útil de la mina hasta el momento es de 3 años y 6 meses con un promedio de explotación mensual de 350 toneladas con una ley ponderada de 32.9 gr/Tn.

## **5.5. Recomendaciones**

- Realizar un mayor número de muestras de lámina pulida para un estudio petrográfico más detallado en los nuevos hallazgos de veta fresca encontrada en los frentes de exploración debido a que es un limitante en este trabajo de investigación.
- Realizar una nueva campaña de perforación con una mayor profundidad para definir mejor las estructuras mineralizadas; así como también obtener una mayor cantidad de datos de las formaciones geológicas.
- Hacer dataciones de la mineralización, de la roca caja para entender los procesos de mineralización, formación del yacimiento, y contextualizar en el marco geodinámico del Ecuador.
- Realizar análisis de multielementos en las estructuras mineralizadas para determinar concentración de elementos que puedan interferir en la recuperación metalúrgica.
- Realizar un mapeo regional de la zona concesionada para determinar y discriminar las formaciones geológicas del sector. Además, mapeo geológico del interior de la mina para entender estructuralmente los movimientos de las fallas y dirigir las labores de exploración de manera correcta.

## BIBLIOGRAFIA

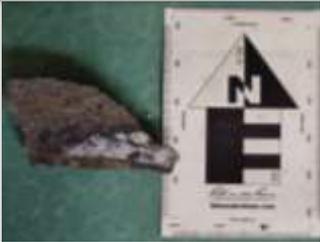
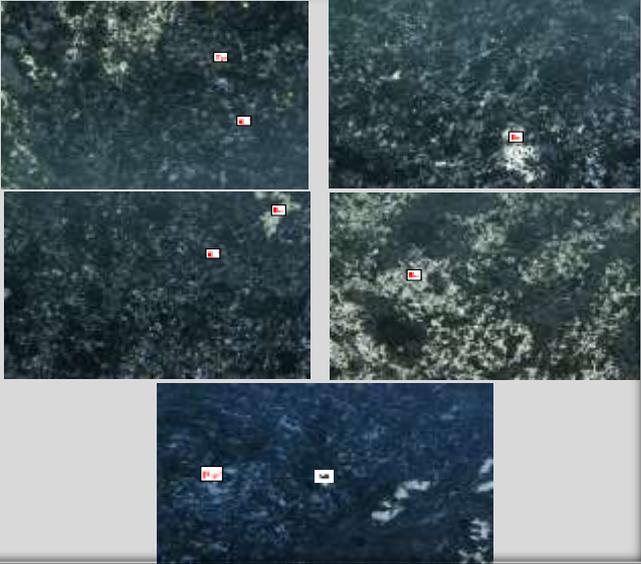
- Almagor, S. F. (2019). Identificación y caracterización de las Facies sedimentarias de la formación Silante en las secciones Nono - Tandayapa y Calacali – Nanegalito. Quito. EPN. 134.
- Argollo, J. (2006). Aspectos geológicos. Botánica Económica de los Andes Centrales. La Paz Universidad Mayor de San Andrés, 1-10.
- Baldock, J. W. (1982). Geología del Ecuador. Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador. Dirección General de Geología y Minas, Quito, 70.
- Bustillo Revuelta, M. (2018). Mineral resource extraction. Mineral Resources. Springer. Switzerland. 311-421.
- Cosma, L., Lapiere, H., Jaillard, E., Laubacher, G., Bosch, D., Desmet, A., Mamberti, M., and Gabriele, P., 1998, Petrographie et geochemie des unites magmatiques de la Cordillere Occidentale d'Equateur (0°30'S): Implications tectoniques: Bulletin de la Société Géologique de France, v. 169, 739–751.
- Carrasco, S. (2019). Paragénesis de la mineralización metálica del sistema de vetas y diseminado del área minera “El Corazón” cantón Cotacachi, provincia de Imbabura. Quito. EPN. 144.
- Cueva, J. (2022). Caracterización Petrográfica y Mineralógica del Deposito VMS “La Plata – Cuerpo Sur” en el Cantón Sigchos, Provincia de Cotopaxi. Quito. EPN. 120.
- Craig, J., & Vaughn, D. (1994). Ore Microscopy and Ore Petrography. 2nd Edition. John Wiley and sons, New York, 343.
- Egüez, A., & Bourgois, J., (1986). La Formacion Apagua, edad y posición estructural en la Cordillera Occidental del Ecuador. Cuarto Congreso Ecuatoriano de geologia Minas y petroleos, 161-178.
- Gandhi, S. M., & Sarkar, B. C. (2016). Essentials of mineral exploration and evaluation. Elsevier, 408.
- Gutscher, M. A., Malavieille, J., Lallemand, S., & Collot, J. Y. (1999). Tectonic segmentation of the North Andean margin: impact of the Carnegie Ridge collision. Earth and Planetary Science Letters, 168(3-4), 255-270.
- Glacken, I. M., Snowden, D. V., & Edwards, A. C. (2001). Mineral resource estimation. Mineral resource and ore reserve estimation—the AusIMM guide to good practice. The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, 189-198.
- Haldar, S. K. (2018). Mineral exploration: principles and applications. Elsevier, V. 1, 663.
- Hughes, R. A., & Bermúdez, R. (1997). Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 0°00' and 1° 00'S. Proyecto de desarrollo minero y control ambiental, programa de información cartográfica y geológica. Report Number 4, CODIGEM British Geological Survey, Quito, Ecuador.
- Hughes, R., & Pilatasig, L. (2002). Cretaceous and Tertiary terrane accretion in the Cordillera Occidental of the Andes of Ecuador. Tectonophysics, 345(1-4), 29-48. <https://n9.cl/nmqwjz>. (s. f.). Datamine Historia - <https://n9.cl/nmqwjz>. Recuperado 4 de julio de 2019, de <https://n9.cl/nmqwjz>.
- Jaillard, E., Ordoñez, M., Suarez, J., Toro, J., Iza, D., & Lugo, W. (2004). Stratigraphy of the late Cretaceous Paleogene deposits of the cordillera occidental of central Ecuador: geodynamic implications: Journal of South American Earth Sciences, v. 17, 49-58.
- Kerr, A.C., Tarney, J., Kempton, P.D., Spadea, P., Nivia, A., Marriner, G.F., and Duncan, R.A. (2002), Pervasive mantle plume head heterogeneity: Evidence from the Late

- Cretaceous Caribbean-Colombian oceanic plateau: *Journal of Geophysical Research*, v. 107, 21.
- Lapierre, H., Bosch, D., Dupuis, V., Polve, M., Maury, R., Hernandez, J., Monie, P., Yeghicheyan, D., Jaillard, E., Tardy, M., Mercier de Lepinay, B., Mamberti, M., Desmet, A., Keller, F., and Senebier, F. (2000), Multiple plume events in the genesis of the peri-Caribbean Cretaceous oceanic plateau province: *Journal of Geophysical Research*, v. 105, 8403–8421.
- Lebrat, M., Mégard, F., Juteau, T., and Calle, J., 1985, Pre-orogenic volcanic assemblage and structure in the Western Cordillera of Ecuador between 1°40'S and 2°20'S: *Geologische Rundschau*, v. 74, 343–351.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Ethien, R., Jaillard, E., Hernandez, J., and Polve, M. (2003), Accreted fragments of the Late Cretaceous Caribbean-Colombian plateau in Ecuador: *Lithos*, v. 66, 173–199.
- Mamberti, M., Lapierre, H., Bosch, D., Jaillard, E., Hernandez, J., Polve, M., 2004. The Early Cretaceous San Juan plutonic suite, Ecuador: a magma chamber in an oceanic plateau? *Can. J. Earth Sci.* 41, 1237–1258.
- Ortiz, J. M., & Emery, X. (2004). Categorización de recursos y reservas mineras. In 1st International Conference on Mining Innovation MININ, 198-208.
- Pérez Riaño, S. L. (2016). Aplicación de geoestadística como metodología para la estimación de recursos de un yacimiento sedimentario (Minas Paz del Río SA), 82. Proyecto de Desarrollo Minero y Control Ambiental. (2000). Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador: Depósitos Porfídicos y Epi-Mesotermiales relacionados con intrusiones de las Cordilleras Occidental y Real. (Vol. 4). Quito, Ecuador: UCP PRODEMİNCA proyecto MEM BIRF EC, 234.
- Reynaud, C., Jaillard, E., Lapierre, H., Mamberti, M., Mascle, G., 1999. Oceanic Plateau Island arcs of southwestern Ecuador: their place in the geodynamic evolution of northwestern South America. *Tectonophysics* 307, 235–254.
- Ruiz, G.M.H., Seward, D., Winkler, W., 2004. Detrital thermochronology; a new perspective on hinterland tectonics, an example from the Andean Amazon Basin, Ecuador. *Basin Res.* 16, 413–430.
- Rubio, E. (2009). Creacion de modelo de bloques en Datamine. Unpublish, 1-10.
- Scogings, A. (2014). Public reporting of industrial minerals resources according to JORC 2012. *AusIMM Bulletin*, (3).
- Trenkamp, R., Kellogg, J. N., Freymueller, J. T., & Mora, H. P. (2002). Wide plate margin deformation, southern Central America and northwestern South America, CASA GPS observations. *Journal of South American Earth Sciences*, 15(2), 157-171.
- Vallée, M. (1999). Resource/reserve inventories: What are the objectives?, *CIM Bulletin*, V. 92, No. 1031, 151-155.
- Vallejo, C. (2007). Evolution of the western cordillera in the andes of ecuador (late cretaceouspaleogene). Zürich. ETH.
- Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R. A., Luzieux, L., Heller, F., & Bussy, F. (2009). Mode and timing of terrane accretion in the forearc of the Andes in Ecuador, 21.
- Vallejo, C., Spikings, R. A., Horton, B. K., Luzieux, L., Romero, C., Winkler, W., & Thomsen, T. B. (2019). Late Cretaceous to Miocene stratigraphy and provenance of the coastal forearc and Western Cordillera of Ecuador: Evidence for accretion of a single oceanic plateau fragment. In *Andean tectonics* (pp. 209-236). Elsevier.
- Wober, H. H., and Morgan, P. J. (1993). Classification of ore reserves based on geostatistical and economic parameters, *CIM Bulletin*, V. 86, No. 966, 73-76.

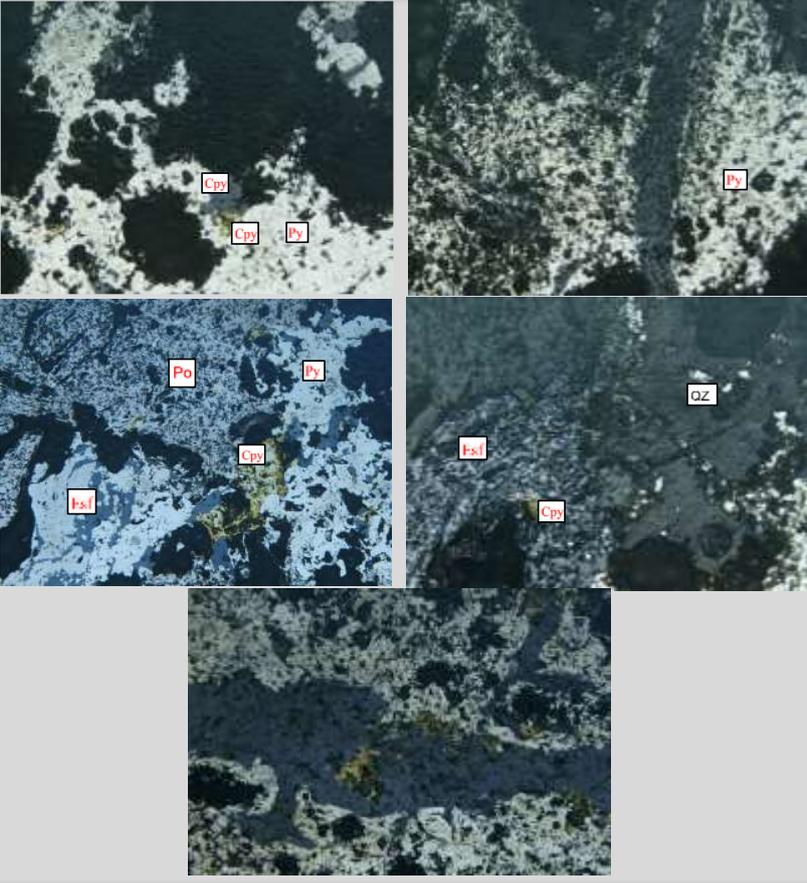
Yepes, H., Audin, L., Alvarado, A., Beauval, C., Aguilar, J., Font, Y., & Cotton, F. (2016). A new view for the geodynamics of Ecuador: Implication in seismogenic source definition and seismic hazard assessment. *Tectonics*, 35(5), 1249-1279.

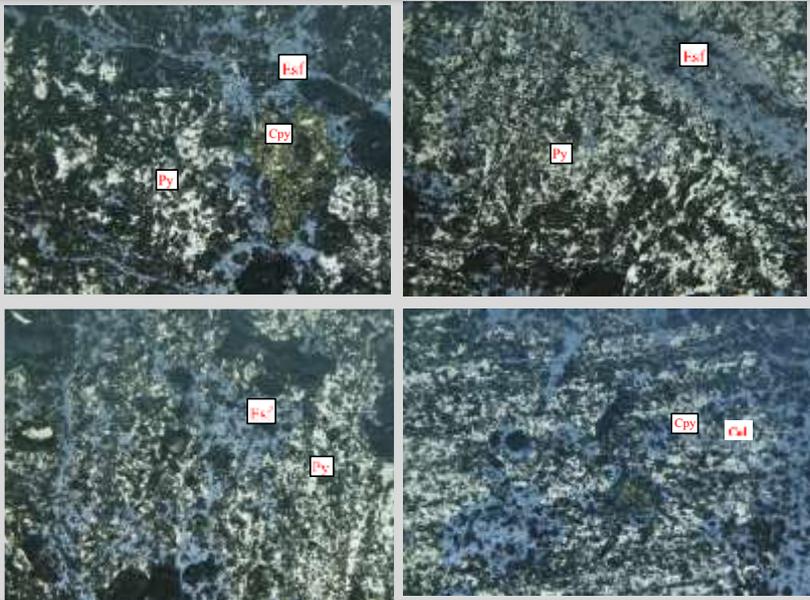
# ANEXOS

## ANEXO I. Fichas Petrográficas de Secciones pulidas

Código de Muestra	DH 1	
Descripción Macroscópica		
Color	Verde oscuro	
Textura	Crustiforme	
Estructura	Porosa	
Composición mineralógica	Cuarzo 20%, Esfalerita 15%, Calcopirita 30%, Pirita 25%, Pirrotina 5%, Malaquita 2% y Bornita 3%	
Observaciones	En la muestras de mano se observa una intrusión de cuarzo en toda la roca el mineral se ve fresca no se encuentra una alteración predominante, se encuentran venillas oxidadas de ferridrita.	
Fotografía		
Descripción Microscópica	Lámina Pulida	
Composición mineralógica	Esfalerita 40% Pirita 45%, Calcopirita 5%, Galena 2%, Oro 1% y Ganga 7%	
Mena	Pirita, esfalerita y calcopirita	
Ganga	Cuarzo	
Textura	<p>La sección pulida contiene en general tiene una textura secuencial pasiva lo que demuestra que los minerales no reaccionan entre si. La pirita se encuentra en toda la sección pulida se presenta de manera anhedral y su textura esquelita indica un crecimiento sobre otro mineral y que no termino de cristalizar. La calcopirita se encuentra de manera anhedral en pequeñas cantidades posee una textura secuencial pasiva demuestra la precipitación sobre otro mineral. La esfalerita presenta de manera anhedral de igual manera con una textura en venillas con bordes asimétricos el cual corta a la pirita, la galena tiene un contenido del 2% se encuentra en granos dentro de la esfalerita, el oro se encuentra en granos dentro de la esfalerita con un 1% de contenido.</p>	
Fotografía		

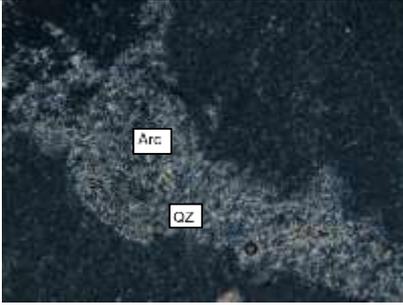
Codigo de Muestra	DH 2
Descripción Macroscópica	
Color	Cafe oscuro
Textura	Fluida
Estructura	Porosa
Composición mineralogica	Esfalerita 20%, Calcopirita 10%, Pirita 30%, Pirrotina 30%, Cuarzo 5%, Malaquita 2% y Bornita 3%
Observaciones	
Fotografía	
Descripción Microscópica	Lámina Pulida DH2
Composición mineralogica	Pirrotina 35%, Pirita 30%, Esfalerita 20%, Calcopirita 7% , Ganga 5% y tetrahedrita 3%.
Mena	Pirita, Esfalerita, Pirrotina y Calcopirita
Ganga	
Textura	La seccion pulida contiene en general tiene una textura secuencial pasiva que indica el crecimiento de minerales sin reacción entre ellos. La pirita se presenta de manera anhedral su textura es esquelética debido a que no termino de precipitarse. La calcopirita se encuentra de manera anhedral posee una textura botroidal debido a que tiene forma globular. La esfalerita presenta de manera anhedral con una textura vetiforme debido a que se forman vetas en su distribución. La pirrotina tiene un hábito anhedral su textura es secuencial pasiva debido a que no reacciona con otros minerales. La galena tiene un 3%, que se encuentra en la pirrotina.
Fotografía	

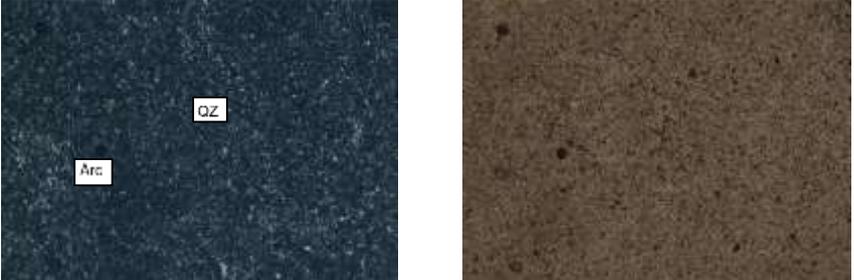
Descripción Microscópica	Lámina Pulida DH3
Composición mineralógica	Pirita 40%, Esfalerita 20%, Calcopirita 15%, Pirrotina 17%, Galena 3%, Electrum 2%, Oro 1% y Ganga 10%.
Mena	Pirita, Esfalerita, Pirrotina y Calcopirita
Ganga	
Textura	<p>La sección pulida presenta en general una textura secuencial pasiva. La pirita se presenta de manera anhedral su textura es secuencial pasiva. La calcopirita se encuentra de manera anhedral posee una textura esquelética. La esfalerita presenta de manera anhedral con una textura vetiforme, se observa una textura coloidal que se forma entre la esfalerita y la pirita debido a que la precipitación ocurrió en baja presión y superficialmente. La pirrotina presenta una textura secuencial pasiva y se encuentra reemplazando a la pirita. Electrum tenemos que se encuentra dentro de la pirita de manera anhedral.</p>
Fotografía	 <p>The 'Fotografía' section contains five photomicrographs of a mineral specimen. The top-left image shows grains of Calcopirita (Cpy) and Pirita (Py). The top-right image shows a grain of Pirita (Py). The middle-left image shows grains of Pirrotina (Po), Pirita (Py), and Esfalerita (Esf). The middle-right image shows grains of Esfalerita (Esf) and Calcopirita (Cpy). The bottom-center image shows a detailed view of the mineral texture.</p>

Codigo de muestra	DH 4
Descripción Macroscópica	
Color	Cafe oscuro
Textura	Crustiforme
Estructura	Porosa
Composición mineralógica	Calcopirita 40%, Pirita 30%, Pirrotina 5%, 25 % Ferrihidrita.
Observaciones	
Fotografía	
Descripción Microscópica	Lámina Pulida
Composición mineralógica	Pirita 45%, Esfalerita 35%, Calcopirita 10%, Covellina 2% y Ganga 8%.
Mena	Pirita, Esfalerita y Calcopirita
Ganga	
Textura	<p>La seccion pulida contiene en general tiene una textura secuencial pasiva. La pirita se presenta de manera anhedral su textura es esqueletica debido a que no termino de precipitarse el mineral. La calcopirita se encuentra de manera anhedral posee una textura secuencial pasiva, debido a que no tiene ninguna reacción entre minerales. La esfalerita se presenta de manera anhedral con una textura vetiforme debido a que se observa vetas de este mineral. La calcosina se encuentra como una corona de reaccion.</p>
Fotografía	

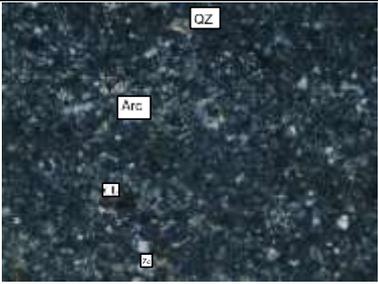
Descripción Microscópica	Lámina Pulida DH6
Composición mineralógica	Pirrotina 40%, Esfalerita 30%, Pirita 20%, Calcopirita 9% y Oro 1%.
Mena	Esfalerita, Pirrotina, Pirita, Oro y Calcopirita
Ganga	
Textura	<p>La seccion pulida contiene en general tiene una textura secuencial pasiva. La pirrotina se presenta de manera anhedral su textura es esqueletica debido a que el mineral no termino de precipitarce. La calcopirita se encuentra de manera anhedral poseé una textura secuencial pasiva. La esfalerita presenta de manera anhedral con una textura vetiforme debido a que reemplaza a la calcopirita, tambien la pirita tiene una textura secuencial pasiva debido a que no hay una reaccion de minerales. La pirita tiene una textura de sucesion pasiva por lo que no existe reaccion entre minerales.</p>
Fotografía	 <p>The 'Fotografía' section contains four photomicrographs of a polished section. The top-left image shows a complex texture with labels 'Po' (Pirrotina) and 'Cpy' (Calcopirita). The top-right image shows 'Esf' (Esfalerita) and 'Po'. The bottom-left image shows 'Py' (Pirita) and 'Esf'. The bottom-right image shows 'Po', 'Esf', and 'Py'. The minerals exhibit various textures such as anhedral, skeletal, and fibrous, as described in the text.</p>

## ANEXO II. Fichas Petrográficas de Láminas delgadas

<b>Codigo de Muestra</b>	LT 1
<b>Descripción Macroscópica</b>	
<b>Color</b>	Amarillo ocre
<b>Textura</b>	Afanítica
<b>Estructura</b>	Masiva
<b>Composición mineralogica</b>	Vidrio 80% Líticos de cuarzo 20%
<b>Observaciones</b>	En la roca se observan líticos diminutos menores a 1 mm, el color de la roca nos indica que existe un poco de lixiviación de la estructura mineralizada debido a la cercanía que tiene la muestra tomada. Los líticos de cuarzo son equigranulares, se presentan de manera subredondeada.
<b>Fotografía</b>	
<b>Descripción Microscópica</b>	Lamina delgada
<b>Composición mineralogica</b>	Vidrio 80%, Arcillas 15 y Cuarzo 5%.
<b>Textura</b>	Eutaxítica
<b>Observaciones</b>	En la lámina delgada se observa venillas que contienen cuarzo y vidrio la mayor parte de la lámina delgada esta compuesta con vidrio sin dejar observar mayores características de la roca
<b>Fotografía</b>	 
	XLP LPP
<b>Nombre de la roca</b>	Toba lítica de cuarzo

<b>Codigo de Muestra</b>	<b>LT 2</b>
<b>Descripción Macroscópica</b>	
<b>Color</b>	Negro
<b>Textura</b>	Afanítica
<b>Estructura</b>	Masiva
<b>Composición mineralogica</b>	Vidrio 80% Líticos de cuarzo 20%
<b>Observaciones</b>	En la roca se observa arcillas debido a su meteorización. Los líticos de cuarzo son > a 1 mm, se presentan de manera equigranular, se presenta el cuarzo subredondeado.
<b>Fotografía</b>	
<b>Descripción Microscópica</b>	Lámina delgada LT2
<b>Composición mineralogica</b>	Vidrio 90%, Arcillas 5 y Cuarzo 5%.
<b>Textura</b>	Pilotáxica
<b>Observaciones</b>	En la lámina delgada se observa el cuarzo muy diminuto y disperso la mayor parte de la lámina tiene vidrio y la alteración de arcillas es evidente en toda la lámina, el cuarzo tiene una tendencia de flujo muy leve
<b>Fotografía</b>	

<b>Nombre de la roca</b>	Toba lítica de cuarzo	
<b>Descripción Microscópica</b>	Lámina delgada LT3	
<b>Composición mineralógica</b>	Vidrio 75%, Arcillas 20 y Cuarzo 5%.	
<b>Textura</b>	Pilotáxica	
<b>Observaciones</b>	En la lámina delgada se observa como componente predominante el vidrio las arcillas están dispersas en toda la lámina se observa su alteración debido a la meteorización, el cuarzo es subredondeado y tiene una tendencia de dirección de flujo muy débil que se observa en la lámina delgada.	
<b>Fotografía</b>		
	XLP	LPP
<b>Nombre de la roca</b>	Toba lítica de cuarzo	

Código de Muestra	LT 4	
Descripción Macroscópica		
Color	Gris claro	
Textura	Afanítica	
Estructura	Masiva	
Composición mineralógica	Vidrio 60% Líticos 40%	
Observaciones	En la roca se observa una distribución de líticos de cuarzo > a 2mm en toda la roca, se presentan de manera subredondeada.	
Fotografía		
Descripción Microscópica	Lámina delgada	
Composición mineralógica	Vidrio 45%, Cuarzo 40%, Arcillas 5%, clorita 2% y Zeolitas 3%.	
Textura	Eutaxítica	
Observaciones	El cuarzo tiene un hábito euhedral se encuentra subredondeado, tenemos alteración del vidrio por la meteorización que se observa, las arcillas las zeolitas tiene un hábito euhedrico se encuentran dispersas, lo que predomina es el vidrio en la lámina delgada por lo que su alteración es notable	
Fotografía		
	XLP	LPP
Nombre de la roca	Toba lítica de cuarzo	

## ANEXO III. Tablas de datos

Tabla de cálculos por bloque mineral

Block	Área m2	An Veta m	Pe	Tn Sin Diluir	Ley Geologica Au	Tn SD x Ley Geo	Certeza
101	366	0.25	2.80	256	32.93	8436.67	PROBABLE
103	349	0.31	2.80	303	30.61	9266.37	EXPLOTADO
104	93	0.23	2.80	60	45.81	2743.65	EXPLOTADO
105	65	0.22	2.80	40	44.34	1775.37	PROBABLE
106	244	0.19	2.80	130	20.57	2668.62	PROBABLE
201	107	0.21	2.80	63	10.56	663.96	EXPLOTADO
202	277	0.22	2.80	171	23.88	4074.69	EXPLOTADO
203	397	0.14	2.80	156	62.60	9742.06	PROBABLE
212	392	0.14	2.80	154	62.60	9619.37	PROBABLE
204	482	0.07	2.80	94	0.90	85.02	PROBABLE
205	314	0.34	2.80	299	48.31	14441.21	PROBABLE
209	41	0.22	2.80	25	42.84	1081.97	EXPLOTADO
210	905	0.10	2.80	254	35.03	8880.53	PROBABLE
211	49	0.20	3.80	37	15.71	588.14	PROBABLE
110	73	0.19	2.80	39	33.66	1312.81	PROBABLE
111	54	0.25	2.80	38	43.11	1621.37	PROBABLE
115	357	0.23	2.80	230	37.30	8575.57	PROBABLE
116	169	0.22	2.80	104	30.16	3141.42	PROBABLE
117	154	0.31	2.80	134	66.77	8925.28	PROBABLE
118	259	0.58	2.80	421	67.86	28546.31	PROBABLE
121	249	0.17	2.80	118	19.99	2368.63	PROBABLE
122	225	0.16	2.80	101	34.13	3442.90	PROBABLE
123	205	0.17	2.80	98	30.27	2958.50	PROBABLE
126	267	0.29	2.80	217	37.71	8183.64	PROBABLE
127	37	0.14	2.80	15	41.89	611.84	PROBABLE
129	1,138	0.15	2.80	478	31.39	15001.19	PROBABLE
130	71	0.14	2.80	28	10.38	288.65	PROBABLE
131	57	0.08	2.80	13	9.66	122.30	PROBABLE
132	35	0.10	2.80	10	5.08	49.56	PROBABLE
133	174	0.07	2.80	34	3.23	110.02	PROBABLE
134	111	0.06	2.80	19	1.82	33.98	PROBABLE
1A	20	0.22	2.80	12	43.56	540.41	EXPLOTADO
2A	11	0.28	2.80	9	66.60	585.55	EXPLOTADO
3A	6	0.31	2.80	5	79.48	413.93	EXPLOTADO
4A	18	0.33	2.80	17	83.15	1382.95	PROBABLE
5A	34	0.42	2.80	40	46.66	1882.32	PROBABLE
6A	22	0.19	2.80	12	35.34	420.76	EXPLOTADO
7A	10	0.26	2.80	7	109.20	784.42	EXPLOTADO
8A	5	0.20	2.80	3	64.68	181.10	EXPLOTADO
9A	7	0.19	2.80	4	45.37	168.96	PROBABLE
10A	18	0.16	2.80	8	8.71	68.35	PROBABLE
11A	37	0.11	2.80	11	6.49	73.10	PROBABLE
12A	17	0.14	2.80	7	23.17	151.13	PROBABLE
13A	31	0.09	2.80	8	5.61	44.22	PROBABLE
14A	15	0.19	2.80	8	10.17	81.43	PROBABLE
15A	63	0.10	2.80	18	7.21	127.81	PROBABLE
16A	16	0.25	2.80	11	19.85	223.37	EXPLOTADO
17A	6	0.25	2.80	4	95.70	401.94	EXPLOTADO
18A	9	0.20	2.80	5	41.89	211.13	EXPLOTADO
19A	6	0.23	2.80	4	14.54	56.18	EXPLOTADO
20A	17	0.23	2.80	11	14.35	153.41	EXPLOTADO
21A	24	0.10	2.80	7	1.47	9.79	EXPLOTADO
22A	8	0.25	2.80	6	38.86	217.62	EXPLOTADO
23A	6	0.24	2.80	4	52.90	213.29	EXPLOTADO
24A	6	0.29	2.80	5	30.57	148.94	EXPLOTADO
25A	15	0.22	2.80	9	12.66	116.51	PROBABLE
26A	31	0.32	2.80	28	18.53	520.50	EXPLOTADO
27A	11	0.27	2.80	8	12.65	105.20	EXPLOTADO
28A	19	0.24	2.80	13	10.19	131.00	PROBABLE
29A	22	0.18	2.80	11	54.50	595.51	PROBABLE
30A	25	0.13	2.80	9	21.59	196.47	EXPLOTADO
31A	8	0.11	2.80	2	7.51	18.50	PROBABLE
32A	12	0.11	2.80	4	74.09	267.90	EXPLOTADO
33A	12	0.12	2.80	4	13.49	53.21	PROBABLE
34A	11	0.12	2.80	4	13.42	51.81	EXPLOTADO
35A	21	0.12	2.80	7	23.60	168.27	PROBABLE
1B	12	0.42	2.80	15	50.18	732.04	PROBABLE
2B	15	0.50	2.80	21	55.57	1165.41	PROBABLE
3B	36	0.14	2.80	14	38.95	549.66	EXPLOTADO
4B	23	0.19	2.80	12	54.33	664.78	EXPLOTADO
5B	39	0.20	2.80	22	30.97	672.40	EXPLOTADO
6B	181	0.15	2.80	76	21.63	1639.77	PROBABLE
7B	19	0.19	2.80	10	65.27	660.79	PROBABLE
8B	39	0.15	2.80	16	33.85	556.60	PROBABLE
9B	39	0.15	2.80	16	39.44	649.67	PROBABLE

10B	39	0.30	2.80	33	37.51	1,221.58	PROBABLE
11B	135	0.21	2.80	79	9.30	738.23	PROBABLE
12B	52	0.15	2.80	22	5.28	115.09	PROBABLE
13B	82	0.23	2.80	53	51.20	2,703.77	PROBABLE
14B	74	0.15	2.80	31	23.43	725.65	PROBABLE
15B	107	0.20	2.80	60	10.16	609.07	EXPLOTADO
16B	173	0.32	2.80	155	36.10	5,599.35	EXPLOTADO
17B	119	0.21	2.80	70	12.12	847.49	PROBABLE
18B	290	0.12	2.80	97	3.21	312.29	PROBABLE
19B	65	0.20	2.80	36	24.47	890.71	EXPLOTADO
20B	39	0.43	2.80	47	45.87	2,153.87	EXPLOTADO
21B	26	0.45	2.80	33	59.15	1,937.75	EXPLOTADO
22B	35	0.50	2.80	49	53.92	2,642.08	EXPLOTADO
23B	72	0.31	2.80	62	27.10	1,693.64	EXPLOTADO
1C	35	0.17	2.80	17	6.38	106.29	PROBABLE
2C	11	0.24	2.80	7	21.79	162.73	PROBABLE
3C	12	0.18	2.80	6	29.56	185.63	PROBABLE
4C	22	0.20	2.80	12	19.51	241.02	PROBABLE
5C	11	0.25	2.80	8	28.67	226.38	PROBABLE
6C	13	0.17	2.80	6	11.91	71.60	PROBABLE
7C	52	1.10	2.80	160	66.28	10,615.40	EXPLOTADO
8C	79	1.00	2.80	222	55.31	12,281.03	PROBABLE
9C	126	0.46	2.80	162	27.46	4,457.84	PROBABLE
10C	86	0.29	2.80	70	54.22	3,786.29	PROBABLE
11C	65	0.24	2.80	44	42.33	1,852.10	PROBABLE
12C	107	0.12	2.80	36	39.62	1,423.89	PROBABLE
13C	91	0.21	2.80	54	40.62	2,181.38	PROBABLE
14C	95	0.26	2.80	69	26.10	1,799.38	PROBABLE
15C	45	1.00	2.80	125	66.11	3,248.41	PROBABLE
1D	48	0.24	2.80	32	23.13	746.86	PROBABLE
2D	118	0.12	2.80	40	4.32	171.05	PROBABLE
3D	121	0.15	2.80	51	18.74	953.78	PROBABLE
4D	143	0.24	2.80	96	33.30	3,190.37	PROBABLE
5D	194	0.09	2.80	49	12.43	606.27	PROBABLE
6D	255	0.10	2.80	71	35.99	2,565.05	PROBABLE
7D	104	0.18	2.80	52	36.02	1,887.84	PROBABLE
8D	96	0.13	2.80	35	16.78	587.28	PROBABLE
9D	90	0.12	2.80	30	10.04	303.51	PROBABLE
10D	55	0.17	2.80	26	3.71	96.83	PROBABLE
11D	657	0.19	2.80	349	30.43	10,628.89	PROBABLE
12D	144	0.21	2.80	85	26.82	2,270.90	PROBABLE
13D	128	0.09	2.80	32	5.75	184.81	PROBABLE
14D	95	0.11	2.80	29	10.76	314.84	EXPLOTADO
15D	747	0.20	2.80	419	18.16	7,601.67	PROBABLE
16D	550	0.18	2.80	277	9.32	2,582.94	PROBABLE
17D	94	0.11	2.80	29	0.68	19.69	EXPLOTADO
18D	49	0.11	2.80	15	0.68	10.26	PROBABLE
19D	261	0.13	2.80	95	39.37	3,741.02	PROBABLE
20D	25	0.08	2.80	6	1.07	6.05	PROBABLE
21D	120	0.18	2.80	61	17.47	1,059.40	PROBABLE
119	272	0.14	2.80	106	9.21	980.67	PROBABLE
120	317	0.17	2.80	151	26.95	4,069.75	PROBABLE
125	208	1.00	2.80	583	40.44	23,563.58	PROBABLE
113	313	0.10	2.80	88	9.62	841.88	PROBABLE
114	166	0.09	2.80	42	3.49	146.01	PROBABLE
102	62	0.09	2.80	16	1.82	28.44	PROBABLE
107	394	0.13	2.80	143	1.42	203.42	PROBABLE
108	29	0.11	2.80	9	7.86	71.25	PROBABLE
109	165	0.15	2.80	69	4.17	289.40	PROBABLE
112	80	0.22	2.80	49	5.84	287.08	PROBABLE
128	209	0.14	2.80	82	7.15	585.79	PROBABLE
206	83	0.15	2.80	35	2.43	84.87	PROBABLE
207	154	0.15	2.80	65	1.12	72.44	PROBABLE
220	152	0.07	2.80	30	4.42	131.68	PROBABLE
221	184	0.10	2.80	52	4.10	211.23	PROBABLE
213	506	0.17	2.80	241	17.78	4,282.42	EXPLOTADO
214	42	0.14	2.80	16	39.38	648.35	EXPLOTADO
215	112	0.27	2.80	84	57.27	4,832.28	PROBABLE
216	689	0.23	2.80	444	40.16	17,816.01	PROBABLE
217	203	0.12	2.80	68	8.48	578.63	PROBABLE
218	128	0.14	2.80	50	17.86	894.39	PROBABLE
219	246	0.12	2.80	83	17.31	1,430.78	PROBABLE
208	70	0.15	2.80	29	8.63	253.72	PROBABLE
222	119	0.16	2.80	53	24.40	1,304.20	PROBABLE
135	979	0.21	2.80	576	39.62	22,818.51	PROBABLE
136	868	0.19	2.80	462	17.15	7,919.46	PROBABLE
137	143	0.15	2.80	60	31.44	1,888.29	PROBABLE
138	247	0.18	2.80	124	68.09	3,476.39	PROBABLE
139	499	0.22	2.80	307	33.52	10,303.51	PROBABLE
124	187	0.14	2.80	73	12.49	917.23	PROBABLE

## ANEXO IV. Base de Datos

Collar de sondajes y muestras tomadas

BHID	XCOLLAR	YCOLLAR	ZCOLLAR	LENGTH
LTE-01-2020	657299.61	9670702.86	642.85	148.5
LTE-02-2021	657343.69	9670707.83	646.53	152.45
LTE-03-2021	657271.76	9670731.19	640	60.35
LTE-04-2021	657243.61	9670778.11	643.06	60.15
LTE-05-2021	657233.76	9670799.61	639.75	60.6
LTE-06-2021	657224.79	9670740.11	640.76	70.2
LTE-07-2021	657405.88	9670745.55	648.3	80
LTE-08-2021	657387.1	9670697.6	657.87	117
LTE-09-2021	657202.41	9670766.46	644.42	70.45
LTE-10-2021	657266.08	9670660.19	643.74	94.7
LTE-11-2021	657249.52	9670612.71	630.15	130
LTE-12-2021	657394.17	9670651.02	663	143.4
LTE-13-2021	657325.79	9670653.47	648	100
LTE-14-2021	657250.2	9670700.15	637	70.5
LTE-15-2021	657209.02	9670553.37	626	161.7
LTE-16-2021	657359.32	9670568.8	642.84	150
LT-2292	657305.6	9670731.21	616.65	0.11
LT-2293	657307.68	9670732.44	616.53	0.06
LT-2294	657306.57	9670732.93	616.81	0.08
LT-2295	657308.59	9670734.23	616.72	0.08

Survey sondajes y muestras tomadas

BHID	AT	BRG	DIP
LT-993	0.2	130	-90
LT-994	0.22	130	-90
LT-995	0.4	130	-90
LT-996	0.46	130	-90
LT-997	0.3	130	-90
LT-998	0.4	130	-90
LT-999	0.15	130	-90
LTE-01-2020	148.5	353	-80
LTE-02-2021	152.45	357	-80
LTE-03-2021	60.35	10	-80
LTE-04-2021	60.15	98	-80
LTE-05-2021	60.6	100	-70
LTE-06-2021	70.2	90	-80
LTE-07-2021	80	175	-71
LTE-08-2021	117	348	-80
LTE-09-2021	70.45	90	-80
LTE-10-2021	94.7	30	-90
LTE-11-2021	130	0	-80
LTE-12-2021	143.4	0	-80
LTE-13-2021	100	0	-80
LTE-14-2021	70.5	0	-90
LTE-15-2021	161.7	190	-80
LTE-16-2021	150	0	-90

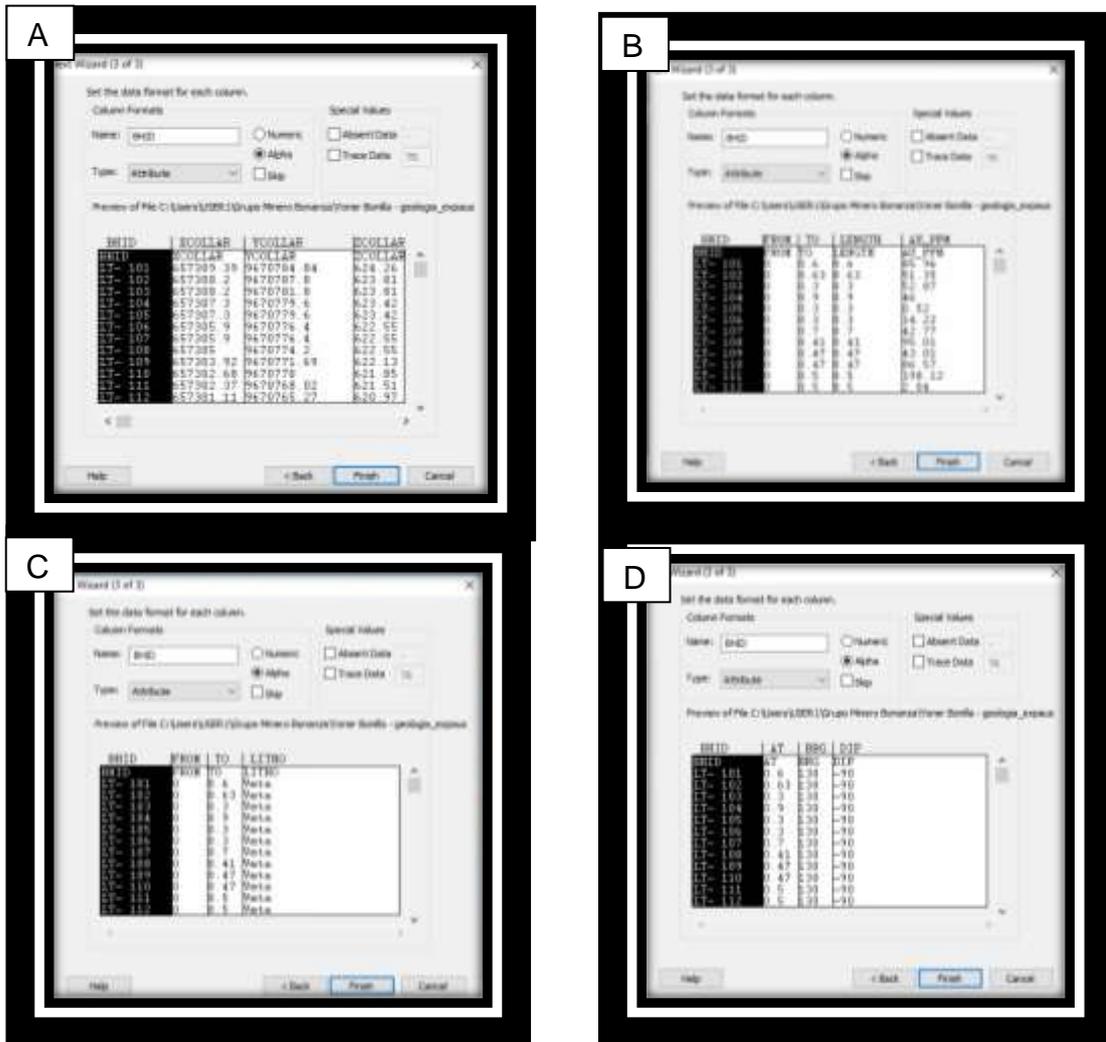
Assay sondajes y muestras tomadas

BHID	FROM	TO	LENGTH	AU_PPM
LT-990	0	0.36	0.36	24.5
LT-991	0	0.4	0.4	11.62
LT-992	0	0.34	0.34	56.06
LT-993	0	0.2	0.2	19.03
LT-994	0	0.22	0.22	75.92
LT-995	0	0.4	0.4	262.03
LT-996	0	0.46	0.46	309.47
LT-997	0	0.3	0.3	285.65
LT-998	0	0.4	0.4	59.07
LT-999	0	0.15	0.15	25.27
LTE-01-2020	34.09	34.8	0.71	0.08
LTE-01-2020	34.8	35.75	0.95	0.03
LTE-01-2020	35.75	36.15	0.4	0.09
LTE-01-2020	36.15	36.65	0.5	0.14
LTE-01-2020	40	40.4	0.4	0.06
LTE-01-2020	40.4	40.9	0.5	0.06
LTE-01-2020	49.6	49.96	0.36	0.06
LTE-01-2020	49.96	50.3	0.34	0.17
LTE-01-2020	51.05	51.25	0.2	0.87

Lithology sondajes y muestras tomadas

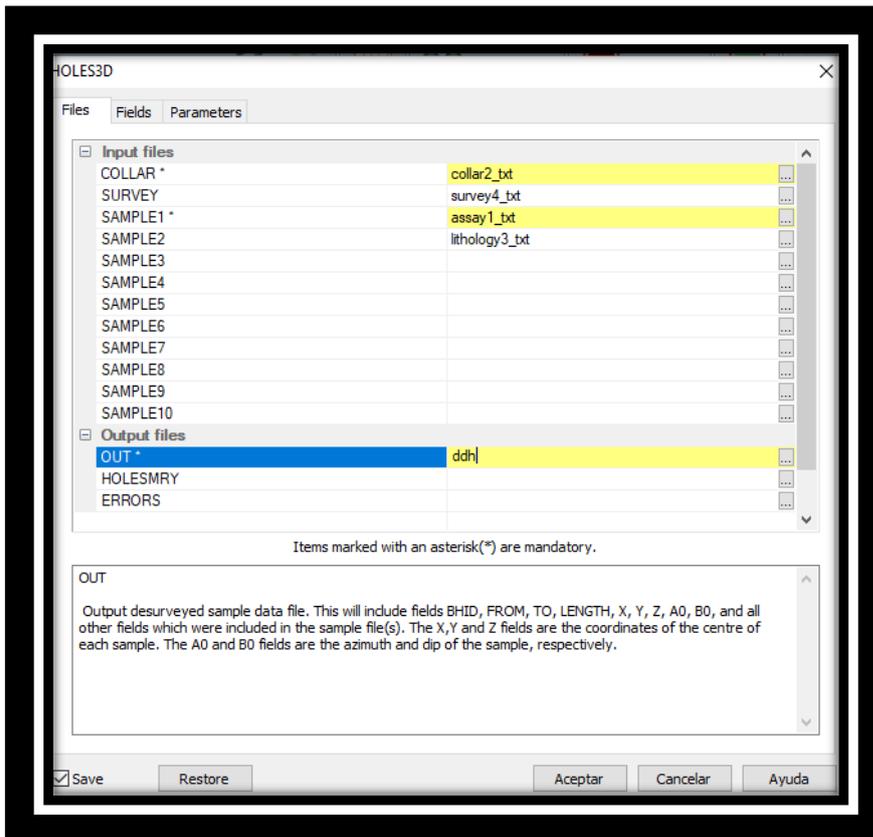
BHID	FROM	TO	LITHO
LT-992	0	0.34	Veta
LT-993	0	0.2	Veta
LT-994	0	0.22	Veta
LT-995	0	0.4	Veta
LT-996	0	0.46	Veta
LT-997	0	0.3	Veta
LTE-01-2020	0	27.39	Suelo arcilloso
LTE-01-2020	23.83	35.75	Andesita
LTE-01-2020	35.75	36.15	Veta
LTE-01-2020	36.15	150	Andesita
LTE-02-2021	0	26.21	Suelo arcilloso
LTE-02-2021	26.21	30.3	Andesita
LTE-02-2021	30.3	30.4	Veta
LTE-02-2021	30.4	101.9	Andesita
LTE-02-2021	101.9	102.14	Veta 1
LTE-02-2021	102.14	150	Andesita
LTE-03-2021	0	18.48	Suelo arcilloso

## ANEXO V. Importar Datos al Software Datamine

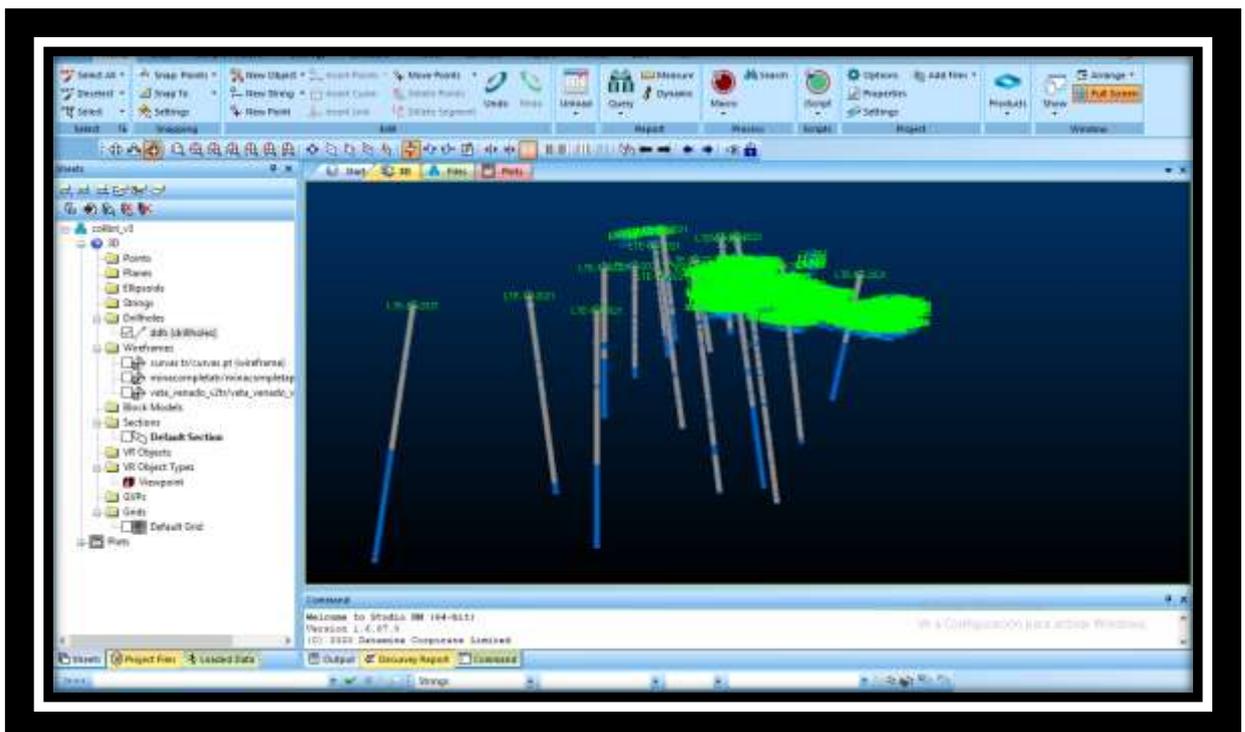


A) Importación de la tabla Collar de sondajes y muestras tomadas en las galerías. B) Importación de la tabla Assay de sondajes y muestras tomadas en las galerías. C) Importación de la tabla Lithology de sondajes y muestras tomadas en las galerías. D) Importación de la tabla Survey de sondajes y muestras tomadas en las galerías.

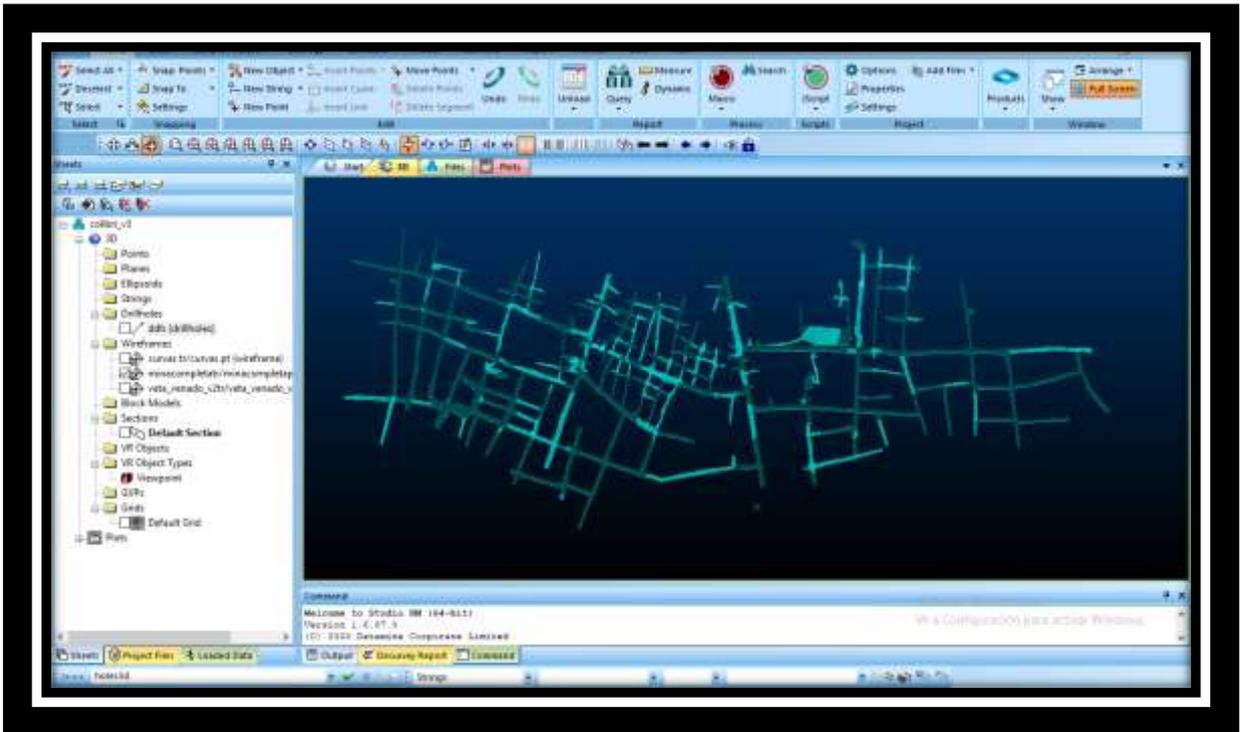
Para la visualización de los taladros debemos cargar las tablas en la opción holes3d.



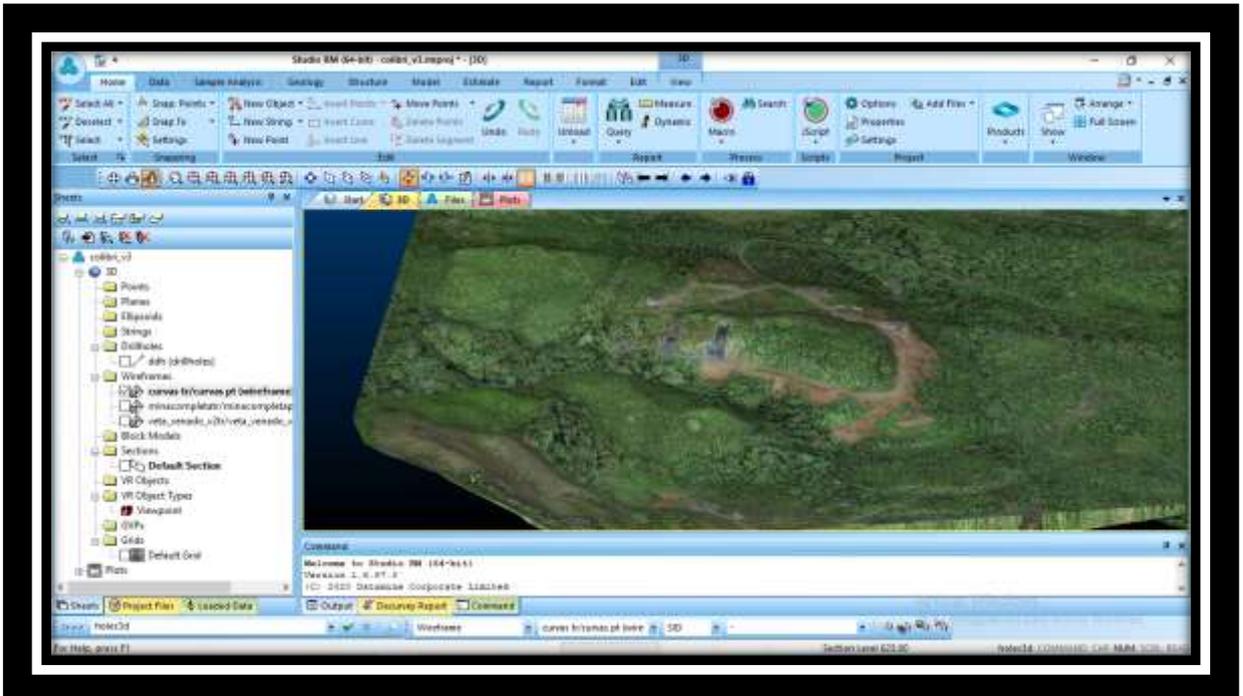
Visualización de los sondajes.



Se cargan las galerías y labores de explotación del área minera.

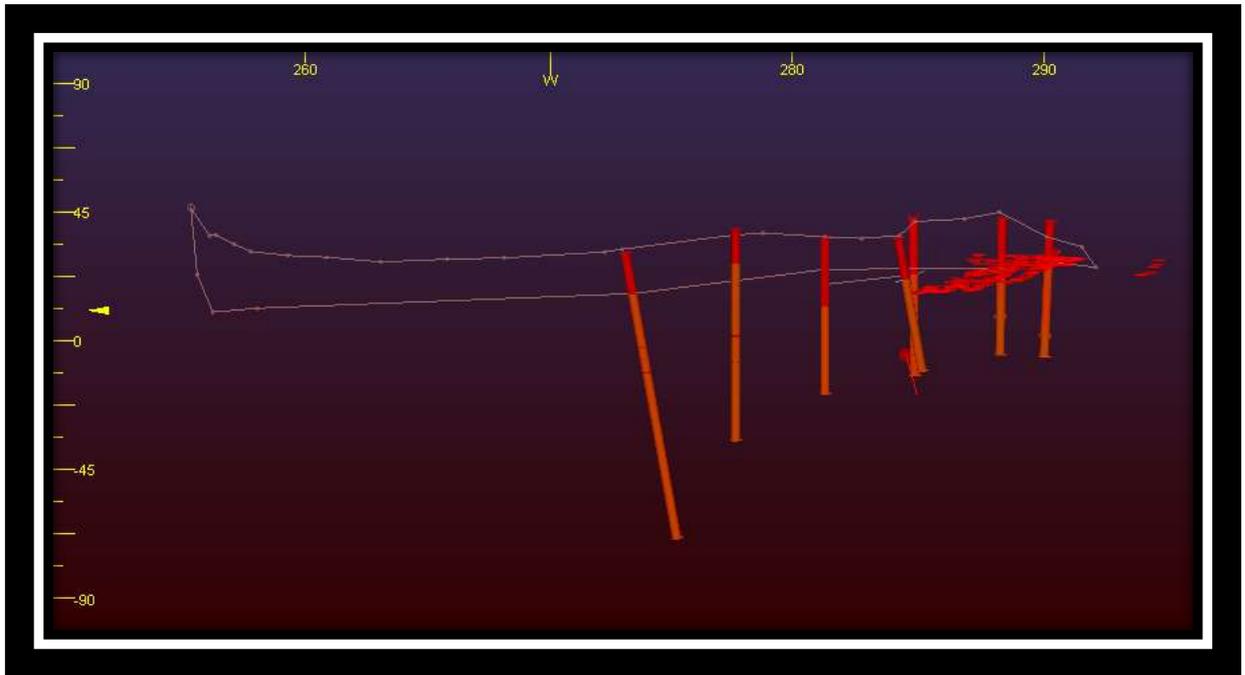


Se carga la topografía de superficie he imagen levantada con el equipo de drones.

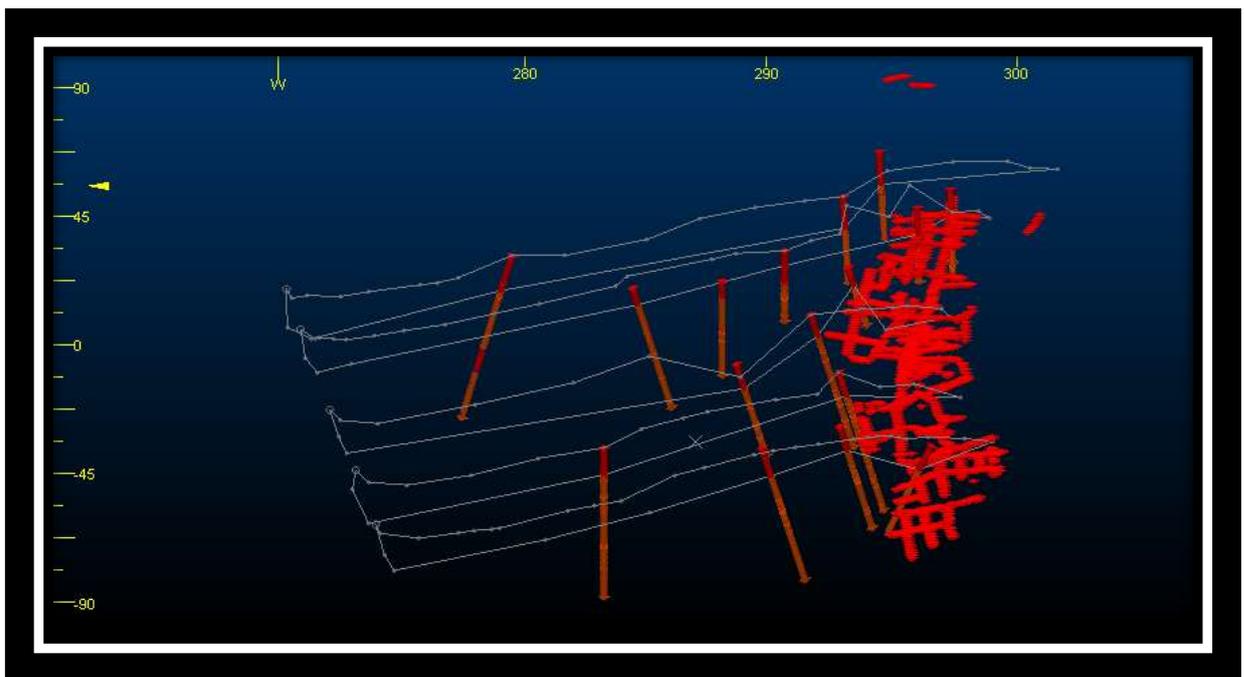


## ANEXO VI. Modelamiento Explícito de Litologías

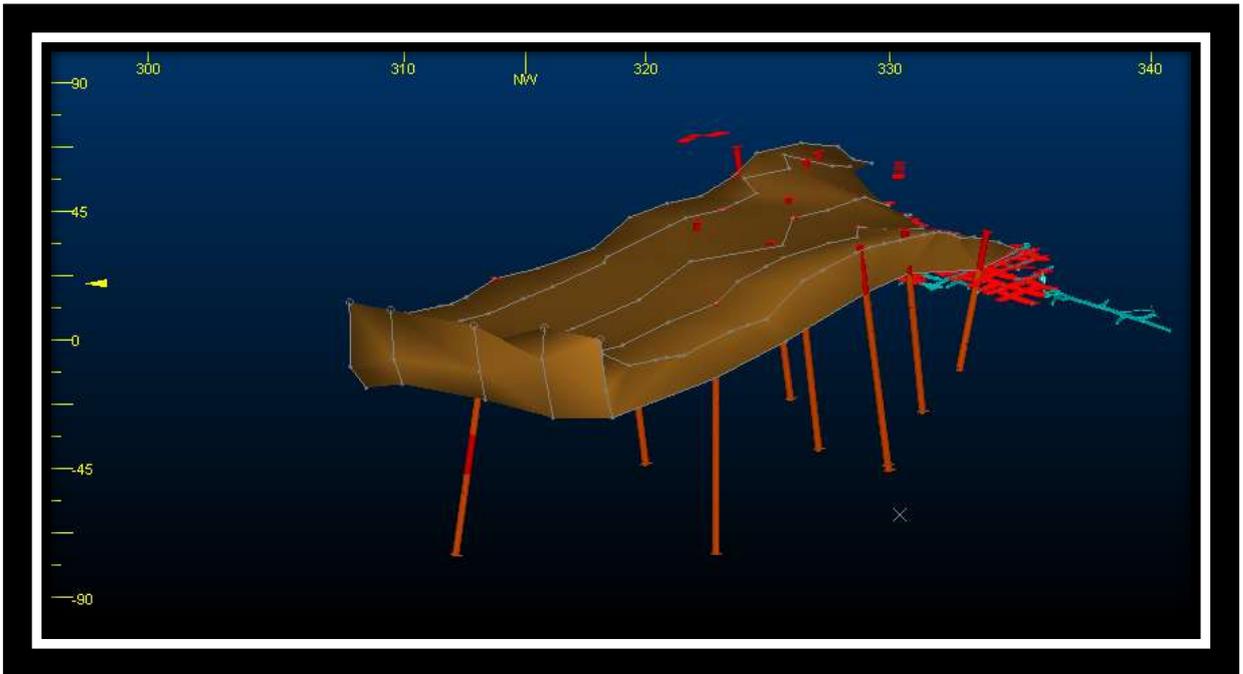
Creación de perfiles para litologías.



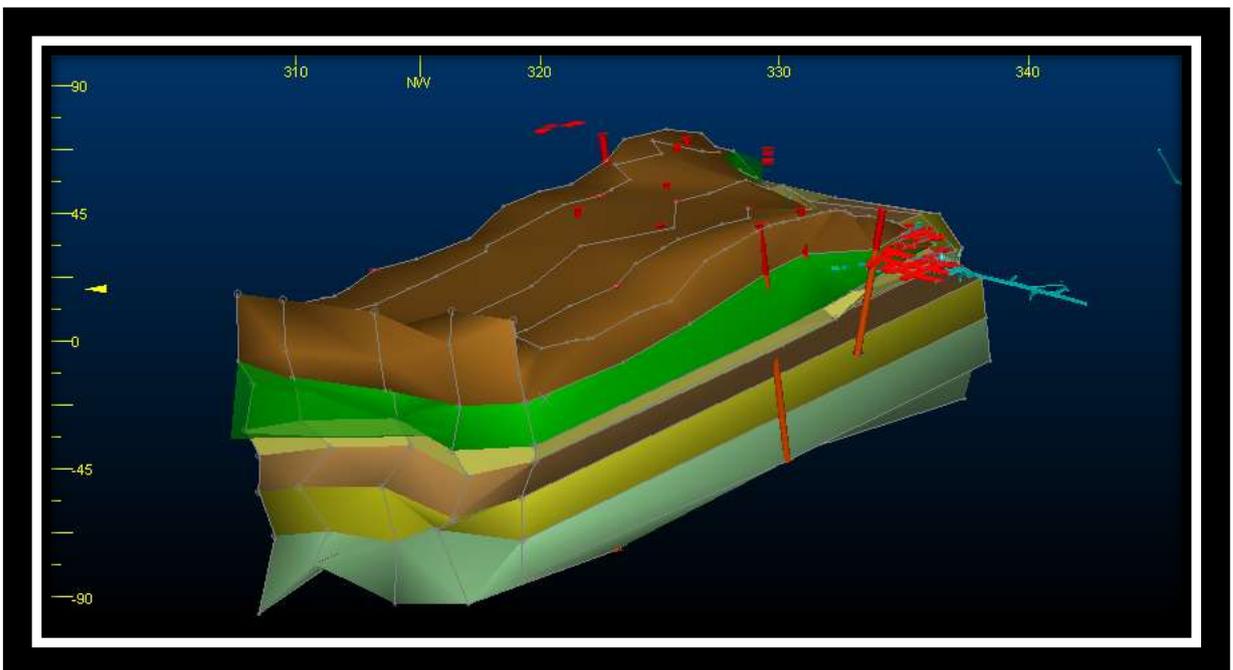
Creamos todos los strings en todas las secciones de los sondajes.



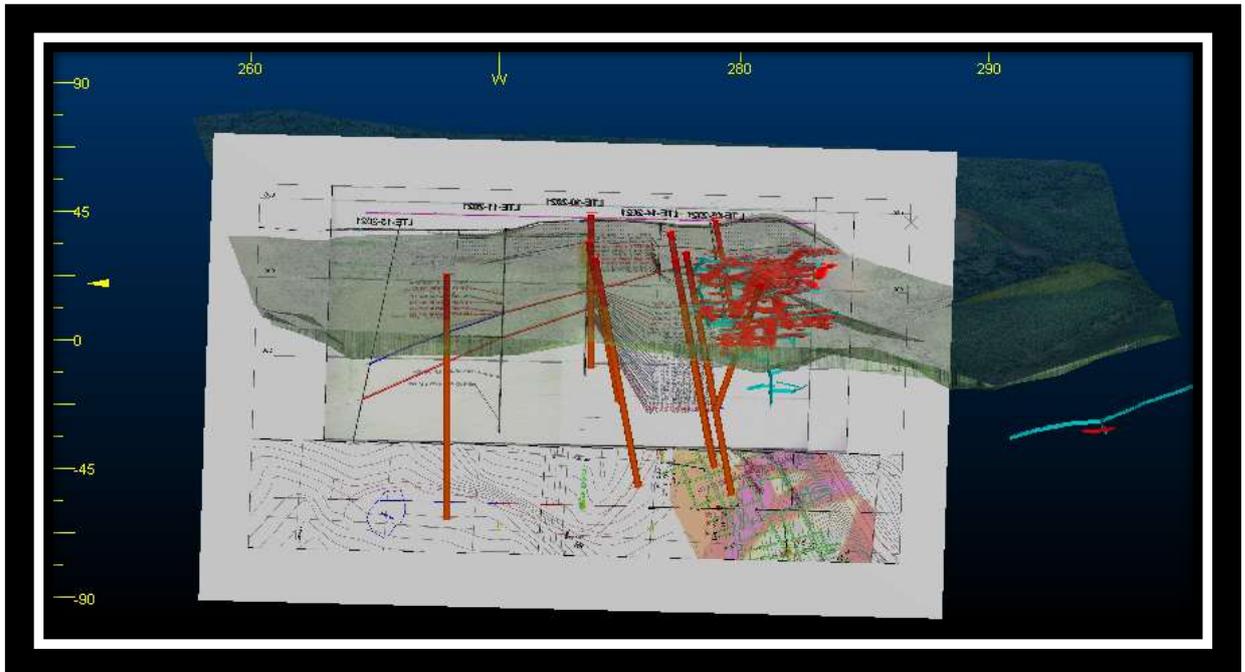
Unión de perfiles de una litología interpretada (String de litologías).



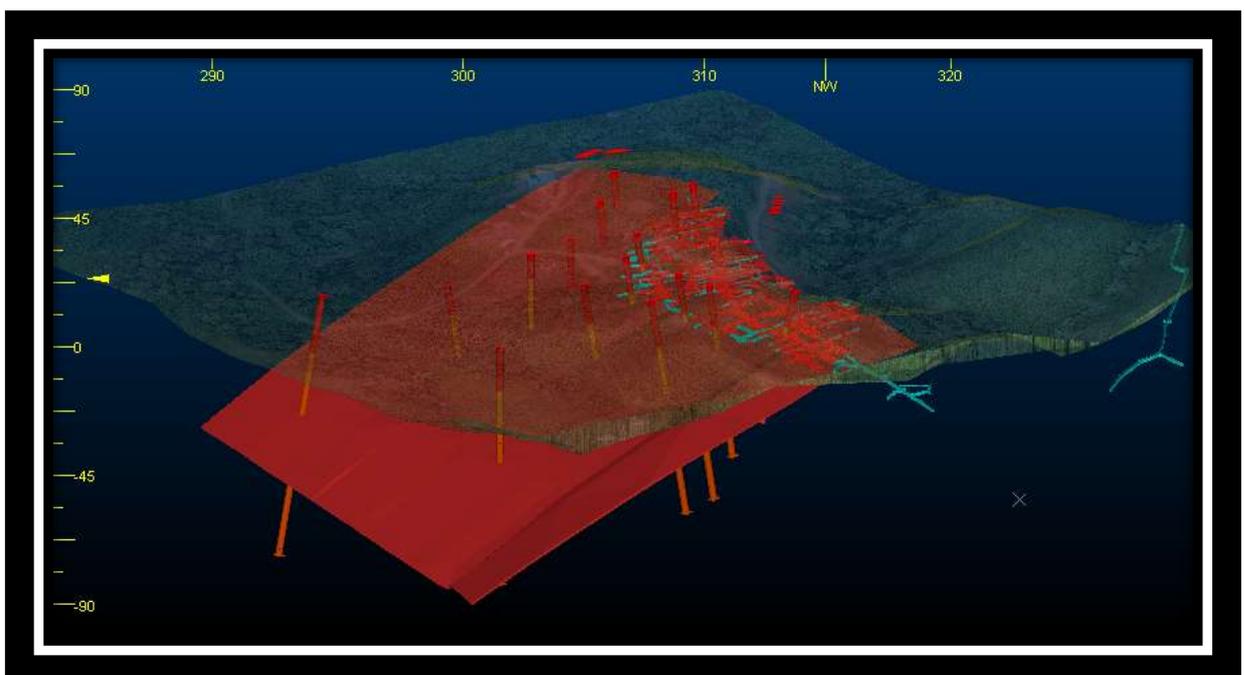
Unión de las litologías interpretadas del proyecto colibrí.



Secciones interpretadas para modelar la veta venado, siguiendo la orientación de las galerías.

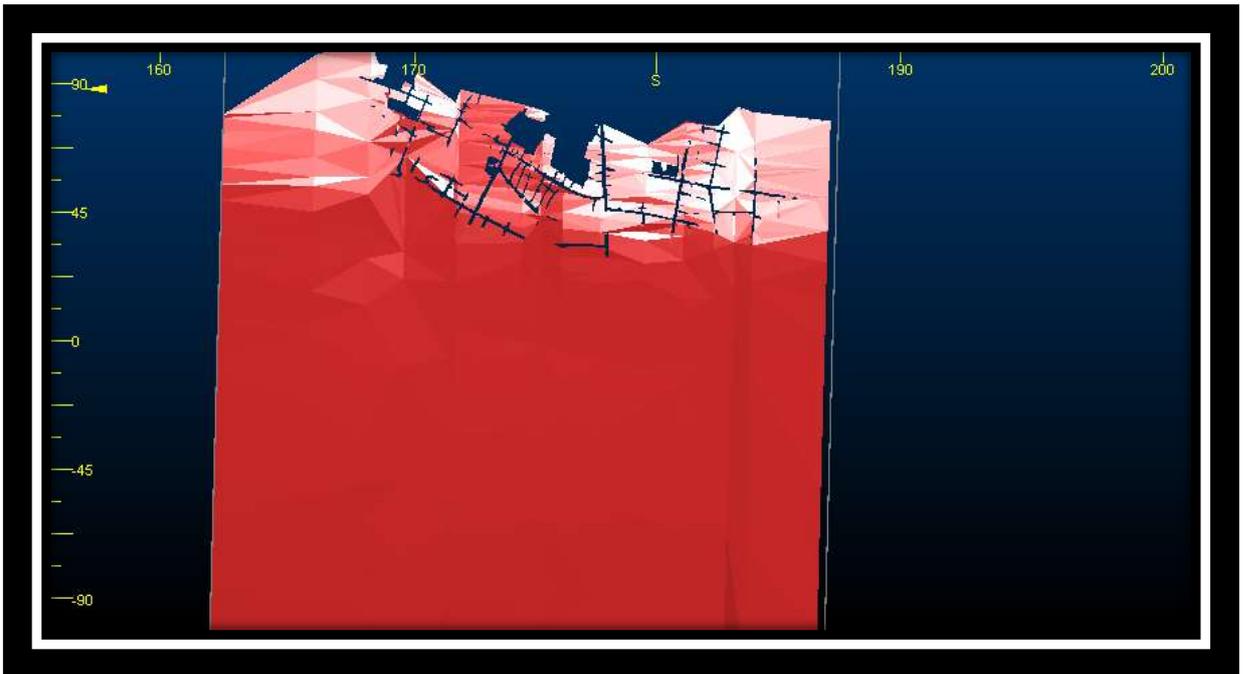


Modelamiento e interpretación de la veta con una inclinación de  $15^\circ$  y un rubo Este Oeste.



## ANEXO VII. Creación del Modelo de Bloques

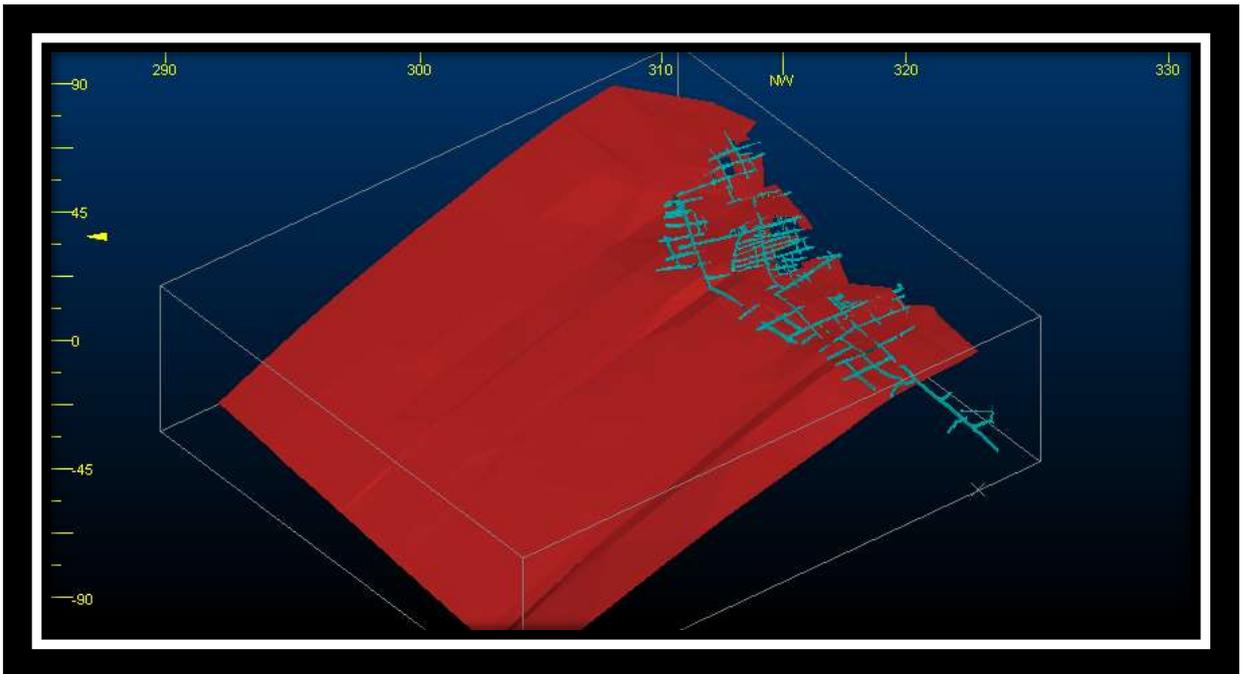
Se elimina el volumen de las galerías y de los bloques ya explotados.



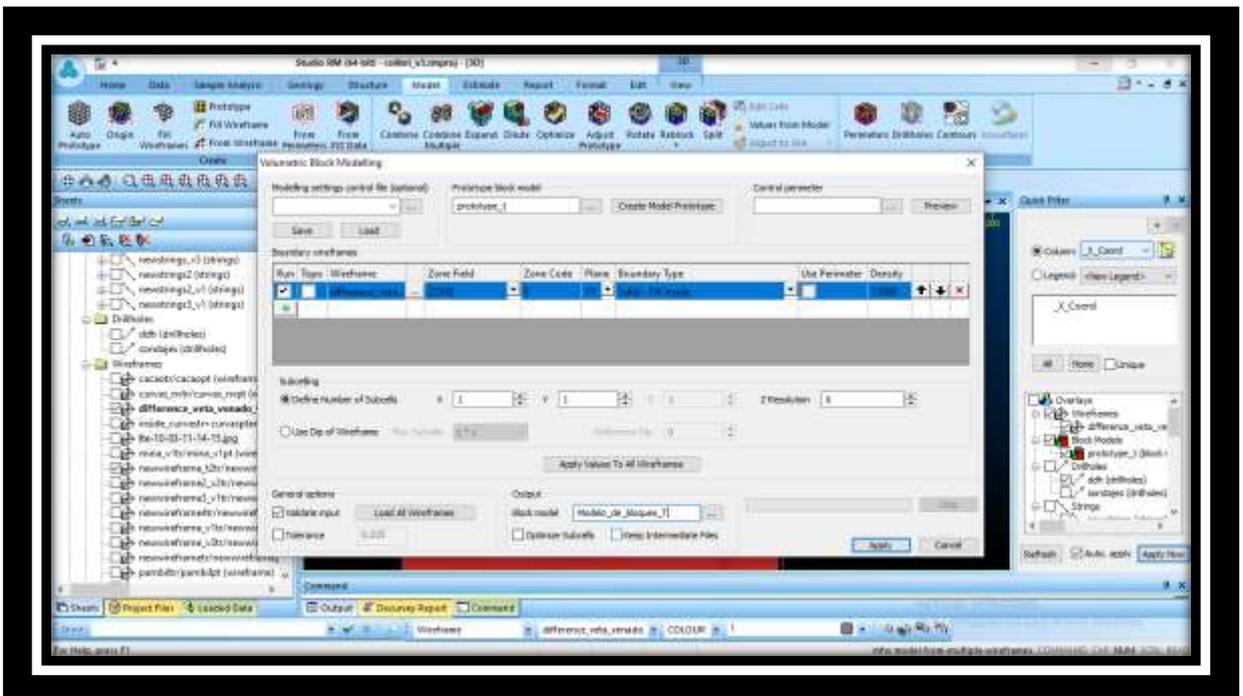
Parámetros para generar el prototipo, debemos llenar los parámetros con es la distancia de 1 metro en las tres dimensiones X, Y y Z, también se utiliza la veta modelada para generar un área para la estimación.



Prototipo generado con los parámetros anterior.

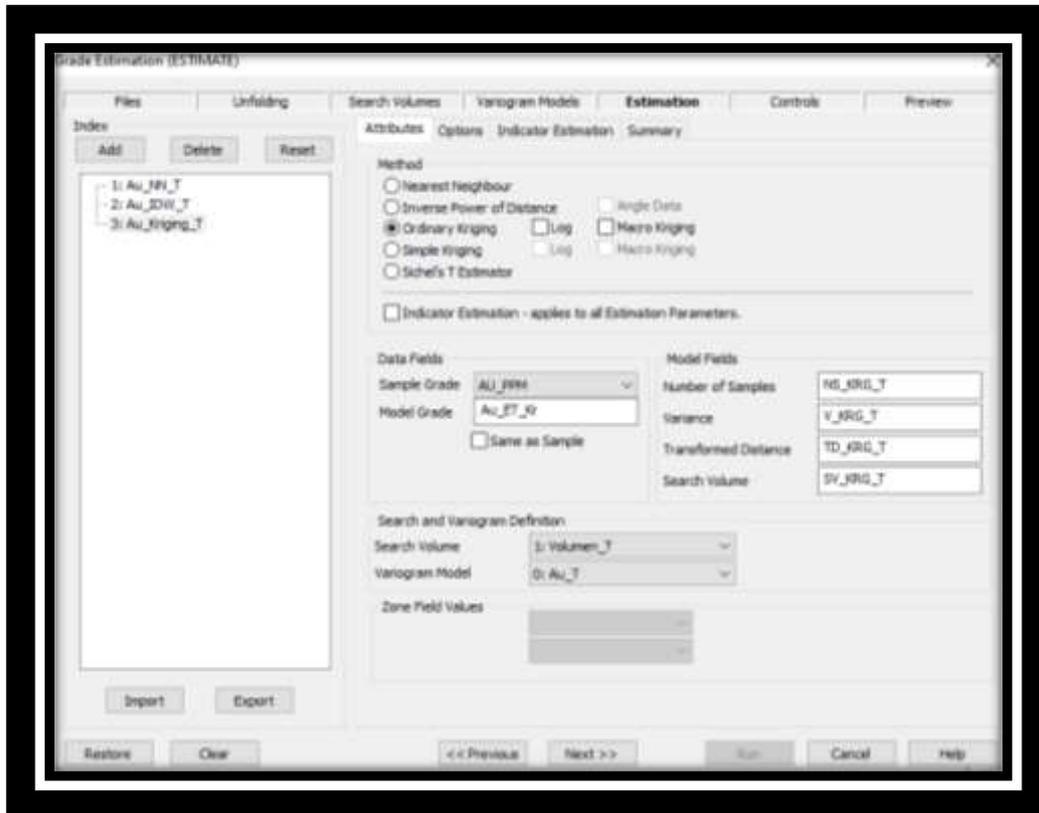


Parámetros para generar el modelo de bloques debemos poner en el prototipo del modelo de bloques para generarlo.

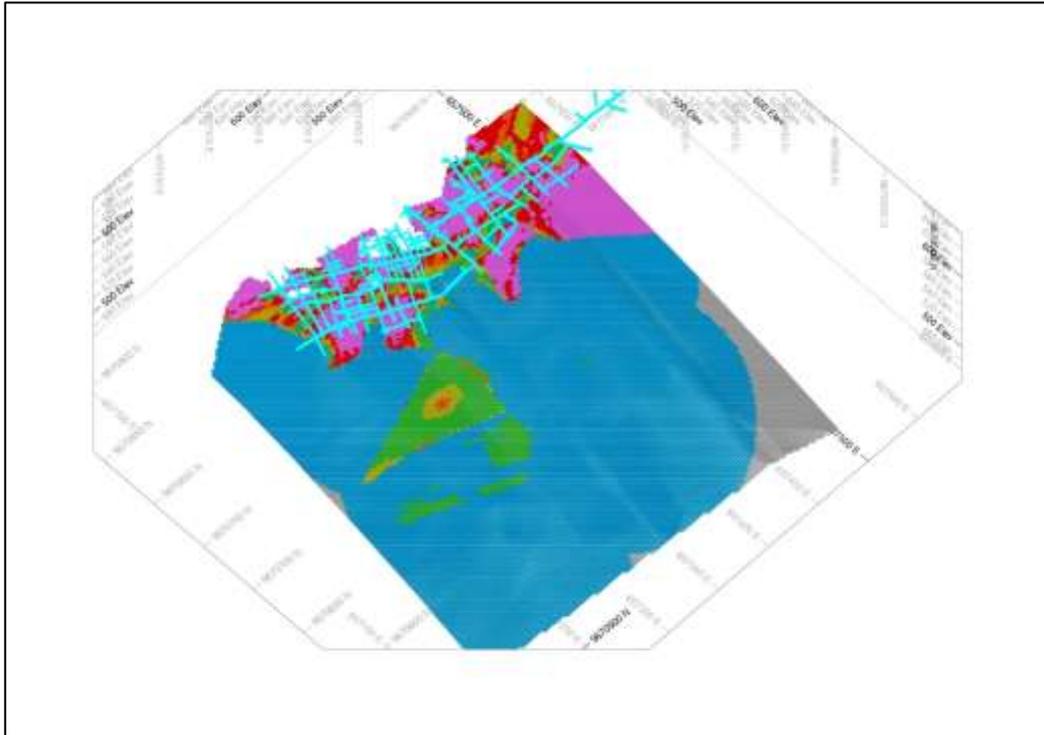


## ANEXO VIII. Interpolaciones

El programa Datamine nos permite realizar tres métodos de interpolaciones en el cual seleccionamos y añadimos en la barra de importación.



Interpolación de la veta venado con leyes en una vista en 3 dimensiones en esta imagen se observa la interpolación con el kriging ordinario.



Clasificación y reporte de recursos aquí insertamos nuestro bloque estimado para reportar la ley y tonelaje, aquí insertaremos el método por el cual queremos estimar.

