



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS**  
**DEPARTAMENTO CIENCIAS DE LA TIERRA.**



# **GEOLOGÍA Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS EN LAS VETAS ANACONA, QUEBRADA Y SAN LORENZO EN PAMPA CAMARONES, REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA, CHILE**

**Habilitación Profesional para obtener el Título de Geólogo**

**Jonathan Omar Aguilera González**

**Profesor Guía** : MSc. Abraham Elías González Martínez  
**Profesor Co – Guía** : Sr. Raúl Tecas Soto  
**Profesora Comisión** : Dra. Fernanda Carolina Álvarez Amado

**Concepción, 2025**

*Cada paso que no se nota, también te acerca.*

## ÍNDICE

Página

<b>RESUMEN</b> .....	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	1
1.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	1
1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	1
<b>1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS</b> .....	2
<b>1.3. AGRADECIMIENTOS</b> .....	4
<b>2. MARCO GEOLÓGICO</b> .....	5
<b>2.1. CONTEXTO MORFOESTRUCTURAL</b> .....	5
<b>2.2. GEOLOGÍA REGIONAL</b> .....	5
2.2.1. ROCAS SEDIMENTARIAS.....	5
2.2.1.1. Formación Camaraca (Jmc, Bajociano Superior – Caloviano) .....	5
2.2.1.2. Formación Azapa (Oa, Oligoceno – Mioceno Superior) .....	6
2.2.1.3. Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (OMma, Oligoceno – Mioceno Medio) .....	6
2.2.1.4. Formación El Diablo (Mimd, Mioceno Inferior – Mioceno Superior bajo) .....	7
2.2.1.5. Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (MsPla, Mioceno Superior – Plioceno.....	7
2.2.1.6. Ignimbrita Lauca (PII, Plioceno Superior) .....	7
2.2.1.7. Depósitos fluviales Pleistocenos (Pf).....	8
2.2.1.8. Depósitos salinos de la Depresión Central (Qsdc).....	8
2.2.1.9. Depósitos eólicos (Qe).....	8
2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS.....	8
2.2.2.1. Intrusivos del Jurásico Medio – Superior (Jmsi, 165 – 164 Ma).....	8
<b>2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	10
<b>2.4. GEOLOGÍA LOCAL</b> .....	10
2.4.1. UNIDAD A.....	10
2.4.2. UNIDAD B.....	11
2.4.3. UNIDAD C.....	11
2.4.4. UNIDAD D.....	12
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	13

<b>3.1. ETAPA DE GABINETE.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. TRABAJO EN TERRENO.....</b>	<b>13</b>
<b>3.3. TRABAJO POST – TERRENO.....</b>	<b>14</b>
3.3.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS.....	14
3.3.2. MODELO 3D DE LAS ESTRUCTURAS.....	14
3.3.3. ESTIMACIÓN DE TONELAJE Y RECURSOS.....	15
3.3.4. ELABORACIÓN DEL ESCRITO.....	15
<b>4. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. YACIMIENTOS VETIFORMES.....</b>	<b>17</b>
<b>4.2. RECURSOS MINERALES.....</b>	<b>17</b>
<b>4.3. ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....</b>	<b>17</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>5.1. VETA ANACONA.....</b>	<b>18</b>
5.1.1. MODELO 3D.....	22
5.1.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....	28
<b>5.2. VETA SAN LORENZO.....</b>	<b>32</b>
5.2.1. MODELO 3D.....	37
5.2.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....	38
<b>5.3. VETA QUEBRADA.....</b>	<b>43</b>
5.3.1. MODELO 3D.....	46
5.3.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS.....	47
<b>6. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>51</b>
<b>6.1. VETA ANACONA.....</b>	<b>51</b>
<b>6.2. VETA SAN LORENZO.....</b>	<b>52</b>
<b>6.3. VETA QUEBRADA.....</b>	<b>53</b>
<b>6.4. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>	<b>53</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>56</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS.

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Mapa de Chile.....	2
2. Mapa de ubicación y accesos a la faena de Pampa Camarones.....	3
3. Mapa de ubicación y accesos a la zona de estudio abarcada.....	3
4. Esquema de las unidades presentes en Mina Salamancaqueja.....	12
5. Mapa del área de estudio de Veta Anacona.....	18
6. Esquema E – W del muestreo de canaleta realizado en Anacona I.....	19
7. Vista de los sondajes utilizados en Anacona I.....	21
8. Vista de los sondajes utilizados en Anacona II.....	22
9. Vista en planta del modelo 3D de la Veta Anacona I.....	24
10. Vista en perspectiva del modelo 3D de la Veta Anacona I.....	25
11. Vista en planta del modelo 3D de Anacona II.....	26
12. Vista en perspectiva del modelo 3D de la Veta Anacona II.....	27
13. Modelo de mineralización mediante el modelo numérico en Veta Anacona I.	30
14. Mapa del área de estudio de la Veta San Lorenzo.....	33
15. Esquema W – E de muestreo de canaleta realizado en San Lorenzo.....	35
16. Vista en planta de los sondajes utilizados en San Lorenzo.....	36
17. Vista en perspectiva de los sondajes utilizados en San Lorenzo.....	36
18. Modelo 3D de la Veta San Lorenzo realizado en Leapfrog.....	38
19. Vista en planta de la zona mineralizada en Veta San Lorenzo.....	40
20. Vista en perspectiva de la zona mineralizada en Veta San Lorenzo.....	40
21. Vista en planta de las zonas mineralizadas estimadas por Leapfrog, separadas en rangos.....	41
22. Vista en perspectiva de las zonas mineralizadas estimadas por Leapfrog separadas en los rangos.....	42
23. Mapa del área de estudio de la Veta Quebrada.....	44
24. Esquema NW – SE de muestreo de canaleta realizado en Veta Quebrada.....	45
25. Vista de los sondajes utilizados en Veta Quebrada.....	46
26. Modelo 3D de la Veta Quebrada.....	47
27. Modelo 3D de la mineralización separada en los rangos utilizados.....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Página</b>
1.	Tabla de muestreo de canaleta realizado en Anacona I.....	20
2.	Sondajes utilizados en Anacona I y Anacona II.....	21
3.	Rangos escogidos en Anacona I.....	28
4.	Contenido de cobre estimado en Anacona I.....	29
5.	Sondajes utilizados en Veta San Lorenzo.....	34
6.	Muestras extraídas en el sector de Veta San Lorenzo.....	35
7.	Rangos escogidos en Veta San Lorenzo.....	39
8.	Contenido de cobre estimado en Veta San Lorenzo.....	39
9.	Muestras extraídas en sector de Veta Quebrada.....	45
10.	Sondajes utilizados en el sector de Veta Quebrada.....	45
11.	Rangos establecidos para el desarrollo de la estimación mediante el modelo numérico en Leapfrog.....	48
12.	Contenido de cobre estimado en Veta Quebrada.....	49
13.	Comparativa de las características resultantes de los modelos realizados en Leapfrog.....	51

## RESUMEN

Minera Pampa Camarones S.A. se ubica en la región de Arica y Parinacota, operando vetas mineralizadas de oxidados de cobre mediante minería subterránea en su principal yacimiento, Mina Salamanqueja. Este depósito corresponde a un sistema vetiforme estructuralmente controlado, donde la mineralización se encuentra alojada en un dique andesítico–microdiorítico intruido en rocas volcánicas mesozoicas, presentando principalmente oxidados y sulfuros de cobre.

En este contexto se enmarca la presente Habilitación Profesional, centrada en la estimación de recursos minerales en tres vetas menores denominadas Anacona, San Lorenzo y Quebrada, ubicadas al norte de la mina principal, dentro de los terrenos pertenecientes a Pampa Camarones. Estas estructuras fueron seleccionadas por su mineralización expuesta superficialmente y su orientación estructural similar a las vetas de Salamanqueja.

En el presente trabajo se realizó una estimación de recursos considerando los análisis químicos de 16 sondajes históricos y 14 muestras recolectadas en terreno. Además, se llevaron a cabo mediciones estructurales directas sobre las vetas, como rumbos, manteos, espesores y longitudes expuestas en superficie.

Con la información recolectada y las estructuras reconocidas en terreno, se procedió a modelar tridimensionalmente las vetas en el software Leapfrog Geo. Estos modelos 3D permitieron calcular el volumen de cada cuerpo mineralizado, el cual, junto con las leyes de cobre obtenidas, se utilizó para estimar el contenido metálico en toneladas de cobre presente en cada estructura.

Este estudio permite disponer de una primera aproximación del potencial de estas vetas y entrega información valiosa para el diseño de futuras campañas de perforación o incluso para evaluar la factibilidad de iniciar operaciones de extracción a pequeña escala en zonas de alta ley.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La exploración minera en etapas tempranas comprende un rol clave en la identificación y evaluación de cuerpos mineralizados con potencial económico, especialmente en zonas que presentan evidencias superficiales de mineralización. En la Cordillera de la Costa, al norte de Chile, es común el desarrollo de vetas mineralizadas alojadas en rocas volcánicas mesozoicas. Estos cuerpos, representan una fuente relevante para la minería a pequeña y mediana escala debido a las altas leyes que pueden presentarse en estas estructuras sumado al fácil acceso superficial.

En este contexto, la estimación de recursos minerales constituye una fase esencial dentro del proceso exploratorio, ya que permite cuantificar el potencial económico del depósito a partir de parámetros como el volumen, la ley media y la distribución espacial de la mineralización. Lograr esta información es fundamental para la planificación futura de sondajes y la definición de etapas posteriores en el desarrollo de un proyecto minero.

El presente estudio se centra en la estimación preliminar de recursos minerales para tres vetas de oxidados de cobre, Veta Anacona, Veta San Lorenzo y Veta Quebrada, ubicadas en sectores aledaños a Minera Pampa Camarones. Para ello, se integraron observaciones estructurales, litológicas y mineralógicas recolectadas en terreno con datos geoquímicos de muestras y sondajes preexistentes. Esta información fue modelada en el software Leapfrog Geo, permitiendo construir representaciones tridimensionales de las vetas y calcular tonelajes estimados con base en la geometría, densidad y leyes metálicas obtenidas de los análisis químicos.

### **1.1. OBJETIVOS**

#### **1.1.1. OBJETIVO GENERAL**

Realizar una estimación de recursos minerales de las vetas Anacona, Quebrada y San Lorenzo.

#### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Caracterizar petrográficamente la roca de caja y la mineralización de las vetas mediante muestras macroscópicas y microscópicas.

- Generar un modelo tridimensional para visualizar los cuerpos mineralizados, integrando los datos estructurales y químicos.
- Realizar una estimación del tonelaje y los recursos minerales en base a los datos tomados en terreno, análisis químicos y sondajes preexistentes.

## 1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS

Pampa Camarones S.A. y Mina Salamanqueja, se encuentran ubicadas a 80 kilómetros al sur de la ciudad de Arica en la región de Arica y Parinacota (Fig. 1.) El acceso a las dependencias de la faena minera se realiza a través del camino minero Pampa Camarones, el cual se une con la Ruta 5 Norte al sur de la Quebrada Vitor (Fig. 2.).

El área de estudio corresponde a 3 sub – áreas y se sitúan aproximadamente 8 kilómetros al norte de la faena minera. El acceso a esta zona es mediante el Camino Minero Pampa Camarones y caminos interiores en dirección al oeste a los cuales se debe acceder en vehículo 4x4 (Fig. 3.).

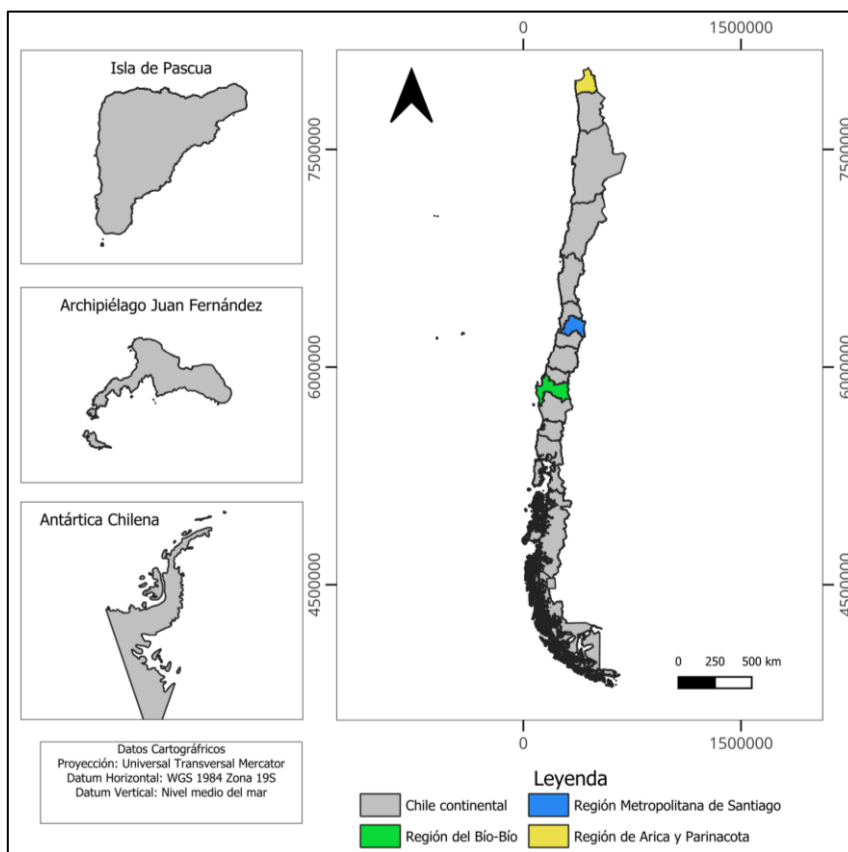


Figura 1. Mapa de Chile.

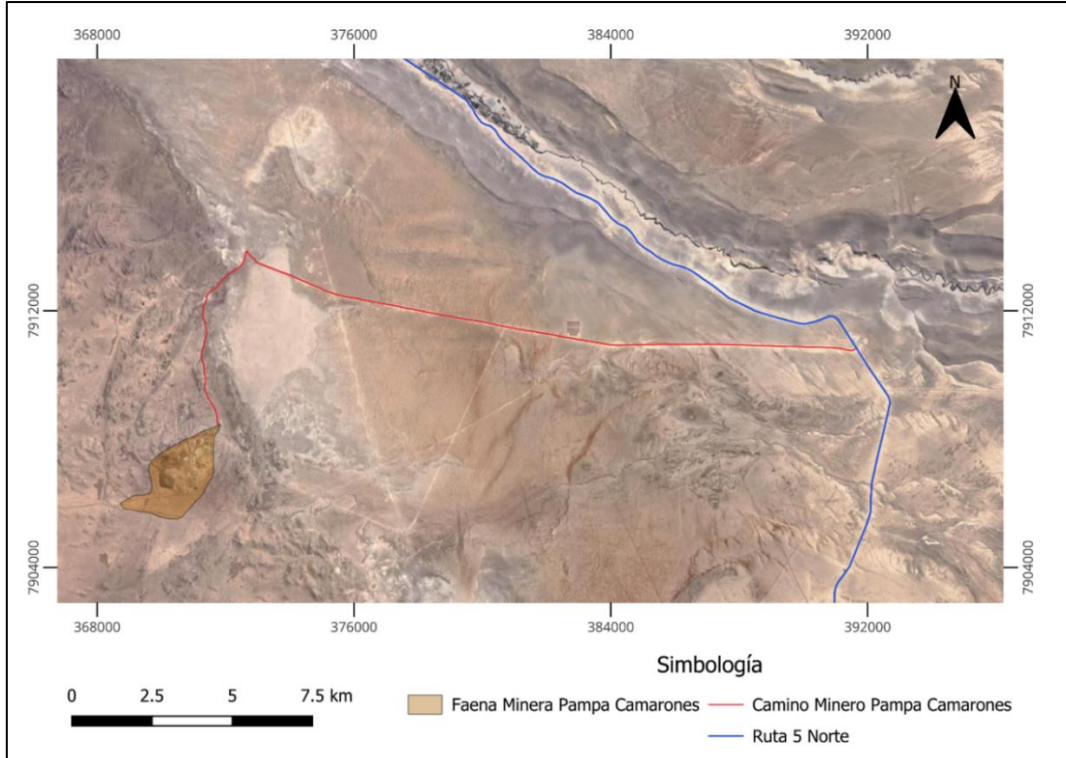


Figura 2. Mapa de ubicación y acceso a la faena de Pampa Camarones.

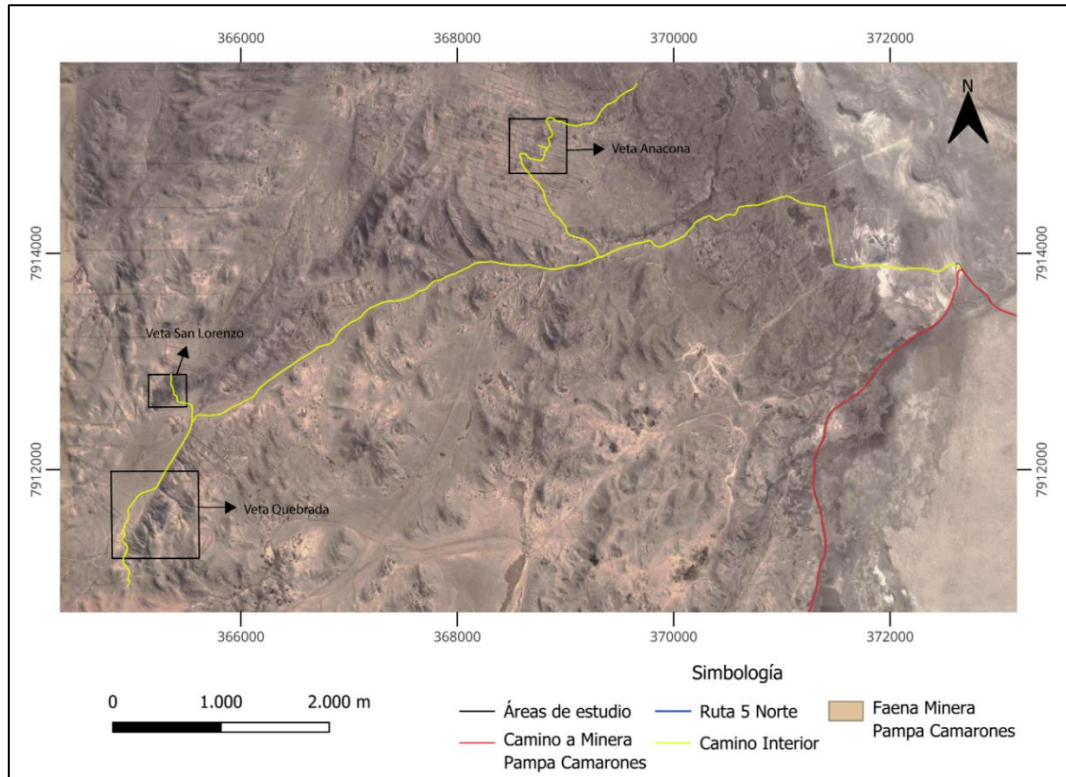


Figura 3. Mapa de ubicación y accesos a las áreas de estudio abarcadas.

### 1.3. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a Pampa Camarones S.A. y a todo el personal de la empresa por la oportunidad y confianza que me brindaron para desarrollar mi memoria junto con ellos, así como también por la acogedora estadía durante las semanas de trabajo en Arica. Agradezco al Sr. Raúl Tecas por ser mi co-guía y la persona que hizo posible esta memoria. Agradezco igualmente a todo el equipo de geología de Pampa Camarones S.A., quienes me recibieron cálidamente desde el primer día y siempre estuvieron dispuestos a ayudarme en todo lo que necesitara.

Agradezco a mi profesor guía, el profesor Abraham González Martínez, por aceptarme como su memorista desde el primer instante. También quiero expresar mi profunda gratitud a todos los funcionarios del Departamento de Ciencias de la Tierra; todos han puesto su granito de arena durante estos años de carrera y han hecho posible que pudiera llevar a cabo este trabajo, ya sea cada profesor a través de sus clases, como también los funcionarios que hicieron posible logísticamente cada salida a terreno, siempre atentos a que no nos faltara nada y manteniendo el sentimiento de estar como en casa.

Quiero agradecer a todas mis amistades, que siempre estuvieron junto a mí durante todos estos años, algunos desde mucho antes de empezar a estudiar, y que siguen a mi lado hasta el día de hoy regalando alegrías, risas inolvidables y momentos que perduran en el tiempo: Diego, Mati, Kevin, Cristóbal, Gonzalo, Roberto, José Luis y Bastián.

Finalmente, quiero agradecer también a toda mi familia, que siempre ha sido un pilar fundamental en mi vida y en mi día a día, con especial mención a mis padres. Sin ellos nada de esto habría sido posible; esto es tanto mío como de ellos. Del mismo modo, quiero agradecer a Luna, siempre brindándome todo su amor y cariño incondicional para salir adelante, sea cual sea la situación.

No quiero terminar sin mostrar mi profunda gratitud a quienes ya no están conmigo, pero fueron un pilar fundamental para lograr este objetivo, así como también a Antonia quien ha llegado a mi vida en este tramo final y ha sido un propulsor importante en mi día a día y en mi motivación.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

### 2.1. CONTEXTO MORFOESTRUCTURAL

En la región de Arica y Parinacota que se encuentra comprendida entre los 18°20' y los 19°14'S se distinguen cuatro morfoestructuras mayores: Cordillera de la Costa, Depresión Central, Precordillera, y Cordillera Occidental (García et *al.*, 2004). Minera Pampa Camarones se ubica en la Cordillera de la Costa, una zona elevada comprendida por cerros de baja altitud, alcanzando los 1.200 ca. ms.n.m limitada al este por depósitos salinos de la depresión central y depósitos eólicos, mientras que al oeste se encuentra limitada por el Océano Pacífico. El cordón montañoso de la Cordillera de la Costa desaparece inmediatamente después de la ciudad de Arica por aproximadamente 50 kilómetros, mientras que hacia el sur su altitud va en aumento alcanzando su máximo en Punta Madrid (1.183 ms.n.m.) ubicado 7 kilómetros al suroeste de la Minera Pampa Camarones. Al norte de la faena, la Cordillera de la Costa es atravesada por Quebrada Vitor, mientras que al sur es atravesada por la Quebrada Camarones. Esta cadena montañosa presenta colinas redondeadas y depresiones anchas, y se encuentra limitada al oeste por un escarpe costero que puede alcanzar un desnivel de casi 1.000 metros con una pendiente que varía entre los 50 – 80° (García et *al.*, 2004).

### 2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

#### 2.2.1. ROCAS SEDIMENTARIAS

##### 2.2.1.1. Formación Camaraca (Jmc, Bajociano Superior – Caloviano)

Definido por Salas et *al.*, (1966), corresponde a una sucesión esencialmente volcánica de unos 4.000 metros de espesor mínimo que aflora de manera amplia en la Cordillera de la Costa, al sur de Arica. La columna más completa se encuentra en la zona al sur de la Quebrada Vitor. Esta formación se encuentra intruida por los Intrusivos del Jurásico Medio – Superior (Jmsi) y por numerosos diques, filones – manto y cuerpos subvolcanicos andesíticos y microdioríticos. Esta unidad se encuentra plegada y dispuesta predominantemente homoclinal manteniendo al este.

La formación contiene rocas volcánicas de lavas andesíticas de colores verde oscuro, gris y pardo rojizo, intercaladas en menor proporción con lavas basálticas, tobas y niveles de rocas sedimentarias como areniscas, brechas, calizas, conglomerados y lutitas.

Estas rocas presentan localmente un grado moderado a avanzado de alteración hidrotermal propilítica y hospedan numerosos yacimientos vetiformes pequeños de cobre, causados por los Intrusivos del Jurásico Medio – Superior.

#### **2.2.1.2. Formación Azapa (Oa, Oligoceno – Mioceno Superior)**

La Formación Azapa fue definida por Salas *et al.* (1966) como una sucesión sedimentaria subhorizontal de conglomerados continentales medianamente consolidados expuesta en la quebrada Azapa.

La formación se encuentra dividida en dos asociaciones de facies definidas por la granulometría de los depósitos, la cual disminuye hacia el oeste. La primera facie (Oa (a)) corresponde a niveles sedimentarios tabulares y lenticulares medianamente consolidados de conglomerados y areniscas con intercalaciones de limolitas y arcillolitas. La segunda facie corresponde a areniscas y limolitas (Oa (b)) intercaladas con conglomerados, de grano fino y arcillolitas. Estas areniscas son mal seleccionadas y presentan estratificación tabular.

Las dataciones realizadas en un clasto de dacita incluido en un conglomerado de la parte media de la formación arroja una edad K – Ar en roca total de  $60 \pm 2$  Ma, lo que indica una edad máxima paleocena superior para la depositación de la formación.

#### **2.2.1.3. Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (OMma, Oligoceno – Mioceno Medio)**

Corresponden a depósitos sedimentarios continentales subhorizontales, principalmente detríticos, que rellenan depresiones aisladas en la Cordillera de la Costa. En la zona, sobreyacen en discordancia angular a la Formación Camaraca (Jmc) y a las rocas intrusivas del Jurásico Medio – Superior. Estos depósitos se interdigitan en parte con las formaciones Azapa y El Diablo al sudeste de Arica en Quebrada Vitor.

Los depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa pueden alcanzar espesores de hasta 200 metros y están formados principalmente por arenas, gravas y brechas sedimentarias.

#### **2.2.1.4. Formación El Diablo (Mimd, Mioceno Inferior – Mioceno Superior bajo)**

Definida por Tobar *et al.*, (1968) como una sucesión sedimentaria continental, predominantemente clástica, expuesta en la confluencia de las quebradas El Diablo y Azapa. Se acuña hacia el oeste hacia el área de estudio y sus capas progradan a las unidades mesozoicas de la Cordillera de la Costa. La unidad subyace en discordancia de erosión hacia el oeste a la Ignimbrita Lauca del Plioceno Superior.

Alcanza una potencia de aproximadamente 300 metros y se han distinguido dos miembros. El Miembro Inferior constituido por una sucesión de hasta 250 metros de espesor de areniscas, en parte conglomerádicas, limolitas y calizas, indicando un ambiente de depositación de baja energía de llanuras aluviales intermedias a distales con escaso aporte detrítico. El Miembro Superior alcanza un espesor de hasta 50 metros que va disminuyendo hacia el oeste, está formado por estratos de ripios, gravas semiconsolidados con intercalaciones de areniscas depositados en un ambiente fluvial de alta energía, proximal a intermedio.

#### **2.2.1.5. Depósitos aluviales de la Cordillera de la Costa (MsPla, Mioceno Superior – Plioceno)**

Corresponden a depósitos sedimentarios continentales detríticos, subhorizontales, que se encuentran rellenando depresiones aisladas en la Cordillera de la Costa o en su flanco oriental. Estos depósitos son de extensión restringida y rellenan paleodepresiones formadas en las rocas de la Formación Camaraca presente en el área de estudio. Estos depósitos aluviales alcanzan espesores de hasta 50 metros y están formados por arenas, gravas de grano fino a medio y limos semiconsolidados de colores pardo, gris y rojo.

#### **2.2.1.6. Ignimbrita Lauca (PII, Plioceno Superior)**

La Ignimbrita Lauca corresponde a un depósito de flujo piroclástico, de colores rosado, gris y pardo rojizo, con una extensión areal que abarca la Alta Cordillera, Precordillera y Depresión Central, esta última cercana al área de estudio. La toba es leve a moderadamente soldada, vítrea, de cristales,

pómez y líticos. Los cristales de la Ignimbrita Lauca son de cuarzo, plagioclasa, sanidina, biotita, anfíbol y magnetita. La pómez presenta una textura fibrosa y predominan en la parte superior del depósito piroclástico y son de un diámetro menor a 50 centímetros. En la parte occidental de la Depresión Central, la facie distal de la ignimbrita es de granulometría fina y fuertemente salinizada, con pómez redondeadas y esféricas, de diámetro menor a 5 centímetros, y líticos de diámetro menor a 2 centímetros.

#### **2.2.1.7. Depósitos fluviales Pleistocenos (Pf)**

Los depósitos fluviales del Pleistoceno corresponden a ripios y gravas clastosoportados, semiconsolidados, con intercalaciones de arenas, limos y localmente, diatomitas. Se distribuyen a lo largo de los cauces mayores de las quebradas Lluta, Azapa, Vitor, Camarones y Lauca. Estos depósitos son bien estratificados, mal a moderadamente seleccionados y están formados por clastos redondeados a subangulosos, moderadamente esféricos de composición andesítica a riolítica.

#### **2.2.1.8. Depósitos salinos de la Depresión Central (Qsdc)**

Corresponden a mantos subhorizontales de sales, limos salinos y costras salinas, de espesor centimétrico a métrico y de colores blanco y amarillo. Estos depósitos se distribuyen en la parte occidental de la Depresión Central y sobreyacen en discordancia de erosión a la Formación El Diablo (Mimd) y a la Ignimbrita Lauca (PII). Corresponden predominantemente a depósitos de sulfatos como yeso y anhidrita, y cloruros como halita.

#### **2.2.1.9. Depósitos eólicos (Qe)**

Son arenas finas a gruesas bien seleccionadas, no consolidadas, de colores gris y pardo, que se distribuyen extensamente en la parte occidental de la Depresión Central. Cubren a las gravas superiores de la Formación El Diablo (Mimd) y localmente la Ignimbrita Lauca (PII). Estos depósitos presentan espesores máximos de 5 metros y forman pequeñas dunas continentales. Las arenas tienen estratificación o laminación cruzada y contienen clastos subangulosos a redondeados, moderadamente esféricos.

## 2.2.2. ROCAS INTRUSIVAS

### 2.2.2.1. Intrusivos del Jurásico Medio – Superior (Jmsi, 165 – 164 Ma)

Corresponden a cuerpos plutónicos e hipabisales de variadas formas, dimensiones y composiciones que intruyen a la Formación Camaraca (Jmc) en la Cordillera de la Costa. Presentan predominantemente formas elongadas en dirección norte – sur y están localmente cubiertos en discordancia por los depósitos aluviales del Oligoceno – Mioceno (OMma). En la Hoja Arica, Región de Arica y Parinacota (García *et al.*, 2004) se definen estos intrusivos como Intrusivo Mal Paso (Jmsi(a)), Intrusivo Lombriz (Jmsi(b)) y se incluye una serie de cuerpos plutónicos e hipabisales indiferenciados (Jmsi(c)). En el área, estos cuerpos intrusivos del Jurásico Medio – Superior, están cortados por filones andesíticos o microdioríticos de color oscuro, o por filones graníticos a granodioríticos de color leucocrático. En sectores periféricos a estos cuerpos intrusivos o en la roca de caja correspondiente a la Formación Camaraca (Jmc), se encuentran numerosos depósitos vetiformes de cobre que constituyen la Franja Metalogénica de la Cordillera de la Costa.

#### *A) Intrusivo Mal Paso (Jmsi (a), 165 Ma)*

Formado por rocas de color gris y marrón oscuro, de textura fanerítica de grano medio a grueso. Corresponde a una monzodiorita cuarcífera a monzodiorita, constituida por abundante plagioclasa fresca y con inclusiones de magnetita, minerales maficos, feldespato potásico y cuarzo en menor proporción (6%). Presenta un grado avanzado de oxidación e incipiente de alteración propilitica y vetillas de calcita y clorita. En la parte norte del Intrusivo Mal Paso (Jmsi(a)) se obtuvo una edad K – Ar en plagioclasa de  $165 \pm 5$  Ma.

#### *B) Intrusivo Lombriz (Jmsi (b), Jurásico Medio – Superior)*

Cuerpo plutónico expuesto en la parte oriental de la Cordillera de la Costa, en el cerro hito Lombriz, al suroeste de la pampa de Camarones. Las rocas presentes son de color verde grisáceo, gris verdoso, pardo verdoso y rosada, y corresponden a un gabro de textura fanerítica de grano medio a grueso con cristales de plagioclasa, piroxenos, hornblenda y olivino. Presenta un grado moderado a avanzado de alteración propilitica con minerales maficos alterados a clorita, tremolita – actinolita e hidróxidos de hierro, y plagioclasa alterada a caolinita – illita y/o esmectitas.

*C) Intrusivos Indiferenciados (Jmsi (c), Jurásico Medio – Superior)*

Corresponden a cuerpos plutónicos e hipabisales expuestos en la parte occidental de la Cordillera de la Costa, compuestos por granodioritas, dioritas, gabros, monzodioritas y monzodioritas cuarcíferas de textura fanerítica, de grano medio a grueso y textura porfídica con masa fundamental microfanerítica. Las rocas están formadas por plagioclasa, ortoclasa, cuarzo, anfibola y piroxenos. El grado de alteración propilitica va de moderado a avanzado, con feldespatos argilizados, calcitizados y levemente sericitizados, con minerales maficos cloritizados y calcitizados.

### **2.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL**

En el norte de Chile, las estructuras tectónicas mayores han sido relacionadas genéticamente con la implantación de arcos magmáticos sucesivos, migrantes hacia el este (Mpodozis y Ramos, 1989; Scheuber *et al.*, 1994). En la zona de estudio, principalmente en la morfoestructura predominante correspondiente a la Cordillera de la Costa, se ve representado el periodo tectónico Jurásico Superior – Cretácico Inferior. Las rocas de este periodo se encuentran dispuestas de forma homoclinal con 10° a 50° de manteo al este, moderada a suavemente plegadas y cortadas por fallas regionales subverticales de rumbos preferenciales NE – SW y NS. Según García *et al* (2004), las fallas de la Cordillera de la Costa cortan las rocas del Jurásico Medio – Cretácico Inferior y están selladas por, o desplazan en algunos metros a los depósitos del Oligoceno – Holoceno, lo que permite asumir un rango de edad amplio Jurásico Superior – Eoceno para los movimientos principales.

La zona de estudio se encuentra comprendida en una zona de fallas de una extensión aproximada de hasta 15 kilómetros de largo y de rumbo predominante NE – SW. Algunas de estas fallas contienen mineralización de cobre en vetas, como es el caso de la Veta Salamanqueja, controlada estructuralmente por una falla de dirección NE y manteo 55° NW.

### **2.4. GEOLOGÍA LOCAL**

La geología de la Mina Salamanqueja consiste en un dique andesítico a microdiorítico de espesor variable que intruye por una falla de dirección NE – SW y manteo 55° al NE, falla que a su vez yuxtapone un panel estructural volcánico al este y otro volcanoclásticos al oeste. Según Minera Pampa Camarones S.A. (s.f.), la geología local se divide en 4 unidades geotécnicas (Fig. 4.):

#### 2.4.1. UNIDAD A

La Unidad “A” corresponde al bloque colgante del sistema y está compuesta principalmente por tobas rojas. Se identifican además areniscas rojas, tobas brechosas de lapilli y andesitas vesiculares. Las tobas brechosas contienen material fragmental volcánico de composición andesítica, de variados tamaños y tipos (polimíctico), con una matriz compuesta por arena y material fino hematizado. Estas tobas brechosas presentan intercalaciones de arenisca volcánica (volcarenita) teñida de rojo, con espesores que varían entre 30 cm y 1 metro. Estas intercalaciones muestran procesos de limonitización que afectan a componentes ferromagnesianos y metálicos.

Litológicamente, se trata de rocas sedimentarias de origen epiclástico, con textura clasto-soportada y grano medio (0,2 a 0,5 milímetros). Están compuestas mayoritariamente por fragmentos detríticos subredondeados de rocas andesíticas a andesítico-basálticas, además de fragmentos monominerales provenientes de los mismos tipos de roca. Estos fragmentos incluyen cristales de plagioclasa cálcica con alteración a clorita y esmectitas (con aspecto albitizado), así como trozos de piroxeno alterados a hidrobiotita con clorita y oxidados de titanio.

#### 2.4.2. UNIDAD B

Esta unidad corresponde a un dique intrusivo de composición diorítica, el cual constituye la principal roca de caja del sistema mineralizado. Presenta un espesor máximo de aproximadamente 40 metros y se caracteriza por ser una unidad litológicamente competente, salvo en las zonas donde ha sido cortada por vetas mineralizadas.

Petrográficamente, el dique exhibe una textura porfídica con una matriz de grano grueso e intergranular, y su composición varía entre andesítica y andesítico-basáltica. Se reconocen además características ocotíticas en su mineralogía, lo que indica una textura con cristales inmersos en una masa más fina.

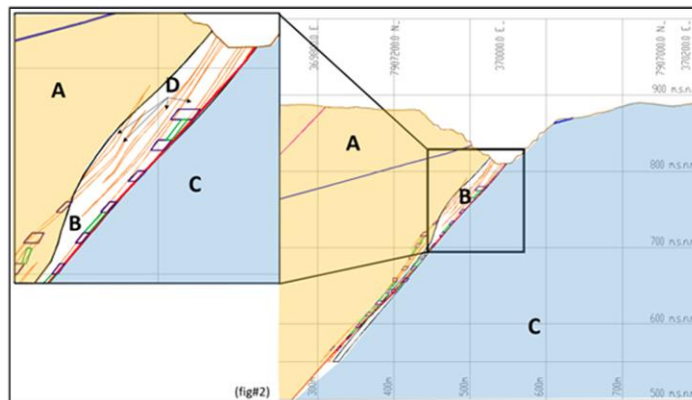
#### 2.4.3. UNIDAD C

Corresponde al bloque yacente de la secuencia estratigráfica, compuesto por intercalaciones de lavas andesíticas y niveles subordinados de tobas finas. Esta unidad se caracteriza por una sucesión

de tobas de grano fino interestratificadas con andesitas porfídicas de grano fino, las cuales presentan en ocasiones textura amigdaloidal, con vesículas sin relleno o parcialmente rellenas. El grado de fracturamiento observado en estas rocas varía de débil a moderado. Los espesores típicos de los niveles individuales oscilan entre 1 y 5 metros. Además, de manera local, se han descrito cuerpos subhorizontales del tipo “sill”, de composición andesítica a diorítica, los cuales presentan raíces subverticales que podrían estar vinculadas a procesos de inyección magmática.

#### 2.4.4. UNIDAD D

Esta unidad presenta un comportamiento mecánico variable: puede ser competente cuando se encuentra cementada por la mineralización, pero en otros casos aparece intensamente fracturada. Las fracturas han sido mapeadas en los túneles de la mina, mostrando una disposición subparalela a la falla principal Salamancaqueja. La unidad presenta espesores que varían entre 1 y 10 metros. En su base se sitúa la falla Salamancaqueja, considerada la estructura tectónica más relevante del yacimiento, la cual se encuentra rellena por arcillas y hematita. La mineralización se manifiesta principalmente en forma de vetas subparalelas y como diseminaciones dentro del dique andesítico que constituye esta unidad. La veta más continua y de mayor desarrollo se ubica en el piso del corredor mineralizado de vetas.



**Figura 4. Esquema de las unidades definidas y presentes en Mina Salamancaqueja en la faena de Pampa Camarones** donde se identifican las unidades A, B, C y D descritas en el texto. (Extraído de Minera Pampa Camarones S.A. (s.f.), sitio web institucional: <https://pampacamaron.es.cl/geologia/>).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1. ETAPA DE GABINETE**

El trabajo comienza con una etapa de gabinete que consta de la recopilación de datos otorgados por Minera Pampa Camarones S.A. correspondiente a la información de los puntos en superficie a visitar y los sondajes realizados anteriormente con sus respectivos análisis químicos que muestran leyes de CuT%.

También se realiza una recopilación bibliográfica de la geología regional, para abordar la geología de la mina y asociar las distintas litologías presentes a formaciones ya descritas con anterioridad. En esta etapa se definen las tres vetas a estudiar: Anacona, Quebrada y San Lorenzo ubicadas espacialmente a 8 kilómetros al norte de la Mina Salamanqueja y con orientaciones NS/NE – SW similares a las presentes en la mina principal.

#### **3.2. TRABAJO EN TERRENO**

El trabajo en terreno se desarrolló entre el 17 de febrero y el 5 de marzo de 2025, y consistió en la visita a tres estructuras mineralizadas en superficie con el objetivo de recopilar los datos necesarios para su posterior estimación de recursos. En cada punto de estudio se realizó la medición de la orientación de las vetas mineralizadas mediante una brújula geológica Brunton estructural, así como la determinación de espesores y extensiones espaciales de las estructuras mediante huincha de cinta métrica.

Asimismo, se efectuó una detallada descripción de las litologías, tipos de mineralización y alteraciones presentes en cada zona de estudio, para lo cual se realizó un mapeo de canaleta y la recolección de muestras mediante martillo geológico. Estas incluyeron tanto rocas caja como material de la veta, y fueron enviadas al laboratorio de las instalaciones de Pampa Camarones S.A. para su análisis.

En total, se analizaron 14 muestras con el fin de determinar los contenidos de cobre total (CuT) y cobre soluble (CuS). De estas, se seleccionaron 6 muestras para la elaboración de cortes delgados pulidos, los cuales fueron preparados en el Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA).

Las descripciones macroscópicas de las muestras se llevaron a cabo en terreno utilizando herramientas como rayador, imán y lupas Iwamoto de 10x y 20x.

Finalmente, para el registro georreferenciado de los puntos visitados, incluyendo vetas y sitios de muestreo, se utilizó la aplicación StraboSpot.

### **3.3. TRABAJO POST – TERRENO**

El trabajo post – terreno comenzó el 10 de marzo de 2025 y corresponde a diferentes actividades:

#### **3.3.1. DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS**

De las 14 muestras extraídas en los distintos puntos visitados, se llevaron a cabo 6 cortes transparentes – pulidos en el Instituto de Geología Económica Aplicada (GEA). A estas muestras se les realizó una descripción petrográfica microscópica que abarca litologías, alteraciones y mineralización en el laboratorio de microscopios del Departamento de Ciencias de la Tierra (DCT) de la Universidad de Concepción.

#### **3.3.2. MODELO 3D DE LAS ESTRUCTURAS**

Con los datos recabados en terreno, los análisis geoquímicos de las muestras de canaleta y la información estructural y geoquímica proveniente de los sondajes, se construyó un modelo tridimensional (3D) en el software Leapfrog Geo. El objetivo de este modelo fue representar de forma precisa la geometría de las vetas Anacona, San Lorenzo y Quebrada, tanto en superficie como en profundidad, y facilitar su visualización espacial en contexto geológico.

Para la elaboración del modelo se utilizó la base de datos de sondajes entregada por Pampa Camarones S.A., integrada con la información estructural obtenida en campo, como orientación, continuidad y espesores estimados de las vetas. Asimismo, se incorporó una superficie topográfica, generada a partir de imágenes aéreas obtenidas con dron y procesadas mediante QGIS, la cual permitió delimitar la cota de afloramiento de las estructuras.

### 3.3.3. ESTIMACIÓN DE TONELAJE Y RECURSOS

Con el modelo 3D realizado en Leapfrog Geo, se logró efectuar una estimación del tonelaje total de las estructuras estudiadas. Esto, permite a su vez relacionar de manera clara los análisis químicos obtenidos de las muestras extraídas con la extensión final de las vetas, logrando así realizar una estimación de recursos.

Para cada estructura mineralizada se realizaron dos métodos de estimación de recursos, para poder obtener un rango de contenido metálico de cobre más detallado. El primer método contempla separar en rangos las leyes de CuT obtenidas tanto en sondajes como en las muestras superficiales para poder así determinar un volumen modelado por Leapfrog para cada rango, y lograr una estimación separada en leyes mucho más específica y acotada.

El siguiente método de estimación es a partir del modelo 3D desarrollado en Leapfrog de cada estructura mineralizada, del cual se obtuvo el volumen total del cuerpo y se estimó el contenido metálico con una ley promedio ponderada de los intervalos de los sondajes y las muestras extraídas.

Para ambos métodos se aplicó un valor promedio de densidad basado en el tipo de litología observada, asumiendo un valor de 2.7 t/m<sup>3</sup> en ausencia de datos de laboratorio específicos.

Por lo tanto, la estimación de recursos se realizó combinando el tonelaje otorgado por los cuerpos mineralizados modelados con los resultados de análisis químicos obtenidos de las muestras de canaleta realizadas en superficie, junto con los tramos mineralizados de los sondajes. Aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Tonelaje (t)} = \text{Volumen (m}^3\text{)} \times \text{Densidad} \left( \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\text{Contenido de cobre (t)} = \text{Tonelaje} \times \left( \frac{\% \text{ CuT promedio}}{100} \right)$$

De esta manera es posible realizar una estimación mediante el software como matemática de forma preliminar de los recursos metálicos de interés presentes en cada una de las vetas estudiadas, lo que constituye una base técnica relevante para futuras evaluaciones económicas o decisiones de explotación a pequeña escala.

### **3.4. ELABORACIÓN DEL ESCRITO**

La elaboración de esta memoria de título consideró la integración de toda la información obtenida en gabinete, terreno y laboratorio de Pampa Camarones S.A., organizada en función de los objetivos del estudio. Se incluyeron los antecedentes geológicos regionales y locales, junto con la descripción de las unidades litológicas, mineralización, alteraciones y estructuras observadas en las vetas seleccionadas.

También se abordó la metodología aplicada para el muestreo, descripción de muestras y análisis geoquímicos. A partir de estos datos, se construyeron modelos tridimensionales en Leapfrog Geo, los que sirvieron como base para estimar el tonelaje y contenido metálico de cada veta. Finalmente, el documento presenta los resultados obtenidos, su interpretación geológica y la estimación preliminar de recursos, con el objetivo de evaluar el potencial mineral del área estudiada.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. YACIMIENTOS VETIFORMES**

Los yacimientos vetiformes son depósitos minerales formados por la precipitación de minerales a partir de soluciones hidrotermales que rellenan fracturas, diaclasas o zonas de falla en la roca de caja. Su morfología es variada y está fuertemente controlada por la estructura de la roca hospedante (Guilbert y Park, 2007). En el caso de los yacimientos de cobre, estos cuerpos pueden contener minerales de oxidados en niveles superficiales (como malaquita, crisocola, cuprita, etc) y sulfuros (como calcopirita, calcosina, bornita, etc) en profundidad (Camus, 2003; Sillitoe, 1992).

En la Cordillera de la Costa en el norte de Chile, estos yacimientos están asociados a rocas volcánicas jurásico - cretácicas y estructuras regionales que actúan como conductos para la circulación de fluidos mineralizantes. Su relevancia en la pequeña y mediana minería radica en su alto grado de concentración metálica y su reconocimiento superficial en campañas de exploración.

### **4.2. RECURSOS MINERALES**

Un recurso minerales corresponde a una concentración natural de minerales en la corteza terrestre, cuya cantidad, ley y características permiten considerar su eventual explotación económica. Los recursos pueden clasificarse en medidos, indicados o inferidos y su clasificación depende del nivel de conocimiento geológico y del control espacial de la mineralización (JORC, 2012). Esta distinción es fundamental para la planificación de proyectos mineros, especialmente en etapas tempranas de exploración.

### **4.3. ESTIMACIÓN DE RECURSOS**

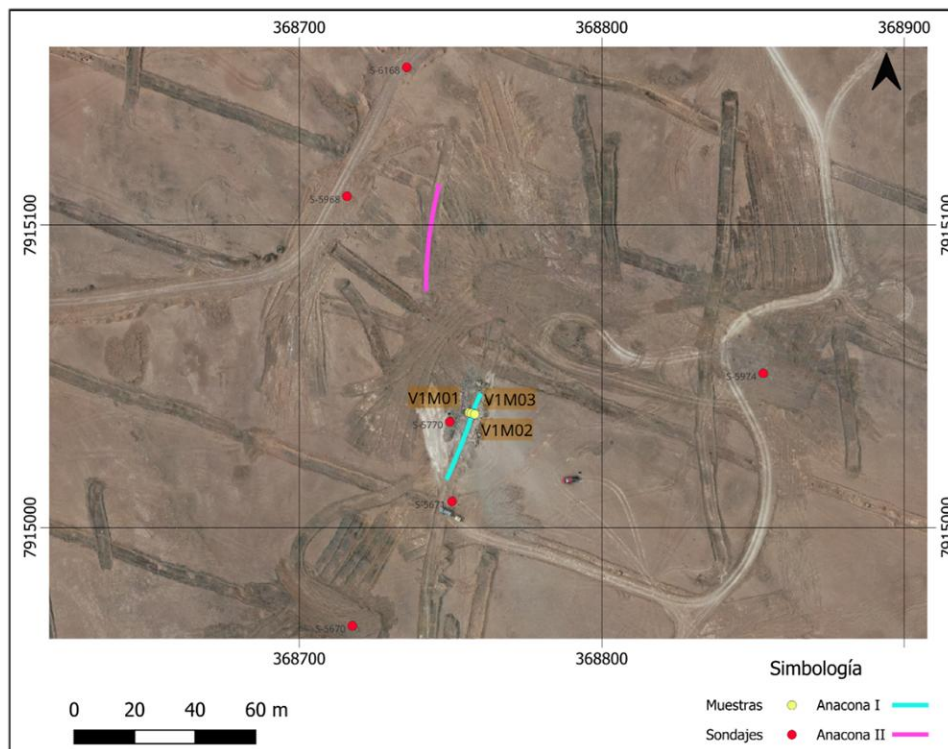
La estimación de recursos consiste en cuantificar el volumen y el contenido metálico de un yacimiento mediante la integración de datos geológicos, estructurales, geoquímicos y volumétricos. En los yacimientos vetiformes, este proceso requiere modelar la geometría de vetas en tres dimensiones utilizando softwares específicos, y aplicar fórmulas de tonelaje que consideren el volumen, densidad y ley media (Moon, Whateley y Evans, 2006). Este enfoque permite realizar proyecciones preliminares del potencial económico del yacimiento incluso cuando la información tiene limitaciones.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El apartado de resultados se organiza según cada una de las estructuras estudiadas. Para cada veta se presenta su ubicación y dimensiones, junto con los análisis y descripciones de las muestras recolectadas. Además, se incluyen los modelos 3D generados mediante Leapfrog Geo, integrando datos estructurales y los análisis químicos entregados por el laboratorio de Pampa Camarones S.A., y la correspondiente estimación de tonelaje y recursos asociada a cada estructura mineralizada.

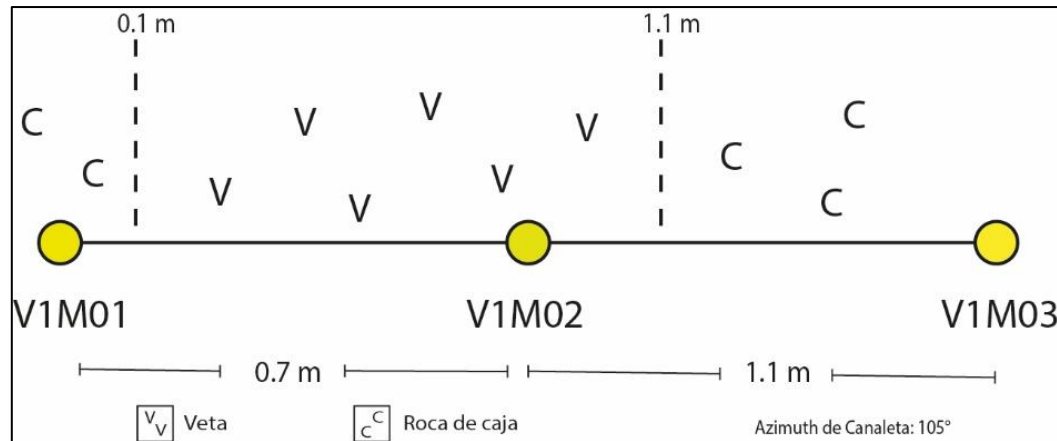
### 5.1. VETA ANACONA

Veta Anacona se ubica en la parte más noreste del área de estudio (Fig. 3). En el área se han identificado dos estructuras mineralizadas de rumbo NE – SW denominadas Veta Anacona I y Veta Anacona II (Fig. 5), las cuales presentan evidencias superficiales de mineralización asociada principalmente a oxidados de cobre. Ambas estructuras fueron estudiadas debido al potencial en profundidad sugerido por la información estructural y geoquímica proveniente de sondajes previos.



**Figura 5. Mapa del área de estudio de Veta Anacona.** Se observan tanto Anacona I como Anacona II, y la ubicación de los respectivos sondajes utilizados junto con las muestras extraídas en el muestreo de canaleta realizado.

El muestreo en Anacona I se realizó mediante un canaleteo de 1,8 metros de longitud, siguiendo un azimut de  $105^\circ$ , a lo largo de una estructura de rumbo  $N34^\circ E$  con un espesor medido en superficie de 1 metro. Este canaleteo permitió extraer tres muestras representativas (V1M01, V1M02 y V1M03) a lo largo de la veta mineralizada (Fig. 6 y Tabla 1).



**Figura 6.** Esquema W – E del muestreo de canaleta realizado en Anacona I. El azimut de canaleta corresponde a  $105^\circ$ . Se observa delimitado el espesor estimado en superficie.

La muestra V1M01, tomada del extremo oeste del canaleteo, corresponde a una roca volcánica de textura porfídica con plagioclasas subhedrales milimétricas alteradas a arcilla y magnetismo moderado. Presenta un alto grado de vetilleo (1 – 4 milímetros), relleno por arcillas y yeso, con presencia local de halita. La alteración hidrotermal dominante es argílica con leve desarrollo de epidota. No se observaron oxidados de cobre en muestra de mano, lo que concuerda con el bajo contenido de CuT ( $< 0,01\%$ ) determinado por el análisis químico realizado en el laboratorio.

La muestra central, V1M02, se extrajo directamente desde el núcleo de la estructura mineralizada. Su alto contenido de CuT (12,63%) y CuS (8,92%) la posiciona como la más representativa de la mineralización en Anacona I. La roca está completamente impregnada de mineralización, dificultando reconocer la textura original. Se observa un vetilleo denso (1 – 5 milímetros), relleno por arcillas, yeso y cúmulos de calcita con efervescencia. A nivel macroscópico, presenta cristales de halita centimétricos, alteración leve a epidota, limonita, y una mineralización compuesta por oxidados de cobre como atacamita y crisocola, además de calcosina diseminada en menor proporción.

Finalmente, la muestra V1M03, ubicada en el extremo este del canaleteo, corresponde a una roca con textura porfídica poco conservada y fuerte desarrollo de vetillas milimétricas (< 4 milímetros), rellenas por arcillas, yeso, y presencia masiva de calcita. Al igual que V1M01, no presenta mineralización observable, lo que se refleja en el bajo contenido de cobre (CuT = 0,06 %). Esta muestra se interpreta como roca de caja no mineralizada, afectada por alteración argílica y minerales evaporíticos como la halita.

**Tabla 1. Tabla de muestreo de canaleta realizado en Anacona I.** Se muestran los resultados de análisis químicos entregados por el laboratorio de Pampa Camarones.

ID	Origen	Veta	CuT %	CuS %	Solub.
<b>V1M01</b>	Canaleta	Anacona	< 0,01	0,0	0,0
<b>V1M02</b>	Canaleta	Anacona	12,63	8,92	0,71
<b>V1M03</b>	Canaleta	Anacona	0,06	0,0	0,0

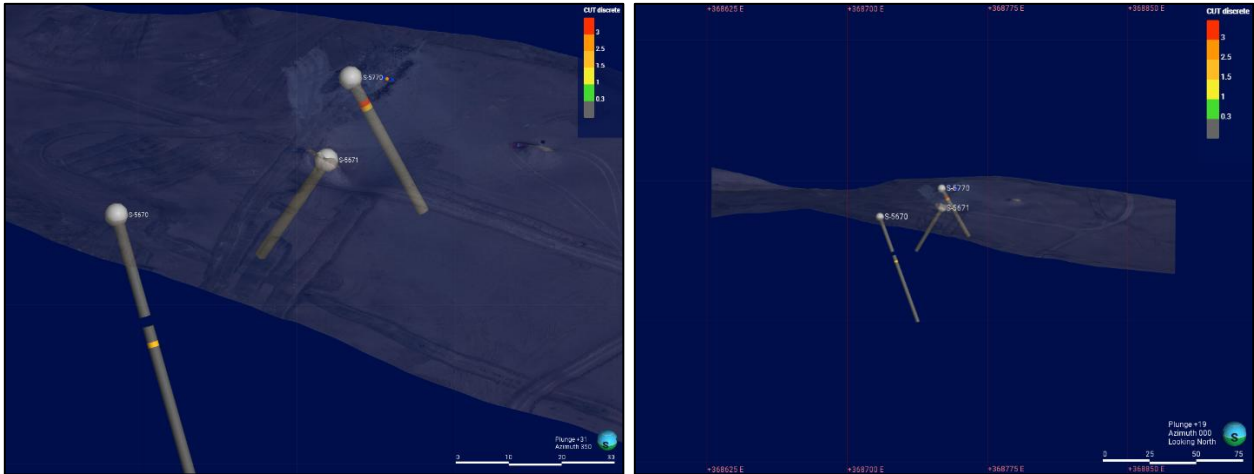
Con base en la disposición espacial de las muestras, se estima que la veta mineralizada se desarrolla entre los 10 centímetros al este de V1M01 y 70 centímetros al oeste de V1M03, considerando un espesor aproximado de 1 metro (Fig. 6.).

Para caracterizar la continuidad en profundidad de la mineralización observada en Anacona I, se utilizaron los sondajes S – 5170, S – 5670 y S – 5770. Estos sondajes fueron perforados con azimuts entre 103° y 137° y un manto constante de 60° (Fig. 7 y Tabla 2).

Las profundidades alcanzadas varían entre 30 y 60 metros, y los análisis geoquímicos muestran variaciones significativas en los contenidos de CuT (%), confirmando la presencia de oxidados de cobre en niveles subsuperficiales y aportando evidencia de continuidad en profundidad respecto a los afloramientos superficiales ya descritos.

Esta información fue integrada al modelo tridimensional en Leapfrog Geo, permitiendo visualizar la relación espacial entre los trazos de sondajes, la topografía del sector y el cuerpo mineralizado modelado.

La Veta Anaconda II se ubica al norte de Anaconda I y presenta una orientación de N15°E en superficie, con un largo observado en superficie de 36,3 metros y un espesor estimado de 0,9 metros (Fig. 5).



**Figura 7.** Vista de los sondajes utilizados en Anaconda I. Se presentan con sus respectivas leyes y nombre. Vista en perspectiva hacia el noroeste (izquierda) y vista hacia el norte (derecha).

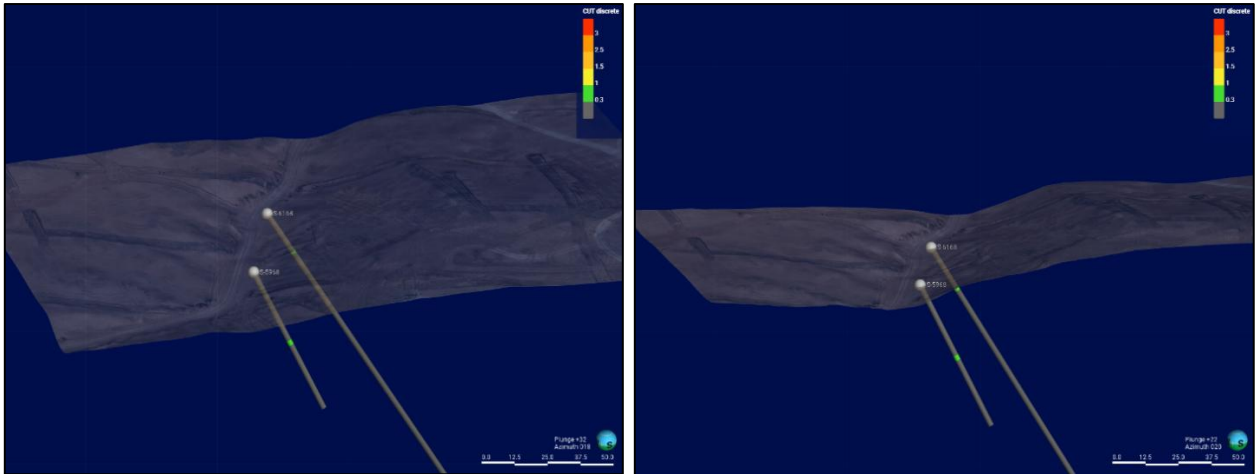
Aunque no se realizó un muestreo directo en esta estructura, las observaciones en terreno indican que se trata de una veta subparalela a Anaconda I, con características mineralógicas similares, principalmente crisocola y atacamita visible en afloramientos.

La morfología superficial de la veta y su exposición parcial se asocian a una zona de topografía suavemente inclinada hacia el este, donde se identificaron fragmentos mineralizados. Esta similitud litológica y mineralógica motivó su inclusión en el presente estudio como un posible cuerpo vetiforme con continuidad en profundidad.

**Tabla 2.** Sondajes utilizados en Anaconda I y Anaconda II.

Hole ID	Azimut	Dip	Profundidad
<b>S – 5670</b>	137	60	60
<b>S – 5671</b>	294	60	30
<b>S – 5770</b>	103	60	30
<b>S – 5968</b>	136	60	60
<b>S – 6168</b>	109	60	160

Para evaluar su comportamiento subsuperficial, se utilizaron los sondajes S – 5968 y S – 6168, los cuales presentan manteos de  $60^\circ$  y profundidades de 60 y 160 metros, respectivamente (Tabla 2 y Fig. 8). Ambos sondajes interceptan zonas mineralizadas, con contenidos variables de CuT (%), confirmando la presencia de mineralización asociada a esta estructura en profundidad.



**Figura 8.** Vista en Leapfrog de los sondajes utilizados en Anaconda II con sus respectivas leyes. Vista en perspectiva hacia el noreste (izquierda) y vista hacia el norte (derecha).

#### 5.1.1. MODELO 3D

Con el objetivo de representar la geometría de las vetas Anacona I y Anacona II en profundidad, se construyó un modelo tridimensional en el software Leapfrog Geo. Este modelo fue desarrollado utilizando los datos estructurales recopilados en terreno (rumbo, espesores y longitudes) junto con los análisis químicos de los sondajes y las muestras extraídas.

Tal como ya se mencionó, Anacona I presenta una longitud observada en superficie de aproximadamente 29,6 metros. No obstante, el sondaje S – 5670, ubicado cerca de 60 metros al sur, reporta un valor de 1,778 % CuT en el tramo comprendido entre 25 y 26 metros de profundidad. Este intervalo mineralizado, de 1 metro de espesor, se alinea con la orientación noreste medida en afloramiento, lo que sugiere una posible continuidad estructural entre ambos puntos. En función de esta evidencia, la veta fue extendida en el modelo 3D hasta alcanzar una longitud cercana a 100 metros.

El modelo generado nos muestra que Anacona I tiene una longitud de 101,62 metros con un dip/dip direction que oscila entre los  $66 - 69/286 - 289$  y una profundidad alcanzada de 31,16 metros (Fig. 9 y Fig. 10).

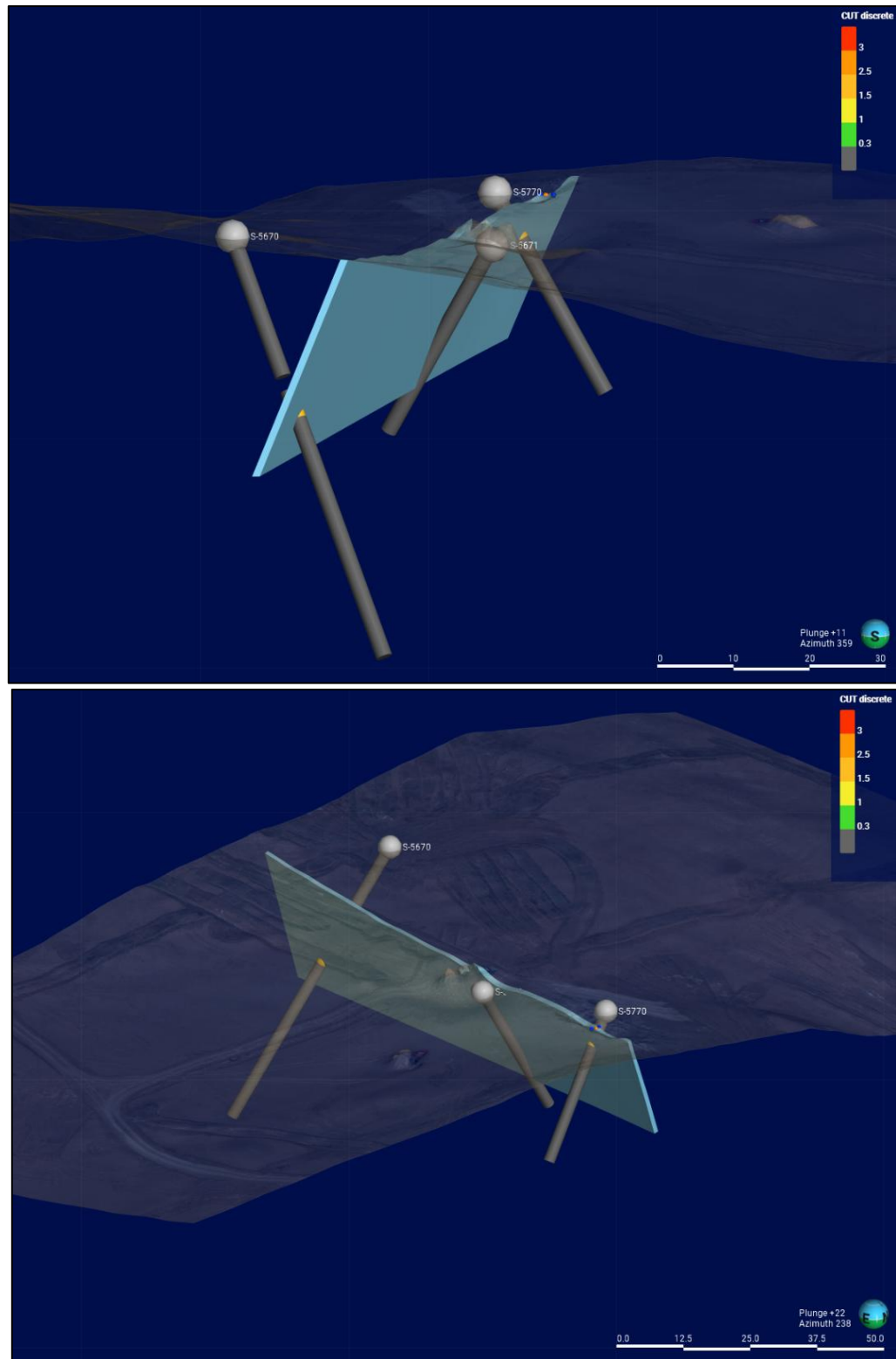
Para lograr este modelo, se utilizaron los intervalos 5 – 6 metros en el sondaje S – 5770 que nos muestran una ley de 5,3 % CuT, al igual que el intervalo 6 – 7 metros que nos muestran una ley de 2,28 % CuT en el mismo sondaje. En el resto de los intervalos, el sondaje no supera la ley de 0,3 % CuT, por lo que solo se utilizaron los intervalos mencionados como datos para realizar el modelo. En el sondaje S – 5671 no se muestran indicios de mineralización ni leyes importantes, por lo que la Anacona I solo lo intersecta en profundidades cercanas a los 19,2 metros.

En el caso de Anacona II, se modeló una estructura con una longitud aproximada de 85 metros, orientada según un dip/dirección que varía entre  $65^\circ - 69^\circ/282^\circ - 287^\circ$ , y una profundidad cercana a los 38 metros. Esta geometría está dominada por el intervalo mineralizado comprendido entre los 30 y 32 metros del sondaje S-5968 (Fig. 11 y Fig. 12).

Además de este intervalo, se consideró también el tramo entre 19 y 20 metros del sondaje S-6168 para completar el modelo tridimensional de la veta Anacona II. Si bien esta veta presenta una distribución espacial más amplia que Anacona I, las leyes de cobre son considerablemente menores, con valores que oscilan entre 0,3 y 0,49 % CuT.



**Figura 9.** Vista en planta del modelo 3D de la Veta Anacona I junto a los sondajes en la que se observa un claro manteo hacia el oeste.



**Figura 10.** Vista en perspectiva del modelo 3D de la Veta Anacona I. Se observan los sondajes utilizados para el modelo,

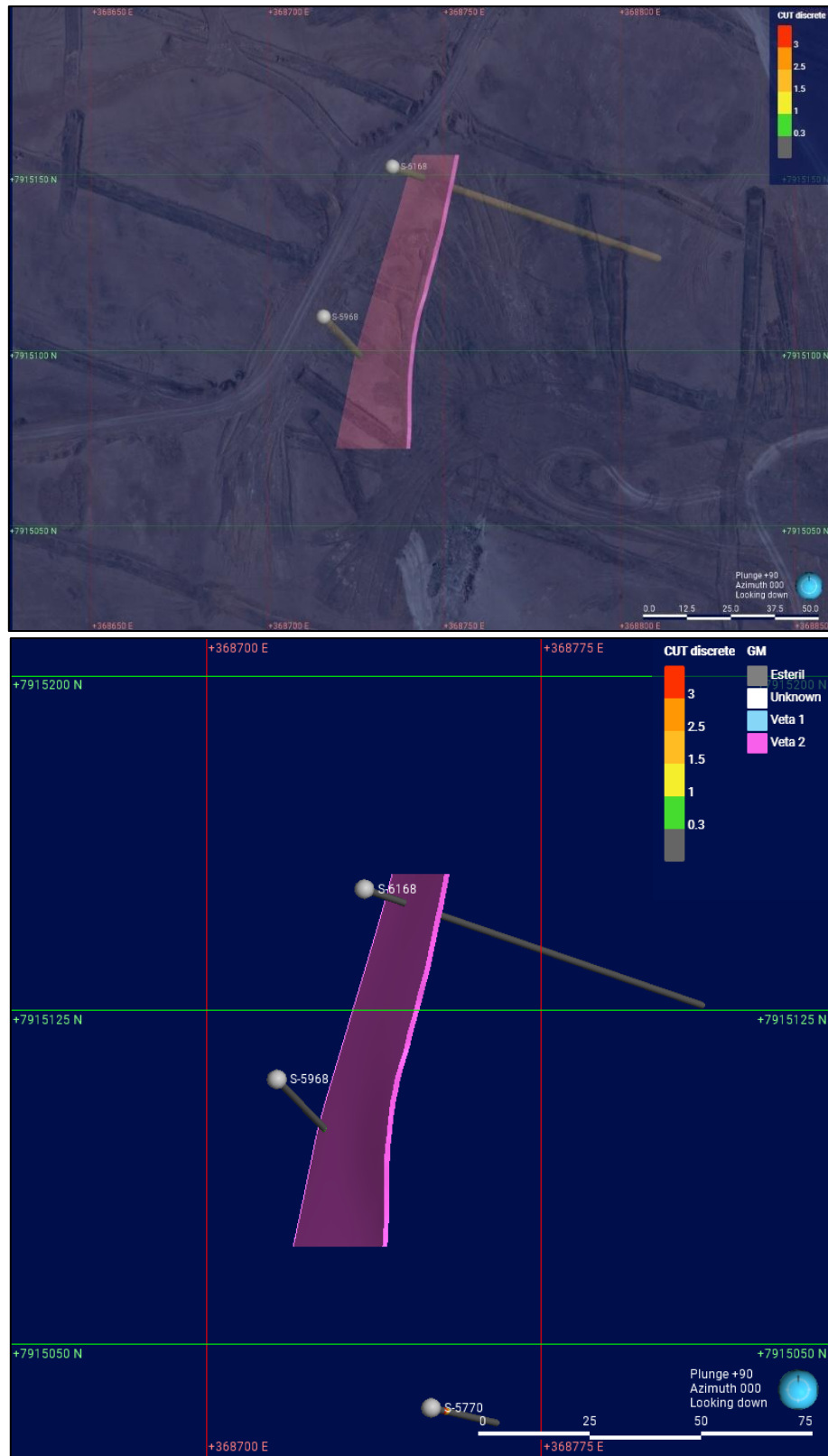
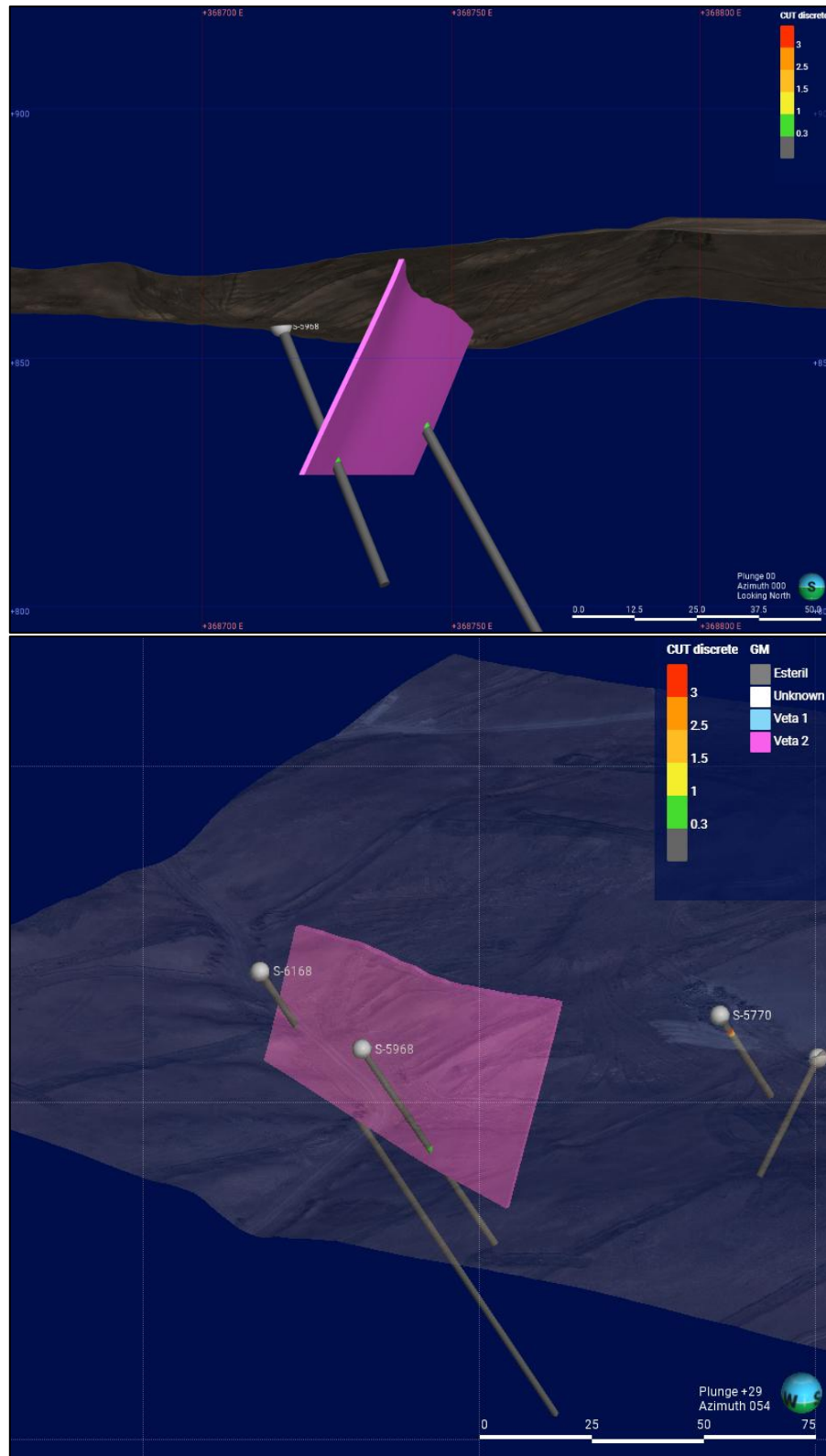


Figura 11. Vista en planta del modelo 3D de Anaconda II. Se observan los sondajes utilizados para el modelo.



**Figura 12.** Vista en perspectiva del modelo 3D de Anaconda II. Se observan los sondajes utilizados para el modelo.

## 5.1.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

### 5.1.2.1. Anacona I

En el caso de Anacona I, se desarrolló un modelo numérico con el objetivo de interpolar las zonas mineralizadas a partir de los sondajes existentes, clasificando los datos según rangos de ley de cobre con el fin de una estimación de los recursos un poco más detallada. Esta segmentación por rangos permitió una mejor representación de la distribución del mineral, considerando diferencias significativas en la concentración metálica (Fig. 13.).

En el modelo separado por rangos realizado en Leapfrog (Fig. 13), se observa que el volumen de cada zona mineralizada se concentra principalmente en torno al sondaje S – 5670 debido a que presenta las más altas leyes junto con la muestra superficial V1M02 con un 12,63 % CuT. En tanto, solo se presenta una pequeña porción de volumen en torno al sondaje S – 5770 entre los rangos 0,5 % CuT y 1,0 – 1,5 % CuT.

A partir de ello, se calcularon los volúmenes correspondientes para cada rango de ley, los cuales fueron transformados a tonelaje utilizando una densidad asumida de 2,7 t/m<sup>3</sup>. Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3. Rangos escogidos en Anacona I** para obtener volúmenes y tonelajes a partir del modelo numérico en Leapfrog.

Rango (% CuT)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tonelaje (t)
0,5 – 1,0	1849,1	4.992,57
1,0 – 1,5	310,84	839,27
1,5 – 2,5	116,45	314,42
2,5 – 3	12,243	33,1
3 – 5.3	8,2108	22,17

Dado que el modelo numérico no incorporó la muestra V1M02, la cual presentó una ley excepcionalmente alta de 12,63 % CuT, se optó por incluirla mediante una estimación puntual de volumen correspondiente al rango de leyes entre 5,63 % y 12,63 % CuT. Para ello, se asumió un metro de profundidad y se utilizaron los siguientes parámetros geométricos: Espesor Superficial (ES), Profundidad estimada (P) y Largo observado en superficie (L).

$$\begin{aligned} \text{Volumen (m}^3\text{)} &= ES \times P \times L \\ \text{Volumen (m}^3\text{)} &= 1,1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 29,6 \text{ m} \\ \text{Volumen (m}^3\text{)} &= 32,56 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Posteriormente, dicho volumen fue transformado a tonelaje mediante la aplicación de una densidad de 2,7 t/m<sup>3</sup>, obteniéndose un valor total de 87,912 toneladas.

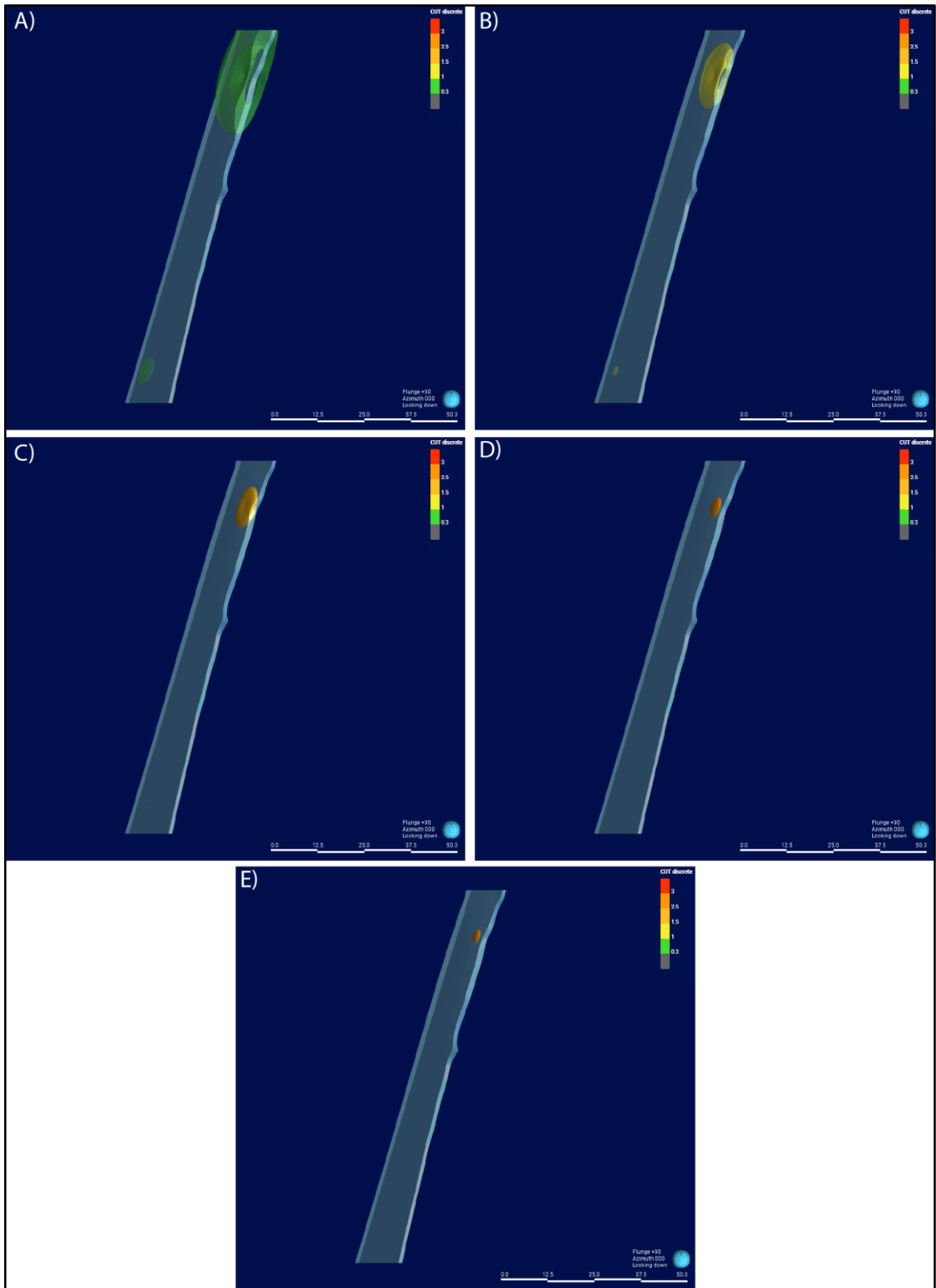
Con esta información adicional, se calculó una estimación más precisa del contenido metálico total presente en Anacona I, el cual se presenta segmentado por rangos de ley en la Tabla 4, utilizando la ecuación correspondiente a la determinación de contenido metálico:

$$\text{Contenido de cobre (t)} = \text{Tonelaje} \times \frac{\text{Ley CuT promedio}}{100}$$

**Tabla 4. Contenido de cobre en Anacona I estimado a partir del tonelaje y la ley promedio.**

Rango	Promedio	Tonelaje	Contenido de cobre (t)
0,5 – 1,0	0,75	4.992,57	37,44
1,0 – 1,5	1,25	839,27	10,49
1,5 – 2,5	2	314,42	6,29
2,5 – 3	2,75	33,1	0,91
3 – 5.3	4,15	22,17	0,92
5.3 – 12.63	8,965	87,912	7,88

En base a la estimación realizada, Veta Anacona I contiene un total de 63,93 toneladas de cobre metálico, considerando los distintos rangos de ley y su correspondiente tonelaje. Esta cifra representa una aproximación preliminar del recurso potencial presente en el sector.



**Figura 13. Modelo de mineralización mediante el modelo numérico en Veta Anaconda I. Se pueden observar separados por rangos A) 0,5 – 1 % CuT B) 1,0 – 1,5 % CuT C) 1,5 – 2,5% CuT D) 2,5 – 3,5 % CuT E) 3 – 5,3 % CuT.**

Para Anacona I, también se realizó una estimación analítica considerando el volumen de la estructura mineralizada (Fig. 9.), la cual arrojó un valor de 2784,7 m<sup>3</sup>, y la ley promedio de los intervalos de sondajes tomados en cuenta para el modelo 3D.

Para la determinación de la ley promedio se utilizaron los intervalos presentes en el Anexo 3 y la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Ley CuT Promedio} &= \frac{\sum(\text{ley} \times \text{espesor}) + \sum(\text{Ley Muestras} \times \text{Largo Canaleta})}{\sum \text{Intervalos de sondaje} + \text{largo canaleta}} \\ \text{Ley CuT Promedio} &= \frac{(1,778 + 5,33 + 2,28) + (4,23 \times 1,8)}{3 + 1,8} \\ \text{Ley CuT Promedio} &= 3,542 \end{aligned}$$

Con la ley promedio de CuT, (%) podemos utilizar la siguiente fórmula para obtener el contenido metálico de cobre en Anacona I mediante un método más analítico:

$$\begin{aligned} \text{Contenido de cobre} &= \text{Volumen} \times \text{Densidad} \times \frac{\text{Ley CuT promedio}}{100} \\ \text{Contenido de cobre} &= 2784,7 \times 2,7 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \times \frac{3,542 \% \text{ CuT}}{100} \\ \text{Contenido de cobre} &= 266,312 \end{aligned}$$

El contenido metálico de cobre de Anacona I con este segundo método se estima en un valor de 266,312 toneladas de cobre.

### 5.1.2.2. Anacona II

En el caso de Anacona II, se identificaron únicamente cuatro intervalos mineralizados correspondientes a los sondajes S-5968 y S-6168, todos ellos con leyes de cobre relativamente bajas y similares entre sí. Debido a la escasa cantidad de datos y la baja variabilidad de las leyes, no resulta eficiente ni representativo desarrollar un modelo numérico que interpole la mineralización en función de los valores disponibles.

Por ello, se optó por utilizar exclusivamente el volumen estimado de la estructura mineralizada generada en Leapfrog, y aplicar una ley de cobre promedio calculada a partir de los datos otorgados por los sondajes, con el objetivo de estimar el recurso metálico presente en este sector de forma preliminar.

$$\text{Ley Promedio CuT} = \frac{0,389 + 0,485 + 0,316}{3}$$

$$\text{Ley Promedio CuT} = 0,396 \% \text{ CuT}$$

Con esta información podemos determinar el contenido metálico de Anacona II.

$$\text{Contenido de cobre} = \text{Volumen} \times \text{Densidad} \times \frac{\text{Ley Promedio CuT} \%}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre} = 3269,4 \text{ m}^3 \times 2,7 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \times \frac{0,396 \% \text{ CuT}}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre} = 34,95 \text{ t}$$

Por lo tanto, se estima que Anacona II contiene aproximadamente 34,95 toneladas de cobre metálico.

## 5.2. VETA SAN LORENZO

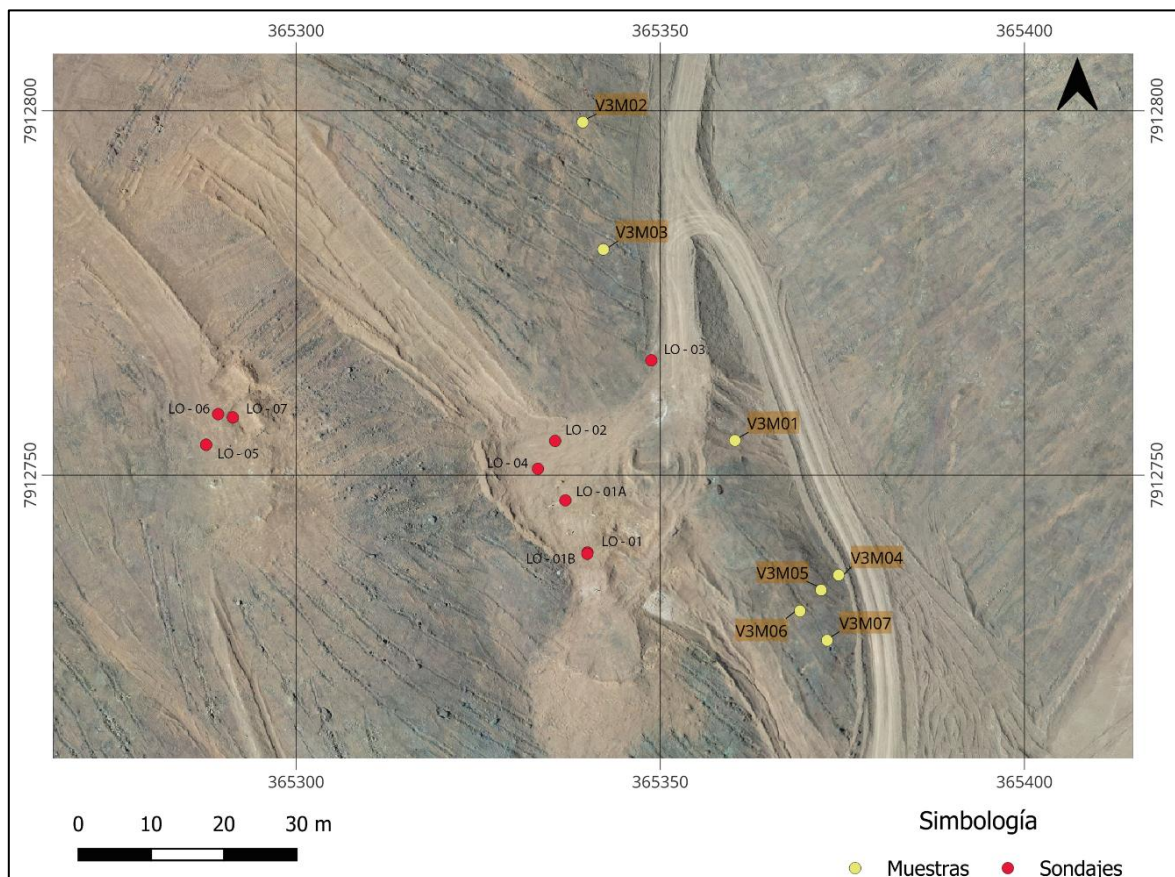
La Veta San Lorenzo se encuentra emplazada en la parte occidental del área de estudio (Fig. 14). En este sector se han identificado evidencias de mineralización asociadas a oxidados de cobre, aunque sin una disposición estructural clara observable en superficie, lo que impidió realizar mediciones de rumbo y manto o espesores en terreno. Debido a esta limitación, el modelamiento geológico tridimensional de la veta fue desarrollado exclusivamente a partir de información proveniente de sondajes históricos facilitados por Pampa Camarones S.A., los cuales incluyen leyes de cobre total (CuT%) que permitieron definir su geometría mediante el software Leapfrog Geo.

Se consideraron un total de diez sondajes para la caracterización de la Veta San Lorenzo (Tabla 5, Fig. 16 y Fig. 17). Entre ellos, los que presentan las leyes más altas de cobre total (CuT) corresponden a LO – 01 y LO – 01B, ambos con azimut de 0° y manto vertical (90°). En el caso

de LO – 01, se registran leyes entre 0,765 % y 7,148 % CuT hasta una profundidad de 12 metros, destacando un intervalo con mineralización de alta ley entre los 7 y 10 metros.

Por su parte, el sondaje LO – 01B muestra una mineralización continua hasta los 11 metros de profundidad, con leyes que oscilan entre 0,704 % y 6,059 % CuT. Posteriormente, se observa un tramo sin mineralización de aproximadamente 9 metros, tras el cual se identifica un nuevo intervalo de dos metros con leyes elevadas, entre 4,669 % y 8,033 % CuT.

Los sondajes LO–06 y LO–07, ambos con profundidades cercanas a los 70 metros y manteos entre 51° y 60° hacia el sureste, presentan mineralización entre los 35 y 70 metros, con leyes variables que van desde 0,554 % hasta 3,276 % CuT, intercaladas con varios tramos estériles.



**Figura 14.** Mapa del área de estudio de la Veta San Lorenzo.

En cuanto al sondaje LO-03, que alcanza solo 10 metros de profundidad y presenta un dip de 60° hacia el este, se identificó mineralización más superficial, presente hasta los 5 metros de profundidad, con una ley máxima registrada de 1,136 % CuT.

En paralelo, se recolectaron siete muestras en el área para caracterización geoquímica y macroscópica (Tabla 6). Tres de estas corresponden a afloramientos con evidencia de mineralización o roca de caja (V3M01, V3M02 y V3M03); cuatro provienen de un canaleteo realizado en la primera frente de explotación (V3M04, V3M05 y V3M06); y una corresponde a un rodado con fuerte presencia de oxidados de cobre (V3M07). La ubicación de estas muestras, junto con los puntos de sondaje utilizados, se observan en la Figura 15.

**Tabla 5. Sondajes utilizados en Veta San Lorenzo con sus respectivas orientaciones y profundidades.**

Hole ID	Azimut	Dip	Profundidad (m)
LO – 01	0	90	20,5
LO – 01A	0	90	20,5
LO – 01B	0	90	35
LO – 02	58	60	17,4
LO – 03	59	60	97,6
LO – 04	190	60	11
LO – 05	150	55	35,85
LO – 05B	150	55	33,85
LO – 06	114	60	71,4
LO – 07	114	51	68,740

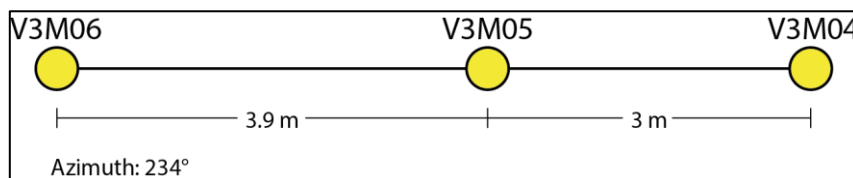
Las muestras V3M01 y V3M07 destacan por su alta ley de cobre total, con valores de 3,13 % y 3,66 % CuT, respectivamente, además de alta solubilidad (0,91–0,95), lo que sugiere un predominio de minerales de oxidados de cobre fácilmente lixiviables como crisocola. V3M01 corresponde a una roca de textura porfídica, con plagioclasas subhedrales, costras de halita, alteración leve a epidota y reemplazo parcial de cristales por crisocola. En tanto, V3M07 presenta mayor desarrollo de arcillas (posiblemente caolinita) y abundante mineralización de crisocola diseminada y en vetillas.

La muestra V3M02 (1,11 % CuT) corresponde a una roca similar a V3M01, aunque con mayor presencia de limonita, minerales evaporíticos y vetilleo de crisocola, además de mayor alteración argílica. Por otro lado, las muestras V3M03, V3M04, V3M05 y V3M06 no presentan mineralización significativa observable a mano. V3M03 corresponde a una roca porfídica con presencia de epidota en cúmulos y vesículas rellenas por halita y yeso, mientras que las muestras V3M04 a V3M06 son rocas de coloración oscura con alteración a arcilla y costras de minerales evaporíticos, sin evidencia de oxidados de cobre visible.

**Tabla 6. Muestras extraídas en el sector de Veta San Lorenzo con sus respectivos orígenes y resultados de análisis químicos.**

ID	Origen	Veta	CuT%	CuS %	Solub.
V3M01	Afloramiento	San Lorenzo	3,13	2,86	0,91
V3M02	Afloramiento	San Lorenzo	1,11	0,89	0,8
V3M03	Afloramiento	San Lorenzo	0,05	-	-
V3M04	Canaleta	San Lorenzo	0,12	-	-
V3M05	Canaleta	San Lorenzo	0,1	-	-
V3M06	Canaleta	San Lorenzo	0,1	-	-
V3M07	Rodado	San Lorenzo	3,66	3,49	0,95

En el caso del muestreo de canaleta (Fig. 15), se extrajeron las muestras V3M04, V3M05 y V3M06, dispuestas sobre una frente de explotación activa con un azimut de 234°, cubriendo una longitud total aproximada de 6,9 metros. Esta sección representó la única zona accesible donde fue posible recolectar material de forma continua. Sin embargo, los análisis químicos de estas muestras no arrojaron concentraciones significativas de cobre, lo que, sumado a la ausencia de estructuras visibles en superficie, impide suponer una morfología clara para la veta San Lorenzo desde observaciones directas en terreno.



**Figura 15. Esquema W- E de muestreo de canaleta realizado en San Lorenzo.**

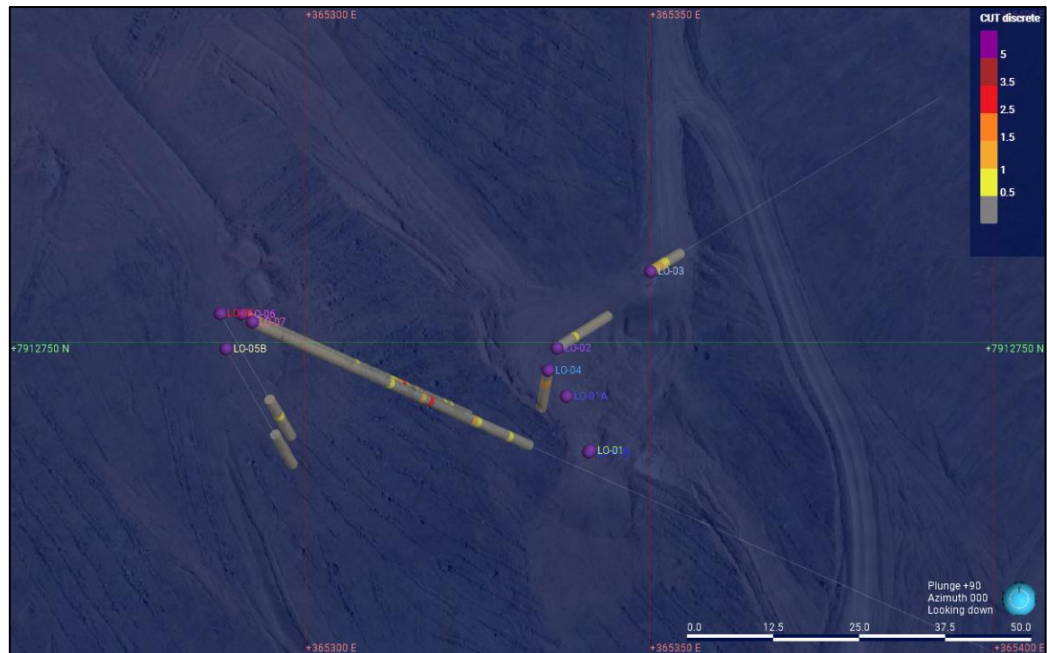


Figura 16. Vista en planta de los sondajes utilizados en San Lorenzo.

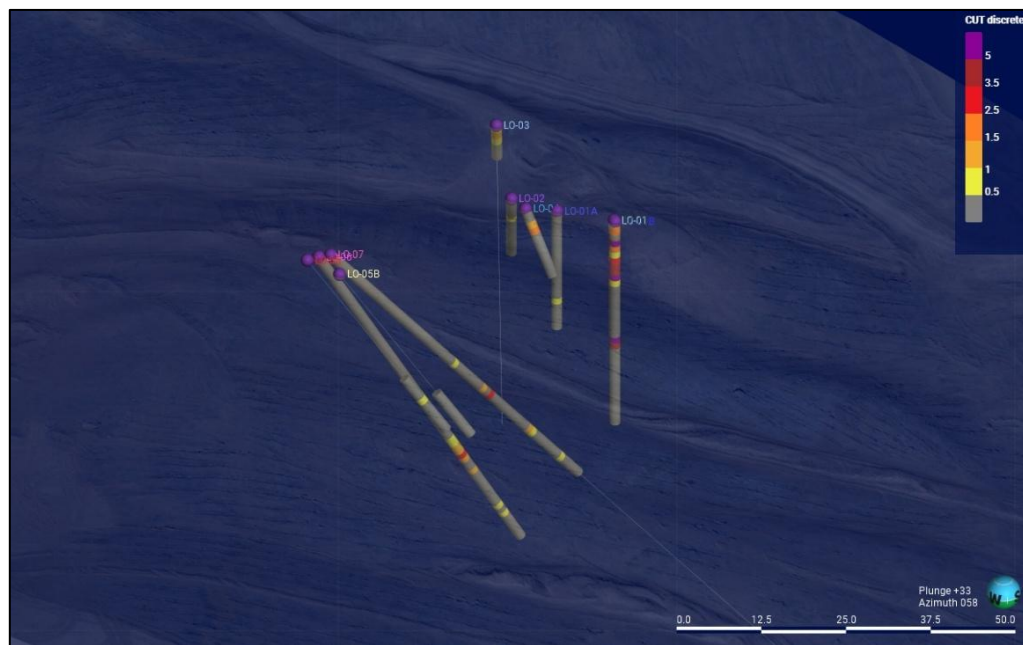


Figura 17. Vista en perspectiva de los sondajes utilizados en San Lorenzo.

### 5.2.1. MODELO 3D

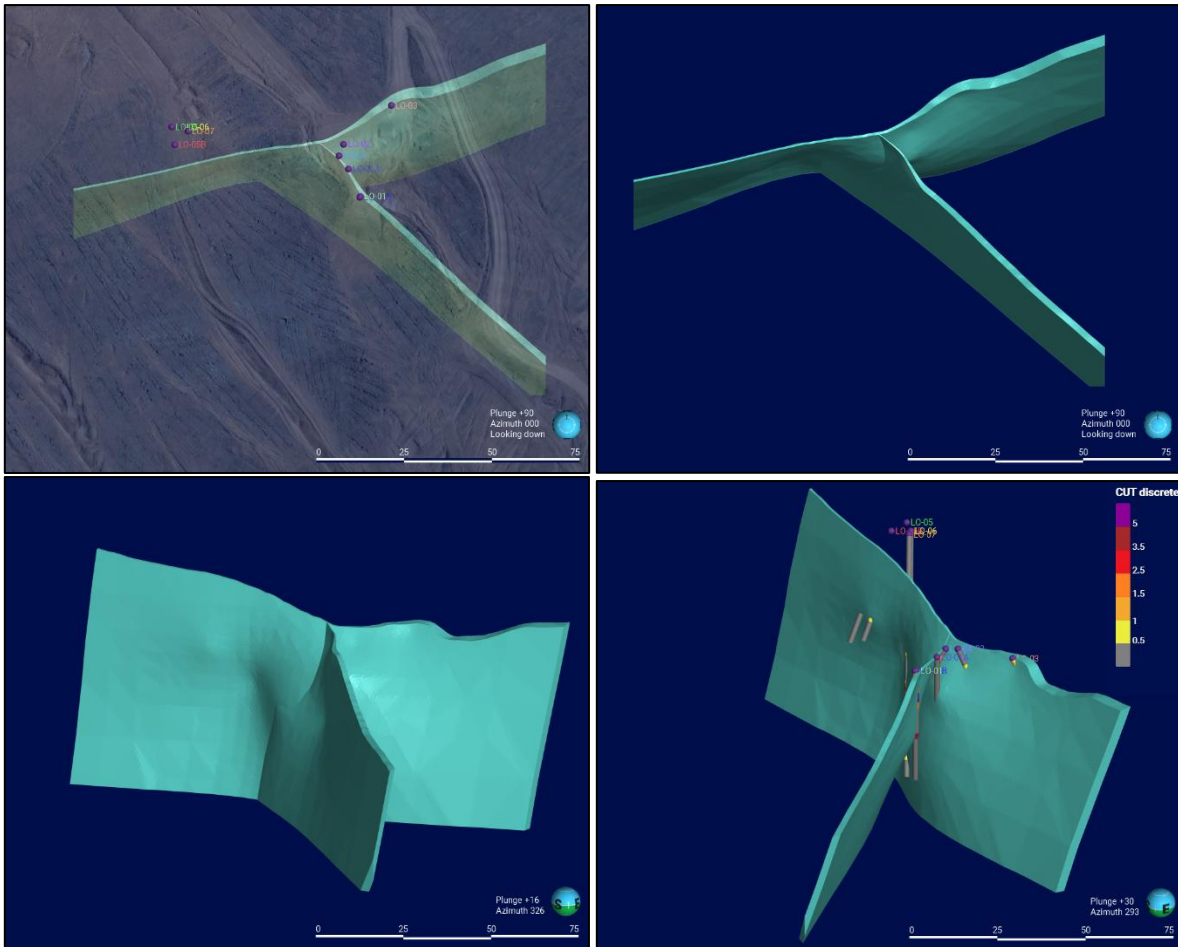
La construcción del modelo 3D de la veta San Lorenzo se realizó a partir de la información obtenida exclusivamente desde los sondajes, debido a la ausencia de estructuras visibles en superficie que permitieran establecer una orientación preferencial clara. En este caso, los intervalos con mayores

leyes de cobre total fueron fundamentales para delimitar los volúmenes mineralizados y orientar las superficies estructurales.

El modelo generado en Leapfrog Geo muestra una geometría compuesta por un cuerpo principal que se extiende en dirección NE – SW, alcanzando longitudes de aproximadamente 140 metros (Fig. 18). Este cuerpo se bifurca hacia el SE, desarrollando una rama secundaria de cerca de 88 metros de longitud.

Los sondajes LO – 02 y LO – 03 fueron determinantes para establecer la orientación principal de la estructura, ya que presentan intervalos mineralizados coherentes tanto en profundidad como en posición, permitiendo trazar con mayor certeza la continuidad de la veta principal. Por su parte, los sondajes LO – 01 y LO – 01B resultaron clave para identificar la existencia de una bifurcación hacia el SE, al registrar intervalos de alta ley en un sector lateral respecto a la traza principal.

La rama principal del modelo presenta un buzamiento que varía entre  $55^{\circ}$  y  $85^{\circ}$ , mientras que la rama que se extiende hacia el SE muestra un buzamiento más acotado, entre  $69^{\circ}$  y  $80^{\circ}$ . Ambas estructuras alcanzan profundidades de hasta 66 metros, con espesores promedio de 0,714 y 0,726 metros respectivamente, lo que indica una morfología delgada y continua en profundidad.



**Figura 18.** Modelo 3D de la Veta San Lorenzo realizado en Leapfrog. En las imágenes superiores se observan las vistas en planta, mientras que en las imágenes inferiores vistas en perspectiva con vistas al norte (izquierda) y al oeste (derecha).

### 5.2.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

Para la Veta San Lorenzo se realizaron dos estimaciones de recursos. La primera se basó en un modelo numérico desarrollado a partir de los datos de sondajes, en el cual se definieron rangos de ley de cobre total (CuT) con el fin de interpolar los volúmenes mineralizados en función de estos intervalos (Fig. 19, Fig. 20 y Fig. 21). Esta metodología permite discriminar los recursos por categorías de ley y ajustar de manera más precisa la estimación del tonelaje de cobre contenido.

La segunda corresponde a una estimación más analítica al igual que Anacona I, que considera el volumen total del modelo 3D de la veta San Lorenzo junto con una ley promedio ponderada, calculada a partir de los intervalos mineralizados y sus respectivas leyes de CuT.

Cabe señalar que las muestras superficiales obtenidas en este sector no fueron consideradas en la estimación de recursos, ya que no presentan leyes significativas de cobre y V3M07, la muestra con la ley más alta corresponde a un rodado.

En la Tabla 7 se muestran los rangos de ley definidos, junto con el volumen y tonelaje correspondiente, considerando una densidad de roca de 2,7 t/m<sup>3</sup>.

**Tabla 7. Rangos escogidos en Veta San Lorenzo** para obtener el volumen y tonelaje a partir del modelo numérico en Leapfrog.

Rango	Volumen (m <sup>3</sup> )	Tonelaje
0,5 – 1,0	31.674	85519,8
1,0 – 1,5	4757,7	12845,79
1,5 – 2,5	2432,3	6567,21
2,5 – 3,5	431,15	1164,105
3,5 – 5,0	79,424	214,45
5,0 – 8,033	5,8	15,66

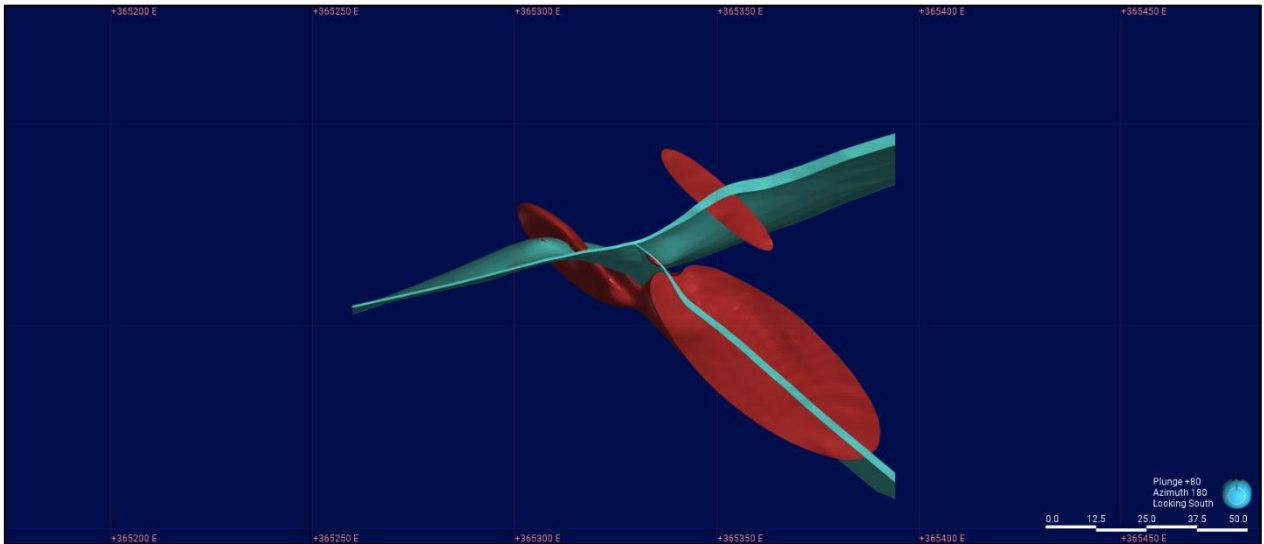
Con la información del tonelaje por rango, se estimó el contenido de cobre contenido descrito en la Tabla 8, aplicando la siguiente formula:

$$\text{Contenido de cobre (t)} = \text{Tonelaje} \times \frac{\text{Ley Promedio (\%)}}{100}$$

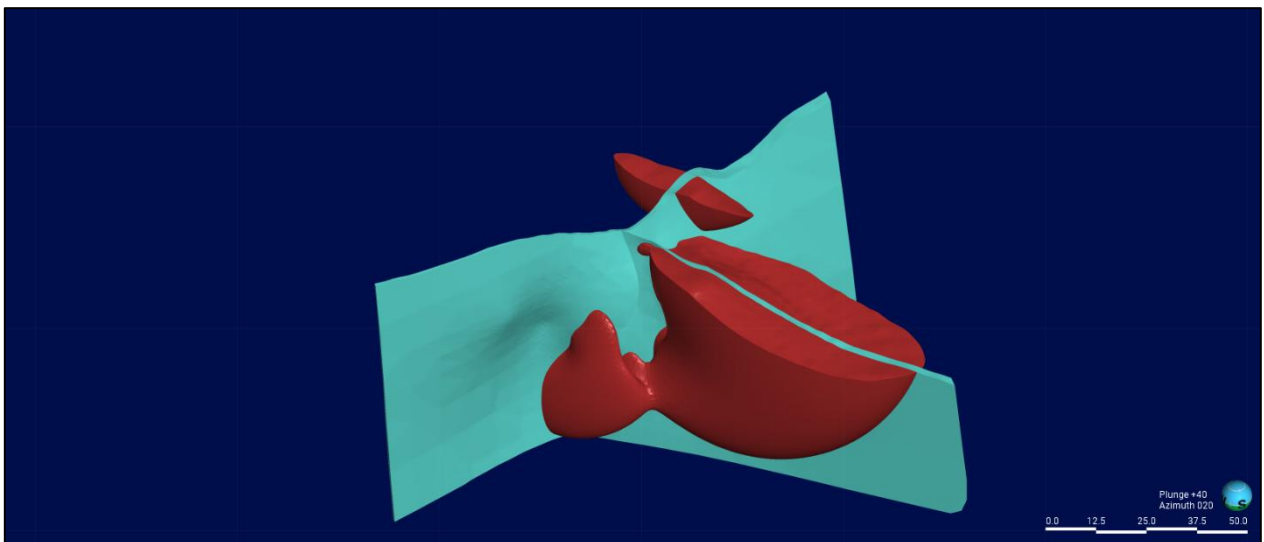
**Tabla 8. Contenido de cobre en Veta San Lorenzo** estimado a partir del tonelaje y la ley promedio.

Rango	Promedio	Tonelaje	Contenido de cobre
0,5 – 1,0	0,75	85519,8	641,4
1,0 – 1,5	1,25	12845,79	160,57
1,5 – 2,5	2	6567,21	131,344
2,5 – 3,5	3	1164,105	34,92
3,5 – 5,0	4,25	214,45	9,11
5,0 – 8,033	6,52	15,66	1,02

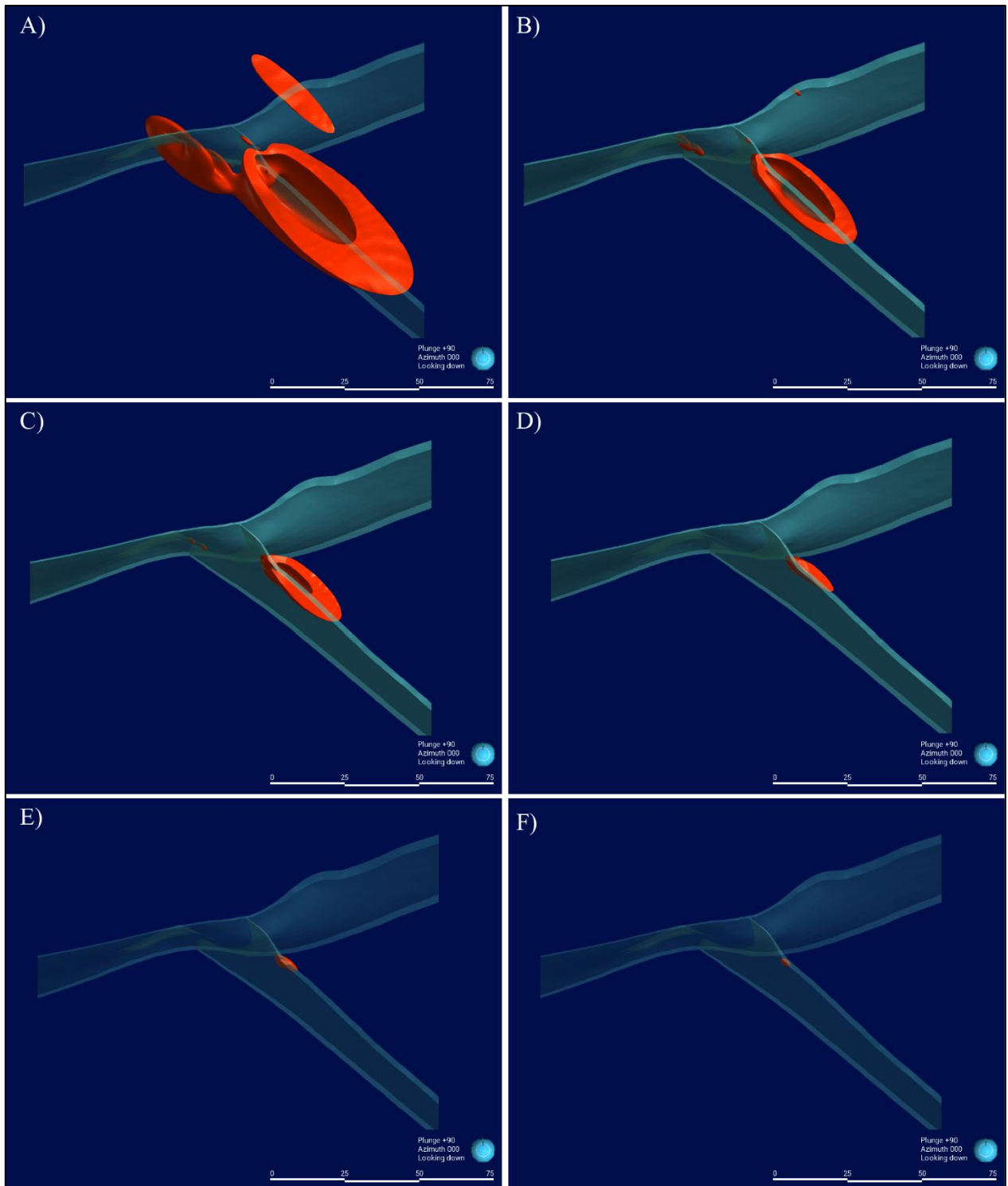
En base a la estimación realizada con el modelo numérico, San Lorenzo contiene unos 978,364 toneladas de cobre metálico.



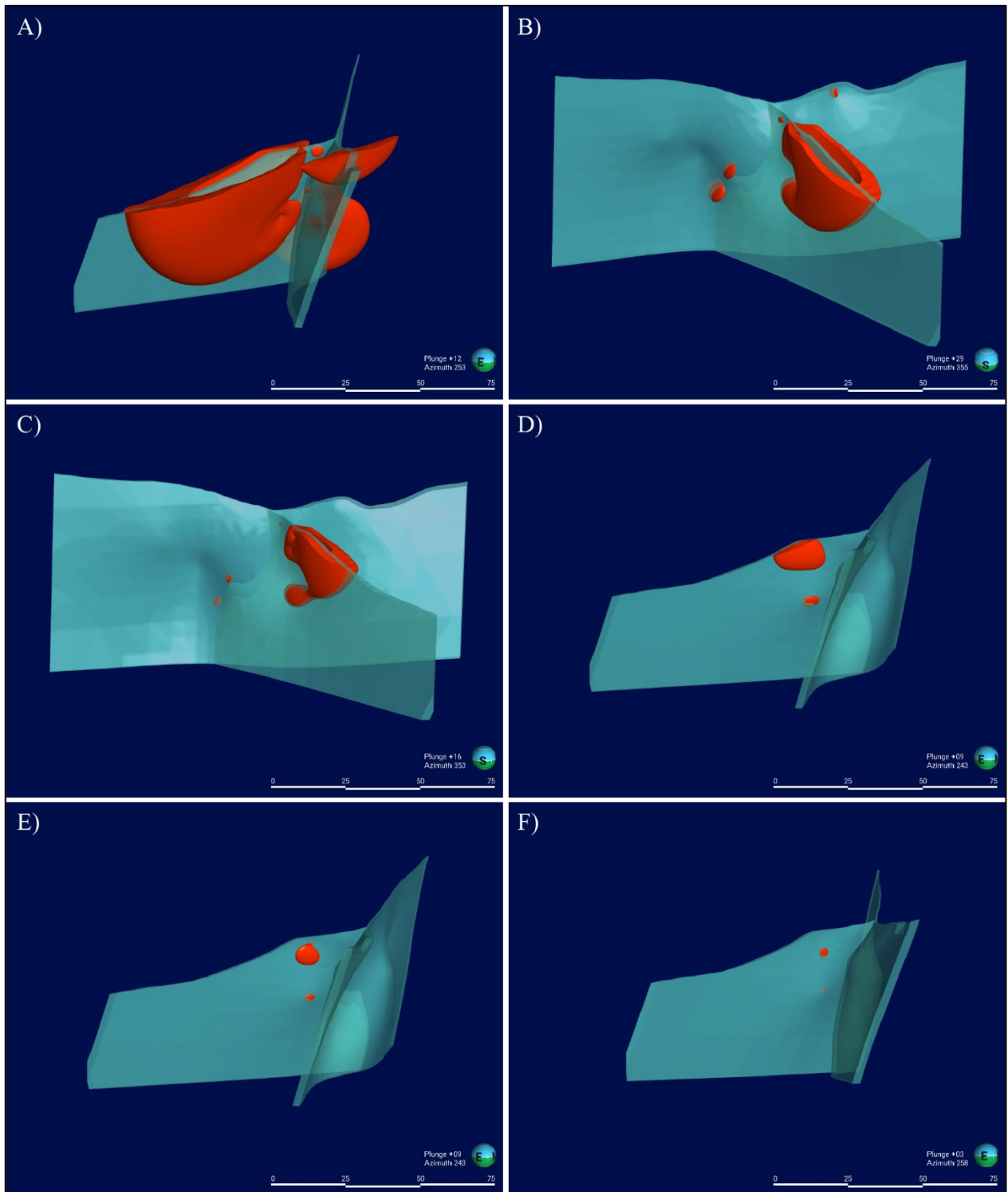
**Figura 19.** Vista en planta de la zona mineralizada en Veta San Lorenzo estimada por el modelo numérico utilizado en Leapfrog.



**Figura 20.** Vista en perspectiva de la zona mineralizada en Veta San Lorenzo estimada por el modelo numérico utilizado en Leapfrog.



**Figura 21.** Vista en planta de las zonas mineralizadas estimadas por Leapfrog, separadas en los rangos de mineralización escogidos. **A)** 0,5 – 1 % CuT, **B)** 1 – 1,5 % CuT, **C)** 1,5 – 2,5 % CuT, **D)** 2,5 – 3,5 % CuT, **E)** 3,5 – 5 % CuT, **F)** 5,0 – 8,033 % CuT.



**Figura 22.** Vista en perspectiva de las zonas mineralizadas estimadas por Leapfrog, separadas en los rangos de mineralización escogidos. **A)** 0,5 – 1 % CuT, **B)** 1 – 1,5 % CuT, **C)** 1,5 – 2,5 % CuT, **D)** 2,5 – 3,5 % CuT, **E)** 3,5 – 5 % CuT, **F)** 5,0 – 8,033 % CuT.

En cuanto a la segunda estimación, se consideró el volumen total de la veta modelada por Leapfrog Geo con los datos de los sondajes correspondiente a 18862,2 m<sup>3</sup>, y se determinó un promedio ponderado de ley de CuT considerando las leyes y sus intervalos mineralizados con la siguiente fórmula:

$$\text{Ley promedio ponderada} = \frac{\sum(\text{Ley CuT} \times \text{Espesor})}{\sum \text{Espesores}}$$

En el Anexo 4 se detallan los intervalos mineralizados con sus respectivas leyes de CuT, lo que da como resultado una ley de cobre promedio ponderada de 1,661 % CuT.

Aplicando esta ley y un volumen total modelado de 18.862,2 m<sup>3</sup>, se estima el contenido metálico con la fórmula:

$$\text{Contenido de cobre (t)} = \text{Volumen} \times \text{Densidad} \times \frac{\text{Ley promedio ponderado}}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre (t)} = 18862,2 \text{ m}^3 \times 2,7 \frac{\text{t}}{\text{m}^3} \times \frac{1,661 \% \text{ CuT}}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre (t)} = 845,91$$

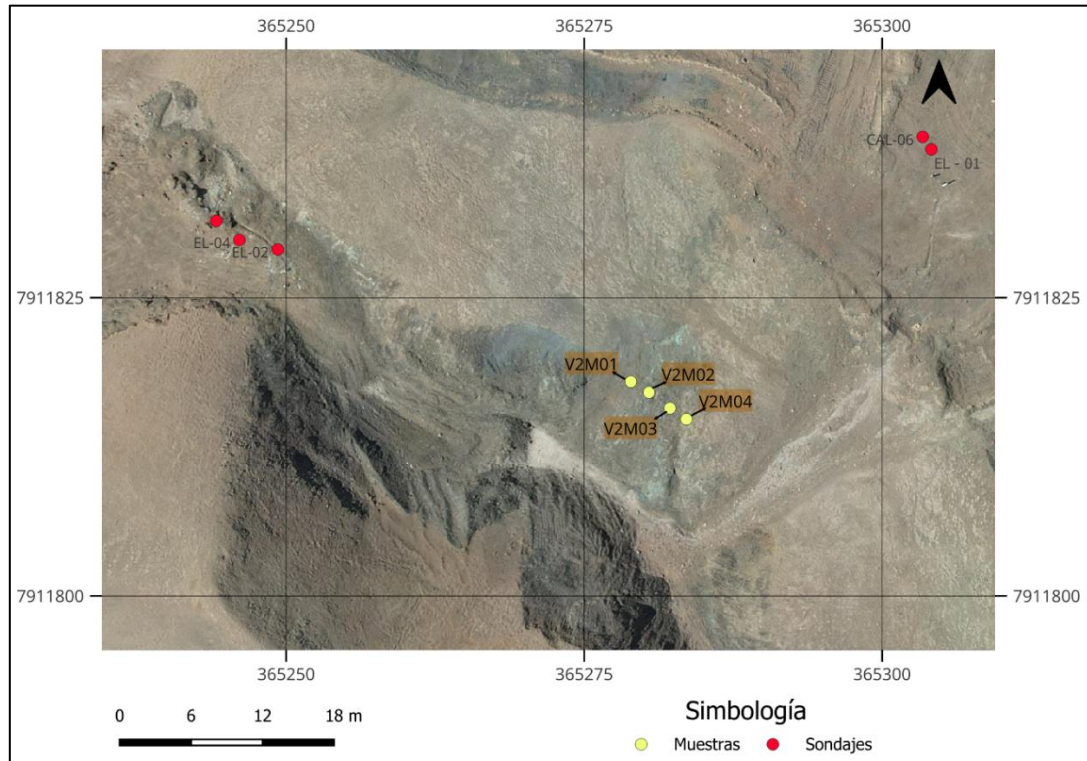
Por lo tanto, esta segunda estimación arroja un contenido metálico de 845,91 toneladas de cobre.

### 5.3. VETA QUEBRADA

La Veta Quebrada se encuentra ubicada en la zona más suroeste del área de estudio (Fig. 23) y presenta un rumbo de N6°E determinada en terreno. En este sector se identificó una veta de espesor de aproximadamente 5,2 metros, donde se llevó a cabo un muestreo de canaleta con azimut de 125°, del cual se extrajeron las muestras V2M01, V2M02, V2M03 y V2M04 (Fig. 24). Los resultados de análisis químico de estas muestras se detallan en la Tabla 9.

Litológicamente, la roca de caja corresponde principalmente a rocas volcánicas y volcanoclásticas con textura porfídica o microfanerítica, afectadas por alteraciones hidrotermales de tipo argílico y minerales de alteración como epidota, además, se encuentran cortadas por vetillas rellenas de

minerales como yeso y anhidrita vista al microscopio. Las muestras recolectadas presentan distintos grados de mineralización visible, principalmente en forma de oxidados de cobre.

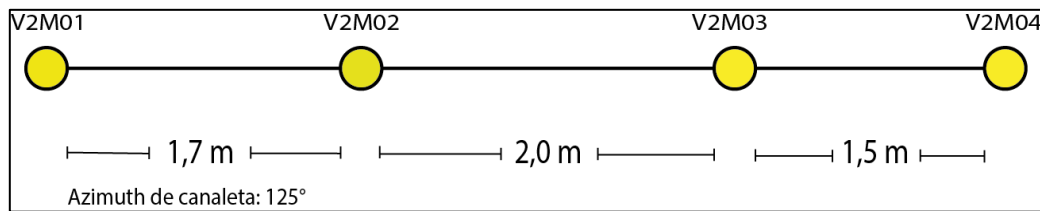


**Figura 23.** Mapa del área de estudio de la Veta Quebrada con sus respectivos sondajes y muestras extraídas.

Entre las muestras, destacan V2M02 y V2M03, con leyes de 3,76 % y 2,66 % CuT, respectivamente, y contenido soluble (CuS) de 3,08 % y 2,22 %, lo que sugiere la presencia de oxidados de cobre fácilmente lixiviables, como crisocola y atacamita. Estas se presentan tanto de forma masiva como en vetillas, acompañadas por halita y relleno de yeso en poros y contactos, y alteración argílica intermedia bien desarrollada. La muestra V2M01, en cambio, muestra una ley de 0,63 % CuT y 0,33 % CuS, con menor mineralización visible, aunque se reconocen oxidados de cobre diseminados. Por su parte, V2M04 presenta una ley intermedia de 1,57 % CuT y 1,07 % CuS, asociada a una roca de textura microfanerítica con alteración argílica intensa, limonita y minerales evaporíticos, sin mineralización evidente a simple vista.

Para el modelamiento tridimensional de la estructura se utilizaron cinco sondajes en total, cuyas características se presentan en la Tabla 10. Sin embargo, solo los sondajes EL – 01, EL – 02, EL –

03 y EL – 04 contienen información relevante sobre leyes de cobre. Estos presentan valores que oscilan entre 0,240 % y 1,80 % CuT. En el caso de EL–01, los intervalos más destacados corresponden a los tramos 86–87 metros (1,20 % CuT) y 77–78 metros (1,80 % CuT). En EL–04, destaca el intervalo 25–26 metros, con una ley de 1,10 % CuT (Anexo 5). Aunque se identifican sectores mineralizados en profundidad, las leyes no son particularmente altas. En contraste, las muestras superficiales extraídas en terreno, especialmente V2M02 y V2M03, presentan una mineralización visiblemente más intensa y leyes más elevadas, sugiriendo que la concentración de oxidados de cobre en superficie es más significativa.



**Figura 24. Esquema NW – SE de muestreo de canaleta realizado en Veta Quebrada con un azimuth de 125°**

**Tabla 9. Muestras extraídas en sector de Veta Quebrada, con sus respectivos resultados de análisis químicos obtenidos del laboratorio de Pampa Camarones S.A.**

ID	Origen	Veta	CuT	CuS	Solub
V2M01	Canaleta	Quebrada	0,63	0,33	0,52
V2M02	Canaleta	Quebrada	3,76	3,08	0,82
V2M03	Canaleta	Quebrada	2,66	2,22	0,83
V2M04	Canaleta	Quebrada	1,57	1,07	1,07

**Tabla 10. Sondajes utilizados en el sector de Veta Quebrada con los azimuth, dip y profundidades.**

Hole ID	Azimuth	Dip	Profundidad (m)
EL – 01	235	50	256,5
EL – 02	110	60	98
EL – 03	85	60	26
EL – 04	95	60	98
CAL – 06	0	90	300

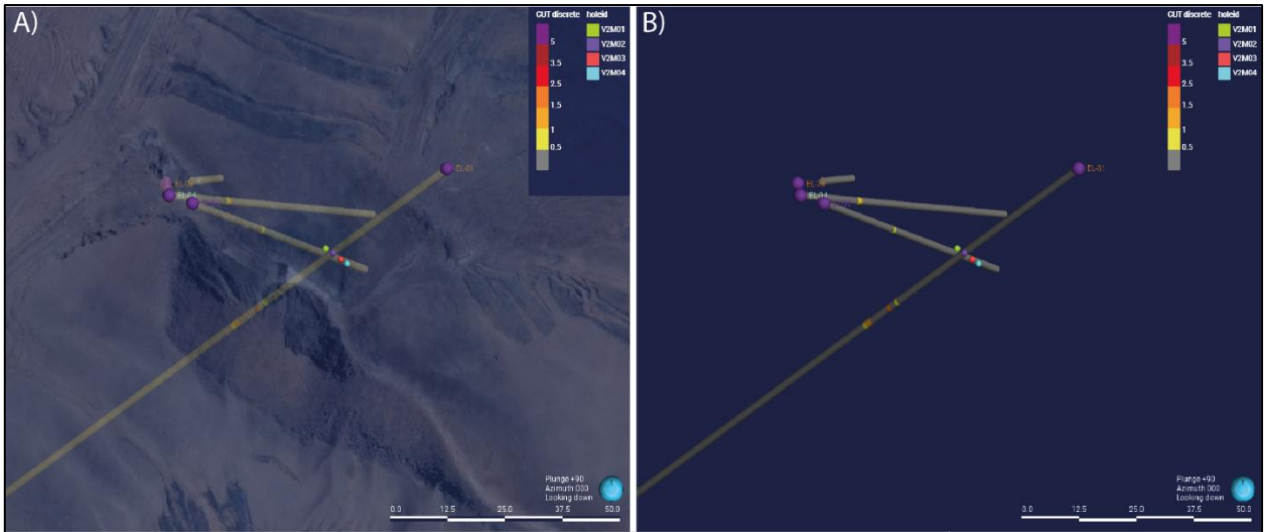


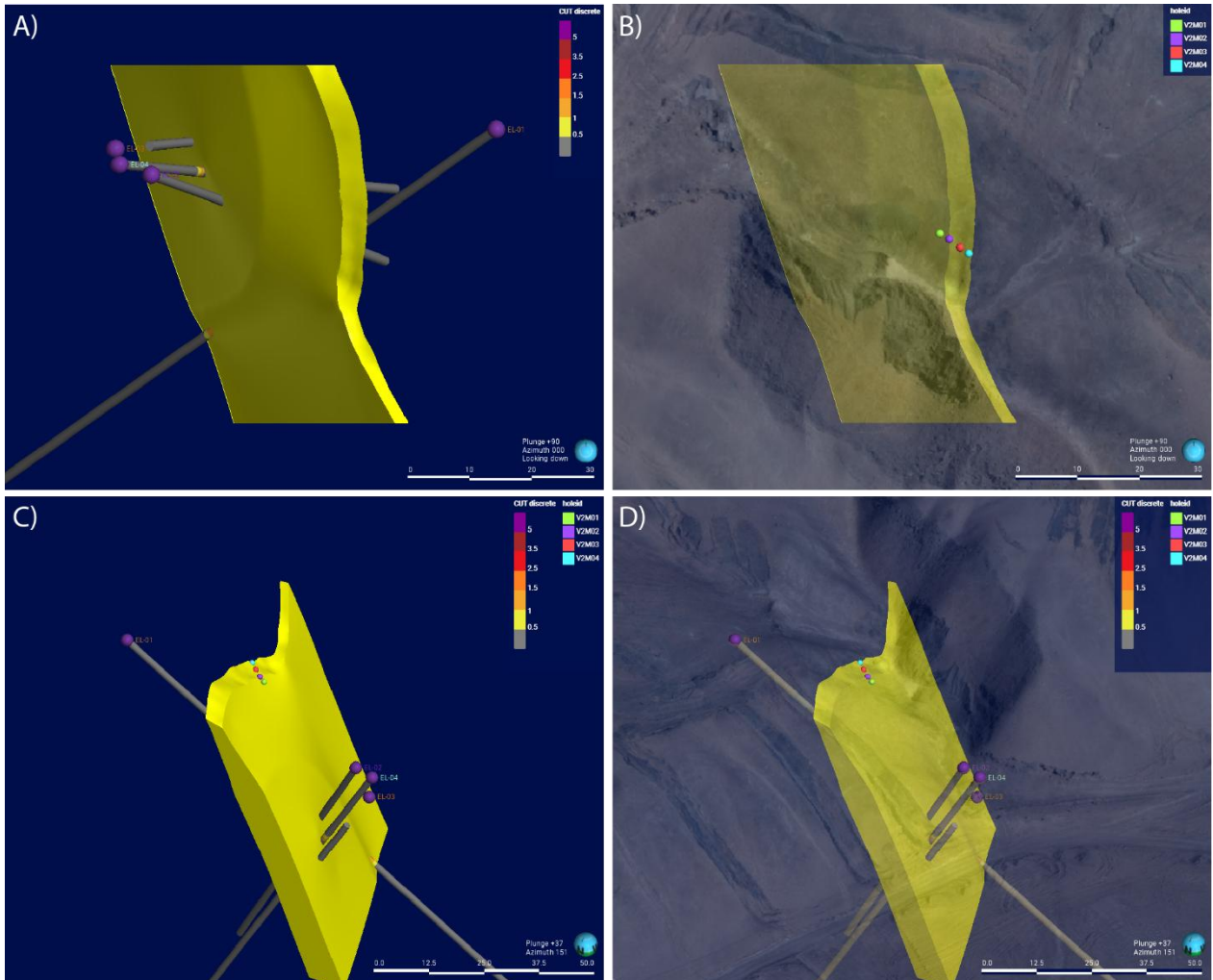
Figura 25. Vista de los sondajes utilizados en Veta Quebrada vistos en planta.

### 5.3.1. MODELO 3D

Para la elaboración del modelo tridimensional de la Veta Quebrada se consideraron los sondajes detallados en la Tabla 10, junto con las orientaciones estructurales obtenidas en terreno. La veta modelada en Leapfrog presenta una extensión aproximada de 88 metros de largo y 62 metros de profundidad (Fig. 26). Las leyes de cobre total registradas en profundidad a partir de los sondajes varían entre 0,219 % y 1,841 %.

La estructura mineralizada presenta una orientación estructural definida por un dip/dirección entre  $68 - 70^\circ/246 - 251^\circ$ , lo que indica un manteo hacia el suroeste. El volumen total modelado para la Veta Quebrada es de  $21.987 \text{ m}^3$ .

En el modelo 3D se observa que el cuerpo mineralizado intercepta las zonas mineralizadas de los sondajes, alcanzando el espesor máximo de 8,5 metros a una profundidad aproximada de 48,2 metros de profundidad.



**Figura 26. Modelo 3D de la Veta Quebrada en diferentes vistas, con los sondajes utilizados y las muestras extraídas. A) Vista en planta sin imagen satelital B) Vista en planta con imagen satelital y sin sondajes C) Vista en perspectiva sin imagen satelital D) Vista en perspectiva con imagen satelital.**

### 5.3.2. ESTIMACIÓN DE RECURSOS

Para el caso de Veta Quebrada, se realizarán dos estimaciones de recursos. La primera se centrará en un modelo numérico desarrollado en Leapfrog con la información de los sondajes que generan una zona mineralizada de acuerdo con la disposición de la veta (Fig. 27), sumado a una estimación analítica realizada con las muestras obtenidas en superficie y su respectiva ley. El segundo método de estimación consiste en tomar el volumen de la estructura mineralizada realizada en Leapfrog, y con el cálculo de una ley promedio tanto de sondajes como de las muestras extraídas, realizar una estimación del contenido metálico de cobre de Veta Quebrada.

Los rangos de % CuT a considerar son los descritos en la Tabla 11, donde se observan su respectivo volumen y posterior cálculo del tonelaje considerando  $2,7 \text{ t/m}^3$  como densidad con la siguiente fórmula:

$$\text{Tonelaje} = \text{Volumen (m}^3\text{)} \times 2,7 \text{ t/m}^3$$

Para el cálculo de los valores entre 1,5 a 3,76 % CuT se considerará el espesor medido en superficie, con una extensión en profundidad de cinco metros y un largo de 35,38 metros según lo observado en las imágenes aéreas.

**Tabla 11. Rangos establecidos para el desarrollo de la estimación mediante el modelo numérico en Leapfrog con su volumen y cálculo de tonelaje.**

Rango	Volumen	Tonelaje
0,2 – 0,5	16723	45152,1
0,5 – 1,0	248,82	671,814
1,0 – 1,5	4,43	11,961
1,5 – 3,76	918,88	2483,676

Para el rango entre 1,5 – 3,76 % CuT que corresponde a la muestra extraída con mayor ley, se obtendrá una ley promedio de Cu que considera las muestras en superficie con los resultados de análisis químicos y la zona mineralizada modelada por Leapfrog para rangos  $> 1,5$  % CuT, que presentaba un volumen de  $0,0443 \text{ m}^3$ , todo lo anterior se aplica a la siguiente formula:

$$\text{Ley promedio CuT} = \frac{0,63 + 3,76 + 2,66 + 1,57 + 1,5}{5}$$

$$\text{Ley promedio CuT} = 2,024 \% \text{ CuT}$$

Con esta información se calculará el contenido metálico de cobre correspondiente a la Veta Quebrada, detallada en la Tabla 12 mediante la siguiente formula:

$$\text{Contenido de cobre (t)} = \text{Tonelaje} \times \frac{\text{Ley Promedio CuT}}{100}$$

**Tabla 12. Contenido de cobre estimado** a partir de los rangos seleccionados y la ley promedio establecida por cada rango.

Rango	Promedio	Tonelaje	Contenido de cobre
0,2 – 0,5	0,35	45152,1	158
0,5 – 1,0	0,75	671,814	5
1,0 – 1,5	1,25	11,961	0,14
1,5 – 3,76	2,024	2483,676	50,27

Esto da como resultado 213,41 toneladas de cobre presente en Veta Quebrada mediante el modelo numérico desarrollado en Leapfrog y los análisis químicos de las muestras extraídas en superficie.

Para el segundo método de estimación, se utilizó el volumen total de la veta Quebrada modelada en Leapfrog correspondiente a 21987 m<sup>3</sup> (Fig. 26). A este volumen se le asignó una ley promedio de cobre total obtenida a partir de un promedio ponderado que considera tanto los intervalos mineralizados de los sondajes como el muestreo de canaleta realizado de forma superficial.

La ley promedio simple de los sondajes utilizados en el modelo es de 0,593 % CuT, y se calculó solo con los intervalos que fueron seleccionados para realizar el modelo 3D, los que se encuentran detallados en el Anexo 5. Mientras que la ley promedio del muestreo de canaleta alcanza un valor de 2,14 % CuT. Para ponderar ambas fuentes de información, se aplicó la siguiente fórmula:

$$Ley\ promedio\ ponderada = \frac{\sum(Ley\ CuT\ x\ Espesor)}{\sum Espesores}$$

$$Ley\ promedio\ ponderada = \frac{(0,593\ x\ 29) + (2,14\ x\ 5,2)}{(29 + 5,2)}$$

$$Ley\ promedio\ ponderada = 0,828$$

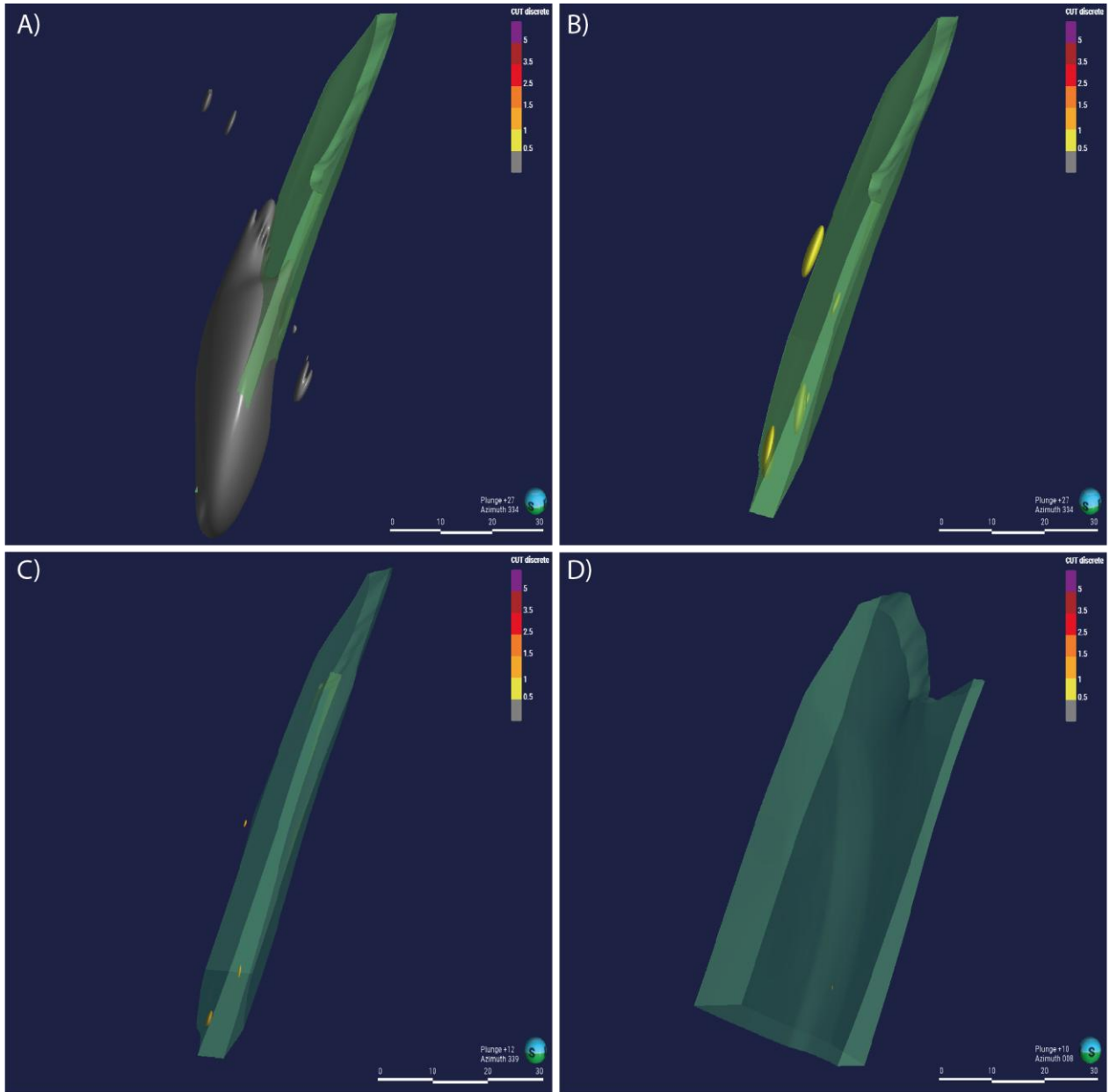
Con esta ley y el volumen estimado, se calculó el tonelaje utilizando una densidad de roca de 2,7 t/m<sup>3</sup> y su contenido de cobre correspondiente:

$$Contenido\ de\ cobre\ (t) = Volumen\ x\ Densidad\ x\ \frac{Ley\ promedio\ ponderado}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre (t)} = 21987 \text{ m}^3 \times 2,7 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times \frac{0,828 \% \text{ CuT}}{100}$$

$$\text{Contenido de cobre (t)} = 491,54$$

Por lo tanto, bajo esta metodología, se estima que la Veta Quebrada contiene un total de 491,54 toneladas de cobre metálico.



**Figura 27. Modelo 3D de la mineralización separada en los rangos utilizados. No se incluyen las muestras extraídas en superficie. A) 0,2 – 0,5 % CuT B) 0,5 – 1,0 % CuT C) 1,0 – 1,5 % CuT D) > 1,5 – 3,76 % CuT**

## 6. CONCLUSIÓN

La presente habilitación profesional tuvo como objetivo estimar los recursos minerales contenidos en tres vetas ubicadas en sectores aledaños a la Mina Salamanqueja, principal centro de operaciones de Pampa Camarones. Para ello, se integraron datos recopilados en terreno con información proveniente de sondajes preexistentes, permitiendo modelar tridimensionalmente las estructuras y calcular su tonelaje y contenido metálico.

Para una mejor comprensión de los distintos resultados obtenidos a partir del modelamiento de los cuerpos mineralizados, se presentan a continuación las conclusiones organizadas por cada una de las vetas estudiadas. Además, se incluye la Tabla 13 que resume los resultados obtenidos para comparar de forma integrada todas las características.

**Tabla 13. Comparativa de las características resultantes de los modelos realizados en Leapfrog, separados por veta.**

Veta	Ley promedio (% CuT)	Espesor promedio modelo 3D (m)	Volumen modelo 3D (m <sup>3</sup> )	Tonelaje modelo 3D (t)	Recursos modelo 3D (ton de Cu)	Recursos modelo numérico (ton de Cu)
Anaconda I	3,542	0,515	2784,7	7518,69	266,312	63,93
Anaconda II	0,396	0,470	3269,4	8827,38	34,95	-
San Lorenzo	1,661	0,72	18862,2	50927,94	845,91	978,364
Quebrada	0,828	2,46	21987	59364,9	491,54	213,41

### 6.1. VETA ANACONA

La Veta Anaconda fue dividida en dos subestructuras (Anaconda I y Anaconda II), cada una con características distintivas en cuanto a ley y volumen. En el caso de Anaconda I, la estimación de recursos mediante un modelo numérico que segmenta las zonas mineralizadas por rangos de ley arrojó un contenido metálico de 63,93 toneladas de cobre. No obstante, al aplicar una estimación

más general basada en el modelo 3D completo de la veta con un volumen de 2.784,7 m<sup>3</sup> y una ley promedio de 3,54 % CuT se obtuvo un tonelaje total de 7.518,7 toneladas y un contenido metálico estimado de 266,3 toneladas de cobre. Esta diferencia se explica por la forma en que cada método considera la distribución de leyes: el modelo numérico segmentado, al centrarse en zonas de mayor ley, puede aproximar aun más la estimación de los recursos, mientras que el modelo 3D general integra todo el cuerpo mineralizado.

En cuanto a Anacona II, el volumen modelado fue levemente superior (3.269,4 m<sup>3</sup>), con un espesor promedio de 0,47 metros y un tonelaje estimado de 8.827,4 toneladas. Sin embargo, la ley promedio calculada fue considerablemente menor (0,396 % CuT), lo que resultó en un contenido metálico de apenas 34,95 toneladas de cobre. Debido a la distancia entre los datos y homogenización en las leyes que presenta Anacona II, no se aplicó un modelo numérico segmentado para esta estructura.

## **6.2. VETA SAN LORENZO**

La Veta San Lorenzo corresponde al cuerpo mineralizado de mayor volumen entre los tres modelados, alcanzando un total de 18.862,2 m<sup>3</sup> con un espesor promedio de 0,72 metros. A partir del modelo 3D, se estimó un tonelaje de 50.927,9 toneladas y un contenido metálico de 845,91 toneladas de cobre, utilizando una ley promedio ponderada de 1,661 % CuT.

Complementariamente, se aplicó un modelo numérico basado en rangos de ley de cobre total (CuT), el cual permitió interpolar zonas con mineralización significativa. Este enfoque entregó una estimación levemente superior, con un total de 978,36 toneladas de cobre metálico. Las diferencias entre ambos métodos reflejan la presencia de intervalos con leyes elevadas en sondajes, especialmente en los primeros metros, los cuales tienden a ser suavizados al promediar toda la estructura.

San Lorenzo no presentó exposición superficial clara, por lo que el modelamiento se basó exclusivamente en datos de sondajes, lo que refuerza la robustez de los resultados obtenidos. La presencia de una estructura principal y una bifurcación secundaria otorga continuidad y volumen significativo al cuerpo, posicionándolo como el sector de mayor potencial económico dentro del área de estudio.

### **6.3. VETA QUEBRADA**

En la Veta Quebrada, el modelo 3D construido a partir de información estructural y geoquímica definió un cuerpo con un volumen estimado de 21.987 m<sup>3</sup>, el mayor del estudio, y un espesor promedio de 2,46 metros. El tonelaje total calculado fue de 59.364,9 toneladas, con una ley promedio ponderada de 0,828 % CuT, lo que resultó en una estimación de 491,54 toneladas de cobre metálico.

Adicionalmente, mediante la aplicación de un modelo numérico con rangos de ley y la integración de datos superficiales, se obtuvo una estimación alternativa de 213,41 toneladas de cobre. Esta diferencia responde a que el modelo numérico considera únicamente sectores con mineralización significativa que es extrapolada, mientras que el método analítico considera el volumen completo de la estructura.

Cabe destacar que, Quebrada mostró una fuerte mineralización superficial, con leyes puntuales que superan el 3 % CuT. No obstante, estas no se replican con la misma intensidad en profundidad, lo cual genera un contraste marcado entre ambos niveles. A pesar de ello, su alta ley superficial y considerable volumen total hacen de Quebrada una estructura con potencial, especialmente en zonas someras.

### **6.4. CONCLUSIONES GENERALES**

Los resultados obtenidos para las tres vetas estudiadas reflejan una marcada heterogeneidad en cuanto a geometría, ley de cobre y volumen modelado, lo cual influye directamente en el potencial económico de cada estructura.

San Lorenzo destaca como la estructura de mayor volumen y tonelaje, con más de 50.000 toneladas de material modelado y un contenido metálico estimado cercano a las 980 toneladas de Cu, según el modelo numérico. Pese a que se observa mineralización superficial en San Lorenzo, no se expresa claramente por lo que es difícil seguir una orientación a simple vista, sin embargo, la continuidad en profundidad y la presencia de zonas con leyes elevadas la posicionan como la veta más robusta desde el punto de vista de recursos.

En contraste, Anacona I presenta el mayor valor de ley promedio (3,54 % CuT), aunque su volumen es considerablemente menor. La estimación numérica, que segmenta zonas de alta ley, permitió acotar su contenido metálico de 260 toneladas de cobre a solo 63,93. Esto sugiere que, si bien su extensión es limitada, posee zonas de enriquecimiento local que podrían ser prioritarias para futuras campañas de sondaje detallado.

Anaconda II, por su parte, exhibe continuidad y un volumen comparable al de Anacona I, pero con leyes mucho más bajas (0,396 % CuT), lo que se traduce en una estimación de recursos considerablemente menor (35 toneladas de Cu). Esto la posiciona como la estructura de menor interés económico en su estado actual de conocimiento.

La Veta Quebrada combina un volumen significativo con leyes moderadas. Si bien presentó la mayor mineralización superficial entre todas las vetas, los valores en profundidad fueron más discretos. Su contenido metálico estimado oscila entre 213 y 491 toneladas, según el método de estimación. Este comportamiento sugiere un potencial enfocado en zonas someras, que podría ser explotado a pequeña escala o complementado con campañas de perforación para evaluar continuidad.

Considerando lo anterior, se desprende la necesidad de profundizar el conocimiento sobre las zonas de alta ley, en especial en cuerpos como Anacona I y los primeros metros de San Lorenzo, donde se concentran intervalos mineralizados que podrían delimitarse con mayor precisión mediante nuevas perforaciones. En cuerpos con leyes bajas como Anacona II o con comportamiento contrastante como Quebrada, la realización de campañas de sondaje adicionales permitiría validar si las leyes actuales son representativas o si existen sectores aún no reconocidos con mayor potencial.

La explotación selectiva a pequeña escala surge como una alternativa factible en vetas con alta ley superficial, especialmente en Anacona I y Quebrada, donde se identificaron leyes que superan el 3 % CuT en ciertos tramos. Una evaluación enfocada en niveles someros podría ser económicamente viable sin requerir de un proyecto de explotación a gran escala.

## 7. REFERENCIAS

- CAMUS, F.** 2003. Geología de los yacimientos de cobre de Chile. *Revista Geológica de Chile*, **30**(2), 177–206.
- GARCÍA, M.; GARDEWEG, M.; CLAVERO, J. Y HÉRAIL, G.** 2004. Hoja Arica, Región de Tarapacá. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile, Serie Geología Básica, No. 84, 150 p., 1 mapa escala 1:250.000.
- JORC.** 2012. Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves (The JORC Code) (2012 Edition). Australasian Joint Ore Reserves Committee. Recuperado de [http://www.jorc.org/docs/JORC\\_code\\_2012.pdf](http://www.jorc.org/docs/JORC_code_2012.pdf)
- MINERA PAMPA CAMARONES S.A.** (s.f.). Geología. <https://www.pampacamarones.cl/geologia/>
- MOON, C. J.; WHATELEY, M. K. G. Y EVANS, A. M.** 2006. Introduction to mineral exploration (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- MPODOZIS, C. Y RAMOS, V.** 1989. The Andes of Chile and Argentina. In G. E. Ericksen, M. T. Cañas, & J. A. Reinemund (Eds.), *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources* (pp. 59–90). Circum-Pacific Council for Energy and Minerals Resources, Earth Science Series, Vol. **11**.
- SCHEUBER, E.; BOGDANIC, T.; JENSEN, A. Y REUTTER, K.-J.** 1994. Tectonic development of the North Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. In K.-J. Reutter, E. Scheuber, y P. Wigger (Eds.), *Tectonics of the Southern Central Andes* (pp. 121–140). Springer-Verlag.
- SILLITOE, R. H.** 1992. Hydrothermal alteration and mineralization in the Chilean Coastal Cordillera. *Society of Economic Geologists Special Publication*, **1**, 29–43.
- TOBAR, A.; SALAS, I. Y KAST, R.** 1968. Cuadrángulos Camaraca y Azapa. Provincia de Tarapacá. Instituto de Investigaciones Geológicas, Carta Geológica de Chile, Nos. 19–20, escala 1:50.000.

**ANEXOS**

**INDICE DE ANEXOS**

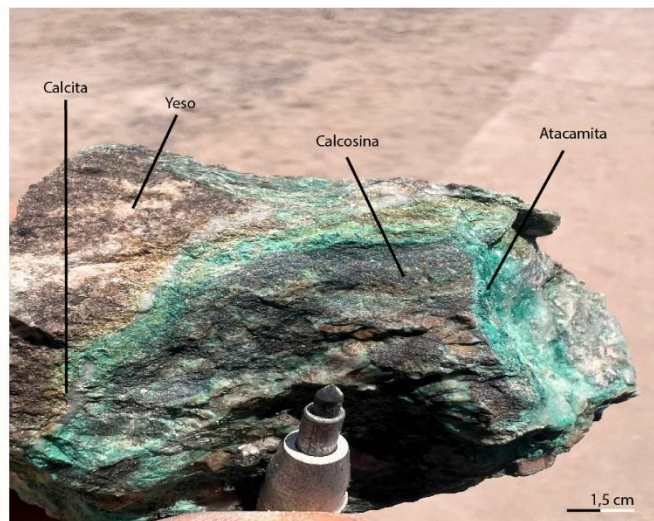
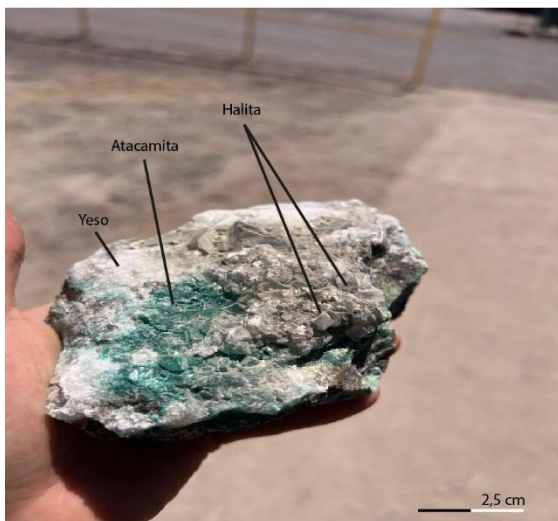
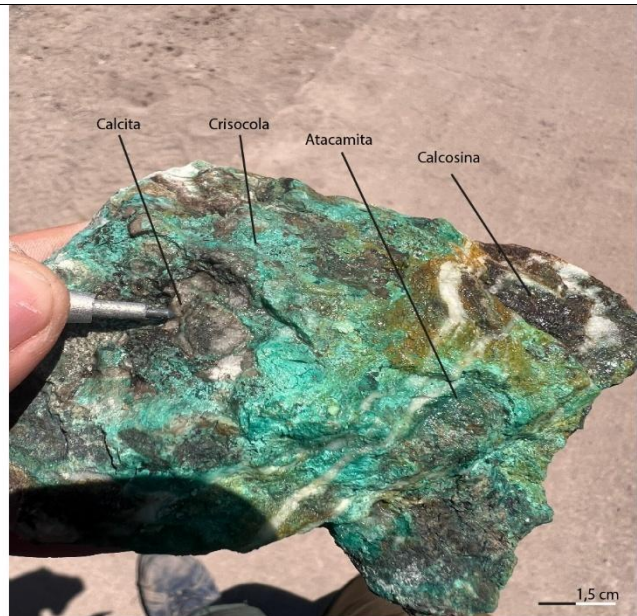
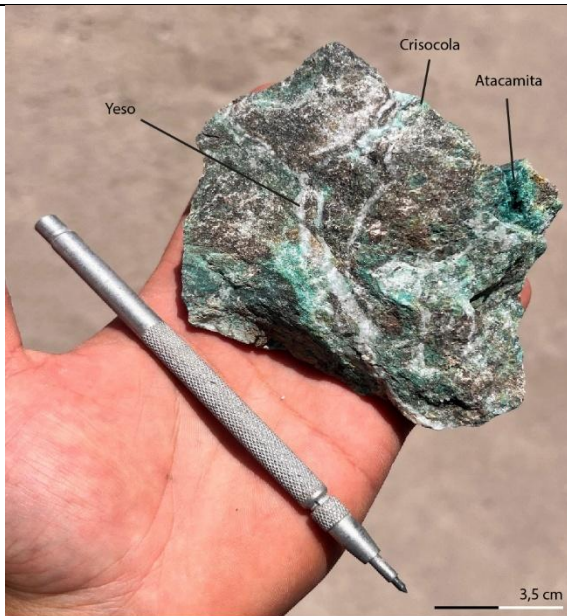
Anexos		Página
1	Descripciones macroscópicas.....	58
2	Descripciones microscópicas .....	70
3	Tabla de intervalos utilizados de los sondeos en Veta Anacona.....	76
4	Tabla de intervalos utilizados de los sondeos en Veta San Lorenzo.....	76
5	Tabla de intervalos utilizados de los sondeos en Veta Quebrada.....	78

## ANEXO 1: DESCRIPCIONES MACROSCÓPICAS

<b>V1M01</b>
<b>CuT (%): &lt; 0,01</b>
<b>CuS (%): -</b>
<p>Roca volcánica de textura porfídica y coloración café en superficie fresca, con magnetismo moderado. Presenta fenocristales subhedrales de plagioclasa de tamaño milimétrico, alterados principalmente a arcilla, acompañados de una alteración leve a epidota. Se reconocen fragmentos líticos (&lt;5%) y minerales ferromagnesianos parcialmente alterados a hematita. La muestra exhibe un alto grado de vetilleo, con vetillas de relleno compuestas por arcillas y yeso, con espesores que varían desde &lt;1 milímetros hasta 4 milímetros. Se identifican además minerales evaporíticos como halita y trazas de yeso. La roca no reacciona frente a ácido clorhídrico diluido, y no se observan evidencias macroscópicas de mineralización de oxidados de cobre.</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>

**V1M02****CuT (%): 12,63****CuS (%): 8,92**

No se identifica la textura original de la roca por lo que no puede clasificarse en muestra de mano. Presenta vetillas desde 1 milímetro hasta 5 milímetros aproximadamente rellenas por arcillas, yeso y cúmulos de calcita que efervescen. La muestra presenta alteración a epidota leve en ciertas zonas, a limonita y cristales cúbicos de halita milimétricos hasta centimétricos. Se presenta mineralización de oxidados de cobre en gran magnitud de atacamita y crisocola y sulfuros de cobre como calcosina de forma diseminada. El magnetismo es muy leve.

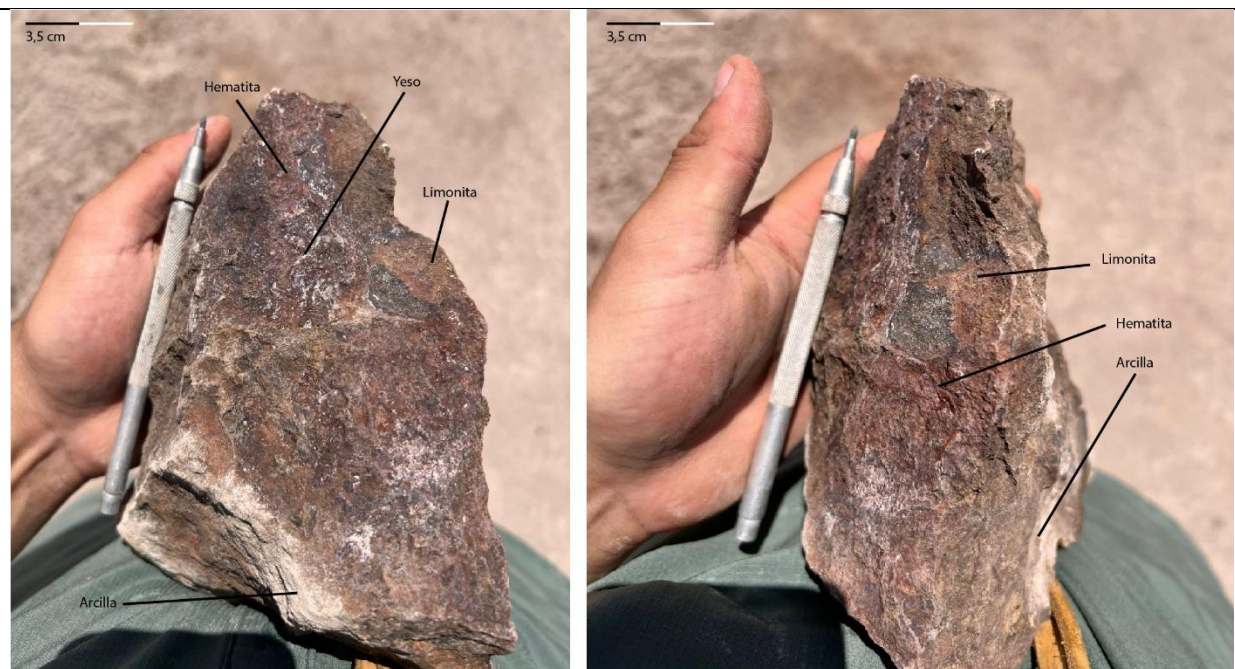


<b>V1M03</b>
<b>CuT (%): 0,06</b>
<b>CuS (%): -</b>
<p>Roca de coloración cafésosa en la que es posible identificar una textura porfídica con cristales de plagioclasa alterados a arcilla y otros cristales ferromagnesianos alterados y disgregables. Presenta un vetilleo más fuerte que en V1M01 que van desde &lt;1 milímetros hasta los 4 milímetros rellenos por arcillas y yeso. La roca efervesce bastante de forma masiva, por lo que hay presencia de calcita. Se observan cristales milimétricos de halita, alteración a limonita y no hay presencia de mineralización en muestra de mano.</p>


**V2M01****CuT (%): 0,63****CuS (%): 0,33**

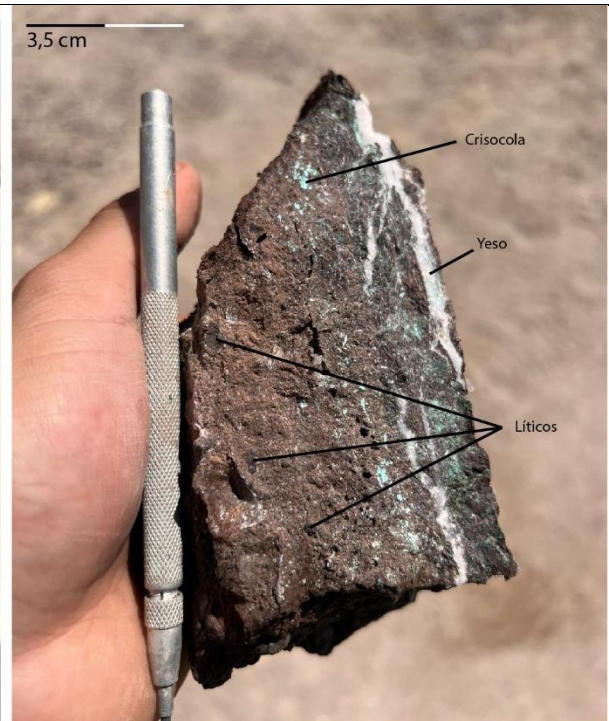
Roca de coloración café en superficie fresca, con una textura microporfídica reconocible, compuesta por fenocristales subhedrales de plagioclasa alterados a arcilla. Se observa alteración disseminada a epidota en distintas zonas y yeso en vetillas menores a los 2 milímetros.

La muestra presenta escaso desarrollo de vetilleo, sin evidencias claras de mineralización de cobre visible de forma macroscópica. También se reconocen zonas con limonita, hematita y se presenta un leve magnetismo.



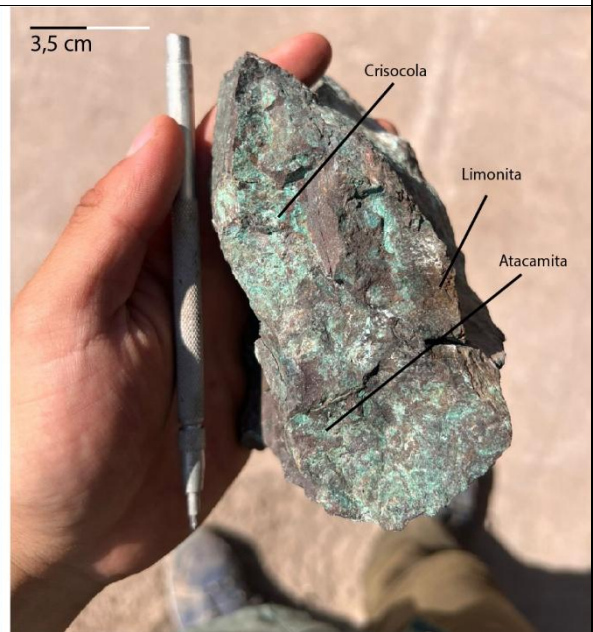
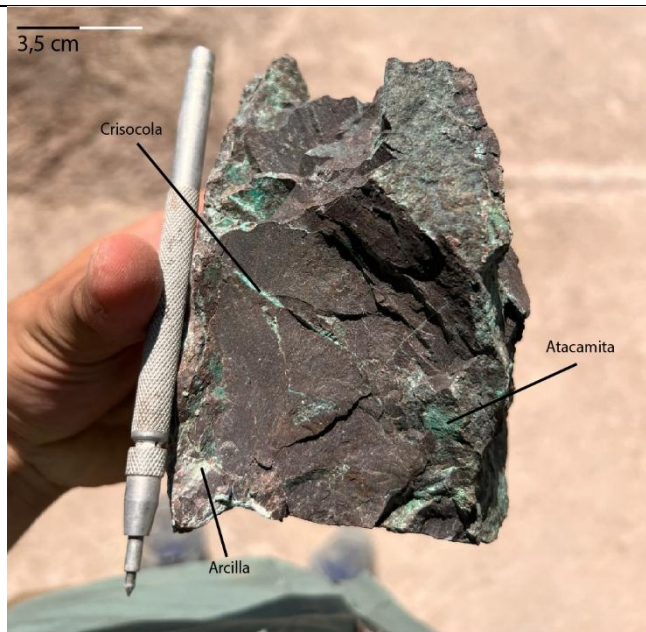
**V2M02****CuT (%)**: 3,76**CuS (%)**: 3,08

En la muestra se observa un contacto neto entre dos litologías. La primera corresponde a una roca volcanoclástica con textura clástica y de coloración más cafésosa, los clastos son líticos milimétricos en un 80% hasta 1,5 centímetros y de origen volcánico. Se observan cristales tabulares milimétricos reemplazados por crisocola en la base de la secuencia con una orientación preferencial paralelo al contacto. También se presenta cierta porosidad, las cuales están rellenas por cristales de yeso y halita. Presenta un abundante vetilleo desde 1 milímetro hasta 7 milímetros rellenos por arcillas, yeso y otras vetillas menores a 2 milímetros rellenas por oxidados de cobre como crisocola. La segunda litología tiene un textura micro fanerítica y es de una coloración más burdeo, esta presenta mineralización de crisocola y atacamita en vetillas y predominantemente masiva.



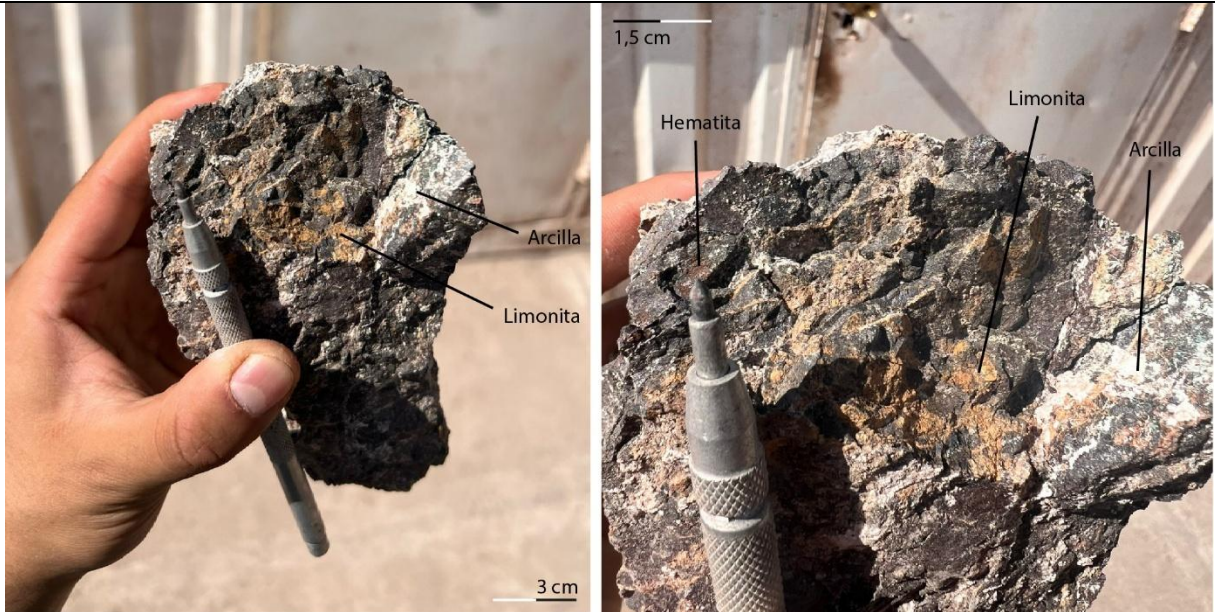
**V2M03****CuT %: 2,66****CuS %: 2,22**

Roca de textura microfanerítica de coloración oscura con leve magnetismo. Tiene minerales de alteración como arcilla y yeso. Presenta vetillas milimétricas (<3 milímetros) sin orientación preferencial rellenos por crisocola, pero también se observa mineralización de crisocola y atacamita de forma masiva.



**V2M04****CuT (%)**: 1,57**CuS (%)**: 1,07

La textura de la roca no se aprecia con claridad, pero pareciera ser afanítica o incluso micro fanerítica. Tiene una alteración argílica pervasiva y contiene poca mineralización de cobre. También presenta alteración a limonita, hematita diseminada y minerales evaporíticos.

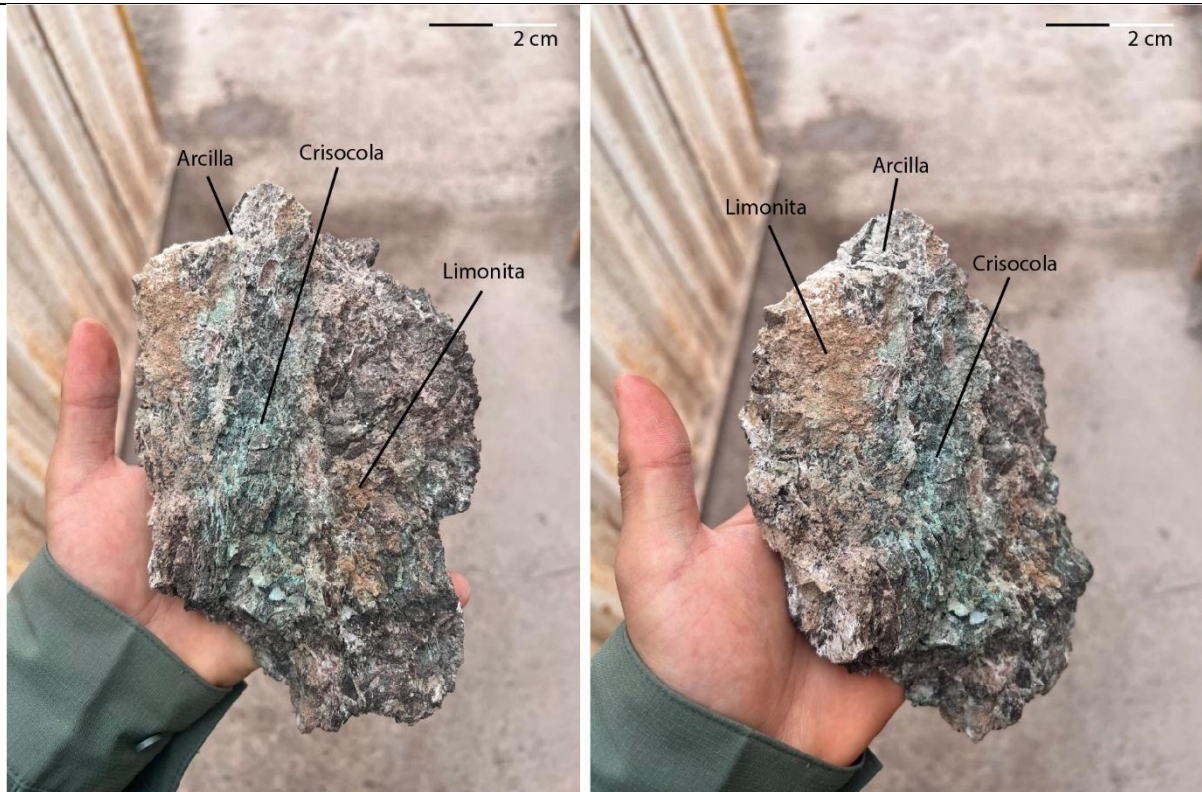


<b>V3M01</b>
<b>CuT (%)</b> : 3,13
<b>CuS (%)</b> : 2,86
Roca de coloración cafésosa a rojiza de textura porfídica que presenta cristales de plagioclasa anhedrales a subhedrales. Se presenta una leve alteración a epidota en cúmulos y las plagioclasas levemente alteradas a arcillas y costras de halita. La roca presenta mineralización de algunos cristales, siendo reemplazados por crisocola en su mayoría, aunque también atacamita de forma más diseminada. También presenta minerales de oxidados de hierro en vetillas.


**V3M02****CuT (%)**: 1,11**CuS (%)**: 0,89

Roca de tonalidad grisácea a verdosa, con textura porfídica poco evidente debido a una intensa alteración. Se observan cristales parcialmente preservados de plagioclasa alterados extensamente a arcilla con un vetilleo milimétrico compuesto principalmente por crisocola.

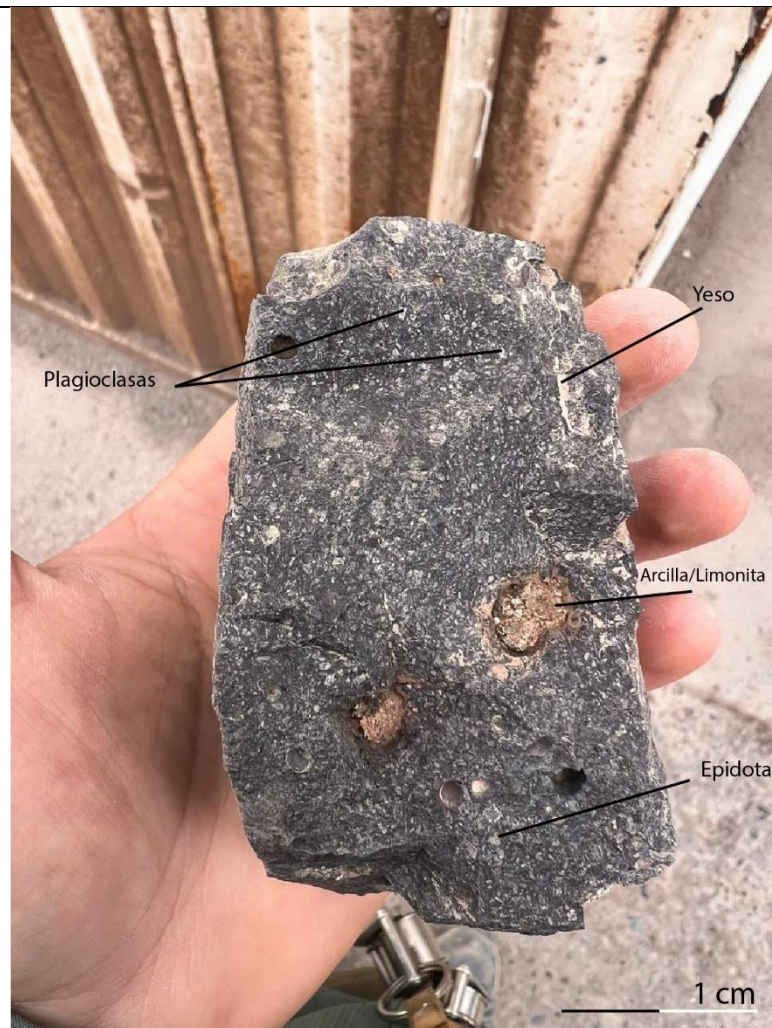
La muestra presenta abundante limonita distribuida de forma diseminada y en vetillas, así como la presencia de minerales evaporíticos, principalmente yeso. Se reconoce una mayor proporción de alteración a arcilla respecto a otras muestras de la misma veta, acompañada de una mineralización de crisocola más intensa en vetillas.



**V3M03****CuT (%): 0,05****CuS (%): -**

Roca de tonalidad café a violácea, con textura porfídica compuesta por fenocristales subhedrales de plagioclasa inmersos en una masa fundamental cristalina. Presenta vesículas rellenas parcialmente por yeso, halita o una mezcla de arcilla y limonita, en diferentes proporciones.

Se observa alteración leve a epidota, tanto en forma de cúmulos como rellenando espacios vesiculares. No se reconoce mineralización de cobre visible a escala de mano.



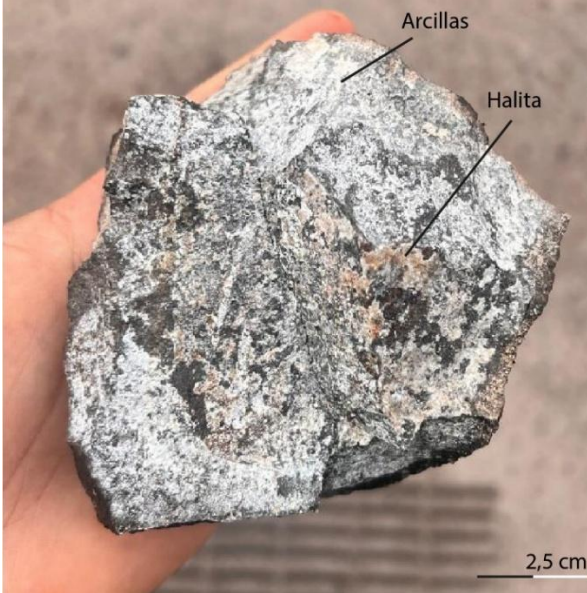
**V3M04 – V3M05 – V3M06**

**CuT (%): 0,12 ; 0,1; 0,1**

**CuT (%): -**

Rocas de coloración predominantemente oscura, con textura porfídica marcada por la presencia de fenocristales ferromagnesianos y escasos cristales de plagioclasa, poco distinguibles a escala macroscópica. Se identifica desarrollo de vetillas rellenas por arcilla, junto con costras blanquecinas de minerales evaporíticos, principalmente halita. No se evidencian oxidados ni sulfuros de cobre. Las muestras presentan escasa porosidad y escaso magnetismo.

V3M04



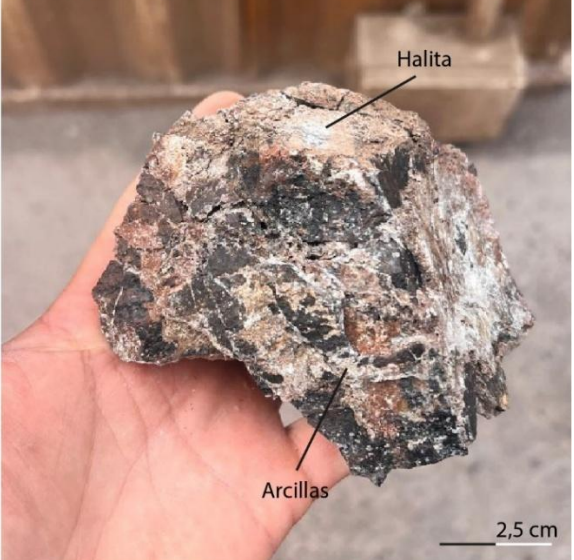
V3M04

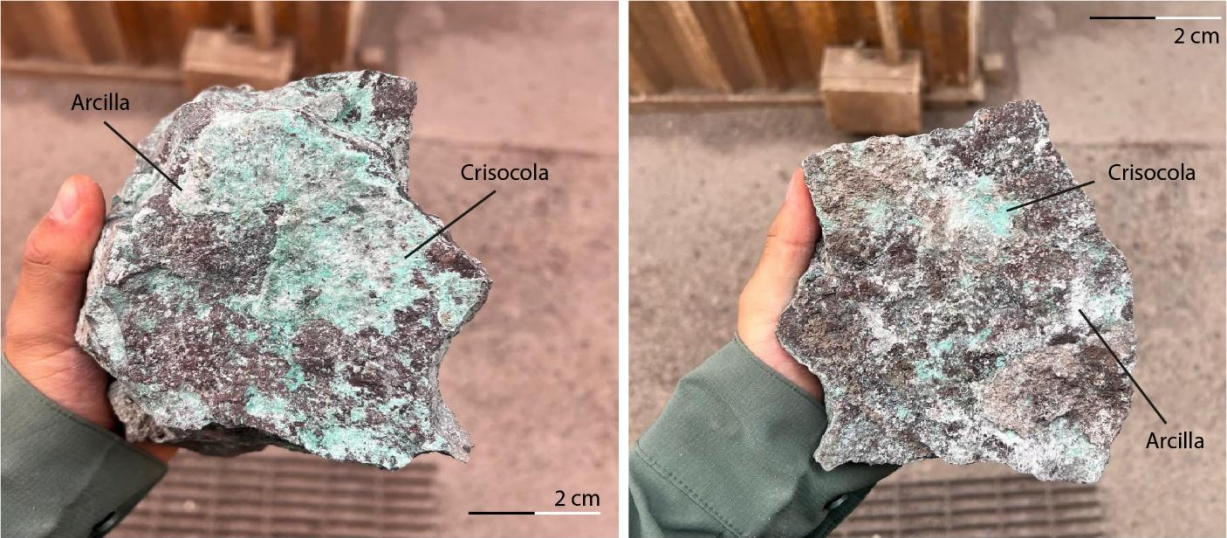


V3M05



V3M06

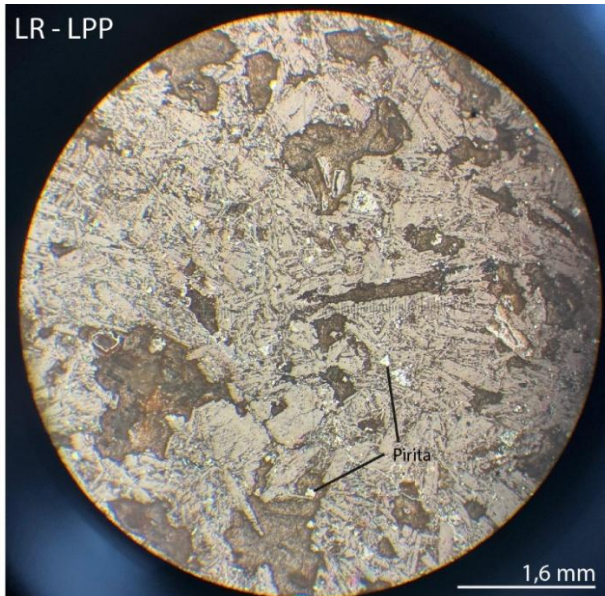
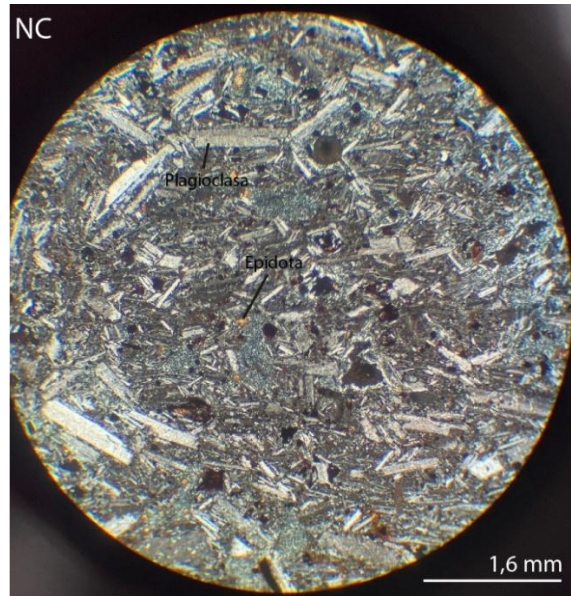
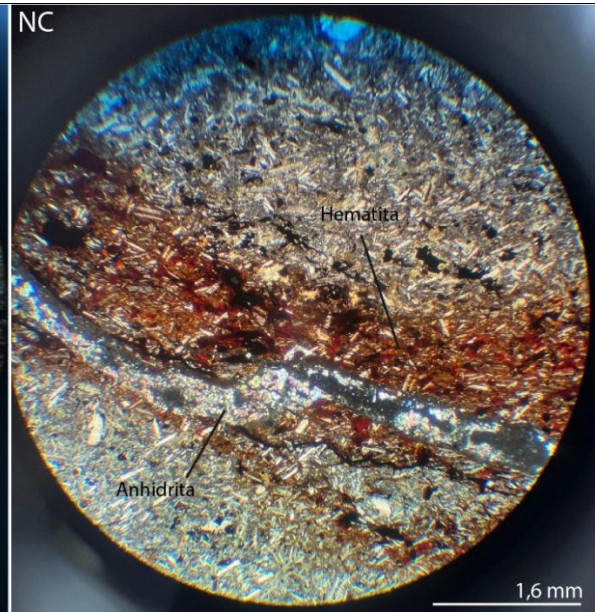
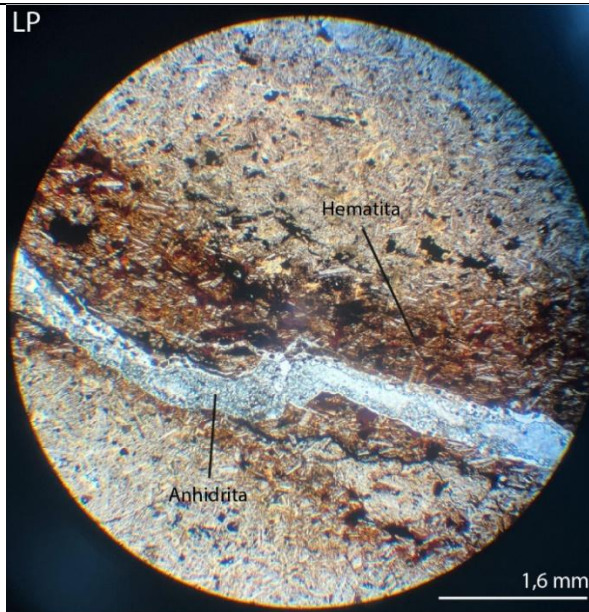


<b>V3M07</b>
<b>CuT (%): 3,66</b>
<b>CuS (%): 3.49</b>
Roca de tonalidad gris a verdosa, con alteración intensa a arcilla, principalmente caolinita, distribuida de forma diseminada y en vetillas. Presenta una mineralización abundante de crisocola, tanto en vetillas como de forma masiva, cubriendo gran parte de la superficie de la muestra. La textura original de la roca no es fácilmente identificable debido al grado de alteración y no presenta magnetismo.


## ANEXO 2: DESCRIPCIONES MICROSCÓPICAS

### V2M01

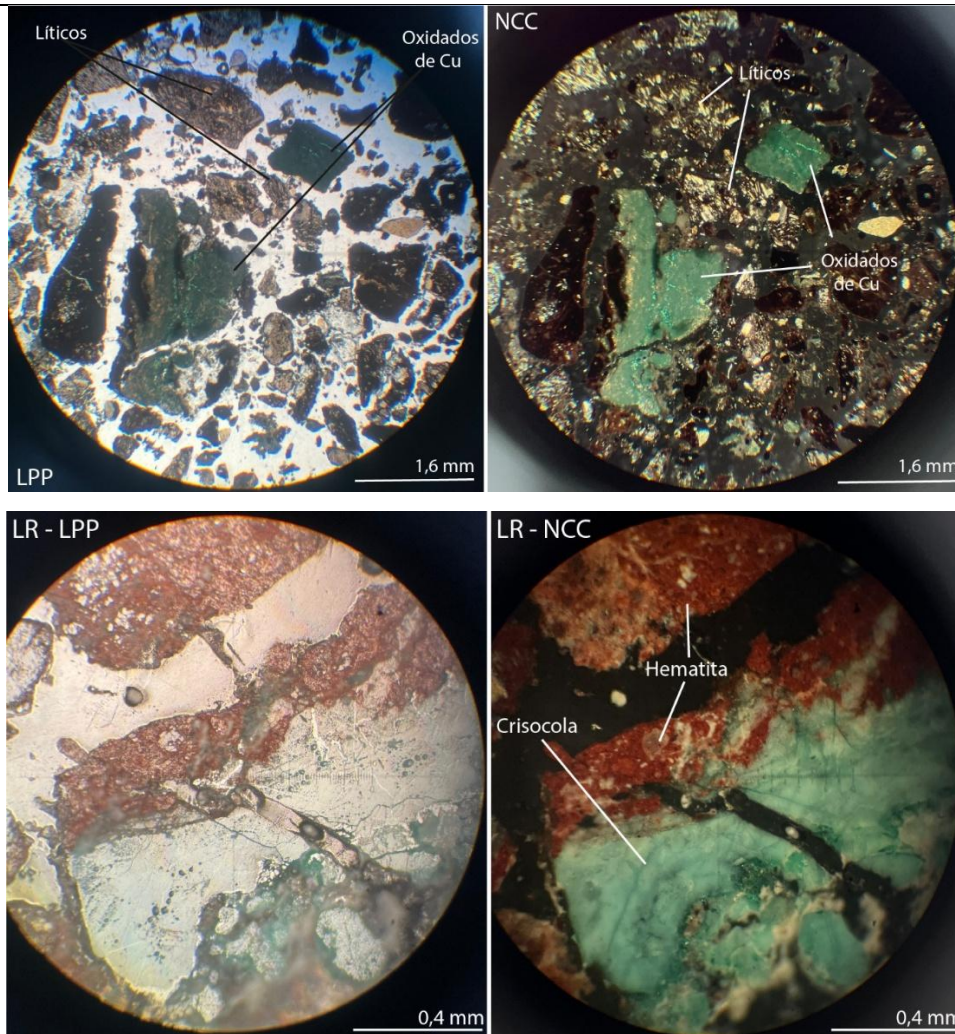
Roca de textura pilotaxítica con cristales alargados de plagioclasa subhedrales a euhedrales orientados en una masa fundamental vítrea. La muestra presenta un 70% de cristales, 30% de masa fundamental y un 15% de minerales opacos. Se observa una vetilla principal de anhidrita con desarrollo de un halo de alteración hematítica. Presenta algunos cristales de epidota diseminados por la muestra y las plagioclasas se encuentran levemente alteradas a arcilla. En cuanto a los metálicos, solo se reconocen granos de pirita diseminados por toda la muestra.



### V2M02

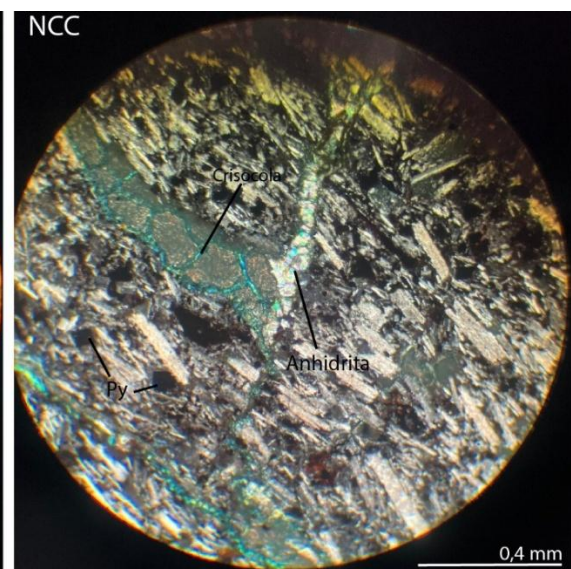
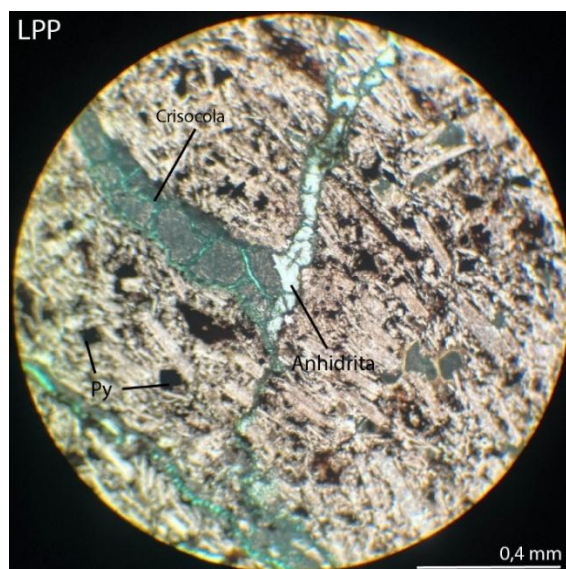
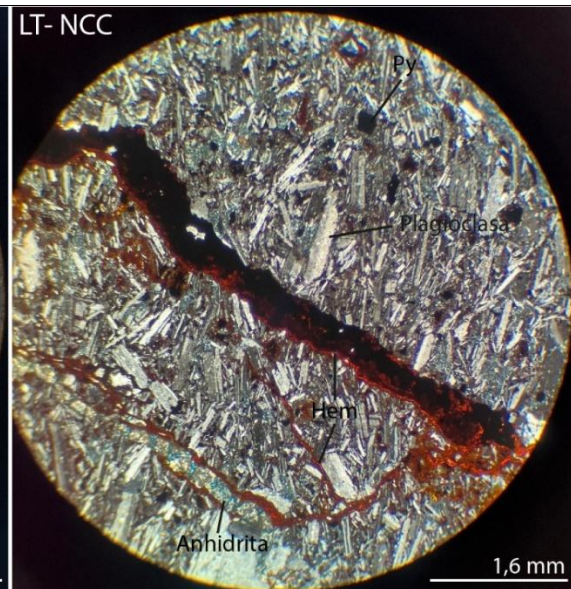
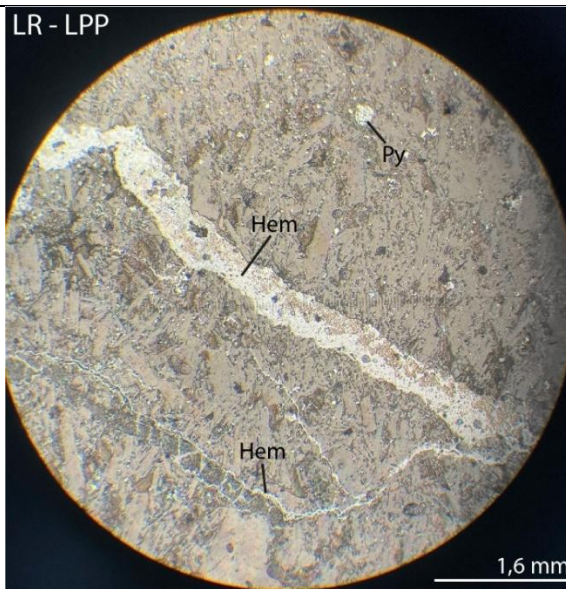
Roca de textura clástica con fragmentos líticos volcánicos que presentan una textura porfídica. La muestra está compuesta por líticos volcánicos (~ 50%), cristales seriados de plagioclasa (~30%) y minerales opacos (~20%). Los líticos muestran alteración parcial a hematita y se encuentran dispersos en una matriz no distinguible.

Algunos cristales de plagioclasa se observan completamente lixiviados y reemplazados por oxidados de cobre, principalmente crisocola y atacamita. También se identifican minerales metálicos como piritas en cristales pequeños (~12%) y minerales oxidados (~8%), con contenidos aproximados de 2% de atacamita y 6% de crisocola. La hematita se presenta como producto de alteración ampliamente distribuido en la muestra.



## V2M03

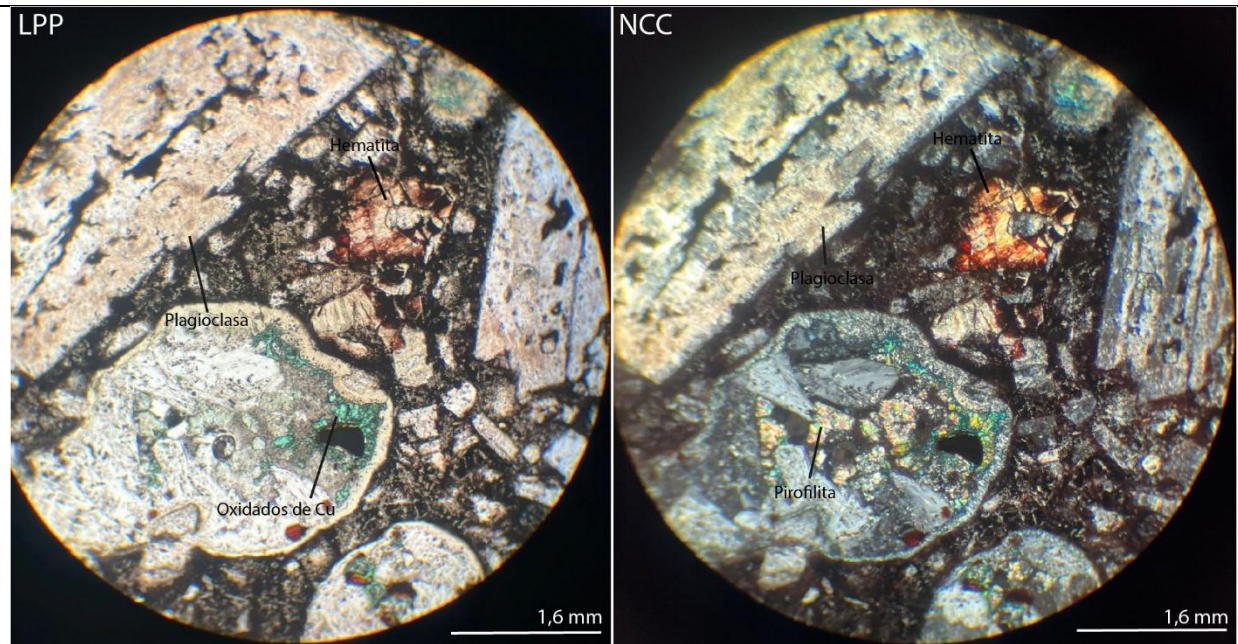
Roca de textura pilotaxítica compuesta principalmente por cristales subhedrales a euhedrales de plagioclasa (~75%) orientados dentro de una masa fundamental vítrea (~10%) y minerales opacos (~15%). Las plagioclasas presentan alteración leve a arcilla, y se reconocen vetillas de yeso y crisocola distribuidas sin orientación preferencial y algunas de cuarzo secundario en menor proporción. Algunos cristales de plagioclasa muestran alteración parcial a oxidados de cobre y se identifican halos de hematita alrededor de vetillas. Se observa también presencia de anhidrita asociada a vetillas de yeso. En cuanto a los minerales metálicos, se reconocen granos de pirita diseminada (~8%) y vetillas de hematita.



**V3M01**

Roca con textura porfídica y plagioclasas seriadas, que varían entre cristales anhedrales y euhedrales, algunos de los cuales se observan fracturados. Las plagioclasas (~70%) presentan alteración leve a arcilla. La masa fundamental, de carácter vítreo, representa aproximadamente un 15%, mientras que los minerales opacos constituyen cerca de un 10%.

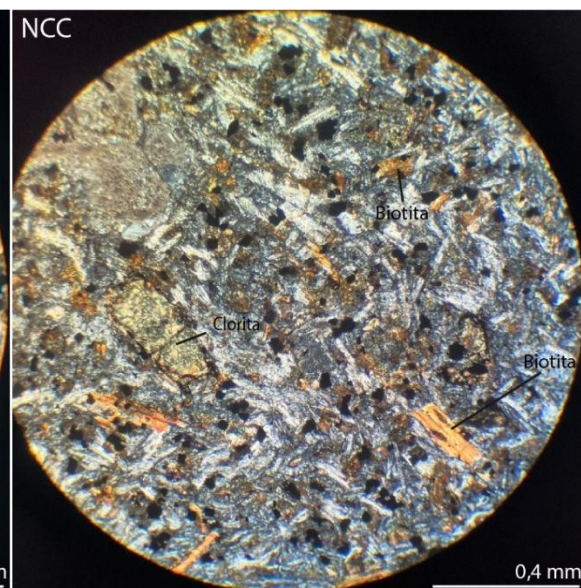
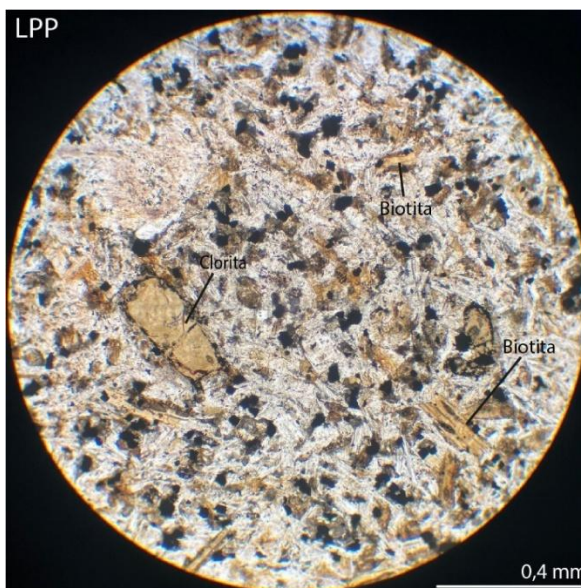
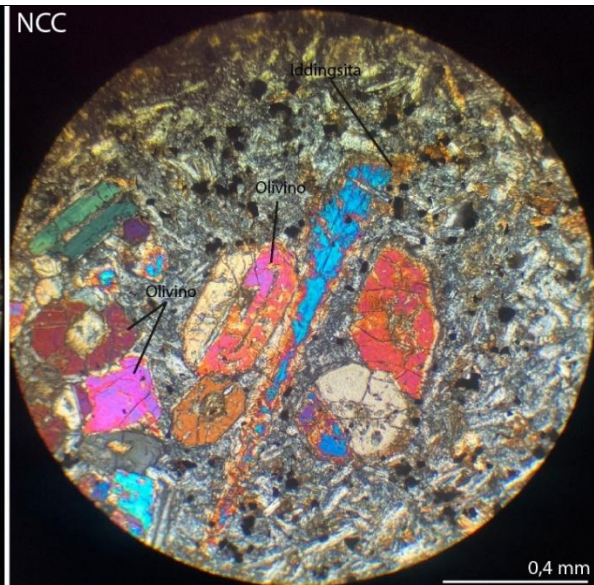
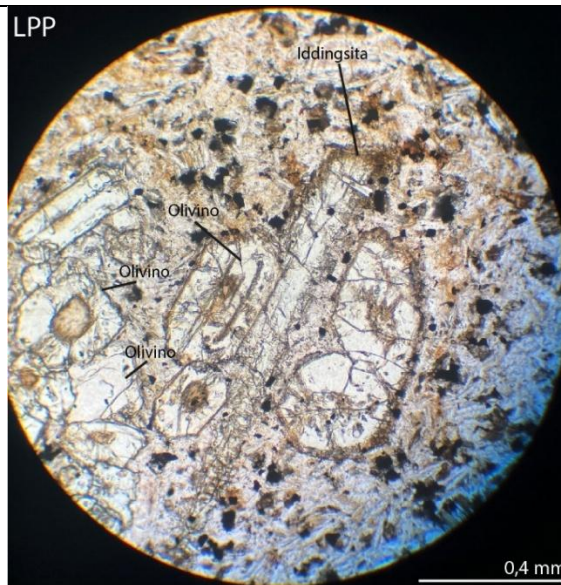
Se identifican oxidados de cobre, principalmente atacamita, rellenando espacios entre cristales. También se observa pirofilita (< 5%) y hematita rojiza como relleno en vetillas. La muestra contiene cúmulos de cuarzo secundario que rellenan intersticios y zonas vacías.



## V3M04

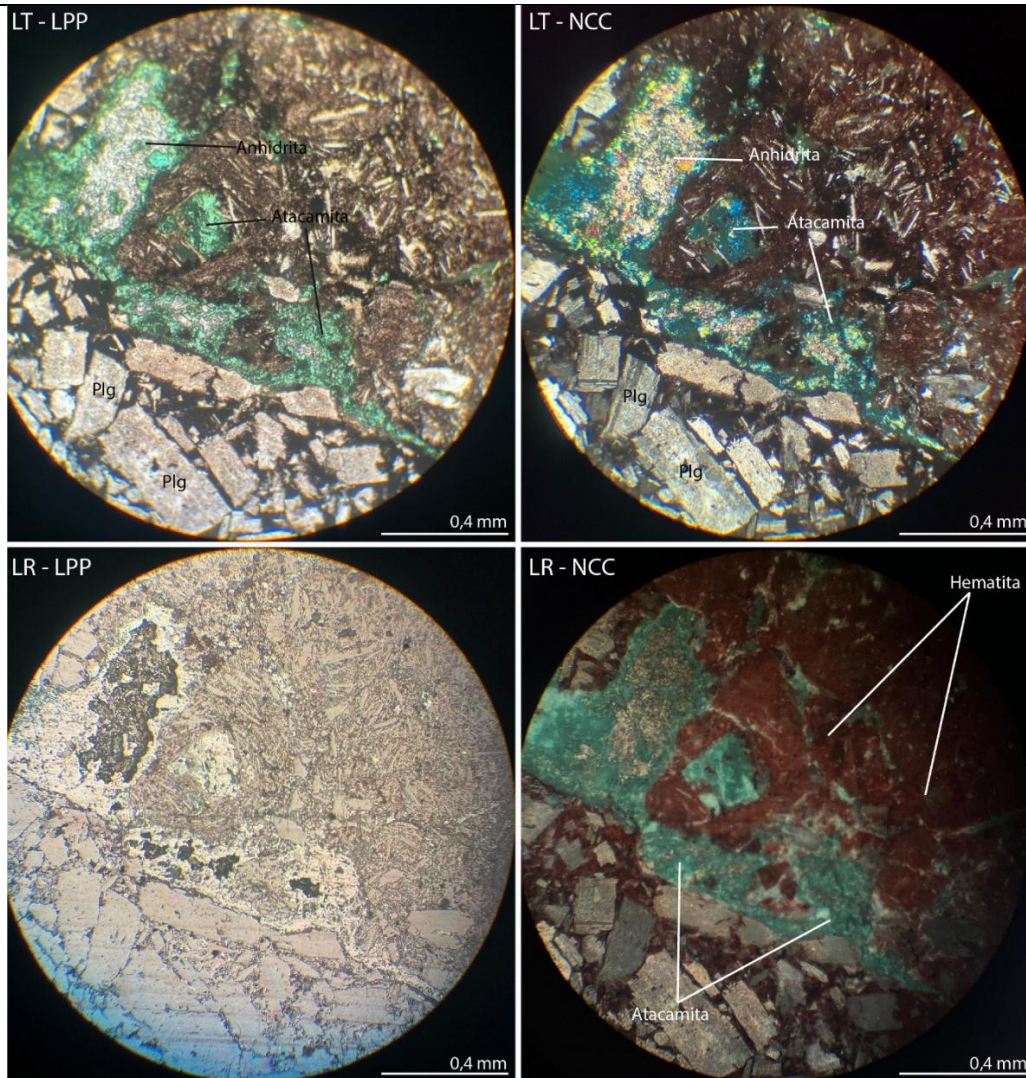
Roca volcánica de textura porfídica, compuesta por fenocristales de plagioclasa y olivinos, inmersos en una masa fundamental de aspecto cristalino. Esta matriz contiene microlitos de plagioclasa levemente alterados a arcilla, junto con biotitas alargadas y dispersas.

Los olivinos se presentan fracturados y alterados principalmente a iddingsita, mientras que la biotita se asocia a clorita de color pardo en luz polarizada. Se estima que los fenocristales representan un 35% del total, distribuidos aproximadamente en 23% de plagioclasa y 12% de olivino. La masa fundamental constituye el 65% restante, con un 40% de plagioclasa, 15% de biotita y 10% de minerales opacos, los cuales corresponden a granos diseminados de pirita.



## V3M07

Roca de textura porfídica compuesta por fenocristales de plagioclasa (~35%) y una masa fundamental de aspecto vítreo (~65%) de tonalidad rojiza. Las plagioclasas son tabulares, alargadas y sin orientación preferencial clara; presentan alteración moderada a arcilla. En algunas zonas se observan vetillas rellenas por anhidrita y atacamita, además de sectores con desarrollo de cuarzo secundario. Se identifican también fragmentos líticos volcánicos redondeados, con textura porfídica interna, que contienen plagioclasas seriadas (75%) y una masa fundamental microcristalina (~25%). La presencia de atacamita es evidente en vetillas y en reemplazo de espacios intersticiales. Se observa hematita asociada a zonas de alteración, mientras que el contenido de pirita diseminado es escaso.



**ANEXO 3: TABLA DE INTERVALOS UTILIZADOS DE LOS SONDAJES EN VETA ANACONA**

HOLE ID	FROM	TO	CuT (%)
S – 5770	5,0	6,0	5,333
S – 5770	6,0	7,0	2,28
S – 5670	25,0	26,0	1,778
S – 6168	19,0	20,0	0,389
S – 5968	30,0	31,0	0,485
S – 5968	31,0	32,0	0,316

**ANEXO 4: TABLA DE INTERVALOS UTILIZADOS DE LOS SONDAJES EN VETA SAN LORENZO**

HOLE ID	FROM	TO	CuT (%)
LO – 01	0,0	1,0	0,765
LO – 01	1,0	2,0	1,706
LO – 01	2,0	3,0	3,611
LO – 01	3,0	4,0	4,507
LO – 01	4,0	5,0	3,705
LO – 01	5,0	6,0	1,583
LO – 01	6,0	7,0	1,624
LO – 01	7,0	8,0	6,244
LO – 01	8,0	9,0	7,148
LO – 01	9,0	10,0	5,895
LO – 01	10,0	11,0	2,363
LO – 01	11,0	12,0	1,615
LO – 01	20,0	21,0	4,455
LO – 01B	0,0	1,0	1,772
LO – 01B	1,0	2,0	1,573
LO – 01B	3,0	4,0	5,295
LO – 01B	4,0	5,0	1,753

LO – 01B	5,0	6,0	0,925
LO – 01B	6,0	7,0	3,06
LO – 01B	7,0	8,0	3,793
LO – 01B	8,0	9,0	3,894
LO – 01B	9,0	10,0	6,059
LO – 01B	10,0	11,0	0,704
LO – 01B	20,0	21,0	8,033
LO – 01B	21,0	22,0	4,669
LO – 01A	15,0	16,0	0,767
LO – 02	5,0	6,0	0,528
LO – 03	0,0	1,0	0,637
LO – 03	1,0	2,0	1,072
LO – 03	2,0	3,0	1,136
LO – 03	3,0	4,0	0,907
LO – 03	4,0	5,0	0,558
LO – 04	2,0	3,0	1,296
LO – 04	3,0	4,0	1,877
LO – 05	29,0	30,0	0,698
LO – 06	35,0	36,0	0,815
LO – 06	46,0	47,0	0,597
LO – 06	47,0	48,0	0,554
LO – 06	48,0	49,0	1,19
LO – 06	49,0	50,0	1,393
LO – 06	50,0	51,0	2,628
LO – 06	51,0	52,0	1,048
LO – 06	54,0	55,0	1,127
LO – 06	63,0	64,0	0,642
LO – 06	65,0	66,0	0,64
LO – 07	34,0	35,0	0,701
LO – 07	42,0	43,0	1,364

LO – 07	44,0	45,0	3,276
LO – 07	55,0	56,0	1,379
LO – 07	56,0	57,0	0,959
LO – 07	64,0	65,0	0,871

**ANEXO 5: TABLA DE INTERVALOS UTILIZADOS DE LOS SONDAJES EN VETA QUEBRADA**

HOLE ID	FROM	TO	CuT (%)
EL – 01	74,0	75,0	0,687
EL – 01	77,0	78,0	1,841
EL – 01	85,0	86,0	1,173
EL – 01	86,0	87,0	1,26
EL – 01	87,0	88,0	0,905
EL – 02	31,0	32,0	0,868
EL – 04	24,0	25,0	0,881
EL – 04	25,0	26,0	1,11