



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**GEOLOGÍA, ALTERACIÓN Y MINERALIZACIÓN DEL YACIMIENTO  
ESTRATOLIGADO DE MINA RAFAELA, CABILDO, V REGIÓN.**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO.

**LEMUEL ISAAC ELI TOLOZA WEBER**

PROFESOR GUÍA

**BRIAN TOWNLEY CALLEJAS**

MIEMBROS DE COMISIÓN

**KATJA DECKART**

**VICTOR MAKSAEV JURCHUC**

SANTIAGO DE CHILE

2017

## Resumen

Mina Rafaela corresponde a una explotación de un yacimiento que posee ciertas características que lo asemejan a un estratoligado de cobre y plata.

Se encuentra ubicado en el sector de Peñablanca, al Suroeste de Cabildo en la Región de Valparaíso. Se ubica en la franja metalogénica del Cretácico Inferior, junto a otros yacimientos conocidos de características similares como son La Torre, El Soldado, Lo Aguirre, etc.

Su emplazamiento es entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra, justamente en el contacto.

Se caracteriza, como todos los yacimientos de este tipo, por alojar su mineralización en niveles estratificados de origen volcánico, infrayacentes a una capa superior estratificada de origen sedimentario. La mineralización más abundante del yacimiento corresponde a calcopirita, seguida en menor cantidad por bornita, covelina y escasamente calcosina hipógena. Sin embargo en superficie hay zonas con oxidados de cobre, los cuales no representan gran importancia económica, debido a que la explotación es por mineral sulfurado vendido a la planta de flotación de ENAMI en Cabildo. La mineralización se ve distribuida en cercanías a vetas, las cuales corresponden a fallas normales previas, y en cercanías a diques andesíticos, que a modo de interpretación, se presentan como camino a los fluidos hidrotermales.

En cuanto a su mineralogía de alteración, se destaca la fuerte presencia de calcita rómbica presente en todos los sectores, tanto en relleno de vetas como en patinas, diseminada y rellenando espacios. También hay presencia de granates en rocas calcáreas, presencia de epidota, clorita, zeolitas y jaspe en rocas volcánicas y siliciclásticas, y presencia de especularita, pirita, calcopirita, bornita, covelina y calcosina hipógenas.

Finalmente realizando un modelo de mineralización tridimensional se logró obtener una cubicación total del yacimiento, separando los recursos minerales en medidos indicados e inferidos, obteniendo 2.9 millones de toneladas de mineral. Muestreos sistemáticos arrojaron valores de ley promedio de 2.3% de cobre total, del cual 2.1 % corresponde a cobre insoluble. Este dato concuerda bien con los valores obtenidos en la venta de mineral a ENAMI, y el modelo de mineralización ha servido para ampliar la producción en los últimos meses.

## Tabla de Contenido

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemática. ....	1
1.2 Objetivos. ....	1
<b>2. Aspectos generales.....</b>	<b>2</b>
2.1 Ubicación. ....	2
2.2 Accesos. ....	2
2.3 Clima. ....	4
2.4 Antecedentes. ....	4
<b>3. Metodología. ....</b>	<b>5</b>
<b>4. Geología Regional.....</b>	<b>6</b>
4.1 Marco Metalogénico Regional.....	6
4.2 Marco Geológico Regional. ....	8
4.2.1 Unidades estratificadas.....	8
4.2.2 Rocas Intrusivas ....	10
4.2.3 Estructuras. ....	11
4.2.4 Alteración. ....	12
4.3 Mapa Geológico.....	13
<b>5. Geología Local .....</b>	<b>15</b>
5.1 Geología de Superficie.....	15
5.2 Fallas Normales ....	19
5.2.1. Fallas normales medidas en interior.....	19
5.2.2 Fallas normales medidas en exterior. ....	20
5.3 Sondajes ....	21
5.4 Secciones ....	23
5.5 Geología de Interior ....	31
5.6 Secciones Interior ....	33
<b>6. Alteración Hidrotermal .....</b>	<b>34</b>
6.1 Minerales observados. ....	34
6.2 Zonación de minerales de alteración. ....	35
<b>7. Mineralización.....</b>	<b>36</b>
7.1 Mineralización Hipógena.....	36
7.2 Mineralización Supérgena ....	41

7.3	Análisis de Direcciones preferenciales de mineralización.....	41
<b>8.</b>	<b>Discusiones .....</b>	<b>45</b>
8.1	Análisis de yacimientos cercanos .....	45
8.1.1	Mina El Sauce. Ricardo Castro (2003).....	45
8.1.2	Mina El Soldado. Wilson et al (2003).....	45
8.1.3	Lo Aguirre. Saric et al (2003) .....	48
8.2	Discusión del modelo óptimo. ....	49
8.3	Modelo de mineralización y cubicación. ....	51
8.4	Muestras analizadas. ....	63
8.5	Valorización Económica. ....	69
<b>9.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>70</b>
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>71</b>

## Índice de Figuras

Figura 2.2.1 Mapa con ruta Santiago-Cabildo, Chile. Fuente: Google Maps.....	3
Figura 2.2.2 Mapa con ruta Peñablanca a Mina Rafaela, Chile. Fuente: Google Maps.....	3
Figura 2.4. Catastro de Concesiones mineras cercanas a Rafaela (Azul). Fuente Sernageomin. ....	4
Figura 4.1. Mapa Franja Metalogénica Cretácico inferior. Modificado del mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (Sernageomin 2003). ....	7
Figura 4.3.1. Mapa Geológico modificado de Hoja Quillota y Portillo. Rivano et al. 1993.....	13
Figura 4.3.2. Perfil AA' muestra disposición de unidades en el sector. Modificado de Thomas (1958) y Rivano et al. (1993).....	14
Figura 5.1.1 Mapa Geológico del sector. ....	15
Figura 5.1.2. Columna Estratigráfica Unidades definidas. ....	17
Figura 5.2. Distribución espacial de fallas normales en interior y exterior de la mina. ....	21
Figura 5.3.1. Distribución y proyección de sondajes utilizados. ....	23
Figura 5.4.1. Sección 1, geología interpretada en base a información medida. ....	24
Figura 5.4.2. Sección 2, geología interpretada en base a información medida. ....	25
Figura 5.4.3. Sección 3, geología interpretada en base a información medida. ....	26
Figura 5.4.4. Sección 4, geología interpretada en base a información medida. ....	27
Figura 5.4.5. Sección 5, geología interpretada en base a información medida. ....	28
Figura 5.4.6. Sección 6, geología interpretada en base a información medida. ....	29
Figura 5.4.7. Columnas estratigráficas con espesores, asociadas a cada sección. ....	30
Figura 5.5.1. Mapa geológico interior Mina. Cota 735 m.s.n.m.....	31
Figura 5.5.2. Columna Estratigráfica de unidades visibles en labores.....	32
Figura 5.6.1. Sección 1 interior mina. Información medida, Geología interpretada y mineralización. ....	33
Figura 5.6.2. Sección 2 interior mina. Información medida, Geología interpretada y mineralización. ....	34
Figura 6.2. Zonación de minerales de alteración.....	36
Figura 7.1.1. Mineralización en mantos con estructura manteando al W. ....	39
Figura 7.1.2. Mineralización en mantos con estructura manteando al E.....	39
Figura 7.1.3. Mineralización en mantos con cruce de estructuras.....	40
Figura 7.1.4. Mineralización en mantos asociado a dique. ....	40
Figura 7.3.1. Fotografías de mediciones de dirección de mineralización. ....	42
Figura 7.3.2. Diagramas de roseta mostrando direcciones preferenciales y ubicación en el túnel. ....	43
Figura 7.3.3. Áreas con dirección predominante de relleno de vetillas y diaclasas.....	44
Figura 8.1.2 Sección en Mina El Soldado que muestra la correlación estratigráfica y estructural de la mineralización. Cuerpos Filo (izquierda) y Valdivia Sur (derecha). Modificado de Wilson et al. (2003). ....	47
Figura 8.1.3. Sección de perfil mostrando la mineralización esquemática de la Mina Lo Aguirre. La mineralización de cobre se encaja en brechas laháricas tras ascender por estructuras y encontrarse un frente estratigráfico pre-existente de reducción-oxidación. Modificado de Saric et al. (2003).....	49
Figura 8.3.1 Acercamiento a Perfil 2 en labores, modelo de mineralización. ....	51
Figura 8.3.2. Clases de veta y sus espesores. ....	52
Figura 8.3.3. Secciones 1, 2 y 3 con mineralización en Mantos. ....	53
Figura 8.3.4. Secciones 4, 5 y 6 con mineralización en Mantos. ....	54
Figura 8.3.5. Sección 5 mostrando definición de mantos mineralizados. ....	55
Figura 8.3.6. Sección 5 mostrando definición de mantos mineralizados. ....	55

<b>Figura 8.3.7. Visualización de mantos 1 y 2. Información de cada perfil y valores de altitud en m.s.n.m. ....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 8.3.8. Mineralización asociada a Manto 1. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia. ....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 8.3.9. Mineralización asociada a Manto 2. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 8.3.10. Mineralización asociada a Manto 3. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 8.3.11. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 1. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 8.3.12. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 2. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 8.3.13. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 3. ....</b>	<b>62</b>
<b>Figura 8.4.1. Distribución de muestras en canaleta en labores del sur e interpolación mediante IDW. ....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 8.4.2 Interpolación de leyes de muestras en Caserón 2 y comparación con modelo de mineralización. ....</b>	<b>65</b>

## Índice de Tablas.

<b>Tabla 5.3. Listado de sondajes utilizados. ....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 6.1. Asociaciones minerales de alteración. ....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 7.1.1. Estilos de mineralización asociadas a cada litología. ....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 7.1.2. Asociaciones minerales sulfurados.....</b>	<b>37</b>
<b>Tabla 7.2. Asociaciones de minerales de cobre oxidados.....</b>	<b>41</b>
<b>Tabla 8.2. Características del yacimiento. ....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 8.3. Cálculo de recursos minerales.....</b>	<b>63</b>
<b>Tabla 8.4.1. Leyes de cobre muestras entre meses de Julio y Septiembre 2016. ....</b>	<b>66</b>
<b>Tabla 8.4.2 Leyes de cobre para muestras de canaleta en horizontal. ....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 8.4.3 Leyes de cobre para muestras verticales entre meses de Julio y Septiembre 2016 .....</b>	<b>68</b>
<b>Tabla 8.5. Tarifas Enami Octubre 2017 .....</b>	<b>69</b>

## **1. Introducción**

Esta memoria presenta un estudio geológico del yacimiento de cobre y plata en las pertenencias de Mina Rafaela, en ella se detallarán las litologías presentes, las alteraciones y mineralizaciones para poder definir una clasificación adecuada.

Dentro de dichos estudios se espera conseguir una cubicación del sector para darle un valor económico al yacimiento, y señalar la ubicación y forma de los recursos de mayor interés para futuras explotaciones.

### **1.1 Problemática.**

Dadas las condiciones de mercado del cobre actual, los altos costos de inversión en nuevas faenas o en la continuidad de las existentes y la gran variedad de yacimientos, resulta de gran interés el conocer la rentabilidad de alguno en específico, para poder tomar la mejor decisión al momento de invertir o rechazar un proyecto minero.

Para ello se realizan estudios de valorización económico-geológicos de los yacimientos previamente hallados como es el caso de este trabajo.

### **1.2 Objetivos.**

El objetivo principal de este estudio es describir la geología, alteración y mineralización del yacimiento, y consigo identificar si es económicamente rentable.

Como objetivos específicos resolviendo esos aspectos se deberá obtener:

- Mapa Geológico de superficie con estructuras y alteraciones.
- Mapa Geológico/Topográfico de interior mina.
- Mapa Geoquímico con datos obtenidos de muestreo.
- Mapa de cubicación de recursos.

## **2. Aspectos generales.**

### **2.1 Ubicación.**

El estudio se realizó en las pertenencias ubicadas en las coordenadas 32°30'W y 71°04'22"S en la V Región de Valparaíso, Provincia de Petorca, en la comuna de Cabildo, sector Peñablanca, al este de La Ligua. El distrito de Cabildo está localizado en la Cordillera de la Costa de Chile Central, entre los 70°55'W-32°30'S aproximadamente 20 km al ENE de La Ligua.

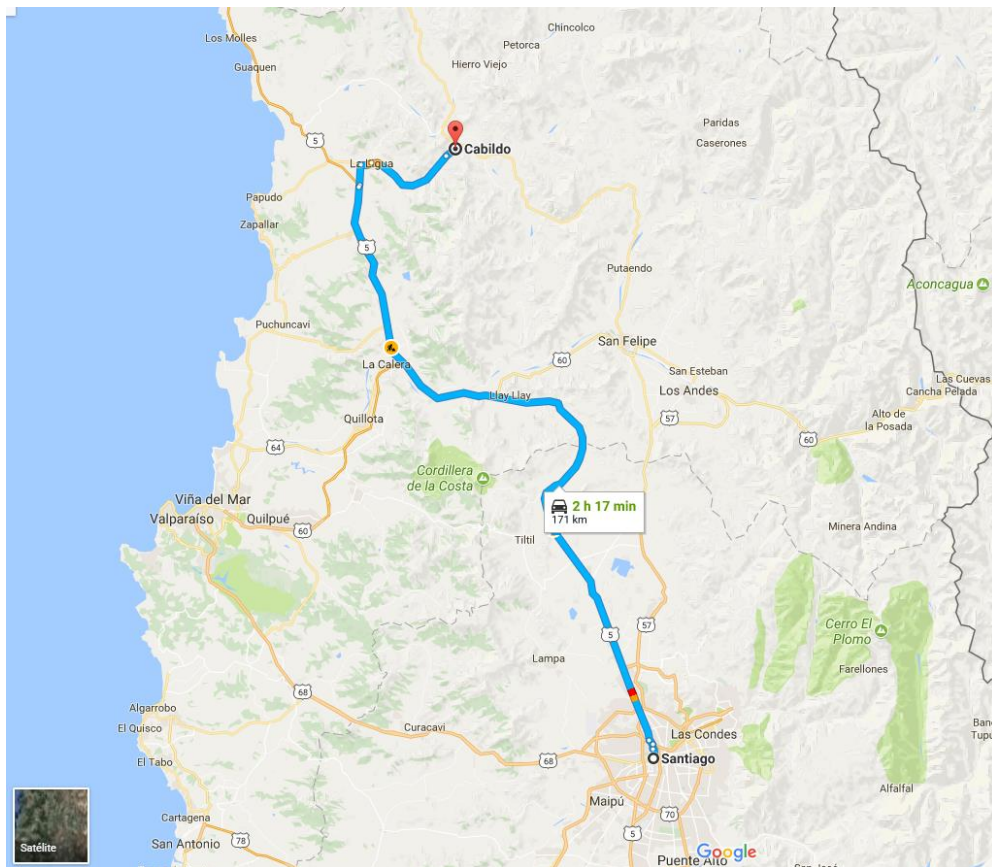
Cabildo se ubica a 180 kilómetros al norte de Santiago, a 140 kilómetros de Valparaíso y a 20 kilómetros de La Ligua, con una población de 18 mil habitantes aproximadamente.

Las mineralizaciones de cobre en la Cordillera de la Costa de Chile central están principalmente hospedadas en secuencias volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior, conformando lo que se conocen como depósitos de Cu “tipo manto” y siendo uno de los más importantes el depósito de El Soldado, ubicado unos 100 km al norte de la ciudad de Santiago. En las proximidades de Cabildo aparecen tanto mineralizaciones de Cu de “tipo manto”, como mineralizaciones asociadas a procesos de skarn, observándose una zona de transición entre ambos tipos de mineralizaciones (Maksaev y Zentilli, 2002).

### **2.2 Accesos.**

La ruta de acceso más corta desde Santiago, separada por unos 170 km de Cabildo, la constituye la Carretera Panamericana Norte, ruta 5 (figura 2.2.1). Tras tomar la salida a La Ligua, se continúa por la ruta E-35 en dirección a Cabildo. Unos 4 km al Sur de Cabildo, se prosigue en un trayecto de 3,5 Km por camino pavimentado hasta la localidad de Peña Blanca para continuar por camino de tierra en regular a buen estado de 14,0 km por la Quebrada del Cobre y la cuesta que comunica el depósito de Mina Rafaela (figura 2.2.2).





**Figura 2.2.1** Mapa con ruta Santiago-Cabildo, Chile. Fuente: Google Maps.



**Figura 2.2.2** Mapa con ruta Peñablanca a Mina Rafaela, Chile. Fuente: Google Maps.

### 2.3 Clima.

Por su condición de provincia interior, cercana a la Precordillera, posee un clima de carácter templado semiárido o estepa cálido de temperaturas moderadas y escasa humedad atmosférica, encontrando la mayor parte del tiempo un cielo despejado y luminosidad alta; con temperaturas que promedian los 20°C en primavera-verano y 6°C en la temporada otoño-invierno. Las precipitaciones alcanzan de 150 a 200 mm al año. Además, tiene microclimas y aptitudes de suelo que permiten una producción frutícola abundante.

### 2.4 Antecedentes.

En el sector ya hay antecedentes de explotación económica de yacimientos de características similares:

Se encuentra operativa la Compañía Minera Las Cenizas, la cual cuenta con dos minas a menos de 2 km de la pertenencia: Mina Carmen y Mina Margarita. Dichas faenas cuentan con producciones que llegan a sumar 75.000 toneladas por mes a una ley promedio de 0.8 % de Cu. (2016, Revista institucional grupo minero Las Cenizas).

Sin embargo es importante mencionar la gran cantidad de pequeñas minas que se encuentran en aledaños a la pertenencia, que si bien no producen gran tonelaje, si tienen leyes mucho mejores alcanzando un 2 a 3 % de Cu, esto debido a los métodos de explotación selectiva, con labores más pequeñas.

Todas estas pertenencias se pueden ver en la figura 2.4.

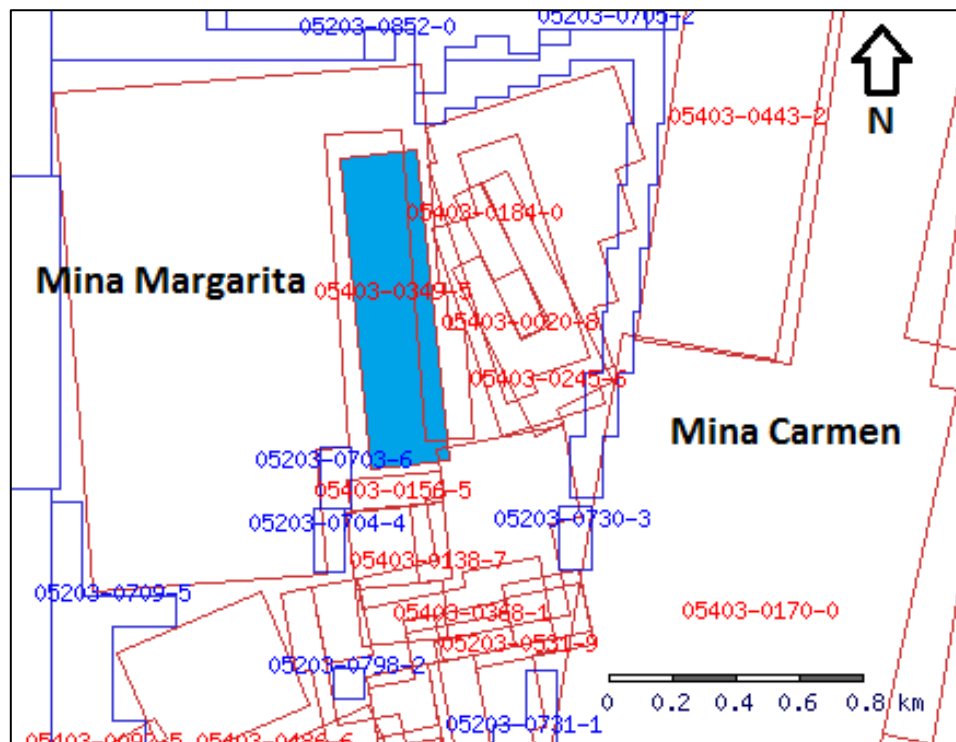


Figura 2.4. Catastro de Concesiones mineras cercanas a Rafaela (Azul). Fuente Sernageomin.

### 3. Metodología.

Para resolver la problemática se debe contar con los siguientes aspectos:

- Campaña de mapeo geológico de superficie dentro de la pertenencia, escala 1:500.
- Mapeo geológico de paredes de galerías al interior de la mina, escala 1:200.
- Muestras verticales y tipo canaleta para análisis por cobre.
- Definir tipos de alteración y estilos de mineralización del yacimiento.
- Realizar cubicación para estimar recursos.

La metodología utilizada varió según el aspecto correspondiente:

A) Para la Campaña de mapeo geológico de superficie, se recorrió la pertenencia aprovechando los escarpes en el cerro producto de los caminos de servidumbre y los antiguos laboreos, en donde se localizó espacialmente todos los puntos de interés mediante GPS. En cada punto de interés se especificó la litología, la alteración, mineralización, disposición y forma de los depósitos.

Se realizó el mapeo superficial en dos zonas, una al norte del campamento y otra al sur. Se tomaron puntos de interés los cuales se pueden ver en las figuras y tablas adjuntadas en el Anexo B.

B) En cuanto al mapeo de interior mina, se elaboró un mapa topográfico. Luego sobre este fue agregando la información relevante, como es litología, alteraciones, zonas de mineralización (especificando estilo y disposición), estructuras entre otros aspectos.

Usando brújula Brunton y huincha de medir, se debe colocar la huincha a lo largo de la labor, en un tramo que se mantenga recto, luego se mide el rumbo de la huincha y se toman medidas de distancia entre la huincha y las paredes. Luego se pasan esos datos a tablas Excel para obtener los puntos con direcciones y finalmente dibujar la topografía.

Toda esta información fue obtenida de manera práctica y no se utilizó información anterior. Ver Anexo D.

## 4. Geología Regional.

### 4.1 Marco Metalogénico Regional.

#### Franja Metalogénica del Cretácico Inferior

Esta franja metalogénica se extiende a lo largo de la Cordillera de la Costa entre los 22° y 34° de latitud sur y presenta un variado conjunto de depósitos metalíferos, entre ellos pórfidos cupríferos, depósitos de óxido de Fe-Cu-Au (IOCG's), depósitos de óxido de Fe-apatito y depósitos estratoligados (Maksaev et al, 2007).

Las edades de la génesis de los depósitos están entre los 132 y 97 Ma por K/Ar. Rivano et al (1993) obtuvo edades de 96 Ma mediante K/Ar en biotita.

Existe un variado conjunto de tipos de depósitos metalíferos asociados a rocas del Cretácico Inferior a lo largo de la Cordillera de la Costa del norte de Chile

Estos incluyen algunos pórfidos cupríferos, la mayoría de los cuales de los cuales son subeconómicos a excepción de Andacollo que es el único que está en explotación

Entre los 26° a 31°S, existen muchos yacimientos de Fe (magnetita – apatito) hospedados en rocas volcánicas del Cretácico Inferior en sectores aledaños a intrusivos dioríticos a granodioríticos del Albiano. Estos depósitos ferríferos están dentro del dominio del segmento meridional del Sistema de Falla de Atacama.

En la zona central de Chile y Norte Chico existen también depósitos estratoligados de cobre, los de mayor volumen están hospedados por rocas volcánicas del Cretácico Inferior Ej. El Soldado y Lo Aguirre. Además, existen depósitos estratoligados hospedados por rocas sedimentarias volcanoclásticas como Talcuna y Cerro Negro y en zonas de contacto entre intrusivos del Albiano y calizas neocomianas en las regiones IV y V existen skarns cupríferos Ej. Distritos Panulcillo y La Campana.

A lo largo de la Cordillera de la Costa existe un gran número de vetas auríferas mesotermales las que se emplazan ya sea en cuerpos intrusivos Cretácicos o en rocas estratificadas en la periferia de las intrusiones.

Centrándonos en los yacimientos estratoligados de Cu del Cretácico Inferior, se ubican en la zona comprendida entre los 32° 13' y 34° 00' de latitud sur y los 70° 50' y 71° 10' de longitud oeste. Se presentan a lo largo del contacto entre las Formaciones Lo Prado y Veta Negra que sigue un rumbo principalmente N – S a NNW – SSE al norte, mientras que al sur se presentan con rumbo aproximado NNE – SSW. Si bien la franja contiene yacimientos reconocidos hasta el paralelo 34°, no se descarta que esta pueda proyectarse hasta más allá del paralelo 35° debido a las condiciones geológicas similares que se pueden identificar en dicha zona. Los yacimientos en esta franja se denominan de tipo estratoligado por correlacionarse su disposición espacial fuertemente con niveles litológicos específicos, los cuales pueden ser seguidos por lo general de forma clara dentro del yacimiento, y que resultan ser una roca caja preferencial, aunque no necesariamente la única, para la mineralización.

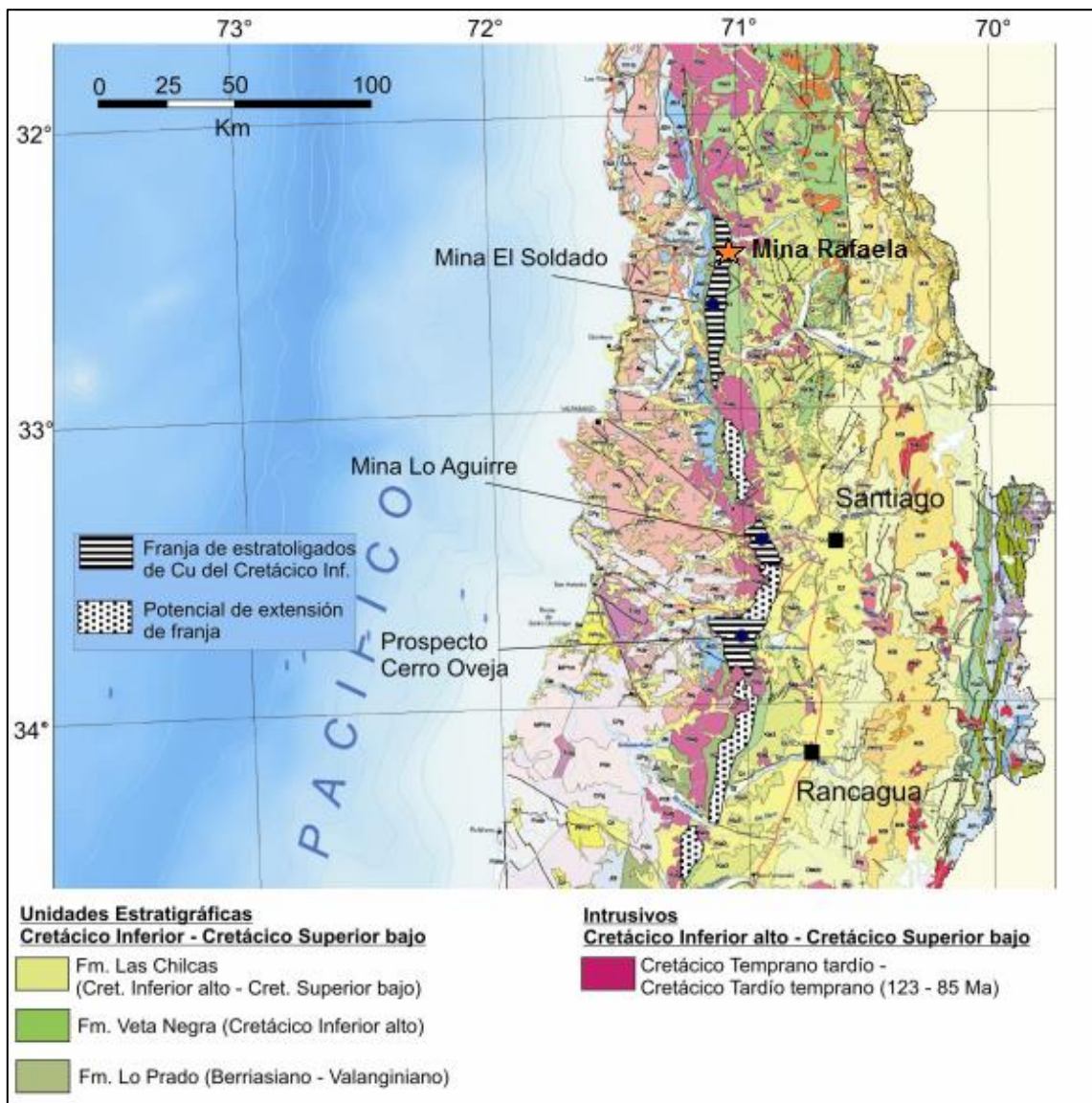


Figura 4.1. Mapa Franja Metalogénica Cretácico inferior. Modificado del mapa Geológico de Chile 1:1.000.000 (Sernageomin 2003).

## **4.2 Marco Geológico Regional.**

### **4.2.1 Unidades estratificadas.**

#### **4.2.1.1 Formación Horqueta, Toarciano-Caloviano. (Piracés, 1976)**

Es una unidad volcánica y volcanoclástica continental, compuesta de una alternancia de lavas andesítico-basálticas y niveles de brechas volcánicas y tobas riódacíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias detríticas como areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados rojos (Piracés, 1976; Rivano et al., 1993). La litología predominante corresponde a lavas de colores pardo oscuro a pardo rojizo con estructuras de fluidez. En lavas basálticas se reconocen relictos de olivino. Aflora en una franja elongada norte – sur desde el sector de la mina El Soldado hasta los cerros ubicados en las nacientes del estero Puangue, unos 20 km al norte de Curacaví. Se apoya concordantemente sobre la Formación Cerro Calera y subyace en probable discordancia al miembro inferior de la Formación Lo Prado. Según Piracés y Maksaevev (1977), su espesor varía entre 200 y 1200 m. La edad de esta formación solo se ha establecido por su posición estratigráfica, siendo más joven que la Formación Cerro Calera, de edad aaleniana a Bajociana Tardía, y más antigua que la Formación Lo Prado, de edad berriasiana a valanginiana Tardía (Rivano et al., 1993). Sin embargo, dada su concordancia con la infrayacente Formación Cerro Calera y su probable relación discordante con la suprayacente Formación Lo Prado, Rivano et al. (1993) le asignan una edad de entre el Bajociano y el Caloviano; no obstante, autores posteriores mantienen para esta formación una edad kimmeridginana (Charrier et al., 2007), como lo propusieron Piracés y Maksaevev (1977).

#### **4.2.1.2 Formación Lo Prado, Berriasiano-Valanginiano. (Thomas, 1958; Carter y Aliste, 1962)**

La litología de la Formación Lo Prado es muy variada y consiste en rocas sedimentarias marinas, principalmente calcilutitas negras, fétidas y fosilíferas intercaladas entre niveles macizos de calcarenitas grises; consta, además, de niveles de brechas y conglomerados, generalmente oligomícticos con frecuentes intraclastos calcáreos. Aparecen también importantes intercalaciones de niveles volcánicos de andesitas afaníticas y porfídicas, algunos de los cuales llegan a ser ocoíticos, con niveles superiores de carácter brechoso. Hacia la parte superior, estas volcanitas muestran intercalaciones de tobas de color rojizo (Rivano et al., 1993). En la zona de estudio aflora a lo largo de una franja continua desde el Túnel Lo Prado hasta la localidad de Cabildo.

El espesor total de la Formación Lo Prado es muy variable ya que, hacia el norte, se encuentra intruida por granitoides de la Superunidad Illapel y, hacia el sur, su contacto con la suprayacente Formación Veta Negra no es siempre fácil de establecer, dada la similitud litológica y su contacto gradual. El espesor aproximado en algunos sectores es de 3000 m (Rivano et al., 1993).

La presencia de varios niveles fosilíferos indica para esta formación una edad berrasiana a valanginiana tardía (Rivano et al., 1993). Boric y Munizaga (1994) obtuvieron una edad Ar-Ar en plagioclasa de una lava de esta formación de  $131,8 \pm 3,1$  Ma, mientras Morata et al. (2006) obtuvieron edades Ar-Ar en plagioclasa de alrededor de 120 Ma en los niveles superiores de esta. Todo esto indicaría que su edad sería berrasiana a barremiana (aptiana?).

Wall et al. (1996) reconoce tres miembros:

- Miembro Inferior: 1.970 metros de areniscas, areniscas calcáreas fosilíferas marinas, lutitas calcáreas, conglomerados y escasas intercalaciones de andesitas y dacitas.
- Miembro Medio: formado por 2.150 metros de lavas, brechas y tobas de composición andesítica a riolítica, con intercalaciones sedimentarias.
- Miembro Superior: constituido por 1.100 metros de calizas marinas, areniscas y conglomerados intercalados con potentes cuerpos de rocas volcánicas bimodales.
- 

#### **4.2.1.3 Formación Veta Negra, barremiana? – aptiana. (Thomas, 1958)**

Thomas (1958) subdividió esta formación en un miembro inferior, Purehue y uno superior, Ocoa. El Miembro Purehue se compone principalmente por lavas andesíticas, fuertemente brechosas y/o vesiculares de colores púrpura a gris pardo, y algunas intercalaciones sedimentarias de color rojo que corresponden normalmente a areniscas, conglomerados y brechas. El Miembro Ocoa está constituido casi exclusivamente por rocas andesíticas que se caracterizan por presentar una textura porfídica gruesa, definida por fenocristales de plagioclasa que alcanzan en ocasiones más de 2 cm de largo y una masa cristalina muy fina, lavas características llamadas “Ocoítas” por el mismo autor.

La Formación Veta Negra presenta espesores de entre 4000 m y 5000 m, el espesor del Miembro Purehue varía entre 350 m y 2000 m, en tanto el Miembro Ocoa tiene espesores variables de entre 2500 m y 3000 m. Sobreyace concordantemente a la Formación Lo Prado. Su contacto superior, con la base de la Formación Las Chilcas (Formación Cerro Morado de Carter y Aliste, 1962), es descrito por Thomas (1958) y Rivano et al. (1993) como concordante y gradual, mientras que Piracés y Makshev (1977) expresan que el contacto superior es de discordancia de erosión.

Rivano et al. (1993) definen una edad pre-barremiana para la Formación Veta Negra, sobre la base de relaciones estratigráficas y de dataciones K-Ar de entre 94 y 115 Ma, pero que ellos señalan serían el resultado del calentamiento generado por los intrusivos de similar edad de la Superunidad Illapel. Sin embargo, dataciones Ar-Ar realizadas en plagioclasas frescas de lavas del Miembro Ocoa por Aguirre et al. (1999) y Fuentes et al. (2005) entregaron edades de  $119 \pm 1,2$  Ma y  $118,7 \pm 0,6$  Ma, respectivamente, lo que llevaría a la Formación Veta Negra al menos hasta el Aptiano medio. Por lo que su edad sería barremiana? – aptiana.

#### **4.2.1.4 Formación Las Chilcas (Aptiano-Albiano).**

En esta formación se reconocen coladas andesíticas, aglomerados, tobas, y sedimentos continentales como conglomerados, paraconglomerados, lutitas, etc. Al sur del valle del

Aconcagua aflora en los cerros que flanquean por el oeste a la Depresión Central, mientras hacia el norte forma una franja norte – sur de más de 30 km de ancho.

En los diversos trabajos de mapeo geológico realizado al norte del valle de Aconcagua, esta formación ha sido dividida en diferentes miembros, los cuales no han sido mantenidos en los trabajos más regionales debido a la gran variación lateral presente en esta formación.

Thomas (1958) realizó una sección que representa lo variable de sus facies al sur del valle del Aconcagua, desde el cerro Diablo, en el sector de la mina El Sauce, hasta el cerro Griego. El espesor total del perfil es de 6 km, y se apoya en, al menos, 1000 m de rocas volcánicas como brechas, tobas y andesitas correlacionables con la Formación Cerro Morado. Una característica importante de esta formación son sus niveles calcáreos. Estos se han reconocido en el sector de cerro Negro – Llay-Llay, con unos 150 m de espesor de areniscas calcáreas y calcilitas grises a negras, a veces margosas e intercalaciones de tobas. Luego, hacia el sur, vuelven a aflorar calizas en el cordón de cerros entre Llay-Llay y la Estación Meiggs. Luego, en el sector de Polpaico, afloran unos 80 m de sedimentos clásticos calcáreos y calizas (Gallego, 1994). Rivano et al. (1993), en base a la relativa continuidad norte – sur que muestran estos afloramientos, plantea que se tratarían del mismo nivel estratigráfico. Sobre estas franjas de calizas se desarrollan rápidamente conglomerados, lavas y brechas gruesas los que gradan lateral y verticalmente a tobas y areniscas tobáceas (Rivano et al., 1993; Gallego, 1994).

## **4.2.2 Rocas Intrusivas**

### **4.2.2.1 Superunidad Illapel.**

Los intrusivos cretácicos se distribuyen en franjas Norte-Sur, presentándose cuerpos de edad cretácica temprana a cretácica media (Albiano-Cenomaniano) en la zona central y la vertiente oriental de la Cordillera de la Costa, desde el valle del río Illapel por el norte hasta el río Maipo por el sur. Los intrusivos del Cretácico Tardío, en cambio es posible encontrarlos tanto en la Cordillera de la Costa como en la Precordillera, al este de la Depresión Central. En la Cordillera de la Costa forman parte de grandes cuerpos plutónicos, mientras hacia la Precordillera aparecen como pequeños stocks.

Los grandes Plutones del Cretácico Temprano a “medio” componen una franja más o menos continua de orientación norte – sur de unos 20 a 25 km de ancho en gran parte de la zona de estudio. Estos fueron asociados, al norte del río Aconcagua, por Rivano et. Al (1985) en la **Superunidad Illapel**. Morata et al (2010), los reagrupó como Complejo Plutónico Illapel. Al sur del río Aconcagua esta franja se puede continuar en dos enormes cuerpos intrusivos: los Plutones Caleu y Panquehue. En el primero, Molina (2014) definió cuatro “zonas” dispuestas en franjas N-S, en las que las edades se hacen más jóvenes hacia el oeste, que corresponden desde este a oeste: Zona Gabro-diorítica (GDZ), Zona Cuarzo-monzodiorítica (QMDZ), Zona Granodiorítica (GZ) y Zona Monzogranítica (MGZ). Por otra parte, Morata et al (2010), en el Complejo Plutónico Illapel, identificaron cuatro intrusiones magmáticas de distinta edad. Estas en general, se presentan también en franjas norte-sur, y van disminuyendo su edad hacia el este, siendo de oeste a este: Unidad Máfica (MU), Unidad de Trondhjemita (TU), Unidad Principalmente Tonalítica



(MTU) y Unidad Granodiorítica (GU). Todas fueron emplazadas a profundidades someras de 1,6 – 1,7 kbar (Varas et al., 2012). Por otra parte, al sur de la cuesta La Dormida, Gana et al. (1996) definieron intrusivos del Cretácico Temprano a “medio” la Unidad Puangue y la unidad La Dormida.

En el caso de la zona de estudio, los intrusivos corresponden a la **Unidad Chalinga** (Ki1) correspondiente a Granodioritas y Dioritas cuarcíferas, monzogranitos. Esta se define en la Hoja de Quillota y Portillo como Cretácico inferior, sin embargo, las nuevas definiciones de Morata et al. (2010), Gana et al (1996) y Molina (2014) la reclasifican como Cretácico “medio”, con edades U-Pb alrededor de entre los  $110,4 \pm 1,8$  a  $105,9 \pm 1,5$  Ma (Morata et al., 2006; Morata et al., 2010), y la Unidad Principalmente Tonalítica al este, con edades U-Pb de entre  $102,4 \pm 1,5$  a  $98,8 \pm 1,3$  Ma.

### 4.2.3 Estructuras.

En la zona de estudio se pueden definir dos dominios estructurales principales:

El Dominio Costero está compuesto por las formaciones del Triásico y Jurásico Temprano y por rocas intrusivas del Paleozoico y Jurásico. En este dominio se distingue deformación dúctil compresiva y de rumbo, probablemente incrementada por la intrusión de los intrusivos jurásicos (Rivano et al., 1993). En este dominio la estructura se presenta con una disposición poco regular.

El Dominio Central se caracteriza por suaves pliegues que afectan a las rocas volcanoclásticas y el desarrollo de fallas de extensión y localmente, de horst en compresión. Como rasgo estructural principal este dominio se presenta como un monótono homoclinal de hasta 80 km inclinado hacia el este (Fig. 8), que afecta a todas las rocas mesozoicas. Este homoclinal presenta manteos de entre  $40^\circ$  y  $70^\circ$  en el sector más occidental, que corresponde a los sectores sin metamorfismo de las formaciones Quebrada del Pobre y Ajial. Se mantiene con un manteo similar hasta la Formación Lo Prado. Luego en la Formación Veta Negra disminuye un poco la inclinación, para hacerse de solo  $20^\circ$  hasta horizontal en la parte oriental de los afloramientos de la Formación Las Chilcas (Thomas, 1958; Rivano et al., 1993).

En general, en este dominio el plegamiento de las formaciones volcánicas es de órdenes hectométricos a kilométricos (Rivano et al., 1993).

Las formaciones jurásicas y cretácicas son cortadas por estas estructuras NW – SE entre los  $33^\circ$  y  $34^\circ$  y al menos dos de los yacimientos estratoligados reconocidos (Lo Aguirre y Cerro Oveja) se encuentran cercanos a las trazas proyectadas de dichas estructuras mayores. Otro rasgo estructural importante de tener en cuenta en la zona es el contacto entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra, con disposición N – S a NNW – SSE al norte y N – S a NNE – SSW al sur.

Si bien no es una estructura tectónica, esta zona de interfase estratigráfica contiene el total de yacimientos observados, indicando niveles litológicos preferentes para el emplazamiento de la mineralización. Es más, dicha disposición coincide aproximadamente con los controles estructurales de la mineralización dentro de los yacimientos, los cuales son N – S a NNW – SSE en El Soldado, NW – SE a E – W en Lo Aguirre y N – S a NNE – SSW en el Prospecto Cerro Oveja (Wilson et al., 2003; Saric et al., 2003; Surján, 2009).

Además, en el caso de El Soldado se observa que dichas estructuras son perpendiculares a la estratigrafía indicando un posible origen normal de ellas previo al basculamiento y deformación general de la zona.

#### **4.2.4 Alteración.**

El área de estudio está afectada por un metamorfismo y alteración hidrotermal regional de muy bajo grado, lo cual es relativamente más intenso en rocas de las formaciones Lo Prado y Veta Negra, pero en general débil en las rocas de la Formación Las Chilcas. Se observan alteraciones Sódico-Potásica, Argílica Supérgena y Sericítica (Moreno, 2008).

El distrito de Cabildo en la Cordillera de la Costa de Chile central se caracteriza por su complejidad en cuanto a los tipos de mineralizaciones, paragénesis minerales y fluidos/procesos que han podido intervenir en diferentes momentos de su génesis. Cabe destacar que el azufre presenta una fuente poligénica (Moreno, 2008). En la mineralización de Cu de tipo skarn el S provendría directamente de fluidos liberados por intrusiones graníticas, mientras que en las tipo manto, el azufre es de origen bacteriogénico, posiblemente por removilización de pirita (tal vez durante un evento metamórfico de muy bajo grado) de las calizas, formada por procesos sedimentarios/diagenéticos en los que estuvo implicada actividad bacteriana (Moreno, 2008).

Se han determinado 2 tipos de mineralización de cobre:

1.- Mineralización de cobre de carácter estratoligado y encajada fundamentalmente en rocas carbonatadas con niveles volcano-sedimentarios. Consiste en venillas y diseminaciones de sulfuros, en muchas ocasiones paralelas a la laminación de la caliza. Mineralógicamente se caracteriza por la presencia de bornita y calcopirita como fases metálicas mayoritarias. La pirita es también muy abundante, aunque como fase diagenética restringida a diseminaciones de finos cristales dentro de la caliza pobre en Cu. Los minerales de la ganga corresponden fundamentalmente a calcita, con cantidades menores de prehnita, e intercrecimientos de diversos filosilicatos como clorita, mica, etc. Además, en los niveles volcano-sedimentarios asociados se encuentran los feldespatos reemplazados por albita. Esta mineralogía de la ganga es compatible con una alteración de muy bajo grado (Moreno, 2008).

2.- Mineralización de cobre de tipo skarn, con bolsadas muy ricas en sulfuros de grano grueso. La mineralogía metálica mayoritaria es sencilla: pirita y calcopirita, siendo arsenopirita, pirrotina, esfalerita, magnetita y hematites fases accesorias de grano fino. En cuanto a las asociaciones de la ganga se puede distinguir una primera etapa paragenética, con presencia de granate (grossularia-andradita), epidota, anfíboles (actinolita, ferrihorblenda), piroxenos (dióxido-hedembergita) y feldespatos, así como cantidades menores de apatito y titanita. En una etapa más tardía, se forma clorita férrica, calcita, feldespato (albita y feldespato potásico), cuarzo (con diferentes morfologías asociadas a diferentes posiciones paragenéticas) y rutilo (Moreno 2008).

### 4.3 Mapa Geológico.

Elaboraron para sernageomin la hoja de Quillota y Portillo, el cual modificado, muestra la pertenencia Mina Rafaela, y las formaciones importantes definidas anteriormente.

Se muestra en la figura (4.3.1) un modificado de la hoja de Quillota y Portillo, en donde se aprecian las unidades más relevantes, las cuales fueron caracterizadas anteriormente.

En la figura (4.3.2) se muestra un perfil W-E modificado de Thomas (1958), en el que se aprecia el manto regional de las unidades Lo Prado y Veta Negra de entre 20 y 40 ° al este. Esto se observa claramente en el yacimiento de Mina Rafaela en donde el manto corresponde a 25° al este.

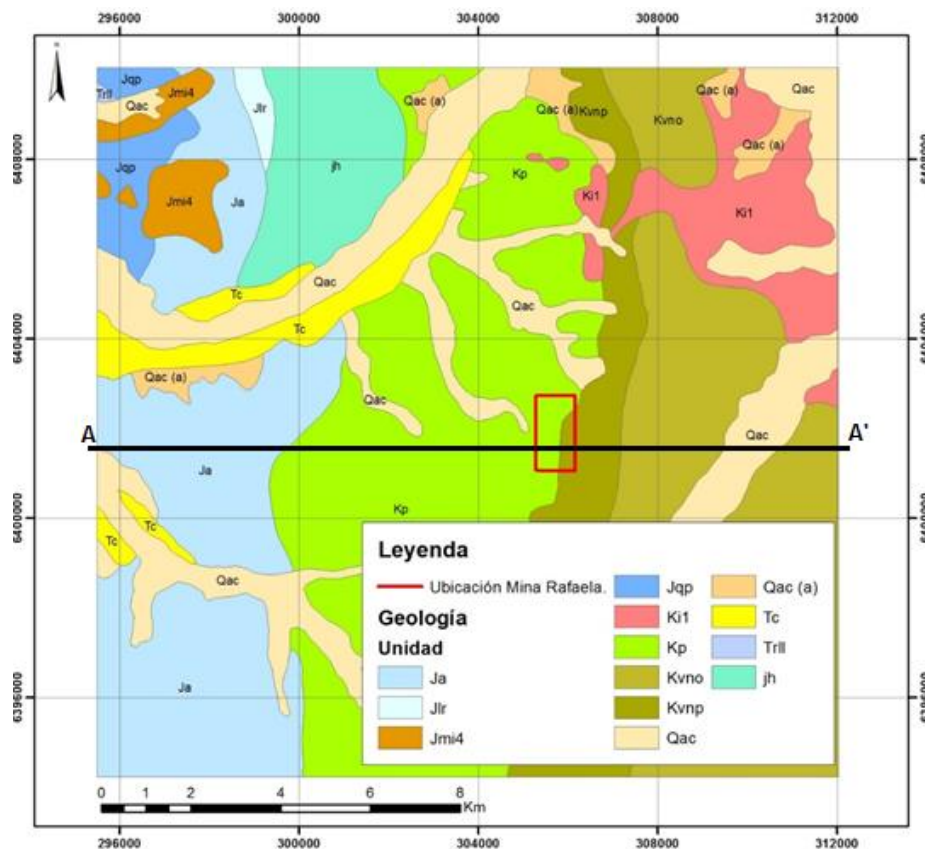


Figura 4.3.1. Mapa Geológico modificado de Hoja Quillota y Portillo. Rivano et al. 1993.

**Ja:** Formación Ajial. **Jlr:** Formación Cerro Calera, miembro Los Rodeos. **Jmi4:** Unidad Cavilolén. **Jqp:** Formación Quebrada del pobre. **Ki1:** Unidad Chalinga. **Kp:** Formación Lo Prado, **Kvno:** Formación Veta Negra, miembro Ocoa. **Kvnp:** Formación Veta Negra, miembro Purehue. **Qac:** Cuaternario aluvial fluvial. **Qac (a):** Cuaternario coluvial. **Tc:** Formación Confluencia. **Trll:** Formación La Ligua. **Jh:** Formación Horqueta.

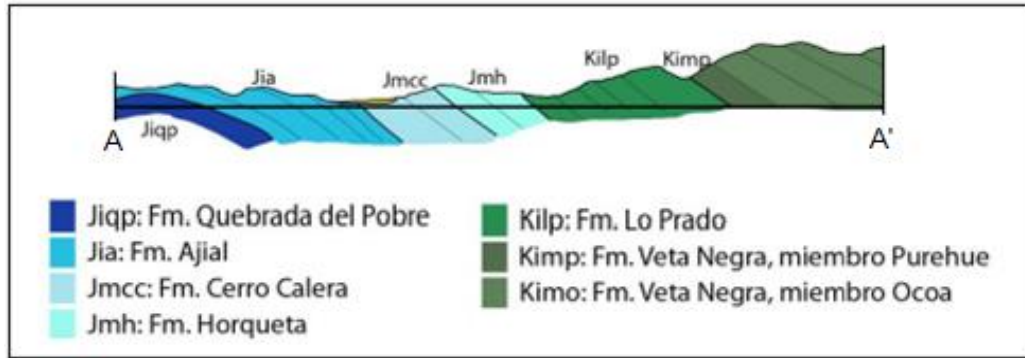


Figura 4.3.2. Perfil AA' muestra disposición de unidades en el sector. Modificado de Thomas (1958) y Rivano et al. (1993).

## 5. Geología Local

### 5.1 Geología de Superficie

Se realizaron dos campañas de terreno en superficie en las cuales se obtuvo suficiente información para obtener un mapa Geológico. En los anexos B se observan los puntos medidos y su ubicación.

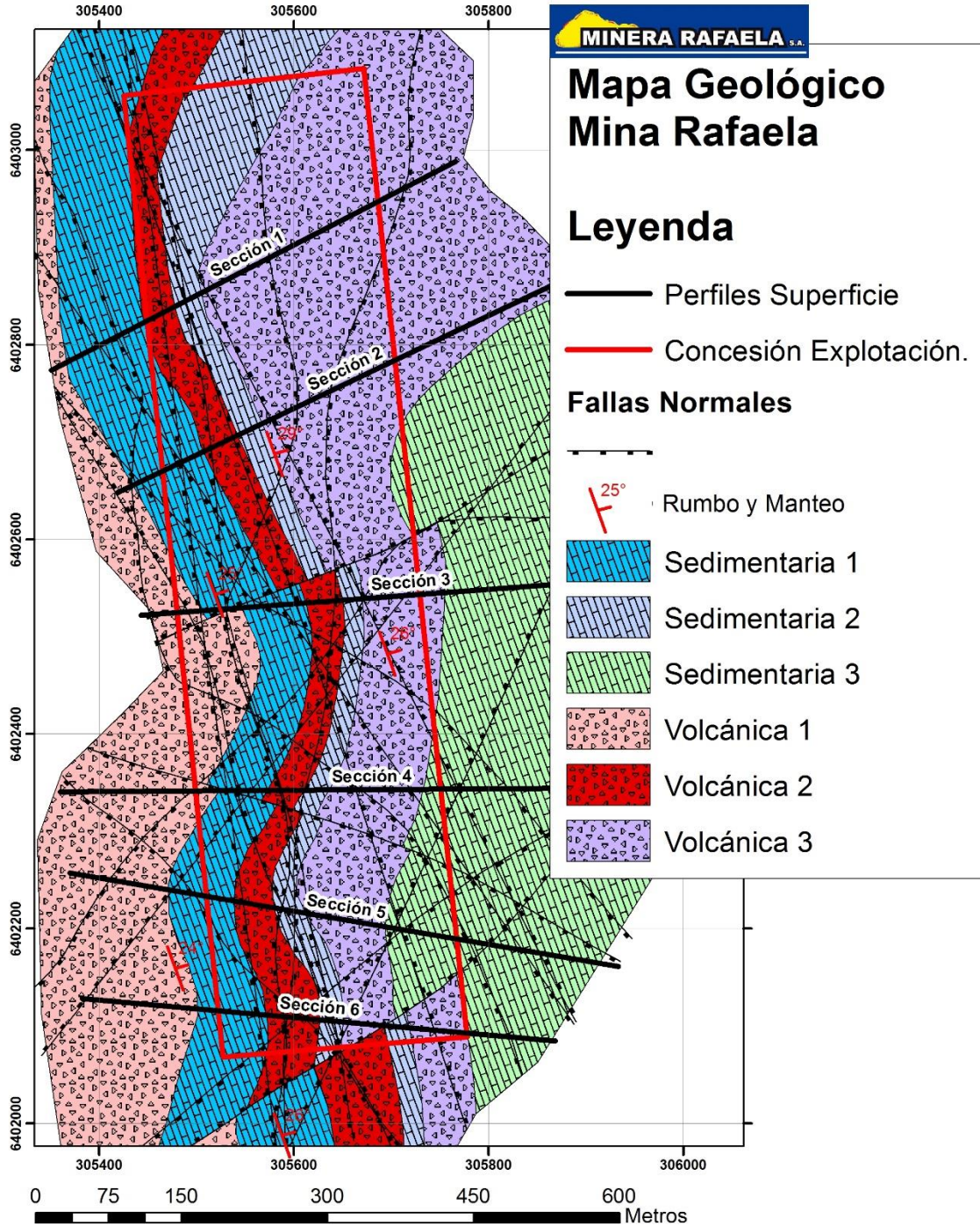


Figura 5.1.1 Mapa Geológico del sector.

## **Descripción de unidades:**

**Unidad Volcánica 1:** Corresponde a alternancia entre lavas andesíticas, brechas volcánicas tobáceas rojas y verdes y tobas líticas, con pequeñas intercalaciones de areniscas y conglomerados.

Brechas con clastos de 3 a 4 cm de tobas rojas en matriz de tobas grises, con cristales de cuarzo, en secuencias de varias decenas de metros. Andesitas con fenocristales de plagioclasa de hasta 1 cm y piroxenos de hasta 1 mm tabulares, en secuencias de hasta 10 metros. Areniscas de matriz calcárea, con granos de hasta 4 mm de composición volcánica andesítica, en secuencias de hasta 4 metros. Conglomerados de matriz arenosa volcánica, con clastos de hasta 2 cm volcánicos andesíticos, en secuencias de hasta 2 metros aunque en promedio no sobrepasan los 50 cm.

**Unidad Volcánica 2:** Corresponde a alternancia de tobas cristalinas, andesitas porfíricas, brechas volcánicas rojo-moráceas con intercalaciones de areniscas y lutitas, no mayores a 50 cm.

Tobas cristalinas presentan cuarzo de hasta 3 mm, en matriz de cenizas. Andesitas porfíricas de fenocristales de plagioclasa de hasta 3 cm delgados. Intercalaciones de lutitas calcáreas, con material carbonoso y areniscas calcáreas de grano fino, de espesores no mayores a 1 metro.

**Unidad Volcánica 3:** Corresponde a lavas andesíticas, tobas cristalinas y brechas tobáceas con secuencias de areniscas y lutitas no mayores a 50 cm.

Lavas andesíticas de fenocristales de plagioclasa de hasta 3 cm. Tobas cristalinas con cuarzo de hasta 1 mm y brechas tobáceas con clastos grises en matriz verdosa. Areniscas de grano fino sin carbonatos presentes, y lutitas sin material carbonoso.

**Unidad Sedimentaria 1:** Unidad carbonatada correspondiente principalmente a calizas negras con intercalaciones de lutitas y niveles de calcoarenitas. Presenta concreciones y contenido fósil (ammonites).

Lutitas con material carbonoso y carbonatos, presencia de bitumen fracturas, en secuencias de hasta 2 metros. Calizas negras, con material carbonoso, presentan fósiles ammonites, en secuencias de varias decenas de metros. Areniscas calcáreas de grano fino en secuencias de hasta 2 metros.

**Unidad Sedimentaria 2:** Unidad carbonatada correspondiente principalmente a areniscas calcáreas con intercalaciones de lutitas.

Areniscas de grano fino, de matriz calcárea y granos volcánicos, se emplazan en secuencias de varias decenas de metros, intercaladas con secuencias de lutitas que no sobrepasan un metro.

**Unidad Sedimentaria 3:** Unidad carbonatada correspondiente a calizas negras, areniscas calcáreas, pequeñas intercalaciones de tobas. Presenta en calizas material fosilífero en forma de coquinas.

Calizas negras con material carbonoso, en secuencias de hasta 4 metros, intercaladas por secuencias de areniscas calcáreas de grano fino de hasta 2 metros y tobas que no sobrepasan los 30 cm.

Todas estas unidades se encuentran concordantes entre sí, representando así secuencias correlativas de transgresiones y regresiones marinas, en contexto de volcanismo marino.

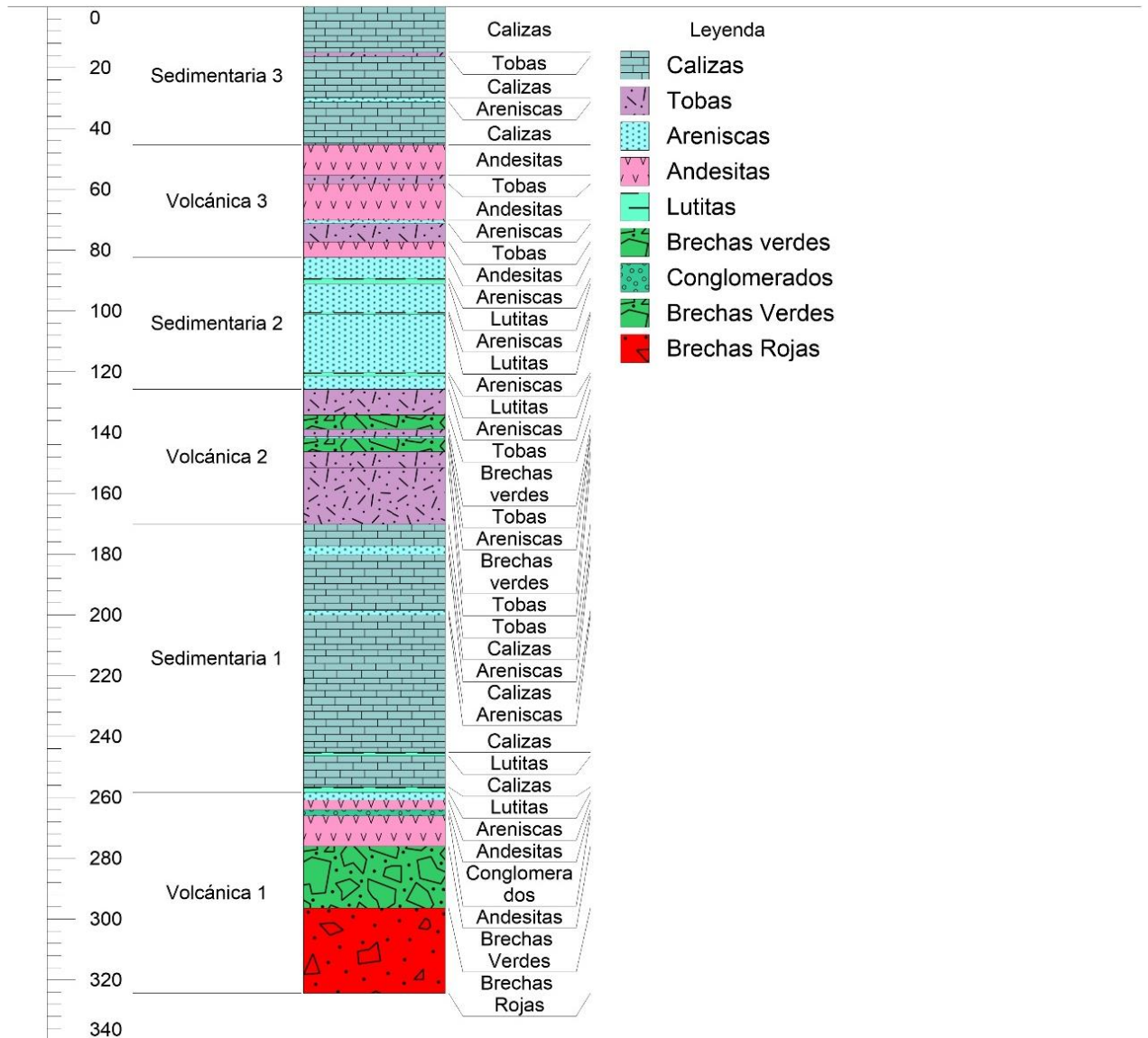


Figura 5.1.2. Columna Estratigráfica Unidades definidas.

### **Correlación con unidades predefinidas:**

Wall et al. (1996) reconoció tres miembros para la formación Lo Prado:

- Miembro Inferior: 1.970 metros de areniscas, areniscas calcáreas fosilíferas marinas, lutitas calcáreas, conglomerados y escasas intercalaciones de andesitas y dacitas.
- Miembro Medio: formado por 2.150 metros de lavas, brechas y tobas de composición andesítica a riolítica, con intercalaciones sedimentarias.
- Miembro Superior: constituido por 1.100 metros de calizas marinas, areniscas y conglomerados intercalados con potentes cuerpos de rocas volcánicas bimodales.

Thomas (1958) definió el miembro inferior de la formación Veta Negra como:

- El Miembro Purehue se compone principalmente por lavas andesíticas, fuertemente brechosas y/o vesiculares de colores púrpura a gris pardo, y algunas intercalaciones sedimentarias de color rojo que corresponden normalmente a areniscas, conglomerados y brechas.

La Unidad Volcánica 1 corresponde a parte del techo de la formación Lo Prado en su Miembro Medio, a las unidades de lavas, brechas y tobas andesíticas.

La Unidad Sedimentaria 1 corresponde a parte de la base de la formación Lo Prado en su Miembro Superior, a las secuencias de calizas marinas y areniscas.

Las unidades Volcánica 2, Sedimentaria 2, Volcánica 3, Sedimentaria 3, corresponden a la formación Lo Prado, Miembro Superior, y parte de la formación Veta Negra en su Miembro inferior Purehue, sin embargo no se ha podido establecer una relación directa entre cada unidad respecto a las predefinidas, ya que a nivel local la estratigrafía cambia considerablemente de manera horizontal, debido a la acción de fallas normales y a cambios de espesores.

Debido a la dificultad para correlacionar las unidades volcánicas y sedimentarias, 2 y 3, y a que a pesar de correlacionar las 1 y 2 con partes de la formación Lo Prado, estas no representan en su totalidad dichos miembros, es que se decide utilizar la nomenclatura definida localmente.



## 5.2 Fallas Normales

Conjunto a esta geología, se midieron numerosas vetas correspondientes principalmente a fallas normales, visibles por corrimientos en superficie y proyecciones en profundidad; algunas con relleno de calcita y presencia de oxidados y sulfuros de cobre, por lo que se podría pensar, sean fuente de mineralización producto de transmisión de fluidos hidrotermales.

Como criterio de descarte de vetas importantes, se tomó en cuenta aquellas que poseían un relleno de calcita mayor a 5 cm, con halos de mineralización sobre 50 cm, o que produjesen un corrimiento vertical mayor a 1 metro.

Para las vetas de interior se utilizó la nomenclatura “i x”, donde x es el numero correlativo de hallazgo. Cabe mencionar que de un total de 18 vetas medidas al interior solo se seleccionaron 5 como las más importantes por sus características anteriormente mencionadas, el resto se descartó por poseer rellenos de calcita cercanos a 1 cm, por su similitud a diaclasas o ausencia de halos de mineralización.

En cuanto a las vetas de exterior, se utilizó la nomenclatura “S x” que de igual manera corresponde al número correlativo de hallazgo. Se halló un total de 13 vetas en superficie, pero correlacionando se fusionaron las vetas 2 y 3 en “S23” y las vetas 4 y 5 en “S45” quedando en total 11.

### 5.2.1. Fallas normales medidas en interior.

Corresponden a las 5 vetas mineralizadoras medidas al interior del túnel, las cuales se describen brevemente a continuación:

I1: Con un rumbo N55°E y manto de 45° al W, ésta corresponde a la falla normal más grande de las labores interiores, con un espesor de 2.5 metros. Presenta relleno de calcita y salbanda de falla, produciendo problemas en la estabilidad del túnel en el sector que se emplaza. A pesar de poseer relleno de calcita importante, se observa bajo contenido de minerales de mena, como son calcopirita y leve bornita.

I2: Con un rumbo N5°E y manto de 65° al E, esta falla corresponde a la veta principal de mineralización que es seguida en las labores de explotación debido a su importante contenido de bornita y leve calcosina hipógena. Su rumbo se mantiene casi constante a lo largo de las labores, con excepción del sector sur donde tiende a cambiar a NS y N10°W.

I3: Con un rumbo de N30°W y un manto de 55° al W, esta veta mineraliza importantemente en el sector sur, sobretodo en el cruce con la estructura I2. Esta presenta calcopirita y leve bornita, con presencia de granates en rocas calcáreas y epidota-clorita en rocas volcánicas.

I4: Con un rumbo N20°W y manto de 85°E, esta veta produce cruces importantes con la veta I2 en el sector sur, mineralizando con calcopirita y bornita dicha zona.

I5: Con un rumbo N45°W y manto 65° W, esta veta produce mineralización importante de calcopirita y pirita en el sector norte, además de presentar características de Skarn, con granates en rocas calcáreas y epidota-clorita y jaspe en volcánicas.

### 5.2.2 Fallas normales medidas en exterior.

Corresponden a 11 vetas medidas en superficie en las campañas de mapeo.

S1: Con rumbo N33°W y manto 65° al W, presenta mineralización de oxidados de cobre en superficie.

S23: Con rumbo N50°E y 72°W se produce de la correlación de las estructuras inicialmente medidas como S2 y S3 que finalmente resultaron ser la misma, presenta mineralización de cobre oxidado en superficie, aunque poco abundante (solo pequeñas patinas).

S45: Con rumbo N55°E y manto 80°E se produce de igual forma entre las estructuras iniciales S4 y S5, con mineralización poco importante de oxidados de cobre en superficie (patinas y leve diseminado)

S6: Con rumbo NS y manto 60°W produce importante mineralización de oxidados de cobre, con presencia de sulfuros hipógenos remanentes como bornita y calcopirita.

S7: Con rumbo 25°E y manto 88°W produce mineralización importante de oxidados de cobre, y leve presencia de sulfuros hipógenos como bornita.

S8: Con rumbo 21°W y manto 50°W presenta mineralización de oxidados de cobre y remanentes de calcopirita hipógena.

S9: Con rumbo N35°W y manto 90° presenta mineralización de oxidados de cobre, sin remanentes sulfurados.

S10: Con rumbo N38° E y manto 90° esta presenta leve mineralización de oxidados de cobre, de bajo interés, en patinas.

S11: Con rumbo N11° W y manto 80°W presenta mineralización importante de oxidados de cobre y leve presencia de calcopirita remanente.

S12: Con rumbo N8°W y manto 85°W presenta mineralización de oxidados de cobre y remanentes de calcopirita.

S13: Con rumbo N27W y manto 88E presenta mineralización de oxidados de cobre con bajo contenido de sulfuros remanentes, entre los que figura calcopirita y leve bornita.

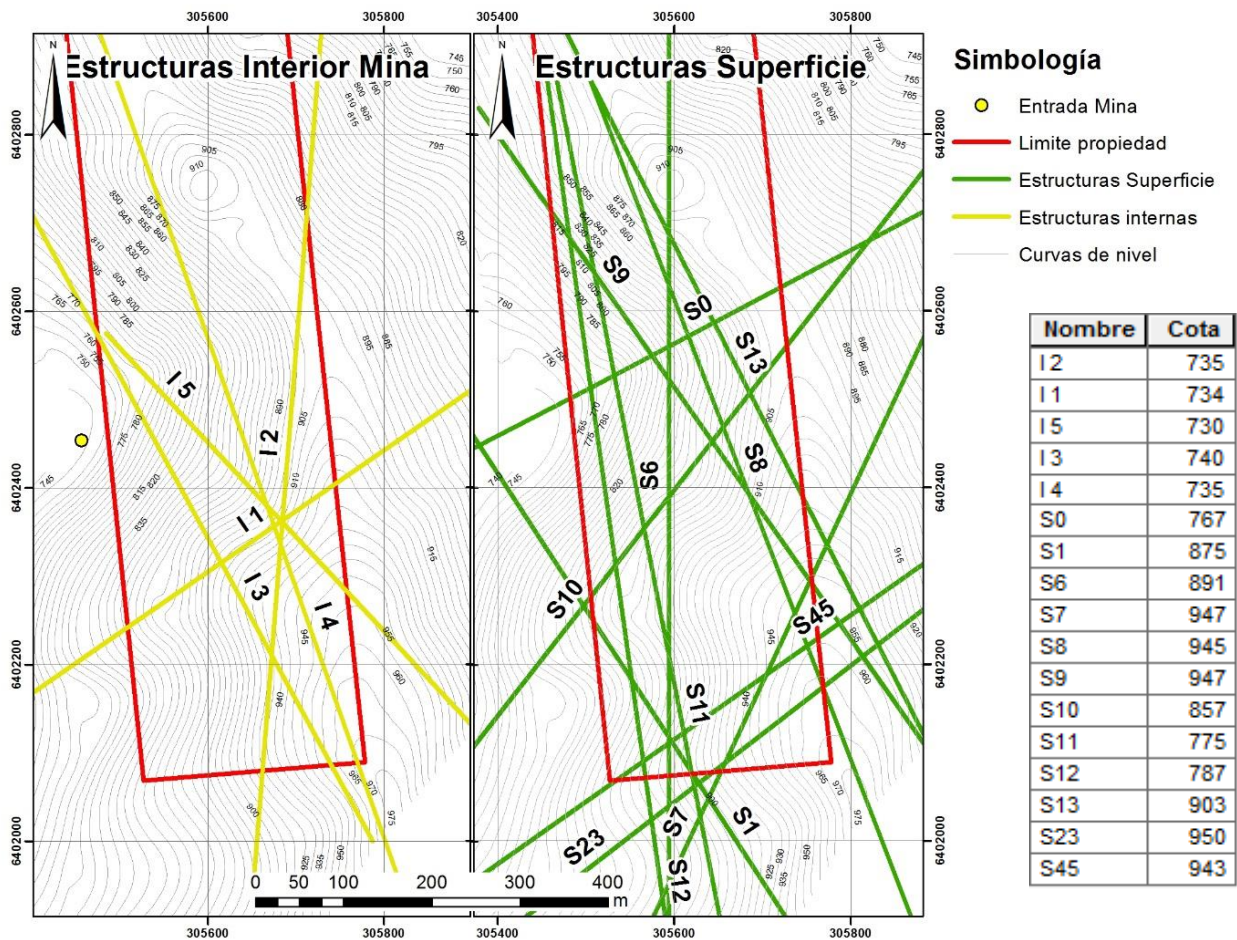


Figura 5.2. Distribución espacial de fallas normales en interior y exterior de la mina.

La distribución espacial de las fallas se puede apreciar en la figura 5.2. En ella se proyectaron las direcciones de las mediciones solo como ilustración, sin mostrar la verdadera posición, como se aprecia en el mapa geológico de la figura 5.1.1.

### 5.3 Sondajes

Se realizaron tres campañas de sondajes en la propiedad:

- 1) Enami, que proporcionó 11 sondajes con código EN-XXX-12 en el año 2012.
- 2) Minera Las Cenizas proporcionó 4 sondajes con código DDH-08-XXX en el año 2011.
- 3) La propia minera Rafaela realizó 9 sondajes con código SX del 1 al 8 y Morro-1.

**Tabla 5.3. Listado de sondajes utilizados.**

Nombre Sondaje	Este UTM56	Norte UTM56	Cota m.s.n.m	Largo (m)	Inclinación (°)	Azimut (°)
DDH-08-006	305721.34	6402296.96	943.72	242.3	88	80.10
DDH-08-014	305708.02	6402199.39	946.58	249.2	78.8	98.80
DDH-08-023	305703.35	6402099.29	947.26	162	79	92.70
DDH-08-038	305717.36	6402295.5	943.75	265.1	80.2	72.10
EN-144-12	305709.51	6402196.92	946.68	30.45	90	0.00
EN-145-12	305508.31	6402857.67	893.18	185.7	90	0.00
EN-146-12	305505.21	6402855.22	893.28	27.7	35	240
EN-147-12	305505.93	6402855.65	893.27	51.6	30	70.00
EN-148-12	305567.76	6402343.29	861.82	117.85	30	92.00
EN-149-12	305567	6402343	861.62	83.3	30	160.00
EN-150-12	305539	6402529	770	175.2	7	86.00
EN-151-12	305539	6402529	770	35.55	-20	90
EN-157-12	305740	6402346	935	155.7	75	270.00
EN-158-12	305631.67	6402703.86	911.01	91.1	60	231.00
EN-159-12	305645.85	6402430.31	736.37	41.7	-33	78.00
Morro-1	305587.77	6402728.76	914.45	104.3	90	0.00
S1	305579.66	6402367.52	774.5	40.55	-45	7.00
S2	305597.37	6402417.79	732	27.07	-70	107.00
S3	305565.65	6402414.75	732.5	38.23	-70	107.00
S4	305517.8	6402350.22	786.5	29.15	-75	125.00
S5	305623.03	6402419.92	735.5	36.19	-70	178.00
S6	305662.32	6402420.64	737.5	35.05	-70	87.00
S7	305668.28	6402425.41	737.5	45.5	-33	115.00
S8	305634.08	6402420.46	736.9	40.53	-80	178.00

En total suman 2311 metros de testigos, de los cuales se utilizaron solo 1511 metros por las siguientes razones:

- No se utilizaron los sondajes DDH-08-006 y DDH-08-038 debido a que tenían información incompleta.
- Las secciones se trazaron solo en los sondajes profundos, excluyendo así los sondajes S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8. Sin embargo, estos fueron descritos y adjuntados en fichas de sondajes.

La información de cada ficha de sondaje puede ser vista en los anexos A.

La siguiente figura (5.3.1) muestra la distribución espacial y proyecciones superficiales de los sondajes utilizados.

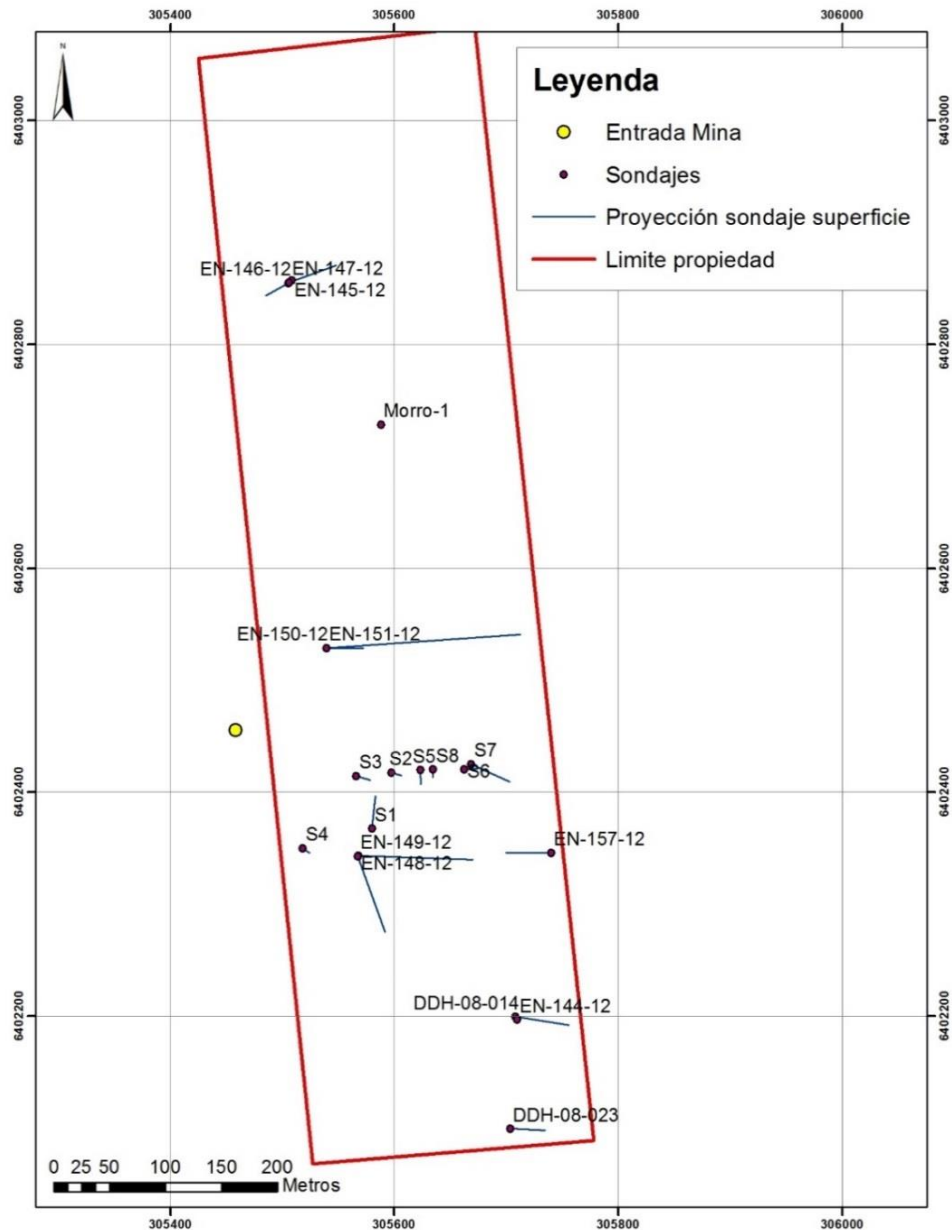


Figura 5.3.1. Distribución y proyección de sondajes utilizados.

#### 5.4 Secciones

Se estableció en base a las direcciones de la proyección de los sondajes, las secciones transversales que muestran la geología de la zona.

Se utilizó la proyección de las estructuras con sus manteos aparentes a cada perfil, y el manto aparente de los 25° regionales que posee la estratigrafía de la zona.

Sección 1:

Sección W-E con rumbo N63E, 72° de diferencia al mapeo regional transforman los 25° reales a 23.9° aparentes.

Se elaboró en la zona norte de la pertenencia, en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología de los sondajes: EN -145-12, EN -146-12 y EN-147-12.

Se aprecia que la Unidad Sedimentaria 3 no alcanza a aparecer en esta sección, debido a la erosión del cerro.

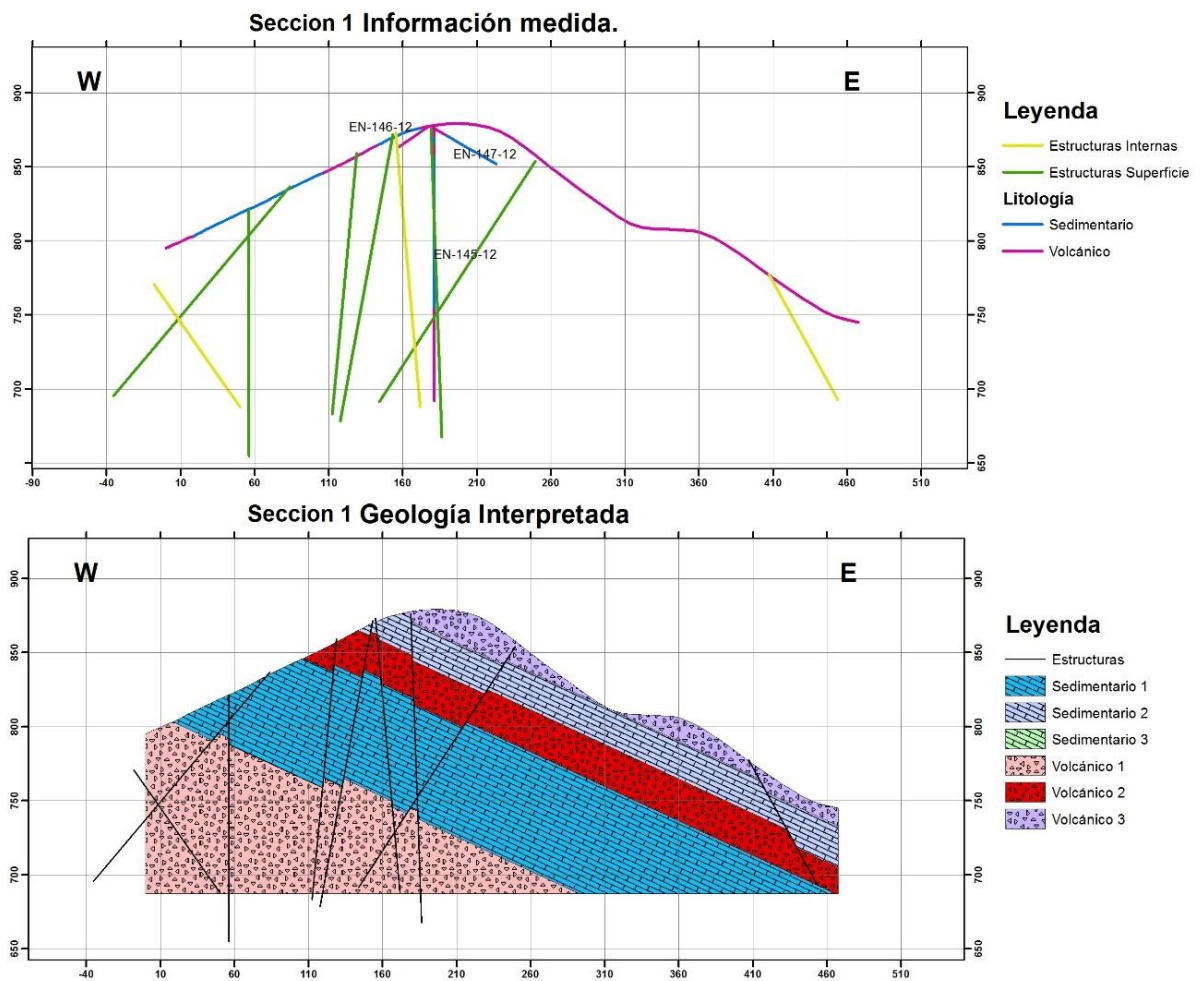


Figura 5.4.1. Sección 1, geología interpretada en base a información medida.

Sección 2:

Sección W-E con rumbo N64E, 74° de diferencia al mapeo regional transforman los 25° reales a 24.1° aparentes.

Es el siguiente perfil avanzando al sur desde la Sección 1, elaborado en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología en el sondaje: Morro-1.

La Unidad Sedimentaria 3 tampoco aparece en esta sección. Las Unidades volcánica 2 y Sedimentaria 2 aumentan su espesor.

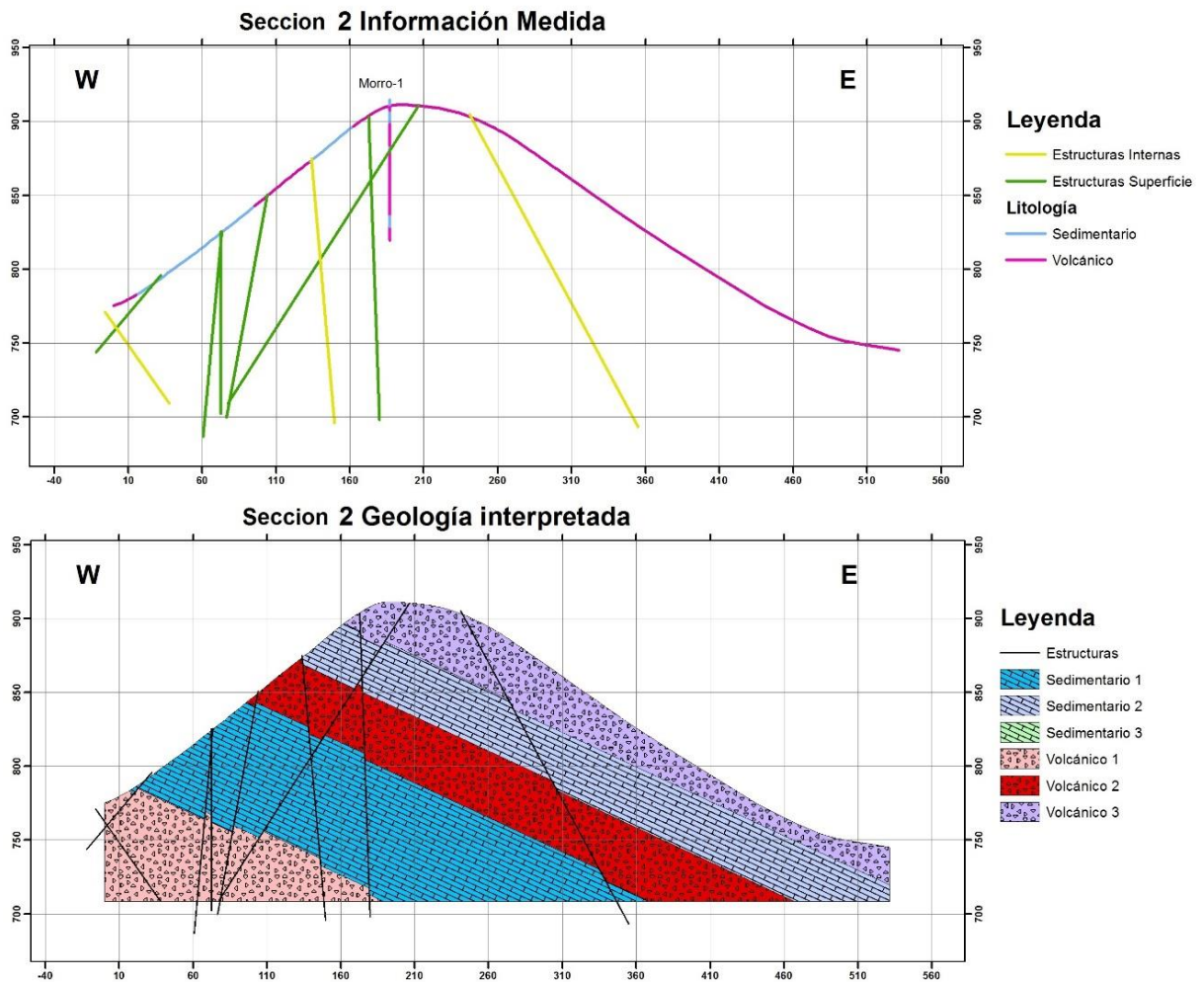


Figura 5.4.2. Sección 2, geología interpretada en base a información medida.

### Sección 3:

Sección W-E con rumbo N86E, 96° de diferencia al manto regional transforman los 25° reales a 24.8° aparentes.

Se elaboró en la zona central de la pertenencia, continuando al sur de la Sección 2, en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología de los sondajes: EN -151-12 y EN-150-12.

Aparece levemente encima la Unidad Sedimentaria 3, y la Unidad Volcánica 2 aumenta su espesor.

Se aprecia una importante falla normal al oeste de la sección, que desplaza parte de la Unidad Sedimentaria 1 hacia abajo.

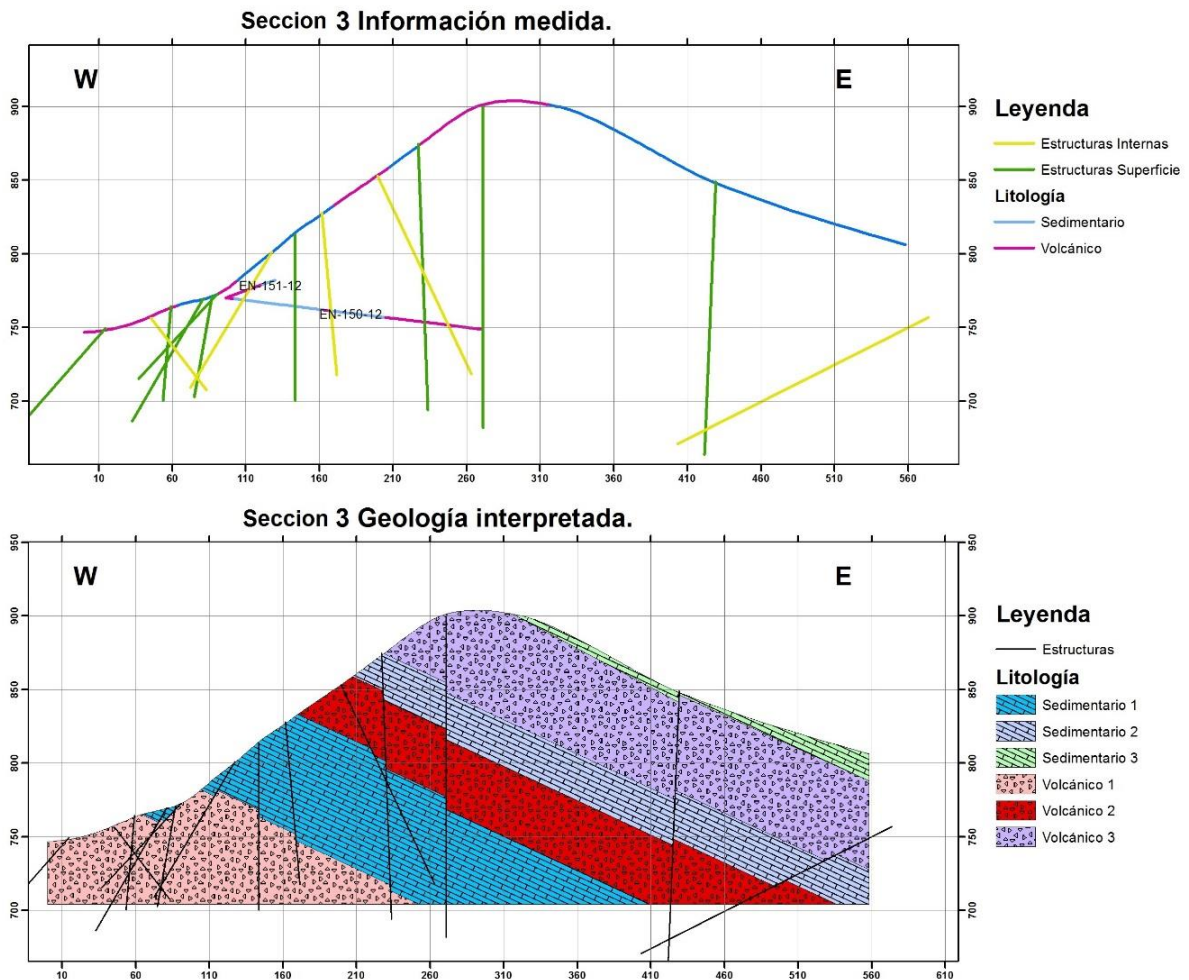


Figura 5.4.3. Sección 3, geología interpretada en base a información medida.



#### Sección 4:

Sección W-E con rumbo WE, 100° de diferencia al manto regional transforman los 25° reales a 24.6° aparentes.

Se elaboró en la zona central de la pertenencia, al sur de la Sección 3, en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología de los sondajes: EN -148-12 y EN-157-12.

Aumenta el espesor de la Unidad Volcánica 3 y ya se aprecia profundidad en la Sedimentaria 3.

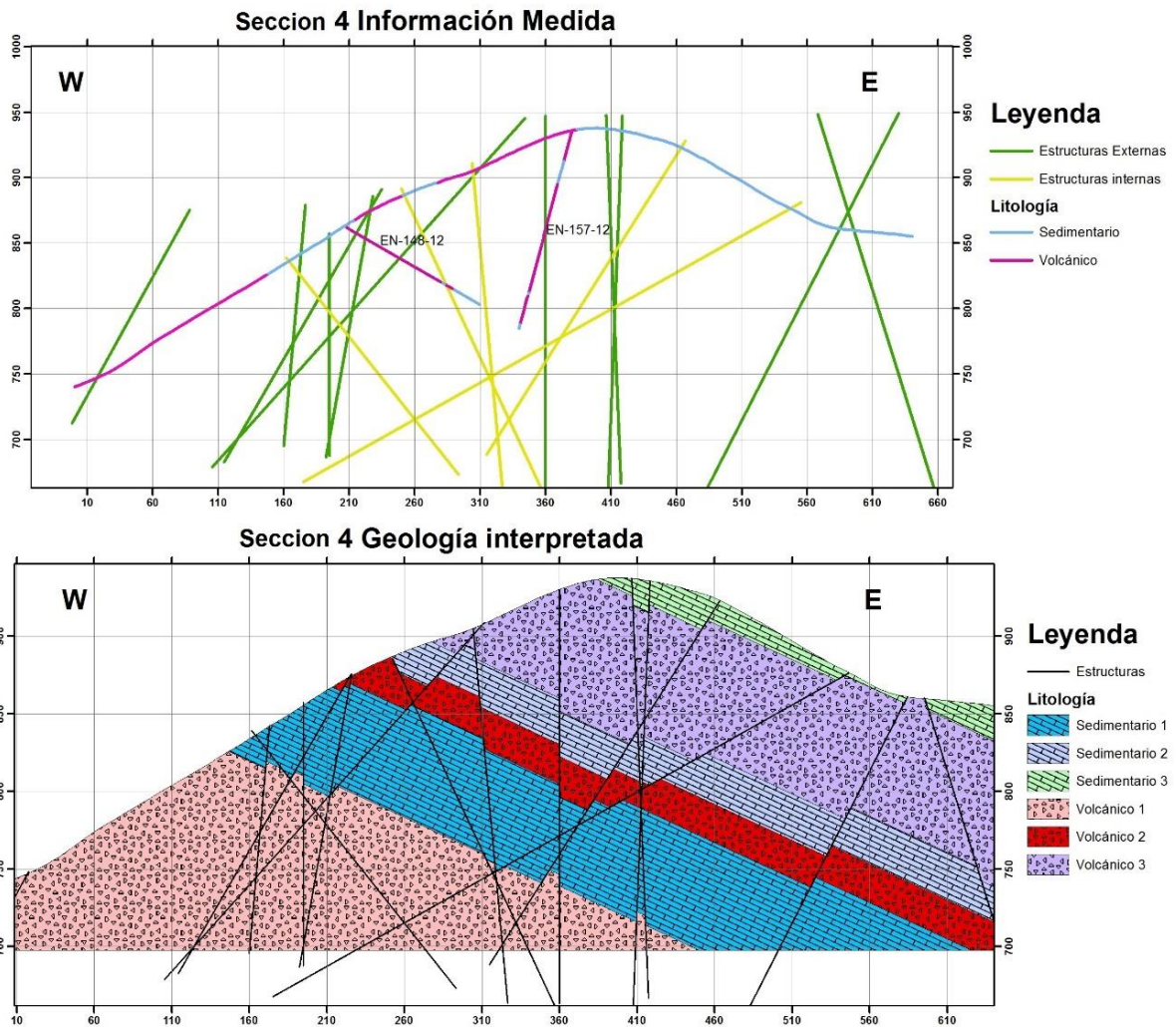


Figura 5.4.4. Sección 4, geología interpretada en base a información medida.

## Sección 5:

Sección W-E con rumbo N80W, 70.3° de diferencia al manto regional transforman los 25° reales a 23.7° aparentes.

Se elaboró en la zona Sur de la pertenencia, luego de la Sección 4, en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología de los sondajes: EN -144-12 y DDH-08-014.

Se aprecia que la Unidad Sedimentaria 3 tiene un aumento considerable de su espesor visible, la Unidad Volcánica 2 y Sedimentaria 2 disminuyen su espesor.

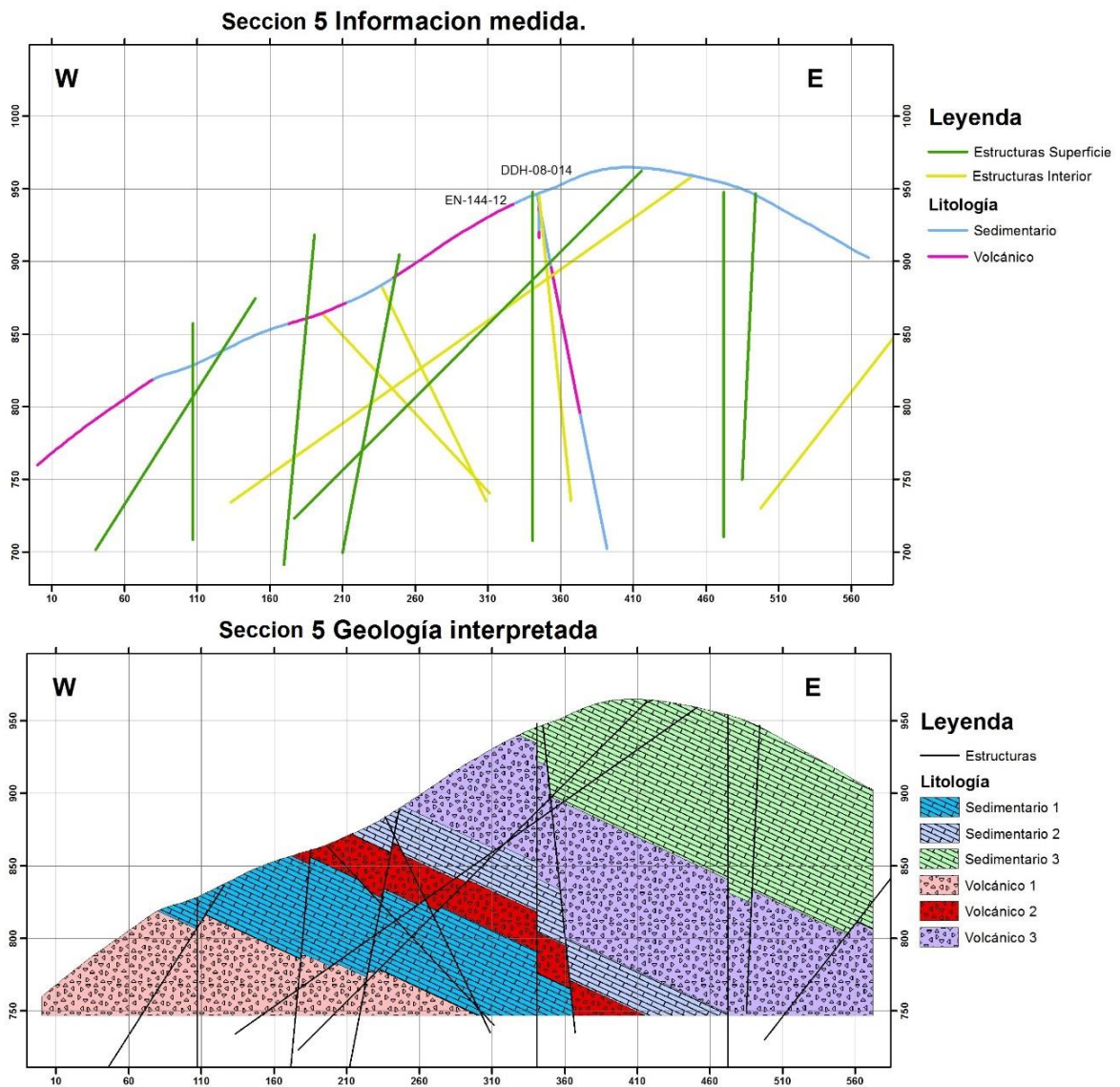


Figura 5.4.5. Sección 5, geología interpretada en base a información medida.

Sección 6:

Sección W-E con rumbo N65W, 65° de diferencia al manto regional transforman los 25° reales a 22.9° aparentes.

Se elaboró en la zona Sur de la pertenencia, luego de la sección 5, en base a la litología observada en superficie, las estructuras medidas y la litología del sondaje: DDH-08-023.

Se aprecia que la Unidad Sedimentaria 3 tiene una leve disminución de su espesor y que la Unidad Volcánica 2 aumenta considerablemente.

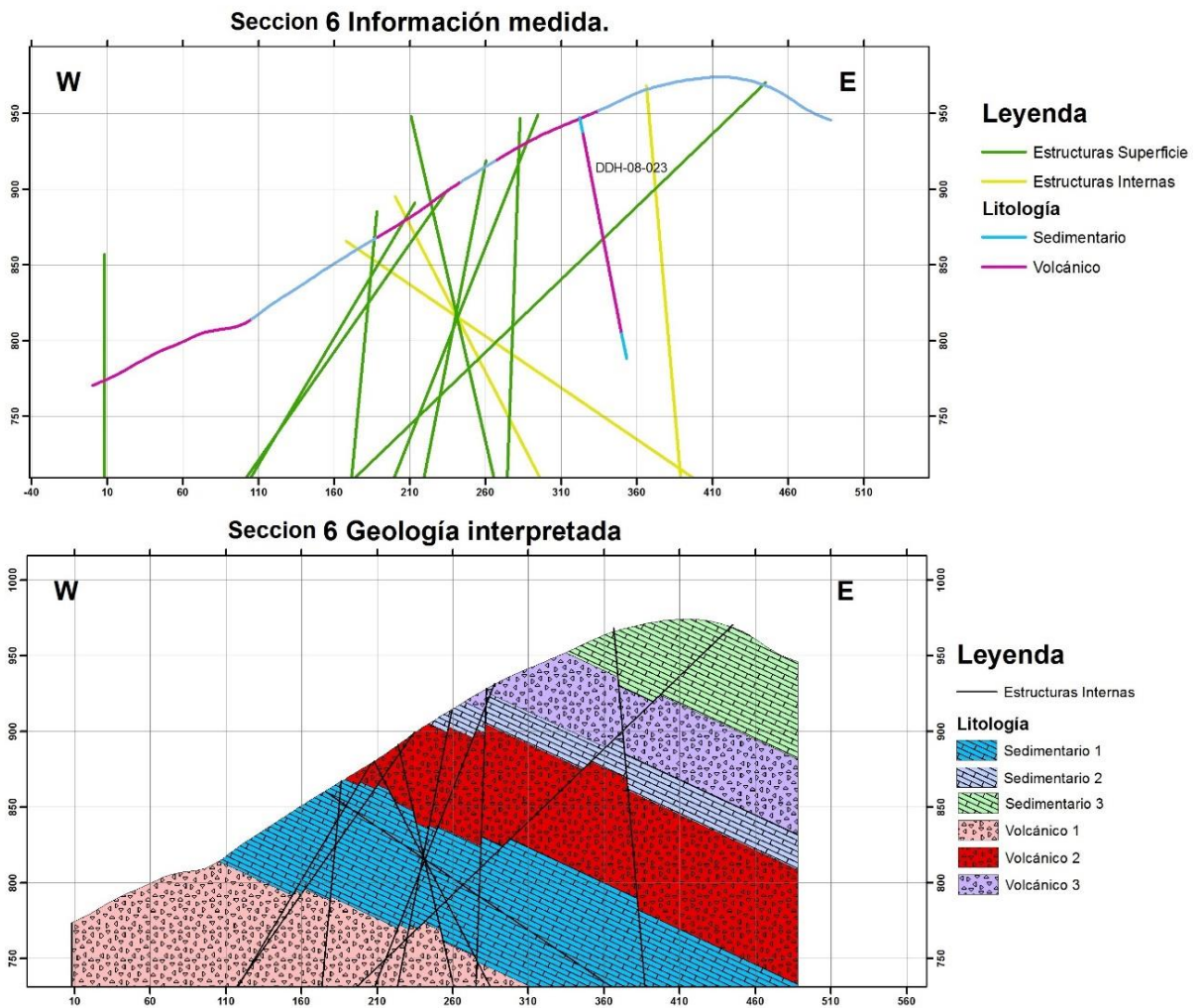
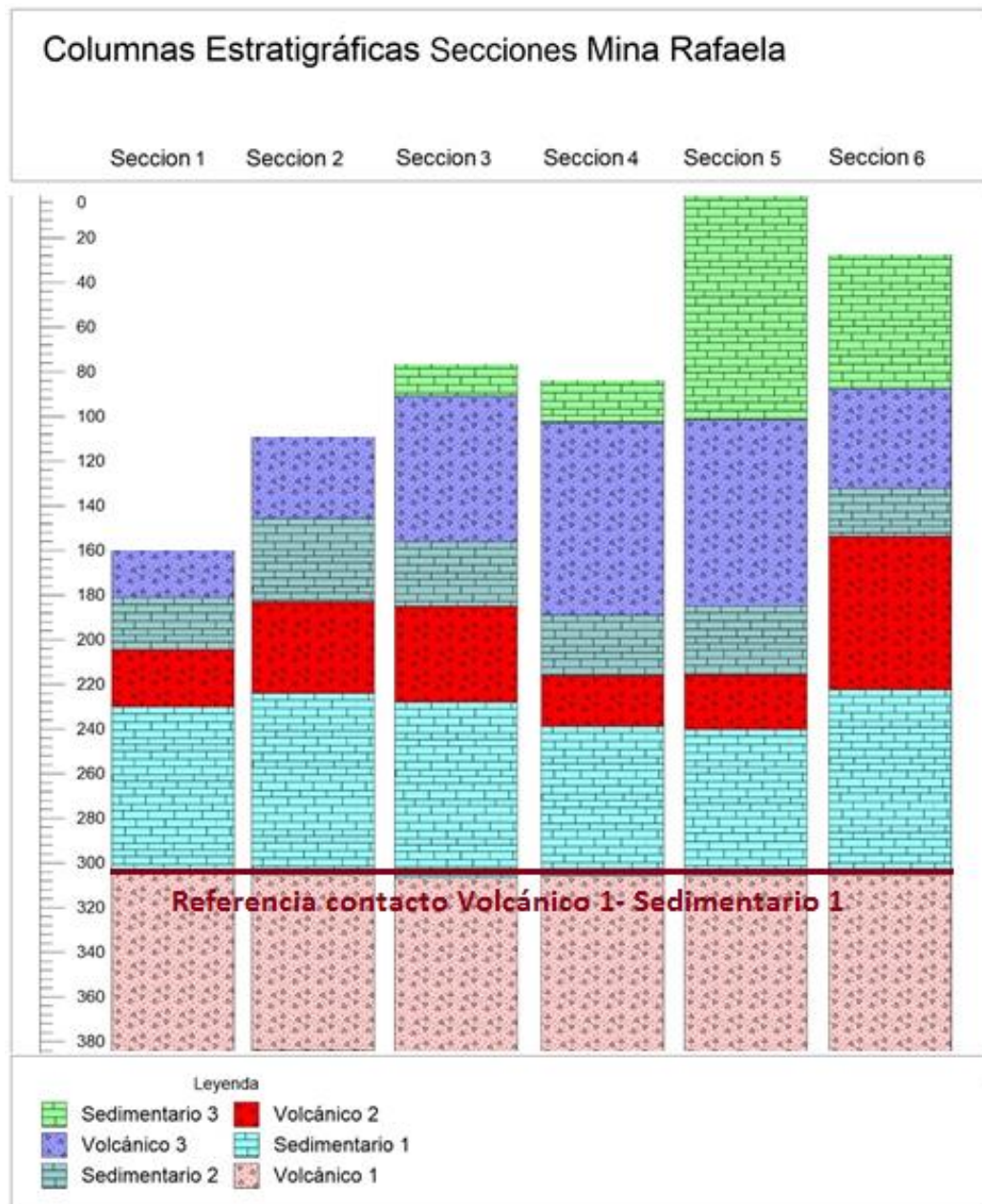


Figura 5.4.6. Sección 6, geología interpretada en base a información medida.

Se muestran a continuación los espesores de las unidades identificadas en cada sección.

Cabe mencionar que la base de la Unidad Volcánica 1 no está expuesta y la parte superior de la Unidad Sedimentaria 3 ha sido erosionada por lo que sus espesores no son estimables.



**Figura 5.4.7. Columnas estratigráficas con espesores, asociadas a cada sección.**

## 5.5 Geología de Interior

En base a las mediciones y descripciones realizadas en los túneles, se consiguió levantar el siguiente mapa que incluye 5 litologías reconocibles a la escala. Este mapa fue elaborado en la cota 735 m.s.n.m., ya que las labores son a esa altura. Además se muestran las estructuras medidas que en su mayoría corresponden a fallas normales. Solo una de ellas corresponde a falla inversa sin embargo su corrimiento vertical-sinestral es menor y no se aprecia.

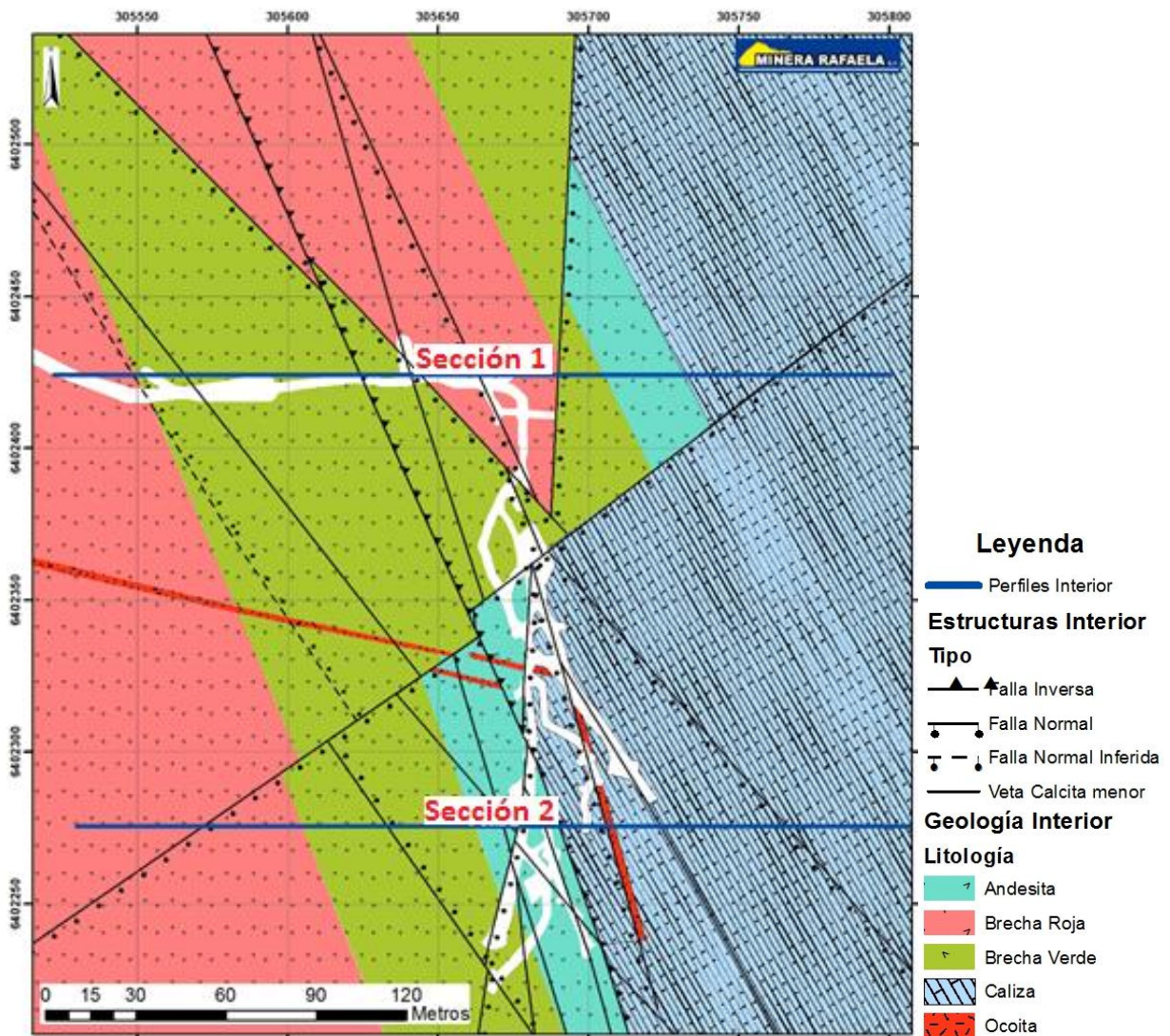


Figura 5.5.1. Mapa geológico interior Mina. Cota 735 m.s.n.m.

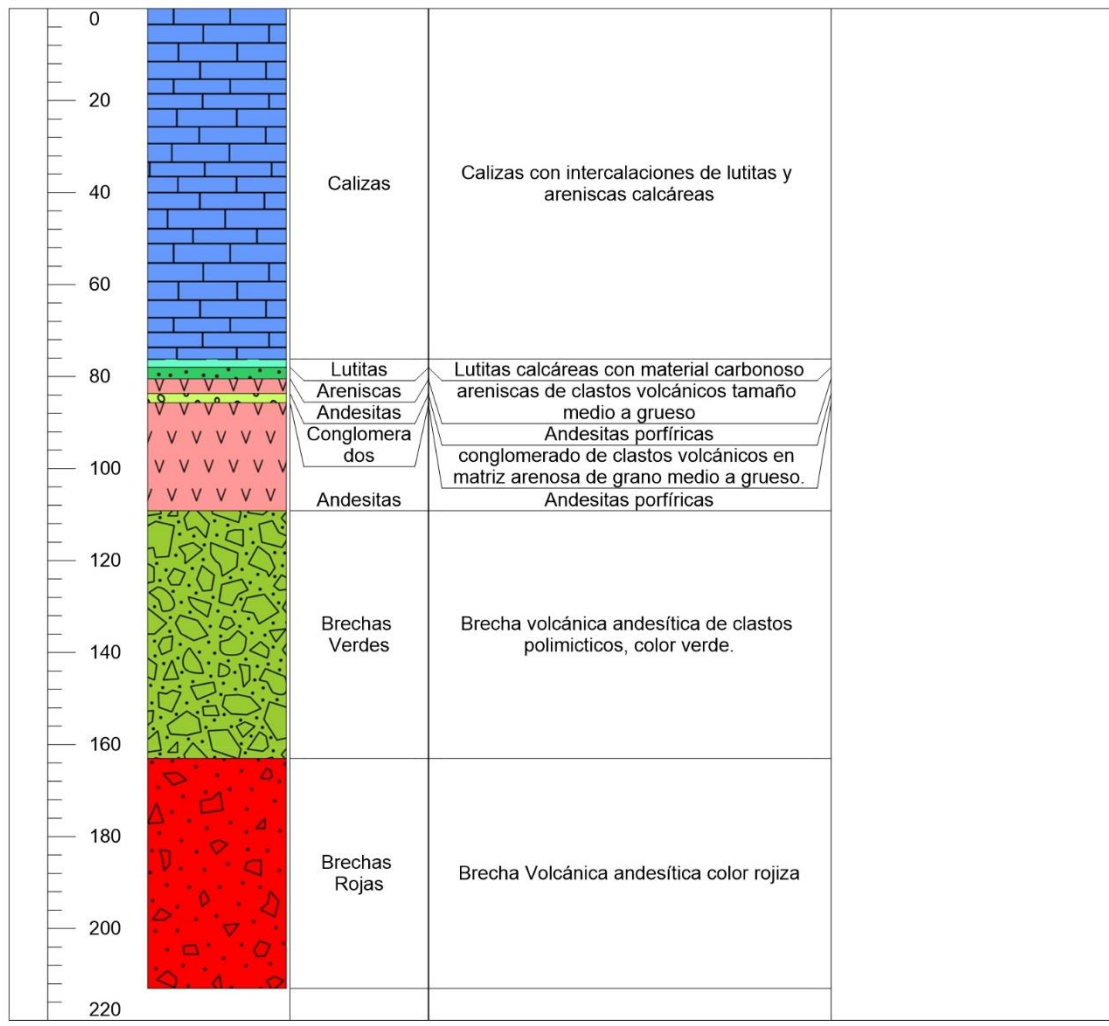
### Correlación:

Brechas Rojas, Brechas verdes y andesitas corresponden al techo de la Unidad Volcánica 1.

Calizas Corresponden a la base de la Unidad Sedimentaria 1.

Si se hace un acercamiento al contacto entre ambas unidades se realizó una descripción más detallada, la cual se muestra en la siguiente columna.

## Columna Observada en Labores



**Figura 5.5.2. Columna Estratigráfica de unidades visibles en labores.**

Lutitas, areniscas y conglomerados que no sobrepasan los 2.5 metros de espesor no se distinguen en el mapa anterior. Sin embargo, las andesitas, areniscas y lutitas son los principales huéspedes de mineralización de sulfuros.

## 5.6 Secciones Interior

Se elaboraron dos secciones transversales que muestran la distribución de las unidades mencionadas y las estructuras internas.

Sección 1:

Se aprecia un Horst entre dos fallas normales que produce un alzamiento en las brechas rojas. La mineralización se encuentra en el contacto Andesita-Caliza, cercanas a las fallas normales. Como se puede apreciar, las fallas normales presentan corrimientos importantes, sin embargo la falla inversa tiene un desplazamiento casi nulo.

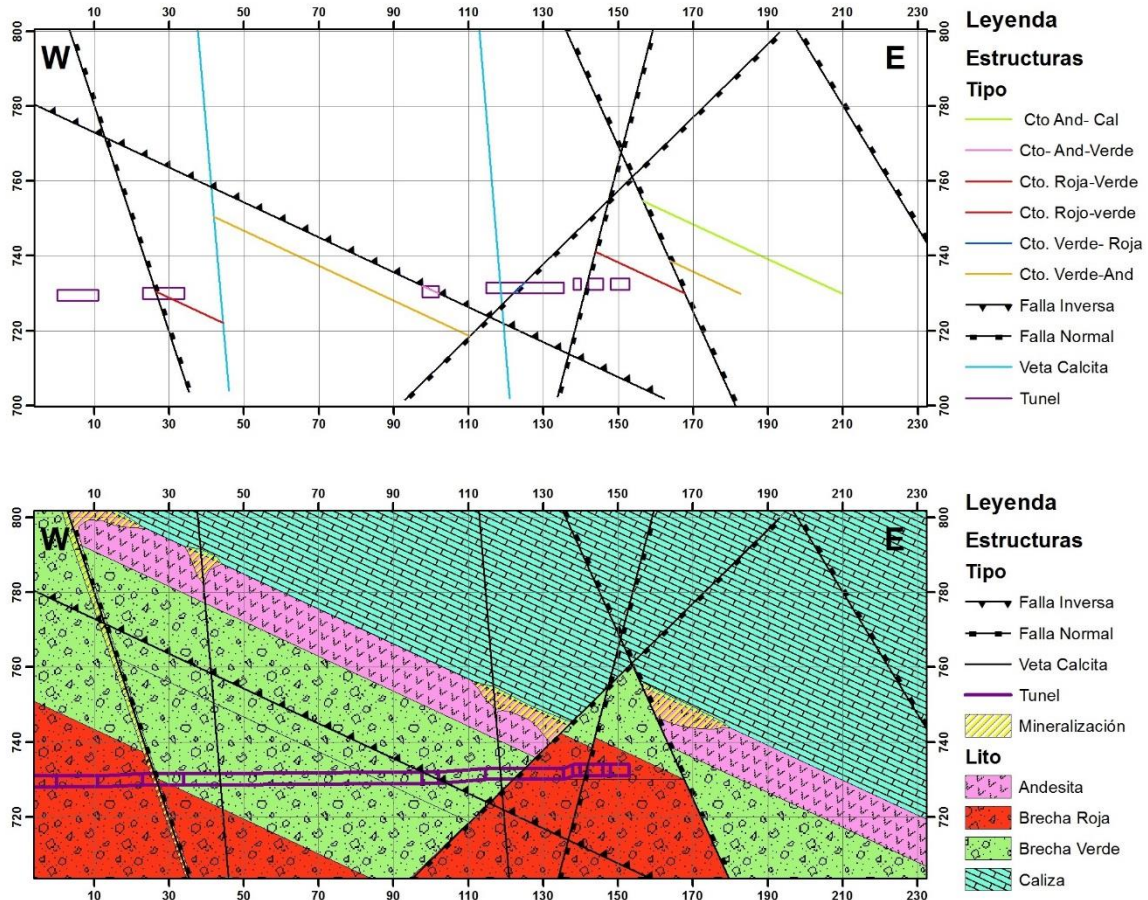


Figura 5.6.1. Sección 1 interior mina. Información medida, Geología interpretada y mineralización.

## Sección 2:

Se aprecia un Graben entre dos fallas normales. La mineralización se encuentra en el contacto Andesita-Caliza, cercanas a las fallas normales.

Se observa que los mantos más importantes se encuentran en una mayor densidad de estructuras mineralizadoras, por el efecto del cruce de estas.

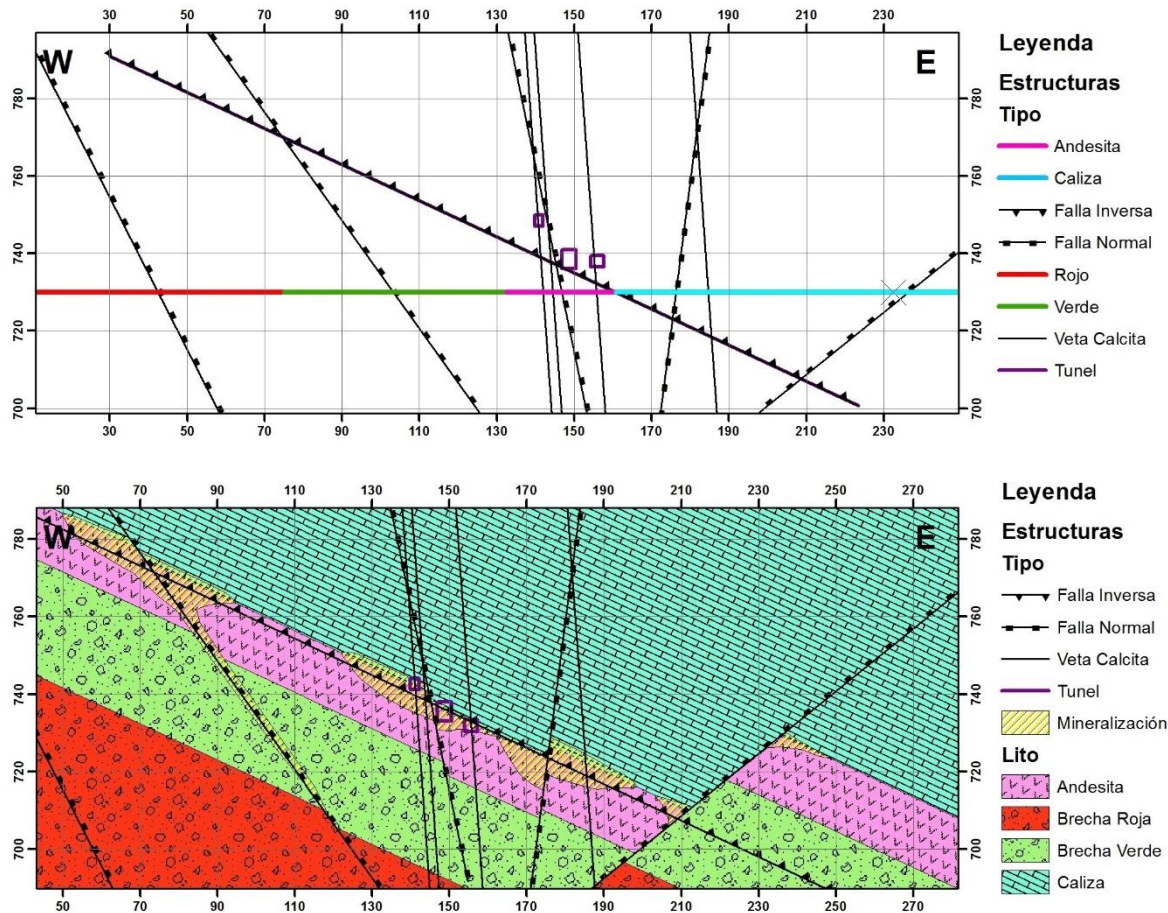


Figura 5.6.2. Sección 2 interior mina. Información medida, Geología interpretada y mineralización.

## 6. Alteración Hidrotermal

### 6.1 Minerales observados.

**Calcita:** Lo más abundante, se encuentra rellenando vetas, vetillas, vesículas, diseminada y en patinas. Se emplaza tanto en rocas volcánicas como sedimentarias.

**Clorita:** Tonos verde oscuro a negro, se aprecia alterando principalmente rocas volcánicas cercanas a vetas de calcita, en un halo no mayor a un metro.

**Epidota:** De tonos verdosos oscuros, en rocas volcánicas cercanas a vetas de calcita en un halo de máximo 30 cm, masiva y radial.



Jaspe: En algunas brechas volcánicas tiñen rojiza la matriz, aunque también se presentan en vetillas, ambos casos en un halo de hasta 3 metros de vetas de calcita.

Granate: De grano fino, no mayor a 3 mm, color amarillo a pardo. Cercano a vetas de calcita en rocas carbonatadas, como calcarenitas, lutitas y calizas.

Zeolitas: Blancas radiales, relleno de cavidades en rocas volcánicas.

**Tabla 6.1. Asociaciones minerales de alteración.**

	Cal	Chl	Ep	Jp	Gn	zeo
Cal						
Chl						
Ep						
Jp						
Gn						
zeo						

La presencia de granates indicaría temperaturas de formación entre 400-800°C, y sería una característica típica de los yacimientos tipo Skarn, sin embargo puede deberse a la intrusión de diques andesíticos.

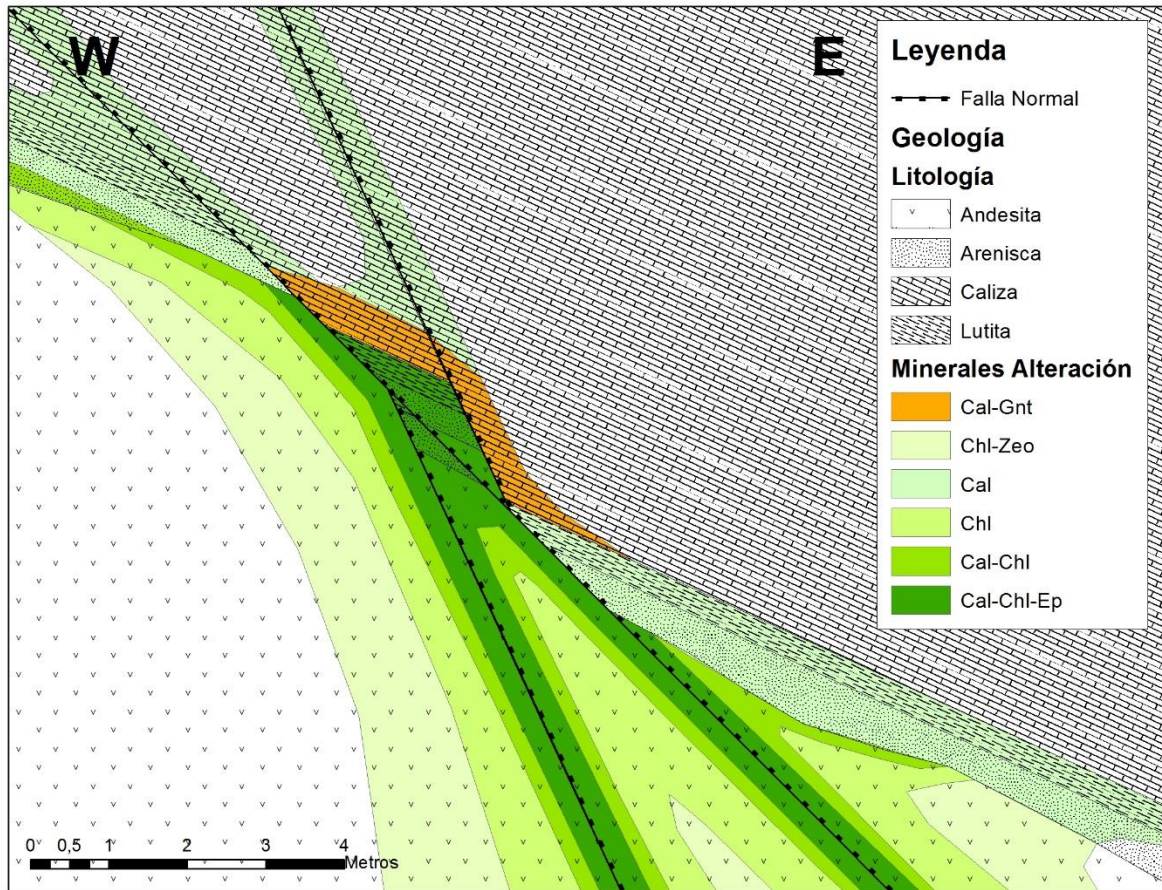
La mineralización de calcita, clorita, epidota y zeolitas puede deberse a dos opciones: producirse por la fase retrógrada del Skarn, Einaudi et al. (1981), o ser Alteración Propilítica, Meyer and Hemley (1967), producto de metamorfismo de bajo grado registrado en la zona.

Dadas estas características podríamos estar hablando de un modelo Skarn de cobre, con una importante fase retrógrada debido al mayor contenido de estos minerales que los que caracterizan a la fase prograda.

## 6.2 Zonación de minerales de alteración.

Se puede apreciar en la figura 6.2 la distribución de asociaciones minerales, los cuales aparecen ocasionalmente en estos sectores que se pueden acotar. En ella se destacan los halos de alteración propilítica de hasta 3 metros desde la estructura mineralizadora en unidades volcánicas y halos de calcita de hasta 1 metro en unidades sedimentarias impermeables. Se observa un núcleo de Skarnificación solo asociado a cruces de estructuras con presencia de granates en la unidad sedimentaria calcárea, con hasta 5 metros de espaciamiento longitudinal y 50 cm de anchura.

El modelo presentado a continuación corresponde a las vetas I3 e I5, observados en caserones al sur de la pertenencia.



**Figura 6.2. Zonación de minerales de alteración.**

## 7. Mineralización.

### 7.1 Mineralización Hipógena

Se pueden identificar principalmente 5 minerales sulfurados de alteración primaria: Calcopirita (más abundante), Pirita, Bornita, Calcosina y Covelina hipógena. En cuanto a ganga, se presenta mineralización de calcita principalmente, y bitumen en algunos sectores.

Además hay 6 estilos de mineralización reconocidos que corresponden a:

Patinas: Contacto de diaclasas, Vetilla: Fracturas rellenas, Diseminado: dispersión de mineral en cavidades pequeñas de roca permeable, Laminar: Dispersión en el plano de debilidad según estratificación de la roca, Nodular: Acumulación de mineral en volúmenes acotados, posiblemente en vesículas o espacios disueltos y Cumular: agrupaciones acotadas de nódulos.

Se presentan alojadas en 5 litologías principales: Lutitas, Andesitas, Ocoítas (andesita de fenocristales más alargados) Areniscas y Calizas.

**Tabla 7.1.1. Estilos de mineralización asociadas a cada litología.**

Lutita	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv	Bit.	Carb.
Patina	√	√	√	X	X	X	√
Vetilla	√	√	√	X	X	X	√
Diseminado	X	X	X	X	X	X	X
Laminar	√	√	√	X	X	√	√
Nodular	X	X	X	X	X	X	X
Cumular	X	X	X	X	X	X	X

Andesita	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv	Bit.	Carb.
Patina	√	√	√	X	√	X	√
Vetilla	√	√	√	X	√	X	√
Diseminado	√	√	√	√	√	X	X
Laminar	X	X	X	X	X	X	X
Nodular	√	√	√	√	√	√	√
Cumular	√	√	√	X	X	√	√

Ocoíta(andesita)	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv	Bit.	Carb.
Patina	√	√	√	X	X	X	√
Vetilla	√	√	√	X	X	X	√
Diseminado	X	X	X	X	X	X	X
Laminar	X	X	X	X	X	X	X
Nodular	X	X	X	X	X	X	X
Cumular	X	X	X	X	X	X	X

Caliza	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv	Bit.	Carb.
Patina	√	√	X	X	X	X	√
Vetilla	√	√	X	X	X	X	√
Diseminado	√	√	X	X	X	X	√
Laminar	√	√	X	X	X	X	X
Nodular	√	√	X	X	X	X	√
Cumular	X	X	X	X	X	X	√

Arenisca	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv	Bit.	Carb.
Patina	√	√	√	X	√	X	√
Vetilla	√	√	√	X	√	X	√
Diseminado	√	√	√	√	√	X	√
Laminar	X	X	X	X	X	X	X
Nodular	√	√	√	√	√	√	√
Cumular	√	√	√	X	X	√	√

Las principales asociaciones minerales son las siguientes:

**Tabla 7.1.2. Asociaciones minerales sulfurados.**

	Ccp	Py	Bn	Cc	Cv
Ccp		■	■	■	■
Py			■	■	■
Bn				■	■
Cc					■
Cv					

Se aprecia que la calcopirita se puede ver asociada a pirita, bornita y covelina. La Bornita se puede ver asociada a calcosina y covelina hipógena, y la calcosina se asocia covelina. En los anexos C se aprecian cortes y muestras de algunas de dichas asociaciones.

## **Zonaciones de mineralización.**

Existen 4 zonaciones de mineralización reconocidas en el yacimiento, las cuales se han podido correlacionar a la disposición de las fallas normales respecto al manteo de la estratificación y se muestra a continuación:

- 1) Falla normal manteando al Oeste: Se observa en las estructuras I1, I2 e I3. Estas producen mantos más anchos (hasta 8 metros) y menos largos (hasta 13 metros), con halos de mineralización que alcanzan 6 metros para bornita-calcopirita, 13 metros para calcopirita-pirita y 15 metros para pirita. Esto se debe a que la diferencia de manteos hace que los fluidos se atrapen en un núcleo en vez de esparcirse a lo largo del manto.
- 2) Falla normal manteando al Este: Se observa en las estructuras I4 e I5. Estas producen mantos menos anchos (hasta 6 metros) pero más largos (hasta 20 metros), con halos de mineralización de hasta 8 metros para bornita-calcopirita, 17 metros para calcopirita-pirita y 20 metros para pirita.
- 3) Cruce de fallas normales: En estas zonas exclusivamente aparece la asociación calcosina-covelina, en núcleos de 4 metros de ancho y 6 metros de largo, justamente en el cruce, y alojadas en la roca volcánica. Además estos cruces producen halos de hasta 8 metros para bornita-calcopirita, 17 metros para calcopirita-pirita y 22 metros para pirita. En cuanto al ancho, puede llegar a tener hasta 9 metros.
- 4) Asociada a contacto con dique: Estos producen mineralización menor, sin núcleos de bornita, con mantos de hasta 10 metros con pirita y hasta 8 metros con calcopirita-pirita, y anchos de hasta 6 metros. La mineralización ocurre en la caja superior del dique. Estos diques sugieren relación con la mineralización de granates ya que estos últimos aparecen en zonas cercanas a sus emplazamientos.

Estas zonaciones han sido observadas y no se asume que las inclinaciones actuales eran las mismas que durante el proceso de mineralización, el cual probablemente haya ocurrido cuando el manteo regional era menor (quizá horizontal), y estas fallas hayan poseído inclinaciones menores a 50°.

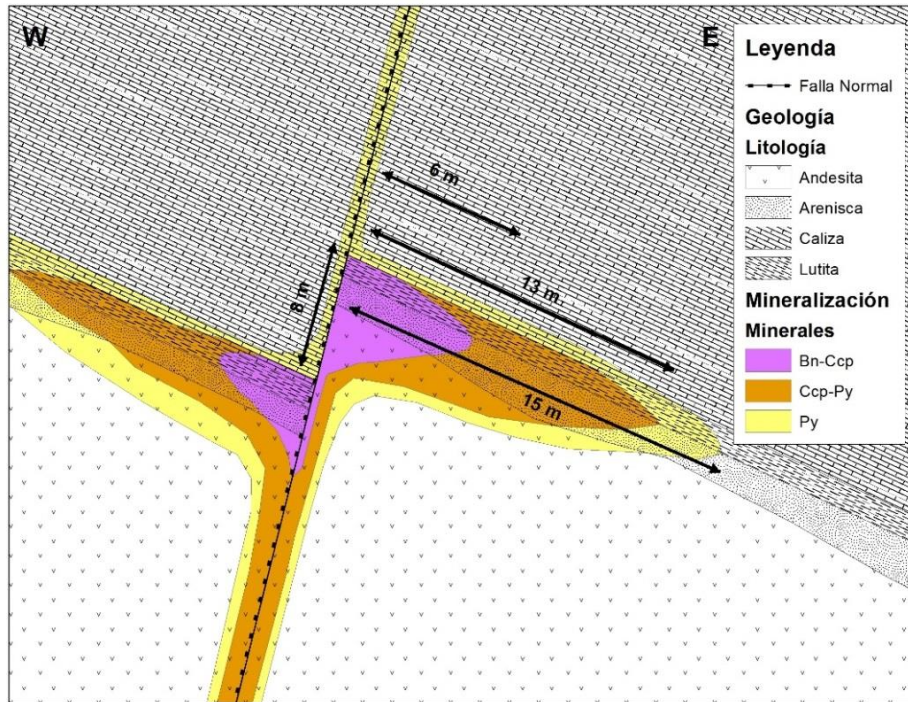


Figura 7.1.1. Mineralización en mantos con estructura manteando al W.

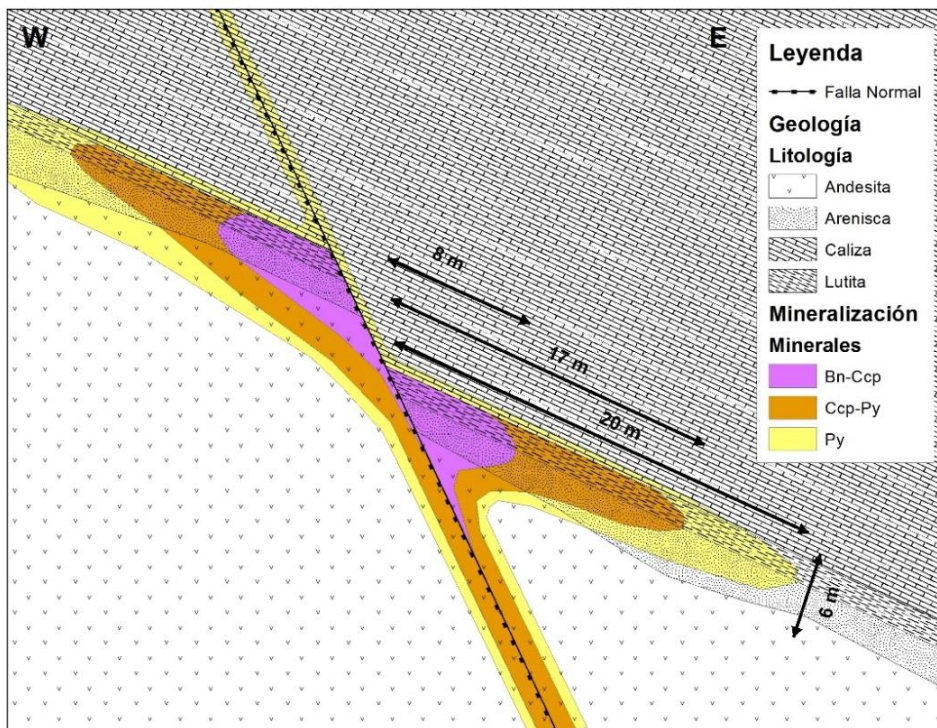


Figura 7.1.2. Mineralización en mantos con estructura manteando al E.

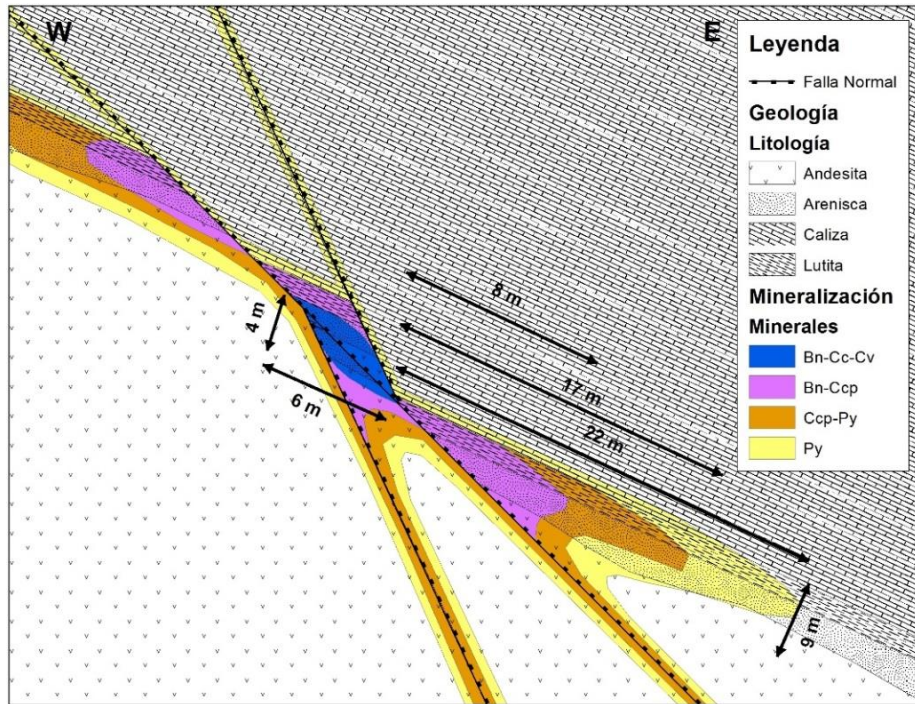


Figura 7.1.3. Mineralización en mantos con cruce de estructuras.

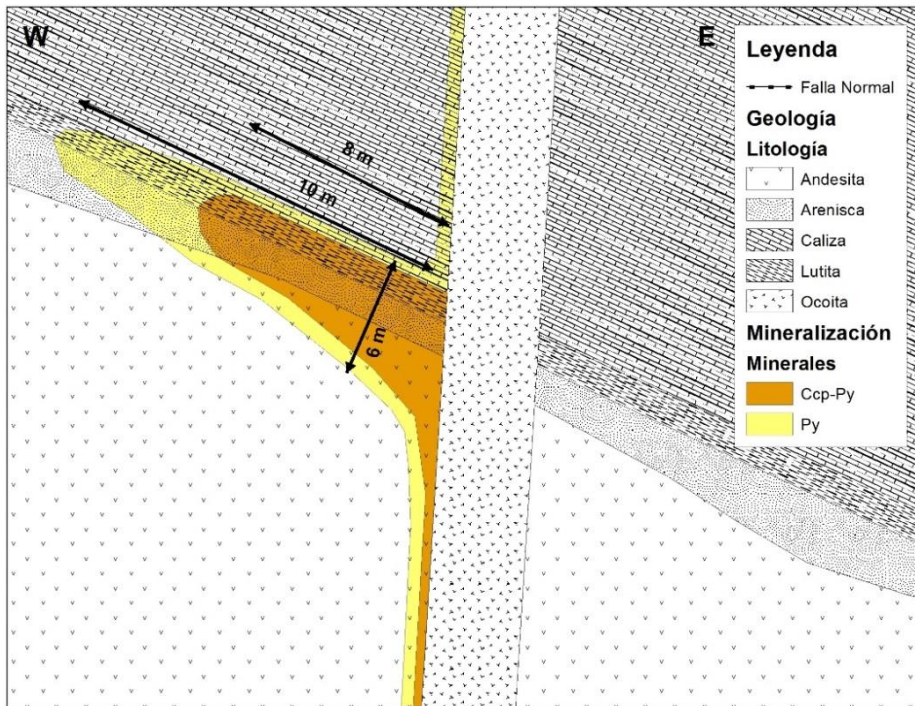


Figura 7.1.4. Mineralización en mantos asociado a dique.

## 7.2 Mineralización Supérgena

Superficialmente se forman capas de oxidados de cobre entre los que destacan, crisocola y atacamita en rocas volcánicas, y azurita y malaquita en rocas carbonatadas. Sin embargo son de poco interés económico debido a que al profundizar, rápidamente aparecen los sulfuros primarios, lo cual responde a un bajo enriquecimiento supérgeno, debido posiblemente a que la cantidad de pirita es baja en relación a otros sulfuros y a que la cantidad de carbonatos presentes en las rocas, neutraliza los ácidos formados por la interacción de dicha pirita con las aguas superficiales.

Si es posible observar en ciertos sectores presencia de chalcantita, sulfato de cobre transportado por aguas superficiales, y depositado en las paredes de labores antiguas, aunque no es de gran importancia. Ver Anexo F con Fotografías.

**Tabla 7.2. Asociaciones de minerales de cobre oxidados.**

	az	mal	cri	atac	chal
az					
mal					
cri					
atac					
chal					

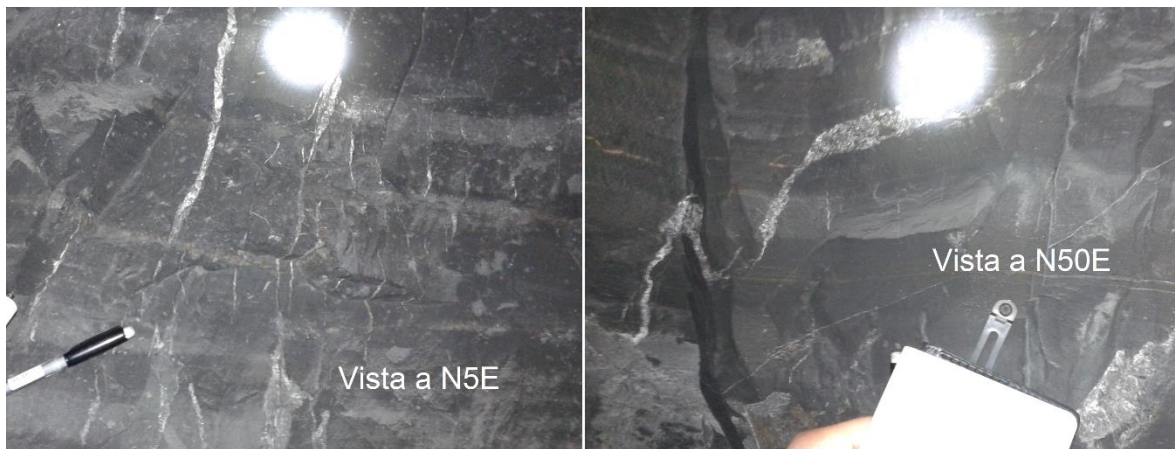
Se estima en base a observación en labores, que la zona de mineralización oxidada llega hasta 20 metros desde la superficie, sin embargo a no más de 5 metros es posible hallar sulfuros y oxidados en conjunto.

## 7.3 Análisis de Direcciones preferenciales de mineralización.

Realizando observaciones en fracturas, diaclasas y vetas se logró concluir que no todas presentan relleno, sino solo las paralelas a ciertas direcciones, las cuales varían a lo largo de la pertenencia, y a modo de comprender los procesos que forman esto es que se procedió a tomar rumbos y manteos de todas las diaclasas que presentaban algún relleno de mineral sulfurado, como calcopirita, pirita, bornita, etc.

Un claro ejemplo en la figura X, muestra que en la fotografía izquierda, con vista a la dirección N5E, las vetillas y diaclasas rellenas con calcita y bordes de calcopirita se ven paralelas siguiendo

esta dirección; a diferencia de la fotografía a la derecha con vista al N50E, en que las fracturas y diaclasas no presentan relleno y solo se observan lateralmente las mencionadas anteriormente.



**Figura 7.3.1. Fotografías de mediciones de dirección de mineralización.**

Se obtuvieron valores en 14 puntos al interior del túnel, en los cuales se ven claramente las direcciones preferenciales, las cuales se agruparon en 6 diagramas de roseta que se ven en la figura X. De este modo se puede observar 3 direcciones preferenciales de mineralización en diaclasas, N10E-N10W, N10E-N20E y N35W-N25W.

Cabe destacar que al norte de la propiedad predomina el direccionamiento NW-SE y al sur predomina el NE-SW. En el centro hay distribuciones bimodales entre NE-SW y NW-SE.

La mineralización observada es la siguiente:

Rellenos al NW-SE: Presentan calcita, calcopirita y pirita.

Rellenos al NE-SW: Presentan calcita, calcosina, bornita, calcopirita, pirita y hematita.

Rellenos al N-S: Presentan calcita, bornita, calcopirita y pirita.



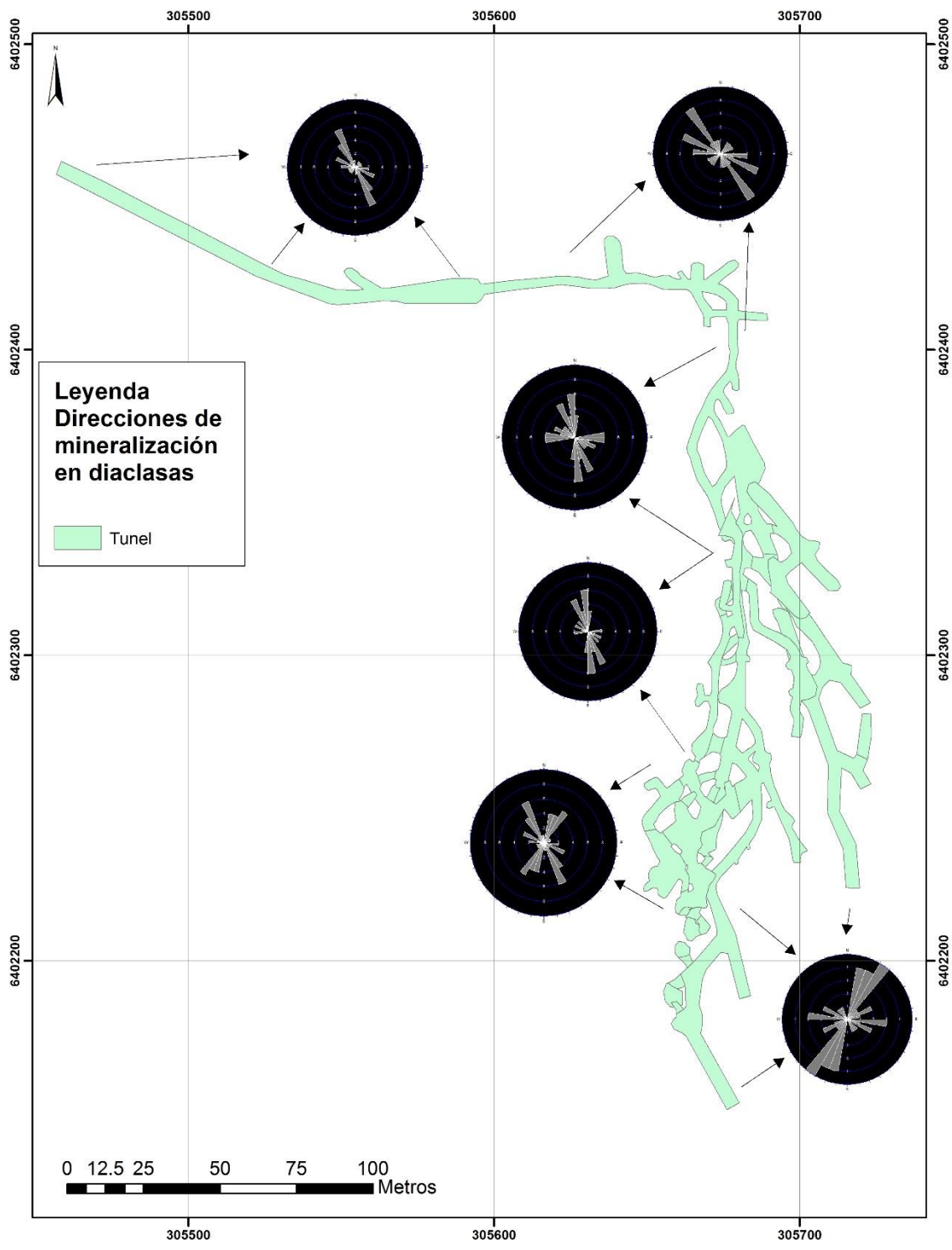


Figura 7.3.2. Diagramas de roseta mostrando direcciones preferenciales y ubicación en el túnel.

Realizando un análisis de estos valores, podemos hablar de dos grandes zonas predominantemente solapadas, en las cuales se ven 2 direcciones preferenciales NE-SW y NW-SE, ajustando las NS a las NE por presentar solamente una diferencia de 15 °.

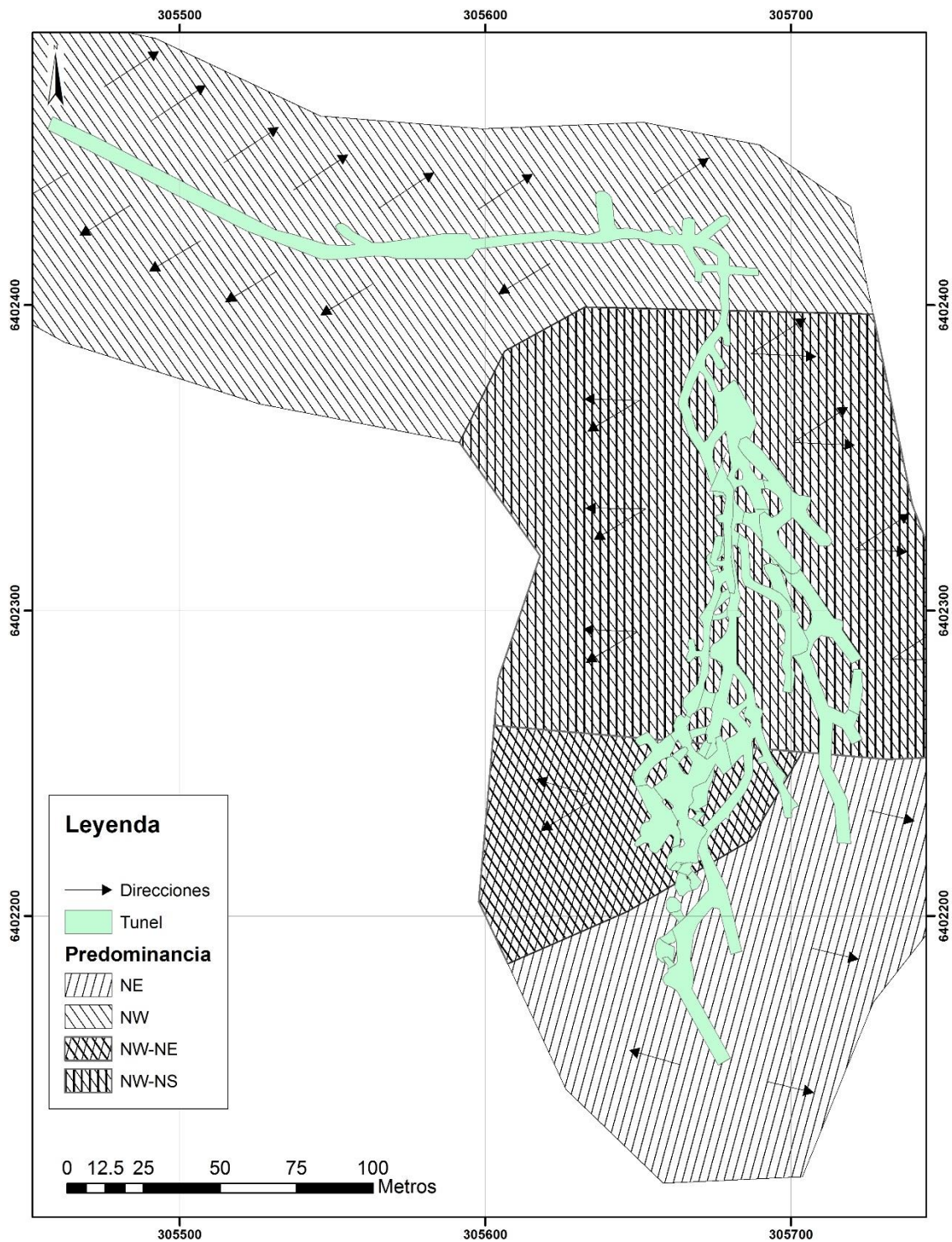


Figura 7.3.3. Áreas con dirección predominante de relleno de vetillas y diaclasas.

## 8. Discusiones

### 8.1 Analisis de yacimientos cercanos

#### 8.1.1 Mina El Sauce. Ricardo Castro (2003)

Esta se ubica al norte de la pertenencia a unos 10 km.

Se emplaza igualmente en la Formación Lo Prado en su miembro superior, en contacto con la Formación Veta Negra.

Se clasificó como Skarn de Cu, presentando minerales de alteración como cuarzo, feldespatos, anfíbola, epidota y clorita, que podrían representar la fase retrógrada.

Presenta además granates, ocupando hasta el 50% de la roca en algunos sectores.

El modelo de mineralización fija calcopirita como mena principal con bornita subordinada, y pirita en zonas perisféricas. Detalla la presencia de diques ocoíticos de hasta 5 metros de espesor y considera estos una fuente de mineralización.

Las principales menas son calcopirita y bornita subordinada, con halos de pirita perisférica.

#### 8.1.2 Mina El Soldado. Wilson et al (2003)

Se ubica 50 Km al sur de la pertenencia.

Las rocas presentes en el área de la mina corresponden a rocas volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior, compuestas por lavas y cuerpos subvolcánicos bimodales (ríodacitas y basaltos calcoalcalinos) intercalados con lutitas carbonatadas marinas y areniscas volcanoclásticas del Miembro Superior de la Formación Lo Prado (Zentilli et al., 2009). Estas rocas subyacen a andesitas ocoíticas y brechas andesíticas de la continental Formación Veta Negra (Wilson et al., 2003).

La mineralización aparece fuertemente controlada por estructuras N – S a NNW – SSE y manteos al W (Figura 14), sobre todo donde los sistemas de fallas N – S, E – W y NW – SE se intersectan. Las estructuras se habrían formado dentro de un jog de dilatación sinistral activo durante el Cretácico (Zentilli et al., 2009). Estas estructuras funcionaron como conductos mineralizadores en un primer lugar, pero tras su reactivación cortan la continuidad de los niveles mineralizados formando clusters (Maksaev et al., 2007).

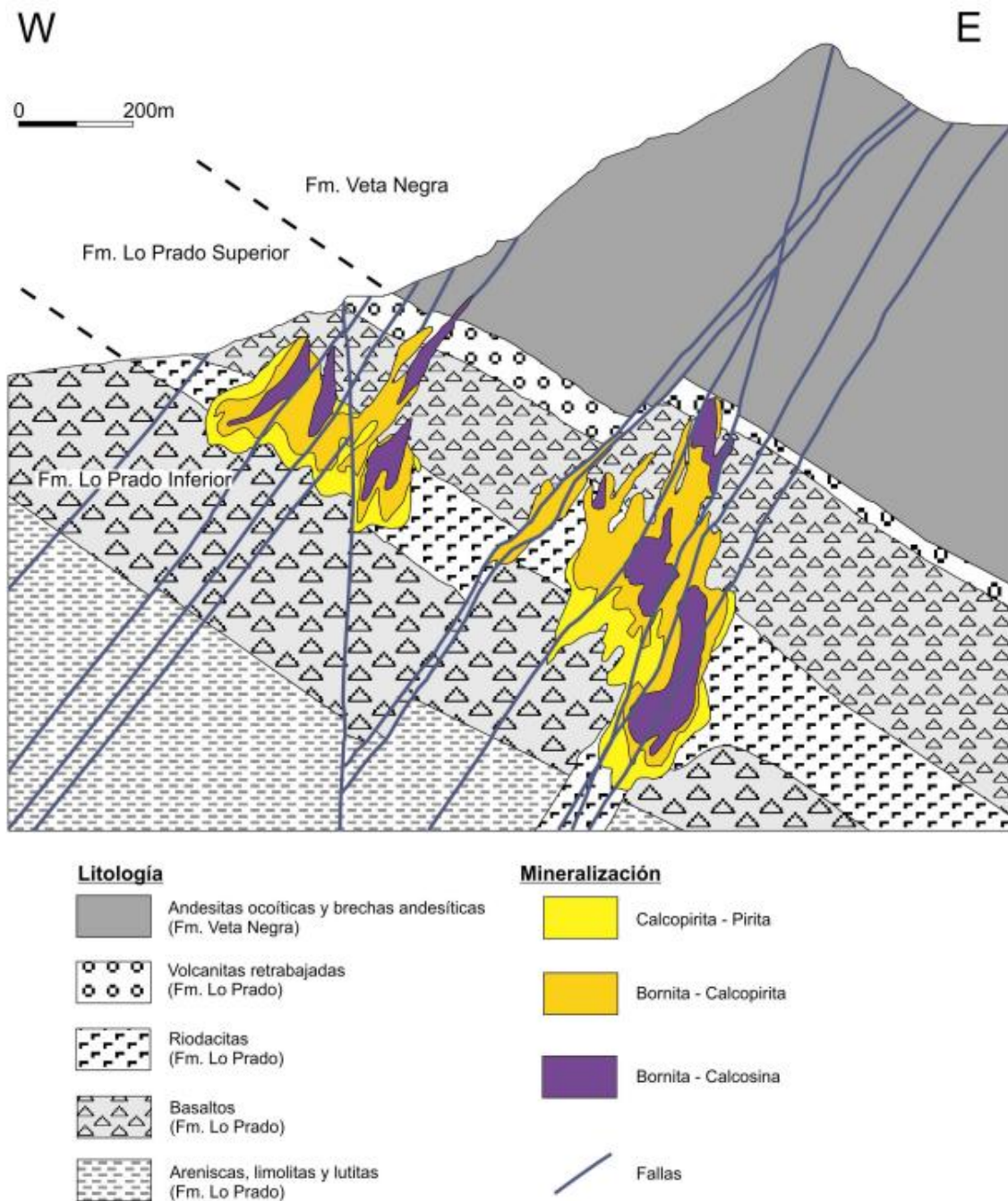
A pesar de este fuerte control estructural y algunas vetas ajenas a él, la mineralización se considera en general estratoligada, pues son los niveles de riodacita y, en menor cuantía los basaltos pertenecientes al Miembro Superior de la Formación Lo Prado, los que al comportarse de forma permeable permiten la formación del depósito (Wilson et al., 2003). Estos niveles

presentan mineralización de tipo diseminado, en vetillas y rellenando espacios primarios y secundarios (Maksaev et al., 2007).

La asociación mineral presente aparece zonada desde el centro de las estructuras, encontrándose en primer lugar una asociación calcosina – hematita – (bornita), seguida de una zona de bornita – calcopirita y en el exterior una de calcopirita – pirita (Wilson et al., 2003). Dichas zonas han sido lixiviadas a través de las mismas fallas, presentando parcialmente la misma disposición de arriba a abajo, con zonas menores de minerales oxidados de cobre y mixtos.

Minerales de ganga asociados a la mineralización corresponden a pirita, hematita, calcita, clorita, albita, microclina, bitumen y menor esfalerita, galena y arsenopirita. Se observan abundantes minerales de alteración hidrotermal asociados como calcita, albita, microclina – ortoclasa y menores cuarzo, epidota, titanita, rutilo, muscovita y arcillas, relacionados nuevamente a las estructuras y a los contornos de los cuerpos mineralizados (Wilson et al., 2003).

El origen de la mineralización es aún tema de controversia (Maksaev et al. 2007), pero algunas publicaciones (Wilson et al., 2003, Zentilli et al., 2009) proponen un sistema en dos fases: la primera consistiría en un proceso de diagénesis bacterial a baja temperatura (< 90 °C) de petróleo generado en la cuenca, de donde se obtendría un halo general de pirita framboidal y coliforme junto a pirobitumen. El segundo paso correspondería a la adición posterior de fluidos hidrotermales que reemplazarían la pirita por sulfuros de cobre debido al metamorfismo regional producto de las intrusiones del Cretácico Inferior, siendo ésta la fecha estimada para el depósito ( $103 \pm 1,3$  Ma,  $40\text{Ar}/39\text{Ar}$  en feldespatos potásicos; Wilson et al., 2003). Los datos de ley entregados indican que el yacimiento presenta 200 millones de toneladas con ley promedio de 1,35% de cobre (Boric et al., 2002, citado en Wilson et al., 2003).



**Figura 8.1.2** Sección en Mina El Soldado que muestra la correlación estratigráfica y estructural de la mineralización. Cuerpos Filo (izquierda) y Valdivia Sur (derecha). Modificado de Wilson et al. (2003).

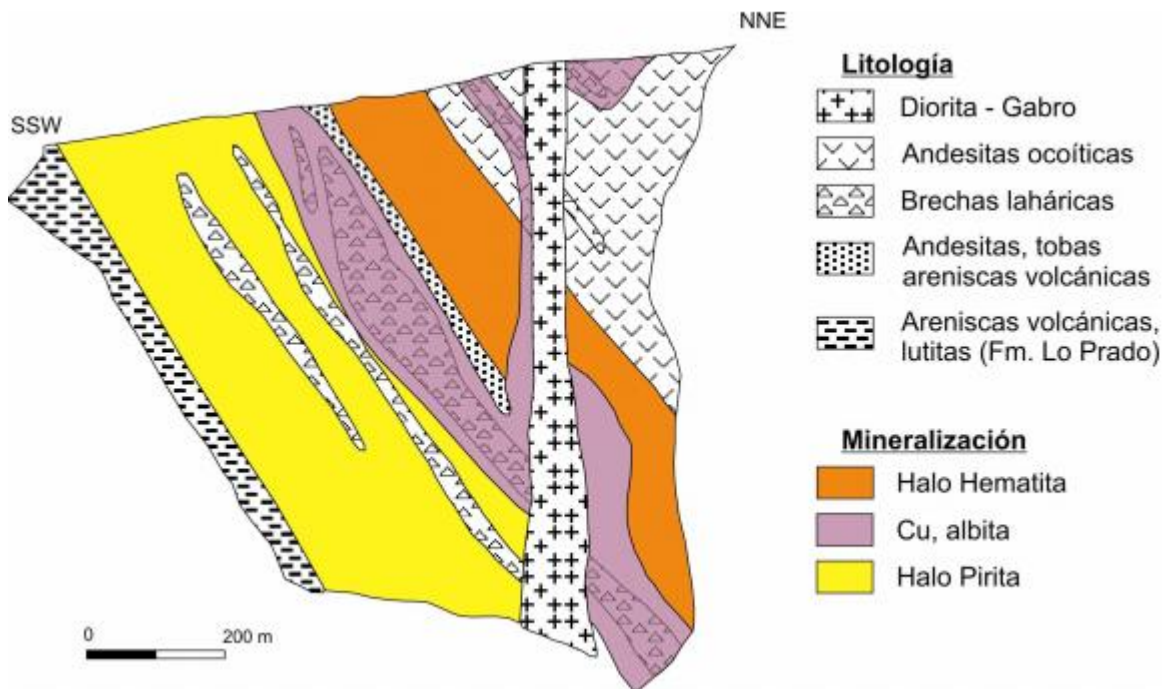
### 8.1.3 Lo Aguirre. Saric et al (2003)

Ubicado a 22 Km. al oeste de Santiago, el Yacimiento de Lo Aguirre se encuentra alojado en la Región Metropolitana, a un costado de la carretera que une Santiago con Valparaíso (33° 26' S 70° 55' W). Las unidades aflorantes en el área corresponden en primer lugar a rocas volcánicas intermedias a ácidas con intercalaciones sedimentarias, compuestas principalmente por andesitas, dacitas, riolitas, tobas, brechas y areniscas de contactos difusos. Dichos niveles se presentan con un rumbo aproximado de N10°W a N20°W con manteo de 70° al E siguiendo la disposición homoclinal general de las rocas de la Cordillera de la Costa. En base a la geología regional, Saric et al. (2003) asignó estas capas al Miembro Purehue de la Formación Veta Negra (Cretácico Inferior). Hacia el sur del yacimiento se encuentra un paquete de tobas y areniscas bien estratificadas asignadas a la Formación Lo Prado (Cretácico Inferior).

La mineralización cuprífera del yacimiento se encuentra asociada a las unidades volcánicas ácidas del nivel inferior de la Fm. Veta Negra, como dacitas porfídicas, riolitas porfídicas o fluidales y brechas dacíticas y riolíticas de características laháricas y con contenidos de K<sub>2</sub>O cercanos al 10% (Saric et al., 2003). También aparece asociada al contacto con la diorita estéril.

La mineralización se aloja según una faja de dirección aproximada NNW – NW, coincidente con la estratificación regional. Se produce de forma diseminada, rellenando vesículas y fracturas, en vetillas post litología y reemplazando fenocristales. La mineralización de sulfuros de cobre corresponde a bornita, calcosina y calcopirita con escasa covelina, digenita y trazas de pirita. Se encuentra zonada en halos concéntricos, con mayores contenidos de cobre en el centro de los cuerpos y en la parte superior del yacimiento. Siguiendo este orden, las sucesivas asociaciones corresponden en un primer lugar a bornita – calcosina, seguido de bornita – calcopirita, pirita – calcopirita y finalmente en el exterior y en profundidad, pirita (Saric et al., 2003). La gradación vertical se debería al proceso supérgeno que genera así mismo un perfil de oxidación, con minerales de malaquita y crisocola (junto a cuprita y azurita subordinada) que gradan a través de una zona de mixtos en la zona de sulfuros. Los minerales de ganga son principalmente cuarzo y calcita, junto a menores cantidades de clorita, sericita, arcillas y albita. De esta forma se conforman varias franjas de alteración, siendo la asociación cuarzo – calcita – clorita la predominante en la zona superior del yacimiento dentro de las andesitas, con presencia de especularita fina diseminada. En la zona media, aquella propiamente mineralizada, la alteración corresponde a una de tipo cuarzo – albita – sericita en forma de vetillas y fracturas. Finalmente, en la parte inferior del yacimiento la alteración masiva de clorita – arcilla borra la textura de la roca, apreciándose en algunas zonas más frescas trazas de pirita – sericita diseminada (Saric et al., 2003). Según Saric et al. (2003) no existe un control estructural evidente para la mineralización, pues todas las fallas detectadas se han interpretado como postminerales, pero no descarta que haya habido fallamiento premineral, cuya evidencia haya sido borrada en terreno. De todas formas plantea la opción de que los fluidos ricos en cobre hayan ascendido por estructuras y se hayan depositado allí - 53 - donde éstas cruzan un frente de reducción-oxidación pre-existente estratigráfico, asociados a los lentes laháricos. La datación realizada por el método 40Ar/39Ar en albita de rocas mineralizadas entrega una edad de 102 ± 5 Ma (Maksaev y Zentilli, 2002; citado en Saric et al., 2003), que podría correlacionarse con el emplazamiento de batolitos del Cretácico Inferior al noreste y sureste del igualmente estratoligado yacimiento de El Soldado

(Maksaev et al., 2007). Hasta su cierre en el año 2000, del yacimiento se extrajeron un estimado de 19 millones de toneladas con ley promedio de 1,66% de cobre.



**Figura 8.1.3. Sección de perfil mostrando la mineralización esquemática de la Mina Lo Aguirre. La mineralización de cobre se encaja en brechas laháricas tras ascender por estructuras y encontrarse un frente estratigráfico pre-existente de reducción-oxidación. Modificado de Saric et al. (2003).**

## 8.2 Discusión del modelo óptimo.

Mina Rafaela posee mineralización en direcciones NE-SW, de sulfuros de cobre caracterizados por calcopirita mayormente, con bornita en núcleos cercanos a vetas que corresponden a fallas normales. Pirita se da en halos externos. En este sentido tiene similitud al modelo de mineralización observado en el yacimiento El Soldado, el cual presenta dicha zonación de minerales y además muestra un fuerte control estructural en su mineralización, alojándose además en las mismas unidades litológicas.

La diferencia es que El Soldado presenta núcleos con calcosina-hematita-bornita, que si bien ocurren en Mina Rafaela, no son tan frecuentes. De hecho, en el yacimiento apenas se ha reportado ocurrencia de especularita y no asociada a calcosina, sino más bien cercano a estratos volcánicos de composición andesítica y alejados de estructuras principales.

Además El Soldado muestra mineralización de ganga de cuarzo, calcita, clorita, sericita y albita, de los cuales, solo calcita y clorita aparecen en el yacimiento de Mina Rafaela.

Comentando el tipo de mineralización de Skarn de Cu visto en El Sauce, el cual presenta mineralización principal de calcopirita y pirita, además la presencia de granates en el yacimiento es una gran evidencia de alteración a altas temperaturas, sin embargo, los modelos de emplazamiento son diferentes, ya que en el Sauce, la mineralización se ve asociada principalmente a diques andesíticos. Este tipo de mineralización se observa en mina Rafaela en las estructuras de dirección NW-SE a N-S, sin embargo no se asemeja lo suficiente como para clasificar el yacimiento de tal manera.

En cuanto al yacimiento de Lo Aguirre, muestra una zonación mineralógica distinta, donde hematita ocurre en el techo de una unidad estratificada y la mena se halla cercana a diques dioríticos, dejando pirita en la base de la estratificación. Además la principal mena, al igual que El Soldado, corresponde a calcosina-bornita, lo cual dice finalmente que este yacimiento no comparte muchas características con el yacimiento de Mina Rafaela.

En resumen, este yacimiento posee algunas características de cada tipo de clasificación:

**Tabla 8.2. Características del yacimiento.**

Mina Rafaela	El Soldado	El Sauce	Lo Aguirre
Minerales de ganga			
Minerales de mena			
Modelo de emplazamiento			

Se puede deducir que es un yacimiento transicional entre Estratoligado (al sur) y Skarn (al norte) teniendo características mineralógicas de Skarn y de estratoligado de Cu (Ag), según direcciones preferenciales de mineralización de la mina.

A pesar de ser transicional, para la siguiente discusión sobre la estimación de recursos geológicos, se utilizara el modelo estratoligado, ya que muestra la disposición real de los cuerpos mineralizados independiente de su mineralogía.

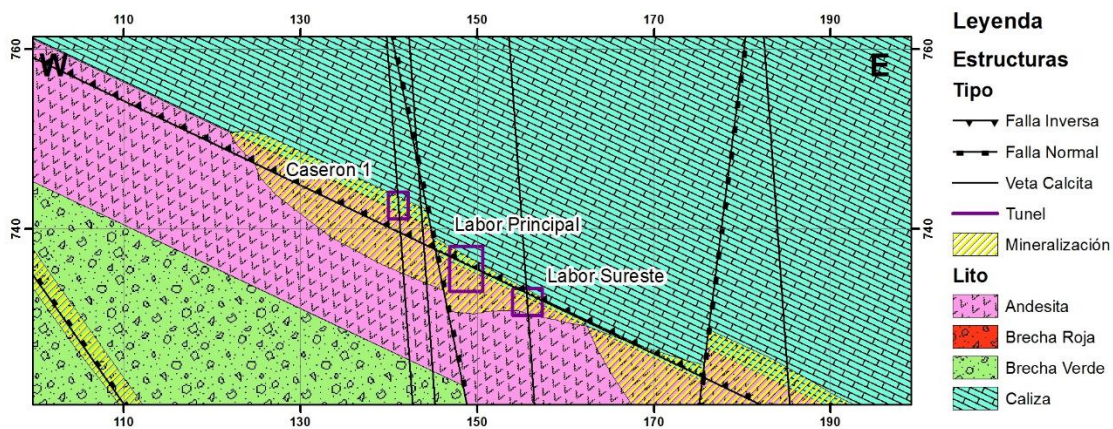


### 8.3 Modelo de mineralización y cubicación.

Se puede observar que este yacimiento responde a un sistema mantiforme, asociado a una estructura mineralizadora.

Esto quiere decir, que la mineralización se alberga en un nivel estratificado, pero en las cercanías a una veta, que en este caso corresponde a fallas normales.

Observando el perfil 2, en un zoom cercano a las labores de la mina, podemos apreciar la disposición de la mineralización. Los mantos tienen un espesor de 1 a 2 metros en lutitas y de 5 a 8 metros en andesitas y areniscas. Su alcance horizontal desde la estructura mineralizadora es de 12 a 20 metros a cada costado, dependiendo de la clase de la veta.



**Figura 8.3.1 Acercamiento a Perfil 2 en labores, modelo de mineralización.**

Como se aprecia en la Figura 8.3.1 podemos ver en las labores, que la mineralización ocurre en el contacto de la unidad volcánica andesítica con la unidad sedimentaria de Calizas, justamente en el entorno del contacto entre estas con las estructuras mineralizadoras correspondientes a fallas normales.

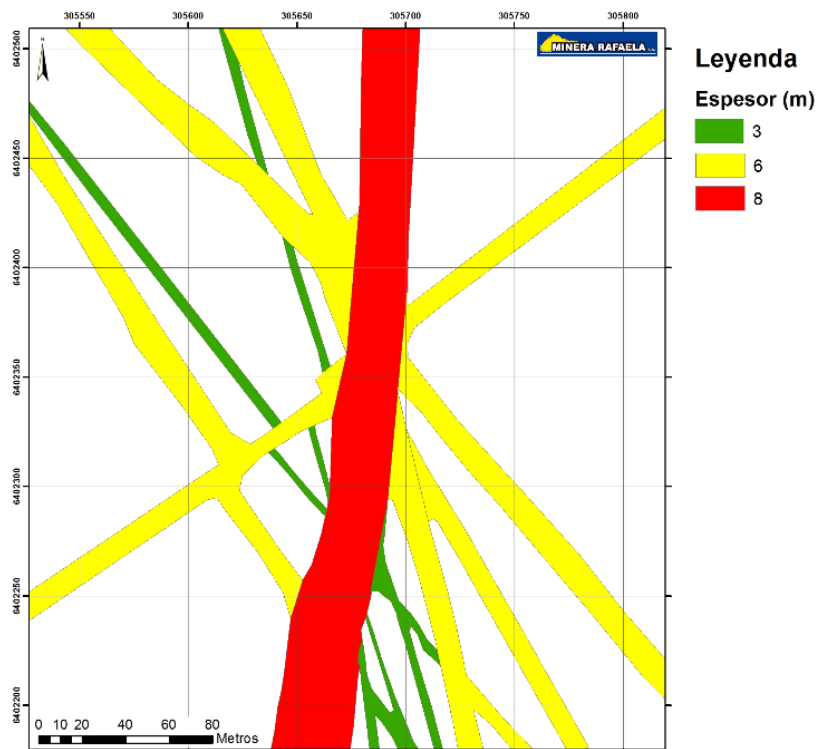
Hay que destacar que el comportamiento de dichas estructuras mineralizadoras es distinto para cada una, y para ello se realizará una clasificación de ellas de acuerdo a sus anchos de mineralización.

Dicha clasificación se ve a continuación:

Veta A: De 50 cm o más de espesor en relleno de calcita, con salbanda de falla de más de 10 cm, produce mantos de 8 metros de espesor y hasta 20 metros de alcance horizontal. (Rojo en figura 8.3.2)

Veta B: menos de 50 cm de espesor en relleno de calcita, con salbanda de falla de menos de 10 cm, produce mantos de hasta 6 metros de espesor y hasta 16 metros de alcance horizontal. (Amarillo en figura 8.3.2)

Veta C: veta de menos de 5 cm de espesor en relleno de calcita, sin salbanda de falla, produce mantos de menos de 3 metros de espesor y de 1 o 2 metros de alcance horizontal. (Verde en figura 8.3.2)



**Figura 8.3.2. Clases de veta y sus espesores.**

Utilizando esta información se procedió a elaborar los modelos de mineralización asociados a cada contacto. Se dimensionaron áreas que detallan la zona mineralizada y se muestra la litología principal de la unidad, separándose en volcánica y sedimentaria. Se tomó áreas con ley sobre 1%, con mineralización de Ccp>Py y Bn-Ccp.

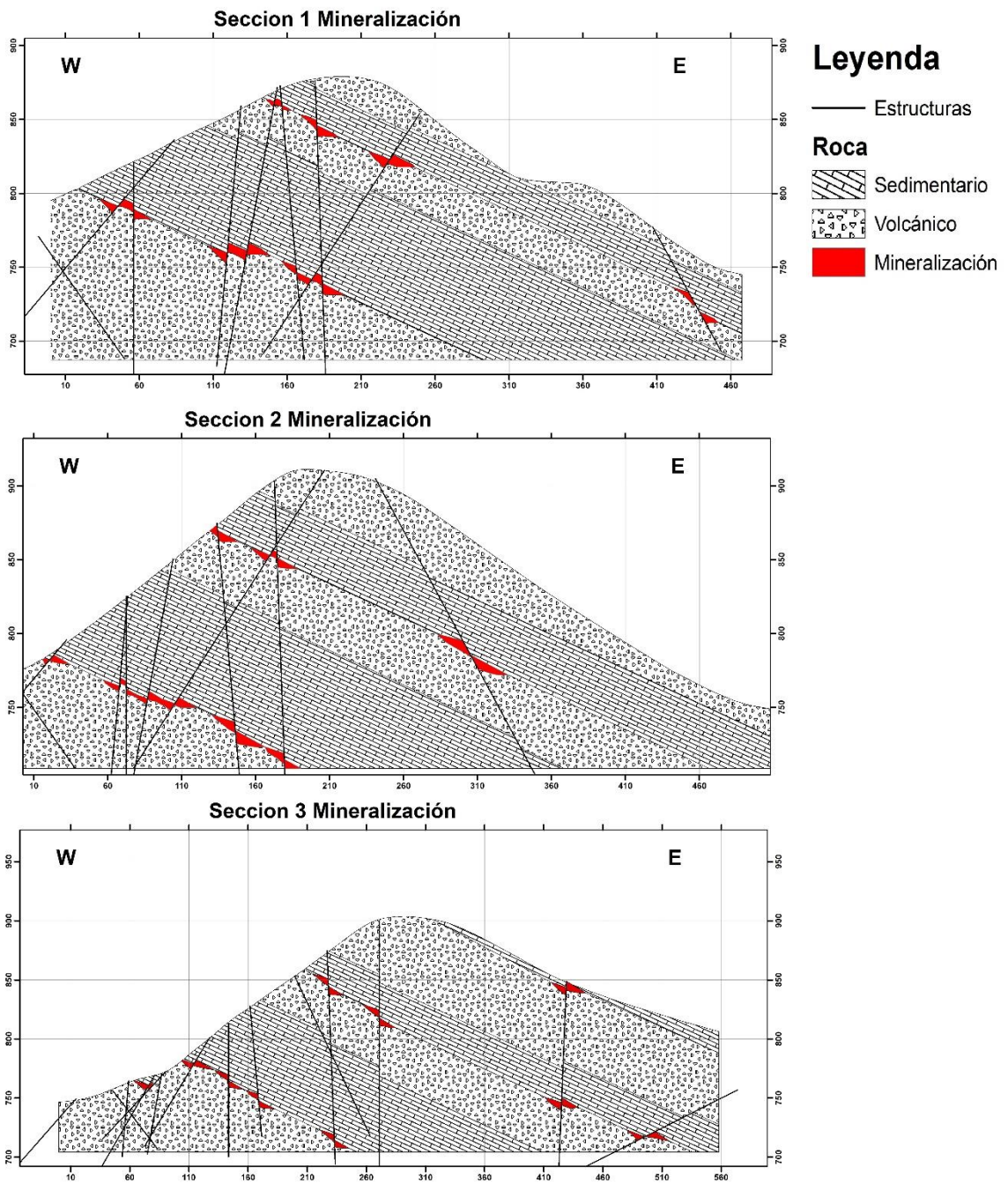
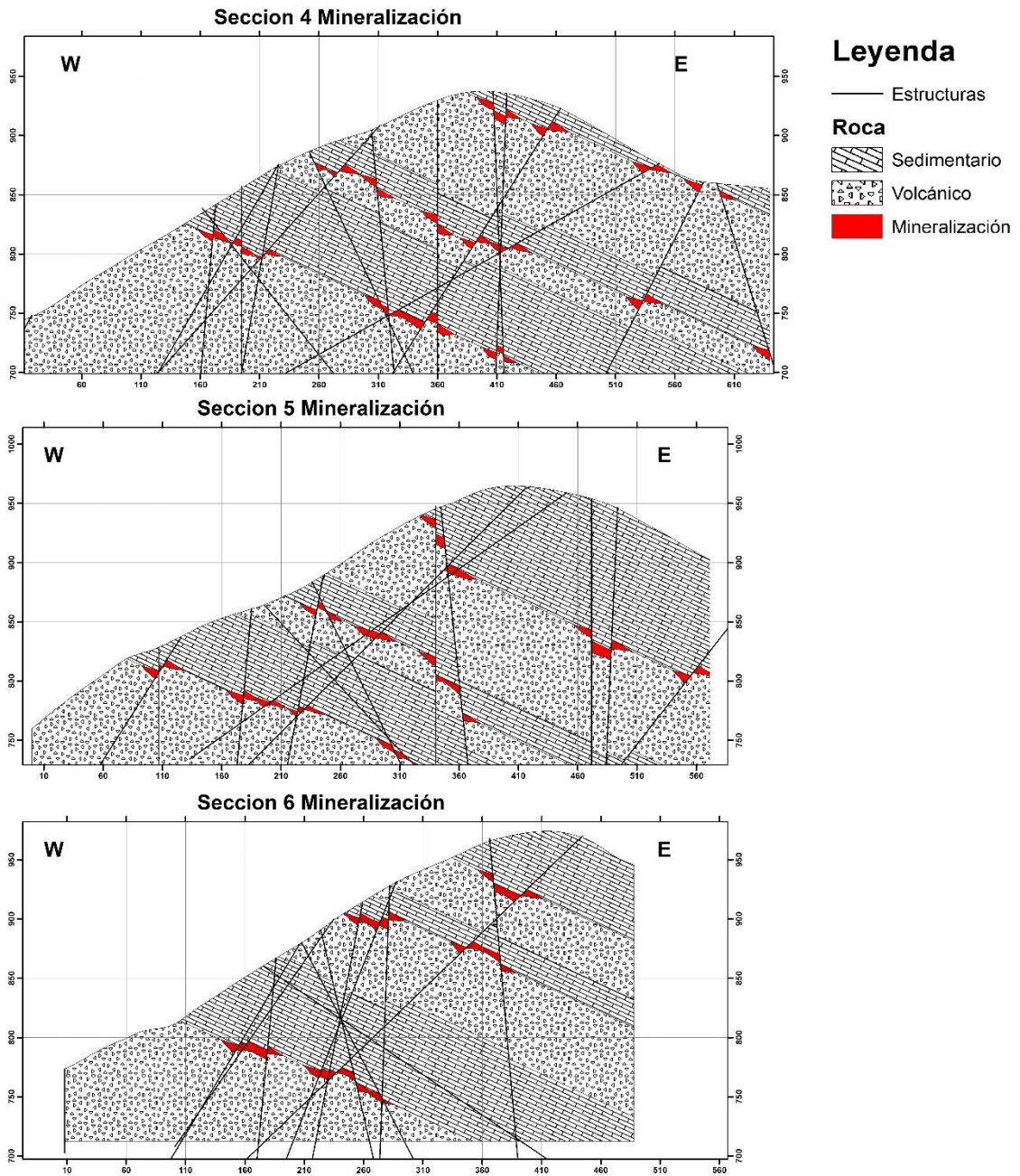
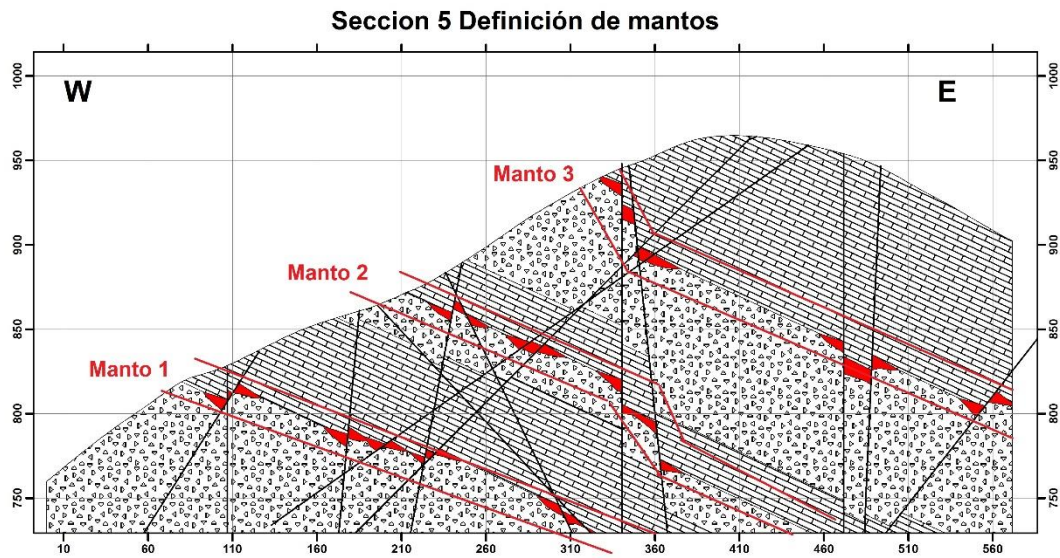


Figura 8.3.3. Secciones 1, 2 y 3 con mineralización en Mantos.



**Figura 8.3.4. Secciones 4, 5 y 6 con mineralización en Mantos.**

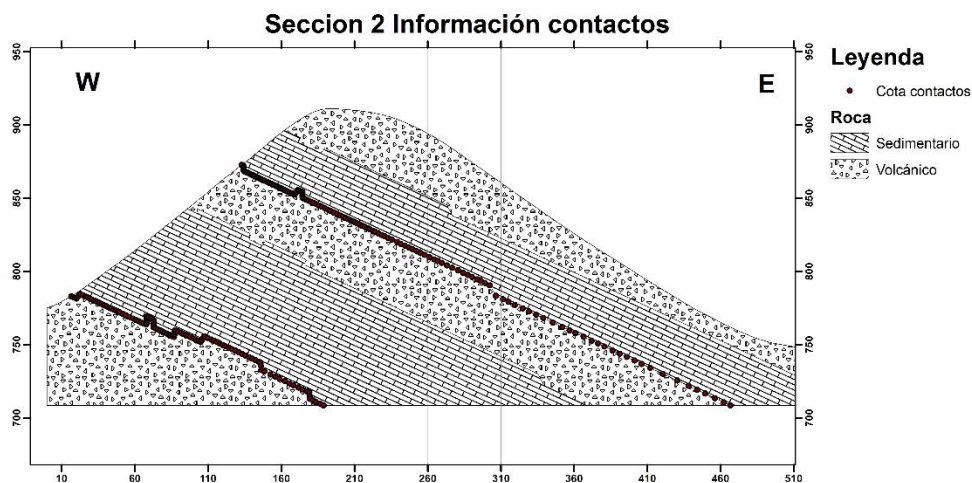
Como se puede apreciar en las figuras anteriores, dada la configuración espacial, se puede realizar una definición de 3 zonas principales de presencia de mineralización, asociadas a cada contacto entre una unidad volcánica y una sedimentaria. Estos niveles los llamaremos Manto 1, Manto 2 y Manto 3.



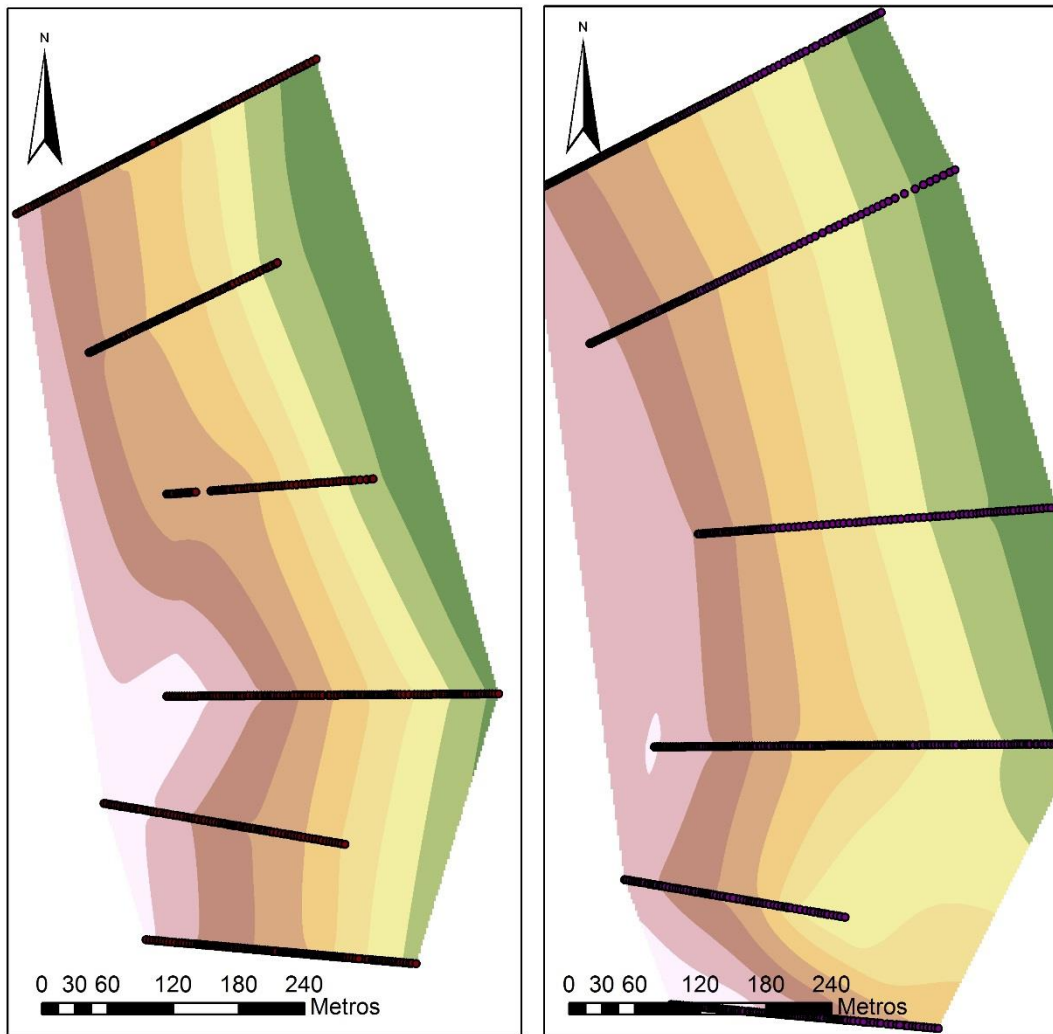
**Figura 8.3.5. Sección 5 mostrando definición de mantos mineralizados.**

Estos mantos presentan una inclinación de  $25^\circ$  al este, según mapeo regional, dentro de estos mantos se intersectan las fallas normales, interpretadas como vetas mineralizadoras, para obtener las áreas de interés.

Para realizar el cálculo de recursos solo se toma en cuenta los mantos asociados a Vetos de Clase A y B, ya que los Clase C solo se pueden proyectar dentro de las labores a menor escala. Utilizando la información de altura de cada contacto en cada perfil (Figura 8.3.6) se disponen de manera horizontal y se generan las áreas de cada manto. En la Figura (8.3.7), se muestran dos de los tres mantos analizados, y la figura (8.3.6) muestra estos dos en una sección.



**Figura 8.3.6. Sección 5 mostrando definición de mantos mineralizados.**



**Manto 1**

●	Contactos Manto 1
■	687.1021118 - 702.4699097
■	702.4699098 - 717.8377075
■	717.8377076 - 733.2055054
■	733.2055055 - 748.5733032
■	748.5733033 - 763.9411011
■	763.9411012 - 779.3088989
■	779.308899 - 794.6766968
■	794.6766969 - 810.0444946
■	810.0444947 - 825.4122925

**Manto 2**

●	Contactos Manto 2
■	704.1732178 - 726.4334242
■	726.4334243 - 748.6936306
■	748.6936307 - 770.9538371
■	770.9538372 - 793.2140435
■	793.2140436 - 815.4742499
■	815.47425 - 837.7344564
■	837.7344565 - 859.9946628
■	859.9946629 - 882.2548692
■	882.2548693 - 904.5150757

**Figura 8.3.7. Visualización de mantos 1 y 2. Información de cada perfil y valores de altitud en m.s.n.m.**

Manto 1: Posee un área mineralizada de 93.646 m<sup>2</sup>.

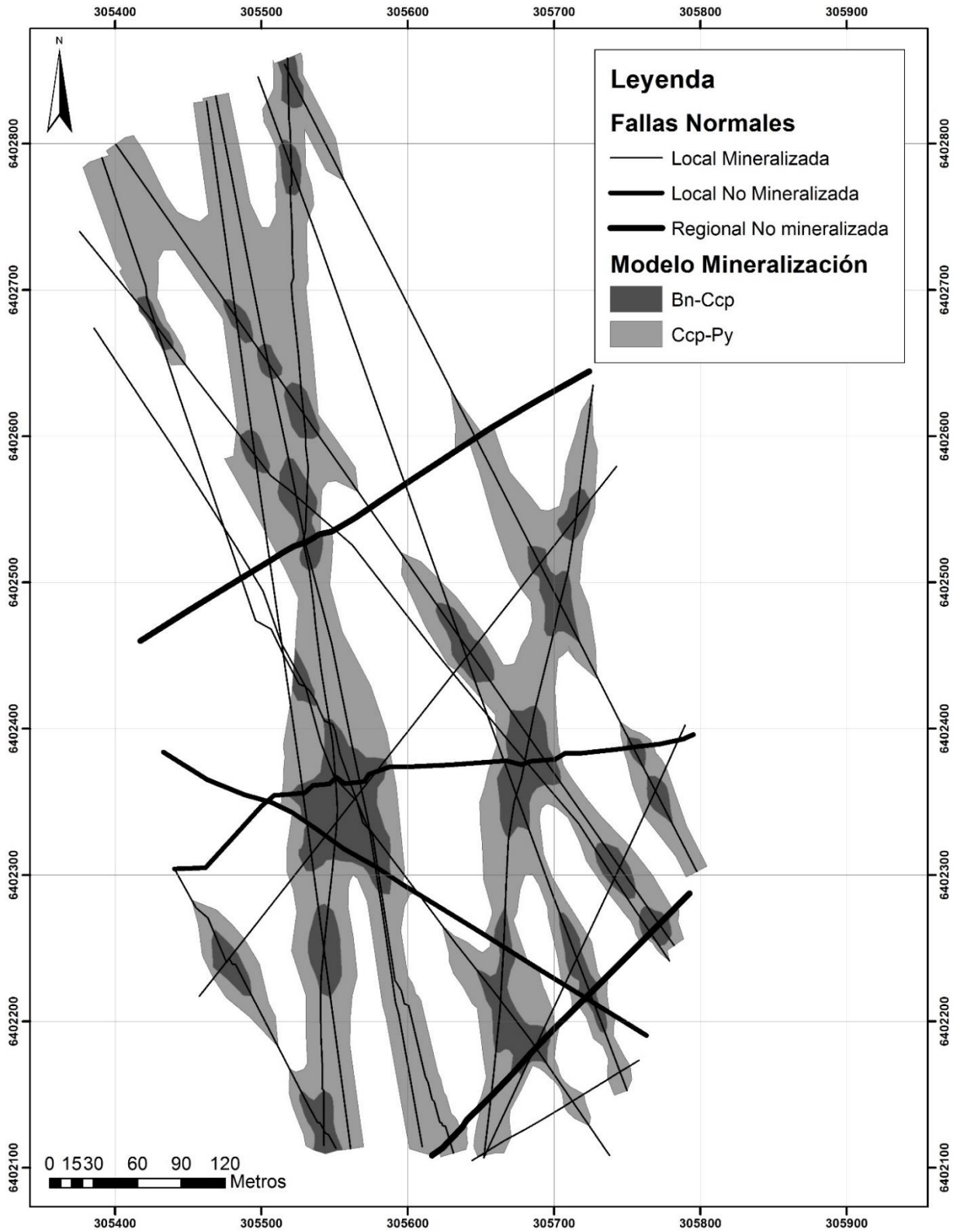


Figura 8.3.8. Mineralización asociada a Manto 1. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia.

Manto 2: Posee un área mineralizada de 81.448m<sup>2</sup>. Debido al desplazamiento al este, gran parte de su área se encuentra fuera de la pertenencia.

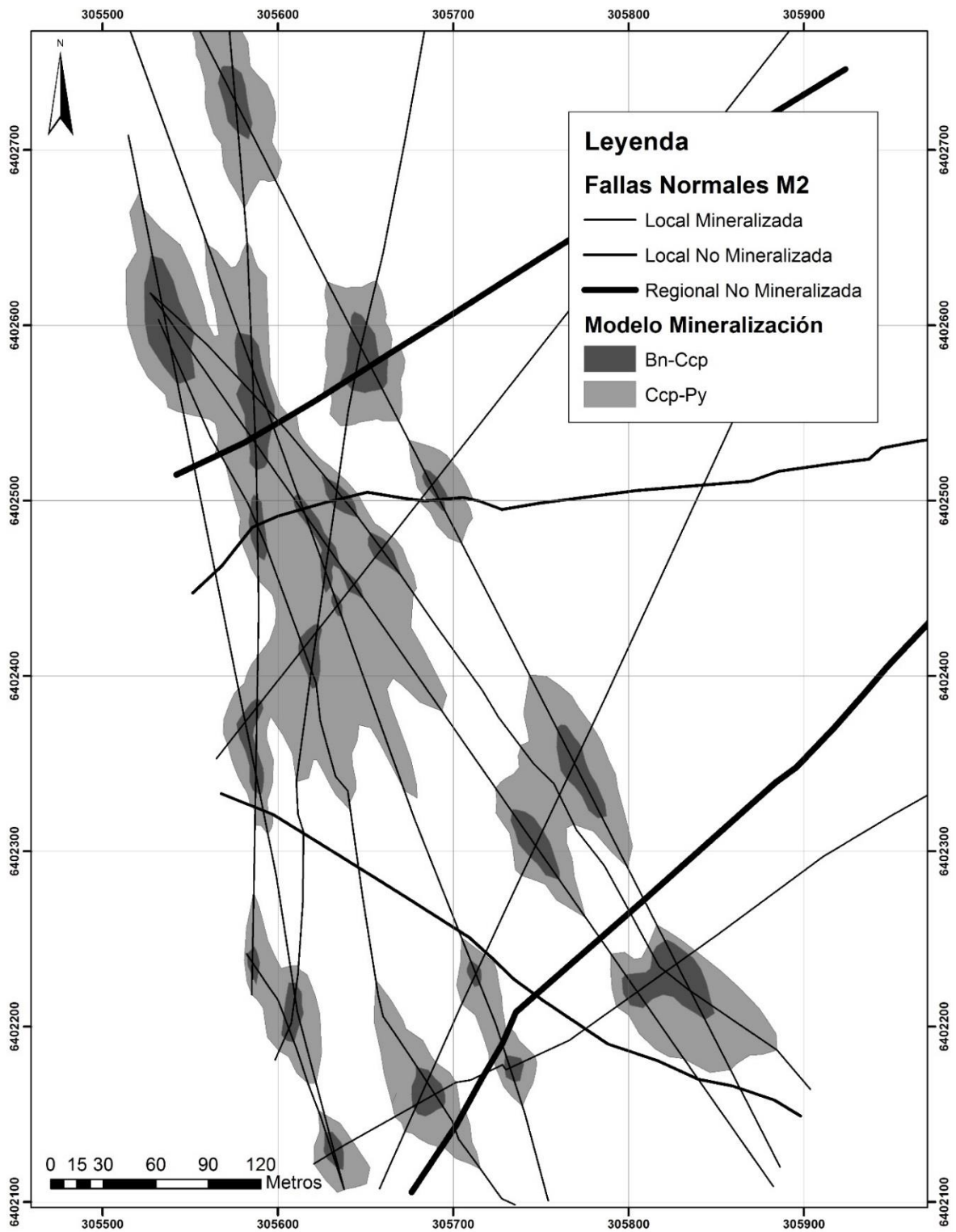


Figura 8.3.9. Mineralización asociada a Manto 2. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia.



Manto 3: Posee un área mineralizada de 36.960 m<sup>2</sup>. Se encuentra casi en su totalidad fuera de la pertenencia.

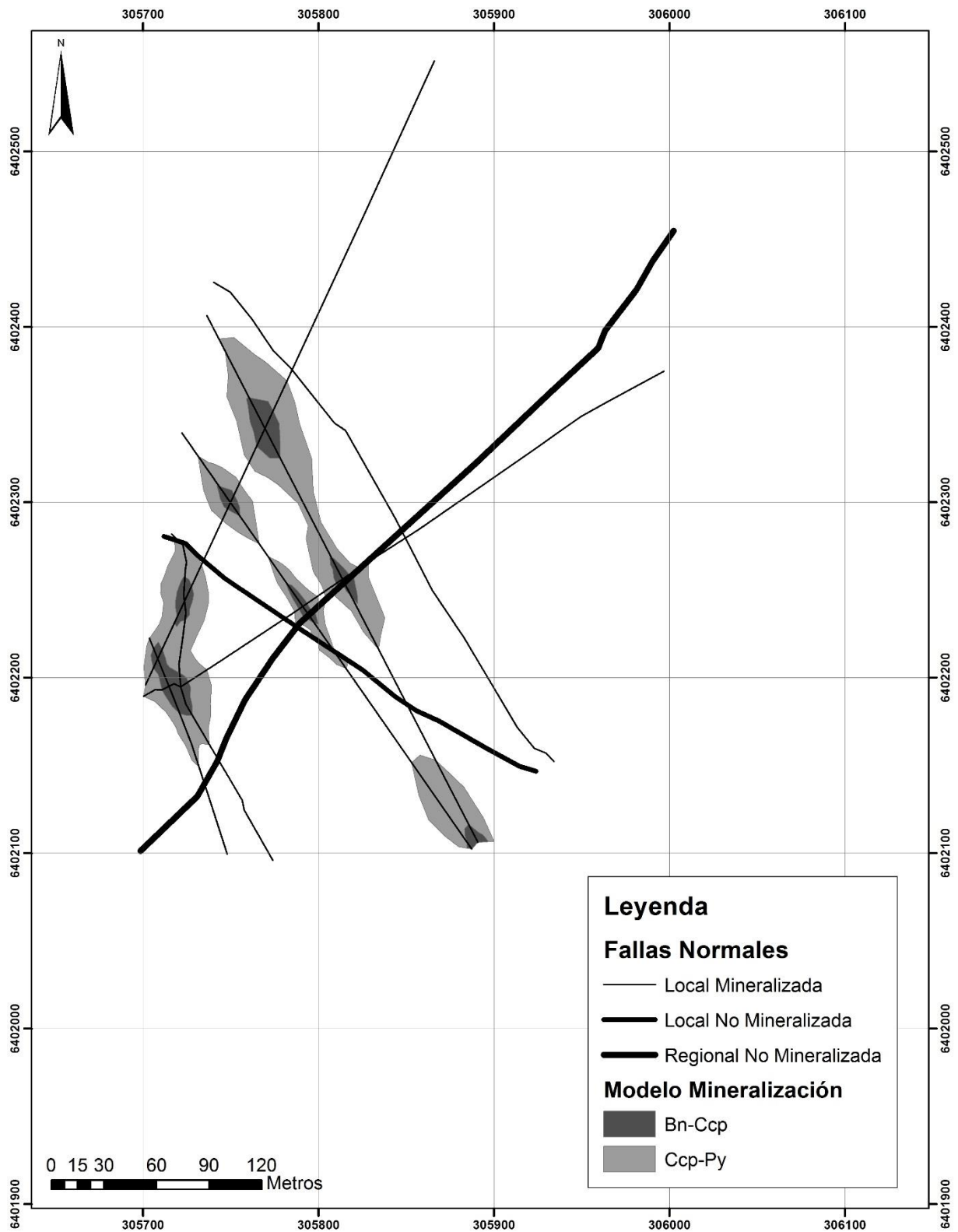


Figura 8.3.10. Mineralización asociada a Manto 3. Proyección Horizontal de plano inclinado 25° al E. Fuente: Elaboración Propia.

Este modelo sirvió de guía para la proyección de labores a partir de mayo del 2017, con lo cual se logró aumentar la producción mensual a 2000 toneladas.

Se realizó una clasificación de los recursos en medidos, indicados e inferidos mostrados en las siguientes figuras.

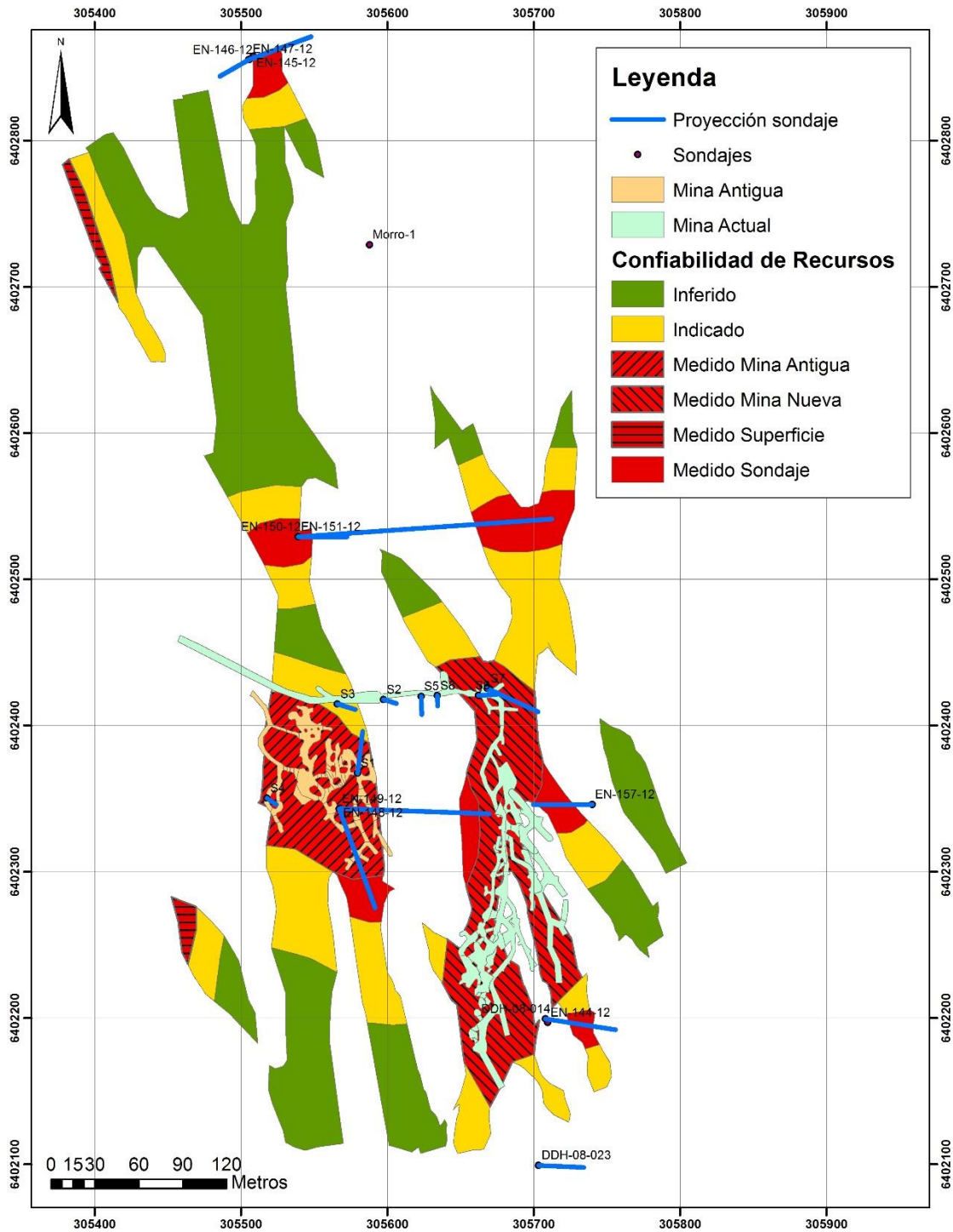


Figura 8.3.11. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 1.

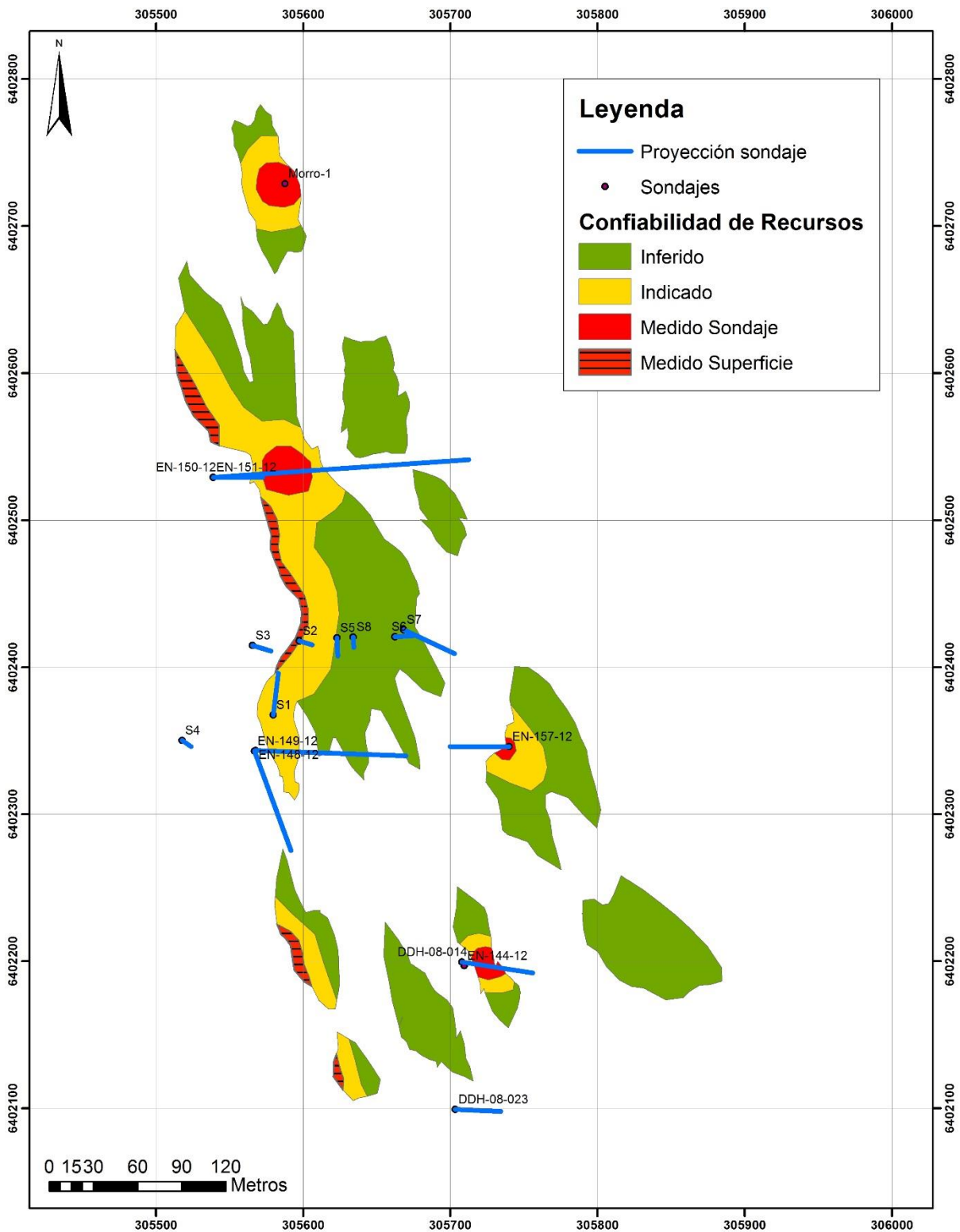
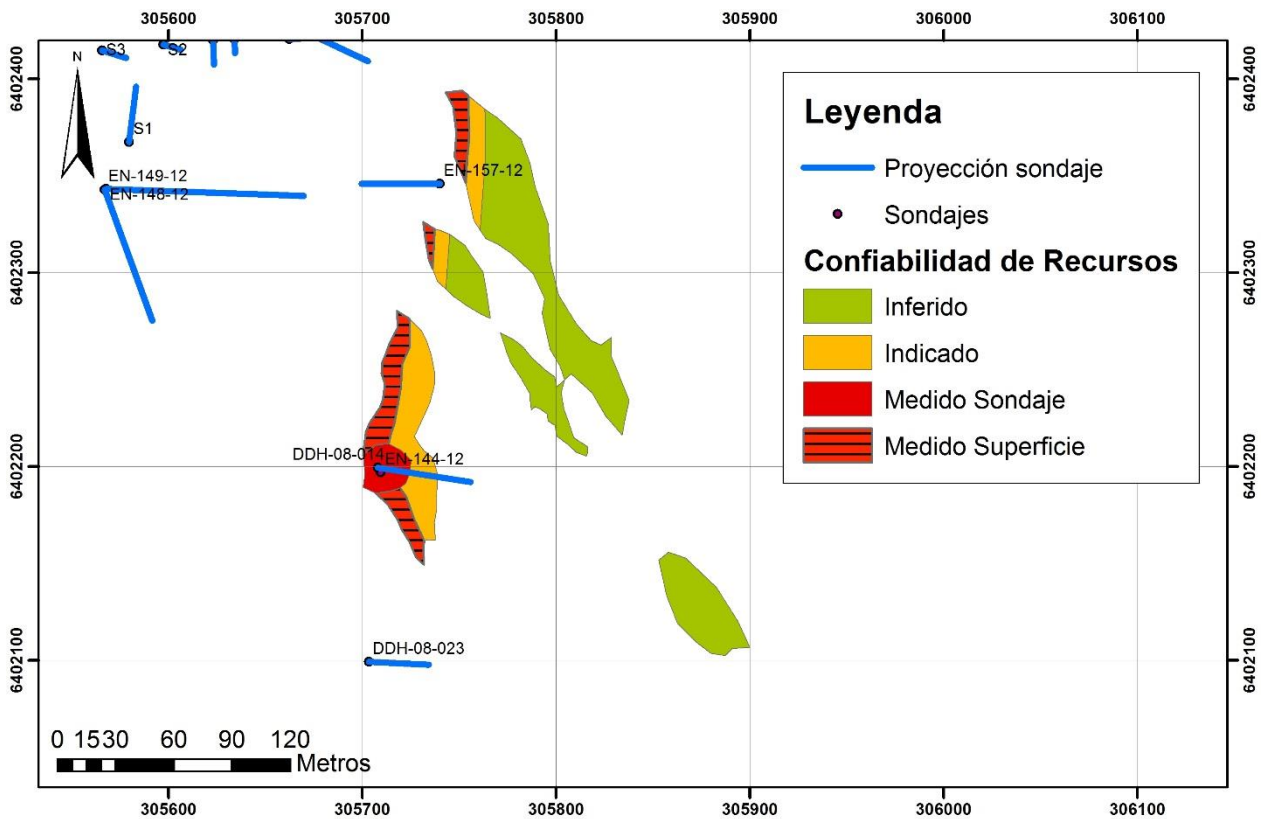


Figura 8.3.12. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 2.



**Figura 8.3.13. Clasificación de recursos minerales medidos, indicados e inferidos en manto 3.**

Se tiene entonces un total de 2.9 millones de toneladas de mineral de cobre de los cuales 750 mil toneladas corresponden a recursos medidos, 790 mil toneladas a recursos indicados y 1.4 millones de toneladas a recursos inferidos.

En cuanto a recursos medidos, se tiene un total de 198 mil toneladas medidas en sondajes, 460 mil toneladas medidas en labores interiores y 86 mil toneladas medidas en superficie.

El total de recursos por manto es el siguiente:

Para el manto 1 se tiene un total de 1.6 millones de toneladas lo que lo convierte en el volumen más grande de mineralización en el sector.

El manto 2 tiene un total de 1 millón de toneladas en donde casi  $\frac{3}{4}$  corresponden a recursos inferidos.

El manto 3 tiene un total de 214 mil toneladas con la mitad de ellas inferidas, lo que lo convierte en el volumen más pequeño.

Se muestra a continuación la tabla con los datos obtenidos.

**Tabla 8.3. Cálculo de recursos minerales.**

		Recursos Minerales Mina Rafaela				
Manto 1.			Tonelaje		Manto 2.	
Medidos	Labores Mina Antigua		172,476		Medidos	Sondajes
	Labores Mina Nueva		285,574			Superficie
	Sondajes		141,415		Indicados	
	Superficie		22,982		Inferidos	
Indicados			470,902			Total
Inferidos			544,169			1,061,208
			Total			
			1,637,518			

Recursos Totales:		2,912,738
Recursos Totales medidos:		742,435
Recursos Totales Indicados:		793,714
Recursos Totales Inferidos:		1,376,590

Manto 3.			
Medidos	Sondajes		10,714
	Superficie		29,441
Indicados			46,850
Inferidos			127,008
		Total	214,013

#### 8.4 Muestras analizadas.

Se tomó muestras durante los meses de Julio, Agosto y Septiembre del año 2016, de la producción, marinas, labores, camiones y acopios, asociados a la extracción de mineral de las áreas correspondientes a los mantos anteriormente descritos, en específico al Caserón 2.

Se realizó muestreo de canaletas del ancho de labores a lo largo de las labores del sur.

Se realizó una interpolación de leyes tanto en horizontal a lo ancho de los mantos, como en área vertical, utilizando los métodos de interpolación otorgados por el software Arcgis, en particular el método IDW.

Se correlacionó con el modelo de mineralización y las zonaciones de menas, en el modelo de área vertical, viendo que concuerdan en gran parte de las áreas demarcadas, sin embargo las áreas horizontales no parecen tener una relación directa.

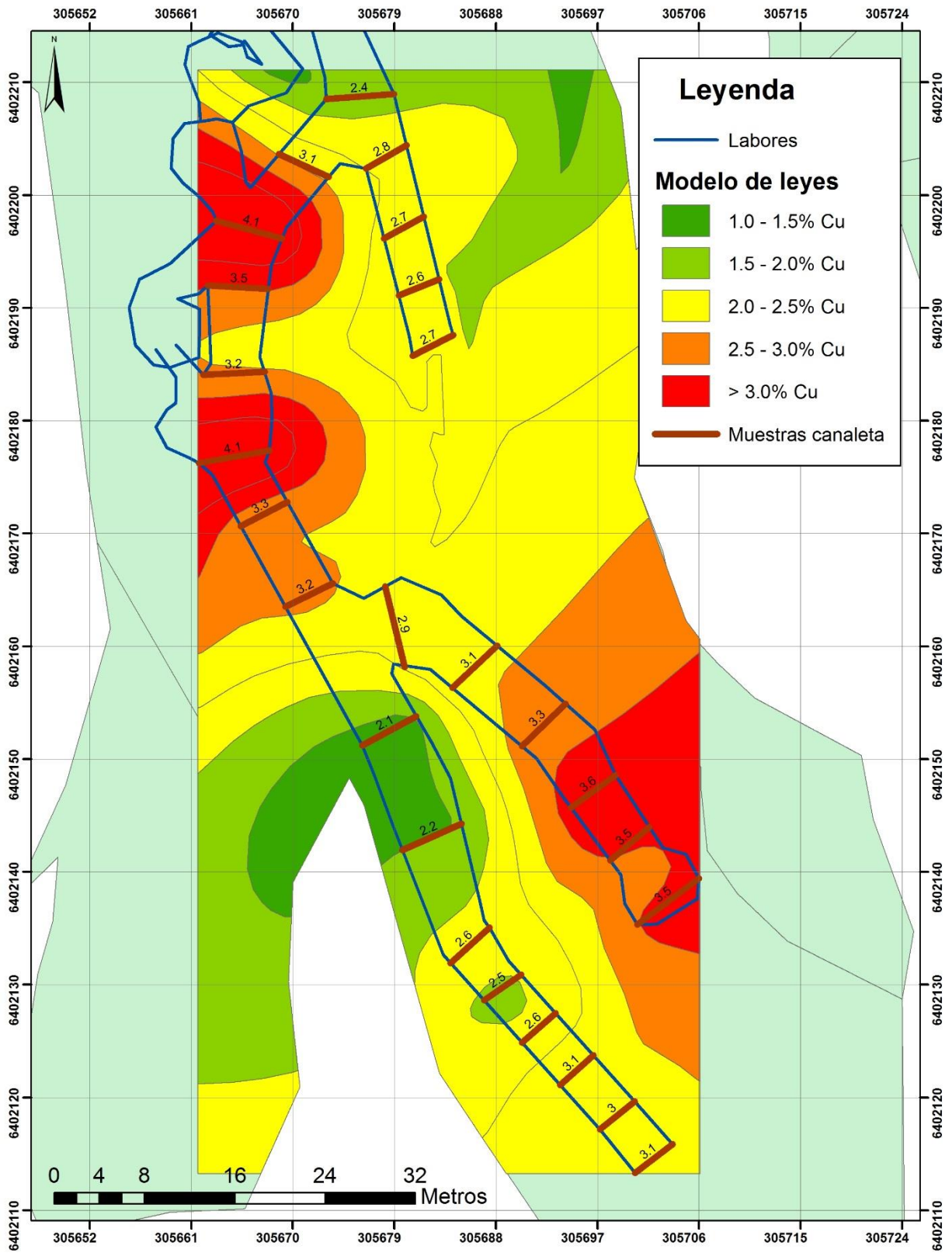


Figura 8.4.1. Distribución de muestras en canaleta en labores del sur e interpolación mediante IDW.

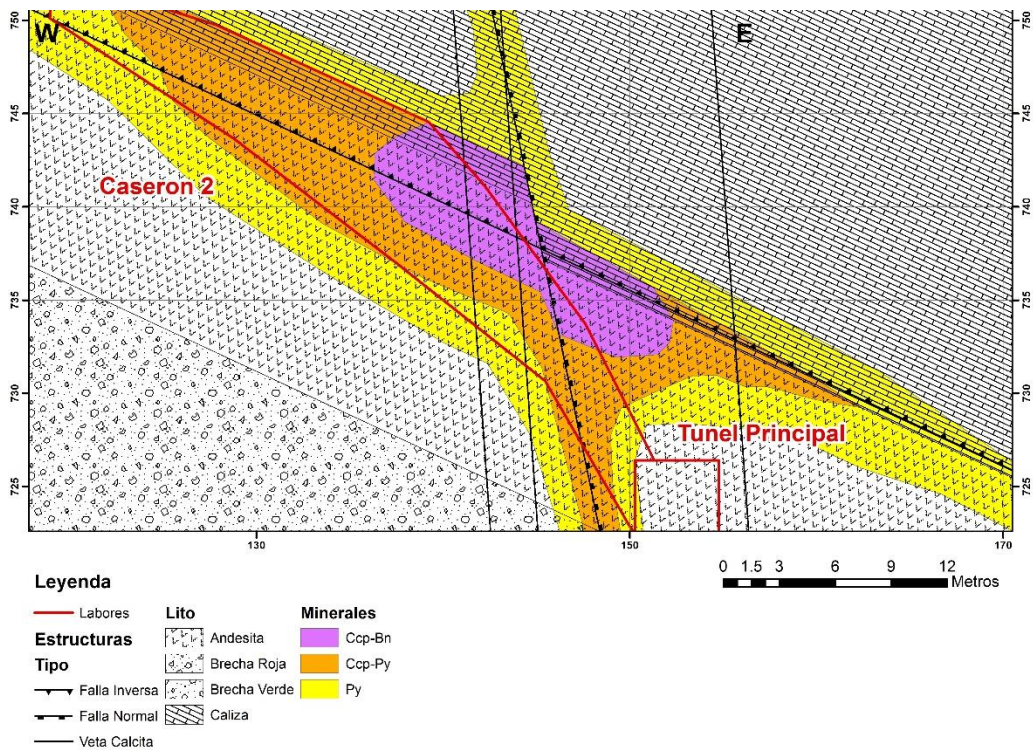
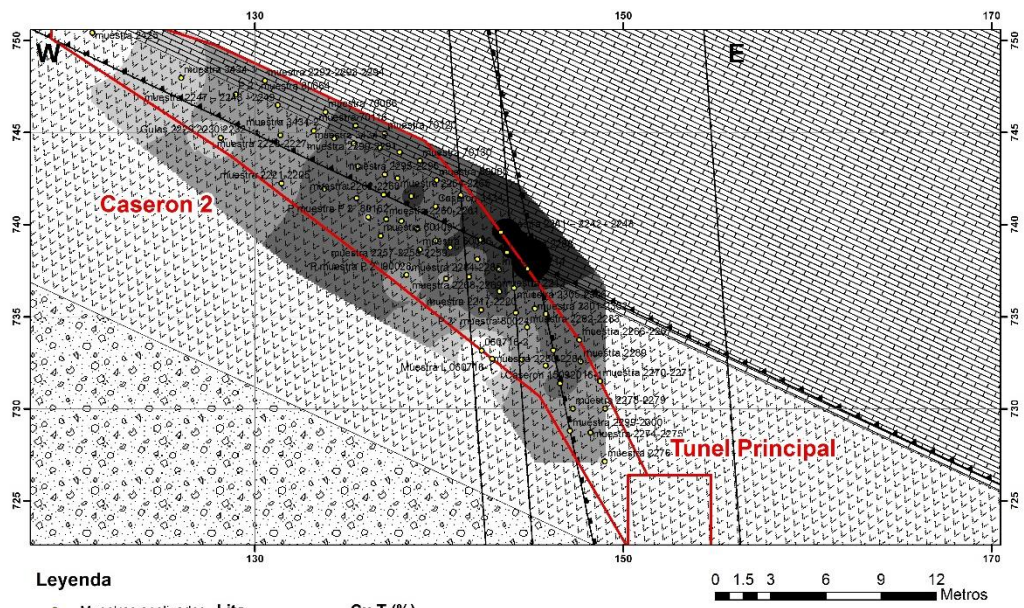


Figura 8.4.2 Interpolación de leyes de muestras en Caserón 2 y comparación con modelo de mineralización.

**Tabla 8.4.1. Leyes de cobre muestras entre meses de Julio y Septiembre 2016.**

Nombre de muestra	POINT_X	POINT_Y	POINT_Z	CU T	CU S	CU I
muestra 60086	138.96	738.64	565.78	2.50	0.12	2.38
muestra 60109	136.84	739.39	566.75	2.22	0.15	2.07
Muestra L 060716-1	142.89	732.71	566.87	0.39	0.02	0.37
060716-2	142.32	733.15	546.23	0.12	0.02	0.10
muestra 2212	143.28	736.37	534.43	2.69	0.13	2.56
muestra 2214	143.26	737.54	532.81	2.79	0.16	2.63
muestra 2217-2220	142.30	735.36	565.68	2.10	0.16	1.94
muestra 2221-2225	131.45	742.24	566.77	1.85	0.13	1.72
muestra 2226-2227	131.38	744.85	565.67	1.85	0.13	1.72
P 2° muestra 70065	135.62	743.16	545.23	2.29	0.15	2.14
P 2° muestra 70077	133.76	741.94	544.43	2.19	0.13	2.06
Guías 2229 2230 2232	128.15	744.71	537.82	1.30	0.13	1.17
muestra 2238 - 2239 - 2240	135.52	741.44	569.78	2.37	0.10	2.27
muestra 2233 - 2234 - 2235	138.50	741.54	516.75	2.83	0.21	2.62
muestra 2241 – 2242 - 2243	143.35	739.58	546.87	3.25	0.16	3.09
muestra 2244 – 2245 - 2246	134.31	744.68	546.23	2.26	0.10	2.16
muestra 2247 – 2248 - 2249	131.24	746.48	539.43	1.73	0.10	1.63
muestra 2250 – 2252 – 2253-2254	136.79	744.16	539.82	2.39	0.13	2.26
muestra 70086	133.83	746.11	565.38	1.98	0.13	1.85
muestra 70116	135.47	745.37	566.72	2.05	0.18	1.87
muestra 70120	137.06	744.95	563.87	2.21	0.08	2.13
muestra 70130	138.96	743.47	526.23	2.50	0.29	2.21
Muestra caserón 2 4565	144.80	737.59	535.43	4.08	0.29	3.79
muestra 2257-2258-2259	140.60	738.76	539.81	2.73	0.16	2.57
muestra 2255-2256	138.80	739.76	569.68	2.42	0.18	2.24
muestra 2260-2261	137.13	740.28	569.77	2.08	0.05	2.03
muestra 2262-2263	137.00	741.63	569.67	2.13	0.08	2.05
muestra 2264-2265	137.75	742.52	540.23	2.34	0.10	2.24
muestra 80005	139.86	742.41	543.43	2.50	0.18	2.32



muestra 2266-2267	147.62	733.73	532.82	2.23	0.10	2.13
muestra 2268-2269	141.63	737.16	519.78	2.21	0.08	2.13
muestra 2270-2271	148.74	731.50	546.75	1.79	0.16	1.63
muestra 2272-2273	149.02	730.00	533.87	1.72	0.13	1.59
muestra 2274-2275	148.22	728.70	549.23	1.68	0.10	1.58
muestra 2276-2277	149.00	727.13	530.43	1.45	0.08	1.37
muestra 2278-2279	147.27	730.00	530.82	1.78	0.13	1.65
muestra 2280-2281	146.20	733.17	561.78	2.34	0.16	2.18
muestra 2282-2283	144.78	734.42	561.75	1.91	0.05	1.86
P 2° muestra 80024	144.17	735.21	566.17	1.99	0.08	1.91
P 2° muestra 80039	140.39	737.06	546.13	1.86	0.10	1.76
P 2° muestra 80064	128.96	747.07	533.43	1.89	0.05	1.84
P 2° muestra 80083	145.80	735.14	565.81	2.22	0.13	2.09
muestra 2284-2285	142.09	738.12	560.68	2.14	0.08	2.06
muestra 2286- 2287	144.50	732.67	566.77	1.79	0.13	1.66
muestra 2288	143.69	738.48	565.67	3.06	0.15	2.91
muestra 2289	147.69	732.56	545.23	2.04	0.10	1.94
muestra 2290-2291	137.86	743.93	544.43	2.08	0.15	1.93
muestra 2292-2293-2294	130.55	747.81	537.82	1.58	0.10	1.48
Caserón 3434	139.81	740.98	569.78	2.30	0.10	2.20
P muestra P 2° 80098	137.96	740.19	516.75	2.27	0.10	2.17
P muestra P 2° 80162	136.16	740.40	546.87	1.94	0.08	1.86
muestra 3434-1	126.00	747.97	546.23	1.25	0.00	1.25
muestra 3434-2	133.20	745.10	539.43	1.75	0.00	1.75
muestra 3434-3	135.36	744.41	539.82	1.85	0.00	1.85
muestra 3434-4	141.18	741.59	565.38	2.40	0.00	2.40
muestra 2295-2296	137.06	742.72	566.72	2.18	0.10	2.08
muestra 2297-2298	139.81	739.12	563.87	2.18	0.08	2.10
Caserón 15092016-1	146.58	731.37	526.23	2.30	0.10	2.20
muestra 2299-2300	147.11	728.80	535.43	1.87	0.08	1.79
muestra 2301-2302	145.20	735.44	539.81	1.98	0.10	1.88
muestra 2303-2304	142.25	739.16	569.68	2.65	0.16	2.49

P muestra P 2° 90028	138.22	737.27	569.77	1.61	0.03	1.58
P muestra P 2° 90070	145.79	732.34	569.67	1.82	0.08	1.74
muestra 2305-2306	144.07	736.56	540.23	2.37	0.03	2.34

Para obtener la ley media se utilizó el modelo de interpolación con leyes promedio por área, luego se pondero cada área por su ley promedio y se obtuvo una ley total de la sección de mineralización.

Del mismo modo se obtuvo una ley por área horizontal, según las distribuciones de las muestras de canaleta.

Finalmente se realizó una ponderación de dichas leyes en función de los volúmenes encerrados en la horizontal, con respecto a las áreas verticales,

**Tabla 8.4.2 Leyes de cobre para muestras de canaleta en horizontal.**

Rango % Cu	Area (m2)	Cu_T(%)	Ponderado
1 - 1.5	245	1.5	367.5
1.5 - 2	723	2	1446
2 - 2.5	2345	2.5	5862.5
2.5 - 3	652	3	1956
>3	393	3.5	1375.5
	4358		11007.5
		Ley Horizontal	2.52581459

**Tabla 8.4.3 Leyes de cobre para muestras verticales entre meses de Julio y Septiembre 2016**

Minerales	Area (m2)	Cu_T(%)	Ponderado
Bn>Ccp	20	4	80
Bn<Ccp	59	3.5	206.5
CCp>Py	61	3	183
CCp>Py	64	2.5	160
CCp>Py	70	2	140
CCp>Py	83	1.5	124.5
CCp>Py	90	1	90
	447		984
		Ley Vertical	2.2

Se concluye entonces una ley promedio de la sección de los mantos de 2.3% de cobre total, para el volumen estudiado correspondiente a 237 mil toneladas de mineral. Se recomienda a futuro hacer lo mismo con otros sectores para estimar sus leyes.

## 8.5 Valorización Económica.

Se tomaron las tarifas de Enami de Octubre 2017 mostradas en la siguiente tabla.

**Tabla 8.5. Tarifas Enami Octubre 2017**

mayo de 2017	\$/tonelada
Tarifa enami Cabildo (2,5%)	45013
Variacion (0,5 %)	25430
Tarifa calculada (2,3%):	40239

Para las 237.000 toneladas medidas con cálculo de ley promedio de 2.3% se tiene un valor calculado a la tarifa de ENAMI en Octubre del 2017, de 15 millones de dólares aproximados.

Para el resto de las toneladas medidas que no se ha estimado la ley, se espera valores similares, pero se recomienda realizar muestreo sistemático en calicatas en labores para tener mayor certeza de los valores calculados.

## 9. Conclusiones

El yacimiento se encuentra ubicado entre las Unidades Lo Prado y Veta Negra. La litología predominante son andesitas, brechas volcánicas y calizas, sin embargo existe pequeños niveles de areniscas, conglomerados, tobas y lutitas. Regionalmente estas secuencias representan un monoclinal con manteo al este de 25°.

Se puede concluir que el yacimiento presenta características de 2 tipos de yacimientos definidos, que se distribuyen de acuerdo a las direcciones de mineralización dominantes en cada zona del yacimiento. Skarn de Cu en estructuras NW-SE y NS, y Estratoligado de Cu(ag) en estructuras NE-SW.

Para la elaboración de modelos de ubicación se optó por utilizar el modelo estratoligado, ya que es el más representativo del yacimiento, y es el que sirve para la explotación actual hacia el sur.

Se infiere que el control de mineralización del yacimiento son las estructuras de falla normal, las cuales podrían haber actuado como canal de fluidos hidrotermales. Posiblemente estas fallas hallan poseído un desplazamiento inverso y/o transpresivo en el período Cretácico medio, por sus características similares a El Soldado.

En cuanto a la mineralización, la mena principal es calcopirita, por su abundancia, sin embargo la presencia de bornita y en algunos sectores calcosina, representan un gran interés debido al considerable aumento de ley asociado. Las asociaciones minerales visibles son bornita-calcopirita, calcopirita-pirita, principalmente, y se observa a menor escala, presencia de calcosina-bornita-covelina y puntalmente specularita-bornita. Los principales estilos de mineralización son diseminado, patinas, vetillas en rocas volcánicas, y laminar, vetillas y patinas en rocas sedimentarias.

En niveles superficiales hay mineralización oxidada, con crisocola atacamita en rocas volcánicas y, azurita y malaquita en rocas carbonatadas. Sin embargo no constituyen volúmenes relevantes para la explotación ni son objeto de ella por el mayor interés en mineral sulfurado debido a la cercanía a la planta de flotación de ENAMI en Cabildo.

La mineralización se encuentra limitada a tres niveles estratiformes, en la intersección de rocas volcánicas con fallas normales de alto manteo. Se acotan en su techo por secuencias sedimentarias de calizas negras y mineralizan lutitas carbonosas.

Se estimó un total de 2.9 millones de toneladas de recursos minerales de cobre, de las cuales 790 mil corresponden a recursos medidos y 237 mil de ellas tienen una estimación de ley de 2.3% de cobre total. Se recomienda realizar muestreos en distintas zonas para aumentar dichas toneladas con ley medida.

## 10. Bibliografía

Cabe mencionar que la mayoría del trabajo fue de elaboración propia, sin embargo se consultó alguna bibliografía para verificar datos, obtener marcos geológicos y metalogénicos regionales, y realizar discusiones, la cual se muestra a continuación:

Aguirre, L., Feraud, G., Morata, D., Vergara, M. y Robinson, D., 1999, Time interval between volcanism and burial metamorphism and rate of basin subsidence in a Cretaceous Andean extensional setting: *Tectonophysics*, v. 313, p. 433-447.

Boric, R. y Munizaga, F., 1994, Geocronología Ar/Ar y Rb/Sr del depósito estratoligado de cobre El Soldado (Chile central). *Comunicaciones, Universidad de Chile* p. 135 - 148.

Camus, F. 1985. Los yacimientos estratoligados de Cu, Pb-Zn y Ag de Chile. In *Geología y Recursos Minerales de Chile* (Frutos, J.; Oyarzún, R.; Pincheira, M.; editores). Editorial Universidad de Concepción, p. 574-635.

Carter, W. y Aliste, N., 1962, *Geology of the ore deposits of the Nilhue Quadrangle, Aconcagua province: Informe Inédito, Instituto de Investigaciones Geológicas, Chile.*

Castro, R. 2003, Exploración Minera del sector Edugivis-San Antonio del Distrito Minero de Cabildo, mediante Geología y Perfiles Geofísicos CSAMT e IP espectral.

Charrier, R., Pinto, L. y Rodríguez, M. P., 2007, Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile: *The Geology of Chile* (Moreno, T.; Gibbons, W.; editors). The Geological Society, p. 21-114.

Einaudi et al, 1981. Skarn deposits: *Economic geology, 75 th anniversary volume*, p 317-391.

Fontboté, L., Amstutz, C., Cardozo, M., Cedillo, E., and Frutos, J. (Editores), 1990. *Stratabound Ore Deposits in the Andes*. Springer Verlag, Berlín, 815 p.

Fuentes, F., Féraud, G., Aguirre, L., Morata, D., 2005.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of volcanism and subsequent very low-grade metamorphism in a subsiding basin: example of the Cretaceous lava series from central Chile. *Chemical Geology*, 214, 157-177.

Gallego, M., Antonio, R., 1994, *Paleoambientes y mecanismos de deposición de la secuencia sedimentaria Polpaico, Región Metropolitana.*

Gana, P., Wall, R. y Gutierrez, Á., 1996. Mapa geológico del área Valparaíso - Curacaví, Regiones de Valparaíso y Metropolitana, escala 1:100.000, 1: Mapas Geológicos, Servicio Nacional de Geología y Minería.

Maksaev, V.; Townley, B.; Palacios, C.; Camus, F. 2007. "Metallic ore deposits". En: Moreno, T.; Gibbons, W. (ed.). *The Geology of Chile*. London: The Geological Society. p. 179-199.

Maksaev, V. & Zentilli, M. 2002. Chilean strata-bound Cu- (Ag) deposits: an overview In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*. PGC Publishing, Adelaide, p. 185-205.

- Molina, P. 2014, Geocronología y condiciones de cristalización de circones del Plutón Caleu: Evidencias de su prolongada evolución tardimagmática. Tesis de Magister en Ciencias mención Geología. Departamento de Geología, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Morata, D., Varas, M., Higgins, M., Valencia, V., y Verhoort, J., 2010, episodic emplacement of the Illapel plutonic complex (Coastal Cordillera, central Chile): Sr and Nd isotopic, and zircon U–Pb geochronological constraints. 7 South American Symposium on Isotope Geology, Brasilia: Proceedings CD-ROM.
- Morata, D., Féraud, G., Schärer, U., Aguirre, L. y Belmar, L., 2006, A new geochronological framework for Lower Cretaceous magmatism in the Coastal Range of central Chile: 11° Congreso Geológico Chileno, 2006, p. 509-512.
- Moreno, V.; Morales, S.; Carrillo, F.; Morata, D.; Ramirez, 2008. Las Mineralizaciones de Cu de Cabildo, Cordillera de la Costa, Chile central
- Piracés, R. y Makshev, V., 1977, Geología de la Hoja Quillota: IIG, Santiago (unpublished).
- Piracés, R., 1976, Estratigrafía de la Cordillera de la Costa entre la Cuesta El Melón y Limache, Provincia de Valparaíso, Chile: Congreso Geológico Chileno, 1976, p. A65-A82.
- Reyes, M., 1991. The Andacollo Strata-Bound Gold Deposit, Chile, and its Position in a Porphyry Copper-Gold System. *Economic Geology*, V. 86, N° 6, pp. 1301-1318.
- Rivano, S., Sepúlveda, P., Boric, R., Espiñeira, D. 1993. Hojas Quillota y Portillo, V Región. Servicio Nacional de Geología y Minería, Carta Geológica de Chile No. 73 (escala 1: 250.000). Santiago.
- Rivano, S., Sepúlveda, P., Hervé, M. y Puig, A., 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile: *Andean Geology*, v. 24, p. 63-74.
- Ruiz, C., Aguilar, A., Egert, E., Espinoza, W., Peebles, F. 1970, Quezada, R. and Serrano, M., 1971. Strata-bound copper sulphide deposits of Chile. In *Proceedings IMA-IAGOD, 7th General Meeting, Tokyo-Kyoto, Japan. Soc. Min. Geol. Japan, Special Issue 3*, pp. 252-260.
- Saric, N.; Kreft, C.; Huete, C. 2003. “Geología del Yacimiento Lo Aguirre, Chile”. *Revista Geológica de Chile.*, Vol. 30, N° 2, p. 317-331.
- Surján, M., 2009. Geología, alteración hidrotermal y mineralización en el prospecto cuprífero Cerro Oveja, comuna de Isla de Maipo, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo. Santiago: Universidad de Chile, Departamento de Geología. 90 pp.
- Thomas, H., 1958, Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga, Instituto de Investigaciones Geológicas.
- Varas, M. I., Morata, D. y Higgins, M., 2012, P-T conditions of crystallization of mafic microgranular enclaves from the Illapel Plutonic Complex (IPC): XII Congreso Geológico Chileno, Antofagasta (Chile).

Vivallo, W. Y Henríquez, F., 1998. Génesis común de los depósitos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la Cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*, V. 25, N° 2, pp. 199- 228.

Vivallo, W.; Henríquez, F. 1977. Relación genética entre los yacimientos estratoligados de Cu ('Tipo Manto'), de Cu-Fe±Au y de hierro del tipo Kiruna. In *Congreso Geológico Chileno*, No. 8, Actas, Vol. 2, p. 1189-1193. Antofagasta.

Wall, R., Sellés, D. y P, G., 1999, Área Tilttil-Santiago, Región Metropolitana, Mapas Geológicos, N°11, 1 mapa escala 1:100.000: Santiago, Servicio Nacional de Geología y Minería, p. 1 anexo.

Wall, R.; Gana, P.; Gutiérrez, A., 1996. Mapa geológico del área de San Antonio - Melipilla, regiones de Valparaíso, Metropolitana y del Libertador General Bernardo O'Higgins: Mapa Geológico N° 2 [Material cartográfico]. Escala 1:100.000. Santiago: Servicio Nacional de Geología y Minería. 20 pp, 1 mapa.

Willson, N.; Zentilli, M.; Reynolds, R.; Boric, R., 2003. "Age of mineralization by basinal fluids at the El Soldado manto-type copper deposit, Chile:  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  geochronology of K/feldspar". *Chemical Geology*. N° 197, p. 161-176.

Zentilli, M.; Collins, P.; Boric, R.; Wilson, N., 2009. "Diagenetic pyrite in the El Soldado stratabound copper deposit: a link with petroleum system of the Cretaceous basin of central Chile". En: *Actas XII Congreso Geológico Chileno [Actas digitales]*, (Santiago, 22 – 26 de noviembre de 2009). S11\_054. 1 pendrive, 5 pp.