



Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

**Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos**

**Naturales no Renovables**

**Carrera de Ingeniería en Geología Ambiental y Ordenamiento**

**Territorial**

**Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo**

**Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y**

**Provincia Azuay.**

Trabajo de Titulación, Previo a la  
obtención del título de Ingeniera en  
Geología Ambiental y Ordenamiento  
Territorial.

*Autora:*

Lady Nathaly Aranda Torres.

*Director:*

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo. Mg, Sc.

*Loja - Ecuador*

**2024**

## Certificación

Loja, 13 de noviembre del 2024

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia Azuay**; previo a la obtención del título de **Ingeniero en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial**, de la autoría de la estudiante **Lady Nathaly Aranda Torres** con cedula de identidad **Nro. 1105155871**, una vez que el trabajo cumpla con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Autoría**

Yo, **Lady Nathaly Aranda Torres**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresarme a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cedula de identidad:** 1105155871

**Fecha:** Loja, 13 noviembre de 2024

**Correo electrónico:** lnarandat@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0969720639

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Lady Nathaly Aranda Torres**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia Azuay.**; como requisito para optar por el título de Ingeniera en Geología Ambiental y Ordenamiento Territorial, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de sus contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar los contenidos de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza del plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los once días del mes de noviembre del dos mil veinticuatro.



**Firma:**

**Cedula de identidad:** 1105155871

**Fecha:** 13 de noviembre del 2024

**Dirección:** Urbanización Samana

**Correo electrónico:** lnarandat@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0969720639

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Stalin Iván Puglla Arévalo, Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

A mis padres Fausto Aranda y María Torres, su confianza en mí y su constante aliento me han dado fuerzas para perseverar incluso en los momentos más difíciles. Su sabiduría y consejos siempre han sido mi guía. A mi querida hija Nohelia Salomé que ha sido una bocanada de aire en los momentos de duda y agotamiento. Y finalmente, a Santiago, mi compañero y confidente, tu paciencia y comprensión han sido un pilar fundamental durante esta travesía académica.

Hoy, al culminar esta etapa que es tan importante en mi vida, quiero dedicarles mi trabajo de titulación por creer en mí, ser mi mayor fuente de inspiración, ya que este logro también es suyo, y sin ustedes no sería posible. Los llevo en lo más profundo de mi corazón y espero que se sientan orgullosos de mí, así como yo me siento orgullosa de tenerlos a mi lado. Gracias por su amor incondicional y por ser el motor que impulsa mis sueños.

Con todo mi amor,

*Lady Nathaly Aranda Torres.*

## **Agradecimiento**

A mis queridos y amados padres, Fausto y María:

Su amor y apoyo incondicional han sido el motor que ha impulsado a superar los desafíos y ser perseverante en mi carrera universitaria. Desde el primer momento que comencé han estado a mi lado, alentándome y creyendo en mis habilidades. Han sido mi guía y un gran ejemplo, mostrándome el valor del esfuerzo y la dedicación y sacrificio.

A ti, Viviana mi querida hermana:

Gracias por tu amor, tu apoyo me ha dado la fuerza para seguir adelante cuando lo he necesitado.

Y a ti Santiago, mi amor:

No puedo expresar con palabras cuanto significas para mí ya que tu apoyo incondicional, paciencia y comprensión han sido un regalo invaluable a lo largo de este camino académico. Tus palabras de aliento, tus abrazos reconfortantes y sobre todo tu fe en mí han sido el motor que me ha ayudado alcanzar este logro.

A mis amigos más cercanos y en especial a mi querido amigos Alex Sarango gracias por su amistad sincera y sobre todo gracias por apoyo incondicional. Han sido un gran apoyo ya que me han animado y han celebrado cada pequeño logro en este largo camino.

Un especial agradecimiento a mi querido tutor de tesis, el Ing. Iván Puglla

Gracias por su orientación experta, su apoyo constante y su dedicación que han sido muy importantes para la culminación de esta investigación.

Un profundo agradecimiento al Grupo Bonanza que colaboro suministrando información para mi tesis la cual fue muy significativa para esta investigación.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí misma por no darme por vencida; A lo largo de este camino. Enfrente desafíos y momentos de incertidumbre, pero mi perseverancia y determinación me llevaron a superar cada obstáculo. Gracias por no rendirme y recordarme cada día a mí misma que soy capaz de lograr grandes cosas.

**Con profundo agradecimiento y amor.**

*Lady Nathaly Aranda Torres.*

## ÍNDICE

<b>Portada</b> .....	<b>i</b>
<b>Certificación</b> .....	<b>ii</b>
<b>Autoría</b> .....	<b>ii</b>
<b>Carta de autorización</b> .....	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>v</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. Título</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Resumen</b> .....	<b>2</b>
Abstract.....	3
<b>3. Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>Objetivos</b> .....	<b>5</b>
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos .....	5
<b>4. Marco Teórico</b> .....	<b>6</b>
4.1. Geología.....	6
4.1.1. Clasificación de las Rocas .....	6
4.1.2. Estructuras Geológicas. ....	6
4.2. Petrografía.....	8
4.2.1. Petrografía Macroscópica. ....	8
4.2.2. Petrografía Microscópica.....	8
4.3. Topografía.....	8
4.4. Morfología .....	8
4.5. Mineralogía.....	9
4.5.1. Caracterización de Minerales. ....	9
4.6. Yacimientos Minerales .....	9
4.6.1. Clasificación Genética de los Yacimientos Minerales. ....	9
4.6.2. Clasificación por Tipo de Yacimiento.....	10

4.7.	Clases de Alteraciones .....	10
4.7.1.	Alteración Potásica.....	10
4.7.2.	Alteración Propilítica.....	10
4.7.3.	Alteración Fílica o Sericítica.....	10
4.7.4.	Alteración Greisen.....	11
4.7.5.	Alteración Argílica.....	11
4.8.	Recursos Minerales.....	11
4.8.1.	Recurso Mineral Inferido.....	11
4.8.2.	Recurso Mineral Indicado.....	11
4.8.3.	Recurso Mineral Medido.....	11
4.9.	Sondeos.....	12
4.9.1.	Perforacion en la Superficie.....	12
4.9.2.	Perforacion Subterránea.....	12
4.9.3.	Mallas de Sondeo.....	13
4.10.	Logueo.....	13
4.10.1.	Registro del Logueo.....	13
4.11.	Modelamiento.....	14
4.12.	Aplicaciones de Informática para la Estimación de Recursos.....	14
4.12.1.	Software Leapfrog Geo.....	14
4.13.	Estimación de Recursos.....	15
4.13.1.	Métodos para la Estimación de Reservas.....	15
<b>5.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>17</b>
5.1.	Descripción del Área de Estudio.....	17
5.1.1.	Ubicación Geográfica.....	17
5.1.2.	Acceso.....	18
5.1.3.	Topografía.....	18



5.1.4.	Geomorfología.....	19
5.1.5.	Hidrología.....	20
5.1.6.	Contexto Geológico.....	21
5.2.	Materiales y Equipos .....	23
5.2.1.	Materiales de Campo.....	23
5.2.2.	Equipos de Oficina.....	23
5.2.3.	Software Empleados.....	23
5.3.	Metodología.....	24
5.3.1.	Primer Objetivo.....	24
5.3.2.	Segundo Objetivo.....	26
5.3.3.	Tercer Objetivo.....	30
<b>6.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>36</b>
6.1.	Características de los elementos geológicos del área de estudio.....	39
6.1.1.	Litología.....	39
6.1.2.	Estructuras.....	42
6.1.3.	Minerales.....	43
6.2.	Modelamiento Tridimensional.....	44
6.3.	Estimación de Recursos.....	48
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>49</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>51</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>53</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos .....</b>	<b>56</b>
	<b>Anexo 1:</b> Fotografías.....	56
	<b>Anexo 2:</b> Información de 24 sondajes realizados en el área minera Mollopongo.....	57
	<b>Anexo 3:</b> Mapa Topográfico .....	60
	<b>Anexo 4:</b> Mapa Geomorfológico.....	61

<b>Anexo 5:</b> Mapa Hidrológico.....	62
<b>Anexo 6:</b> Mapa Geología Regional .....	63
<b>Anexo 7:</b> Certificado de traducción del resumen .....	64

### Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> Coordenadas de la Concesión Minera Mollopongo.....	17
<b>Tabla 2:</b> Unidad geomorfológica del área de estudio. ....	19
<b>Tabla 3:</b> Datos generales de los 24 sondajes realizados por la empresa minera.....	26
<b>Tabla 4:</b> Datos de los sondajes más representativos del depósito mineral. ....	36
<b>Tabla 5:</b> Dimensiones determinadas a partir de distribución de los sondeos .....	45
<b>Tabla 6:</b> Estimación de Recursos y Potencial aurífero de la mina Mollopongo .....	48

### Índice de Figuras

<b>Figura 1. Tipos de fallas.....</b>	7
<b>Figura 2: Diaclasas.....</b>	7
<b>Figura 3:Pliegues .....</b>	8
<b>Figura 4: Formada correcta de sondeos (Moon, 2006).....</b>	12
<b>Figura 5: Paso de la perforación (Adaptado de DPMF) .....</b>	13
<b>Figura 6:Modelo de Ficha de Logueo.....</b>	14
<b>Figura 7: Ejemplo del Software Leapfrog .....</b>	14
<b>Figura 8: Método de los Bloques de Explotación .....</b>	16
<b>Figura 9: Ubicación Mina Mollopongo. ....</b>	17
<b>Figura 10:Acceso de la Zona de Estudio.....</b>	18
<b>Figura 11:Mapa de la Topografía Superficial de la Mina Mollopongo, código 0,23.....</b>	19
<b>Figura 12: Geomorfología del Área Minera Mollopongo, código 0,23 .....</b>	20
<b>Figura 13:Mapa hidrográfico del Cantón Camilo Ponce Enriques.....</b>	21
<b>Figura 14:Mapa de la Geología Regional de la Mina Mollopongo.....</b>	22
<b>Figura 15: Representación de los 24 sondajes realizados en el depósito mineral mediante el software Leapfrog .....</b>	25
<b>Figura 16:Sondajes de la Mina Mollopongo.....</b>	27
<b>Figura 17:Malla .....</b>	27
<b>Figura 18. Sólido del depósito de la Mina Mollopongo. ....</b>	28
<b>Figura 19: Diagrama de Flujo del procedimiento para crear el modelamiento geológico. ....</b>	29
<b>Figura 20: Data original vs data transformada. ....</b>	30

<b>Figura 21:</b> Variogramas del oro (Au).	31
<b>Figura 22:</b> Variograma de fondo de pozo para valores del Au.	31
<b>Figura 23:</b> Logaritmo de probabilidad del Au.	31
<b>Figura 24:</b> Inversa de distancia combinada.	32
<b>Figura 25:</b> Nueva inversa a la distancia.	33
<b>Figura 26:</b> Modelo de bloques final del depósito de estudio.	33
<b>Figura 27:</b> Cálculos.	34
<b>Figura 28 :</b> Formula para sacar el potencial económico.	34
<b>Figura 29:</b> Diagrama de Flujo del procedimiento para realizar la estimación mineral en el software LeapFrog.	35
<b>Figura 30:</b> Representación gráfica de los tres sondajes representativos.	36
<b>Figura 31:</b> Testigos del Sondaje MHD-02	37
<b>Figura 32:</b> Testigos del Sondaje MHD-03.	37
<b>Figura 33:</b> Testigos del Sondaje MHD-05.	38
<b>Figura 34:</b> Sección transversal geológica en dirección E-W.	39
<b>Figura 35:</b> Columna estratigráfica.	40
<b>Figura 36:</b> Testigo de Andesita.	41
<b>Figura 37:</b> Testigo de brecha hidrotermal con presencia de crackelamiento.	41
<b>Figura 38:</b> Falla y fractura en un testigo.	42
<b>Figura 39:</b> Vetillas tipo A y B.	43
<b>Figura 40:</b> Mineralización de pirita.	44
<b>Figura 41:</b> Forma del depósito.	45
<b>Figura 42:</b> Geometría del depósito a partir de la distribución de sondeos.	46
<b>Figura 43:</b> Modelo geológico 3D del depósito de la mina Mollopongo.	46
<b>Figura 44:</b> Modelo Mineral de área minera Mollopongo	47
<b>Figura 45:</b> Sección del Modelo de bloques del depósito de la mina Mollopongo.	47

## **1. Título**

Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código  
Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia Azuay.

## 2. Resumen

El presente trabajo de investigación denominado “Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia del Azuay” se centra en la caracterización geológica del área minera Mollopongo código catastral 023 contando con 60 hectáreas.

En esta investigación se realizó en base a la interpretación y geoprocesamiento de la información de 24 sondajes proporcionados por la empresa Grupo Bonanza. Dicha información contribuyo para realizar la caracterización de los elementos geológicos del área de estudio en cual se determinó que la roca predominante es la andesita, así mismo su geometría, estructuras como micro-fallas, fracturas, vetillas y su mineralogía como son el cuarzo piritita pirrotina, los cuales son indicadores principales de depósito pórfido.

Con la interpretación antes analizada se puede proceder a realizar un modelamiento tridimensional del depósito para dar paso al cálculo de la estimación de recursos en el cual se utilizó el método por bloques esto debido a su capacidad para indicar de mejor manera la distribución espacial de la mineralización con más detalle y precisión, ya que en este modelo procede a dividir el cuerpo mineralizado en una matriz tridimensional de bloques pequeños, los cuales contienen información importante sobre la ley minera, el volumen y la densidad.

De esta manera los resultados de este trabajo de titulación ayudaran a una comprensión integral de la geología de la zona de estudio, así mismo como la geometría del depósito y su potencial aurífero lo que dará paso para futuras etapas de explotaciones.

***Palabras claves:*** Caracterización geológica, modelamiento tridimensional potencial aurífero, estimación de recursos.

## **Abstract**

The current research work called “Estimation of the Gold Potential of the Mollopongo Mine Deposit Cadastral Code 023, in the Canton Camilo Ponce Enríquez, Province of Azuay” focuses on the geological characterization of the Mollopongo mining area cadastral code 023, with 60 hectares.

This research was carried out based on the interpretation and geoprocessing of the information from 24 boreholes provided by the company Grupo Bonanza. This information contributed to the characterization of the geological elements of the study area in which it was determined that the predominant rock is andesite, as well as its geometry, structures such as micro-faults, fractures, veinlets and its mineralogy such as quartz pyrite pyrrhotite, which are main indicators of porphyry deposit.

With the previously analyzed interpretation, it was possible to proceed to a three-dimensional modeling of the deposit to give way to the calculation of the resource estimate, in which the block method was used due to its capacity to better indicate the spatial distribution of mineralization with more detail and precision, since in this model the mineralized body is divided into a three-dimensional matrix of small blocks, which contain important information about the mineral grade, volume and density.

In this way, the results of this titling work will help to comprehensively understand the geology of the study area, as well as the geometry of the deposit and its gold potential, which will give way to future stages of exploitation.

**Keywords:** *Geological characterization, three-dimensional modeling, gold potential, resource estimation.*

### **3. Introducción**

La viabilidad de una empresa minera se basa fundamentalmente en la precisión con la que evalúan los recursos. Esto se logra a través de datos geológicos confiables, lo cual es esencial para proteger las inversiones y asegurar su rentabilidad a largo plazo.

El área minera Mollopongo con código catastral 023, se encuentra ubicado en el cantón Camilo Ponce Enríquez, provincia de Azuay, la cual es una región conocida por su riqueza mineral y potencial geológico significativo.

Así mismo adquirir un conocimiento acerca de la composición y disposición geológica que prevalece en la zona de estudio.

El cometido primordial de esta caracterización geológica radica en la obtención de información de los 24 sondajes realizados en el área de estudio. Estos datos desempeñarán un papel esencial en la elaboración de un modelo tridimensional representativo, la construcción de este modelo tridimensional se postula como un componente importante para la realización de la estimación de recursos minerales.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Estimar el potencial aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia Azuay.

### **Objetivos específicos**

- Caracterizar los elementos geológicos del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023.
- Ejecutar un modelamiento geológico tridimensional del yacimiento.
- Calcular la estimación del potencial aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023.



## 4. Marco Teórico

### 4.1. Geología

(Tarbuck y Lutgen, 2005) definen a la geología como una ciencia que se basa en observaciones y trabajos realizados en el campo. Además, la geología se desarrolló en el laboratorio con la finalidad de realizar diferentes estudios y análisis que permitan comprender una gran variedad de procesos que suceden en la Tierra. Generalmente la geología requiere la comprensión y aplicación de conocimientos, así como principios de física, química y biología.

Es importante destacar que la geología se complementa con diferentes ramas como la geofísica, tectónica, geología estructural, estratigrafía, geología histórica, hidrología, meteorología, geomorfología, oceanografía, edafología, cristalografía, espeleología, entre otras.

#### 4.1.1. Clasificación de las Rocas

Según Tarbuck y Lutgen (2005) la clasificación de las rocas por su origen se clasifican de la siguiente manera:

- ❖ **Rocas Ígneas:** Son rocas de grano grueso y se forman muy por debajo de la superficie terrestre, estas se denominan rocas plutónicas.
- ❖ **Rocas Sedimentarias:** Es un material creado por la erosión de rocas preexistentes, en el cual los minerales se transforman químicamente en nuevas sustancias más solubles en agua.
- ❖ **Rocas Metamórficas:** Estas rocas se producen a partir de rocas ígneas, sedimentarias o incluso otras rocas metamórficas. Por tanto, toda roca metamórfica procede de una roca madre, a partir de la cual se formó (Tarbuck y Lutgen, 2005).

#### 4.1.2. Estructuras Geológicas.

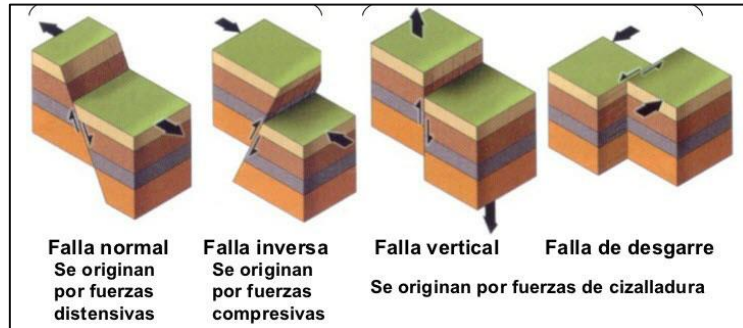
Las estructuras de la corteza terrestre se crean mediante movimientos geodinámicos que en su mayoría son producidos por la tectónica de placas (Geoxnet, 2019).

##### ❖ Fallas

Según (Tarbuck y Lutgen, 2005), las fallas son grietas producidas en la corteza terrestre, dando como resultado importantes desplazamientos.

Considerando su movimiento relativo existen cuatro tipos de fallas: falla normal, falla inversa, falla vertical y falla de desgarre (ver Figura 1).

*Figura 1. Tipos de fallas.*

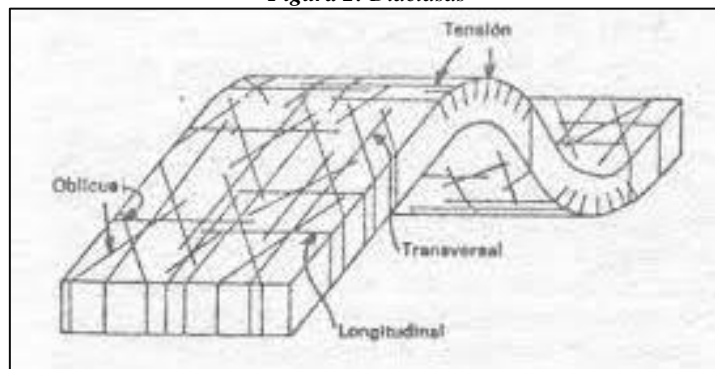


*Fuente:* (Tarbuck y Lutgen, 2005).

### ❖ *Diaclasas*

Griem (2020) expresa que las diaclasas son planos de falla en los cuales no se ha producido un desplazamiento significativo entre dos bloques. Sin embargo, se pueden presentar deformaciones discontinuas o frágiles dentro del rango de observaciones detalladas.

*Figura 2: Diaclasas*

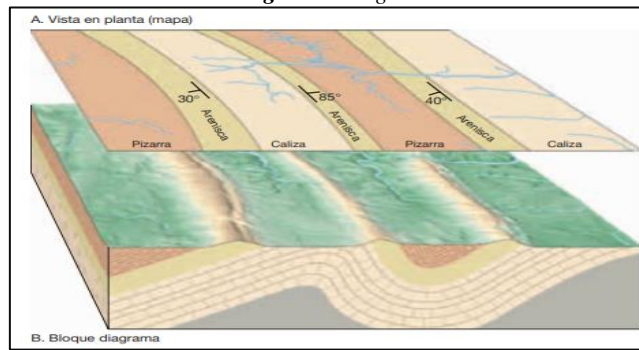


*Fuente:*(Griem, 2020).

### ❖ *Pliegues*

Generalmente estas estructuras se forman mediante materiales con comportamiento plástico o deformable, como las lutitas, limolitas y areniscas (Tarbuck y Lutgen, 2005).

**Figura 3: Pliegues**



*Fuente: (Tarbuck y Lutgen, 2005).*

## **4.2. Petrografía**

Caballero (2018) expresa que la petrografía se refiere a las características que poseen las rocas, tales como campo geométrico, rasgos petrográficos, composición química, composición mineral y evolución. Además, explora las diferentes etapas de formación de las rocas. La petrografía se emplea para establecer las condiciones geológicas propicias para la exploración de minerales, el descubrimiento de hidrocarburos y la aplicación en peligros geológicos. Adicionalmente, las minas subterráneas pueden contribuir con la información sobre litologías metálicas y no metálicas relacionadas con diversos tipos de rocas.

### **4.2.1. Petrografía Macroscópica.**

En este análisis se realiza para clasificar e identificar la roca, para lo cual se emplean herramientas básicas como lupa, lápiz de dureza (rayador), ácido clorhídrico (HCl) al 10%, iman y materillo geológico (GeologiaWEB, 2021).

### **4.2.2. Petrografía Microscópica.**

Es un análisis más detallado, por lo cual presenta más ventajas puesto que se pueden analizar otras propiedades ópticas más complejas: paleocroísmo, índices de refracción, clivaje, colores en luz natural y polarizada, entre otras (GeologiaWEB, 2021).

## **4.3. Topografía**

Arturo et al (2017) manifiestan que la posición de puntos sobre la superficie terrestre, se determina mediante mediciones de distancias, ángulos y elevaciones para lo cual se suelen emplear diversos equipos como teodolito, estación total entre otros.

## **4.4. Morfología**

Según Padilla (2010), comprende el estudio de la superficie terrestre a partir de las formas del relieve terrestre y su geomorfología. Existen tres factores importantes a

considerar como el tipo de roca, tipo de meteorización y los movimientos tectónicos. Sin embargo, otros factores también afectan la superficie de forma importante, como el clima y la vegetación.

#### **4.5. Mineralogía**

La mineralogía se ocupa del estudio de los minerales, es decir la génesis, estructura y composición de las concentraciones minerales económicamente viables (Kraus et al., 1967).

##### **4.5.1. Caracterización de Minerales.**

Para efectuar una caracterización mineralógica adecuada es necesario comprender la complejidad que representa en los diferentes números de minerales y sus variaciones existentes, por tanto se requiere un extenso conocimiento de los minerales más importantes (Aragón, 2021, p. 21).

#### **4.6. Yacimientos Minerales**

Higueras (2020) expresa que el origen de los yacimientos minerales puede ser tan variado como los procesos geológicos, puesto que casi cualquier proceso geológico puede dar origen a un yacimiento mineral.

##### **4.6.1. Clasificación Genética de los Yacimientos Minerales.**

Smirnov (1967) determino los depósitos minerales en un cuadro tectónico-formacional y de esta manera se logró clasificarlos mediante su génesis en:

- ❖ ***Yacimientos Minerales Endógenos:*** Pueden ser yacimientos magmáticos, pegmatíticos, carbonatíticos, skarns, hidrotermales albita-greisen, sulfuros masivos y se encuentran en zonas estructurales geológicas profundas, relacionadas con procesos geoquímicos internos de la tierra.
- ❖ ***Yacimientos Minerales Exógenos:*** Se forman mediante la descomposición de rocas o de material preexistente, algunas veces de agregado material volcánico submarino o cercano a las costas, como puede ser sedimentarios, intemperismo y placer.
- ❖ ***Yacimientos Metamorfogénicos:*** Estos se originan durante los procesos metamórficos (*Clasificación de yacimientos minerales, 2017*).

#### 4.6.2. *Clasificación por Tipo de Yacimiento.*

- ❖ **Depósitos Masivos:** Son depósitos que poseen una extensión significativa, que puede llegar a ser horizontal como vertical, con referencia a la mineralización esta se llega a distribuir de forma uniforme.
- ❖ **Depósitos Estratiformes:** Se forman paralelamente a los planos de estratificación de la roca encajante, además están constituidos por rocas sedimentarias.
- ❖ **Vetas:** Son las áreas donde se localiza la mineralización, presentan gran longitud con ángulo de buzamiento pronunciado, además pueden ser angostas de poca potencia (menor de 3 m) o anchas de gran potencia (mayor de 3 m).
- ❖ **Cuerpos Lenticulares:** Estos cuerpos poseen una forma de lente que se originan de forma aislada a las zonas mineralizadas.
- ❖ **Depósitos Tabulares:** Cuerpos masivos de forma cilíndrica de diferentes dimensiones, con un desarrollo vertical mucho mayor que su extensión horizontal.

#### 4.7. **Clases de Alteraciones**

##### 4.7.1. *Alteración Potásica.*

Ospino (2021) manifiesta que esta alteración se produce cuando las plagioclasas y los minerales máficos se encuentran a temperaturas que oscilan entre 4500° y 600° C. Los ensamblajes Feld K-Bio-Qtz, Feld K-Chl y Feld K-biotita-magnetita suelen estar acompañados por una variedad de minerales como rutilo, albita, sericita, anhidrita y apatito. Debido a las diminutas inclusiones de hematita, los feldespatos potásicos de la zoma potásica suelen ser rojizos.

##### 4.7.2. *Alteración Propilítica.*

Se presentan como un halo gradual y distal que tiene cerca de una alteración potásica. Se encuentran minerales graduados desde actinolita y biotita, así como epidota en la zona propilítica. Además se observan conexiones principales como epidota, clorita, albita y carbonatos progresando hacia áreas con una mayor concentración de clorita y zeolitas hidratadas y cristalizadas a bajas temperaturas (Ospino, 2021).

##### 4.7.3. *Alteración Fílica o Sericítica.*

Estas presentan micas como la paragonita, estableciéndose como un mineral dominante y otras micas como la roescolita y fuchsita (Ospino, 2021).

#### **4.7.4. Alteración Greisen.**

Se muestran como láminas de granito que se colocan internamente en formaciones sedimentarias arenosas y arcillosas que previamente se habían asociado con minerales de Sn y W. Esta alteración está relacionada con facies neumatolíticas de rocas graníticas y ocurre a temperaturas superiores a 250° C (Ospino, 2021).

#### **4.7.5. Alteración Argílica.**

Según Rose y Burt (1979) esta alteración se caracteriza por presentar minerales arcillosos como el caolín con diferentes cantidades de cuarzo. Cambia gradualmente hacia las partes internas en zonas fílicas y hacia alteraciones propilíticas al tener metasomatismo de H<sup>+</sup> intenso y lavados con un pH muy ácido.

Esta modificación es muy beneficiosa como guía para la mineralización y sus ambientes principales son los sistemas epitermales y los pórfidos (Ospino, 2021).

### **4.8. Recursos Minerales**

Es una concentración natural de algún elemento o compuesto de la corteza terrestre que puede extraerse o procesarse utilizando las herramientas tecnológicas actuales. Los recursos minerales se dividen en metálicos o no metálicos según permitan la extracción o procesamiento de unos o otros tipos de elementos.(Berenguer, 2020)

#### **4.8.1. Recurso Mineral Inferido.**

Son recursos en los cuales se puede estimar el tonelaje, ley y contenido del mineral pero con un bajo nivel de confianza, ya que no contiene suficiente evidencia geológica para verificar la continuidad geológica ni la ley del mineral.(Geoxnet, 2016)

#### **4.8.2. Recurso Mineral Indicado.**

Son recursos en los cuales las cantidades, calidades, densidades, forma, contenidos y características físicas son estimadas con suficientes confianzas como para permitir la aplicación de factores modificantes. La evidencia geológica deriva de la exploración adecuadamente detallada y confiable. Los recursos indicados pueden ser convertidos a reservas probables.(Geoxnet, 2016)

#### **4.8.3. Recurso Mineral Medido.**

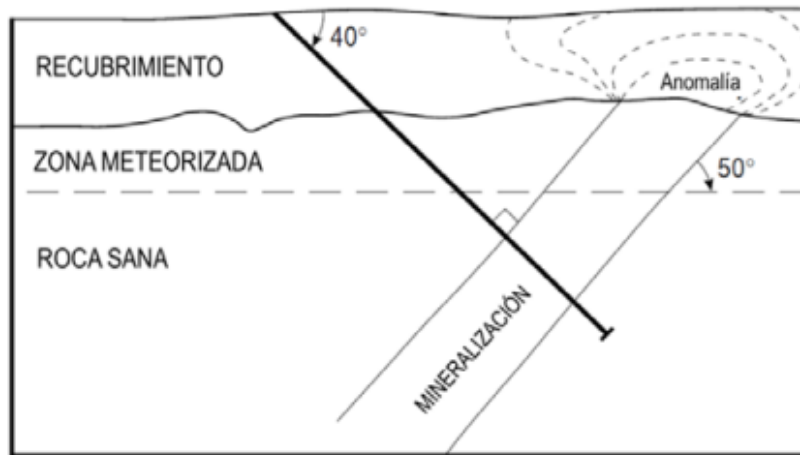
Los recursos medidos son aquellos que se puede estimar con un alto nivel de confianza en el tonelaje, su densidad, forma, características físicas, ley y contenido mineral. Además, permite la aplicación de factores modificantes con suficiente detalle

para soportar un plan minero y la evaluación de la viabilidad económica del depósito. (Geoxnet, 2016)

#### 4.9. Sondeos

Tienen como propósito principal determinar la presencia o ausencia de zonas mineralizadas y así poder obtener una idea preliminar de la ley y tamaño que existen en las zonas, con esto poder realizar una estimación de minerales existentes. (Castilla Gómez y Herrera Herbert, 2012).

*Figura 4: Formada correcta de sondeos (Moon, 2006)*



*Fuente: (Castilla Gómez y Herrera Herbert, 2012)*

Según Castilla Gómez y Herrera Herbert (2012) la elección del tipo de sondeo y diseño de la campaña depende de estos factores:

- ❖ Geometría del cuerpo mineralizado.
- ❖ Calidad necesaria de las muestras.
- ❖ Profundidad y diámetro de perforación.
- ❖ Accesibilidad de la maquinaria.
- ❖ Energía disponible.

##### 4.9.1. Perforación en la Superficie.

Los sondeos de superficie se perforan de forma inclinada, de 30° a 60°, en comparación con la vertical. Un sondeo inclinado dará en yacimientos horizontales un volumen de muestra superior al del espesor real, por lo que deberá ser cuidadoso con la corrección de la dimensión obtenido. (Castilla Gómez y Herrera Herbert, 2012)

##### 4.9.2. Perforación Subterránea

Castilla Gómez y Herrera Herbert (2012) nos dice que los sondeos subterráneos desde las labores mineras pueden ser verticales, inclinados y horizontales, además de es

que las sondas deben estar habilitadas para perforar en todas las direcciones ya que polivalencia del equipo es una clave importante.(ENAMI, 2016, p. 7)

*Figura 5: Paso de la perforación (Adaptado de DPMF)*



**Fuente:**(Castilla Gómez y Herrera Herbert, 2012)

#### **4.9.3. Mallas de Sondeo.**

Según Castilla Gómez y Herrera Herbert (2012) las mallas pueden ser rectangulares, triangulares o poligonales y las más utilizadas son los dos tipos de mallas antes mencionada que son las rectangulares y triangulares ya que presentan mayor facilidad en los trabajos de evaluación de reservas.

#### **4.10. Logueo.**

Son importantes para los proyectos de exploración y en minas en funcionamiento, tiene como propósito primordial la recolección de información de manera descriptiva y lo más precisa posible, sobre las características de la roca extraída.(Maldonado, 2020)

##### **4.10.1. Registro del Logueo**

Se tiene que tener en cuenta el formato en el que se realizara las anotaciones de la información posible de manera que sea fácil de manejar y pueda ingresar a la base de datos. La hoja de registro geológico está dividida en dos bloques: bloque superior y bloque inferior. (Maldonado, 2020)

Según Maldonado (2020) la información para hacer un registro de logueo es: *geólogo, azimut, inclinación, UTM este, UTM norte, elevación, fecha de inicio, fecha de terminación, profundidad total, taladro N°.*



**Figura 6: Modelo de Ficha de Logueo.**

REGISTRO GEOLÓGICO															SONDAJE N°.....					
UBICACIÓN										ELEVACIÓN					LOGGEO		INDIC. (CÓDIGO)			
TARJETE										AZIMUT					ESCALA 1:100		FINES (CÓDIGO)		FECHA	
NORTE										ROTAJÓN					OBSERVACIONES		MUESTREO Y ENSAYE QUÍMICO			
PERFORACIÓN		SECCIONES ESTRECHAS		LITOLÓGICA		ALTERACION		LABORATORIO		SUELOS		MUESTREO Y ENSAYE QUÍMICO								
DE	AL	TIPO	ESPESES	DESCRIPCIÓN	ESPESES	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14							

*Nota:* Modelo detallado de cómo se debe llevar un registro para realizar un buen logueo. **Fuente:**(Maldonado, 2020)

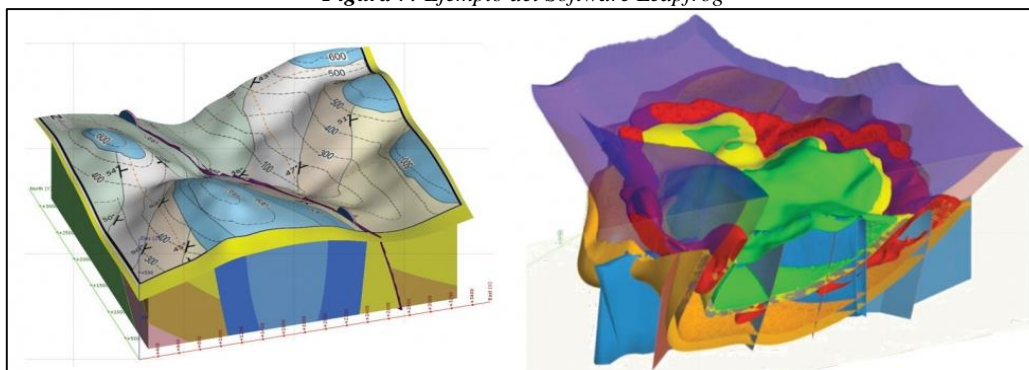
#### 4.11. Modelamiento

La modelación de un yacimiento se divide en dos etapas: una primera, que se centra en la definición de la morfología (geometría, forma) de las mineralizaciones y de los contenidos de cada una de ellas, y una segunda, en la que se evalúa la cantidad de reservas recuperables y su valor actual y futuro con el propósito de analizar la rentabilidad de su extracción y comercialización.(Berenguer, 2020)

#### 4.12. Aplicaciones de Informática para la Estimación de Recursos

##### 4.12.1. Software Leapfrog Geo.

**Figura 7: Ejemplo del Software Leapfrog**



**Fuente:** (Leapfrog Geo Developments y el futuro del modelado 3D | Consultoría SRK, 2020)

Se trata de una herramienta fundamental para disminuir el peligro asociado al modelamiento geológico y es respaldada por los principales mineros y exploradores, una ventaja clara cuando el tiempo es reducido y las decisiones deben fundamentarse en la información más reciente, su interfaz sencillo de uso les brinda la oportunidad de explorar modelos tridimensionales en profundidad, para contemplar la visión de los modelos tridimensionales. Los usuarios no solo pueden apreciar y mejorar su comprensión, sino que también pueden tomar decisiones a largo plazo, como identificar la necesidad de recopilar más datos, con una visualización 3D ágil e intuitiva, el modelador puede comprender y comprender con mayor claridad. (*Escuela de Geología Profesional, 2020*)

#### **4.13. Estimación de Recursos**

Es un proceso continuo que comienza con la exploración y la recopilación de información, seguida de la interpretación geológica y la estimación de recursos, se debe tener en cuenta factores modificantes como son: mineros, metalúrgicos, ambientales, legales, etc. (*Berenguer, 2020*)

##### ***4.13.1. Métodos para la Estimación de Reservas.***

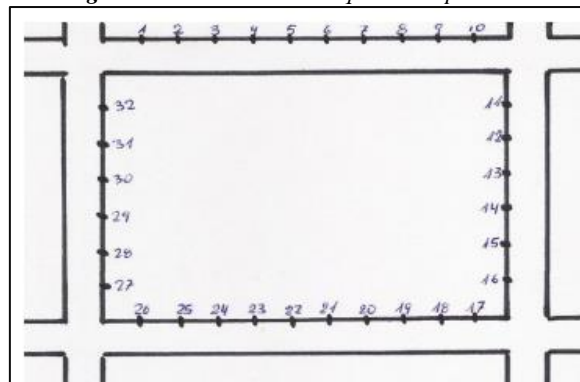
Para la realización de estimación de reservas de un yacimiento, es primordial tener un alto conocimiento de la zona de estudio el cual es ayuda a saber las toneladas de mineral útil que se encuentran presentes, además de eso es importante conocer la morfología del yacimiento, de esta manera se facilitara la elección para un método de explotación que sea optimo e idóneo.

Según López Jimeno y Bustillo Revuelta (1997) el método clásico más utilizado en la estimación de recurso de un yacimiento mineral es:

❖ **Método de los Bloques de Explotación.**

Se divide en bloques para calcular la potencia y el contenido promedio de cada bloque, el promedio del bloque se calcula usando la media aritmética de las leyes si los grados son aproximadamente iguales; de lo contrario, las leyes se ponderan por grados. La ventaja del método es la simplicidad del diseño y la posibilidad de utilizar los resultados directamente en el diseño y planificación de la extracción de recursos minerales útiles. (Berenguer, 2020)

**Figura 8: Método de los Bloques de Explotación**



**Fuente:**(Berenguer, 2020)

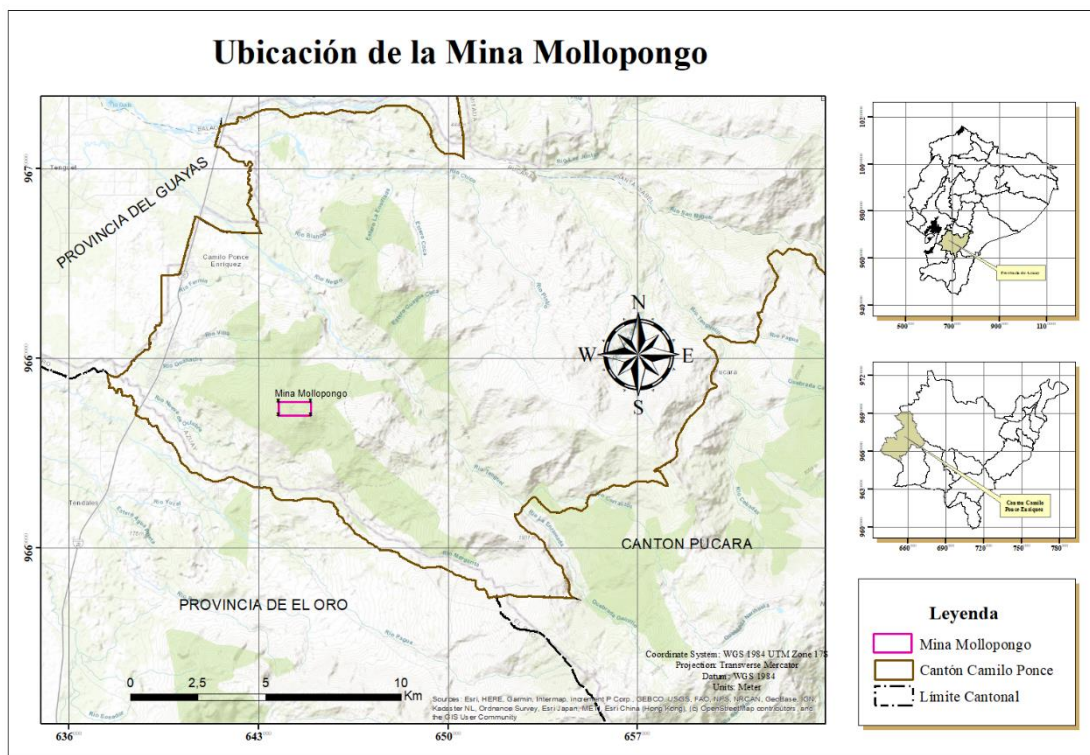
## 5. Metodología

### 5.1. Descripción del Área de Estudio.

#### 5.1.1. Ubicación Geográfica.

La concesión minera “Mollopongo”, se encuentra ubicada al Este del cantón Camilo Ponce Enríquez, a una altura aproximada de 962 m.s.n.m, con el código catastral 023, su principal interés es el oro, actualmente se encuentra inscrita y en fase de exploración y explotación. Cuenta con una superficie de 60 hectáreas y su régimen es de pequeña minería.

*Figura 9: Ubicación Mina Mollopongo.*



Los vértices de la concesión minera Mollopongo, se encuentran en coordenadas UTM WGS 84, Zona 17S.

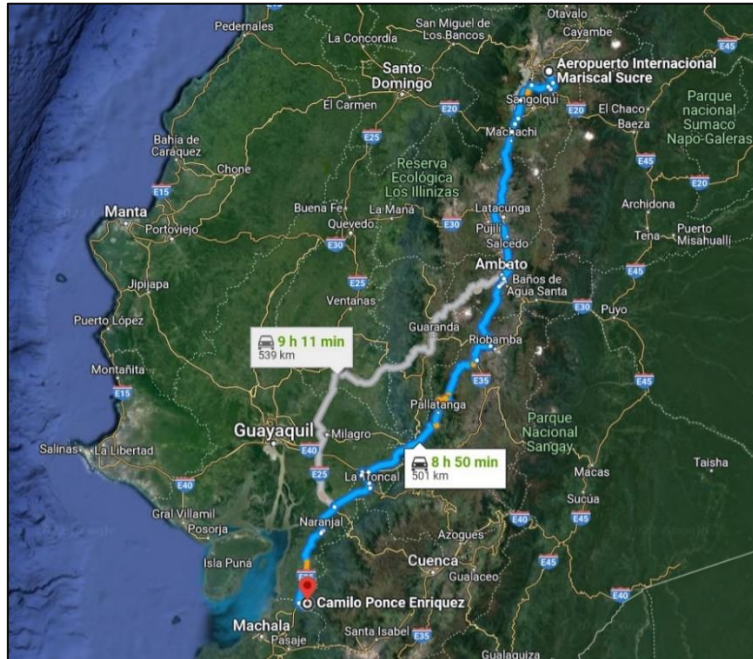
*Tabla 1: Coordenadas de la Concesión Minera Mollopongo*

Área Minera Mollopongo			
Punto	Coordenada X	Coordenada Y	Altitud
PP	643741	9660375	894
P1	644940	9660375	813
P2	644939	9659878	990
P3	643742	9659877	957

*Fuente:* (Geoportal de Catastro Minero, 2020)

### 5.1.2. Acceso.

**Figura 10:** Acceso de la Zona de Estudio



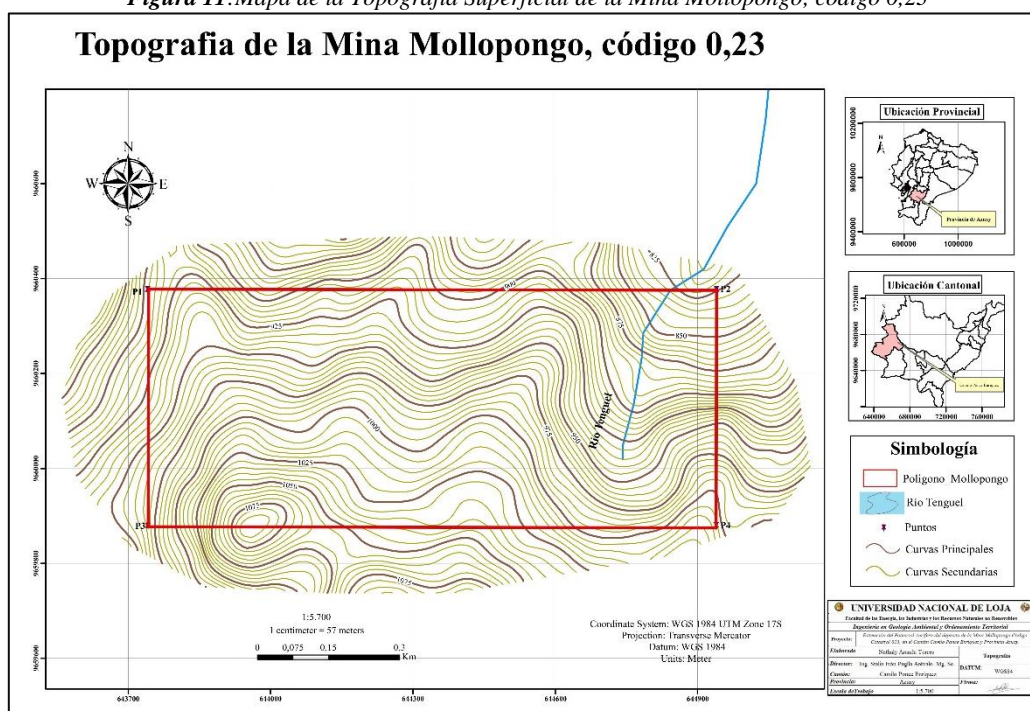
*Nota:* La ruta de acceso se la realizo desde la ciudad de Quito hasta la mina Mollopongo. **Fuente:** (Google Maps, 2022).

El acceso al área minera Mollopongo inicia como punto de partida desde la ciudad de Quito, concretamente desde el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, esto por vía terrestre, se puede dirigir por la Troncal de la Sierra Sur, hacia Riobamba; una vez saliendo de la ciudad tomamos a mano derecha con dirección a la región Costa del país, luego pasando por Pallatanga seguimos en dirección hacia La Troncal, desde este punto en adelante seguimos la autopista hacia el Sur, pasando por Naranjal hasta llegar a la ciudad de Camilo Ponce Enríquez y de ahí hasta el área minera Mollopongo existe 3 km de distancias, para acceder a la zona de estudio es necesario un automóvil que sea doble tracción ya que la vía se encuentra en muy mal estado.

### 5.1.3. Topografía.

La concesión minera Mollopongo consta con un área total de 60 hectáreas y posee una topografía irregular la cual comprende cotas que van entre los 810 hasta los 1090 msnm, con un desnivel relativo de 280 msnm.

Figura 11: Mapa de la Topografía Superficial de la Mina Mollopongo, código 0,23



#### 5.1.4. Geomorfología.

Se tomó como referencia el levantamiento de unidades geomorfológicas a escala 1: 25 000 realizado por el MAG en el año 2015, mediante el cual se identificaron las siguientes geformas en el área minera Mollopongo como son:

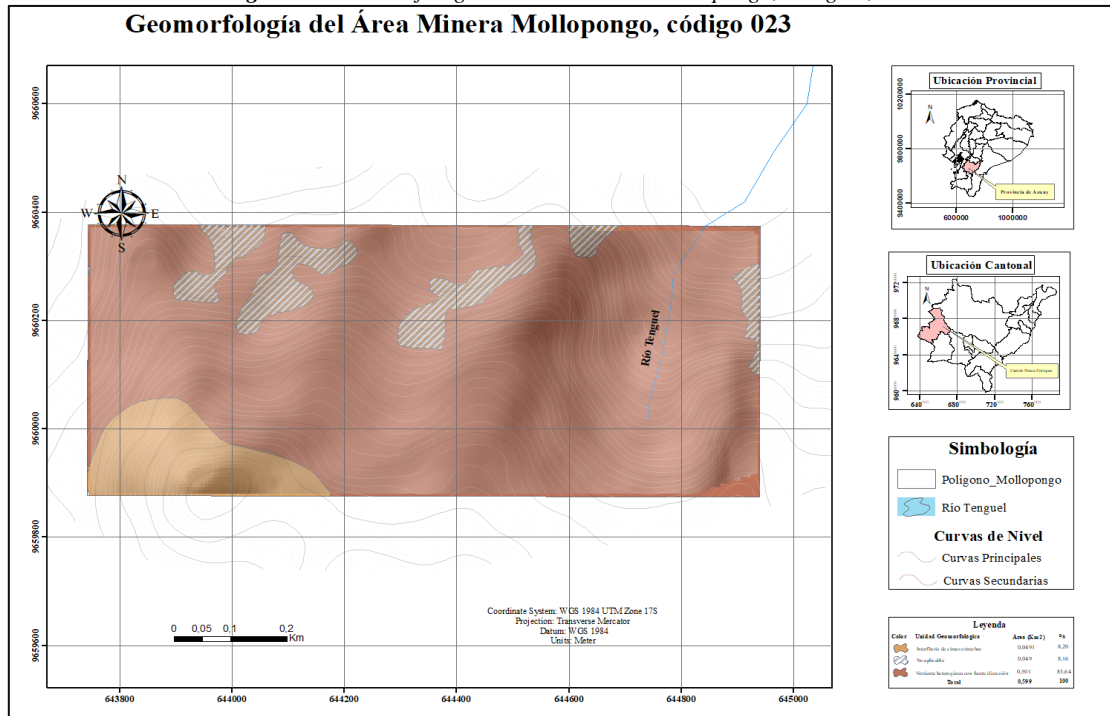
Tabla 2: Unidad geomorfológica del área de estudio.

Unidad Geomorfológica	Área (Km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Interfluvio de cimas estrechas	0,0491	8,20
No aplicable	0,049	8,16
Vertiente heterogénea con fuerte disección	0,501	83,64
<b>Total</b>	<b>0,599</b>	<b>100</b>

- ❖ **Interfluvio de Cimas Estrechas:** Se localiza en la zona suroeste y presenta pendientes que oscilan entre los 40% y 70%, con un área 0,0491 km<sup>2</sup>. (Barinagarmenteria, 2014).
- ❖ **Vertiente Heterogénea con Fuerte Disección:** Presenta variaciones en la inclinación de la pendiente ya que oscilan en los rangos entre 40% y el 70%, con un área de 0,049 km<sup>2</sup>. La fuerte disección indica que la vertiente ha sido intensamente modelada por la erosión, lo que da como resultado una superficie

muy irregular con números cortes, barracos y arroyos (Barinagarrementeria, 2014).

**Figura 12: Geomorfología del Área Minera Mollopongo, código 0,23**



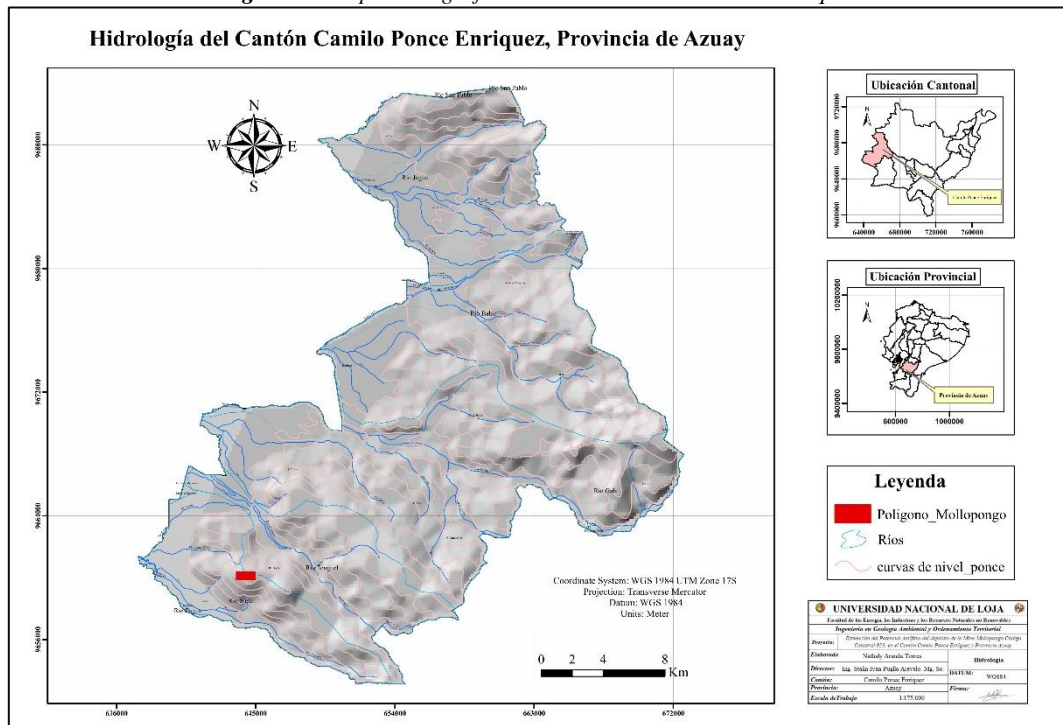
### 5.1.5. Hidrología.

Al norte del área minera de Mollopongo (código 023) se encuentra una subcuenca hidrográfica principal, conformada por el río Siete, que es considerada la más importante de la zona. Este río se alimenta de varios afluentes principales, entre los cuales se destacan los ríos Nueve de Octubre, Margarita, Vainilla y Guanache.

El río Nueve de Octubre, el Estero Guanache y el río Fermín se unen desde el noreste para formar un solo canal. El flujo de agua de estos ríos presenta una variación considerable en diferentes años y estaciones, con un promedio de 0,2-0,3 m<sup>3</sup>/s. No obstante, en temporadas de fuertes lluvias, influenciadas por el fenómeno del Niño, los caudales pueden llegar a alcanzar entre 2,5 y 7 m<sup>3</sup>/s.

El río Tenguel corre paralelo al río Gala y desemboca en la vertiente norte del monte Bella Rica. En la parte media de este río, el caudal promedio es relativamente constante, en promedio 0,5 m<sup>3</sup>/s en la estación seca y 7 m<sup>3</sup>/s en la estación lluviosa. No obstante, estos ríos se ven afectados por la contaminación de metales provenientes de las actividades mineras, siendo el cobre (Cu) el principal contaminante.

Figura 13: Mapa hidrográfico del Cantón Camilo Ponce Enriquez



### 5.1.6. Contexto Geológico.

#### 5.1.6.1. Geología Regional.

De acuerdo a la carta geológica de Machala a escala 1: 100 000 elaborado por (IIGE,2017), en donde se encuentra el área minera Camilo Ponce Enríquez se ubica en el Bloque Pallatanga (Cretácico Medio Inferior, Pre-Cenozoico), donde se extiende a lo largo del margen oriental de la Cordillera Occidental y está separada del margen continental por una zona de sutura deformada, también conocida como Pujilí. Una zona de falla, contiene basaltos, doleritas, lavas almohadilladas con afinidad geoquímica de meseta oceánica, y probablemente fue parte de la meseta caribeña. (Spikings et al., 2001; Kerr et al., 2002).

El basamento máfico que está cubierto por rocas sedimentarias y volcánicas de edad Cretácico Tardío a Reciente (Vallejo et al., 2009).

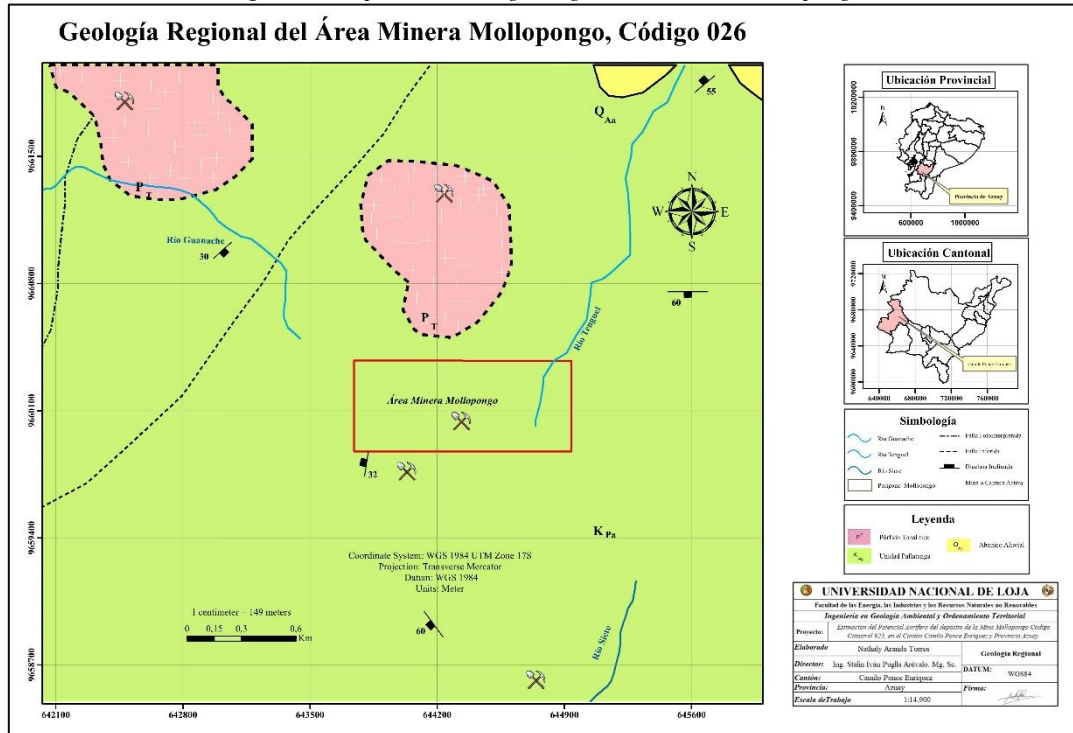
La unidad Pallatanga se encuentra discordantemente con el Grupo Saraguro (Duque, 2000) (Vallejo et al, 2009) y encontramos las siguientes formaciones:

*La Fm. Yunguilla (Cretácico Superior, Maastrichtiense)*, es una serie de secuencia en forma de abanico turbidítico, el cual está definido por una serie de limolitas masivas, areniscas cuarzo feldespáticas y cuarzoarenitas (Duque, P, s. f.)



La *Fm. Macuchi (Paleoceno-Eoceno Medio)*, está ubicado en la Mina San Juan y comprende una variedad de conjuntos de areniscas volcánicas, limolitas, tobas y lavas andesíticas y basáltico-andesíticas, además de esto las lavas presentan texturas desde porfídicas con fenocristales de plagioclasa hasta afaníticas. Representa el basamento de un arco de islas (Duque, P, s. f.)

Figura 14: Mapa de la Geología Regional de la Mina Mollopongo



Nota: Elaborado por el autor (2024), tomando como referencia (Instituto de Investigación Geológico y Energético, 2017)

### 5.1.6.2. Descripción Geológica Local.

En el informe técnico del área minera Mollopongo, elaborado por (Bonanza, 2008) se determina que el área minera Mollopongo código catastral 023 abarca una superficie de 60 hectáreas en la cual presenta rocas volcánicas, tales como andesitas, basaltos y brechas, las cuales conforman la Unidad Pallatanga, caracterizados por presentar depósitos minerales importantes de oro y cobre, los cuales se encuentran en su mayoría en un sistema de pórfidos.

En cuanto a las características de los basaltos, presentan un color verde oscuro o gris verdoso, con una textura masiva siendo un material cohesivo de dureza considerable, dichos basaltos presentan un alto contenido de minerales ferromagnesianos y bajos niveles de potasio (Bonanza, 2008).

En la zona de estudio también se identificaron numerosas brechas con textura Crackle, las cuales son monomíticas, presentan clastos angulares que sugieren poco o ningún desplazamiento. Por otro lado, existen brechas polimíticas que contienen una mezcla de clastos de diferente litología incluyendo pórfidos y basaltos. En comparación con los clastos de las brechas Crackle, los clastos de las brechas polimíticas son más redondeados, lo que sugiere que han tenido un mayor desplazamiento. (Bonanza, 2008)

## **5.2. Materiales y Equipos**

### **5.2.1. *Materiales de Campo.***

- EEP (equipo de protección personal)
- Ficha de Logueo tipo anaconda.
- Lupa Geológica 40x con luz.
- Marcadores Indelebles.
- Cámara Fotográfica.
- Libreta de Campo
- Ácido Clorhídrico (10%).
- Lápiz Magnético.
- Lápiz Rayador.
- Protactor.
- Pinturas.
- Esferos.

### **5.2.2. *Equipos de Oficina.***

- Computadora Laptop (DELL G15 Ryzen Edition)
- Carta Geológica Machala escala: 1: 100 000 (IIGE, 2017)
- Impresora.

### **5.2.3. *Software Empleados.***

- Leapfrog Geo 5.1 (Licencia de libre acceso)
- ASF VERTEX ALASKA
- Google Earth Pro 2020.
- Microsoft Word 2021.
- Microsoft Excel 2021.
- Global Mapper 23.0
- S.A.S Planet 2006

➤ ArcGis 10.5.

### **5.3. Metodología**

#### ***Metodología de la Investigación.***

La metodología de la presente investigación se fundamentó en la interpretación y geoprocésamiento de la información proporcionada por la empresa Grupo Bonanza, por medio de un contrato de confidencialidad; donde constan estudios geológicos, mineralógicos y estructurales.

La metodología se elaboró de manera consecutiva de acuerdo a los objetivos planteados, los cuales se detallan a continuación:

#### **5.3.1. Primer Objetivo.**

##### ***Caracterizar los elementos geológicos del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023.***

Para la ejecución del primer objetivo se utilizó el informe técnico (NI 43-101) donde se cita la historia de formación de la concesión minera Mollopongo; del que se menciona que existieron otras 6 concesiones mineras las cuales antiguamente formaron parte de la propiedad Gaby, que posee un área aproximada de 42 km<sup>2</sup>; y, que el área minera Mollopongo por poseer alta ley fue tomada en cuenta para que a principios de la década de 1990, Zappa Resources llevará a cabo un amplio programa de geoquímica de suelos en lo que se refirió como su “Proyecto Ponce Enríquez”, que incluía el Papa Grande y la concesión de Mollopongo.

Para la elaboración de la base topográfica del área minera Mollopongo se utilizó la información del servidor “*ASF VERTEX ALASKA*”, de acceso público cuyo proceso inicia con la ubicación del polígono de estudio y se procedió a extraer un archivo ráster con una escala 1:12.500, en el cual se tuvo que seleccionar el tipo de búsqueda ya sea geográfica, línea base entre otros, también el tipo de satélite que se dese utilizar y periodo de funcionamiento en este caso se utilizó el satélite ALOS PALSAR, adicional a esto se debe realizar un filtro de la fecha en la que se desee conseguir esta información y especificar el tipo de resolución que este caso fue “terreno de alta resolución corregido”, una vez hechos este filtro se procedió a descargar al archivo ráster.

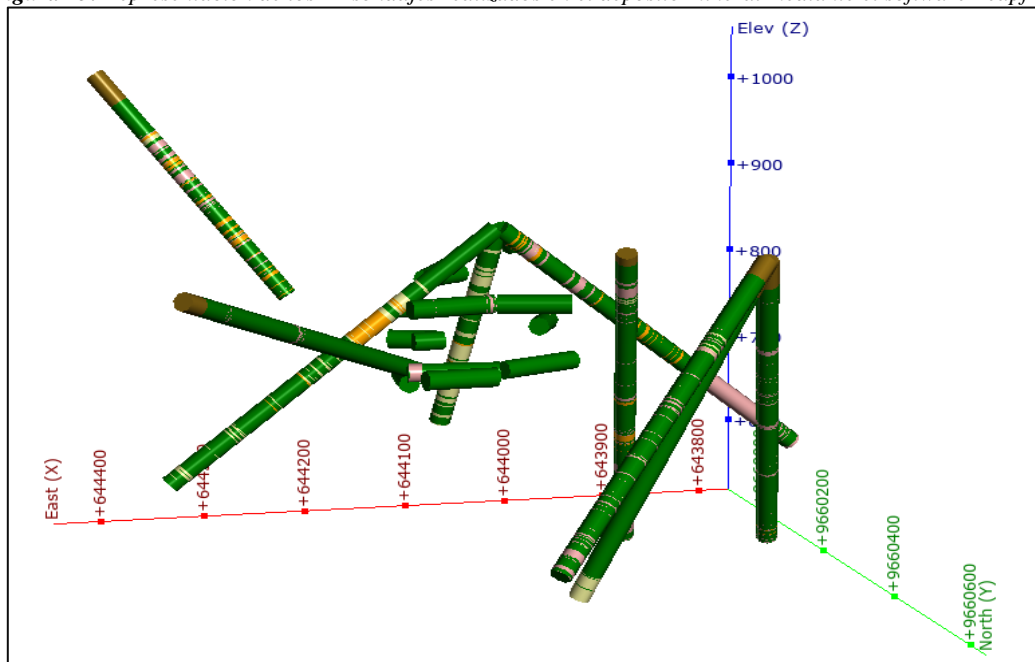
Se utilizó en el software ArcGIS 10.5, en donde fue insertado el archivo ráster obtenido anteriormente se realizó un corte de acuerdo al polígono de estudio, mediante las herramientas del ArcToolbox las cuales sirvieron para crear las curvas de nivel, las

cuales fueron creadas con un intervalo de 5m, posteriormente se procedió a clasificarlas en curvas primarias y secundarias, con un intervalo de 25 m y 5m respectivamente, se debe tener en cuenta que todos los archivos estén referenciados en DATUM WGS-84 (Figura 11). Cabe recalcar que no fue posible realizar el levantamiento topográfico en campo, debido a problemas de seguridad por los que estaba atravesando la empresa.

La siguiente fase correspondió en realizar diversas visitas al laboratorio de logeo ubicado en el sector de Rumicuri, con la finalidad de examinar y corroborar la información suministrada de los sondajes. Donde se procedió a seleccionar los sondajes más representativos para su respectivo análisis geológico. Dicha actividad fue desarrollada mediante fichas de logeo tipo anaconda, con los parámetros estructurales características litológicas y mineralógicas existentes.

A continuación, se procedió con el geoprocésamiento mediante el software Leapfrog Geo 5.1 donde se ubicaron los 24 sondajes para obtener una vista transversal de cómo están ubicados profundidades, inclinación y dirección. (Figura 15) y (Tabla 3)

*Figura 15: Representación de los 24 sondajes realizados en el depósito mineral mediante el software Leapfrog*



*Tabla 3: Datos generales de los 24 sondajes realizados por la empresa minera.*

<b>N° Sondaje</b>	<b>Código</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Dirección</b>	<b>Inclinación</b>
1	MDH-01	235,6	152	-70
2	MDH-02	391,74	88	-40
3	MDH-03	388,74	256	-40
4	MDH-04	35	217	-40
5	MDH-05	389,29	195	-60
6	MDH-06	393,5	198	-59
7	MDH-07	302,4	298	-52
8	MDH-08	395,98	52	-42
9	MDH-09	390,7	226	-20
10	MDH-10	400,43	120	-65
11	MTM-01	67,15	78	2
12	MTM-02	42	206	0
13	MTM-03	80,2	79	0
14	MTM-04	66	285	0
15	MTM-05	49	5	0
16	MTM-06	34	269	0
17	MTM-07	24,8	233	0
18	MTM-08	16,7	276	0
19	MTM-09	50	114	0
20	MTM-10	28,2	86	0
21	MTM-11	80	210	0
22	MTM-12	50,5	236	0
23	MTM-13	84,76	243	0
24	MTM-14	82,92	97	0

*Nota: Fuente: Grupo Minero Bonanza, (2022)*

Con ayuda el programa Leapfrog Geo 5.1 se procedió hacer un corte en dirección EW el cual se pudo determinar el tipo geología que se encuentra en el área de estudio

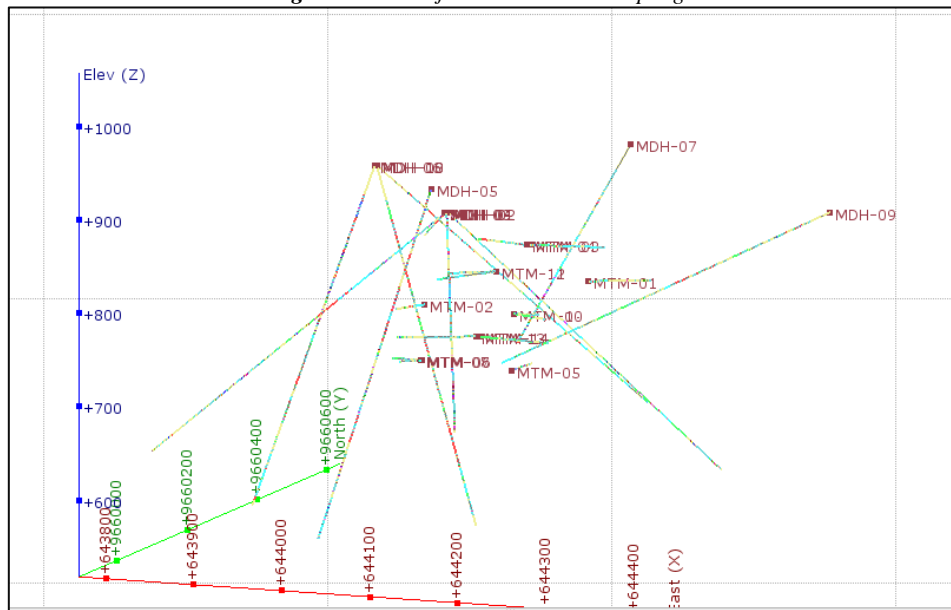
### **5.3.2. Segundo Objetivo.**

#### ***Ejecutar un modelamiento geológico tridimensional del yacimiento.***

Para la creación del modelamiento geológico se utilizó el programa Leapfrog Geo 5.1, para lo cual inicialmente se procedió a crear una base de datos de los 24 sondajes realizados previamente por la empresa minera, donde coste la información de collar, litología, alteraciones, mineralización, estructuras entre otros.

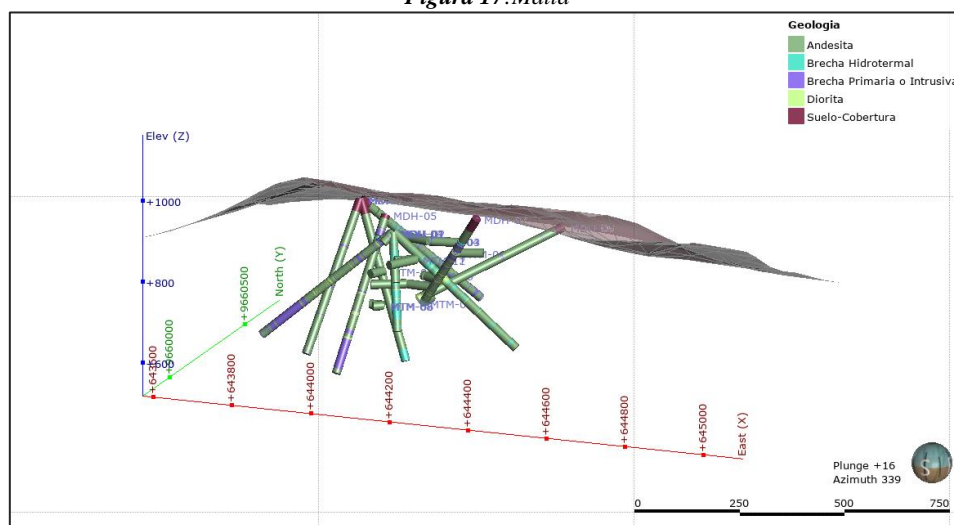
A continuación, en el software mencionado se importa la base de datos creados previamente, obteniendo la visualización de los respectivos sondajes como se muestra en la figura 15 a continuación:

Figura 16: Sondajes de la Mina Mollopongo



Luego, se importó la topografía y el collar referenciados en DATUM WGS84, seguidamente se realizó la representación de la topografía superficial y luego se procedió a la creación de una malla (meshes) en base a la topografía (Figura 16).

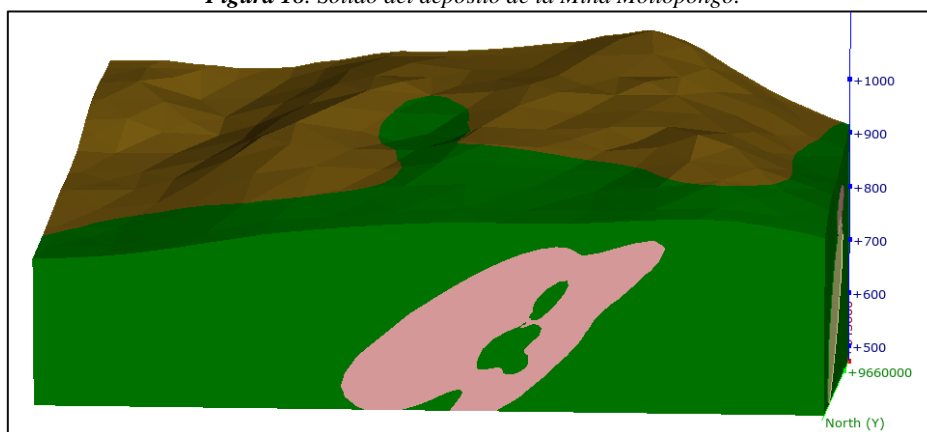
Figura 17: Malla



Una vez obtenida la malla de topografía, se procedió a realizar el modelamiento geológico mediante la herramienta “geological models” seleccionando la opción “New Geological Model”. A continuación, se realizó la configuración correspondiente a la selección de la base litológica, la resolución, los límites y el nombre del modelo.

Seguidamente se accedió a la herramienta “Surface Chronology”, la cual permitió ubicar los eventos geológicos en orden cronológico obteniendo así un cuerpo sólido tridimensional como se aprecia a continuación en la Figura 17.

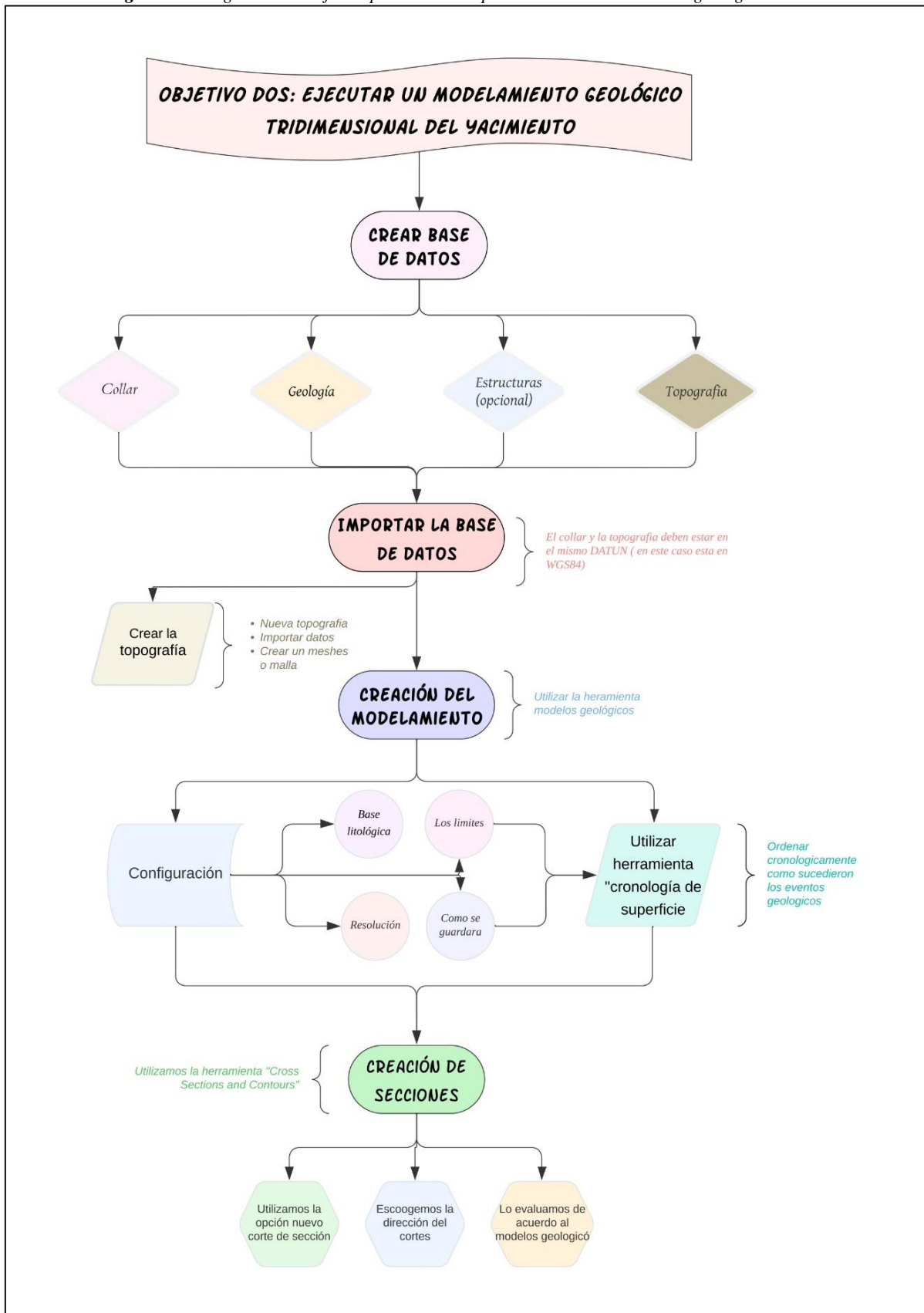
*Figura 18. Sólido del depósito de la Mina Mollopongo.*



Luego mediante la herramienta “Cross Sections and Contours” se realizaron varios cortes el cuerpo solido obtenido mediante secciones con la finalidad de obtener una mejor visualización interna del mismo.

Finalmente se muestra un Diagrama de Flujo en el cual se resume el procedimiento para crear el modelo geológico respectivo (ver Figura 20).

Figura 19: Diagrama de Flujo del procedimiento para crear el modelamiento geológico.





### 5.3.3. Tercer Objetivo.

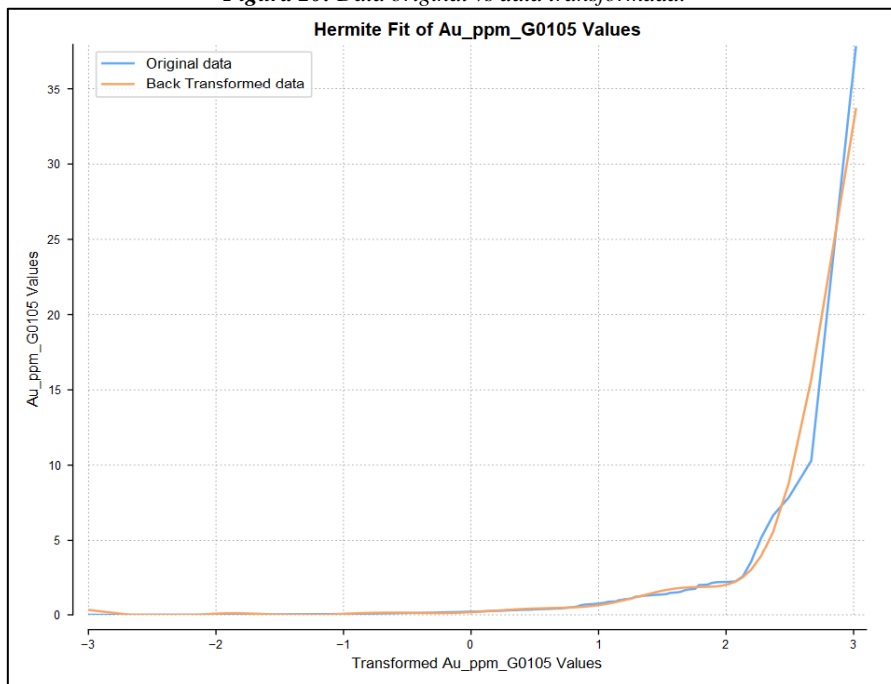
#### ***Calcular la estimación del potencial aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023.***

Para cumplir con el tercer objetivo establecido, se aplicó el método de bloques mediante el software Leapfrog Geo 5.1 obteniendo así la estimación del potencial aurífero del depósito de la Mina Mollopongo.

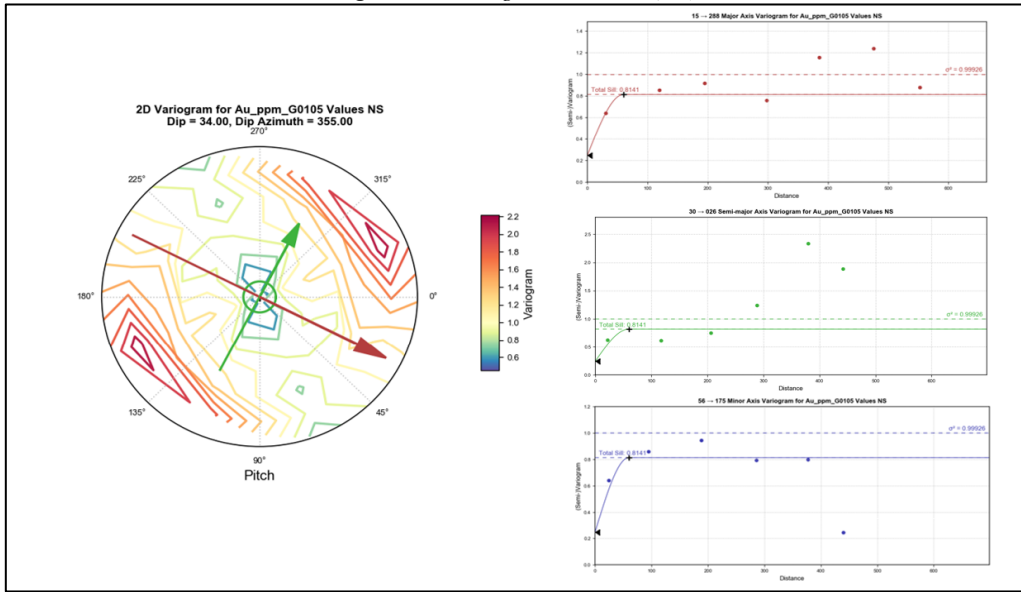
Una vez obtenido el modelo geológico de la Mina Mollopongo, en el software mencionado se procedió a emplear la herramienta “Estimar”. Seguidamente se seleccionó la opción “Nueva Estimación” realizando la configuración respectiva adicionalmente se creó una leyenda con un intervalo de 5 caracteres.

A continuación, se obtuvo un modelo de variogramas y se transformaron los datos para lograr una distribución más uniforme. De este modo, se obtiene un nuevo variograma transformado, además se generó un variograma de fondo de pozo para los valores de oro (Au). Posteriormente se elaboraron los gráficos univariados usando el logaritmo de la probabilidad, tal como se ilustra en las siguientes Figuras 21, 22, 23 y 24.

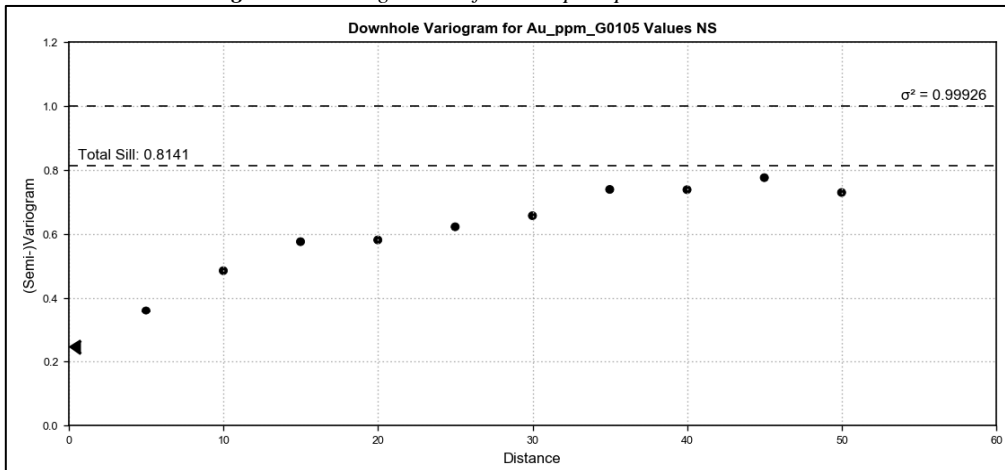
**Figura 20: Data original vs data transformada.**



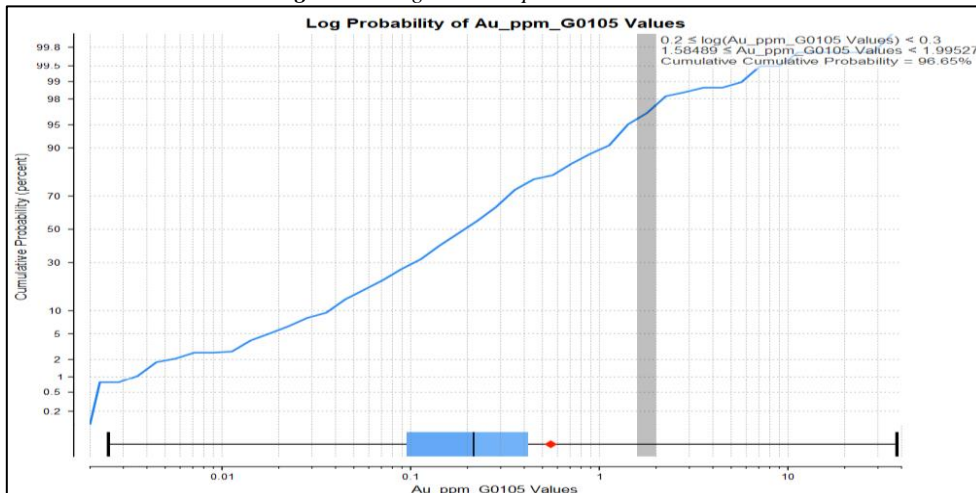
**Figura 21: Variogramas del oro (Au).**



**Figura 22: Variograma de fondo de pozo para valores del Au.**

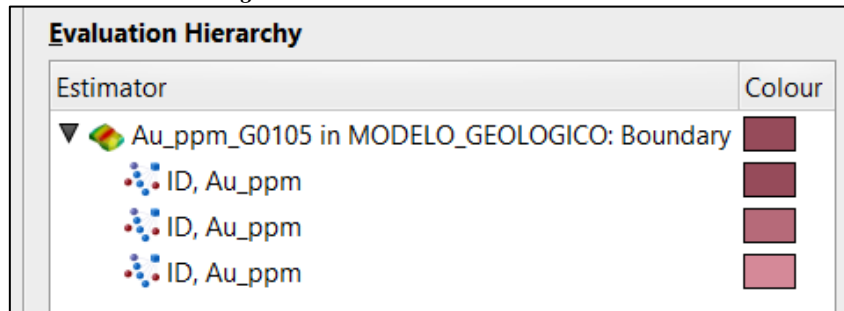


**Figura 23: Logaritmo de probabilidad del Au.**



Consecutivamente se procedió a establecer las variables de orientación, las cuales se utilizaron en la creación del modelo de inversión de distancia. Este proceso se repitió por tres ocasiones con la finalidad de mejorar la precisión de la estimación mineral. Una vez finalizadas estas interacciones, se empleó la herramienta “Estimador combinador”, la cual desempeña un papel fundamental en el proceso de estimación mineral.

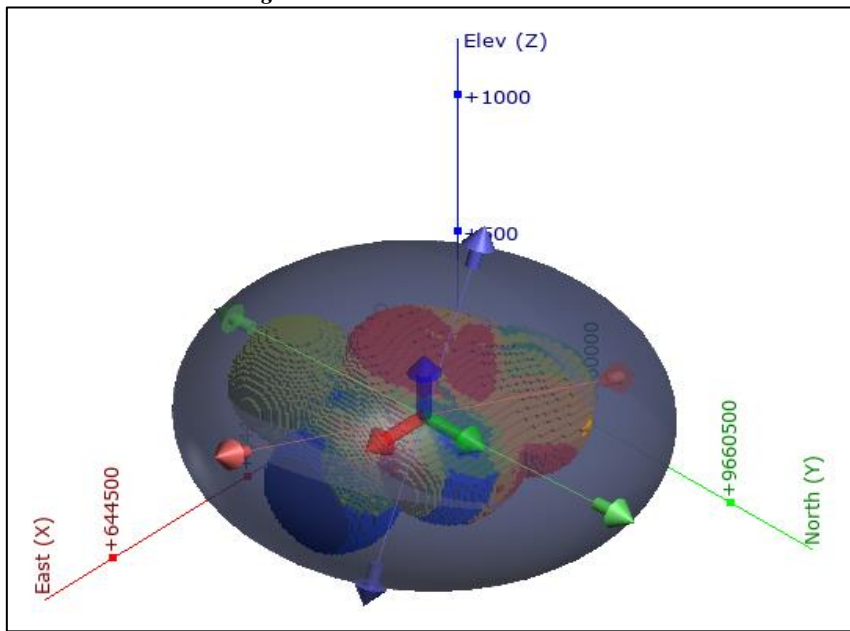
*Figura 24: Inversa de distancia combinada.*



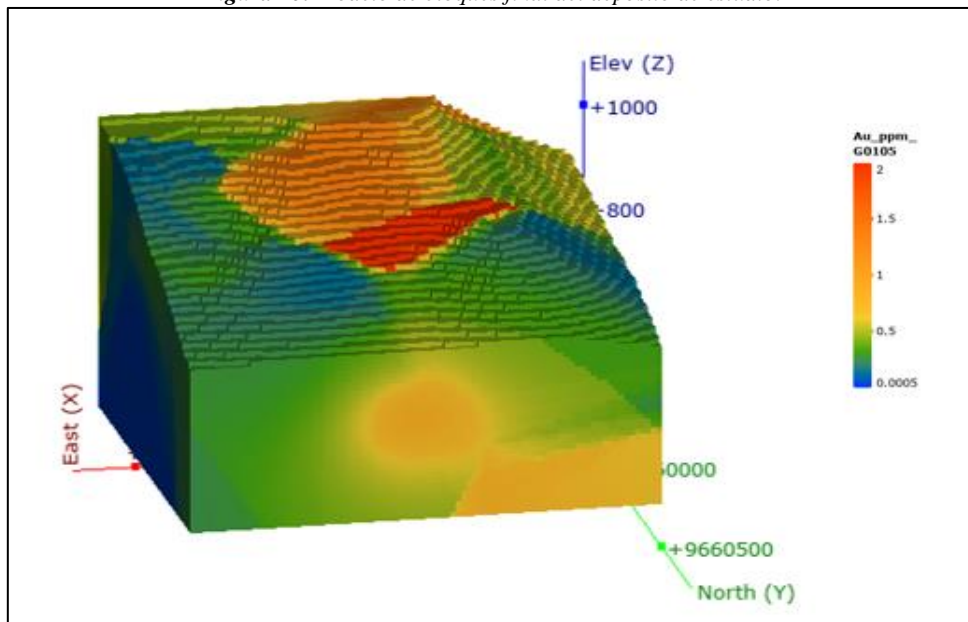
La siguiente actividad consistió en la creación del modelo de bloques, para lo cual se delimito siguiendo los parámetros de los ensayos (Assay). Los bloques se definieron con un tamaño de 10\*10\*10 seguidamente se procedió a realizar la evaluación. Esta etapa implicó la aplicación de la inversión de distancia previamente calculada, con el propósito de representar adecuadamente los resultados se generó una nueva leyenda con intervalos de 5 caracteres.

Posteriormente, se realizó otra inversión de distancia que abarca todo el modelo de bloques previamente definido, el resultado obtenido se guardó con el nombre de categoría. A continuación, se utilizó la herramienta “Modelo de Bloques” seleccionando la opción “Asses”, después se aplicó la inversión de distancia recién generada, lo que finalmente condujo a la obtención del modelo de bloques final, el cual sirvió como base para efectuar la estimación aurífera del depósito.

*Figura 25: Nueva inversa a la distancia.*

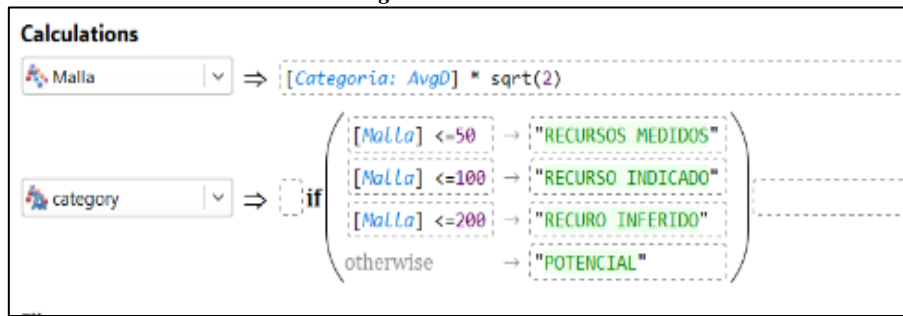


*Figura 26: Modelo de bloques final del depósito de estudio.*



Finalmente, se empleó la herramienta de " Cálculos y filtros " para realizar el cálculo numérico necesario en el proceso de estimación, en cual se aplicaron las fórmulas correspondientes como se muestra en la figura 30. Mediante este paso se culminó el proceso de estimación aurífera dentro del entorno del software Leapfrog Geo 5.1.

Figura 27: Cálculos.



Una vez obtenido el reporte procedemos hacer el calculo correspondiente para obtener potencial económico en dólares para esto utilizamos la siguiente formula:

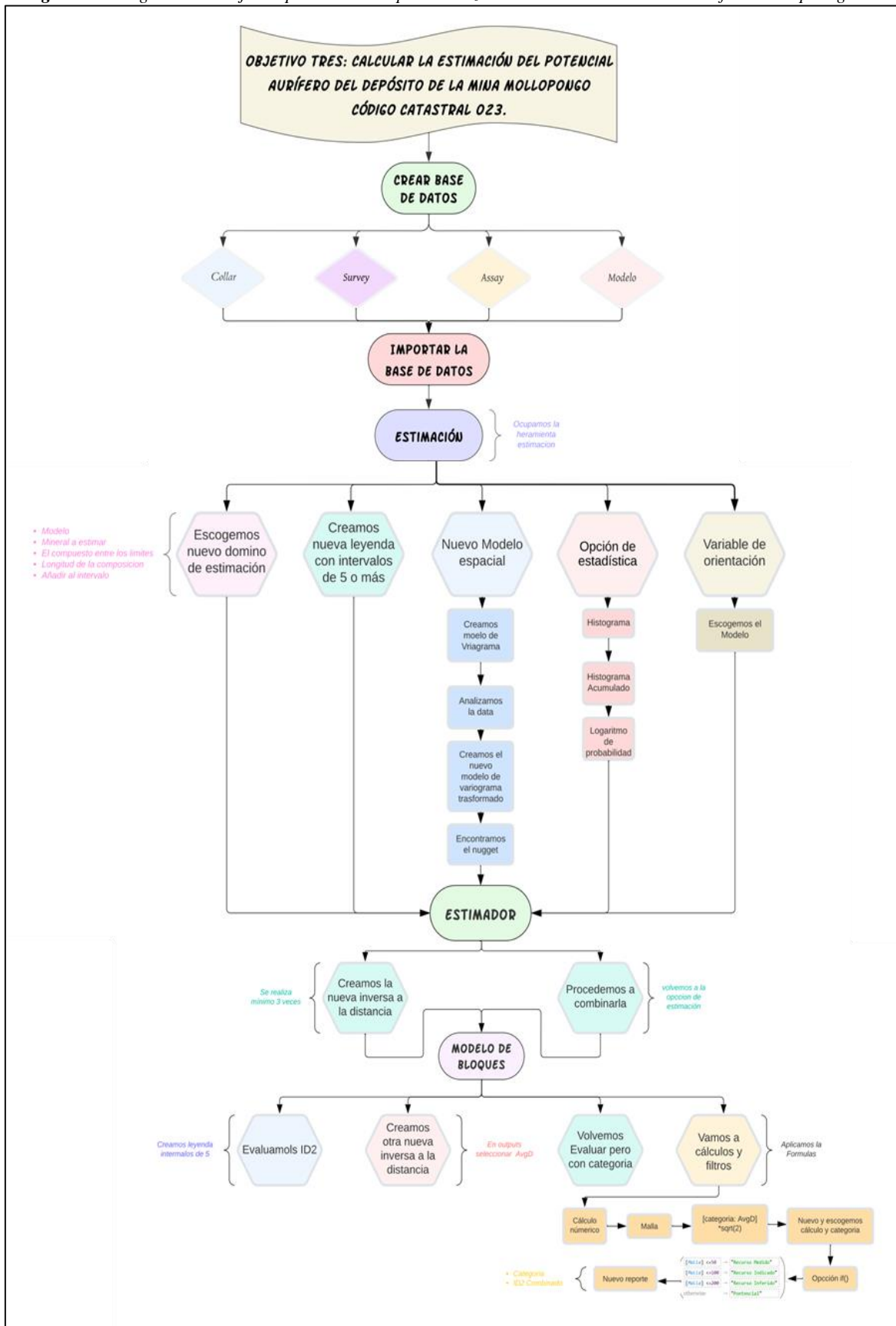
Figura 28 :Formula para sacar el potencial económico

$$\frac{\text{ley de oro gr}}{1 \text{ tn}} * \frac{\text{USD actual}}{1 \text{ OZ}} * \frac{1 \text{ OZ}}{31.1035 \text{ gr}} * \text{masa (tn)}$$

Para realizar este cálculo se debe tomar el dato de precio del oro en USD por Onza troy en tiempo real, el cual está 2658,78 \$ este valor se lo tomo el día 4 de octubre a las 5 H 14 am.

En la siguiente Figura 30, se muestra un Diagrama de Flujo sobre el procedimiento para la estimación de recursos a partir del modelamiento geológico en el software Leapfrog Geo 5.1.

Figura 29: Diagrama de Flujo del procedimiento para realizar la estimación mineral en el software LeapFrog.



## 6. Resultados

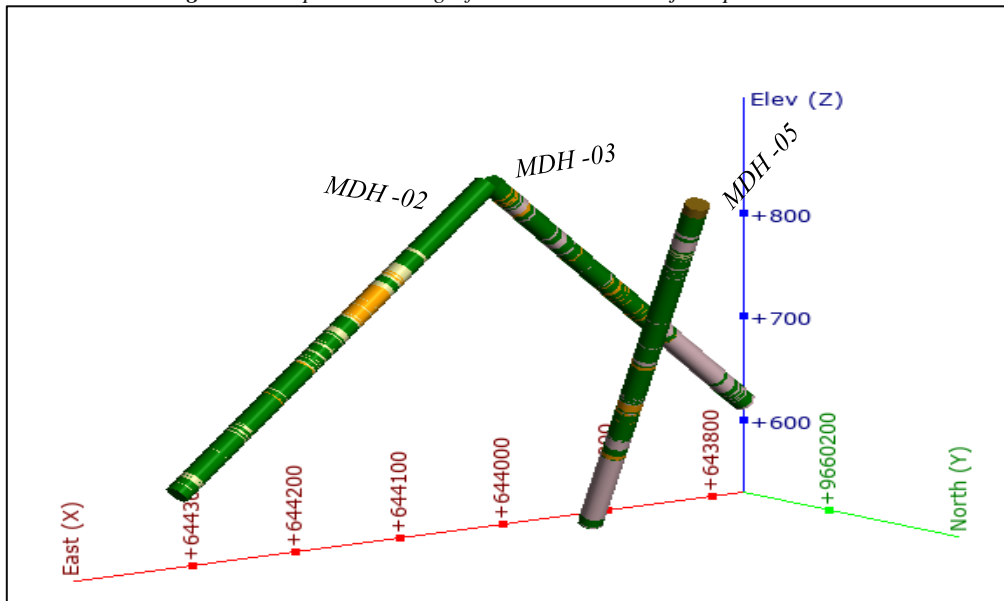
A partir de la información recolectada de 24 sondajes realizados previamente en el área de interés, por parte de la empresa minera Mollopongo, se seleccionaron tres de los sondajes más representativos localizados en el contorno del depósito con la finalidad poder examinar la información otorgada. Cabe recalcar que para dar cumplimiento a los tres objetivos si se utilizó la información de los 24 sondajes.

*Tabla 4: Datos de los sondajes más representativos del depósito mineral.*

Código	Profundidad (m)	Dirección	Inclinación	Litología General
MHD-02	391,74	88	-40	Andesita, brecha hidrotermal, granodiorita
MHD-03	388,74	256	-40	Andesita. Brecha intrusiva, granodiorita
MHD-05	389,29	195	-60	Suelo, andesita brecha intrusiva, granodiorita

*Nota: Fuente: Grupo Minero Bonanza, (2022)*

*Figura 30: Representación gráfica de los tres sondajes representativos.*



### **Sondaje MHD-02.**

*Figura 31: Testigos del Sondaje MHD-02*



En el sondeo MHD-02 se ha encontrado una mineralogía mixta que incluye estructuras mineralizadas compuestas únicamente de cristales de pirita (Py), así como trazas de pirrotina y calcopirita diseminadas.

Desde la superficie 0 metros hasta una profundidad de 109 metros, se han identificado rocas volcánicas tales como lava andesítica con textura afanítica de color gris verdoso, brechas polimícticas con clastos de lava andesítica y andesita de hasta 1 cm de tamaño en una matriz porfirítica, y andesitas con grano fino.

Desde los 109 metros hasta los 400 metros de profundidad, se han encontrado dioritas con granos medios ferromagnesianos de hasta 0,2 cm, andesitas con grano fino, brechas hidrotermales con matriz porfirítica, clastos de andesita y diorita.

### **Sondaje MHD-03.**

*Figura 32: Testigos del Sondaje MHD-03.*



En el sondeo MHD-03, se encontró la presencia de pirita fina en venillas de epidota junto con clorita y cuarzo con un halo de sericita. También se encontró epidota diseminada y en parches.



A una profundidad aproximada de 137 metros, se identificó pirita (Py) en un 0,5% en venillas y parches, así como pirrotina (Po) en un 0,5% diseminada y fracturada.

Desde la superficie 0 metros hasta los 200,75 metros de profundidad, se encontró diorita de grano fino con ferromagnesiano de 2 mm.

Además, se halló andesita con textura afanítica de color gris verdoso fracturada y con presencia de óxidos de hierro. Se identificaron micro brechas y texturas de flujo. También se encontró toba vítrea con un tamaño de grano que varía de gruesa a fina, brecha magmática con matriz porfirítica y clastos angulosos de andesita y lava andesítica.

Por otro lado, desde los 200,75 metros hasta los 408,9 metros de profundidad, se encontró lava andesítica con textura afanítica y pequeños canales de micro brechas. Asimismo, se encontró brecha magmática con clastos de andesita y lava andesítica con ángulos de 0,4 cm, y andesita de grano fino con ferromagnesianos.

#### ***Sondaje MHD-05.***

*Figura 33: Testigos del Sondaje MHD-05.*



El sondeo MHD-05 fue analizado a una profundidad aproximada de 45 m, donde se encontró una veta sinuosa rellena de pirrotina (Po) en un 10%, así como parches de pirita (Py) en un 2%, calcopirita (Cpy) en un 0,5% y calcita en venillas en un 2%.

A una profundidad de 56 m, se detectó una veta de cuarzo (Qz) lechoso con parches de pirrotina, clastos de 0,5 cm lixiviados y rellenos por pirrotina, pirita, calcopirita y un mineral de interés de 0,3 mm.

Desde la superficie 0 metros hasta 174,45 m, se encontró lava andesítica craquelada y andesita con alto contenido de plagioclasas, textura de grano fino y esporádicos cristales de cuarzo. Además, se detectó una brecha magmática con matriz porfirítica y clastos de 1 cm de lava andesítica y andesita.

De 174.45 m. a 400 m. brecha magmática con presencia de pequeños fragmentos de lava andesítica, diorita de grano medio presencia de ferromagnesianos 2 mm

## 6.1. Características de los elementos geológicos del área de estudio.

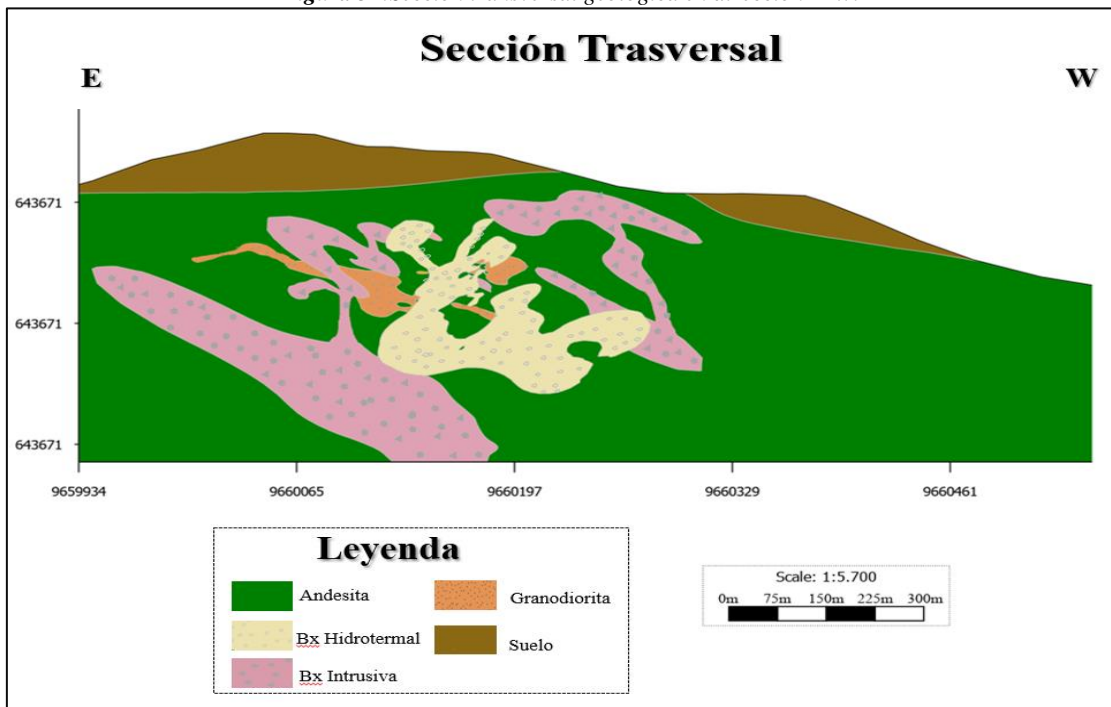
La caracterización de los elementos geológicos de la mina Mollopongo permitieron una comprensión más profunda de su estructura interna. Lo cual se logró mediante la evaluación de diversos parámetros geológicos, litología, composición mineralógica y estructuras. Estos parámetros proporcionan información importante del depósito para la estimación del potencial aurífero.

### 6.1.1. Litología.

La litología donde se encuentra la mina Mollopongo esta dominada por rocas procedentes de la unidad Pallatanga del cretácico medio – temprano (c. 85 – 65 Ma).

En la sección transversal (ver figura 35) se visualiza el emplazamiento de cuerpos magmáticos que cortan y segmentan a la andesita o roca encajante. La granodiorita se diferencia por presentar diques con di az:  $68^\circ$  y un cuerpo central globular. En cambio, la brecha hidrotermal posee una geometría irregular con mas de un dique en diferentes direcciones. Además, la brecha intrusiva posee mayor extensión con dos grandes cuerpos magmáticos al Este y Oeste; la brecha intrusiva oriental posee mayor densidad con un dique semi vertical extendiéndose de una masa grande aparentemente plutón con dip:  $27^\circ$  y di paz:  $64^\circ$  hasta un cuerpo irregular en la cima. En la brecha occidental se visualiza dos sill conectadas por un dique inclinado.

Figura 34: Sección transversal geológica en dirección E-W.



*Nota:* Se muestra una sección transversal geológica simplificada del área minera Mollopongo (023), que ilustra la geología. El trazado de perfil en esta sección transversal se realizó en sentido E-O el cual indica la litología predominante.

En la siguiente columna estratigráfica (ver Figura 36) representa una secuencia litológica asociada a la unidad Pallatanga:

**Andesita:** Forma la base de la columna la cual se formo por flujos de lava este tipo de rocas son típicas de procesos de subducción, que son muy comunes en la región andina.

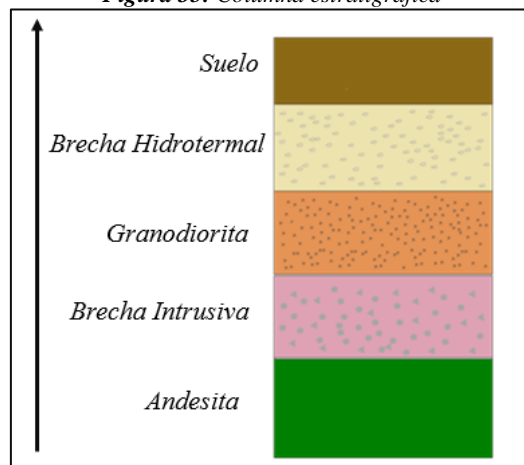
**Brecha intrusiva:** Indica que existió un evento tectónico importante que fracturo las rocas que se encontraban previamente formadas, posiblemente este evento se produjo durante el enfriamiento y solidificación de intrusiones más profundas. Además, estas intrusiones pueden estar asociadas a una fase magmática más tardía que penetra las andesitas preexistentes, creando esta brecha a partir de fragmentos angulosos mezclados en una matriz magmática.

**Granodiorita:** Se formo en una etapa más, las intrusiones en la corteza se enfrían y cristalizan lentamente, así mismo indica una actividad magmática intensa que ocurre a profundidad en la corteza terrestre

**Brecha Hidrotermal:** Indica una etapa de actividad hidrotermal posterior a los eventos intrusivos y volcánicos. Estos fluidos hidrotermales son ricos en minerales ya que pueden haber circulado a través de fracturas en la roca, lo cual provoca alteraciones y mineralizaciones. Lo que sugiere que el sistema magmático continuo activo, con fluidos ascendentes interactuando con las rocas más frágiles ocasionando las fracturas.

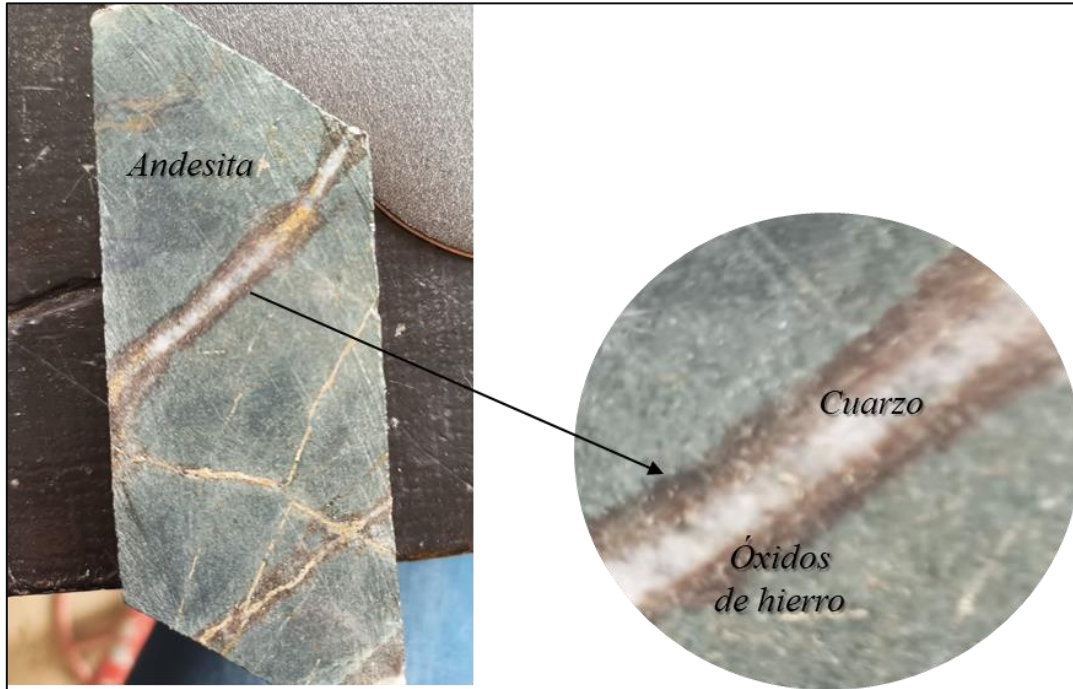
**Suelo:** Es la parte superior el resultado de exposición prolongada y de los procesos superficiales de motorización.

**Figura 35:** Columna estratigráfica



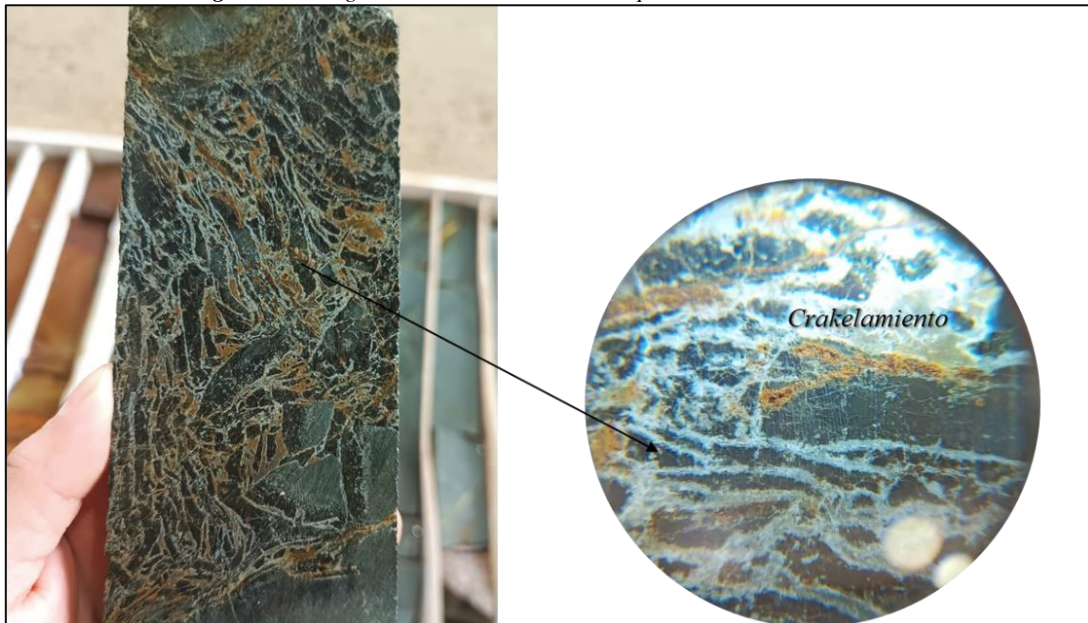
En el área minera Mollopongo se encuentra la andesita como roca encajante, la cual presente grano fino, de coloración gris verdosa, con presencia de fracturas algunas con rellenos de minerales como cuarzo y óxidos de hierro, como se puede apreciar en la Figura 37 a continuación.

*Figura 36: Testigo de Andesita.*



El depósito además presenta intrusiones magmáticas como brecha hidrotermal y incluye minerales como cuarzo, calcita, pirita, oro y sulfuros (ver Figura 38).

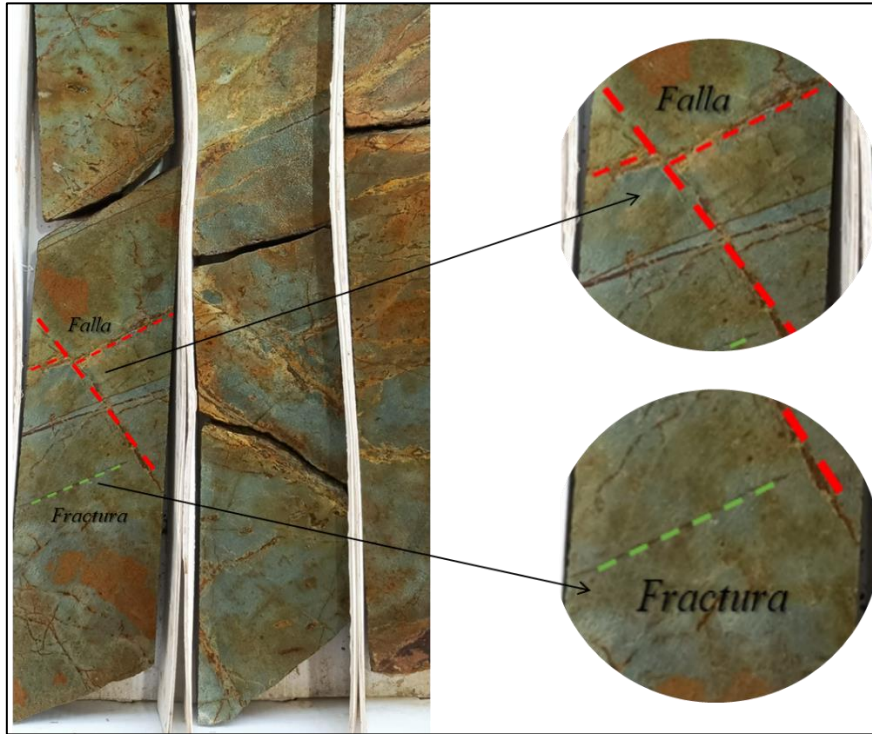
*Figura 37: Testigo de brecha hidrotermal con presencia de crackelamiento.*



### 6.1.2. Estructuras.

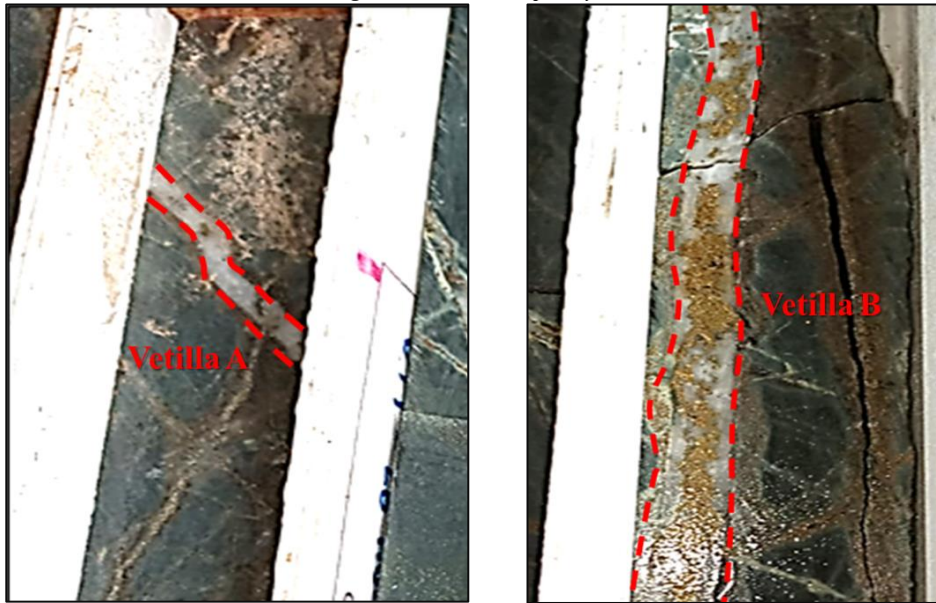
El análisis de las estructuras geológicas es fundamental para comprender la génesis, evolución y potencial aurífero del depósito mineral. Mediante los sondajes analizados del depósito mineral se identificaron varias micro-fallas, fracturas y vetillas.

*Figura 38: Falla y fractura en un testigo.*



Las fracturas encontradas en el depósito son resultado de la deformación tectónica durante la formación de las rocas, además estas fracturas sirven como conductos de fluidos mineralizadores por tanto pueden influir en la distribución y concentración de minerales en el depósito, en contraste las microfracturas indican la migración de fluidos y pueden tener implicaciones significativas.

**Figura 39:** Vetillas tipo A y B.



Además, se identificaron vetillas con amplia gama de minerales y composiciones, por ejemplo se destacan las vetillas tipo D, las cuales son comunes en depósitos de oro, sin embargo, también se encontraron vetillas tipo A, las cuales poseen una estructura delgada y uniforme, tiene un relleno fino lo que indica que la mineralización es controlada a diferencia de las vetillas tipo B que son anchas, por consecuencia las fracturas son más amplias y permite una mayor cantidad de minerales dando como resultado una mineralización más intensa y prolongada.

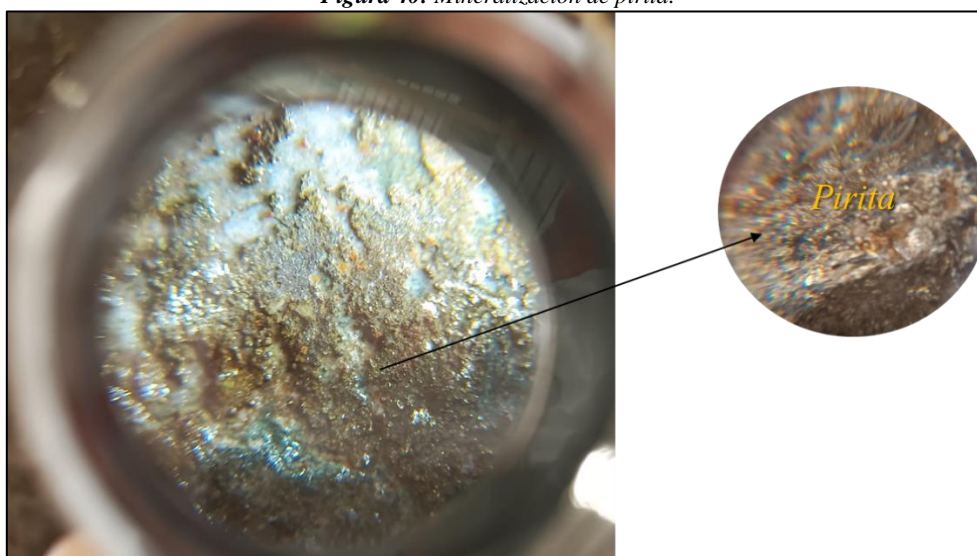
### **6.1.3. Minerales.**

En este depósito tipo pórfido su formación está asociada con la intrusión magmática y la interacción con fluidos hidrotermales. Los minerales más comunes que se encuentran en este depósito son la pirita, pirrotina, calcopirita y sulfuros, los cuales se forman a través de diferentes procesos magmáticos e hidrotermales.

La pirita se forma mediante la interacción entre el magma parental y los fluidos hidrotermales durante el proceso de enfriamiento y solidificación de la intrusión magmática. En cambio, la pirrotina se forma principalmente en temperaturas relativamente altas y con poca presencia de oxígeno. En cambio, la calcopirita se forma mediante la interacción entre el cobre disuelto en el magma y los fluidos hidrotermales.

La presencia de estos minerales nos indica que existe la posibilidad de una mineralización significativa. Este tipo de minerales son distintivos en yacimientos con indicios de oro. Además, se encontraron zonas de mineralización mixta en donde existe la presencia de parches y venillas compuestas por pirita, pirrotina y calcopirita.

*Figura 40: Mineralización de pirita.*



## **6.2. Modelamiento Tridimensional**

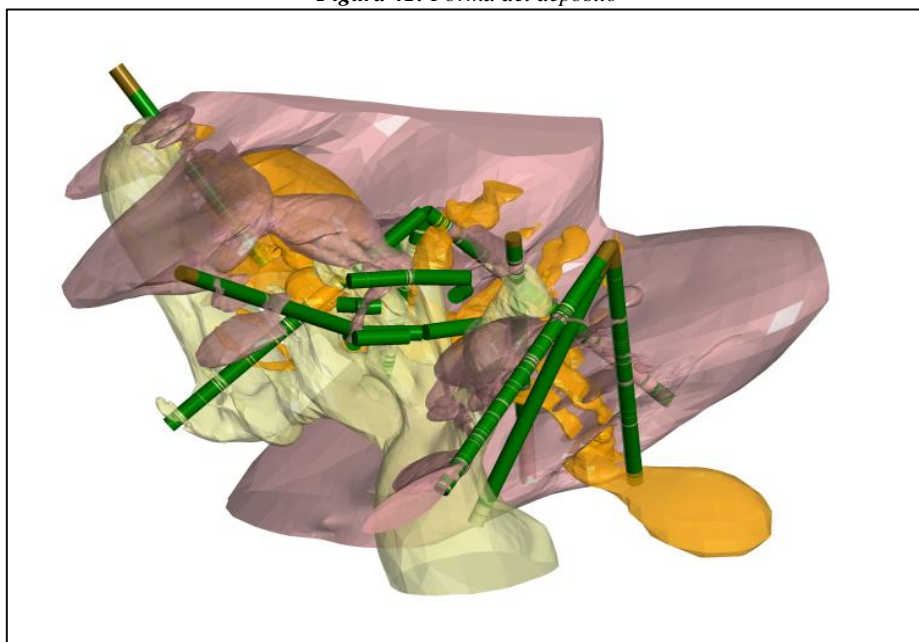
El depósito de la mina Mollopongo presenta una forma ovalada e irregular, con una distribución que se extiende hacia abajo con una configuración alargada, es decir este patrón sugiere un proceso de emplazamiento que involucró la intrusión del magma en la corteza terrestre.

En la parte superior se presenta ligeramente achatada, esto debido a procesos externos de erosión. A medida que se desciende verticalmente en el depósito, su contorno se amplía lo que sugiere una distribución más dispersa de los cuerpos de roca dentro del modelado. También encontramos una ampliación en el contorno el cual puede ser resultado de las zonas donde existían fracturas las cuales facilitaron la migración del magma durante su intrusión.

La parte inferior indica un alargamiento progresivo en dirección NW - SE, se deduce como el resultado de un emplazamiento magmático que involucra la ascensión y propagación del magma a través de zonas de debilidad en la corteza terrestre.

Tomando como referencia el sondaje MDH-10, la profundidad conocida desde la superficie es de 400 metros, siendo este el sondaje más profundo realizado hasta la fecha en el área minera, encontrándose a esa profundidad con brecha hidrotermal lo que deja abierto la posible continuación del depósito.

*Figura 41: Forma del depósito*



A continuación, se muestra las dimensiones del depósito de la mina Mollopongo en base a la distribución de los sondeos realizados.

*Tabla 5: Dimensiones determinadas a partir de distribución de los sondeos*

<b>Dimensión</b>	<b>Unidad</b>
Área	0,525 km <sup>2</sup>
Profundidad	0,4 km
Volumen	0.21 km <sup>3</sup>
Forma	Irregular
Tipo de Yacimiento	Pórfido



Figura 42: Geometría del depósito a partir de la distribución de sondeos.

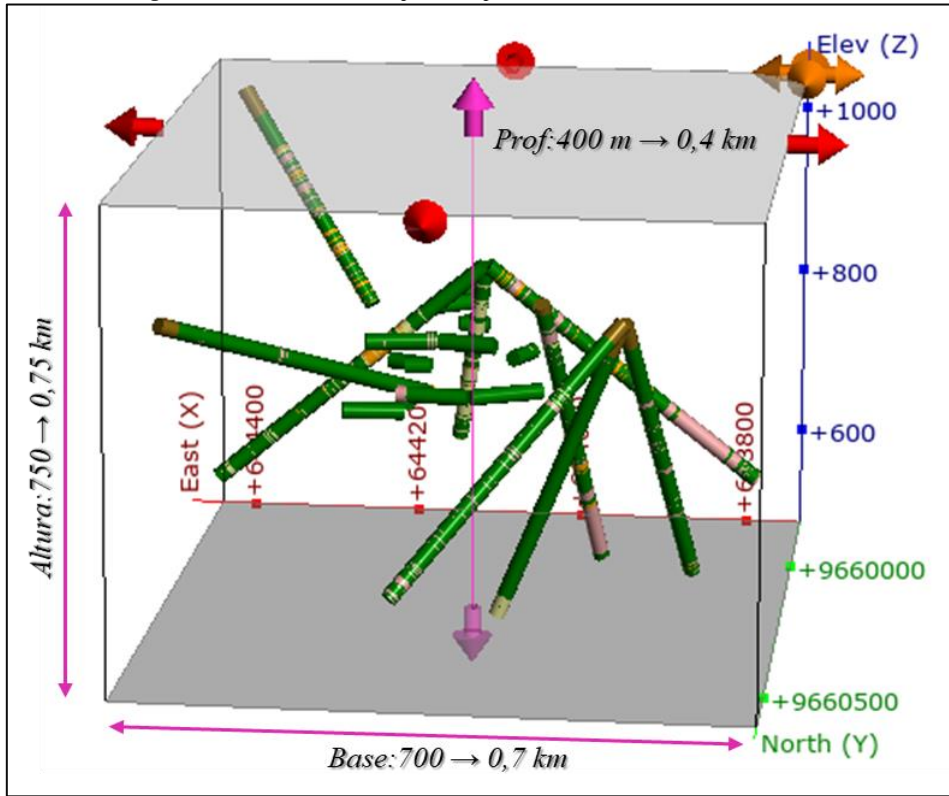
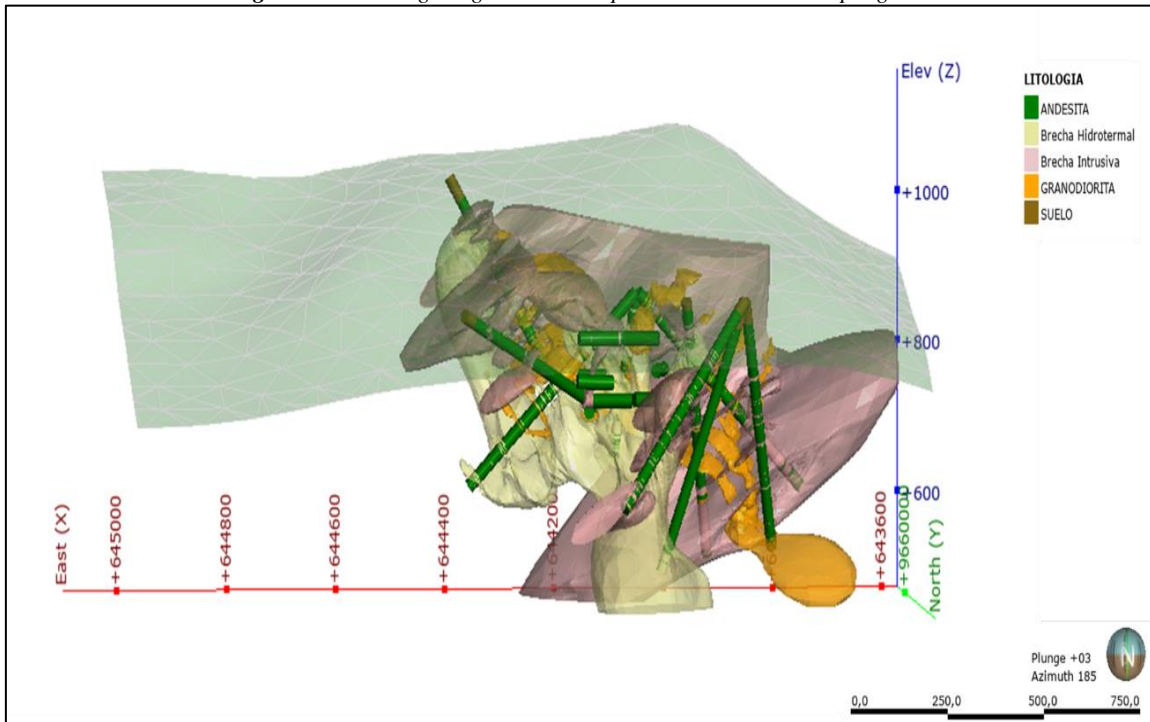
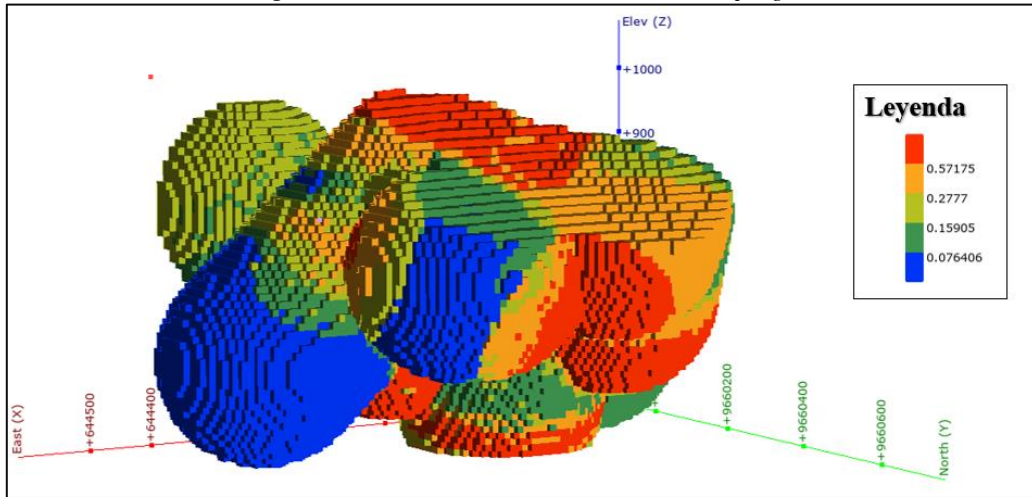


Figura 43: Modelo geológico 3D del depósito de la mina Mollopongo.



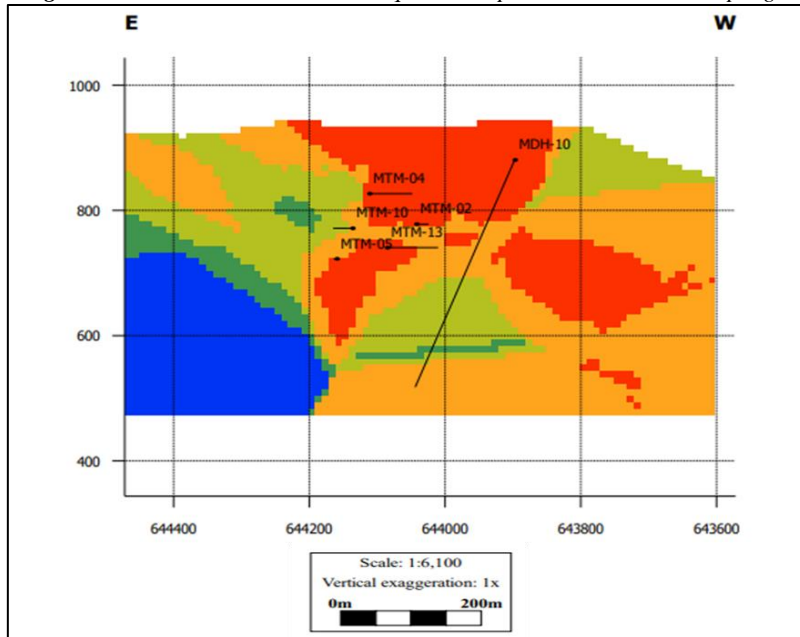
En el siguiente modelo mineral (ver Figura 45) se presentade manera detalla la distribución del oro y se puede identificar las areas donde la concentración de oro es notablemente más alta ya que está representada por el color rojo, mientras, mientras que otras zonas muestran una concentración mas baja y se representa en tono más suaves como anaranjado, verde y azul.

**Figura 44:** Modelo Mineral de área minera Mollopongo



Además, se presenta una sección del modelo mineral en dirección E-W (ver Figura 46) en que se puede evidenciar como la concentración de oro tiende a disminuir a mayor profundidad del depósito, una característica aurífera ya que el oro tiende a depositarse mas cerca de la superficie terrestre

**Figura 45:** Sección del Modelo de bloques del depósito de la mina Mollopongo.



### 6.3. Estimación de Recursos.

Para dar cumplimiento al último objetivo se presenta de forma detallada el resultado de la estimación aurífera para el depósito de la mina Mollopongo (ver Tabla 6)

De esta manera se determinaron las categorías de recurso indicado el contine masa de 86348700 en toneladas con una ley de 0.37 ppm, en cambio el recurso inferido tiene una ley de oro de 0.32 ppm con una masa 187085700 tn. El recurso medido nos da una ley de 0.34 ppm de oro con una masa 55422900 tn y finalmente nuestro potencial no dio como resultado una masa 10195200 tn con ley de oro de 0.34 ppm.

*Tabla 6: Estimación de Recursos y Potencial aurífero de la mina Mollopongo*

<b>Categoría</b>	<b>Masa (Tn)</b>	<b>Valor promedio del Au (ppm)</b>
Recurso Indicado	86348700	0.37
Recurso inferido	187085700	0.32
Recurso Medido	55422900	0.37
Potencial	10195200	0.34

$$\frac{0.34 \text{ gr}}{1 \text{ tn}} * \frac{2658.78 \$}{1 \text{ OZ}} * \frac{1 \text{ OZ}}{31.1035 \text{ gr}} * 10195200 \text{ tn}$$

$$X = 296311023.2 \$$$

Utilizando la formula (ver figura 28) sacamos el potencial económico del depósito el cual nos dio como resultado 296311023.2 \$ lo que hace económicamente atractivo para la explotación.

## 7. Discusión

La discusión se centra en el análisis de los resultados obtenidos en relación con la caracterización de los elementos geológicos, el modelo tridimensional y la estimación de recursos auríferos del depósito de la Mina Mollopongo.

Según (Vallejo et al.,) nos dice que la unidad Pallatanga está conformada por rocas como son los basaltos, andesitas y granodioritas, las cuales presentan una composición máfica con alto contenido de sílice. Lo que coincide con la interpretación y análisis de 24 sondajes que se realizaron en la zona de estudio por parte de la empresa minera bonanza, además se pudo identificar fracturas, fallas y vetillas. En lo que se refiere a mineralización en los testigos de perforación se encontraron minerales como son el oro y el cobre principalmente esto se producen debido a las condiciones hidrotermales que se encuentra en la unidad Pallatanga.

PRODEMINCA en la obra Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador. Depósitos porfídicos y epi-mesotermiales relacionados con intrusiones de la cordillera Occidental y Real (2000) menciona que la presencia de brechas hidrotermales que son originadas por alteraciones hidrotermales constituidas por minerales como cuarzo, pirita, y otros sulfuros son típicos dentro del distrito Ponce Enríquez, lo que se afirma en nuestra zona de estudio ya que la roca predominante es la andesita de grano fino con su tonalidad gris verdosa con presencia de fracturas, las cuales presentan mineralización principalmente de cuarzo y óxidos de hierro y además presentan intrusiones de brecha hidrotermal e intrusiva.

Los sondajes del depósito Mollopongo han permitido identificar diversas estructuras geológicas; en los testigos de perforación analizados se identificaron principalmente vetillas con una amplia gama de minerales y composiciones. Entre las que se destacan las vetillas tipo B, que son anchas por consecuencia las fracturas son más amplias y permite una mayor cantidad de minerales dando como resultado una mineralización más intensa y prologada, sin embargo, se encontraron vetillas de tipo A, las cuales poseen un estructura delgada y uniforme con relleno fino lo que indica que la mineralización es controlada.

Según la carta geológica Machala a escala 1: 100 000 elaborado por el IIGE, (2017) estas alteraciones son típicas de esta zona, como son las rocas volcánica máficas y roca tipo pórfido intrusivas así como las presencia de brecha, están formadas por un

asociación con la roca intrusiva magmática y la interacción de fluidos hidrotermales ; esto se pudo confirmar y evidenciar mediante el logeo de los sondajes ya que los minerales más comunes que se encuentran en este depósito son la pirita, pirrotina, calcopirita y sulfuros, estos minerales son distintivos en yacimientos con indicios de oro, también encontramos en este depósito zonas de mineralización mixta en donde se observan parches y venillas compuestas por pirita, pirrotina y calcopirita.

(Sarango, 2018) describe en el distrito Camilo Ponce Enríquez es muy común encontrar e identificar depósitos tipo pórfidos por su forma irregular y complejos intrusivos. En nuestro modelo tridimensional obtenido de la mina Mollopongo su pudo identificar una forma irregular, además de encontrar mineralización de oro en de pórfidos como en vetas, brechas y formaciones tipo stockworks de origen epi-mesothermal desarrollándose dentro de las rocas volcánicas encajantes.

Para realizar la estimación aurífera del depósito se empleó el método por bloques mediante el software Lepafrog, puesto que este es uno de los métodos más efectivos para la estimación de recursos minerales debido a su capacidad para indicar la distribución espacial de la mineralización de forma detallada y con mayor precisión. Como menciona Toledo (2019) este método de bloque es el más óptimo para realizar estimación ya que se procede a dividir el cuerpo mineralizado en una matriz tridimensional de bloques pequeños, los cuales contienen información importante.

En el depósito de la mina Mollopongo, se logró identificar varios patrones de distribución del oro. Además, se evidenció un cambio significativo en las concentraciones de oro, en general se observó una tendencia a disminuir su concentración a medida que aumentaba la profundidad del depósito.

Es importante mencionar que en el presente trabajo de titulación la información disponible de sondajes de la mina Mollopongo fue limitada, por lo cual se debe considerar que a medida que se obtenga mayor información de nuevos sondajes adicionales, la confiabilidad del modelamiento geológico y por ende de la estimación aurífera aumentara de forma significativa.

## 8. Conclusiones

- ❖ La geología del depósito de la mina Mollopongo se caracteriza principalmente por presentar litologías de basalto y andesita en calidad de rocas encajantes así como granodiorita. Además, presenta importantes brechas intrusivas e hidrotermales asociadas a la mineralización. Desde el punto de vista mineralógico, se identificaron principalmente calcopirita y pirita, sulfuros comunes en depósitos de tipo pórfidos. En cuanto a las estructuras geológicas se identificaron microfallas, fracturas y vetillas tipo A y B.
- ❖ El modelo geológico 3D permitió la representación integral de la estructura interna del depósito de la mina Mollopongo, útil para futuras campañas de exploración, mediante este se logró conocer la forma irregular del depósito y sus dimensiones como profundidad de 0,4 km y un volumen de 0,21 km<sup>3</sup>. Sin embargo, se debe considerar que el modelo geológico obtenido no es completamente realista ya que existe la carencia de sondajes en el resto del depósito mineral, actualmente solo se dispone de 24 sondajes realizados en la mina Mollopongo.
- ❖ El análisis detallado del modelo de bloques y la estimación aurífera proporcionan una base para la planificación y futuro desarrollo de campañas de explotación en la mina Mollopongo. La estimación aurífera arrojó como resultado que el recurso indicado contiene una masa de 86348700 en toneladas con una ley de 0.37 ppm, en cambio el recurso inferido tiene una ley de oro de 0.32 ppm con una masa 187085700 tn. El recurso medido nos da una ley de 0.34 ppm de oro con una masa 55422900 tn y finalmente nuestro potencial no dio como resultado una masa 10195200 tn con ley de oro de 0.34 ppm. Además, se sacó el potencial económico que nos dio como resultado 296311023.2 \$ por lo cual se puede determinar que el área minera Mollopongo es económicamente rentable para su explotación mineral.

## **9. Recomendaciones**

- ❖ Se recomienda continuar con la campaña de sondajes en las zonas faltantes del depósito para obtener mayor información geológica, mineralógica y estructural con la finalidad de obtener un modelo tridimensional más realista y así perfeccionar la estimación de recursos minerales de la mina Mollopongo.
- ❖ Evaluar la viabilidad económica del proyecto minero, lo cual incluye el análisis de costos de extracción, sistema de explotación, procesamiento y transporte mineral.
- ❖ Solicitar que la empresa minera otorgue una mayor accesibilidad al área de estudio para realizar una descripción geológica detallada de la mina Mollopongo.
- ❖ Realizar la caracterización geológica-geotécnica de la galería principal de acceso de la mina Mollopongo.

## 10. Bibliografía

- Aragón, A. (2021). *Técnicas de caracterización y procedimientos empleados en la mineralogía aplicada al beneficio de minerales*. Ibukku LLC.
- Barinagarrementeria, J. d. (27 de JUNIO de 2014). UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS. Obtenido de Catálogo descriptivo de objetos geomorfológicos del Ecuador: [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Manual\\_Identificaci%C3%B3n\\_Geoformas\\_140627.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Manual_Identificaci%C3%B3n_Geoformas_140627.pdf)
- Berenguer. (2020). EVALUACION DE RESERVAS Y CLASIFICACION DE RECURSOS. <http://www.unsj.edu.ar/unsjVirtual/exploracionminas/wp-content/uploads/2020/05/APUNTES-Modelaci%C3%B3n-Estimaci%C3%B3n-de-Reservas.pdf>
- Bonanza, G. (2008). *Informa Tecnico Area Minera Mollopongo* . Camilo Ponce Enriquez .
- Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2012). *El Proceso de Exploración Minera Mediante Sondeos*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía. <https://doi.org/10.20868/UPM.book.10695>
- Clasificación de yacimientos minerales. (2017). Museo virtual. [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Clasificacion-de-yacimientos-minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Clasificacion-de-yacimientos-minerales.html)
- Duque, P. (s. f.). *Breve léxico Estratigráfico del Ecuador*. Quito: UCPPRODEMINCA Proyecto MEM.
- ENAMI. (2016). *Perforacion-y-tronadura. GUÍA DE OPERACIÓN PARA LA PEQUEÑA MINERÍA*: <https://www.sonami.cl/v2/wp-content/uploads/2016/03/6.perforacion-y-tronadura.pdf>
- Escuela de Geología Profesional. (2020). <https://www.icog.es/cursos/index.php/leapfrog-el-poder-de-modelar-implicitamente/>
- GEOLOGIAWEB. (2021, enero 30). *La petrografía*. <https://geologiaweb.com/geologia-general/que-es-petrografia/>



- Geoportal de Catastro Minero. (2020). *Geoportal de Catastro Minero Límites territoriales internos*.  
<https://arcmineria.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=27bfda03ce4342b3834a27010da857e5>
- Geoxnet, E. (2016, agosto 28). *Recursos y Reservas Minerales. Geología - publicaciones*.  
<https://post.geoxnet.com/codigo-jorc-recursos-y-reservas-minerales/>
- Google Maps. (2022). *Ubicación y Acceso de la Zona de Estudio [Map]*.
- Griem, W. (2020). *Apuntes Geología Estructural: Diaclasas (joints) en la Geología Estructural*.  
<https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>
- Griem, W. (2020). *Foliaciones: Diaclasas (joints). Obtenido de Geología Estructural Virtual*:  
<https://www.geovirtual2.cl/Geoestructural/02-diaclasas.htm>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético. (2017). *Carta Geologica Machala. Quito: IIGE*.
- Kraus, E., Hunt, W., & Ramsdell, L. (1967). *Mineralogía: Una introducción al estudio de minerales y cristales, (quinta edición). Madrid: Ed. del Castillo*.
- Leapfrog Geo Developments y el futuro del modelado 3D | Consultoría SRK. (2020).  
<https://www.srk.com/en/publications/leapfrog-geo-developments-and-the-future-for-3d-modelling>
- López Jimeno, C., & Bustillo Revuelta, M. (1997). *MANUAL DE EVALUACION Y DISEÑO DE EXPLOTACIONES MINERAS. ENTORNO GRAFICO*.
- Maldonado, M. (2020, octubre 12). *Manual de Logueo Geológico. Comunidad Geopersa*.  
<https://comunidad.geopersa.com/manual-de-logueo-geologico/>
- Ospino, M. (2021, abril 19). *Tipos de Alteraciones Hidrotermales. Explorock*.  
<https://www.explorock.com/tipos-alteraciones-hidrotermales/>

TOLEDO, R. A. (Septiembre de 2019). *EVALUACIÓN DE METODOLOGÍA PARA ESTIMACIÓN DE RECURSOS TIPO GRADE CONTROL CON LEAPFROG*. Obtenido de Repositorio.udec:

[http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/666/1/Tesis\\_Evaluacion\\_de\\_Metodologia.Image.Marked.pdf](http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/666/1/Tesis_Evaluacion_de_Metodologia.Image.Marked.pdf)

Sarango, W. S. (31 de enero de 2018). “*LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO ESTRUCTURAL DE LA GALERÍA PRINCIPAL DE TRANSPORTE DE LA MINA AURÍFERA DE LA COMPAÑÍA MINERVILLA CÍA. LTDA., UBICADA EN EL CANTÓN CAMILO PONCE ENRÍQUEZ, PROVINCIA DE AZUAY.*”. LOJA, Ecuador: Repositorio Digital - Universidad Nacional de Loja.

(Tarbuck y Lutgen, 2005).

Vallejo, C., Winkler, W., Spikings, R., & Luzieux, L. (s. f.). *EVOLUCIÓN GEODINÁMICA DE LA CORDILLERA OCCIDENTAL (CRETÁCICO TARDÍO-PALEÓGENO)*.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Fotografías.



**Anexo 2:** Información de 24 sondajes realizados en el área minera Mollopongo

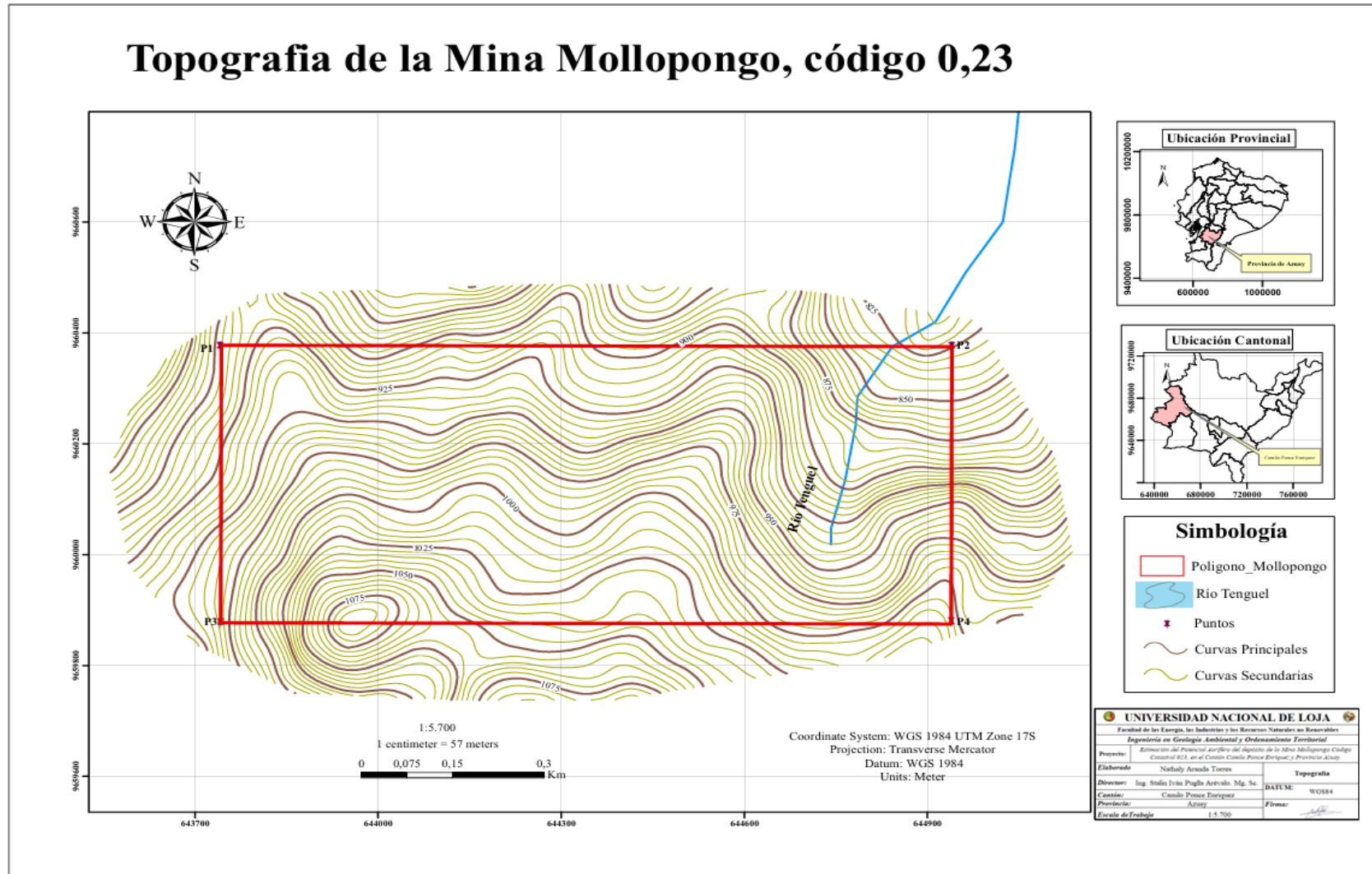
Nº Sondaje	Código	Profundidad (m)	Dirección	Inclinación	Litología	Alteración	Mineralización	Estructuras
1	MDH-01	235,6	152	-70	Andesita, lava andesítica, Autobrecha, diorita	Propilítica y fílica	Po en parches y en venillas, Py en vetillas relación Po a Py es 3 a 1, venillas de Cpy 0.1 cm	Vetillas 1-5 cm, zona de falla, zona de fracturas
2	MDH-02	391,74	88	-40	Andesita, brecha hidrotermal, granodiorita	Propilítica, argílica	Estructura mineralizada, cristales de Py perpendiculares a las paredes Po diseminada en caja	Vetillas tipo A, zona de fractura, vetilla tipo B
3	MDH-03	388,74	256	-40	Andesita, brecha intrusiva, granodiorita	Propilítica, argílica	Pirita fina en venillas de epidota más clorita y de cuarzo con halo de sericita, también diseminada y en parches de epidota. Calcopirita traza en las venillas de cuarzo. Pirrotina traza/diseminada	Fractura, zona de falla vetilla tipo B, vetilla tipo A
4	MDH-04	35	217	-40	Suelo, andesita brecha intrusiva, granodiorita	Propilítica	Mineralización mixta	Zona de fracturas vetillas 1-5 cm
5	MDH-05	389,29	195	-60	Suelo, lava andesítica, brecha intrusiva, diorita	Silificación, propilítica, potásica, argílica	Veta sinuosa de 5 cm casi paralela al taladro rellena de Po 15% y en parches, Py 3%, Cpy 1%,	Vetilleo fuerte, vetillas 1-5 cm, zona de fracturas
6	MDH-06	393,5	198	-59	Suelo, lava andesítica,	Propilítica, argílica, fílica	Pequeños parches de Py fina	Zona de fracturas vetilleo débil

					andesita, brecha intrusiva			
<b>7</b>	MDH-07	302,4	298	-52	Suelo, andesita basáltica, brecha intrusiva, granodiorita	Propilítica, fílica	Mineralización mixta	Zona de fracturas, vetilla tipo A
<b>8</b>	MDH-08	395,98	52	-42	Suelo, andesita, brecha hidrotermal, lava andesítica, autobrecha	Propilítica, argílica fílica, silificación	Mineralización en venillas 0.3 cm relleno de Qz, sutura de Po 3%	Zona de fracturas, veta > 5 cm
<b>9</b>	MDH-09	390,7	226	-20	Suelo, andesita, brecha hidrotermal, lava andesítica, diorita	Propilítica, argílica, potásica	Py 3% en venillas de 1 mm, Po 0.5 %, pequeños parches de Cpy 0.1%	Zona de fracturas, vetillas 1- 5 cm
<b>10</b>	MDH-10	400,43	120	-65	Suelo, brecha hidrotermal, andesita, lava andesítica	Propilítica, argílica, potásica	Mineralización óxidos	Zona de fracturas venilla < 1 cm
<b>11</b>	MTM-01	67,15	78	2	Lava andesítica, andesita, brecha intrusiva	Propilítica, potásica	Po 2% en mtx, Py 1%	Zona de fracturas, vetillas 1 – 5 cm
<b>12</b>	MTM-02	42	206	0	Andesita, lava andesítica	Propilítica	Mineralización mixta	Zona de falla, venilla < 1 cm
<b>13</b>	MTM-03	80,2	79	0	Andesita, brecha hidrotermal, lava andesita	Propilítica	Py 3% rellenando oquedades de 1 mm, y en venillas	Zona de fracturas
<b>14</b>	MTM-04	66	285	0	Andesita, lava andesítica	Propilítica	Mineralización mixta	Venilla < 1 cm
<b>15</b>	MTM-05	49	5	0	Andesita	Propilítica, argílica, silificación	Mineralización mixta	Zona de fracturas, craquelamiento

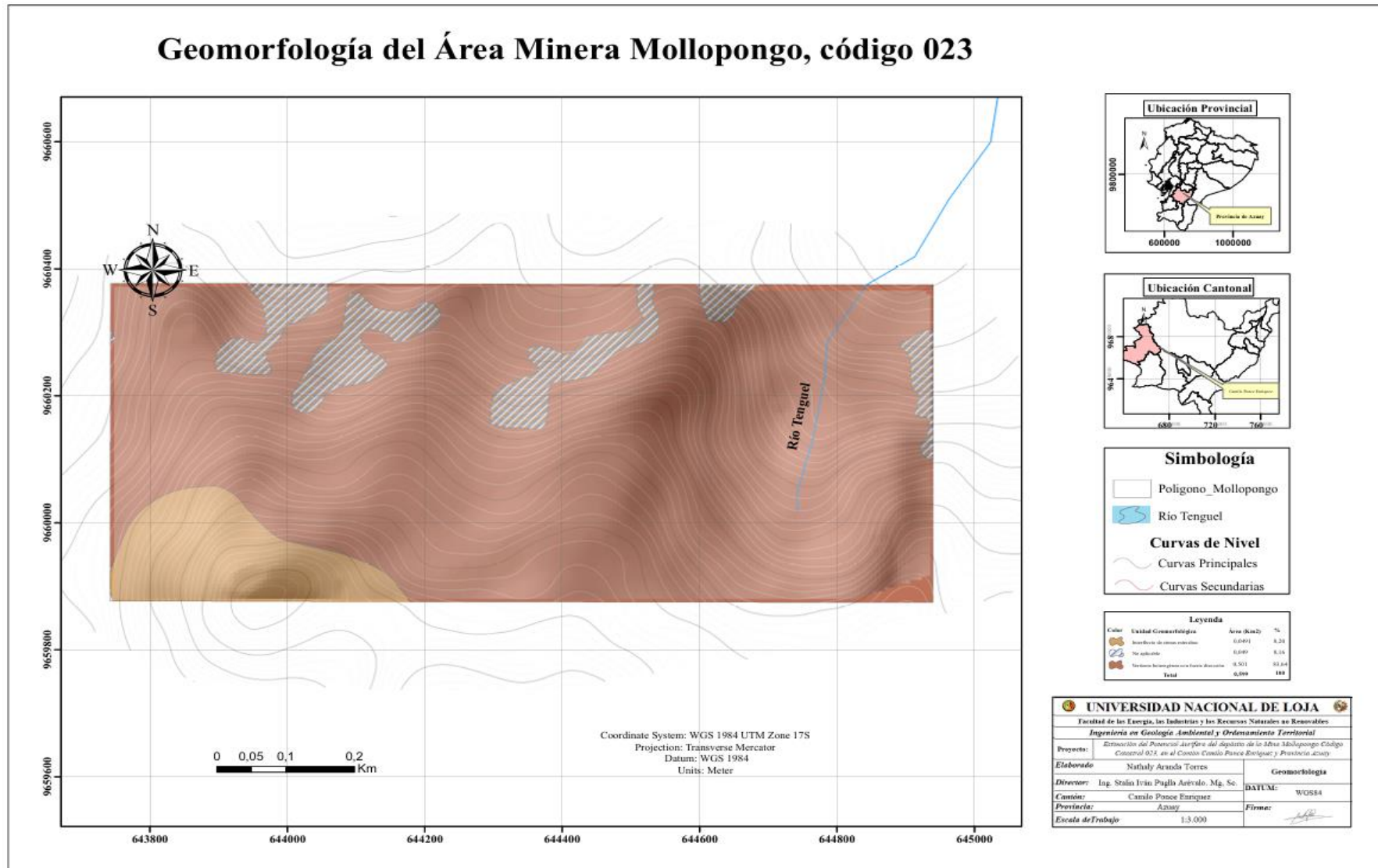
<b>16</b>	MTM-06	34	269	0	Andesita	Propilítica	Mineralización mixta	Vetilleo débil
<b>17</b>	MTM-07	24,8	233	0	Andesita	Propilítica, fílica	Veta de 45 cm relleno de Qz	Zona de fracturas
<b>18</b>	MTM-08	16,7	276	0	Andesita	Propilítica, fílica	Veta de 20 cm relleno de Qz granular, Cpy 1%, calcita, arcillas, óxidos de hierro limonitas	Venilla < 1 cm
<b>19</b>	MTM-09	50	114	0	Andesita	Propilítica	Mineralización mixta	Vetilla 1 – 5 cm
<b>20</b>	MTM-10	28,2	86	0	Andesita	Propilítica, argílica	No recuperado	Zona de falla, venilla < 1 cm
<b>21</b>	MTM-11	80	210	0	Andesita	Propilítica, argílica	Mineralización mixta	Zona de fracturas
<b>22</b>	MTM-12	50,5	236	0	Andesita, lava andesítica	Propilítica, potásica	Mineralización mixta	Zona de fracturas
<b>23</b>	MTM-13	84,76	243	0	Andesita, lava andesítica	Propilítica	Mineralización mixta	Vetillas 1 – 5 cm
<b>24</b>	MTM-14	82,92	97	0	Brecha intrusiva, andesita	Propilítica, potásica fílica	Mineralización mixta	Zona de fracturas, venilla < 1 cm

*Nota: Fuente: Grupo Minero Bonanza, (20*

Anexo 3: Mapa Topográfico

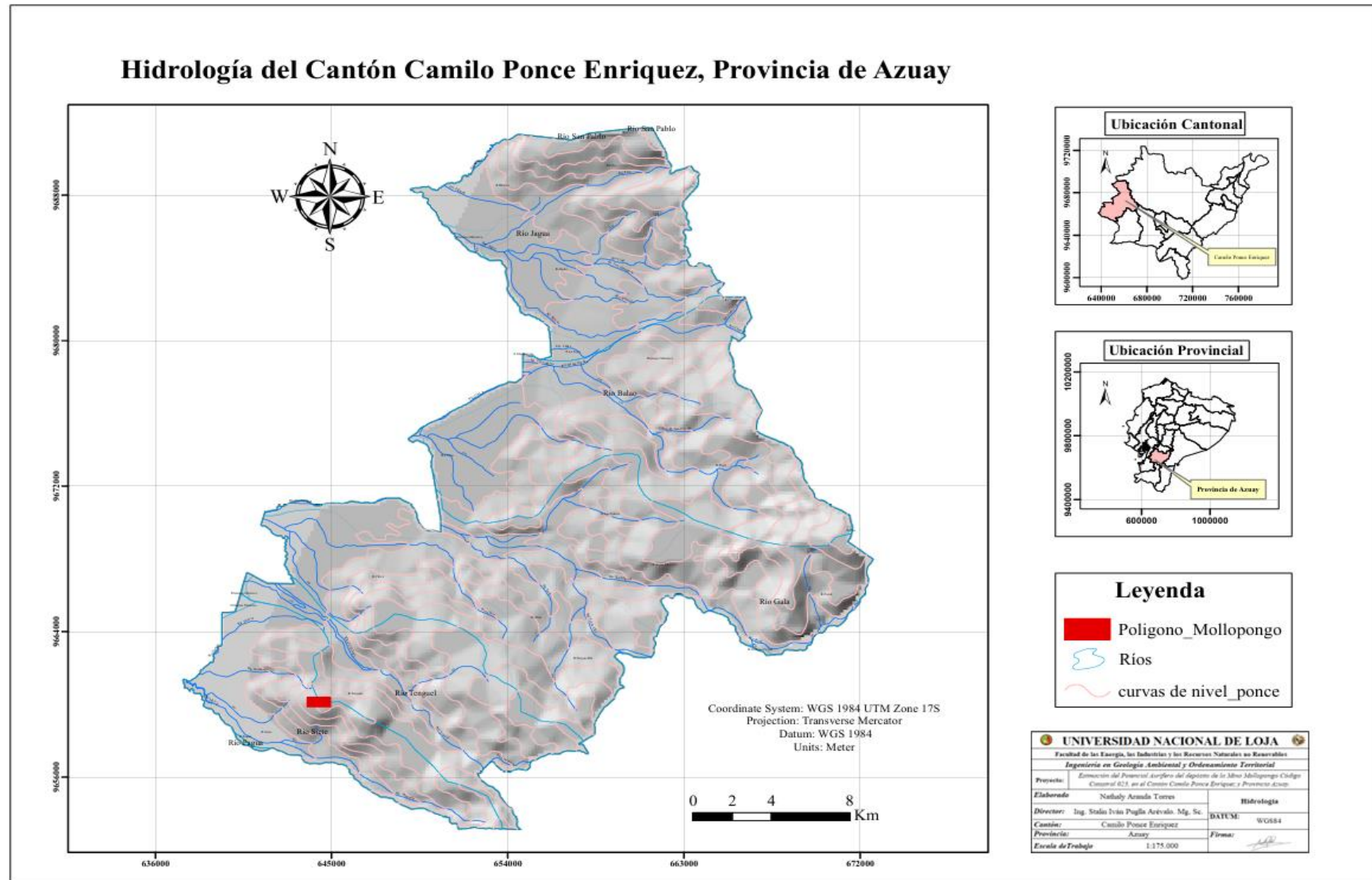


Anexo 4: Mapa Geomorfológico

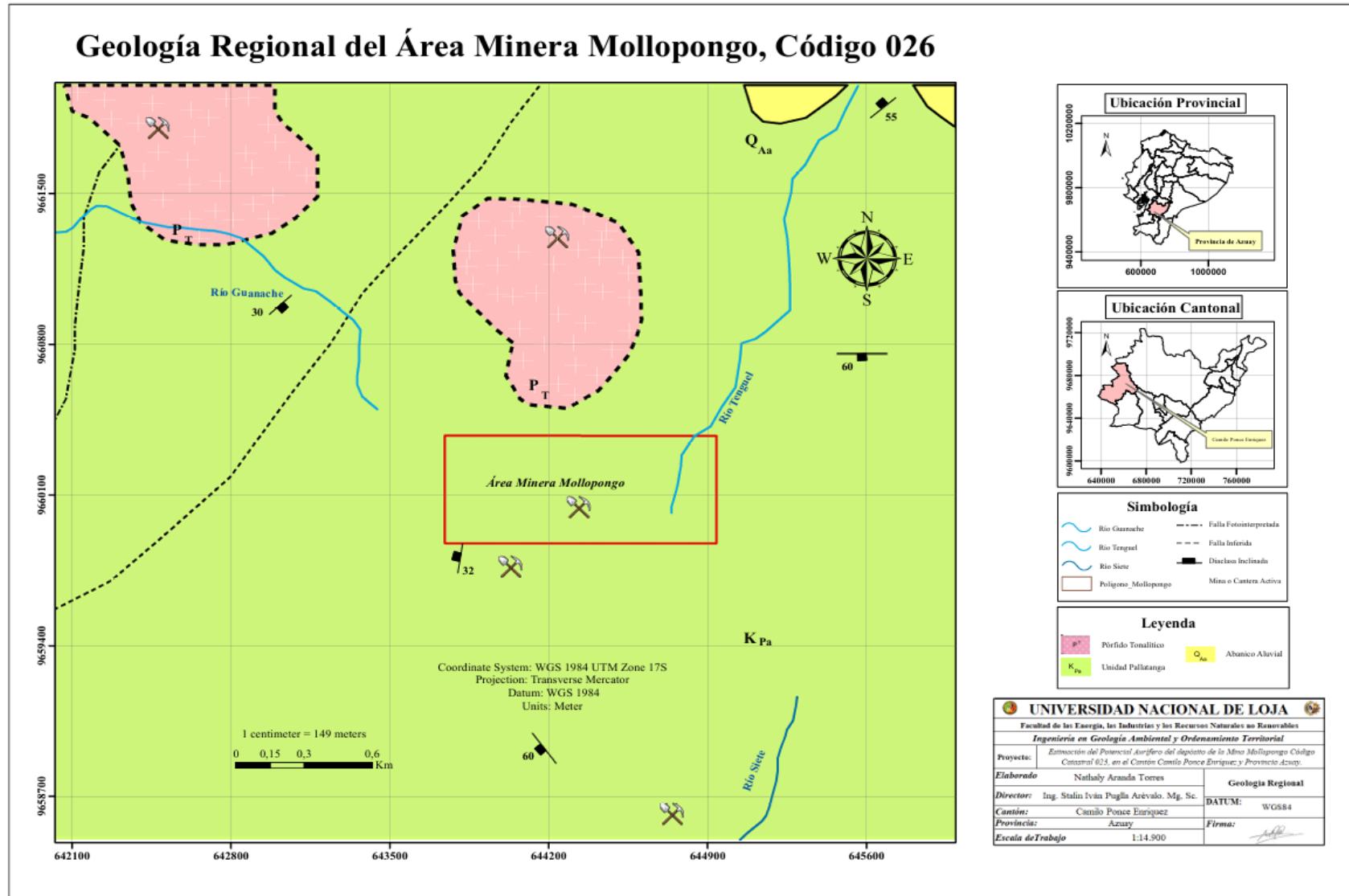




## Anexo 5: Mapa Hidrológico



Anexo 6: Mapa Geología Regional



## Anexo 7: Certificado de traducción del resumen

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar  
Certified English Teacher

### CERTIFICA:

Que el documento aquí compuesto es fiel traducción del idioma español al idioma inglés, del resumen del trabajo de integración curricular, titulado: **“Estimación del Potencial Aurífero del depósito de la Mina Mollopongo Código Catastral 023, en el Cantón Camilo Ponce Enríquez y Provincia Azuay.”**, de autoría de la srta. Lady Nathaly Aranda Torres, con número de cédula 1105155871, egresada de la carrera de Geología ambiental y ordenamiento territorial, de la Universidad Nacional de Loja.

Lo certifica en honor a la verdad y autoriza a la interesada, hacer uso del presente en lo que a sus intereses convenga.

Loja, 07 de noviembre del 2024



CARLOS FERNANDO  
VELASTEGUI AGUILAR

Lic. Carlos Fernando Velastegui Aguilar  
**LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS**  
**Numero de registro:** 1031-2022-2463645  
**C.I.:** 1105165672