



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

MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE MINA RAFAELA, CABILDO, REGIÓN DE VALPARAISO

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE GEÓLOGO

MAXIMILIANO JAVIER POBLETE ESPINOZA

PROFESOR GUÍA:
BRIAN TOWNLEY CALLEJAS

PROFESORA CO-GUÍA:
KATJA DECKART

COMISIÓN:
JERCKO LÓPEZ NEIRA

**SANTIAGO DE CHILE
2023**

**MODELAMIENTO GEOLÓGICO Y ESTIMACIÓN DE RECURSOS DE MINA
RAFAELA, CABILDO, REGIÓN DE VALPARAÍSO**

La Mina Rafaela corresponde a un depósito mineral que presenta características que lo asemejan a un yacimiento de tipo estratoligado de cobre y plata secundaria. Este se encuentra ubicado en el sector de Peñablanca, a 16 km de la ciudad de La Ligua, Región de Valparaíso. Esta concesión minera es propiedad de la empresa Minera Rafaela S.A., la cual lleva más de 17 años produciendo sulfuros de cobre desde minería subterránea.

El objetivo principal del presente trabajo es actualizar el modelo geológico del yacimiento y desarrollar un modelamiento en 3D, para lograr mayor visualización espacial de las zonas de interés mineral. Con tal modelo, se realiza una estimación geométrica preliminar de los recursos de cobre en base a un mapeo al interior de la mina, análisis de sondajes y muestreos históricos.

El yacimiento Rafaela se presenta en la franja metalogénica del Cretácico Inferior de Chile Central y se encuentra hospedado en una secuencia de rocas andesíticas y sedimentarias calcáreas pertenecientes al Miembro Superior de la Formación Lo Prado. Estas rocas se ven intruidas por diques andesíticos y que, en algunos casos, presentan mineralización asociada. Tales cuerpos intrusivos se postula que juegan un rol fundamental, ya que se pueden asociar como una potencial fuente de los fluidos hidrotermales que transportan los metales. El sistema estructural dominante tiene direcciones preferentes NNW-SSE similar a lo que ocurre en el yacimiento el Soldado.

La mineralización se aloja en dos formas principales, cuerpos mantiformes interestratificados entre rocas sedimentarias y volcánicas (mantiforme), y en cuerpos lenticulares discordantes (halos mineralizados) asociados con estructuras mineralizadas (vetiformes). En particular, en este depósito se definen 5 posibles contactos entre unidades capaces de presentar los mencionados “mantos”. El mineral de mena más abundante corresponde a calcopirita seguida de bornita y calcosina. En superficie se encuentran óxidos de cobre (malaquita, crisocola, atacamita). La alteración hidrotermal es de bajo contraste y débil, donde la calcita domina como mineral principal. Se ha reportado la presencia de bitumen en varios depósitos de este tipo, igual que en mina Rafaela. Esto puede jugar un rol en la precipitación de sulfuros al actuar como agente reductor.

Los tonelajes y leyes de Cu estimados mediante el software Leapfrog Geo de forma volumétrica y con interpolación RBF (a partir de muestreo de labores de producción y datos de sondajes) corresponden a 2.5 Mt @ 1.83 % CuT en recursos minerales categorizados (indicados e inferidos), más 553 kt @ 1.58 % CuT en recursos geológicos probables, dando un total entre ambos de 3 Mt @ 1.78 % CuT, para la zona sur. En la zona norte se estiman recursos geológicos probables cercanos a 1.8 Mt @ 1.71 % CuT.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, en especial mis padres. Muchísimas gracias por hacer esto posible, gracias por su formación y cariño todos estos años, sin ustedes no hubiese llegado a donde estoy en la actualidad, estoy eternamente agradecidos con ustedes. A mis hermanos: Ale y Tomi (Pipi) gracias por su constante apoyo y cariño en todo momento, además de esos partidos en el FIFA en los que siempre el pipi terminaba enojado. A mis tatas: Abu y Lalo, muchas gracias por el apoyo incondicional y el cariño entregado durante toda mi vida. Ita y Polo, sé que me acompañan en todo momento, muchas gracias por haber contribuido a mi formación de quien soy hoy en día con su amor y dedicación. Los amo, un abrazo al cielo. Gracias a todos ustedes por llenarme de conocimiento desde que nací.

A Yocelyn (Yoyi), por ser la mejor compañera, amiga y polola. Gracias por estar presente en esta etapa tan importante siempre dispuesta a escucharme, apañarme en todo y enseñarme. Gracias por todos esos consejos y por todos los momentos que hemos vividos y que quedan por disfrutar.

Por otra parte, me gustaría agradecer a los miembros de mi comisión: Dra Katja Deckart por la disposición y gran ayuda con sus consejos durante el transcurso de la memoria. A Jercko López por darme la oportunidad de desarrollar la memoria en Mina Rafaela y por siempre estar ahí para enseñarme y aconsejarme con respecto a la memoria y al trabajo en producción. Agradecer en especial a mi profesor guía: Dr. Brian Townley Callejas, por haber aceptado a ayudarme en este trabajo, siempre estar disponible para poder ayudarme y orientarme, y que con sus conocimientos me ha ayudado a comprender de mejor manera la geología.

A Don Fernando Silva, agradecer por la oportunidad de desarrollar este proyecto y de forjarme como profesional en Mina Rafaela, que a punta de esfuerzo ha logrado destacar en la zona.

A mis amigos del colegio, en especial al Rorro y al Pancho, que entramos juntos a la U y desde ahí nos hemos ido forjando una amistad tremenda. Muchas gracias por sus consejos y estar ahí cuando más se necesitaba. A los cabros del Gugux, gracias por las risas, los buenos momentos y el apoyo durante este proceso. A la gente de Geo quienes apañaron durante los días de terreno, en especial al Cris y al Mandiola, que siempre estuvieron presentes con su apañe y consejos.

Agradecer a todos los trabajadores de Mina Rafaela que de una u otra forma aportaron para que este trabajo fuese posible. Gracias en especial a Don Vladimir que desde que llegue a la mina lo único que ha hecho es enseñarme de la geología de “Rafaela” en base a experiencia, esfuerzo y sabiduría. Agradecer al Esteban por ayudarme a desarrollar los mapeos y por siempre estar dispuesto a apañar y ayudar en todo.

Por último, me gustaría agradecer a Minera Las Cenizas por todo el material entregado, tanto información geológica como información de sondajes, que sin estos no hubiese sido posible realizar este modelamiento en Mina Rafaela.

Tabla de Contenido

1. Introducción.....	1
1.1. Problemática	1
1.2. Presentación	2
1.3. Antecedentes	3
1.4. Objetivos	4
1.4.1. General.....	4
1.4.2. Específicos.....	4
1.5. Ubicación y accesos.....	4
2. Metodología.....	5
2.1. Levantamiento información bibliográfica.....	5
2.2. Campañas de terreno.....	5
2.2.1. Mapeo interior mina	5
2.2.2. Mapeo Superficial.....	6
2.2.3. Descripción de muestras de mano	6
2.3. Muestreo histórico de leyes de cobre (% CuT).....	6
2.4. Sondajes y Modelamiento geológico Leapfrog Geo.....	6
2.5. Estimación de recursos	7
2.5.1. Estimación de tonelajes	7
2.5.2. Cálculo de leyes.....	8
3. Marco Geológico	10
3.1. Contexto Regional	10
3.2. Unidades estratigráficas.....	12
3.2.1. Formación Quebrada del Pobre, Jurásico Inferior (Sinemuriano-Pliesbachiano)	12
3.2.2. Formación Ajial, Jurásico Inferior a Medio (Pliensbachiano-Bajociano).....	12
3.2.3. Formación Cerro Calera, Jurásico Medio (Bajociano medio a superior).....	12
3.2.4. Formación Horqueta, Jurásico Medio (Toarciano-Caloviano).....	13
3.2.5. Formación Lo Prado, Cretácico Inferior (Berrasiano-Valanginiano).....	13
3.2.6. Formación Veta Negra, Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano)	14
3.2.7. Formación Las Chilcas, Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano).....	15
3.3. Unidades intrusivas.....	15
3.3.1. Superunidad Mincha (Jurásico) (Jmi4).....	15

3.3.2. Superunidad Illapel, Cretácico Temprano a Medio.....	15
3.4. Depósitos sedimentarios	16
3.4.1. Formación Confluencia	16
3.4.2. Sedimentos aluviales y coluviales	16
3.5. Estructuras y Tectónica.....	17
3.5.1. Dominio Costero.....	17
3.5.2. Dominio Central	18
3.6. Depósitos Minerales.....	18
3.6.1. Distrito de Cabildo.....	18
4. Geología de Mina Rafaela	19
4.1. Generalidades.....	19
4.2. Unidades geológicas	19
4.2.1. Unidades sedimentarias	20
4.2.2. Unidades volcánicas	21
4.2.3. Diques mineralizadores y post-mineral	24
4.3. Alteración hidrotermal	25
4.4. Mineralización	26
4.4.1. Estilos de mineralización.....	28
4.5. Estructuras y mantos mineralizados.....	29
4.5.1. Interior Mina.....	29
4.5.2. Superficie.....	35
4.6. Mapa Geológico.....	36
5. Modelamiento geológico en 3D	37
5.1. Sondajes	37
5.2. Estructuras.....	39
5.2.1. Vetas	39
5.2.2. Sistema de Fallas	43
5.3. Litología.....	44
6. Estimación de recursos	47
6.1. Muestreo histórico de frentes de explotación (% CuT)	47
6.2. Cálculo de tonelajes y leyes	49
6.2.1. Tonelajes.....	49

6.2.2. Leyes.....	49
6.3. Tonelajes y Leyes	54
7. Discusiones.....	56
7.1. Modelos geológicos.....	56
7.1.1. Litología.....	56
7.1.2. Control Estructural	57
7.1.3. Modelos anteriores	58
7.2. Modelo de mineralización.....	60
7.2.1. Genesis de Estratoligados de Cu (-Ag).....	60
7.2.2. Clasificación de los depósitos.....	61
7.2.3. Modelo geológico local	61
7.2.4. Comparativa con otros yacimientos	62
7.3. Tonelaje y ley.....	65
8. Conclusiones y recomendaciones.....	67
9. Bibliografía.....	70
ANEXOS	73
Anexo A: Descripción de Muestras	73
Anexo B: Collares de sondajes	88
Anexo C: Muestreo Histórico interior mina	90
Anexo D: Modelo Geológico en software Leapfrog Geo.....	94
Anexo E: Información de mapeo interior mina y superficial	98

Índice de Tablas

Tabla 6.1. Máximos y mínimos de muestreo histórico por sistema de vetas en Mina Rafaela. Se considera solo promedio simple para información, no representa promedio ponderado.	49
Tabla 6.2. Tabla resumen de leyes de Mantos y vetas descritas anteriormente.	54
Tabla 6.3. Tabla resumen de los recursos minerales mantiformes y vetiformes (Indicados e inferidos) en la zona sur de Mina Rafaela.	54
Tabla 6.4. Recursos geológicos probables en la zona sur de Mina Rafaela. Se contabilizan los mantos 3,4 y 5 por completo debido a la nula información de producción y sondajes. .	55
Tabla 6.5. Recursos geológicos probables en la zona norte de Mina Rafaela. Manto 5 solo se recluye a la zona sur.	55
Tabla 7.1. Tabla comparativa de estimación de recursos de los tres estudios realizados en Mina Rafaela. Se destaca que el trabajo de Moscoso (2016) tiene por objetivo determinar la rentabilidad de explotación de óxidos en la faena.	65

Índice de Figuras

Figura 1.1. Precio del cobre en LME (en centavos de dólar por libra) durante los últimos 8 años. Se observa alza una gran alza en el año 2020. Extraído de Cochilco (2023).....	1
Figura 1.2. Mapa de la concesión de Minera Rafaela, junto con la topografía interior mina. Se muestra la división entre la zona norte y zona sur de la propiedad minera.	2
Figura 1.3. Ubicación y accesos Mina Rafaela.	5
Figura 2.1. Potencia mineralizada de 3 metros de Manto 3, que se observa en rojo. Color amarillo indica potencia del manto. Desarrollado con herramienta Función de Distancia en Software Leapfrog Geo.	8
Figura 2.2. Volumen de manto 1 generado en software Leapfrog Geo y perteneciente al sistema de vetas Margarita-Eurides.....	8
Figura 2.3. Ejemplo de modelo realizado mediante Interpolación RBF en Veta Margarita. Obtenida desde software Leapfrog Geo.	9
Figura 3.1. Mapa de los yacimientos metalíferos de la Franja del Cretácico inferior. En rectángulo se encuentran los estratoligados de cobre. Modificado de Makshev et al. (2001).	11
Figura 3.2. Mapa geológico regional de la zona de estudio, modificado de Rivano et al. (1993). En color rojo se encuentra la propiedad minera de Rafaela. Perfil esquemático modificado de Thomas (1958), en el cual se aprecia la disposición de las formaciones y el manto regional entre 20-40° hacia el este.....	17
Figura 3.3. Depósitos minerales tipo mantos y vetiformes entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra. Destaca fuerte mineralización en Distrito de Cabildo. Símbolo rojo indica ubicación de Mina Rafaela. Modificado de Boric et al. (2002).	19
Figura 4.1. a) Calcilitas pertenecientes a US1; b) Fósil ammonites de la US2; c) Calizas fosilíferas de la US3.	21
Figura 4.2. a) Brechas volcánicas pertenecientes a la Unidad Volcánica 1; b) Manto 5 entre US3 y UV3.	23
Figura 4.3. a) Dique andesítico de 2 metros de ancho y con pequeña mineralización de calcopirita en los contactos con la roca de caja perteneciente a la UV1. Las líneas punteadas delimitan el dique andesítico. b) Muestra de mano de dique Eurides al interior mina.	24
Figura 4.4. Columna estratigráfica esquemática de Mina Rafaela. Se destaca la disposición de todas las unidades litológicas descritas anteriormente y los mantos asociados a los contactos entre estas. Modificada de Toloza (2017).	25
Figura 4.5. a) Calcopirita en patinas en roca sedimentaria caliza. b) Calcosina en patina sobre veta de calcita con un pequeño halo de calcosina laminada y diseminada, hacia sector izquierdo de la pátina. c) Bornita en cúmulos en calizas y cúmulos de calcosina en veta de calcita. D) Bornita en patinas y cúmulos en brecha volcánica perteneciente a la Unidad volcánica 1 en el sistema de vetas 709.	27
Figura 4.6. Izquierda: Representación esquemática de la mineralización tipo "manto" en el sistema de vetas Margarita-Eurides. Se observa mayor mineralización en contacto inferior con unidad sedimentaria a techo y unidad volcánica a base. Derecha: Mineralización tipo	

manto en Veta Misterio. Se aprecia potencia de 3 metros de mineral que corresponde a la asociación calcosina-calcopirita-bornita. Además, se aprecia desplazamiento de la estructura, el cual se estima en 6 metros.	28
Figura 4.7. a) Calcopirita en vetillas y diseminada en calizas; b) Enrejado de vetillas de calcopirita en calizas (stockwork); c) Muestra de calcosina laminada en calizas; d) Asociación calcopirita-calcosina con esta última laminada y diseminada y con mayor porcentaje en la roca. Esta última imagen se asocia al sistema de veta Misterio, en el “Manto 1”.	29
Figura 4.8. Mapa de las estructuras identificadas al interior mina en la cota 735. Elaboración propia.	34
Figura 4.9. Perfil esquemático que muestra la mineralización dentro de la faena. Se aprecian 5 mantos mineralizados, más la mineralización vetiforme. Elaboración propia.	35
Figura 4.10. Mapa geológico superficial de Mina Rafaela.	37
Figura 5.1. Mapa con la distribución de las 3 campañas de sondajes en Mina Rafaela.	38
Figura 5.2. Izquierda: Vista global de las 2 vetas pertenecientes al sistema. Derecha: Vista en planta en la cota 730 m.	40
Figura 5.3. Perfil transversal que muestra la relación entre estructuras. Se aprecian las intersecciones de esta estructura con los sondajes.	40
Figura 5.4. Izquierda: Vista global de las 4 vetas pertenecientes al sistema. Derecha: Vista en planta en la cota 730 m.	41
Figura 5.5. Perfil transversal que muestra la relación entre estructuras. En amarillo se presenta la topografía de la mina.	41
Figura 5.6. Vista global de la Veta NE. Derecha: Vista en planta en la cota 730 m.	42
Figura 5.7. Perfil transversal que muestra el intercepto de la Veta NE con un sondaje. También se muestra la topografía de la mina en color amarillo.	42
Figura 5.8. Izquierda: Vista global del sistema de vetas. Los colores se conservan para las vetas mineralizadoras del modelo mostrado anteriormente. Derecha: Vista en planta en cota 730.	43
Figura 5.9. Perfil transversal que muestra la relación entre las estructuras. Se aprecia que la falla Caserón Norte (marrón claro) termina en la Veta NE (morado).	44
Figura 5.10. Mapa en planta editado de Modelo Mina Rafaela en software Leapfrog Geo. Se presentan los perfiles representativos del modelo en líneas punteadas.	45
Figura 5.11. Seis perfiles transversales y representativos del modelo geológico en 3D realizado en el software Leapfrog Geo. Estos perfiles se encuentran ordenados de sur a norte. La ubicación de estos se presenta en el mapa superficial de esta sección.	46
Figura 5.12. Vista global del modelo litológico en 3-D de Mina Rafaela.	47
Figura 6.1. Distribución espacial de las muestras de frentes de explotación recolectadas entre 2018 y 2022.	48
Figura 6.2. Modelo de leyes de cobre del Sistema Margarita-Eurides. a) Vista global donde se muestran modelos para Manto1 y Manto 2; b) Vista en planta de ambos modelos (manto 1 y 2); c) Modelo RBF de leyes vetiforme de Dique Eurides con vista hacia el este; d) Modelo de leyes vetiforme de Veta Margarita con vista hacia el este.	50

Figura 6.3. Modelos de leyes del Sistema Galápagos-SE1-709 Oeste. a) Modelo de leyes de CuT (%) de manto 1 de las vetas mencionadas; b) Vista en planta de modelo de los mantos junto con las vetas correspondientes; c) Modelo de leyes de Veta Galápagos con vista hacia el este; d) Modelo de leyes de veta SE1 con vista hacia el este.	51
Figura 6.4. Modelo de leyes de Mantos y vetas de 709 y Misterio. a) Modelo de leyes de Mantos 1 hacia el este de las vetas correspondientes; b) Vista en planta de los mantos con sus respectivas vetas; c) Modelo de leyes de Veta 709 con vista hacia el Este; d) Modelo de leyes de Veta Misterio con vista hacia el Este.....	52
Figura 6.5. Interceptos de dos sondajes en la Veta NE. Vista hacia el Norte.	53
Figura 7.1. Comparación del sistema estructural de Mina Rafaela (a) y El Soldado (b). Se destaca que en la Figura b, A: Fallas principales; B: Fallas secundarias; C: Fracturas. Modificado de Boric et al., 2002.	58
Figura 7.2. Comparativa entre mapa geológico del modelo anterior (a) y modelo actual (b). Se aprecia similitudes en las unidades litológicas, aunque con diferentes alcances hacia el norte. Modificado de Toloza (2017).....	59
Figura 7.3. Comparativa de la mineralización tipo manto entre modelo anterior (a) y modelo actual (b). Se aprecia en la Figura b que los mantos 2 y 4 no se contabilizan en Figura a. Modificado de Toloza (2017).....	60
Figura 7.4. Modelo de mineralización de Mina El Soldado. Obtenido de Boric et al. (2002).	63
Figura 7.5. Modelo de mineralización de Mina Cerro Negro. Obtenida de Elgueta et al. (1990).....	64
Figura 7.6. Perfil esquemático del modelo de mineralización de Mina El Guayacán. Obtenida de Camus (1990).....	64

1. Introducción

1.1. Problemática

Actualmente, el mercado mundial de recursos minerales se ha visto fuertemente influenciado por las altas demandas en energías renovables y nuevas tecnologías que hacen que el cobre sea un recurso de sumo interés debido a que es uno de los principales insumos para lograr tales tecnologías. Es más, esto se ha visto reflejado en el mercado del cobre, el cual últimamente ha estado en alza hasta tal punto de alcanzar el máximo de precio en los últimos 8 años (Figura 1.1) (Cochilco, 2023). Por ello, la producción de cobre a nivel nacional se ha visto envuelta en la búsqueda de nuevos yacimientos o extensión de estos. Sin embargo, los altos costos de inversión hacen que el entendimiento geológico de los yacimientos sea sumamente importante para así obtener mayores índices de confiabilidad a la hora de invertir en tales proyectos.

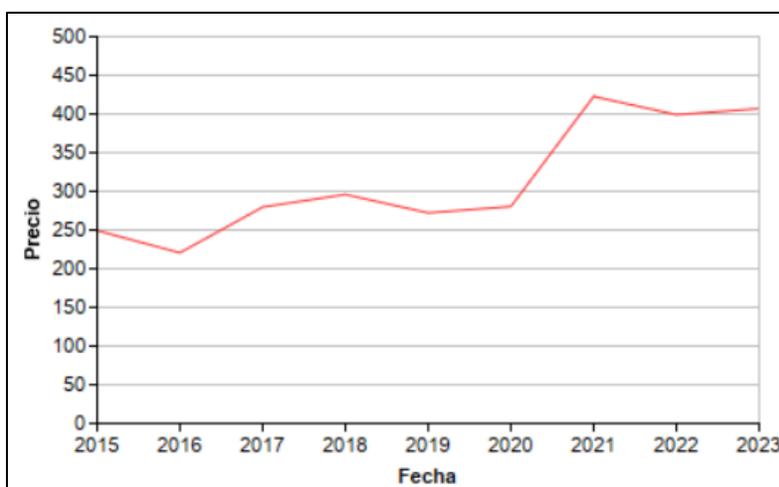


Figura 1.1. Precio del cobre en LME (en centavos de dólar por libra) durante los últimos 8 años. Se observa alza una gran alza en el año 2020. Extraído de Cochilco (2023).

A nivel local, la mina Rafaela se encuentra en una etapa de producción en la que se extraen rocas de mena con minerales sulfurados de cobre (calcopirita, bornita y calcosina), los cuales son enviados a una planta externa, perteneciente a Minera Las Cenizas (dueña de la mayor cantidad de propiedades en el área de Peñablanca – Cabildo), en la cual son procesados mediante concentración por flotación. Actualmente Minera Rafaela solo contiene labores de producción en el sector sur de la propiedad minera, y también explota una concesión de arriendo con Minera Las Cenizas, en la cual se extrae mineral de la Mina “Carmen-Margarita” que limita hacia el sureste con la propiedad de Rafaela. Por tales razones Minera Rafaela S.A. ha decidido realizar la exploración de recursos minerales en la totalidad de la propiedad minera para así poder retomar la producción en su concesión original aprovechando el máximo de área posible.

1.2. Presentación

La mina Rafaela se ubica en la comuna de Cabildo, Región de Valparaíso, a 16 km al SE de la ciudad de La Ligua. Este yacimiento es propiedad de la empresa Minera Rafaela S.A. desde el año 2004 aunque su producción data del 1997 a nivel de pequeña minería. Desde que llega la empresa mencionada comenzó un aumento de producción de mineral, la cual se mantiene hasta el día de hoy, con modestos niveles de producción en sus inicios (200 toneladas mensuales) hasta llegar a la actualidad con más de 5000 toneladas mensuales enviadas a planta. La ley de cobre extraída ha presentado ciertas variaciones en las cuales se ha sobrepasado el 2% CuT anual (2013, 2014 y 2017), aunque también ha tenido sus mínimos bajo 1,3% el año 2010.

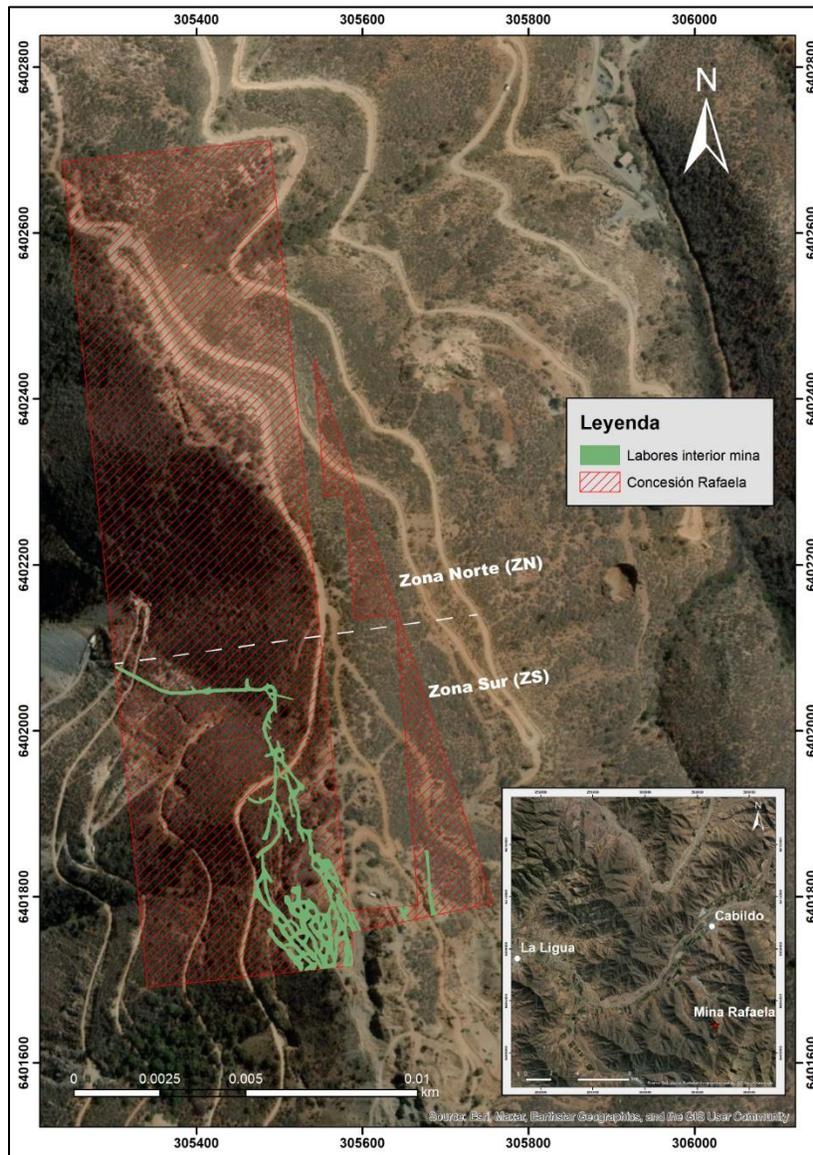


Figura 1.2. Mapa de la concesión de Minera Rafaela, junto con la topografía interior mina. Se muestra la división entre la zona norte y zona sur de la propiedad minera.

Este yacimiento se define como un estratoligado de Cu-Ag que a su vez tiene ciertas características de tipo Skarn. Su emplazamiento ocurre en rocas de la Formación Lo Prado. Estos yacimientos destacan por alojar la mineralización de mena en niveles estratigráficos, más conocidos como de tipo “manto” (Camus, 1990), en los contactos entre unidades sedimentarias calcáreas (calcilitas, calcarenitas, conglomerados, y unidades volcánicas, andesitas porfídicas, brechas volcánicas. Generalmente, esta mineralización de mantos ocurre en las cercanías de sistemas de vetas rellenas con calcita, principalmente, y que corresponden en su mayoría a sistemas de fallas normales, aunque se tienen registros de fallas inversas de gran importancia. La mineralogía de mena se compone principalmente de calcopirita y bornita y, en menor medida, calcosina. Por último, en superficie del depósito destaca la presencia de óxidos de cobre que para esta faena no son económicamente rentables.

El presente trabajo realiza una actualización al modelo geológico mencionado recientemente, en base a nueva información obtenida en nuevas frentes de explotación, sondajes, muestreo histórico, etc. Con tal información se desarrolla un modelo geológico-estructural tridimensional en software Leapfrog Geo, que posteriormente es utilizado para generar la ubicación de los recursos en el yacimiento.

1.3. Antecedentes

En mina Rafaela no hay muchos antecedentes geológicos. Se encuentran una serie de reportes geológicos de frentes de producción, muestreo histórico de labores y varios mapeos estructurales. No obstante, el trabajo geológico más importante fue realizado por Lemuel Toloza el año 2017 con su trabajo de título denominado **“Geología, Alteración y Mineralización del Yacimiento Estratoligado de Mina Rafaela, Cabildo, V Región”**.

En este trabajo la mina Rafaela se define un yacimiento de tipo transición entre un Estratoligado de Cu (-Ag) hacia el sur y un skarn hacia el norte donde la mineralización se ve controlada por niveles estratigráficos entre rocas de origen volcánicos infrayacentes a una capa superior estratificada de origen sedimentario. En menor medida, se define una mineralización vetiforme.

En resumen, se clasifica la litología en 5 unidades estratigráficas dispuestas concordantemente unas respecto a las otras. En específico, de base a techo, se define la siguiente secuencia: Unidad Volcánica 1, Unidad Sedimentaria 1, Unidad Volcánica 2, Unidad sedimentaria 2, Unidad Volcánica 3, Unidad Sedimentaria 3. En estas secuencias predominan rocas de tipo calizas, calcoareniscas, calcilitas, brechas volcánicas, lavas andesíticas, etc.

En términos estructurales, se definen 16 fallas normales que determinan el comportamiento de la mineralización del depósito. De estas 16 estructuras 5 fueron identificadas en labores de producción al interior mina (vetas extraídas) y 11 en superficie. La orientación preferencial de las fallas es de N-S; NNW-SSE; NE-SW.

En cuanto a la mineralización de mena predomina calcopirita, seguida de bornita, covelina y escasamente calcosina hipógena. En superficie predomina la mineralización de óxidos de cobre que no representan gran importancia económica. La mineralogía de alteración se ve

dominada por la presencia de calcita rómbica, seguida de epidota, clorita en halos de alteración. También se reporta presencia de granates en rocas calcáreas, zeolitas y jaspe.

Por último, se realiza una estimación de recursos que contabiliza la mineralización de solo 3 mantos, en los cuales las secuencias volcánicas infrayacen a las sedimentarias. En este caso se estima aproximadamente 2.9 millones de toneladas de mineral a ley promedio de 2.3% CuT.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Elaborar un modelo geológico y estimar recursos del yacimiento Rafaela a partir de levantamiento de información geológico-estructural.

1.4.2. Específicos

Para lograr el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos a realizar:

- Realizar descripción geológica local del yacimiento a partir de mapeo superficial e interior mina que conste de litología, geología estructural, alteración y mineralización.
- Desarrollar modelo geológico tridimensional con las variables anteriormente mencionadas en software Leapfrog Geo, para generar mayor entendimiento del yacimiento.
- Generar una nueva cubicación geoquímica (% CuT) del yacimiento para estimación de recursos a partir de bases de datos históricas entre 2018-2022, modelamiento 3D e información de sondajes.

1.5. Ubicación y accesos

Este trabajo se realiza en las pertenencias de Minera Rafaela ubicada en la Cordillera de la Costa, Región de Valparaíso, comuna de Cabildo, sector Peñablanca en la provincia de Petorca entre las coordenadas 305.221-305.571 Este; 6.402.735-6.401.766 Norte (Datum WGS 84). La mina se encuentra a 16 km al sureste de ciudad de La Ligua.

Desde Santiago a la Ligua se accede por la Ruta 5 Norte por 170 km aproximadamente, para luego tomar E-35. Posteriormente, al sector de Peñablanca, en la comuna de Cabildo, se accede por misma ruta mencionada (E-35) desde La Ligua recorriendo un aproximado de 16 km. Luego, hacia el sureste se toma el camino minero de Quebrada del Cobre que es pertenencias de Minera Las Cenizas en su mayoría y que en su inicio se denomina Camino a “Mina el Sauce” Por este camino se recorre un aproximado de 10 km que equivalen a 25 minutos en camioneta hasta llegar a las dependencias de mina Rafaela.

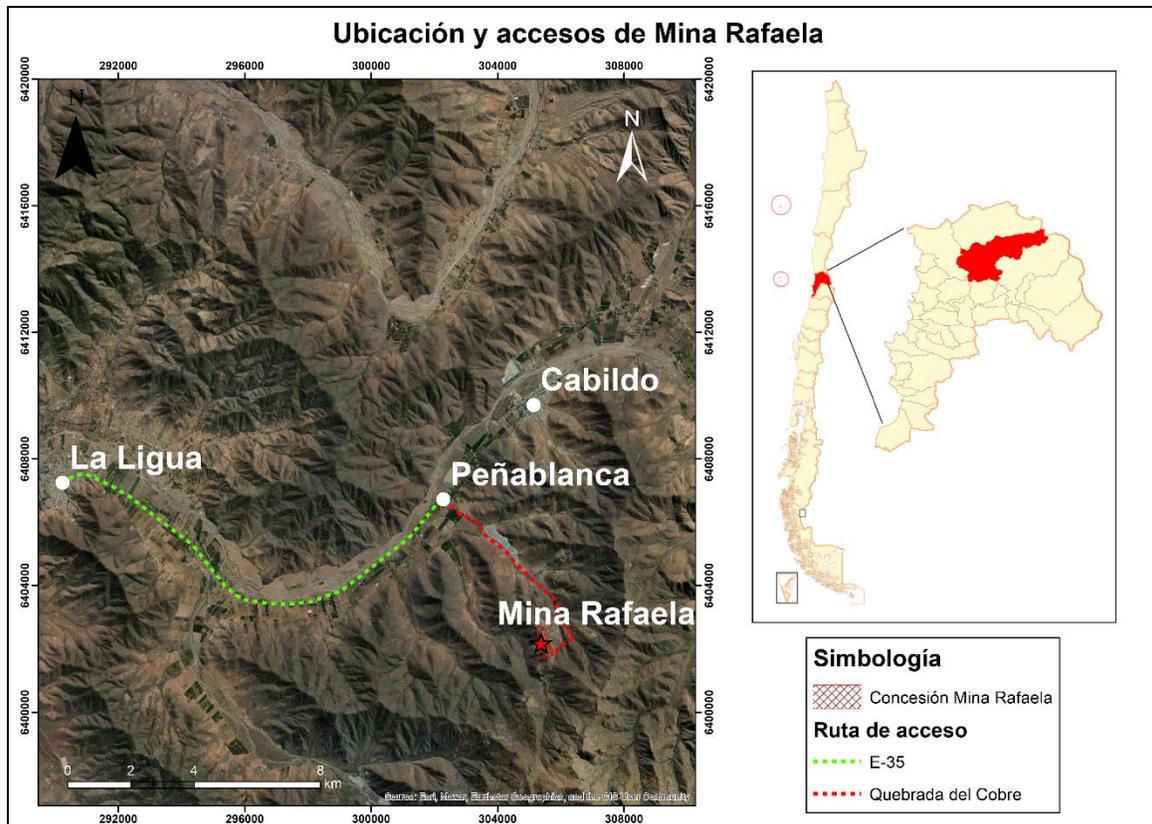


Figura 1.3. Ubicación y accesos Mina Rafaela.

2. Metodología

2.1. Levantamiento información bibliográfica

En esta primera etapa del trabajo se revisó información bibliográfica entregada por Minera Rafaela, que consistía en una serie de reportes e informes de producción minera, informes de la geología preliminar del yacimiento y estimación de recursos antiguos. Para este trabajo se utiliza de base el único informe completo de geología de la mina realizado por Lemuel Toloza en 2017 para su memoria de título. Por último, se levanta información de la geología regional usando de base la Hoja de Quillota – Portillo por Rivano et al. (1993) que muestra la zona de estudio.

2.2. Campañas de terreno

2.2.1. Mapeo interior mina

Durante los meses de abril y mayo de 2022 se ha realizado un trabajo en terreno al interior de la mina, Rafaela, el cual consistió en reconocer litologías, junto con sus minerales primarios, de alteración, etc, identificación de contactos litológicos, estructuras (fallas, vetas, diaclasas), y mineralización (mineral de mena, estilos de mineralización, halo mineralizado, etc.). Para tal tarea, se utilizan los siguientes implementos: brújula tipo Brunton, lupa con doble aumento, rayador, ácido clorhídrico (HCl) diluido al 10%, imán, distanciómetro laser y topografía de la mina para identificar ubicación de paradas.

2.2.2. Mapeo Superficial

Esta campaña se realizó entre los meses de agosto y septiembre de 2022, en la cual se recorre toda la propiedad minera y parte de propiedades externas hacia el sur, aprovechando escarpes del cerro formados por los caminos de servidumbre y labores tanto actuales como antiguas. Además, se visitan una serie de labores mineras al sur de la propiedad que han sido abandonadas (piques, sacados, etc). En el trabajo en terreno se logran identificar los mismos parámetros que en mapeo interior mina, vale decir, litología y contacto entre unidades, minerales de alteración, estructuras (fallas, vetas y diaclasas) y mineralización (Minerales de mena, estilos de mineralización, ancho mineralizado). Los materiales utilizados son: brújula tipo brunton, lupa con doble aumento, rayador, ácido clorhídrico (HCl) diluido al 10%, imán, distanciómetro laser y mapas de la pertenencia Rafaela y las aledañas.

2.2.3. Descripción de muestras de mano

Se recolectan muestras representativas de cada sector al interior mina y en superficie, las cuales son descritas a detalle con implementos geológicos para poder determinar todos los parámetros necesarios dentro del mapeo. Estas se encuentran en la sección “Anexos A- Descripción de muestras”. Se destaca que algunas de estas muestras quedan en faena como litoteca oficial del yacimiento.

2.3. Muestreo histórico de leyes de cobre (% CuT)

Se desarrolla una revisión exhaustiva de todos los registros de leyes de cobre (% CuT) muestreadas en frentes de producción desde el año 2018 hasta la actualidad dentro de la propiedad de Rafaela y en sus límites más cercanos. Estas muestras en su mayoría fueron tomadas de las marinas (material tronado) de las frentes de producción, con menores cantidades de muestras de chipeo y de barro. Dentro de estos muestreos se consideran leyes de cobre en vetas, mantos e intersección entre ambas. Se descartan muestras que fueron tomadas muy alejadas de la propiedad. Durante el trabajo en faena no se logra tomar muestras de manera regular debido a problemas con los laboratorios asociados.

2.4. Sondajes y Modelamiento geológico Leapfrog Geo

La malla de sondajes utilizadas pertenece a 3 empresas. En primer lugar, la empresa Enami realiza los primeros sondajes (11 collares) dentro de la propiedad de Mina Rafaela el año 2008. Luego Minera Rafaela desarrolla una serie de sondajes (9 collares) en el sector centro-norte de la propiedad. Finalmente, Minera Las Cenizas (MLC) cordialmente comparte información geológica y de leyes de cobre total (%CuT) de 78 sondajes que se ubican en el límite sur entre la propiedad de Mina Rafaela y Mina Carmen Margarita de MLC. Mas detalle de esta información en el apartado “Sondajes”. Cabe destacar que en el software de trabajo se realiza una revisión de los sondajes QA/QC para eliminar tramos duplicados o con leyes de CuT negativas.

El modelamiento geológico en 3-D fue realizado en el software Leapfrog Geo, de la compañía *Seequent*, el cual realiza modelamiento implícito que, en este caso, es en base a la información geológica-estructural levantada en terreno tanto en superficie como al interior mina e información de los 92 sondajes de las diferentes campañas.

A grandes rasgos, el modelamiento implícito es la formación rápida y automatizada de superficies como fallas, contactos litológicos, alteraciones, leyes, etc., generadas directamente de datos geológicos (Seequent, 2022). La principal diferencia entre modelamiento implícito y explícito (e.g. kriging) es la complejidad del cálculo matemático, donde el modelamiento explícito calcula el estado de un sistema en un tiempo posterior a partir del estado actual, mientras que el modelamiento implícito encuentra una solución resolviendo una ecuación que considera tanto el estado actual de un sistema como el estado posterior (Ascher et al., 1997). En la práctica esto se traduce en que un modelo se obtiene a partir de los datos en las tres dimensiones, sin la necesidad de realizar primero modelos en dos dimensiones para luego proyectarlos.

Con tal definición establecida, para la generación del modelo geológico se definió en primer lugar el sistema estructural que rige al yacimiento. Con tal sistema se genera el modelamiento de las vetas y posteriormente el litológico. Ambos modelos se generan con la herramienta “*Geological Model*”. Los límites usados para ambos modelos son iguales y corresponden a los de la propiedad de Minera Rafaela.

2.5. Estimación de recursos

La estimación de recursos se realiza en el software Leapfrog Geo, versión 2021.2.4 en base a los resultados obtenidos en el modelamiento geológico.

2.5.1. Estimación de tonelajes

El cálculo de tonelaje se realiza por método volumétrico, es decir, se crean volúmenes asociados a la mineralización del yacimiento. Esta mineralización se divide en dos tipos: vetiforme y mantiforme. En primer lugar, se realizan volúmenes que representan a las vetas mineralizadas. Estos volúmenes se asocian a los generados por el modelamiento implícito mencionado recientemente. Por ende, se extrae el volumen de cada veta y se multiplica por la densidad de roca (considerada como $2700 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ o $2.7 \left[\frac{ton}{m^3} \right]$). Mas detalle en el apartado “Cálculo de leyes y tonelajes”.

Por otra parte, los mantos mineralizados también se estiman en base a volúmenes, utilizando las vetas mineralizadas y el espesor de los mantos. Esto se desarrolla con la herramienta “Numeric model → Función de Distancia”, con la cual, a partir de las dimensiones de cada sistema manto/vetas descritas en el apartado “**Estructuras y mantos mineralizados**”, se crean halos de distancia para la veta acorde a la extensión lateral del manto. Vale decir, si el manto tiene una extensión lateral de 10 metros, entonces se crea un halo de 10 metros para la estructura. Posteriormente, se utiliza la misma herramienta mencionada, esta vez para el manto a calcular y con las dimensiones de la potencia mineralizada. Si el manto tiene una potencia de 3 metros, se crea un halo de 1.5 metros para cada lado del manto (Figura 2.1).

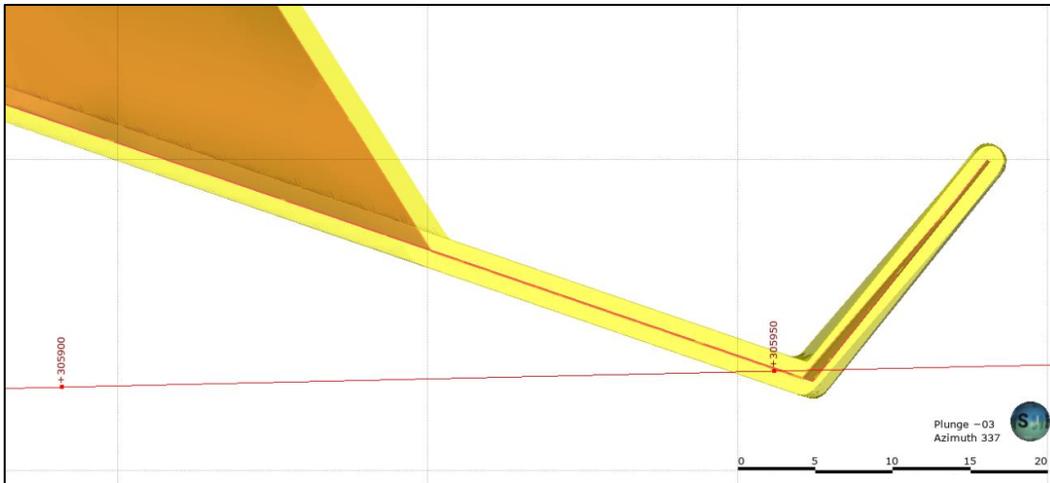


Figura 2.1. Potencia mineralizada de 3 metros de Manto 3, que se observa en rojo. Color amarillo indica potencia del manto. Desarrollado con herramienta Función de Distancia en Software Leapfrog Geo.

Al tener ambos volúmenes (distancia lateral con volumen de la estructura y potencia asociada al manto), estos se interceptan y generan un volumen general a lo largo de la estructura que se asocia al volumen mineralizado del manto. En el siguiente ejemplo se muestra el manto generado para un sistema de vetas denominada Margarita-Eurides (descrita posteriormente).

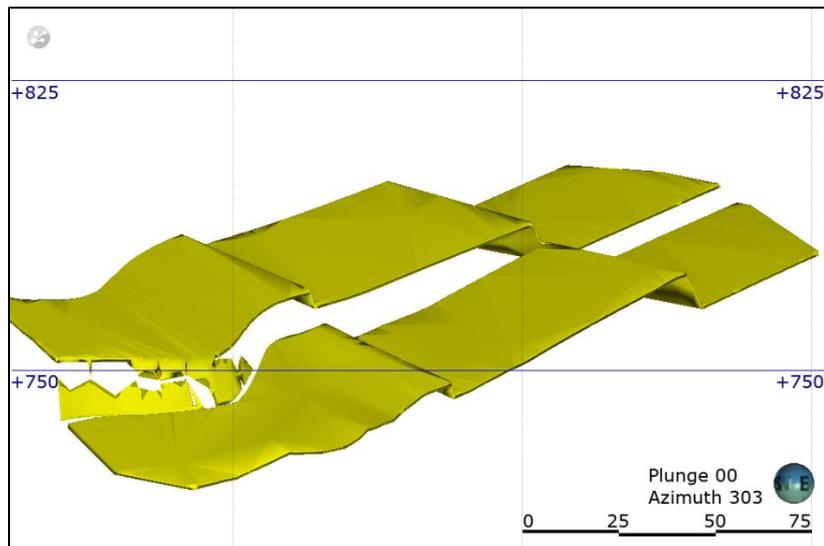


Figura 2.2. Volumen de manto 1 generado en software Leapfrog Geo y perteneciente al sistema de vetas Margarita-Eurides.

2.5.2. Cálculo de leyes

En general, existen varios métodos de modelamiento implícito y uno de los más utilizados hoy en día es el método de interpolación en base a funciones de base radial (RBF), incorporado también en Leapfrog Geo. En palabras simples una RBF es una función que cambia con la distancia a una ubicación, es decir, los valores no solo van a depender de la distancia a cada uno de los datos sino también de la función generada para cada uno de esos datos (Broomhead y Lowe, 1988). Este tipo de modelamiento se realiza en situaciones donde

la cantidad de información (muestreo en este caso) es escasa y con distanciamiento irregular entre estas.

Para el cálculo de leyes se utiliza esta función en el apartado “*Numeric Models* → *RBF Interpolants*” para cada una de las estructuras mineralizadas. En esta función se ingresa como límites los volúmenes tanto de mantos como de vetas generados en el modelamiento geológico en 3D, y la información de cobre total (% CuT) incorporada en sondajes y en muestreo histórico de la faena. Se acotan los límites de estas interpolaciones a las zonas con muestreo, no se extrapola a zonas sin datos de leyes de CuT. Se utiliza interpolación esferoidal y se identifican los siguientes intervalos de leyes: < 0.5%; 0.5-1%; 1-1.5%; 1.5-2%; 2-2.5%; 2.5-3%; >3%.

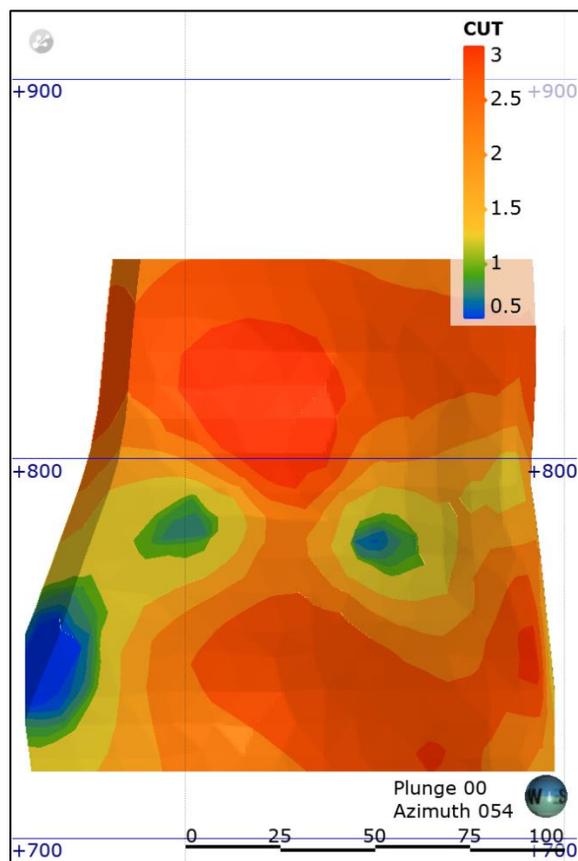


Figura 2.3. Ejemplo de modelo realizado mediante Interpolación RBF en Veta Margarita. Obtenida desde software Leapfrog Geo.

3. Marco Geológico

3.1. Contexto Regional

Durante el Jurásico medio al Cretácico Temprano se forman una serie de cuencas de tipo arco y tras-arco, las cuales reciben aportes subaereos y submarinos de rocas volcánicas, dominadas por lavas basálticas a andesíticas; y rocas sedimentarias marinas hacia el este, dominadas por calizas, areniscas y conglomerados. Las unidades volcánicas sufren metamorfismo de enterramiento (bajo grado) durante la formación de este arco (Levi et., 1989; Atherton y Aguirre, 1992; Sillitoe y Perello, 2005). En este periodo geológico, además, se asocia la intrusión de una serie de plutones con composiciones que van desde gabros hasta granodioritas, los que consituyen gran parte del Batolito Costero (Sillitoe y Perello, 2005).

Estas intrusiones se relacionan con eventos tectónicos de tipo extensionales y transtensionales que generan una serie de fallas mayores paralelas a los Andes, en el norte de Chile. Una de las fallas mas importantes sería el Sistema de Fallas Atacama, con una extensión de más de 1000 km entre las latitudes 20°S-30°S. (Sillitoe y Perello, 2005) y una mecánica normal en principio, la cual cambia a transtensional sinistral a los 132 Ma aproximados (Scheuber y Gonzalez, 1999). A menor escala también dominaba un ambiente tectónico extensional con la formación de una serie de fallas de tipo normales, las cuales fueron invertidas durante el Cretácico Tardío (Mpodozis y Ramos, 1990; Lara y Godoy, 1998; Benavides-Caceres, 1999).

Dentro de estas condiciones tectonomagmático ocurren una serie de eventos mineralizadores que, en conjunto, forman una franja de diferentes tipos de yacimientos minerales. Esta franja se denomina como **Franja metalogénica del Cretácico Temprano** y se define como una franja de depósitos minerales discontinua en los Andes Centrales y Cordillera de la Costa, entre las latitudes 21°30'S y 34°S dentro de Chile, y que presenta una extensión de 2300 km desde el Sur de Perú al centro de Chile y con un ancho promedio de 30 km (Maksaev y Zentilli, 2002; Sillitoe y Perello, 2005; Maksaev et al., 2007). Entre los depósitos metalíferos se encuentran pórfidos cupríferos, depósitos de Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de Fe-apatito (IOA) y depósitos de estratoligados de Cu (Ag) (Sillitoe y Perello, 2005). El yacimiento de mayor importancia dentro de la franja sería el pórfido cuprífero Andacollo, seguido de los depósitos IOCGS (Mantoverde, Candelaria-Punta del Cobre, Raúl-Condestable) y los estratoligados de cobre (Michilla, Mantos Blancos, El Soldado y Lo Aguirre).

Debido a la gran variedad de depósitos, no se logra definir un solo tipo de mineralización, sino que varía para cada tipo de yacimiento. En específico, los IOCGs se destacan por presentar abundante magnetita y/o hematita especular que vienen acompañadas de calcopirita, pirita y menor bornita. Los IOAs se destacan por presentar abundante magnetita pero menor porcentaje de sulfuros de cobre (Maksaev et al., 2007). Los pórfidos del Jurásico Medio al Cretácico Temprano están dominados por alteración potásica con alteración argílica (clorita, sericita, illita) sobreimpresa (Sillitoe y Perello, 2005).

El último tipo de yacimientos dentro de la franja serían estratoligados de cobre, los cuales dominan la zona de estudio. Estos se definen, a grandes rasgos, como depósitos minerales

alojados en intercalaciones entre rocas volcánicas y volcanosedimentarias del Jurásico Tardío al Cretácico Temprano, en los que la litología genera un fuerte control de la mineralización, así como también las estructuras. En general, los cuerpos mineralizados tienen formas lenticulares entre los contactos entre diferentes unidades litológicas, aunque también puede estar asociada a fallas y vetas. La mineralización hipógena es, principalmente, bornita, calcopirita y calcosina con estilos diseminados y vetillas (Maksaev y Zentilli, 2002; Sillitoe y Perello, 2005). Dentro de la franja del Cretácico Inferior se definen dos subdominios para este tipo de yacimientos: El primero entre las latitudes 21°30'S y 26°S, donde los depósitos están alojados en rocas volcánicas del Jurásico (Formación La Negra); el segundo dominio se comprende entre 30°S y 34°S, donde la mineralización está alojada en rocas volcanosedimentarias del Cretácico Temprano (Formaciones Lo Prado y Veta Negra), y es en el cual se encuentra el área de estudio (Maksaev y Zentilli, 2002; Maksaev et al., 2007).

A nivel local se encuentra el distrito de Cabildo, descrito posteriormente en este trabajo.

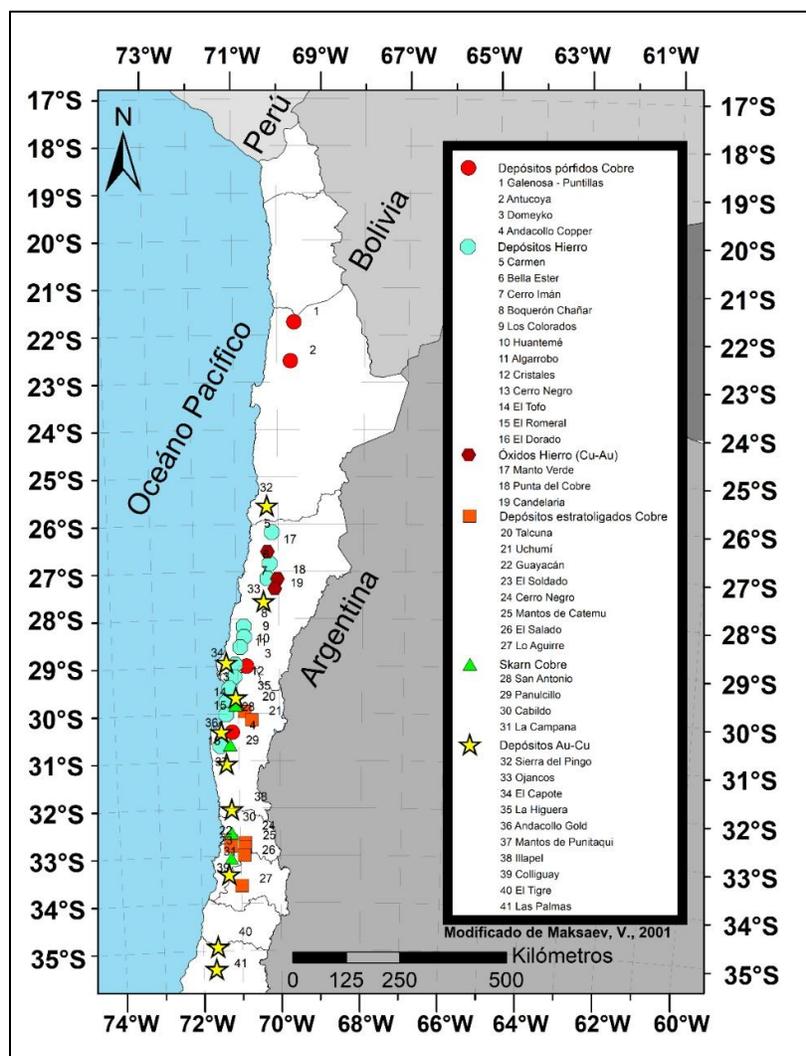


Figura 3.1. Mapa de los yacimientos metalíferos de la Franja del Cretácico inferior. En rectángulo se encuentran los estratoligados de cobre. Modificado de Maksaev et al. (2001).

3.2. Unidades estratigráficas

3.2.1. Formación Quebrada del Pobre, Jurásico Inferior (Sinemuriano-Pliensbachiano)

Secuencia sedimentaria marina compuesta por areniscas y lutitas con algunas intercalaciones de calizas, conglomerados finos y areniscas conglomerádicas en la base. Se encuentra de manera discordante con erosión angular sobre la Formación La Ligua, y de manera concordante bajo la Formación Ajial (Thomas, 1958). Se ubica al noreste de la zona de estudio, en el costado norte del río La Ligua, aunque en términos regionales esta formación aflora al este de la quebrada homónima. Presenta un espesor aproximado de 1250 metros y se le atribuye una edad Sinemuriana-Pliensbachiano, según registro fósil (Thomas, 1958; Covacevich, 1993).

3.2.2. Formación Ajial, Jurásico Inferior a Medio (Pliensbachiano-Bajociano)

Thomas (1958) definió esta formación como una secuencia de lavas andesito-basálticas y riódacíticas asociadas a pórfidos andesíticos-dacíticos, con intercalaciones de tobas, brechas y rocas sedimentarias lenticulares (conglomerados, areniscas, y pelitas calcáreas), apoyadas concordantemente sobre la formación Quebrada del Pobre y subyacente a una “gruesa secuencia de brechas y tobas con intercalaciones de areniscas atribuidas a los niveles inferiores de la Formación Melón. Posteriormente, Carter y Aliste (1962) incluyeron dentro de la Formación Ajial, la intercalación anteriormente mencionada y atribuida a la Formación Melón.

Esta formación aflora como una franja elongada N-S hacia el oeste de la zona de estudio, desde Cerro Imán hacia los Estratos de Pupio definidos en Illapel (Rivano y Sepulveda, 1986), en aparente concordancia sobre la Formación Quebrada el Pobre y bajo la Formación Cerro Calera de manera concordante. La edad de la formación se comprende entre el Pliensbachiano y el Bajociano, según registros fósiles encontrados (Covacevich, 1975; Rivano et al. 1993).

3.2.3. Formación Cerro Calera, Jurásico Medio (Bajociano medio a superior)

Secuencia formada por rocas sedimentarias marinas que sobreyacen concordantemente a la Formación Ajial y subyacen a las rocas volcánicas de la Formación Horquetas. Las rocas presentes en esta secuencia son (de base a techo en columna tipo): areniscas, conglomerados, calizas micríticas, calcoarenitas y calcilutitas (Piraces, 1976). Su espesor es variable, pero se ha determinado una potencia de 1287 m hacia el sur (Piraces, 1976), aunque puede llegar a 0 m hacia el norte, desapareciendo esta formación en algunos sectores entre La Ligua y Petorca (Rivano et al. 1993). Al igual que la formación anterior, esta aflora al oeste de la zona de estudio de forma elongada N-S, aunque de manera discontinua en el sector comprendido entre los ríos La Ligua y Petorca. Se le asigna una edad Bajociano medio a superior en base al registro fosilífero observado (Covacevich y Piraces, 1976; Rivano et al., 1993).

3.2.4. Formación Horqueta, Jurásico Medio (Toarciano-Caloviano)

Esta formación se define como una unidad volcanoclástica continental de espesor entre 1200 a 2000 m y compuesta por una alternancia de lavas andesíticas basálticas y niveles de brechas volcánicas y tobas riódacíticas con intercalaciones de rocas sedimentarias detríticas (Piraces, 1976). La litología predominante corresponde a lavas pardas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas, piroxenos dispuestos en masa afanítica oscuras, seguida de brechas volcánicas de color violáceo a rojizas y de composición andesíticas en su mayoría. Las intercalaciones sedimentarias corresponden a areniscas, areniscas conglomerádicas y conglomerados rojos. Esta formación se distribuye de forma elongada N-S desde el Cerro la Campana hasta las nacientes del Estero Las Palmas, afluente del río Petorca hacia el norte. Se encuentra en concordancia sobre la Formación Cerro Calera y subyace en discordancia al miembro inferior de la Formación Lo Prado (Piraces, 1976, Rivano et al., 1993).

Las edades definidas para esta formación solo han sido definidas por su posición estratigráfica en la que sobreyace a la Formación Cerro Calera de edad Bajociano superior y por infrayacer a la Formación Lo Prado de edad Berrasiano. Sin embargo, la probable discordancia con respecto a la base de la última formación mencionada apunta a la idea del rango de edad acorde para la Formación Horqueta es entre el Toarciano y el Caloviano (Rivano et al., 1993).

3.2.5. Formación Lo Prado, Cretácico Inferior (Berrasiano-Valanginiano)

Secuencia transgresiva con litología muy variada que consiste en rocas sedimentarias marinas, principalmente calcilitas negras fosilíferas intercaladas con niveles macizos de calcarenitas grises y niveles de brechas y/o conglomerados generalmente oligomícticos con intraclastos calcáreos (Thomas, 1958) Dentro de la formación, además, destacan intercalaciones de niveles volcánicos de lavas fluidales dacíticas y andesíticas afaníticas y porfídicas, tobas de lapilli dacíticas y tobas de color rojizo andesíticas hacia las partes superiores (Rivano et al., 1993; Wall et al., 1999). La formación se dispone concordantemente sobre la Formación Horqueta y subyace, de la misma forma, a la Formación Veta Negra. Aflora en el área de estudio al oeste de la comuna de Cabildo, y se extiende hacia el sur como una franja alargada N-S hasta el Túnel Lo Prado (Rivano et al., 1993).

Según Piraces y Maksaev (1977), y posteriormente Wall et al. (1996), esta formación se puede subdividir en tres miembros principales:

- **Miembro inferior:** Compuesto por areniscas, areniscas calcáreas fosilíferas marinas, lutitas calcáreas, areniscas y conglomerados y escasas intercalaciones de lavas andesíticas y dacíticas. Potencia promedio 1970 metros.
- **Miembro medio:** Conformado por lavas, lavas brechosas y tobas, de composición andesítica, dacítica y riolítica e intercalaciones sedimentarias subordinadas. Potencia promedio de 2150 metros. (Wall et al., 1996)

- **Miembro superior:** Secuencia de 1100 metros de potencia promedio, compuesta por calizas fosilíferas marinas, areniscas y conglomerados con intercalaciones de rocas volcánicas andesíticas a dacíticas.

El espesor de la Formación Lo Prado es bien variable debido a que se encuentra intruída por granitoides de la Superunidad Illapel hacia el norte, mientras que hacia el sur el contacto superior con la Formación Veta Negra no es fácil de identificar debido a la similitud entre ambas. Sin embargo, Rivano et al. (1993) define el contacto superior en la aparición de las primeras volcanitas de colores púrpura a rojos sobre las rocas sedimentarias marinas superiores de la formación Lo Prado. Con esto, se estima un espesor aproximado **de 3000 metros entre el sector de Cabildo y el Carretón**, que coincide con el área de estudio.

A esta formación se le asocia una edad Berrasiana a Valanginiana tardía en base a diferentes niveles faunísticos encontrados en la formación (Aliste et al., 1960; Piraces y MaksaeV, 1977, Rivano et al., 1993).

3.2.6. Formación Veta Negra, Cretácico Inferior (Barremiano-Aptiano)

Unidad volcánica y subvolcánica que aflora en las cumbres de la Cordillera de la Costa y se dispone concordantemente sobreyaciendo a la Formación Lo Prado e infrayaciendo la Formación Las Chilcas, en ambos casos con contactos graduales y transicionales (Rivano et al., 1993). Thomas (1958) distingue dos miembros en ella: Miembro inferior denominado Purehue y un miembro superior denominado Ocoa. Ambos miembros muestran una disposición generalmente homoclinal al este con manteo entre los 35-40°.

La formación Veta Negra se extiende en una franja norte-sur por toda la Hoja Quillota, donde su límite sur lo constituye el contacto intrusivo con los granitoides de la Superunidad Illapel en el sector de Ocoa-La Campana (Rivano et al., 1993). El miembro Purehue se desarrolla entre el sector de Hijuelas por el sur y Cabildo por el norte. El resto del área de afloramiento corresponde al miembro Ocoa.

- **Miembro inferior Purehue:** Constituido por lavas andesíticas, frecuentemente brechosas y/o vesiculares de colores purpuras a gris pardo, se presentan algunas intercalaciones sedimentarias de color rojo las que corresponden a areniscas, conglomerados y brechas volcánicas. La potencia de este miembro varía entre 350 en el sector de Cabildo-Pedegua a unos 2.000 metros en el sector sur, en la localidad de Purehue (Rivano et al., 1993).
- **Miembro superior Ocoa:** Conformado casi exclusivamente por rocas andesíticas que presentan texturas porfídicas gruesas definidas por fenocristales de plagioclasa que alcanzan más de 2 cm de largo en ocasiones. Presentan masa fundamental afanítica microcristalina muy fina. Este tipo de andesita se definen como “ocoitas” por su textura especial. Espesores variables entre 2.500 a 3.000 metros (Rivano et al., 1993).

A esta formación se le atribuyó, en un principio, una edad Pre-Barremiana a partir de dataciones K-Ar realizadas por Rivano et al. (1993) a lavas del miembro Ocoa, las cuales pueden haber estado alteradas por el calentamiento de la Superunidad Illapel. Posteriormente,

dataciones Ar-Ar realizadas por Aguirre et al. (1999) y Fuentes et al. (2005) obtuvieron edades de $119 \pm 1,2$ Ma y $118 \pm 0,6$ Ma, respectivamente, lo que indicaría que la formación al menos hasta el Aptiano medio. Por ende, se define una edad Barremiana-Aptiana.

3.2.7. Formación Las Chilcas, Cretácico Inferior (Aptiano-Albiano)

Secuencia volcanoclástica con marcada variación lateral según Thomas (1958), que se apoya concordantemente sobre el miembro Ocoa de la Formación Veta Negra y subyacente a la Formación Lo Valle, aunque hacia el norte se encuentra cubierta en discordancia angular por la Formación Salamanca del Cretácico Superior (Rivano y Sepulveda, 1991). La formación Las Chilcas se compone principalmente de coladas de lavas andesíticas de color pardo rojizo a pardo claro, en conjunto con calcilitas grises, aglomerados, tobas rojas, brechas claras y oscuras, conglomerados y paraconglomerados de distintos orígenes y areniscas. (Rivano et al., 1993). Se define como una gran franja N-S que aflora al sur del Valle del Aconcagua en los cerros que flanquean por el oeste la Depresión Central, mientras que hacia la norte forma una franja N-S de más de 30 km de ancho.

Se le estima un espesor de 3500 metros en el sector entre Cerro Negro y Llay-Llay, siendo 1500 metros para la parte inferior de la formación y 2000 metros para la parte superior (Rivano et al., 1993). De acuerdo con la fauna fósil encontrada en calizas de la base y la parte media de la formación, se le asigna una edad Aptiana-Albiana (Osorio, 2000; Selles y Gana, 2001).

3.3. Unidades intrusivas

3.3.1. Superunidad Mincha (Jurásico) (Jmi4)

Esta superunidad se conoce como la franja más occidental de los intrusivos del Mesozoico y conforma gran parte de la Cordillera de la Costa y planicies litorales, aflorando de manera discontinua con rumbo general NS (Rivano et al., 1985). Cerca del área de estudio solo se reconocen 3 unidades (Puerto Oscuro; Tranquila y Cavilolén) de las 4 definidas para esta superunidad (Rivano et al., 1993).

La de mayor cercanía es la **Unidad Cavilolén**, que se define como la unidad más extensa y aflora en grandes plutones batolíticos (Plutones Petorca-Quilimari; La Ligua; Las Salinas; Zapallar, etc.) y cuerpos menores asociados. Estos se componen en su mayoría por granodioritas y tonalitas de grano medio a fino. Intruyen, cerca del área de estudio, a las formaciones Quebrada del Pobre, Ajial y Cerro Calera. Distintos estudios radiométricos han definido edades entre los 156 y 166 Ma (Levi et al., 1963; Munizaga, 1972; Espiñeira, 1989; Rivano et al., 1993).

3.3.2. Superunidad Illapel, Cretácico Temprano a Medio

Esta superunidad se define como un conjunto de cuerpos, de edades entre el Cretácico Temprano y Medio, y de dimensiones desde batolitos a stocks distribuidos en una franja irregular de unos 20 a 25 km de ancho y con una extensión que va desde el sur del Río Aconcagua hasta más allá del norte del río Quilimarí (Rivano et al., 1985). Se logra definir una orientación N20°-N30°W de los plutones y, en general, los plutones muestran mayores afloramientos con morfologías acorde a dicha orientación (Rivano et al., 1993).

Esta superunidad, redefinida por Parada et al. (1999) como Complejo Intrusivo Illapel, en un principio se dividió en 4 unidades principales: Unidad la Campana; Unidad Chalinga, considerada la de mayor tamaño e importancia y es la que aflora cerca del área de estudio; Unidad Quebrada Herrera; y Unidad Chagres (Rivano et al., 1985). Posteriormente, Morata et al. (2010) redefine las 4 unidades basadas en estudios petrográficos y geocronología U/Pb, asociándolas a diferentes pulsos magmáticos: Unidad Máfica (MU), compuesta de gabros y dioritas con tonalitas subordinadas; Unidad Trondhjemitita (TU), dominada por trondhjemitita y leucogranitos; Unidad principal Tonalita (MTU), conformada por tonalitas con enclaves máficos y granodioritas subordinadas; y, por último, la Unidad Granodiorita (GU), dominada por granodioritas.

Como se menciona anteriormente, en las cercanías del área de estudio aflora la **Unidad Chalinga**, que corresponde al 95% del total del Complejo Illapel (Rivano et al., 1985) y que se compone de granodioritas de hornblenda y biotita, monzodioritas cuarcíferas con textura hipidiomórficas porfídicas. En algunos sectores aparecen facies de dioritas y/o metandesitas asociadas a esta unidad (Rivano et al., 1985). Según la Hoja de Quillota-Portillo, esta unidad corresponde al Cretácico Inferior a Cretácico Superior basal (Cenomaniano) en base a dataciones radiométricas K/Ar (Rivano et al., 1985; Rivano y Sepulveda, 1991; Rivano et al., 1993). Sin embargo, Morata et al. (2010) define una edad Cretácico medio para el complejo Illapel, con edades U-Pb de $110,4 \pm 1,8$ Ma para la Unidad Trondhjemitita (TU) y entre $102,4 \pm 1,5$ a $98,8 \pm 1,3$ Ma para la Unidad principal Tonalita.

3.4. Depósitos sedimentarios

3.4.1. Formación Confluencia

Secuencia de gravas y ripios con intercalaciones de arenas poco consolidadas que se atribuyen a terrazas altas y potencias de 50 a 100 metros en los valles de La Ligua, Catapilco, Limache y Valle de Aconcagua. Se le asocia una edad Pliocena.

3.4.2. Sedimentos aluviales y coluviales

Estos depósitos se asocian a los cursos de aguas actuales y tienen su expresión más importante en la Hoya del río Aconcagua, donde se encuentran formadas por gravas y ripios, arenas y limos con buena estratificación. Los conos de deyección (Qac(a)) suelen encontrarse en los depósitos de valle, los que suelen evolucionar dependiendo de la abundancia e intensidad de las precipitaciones (Rivano et al., 1993).

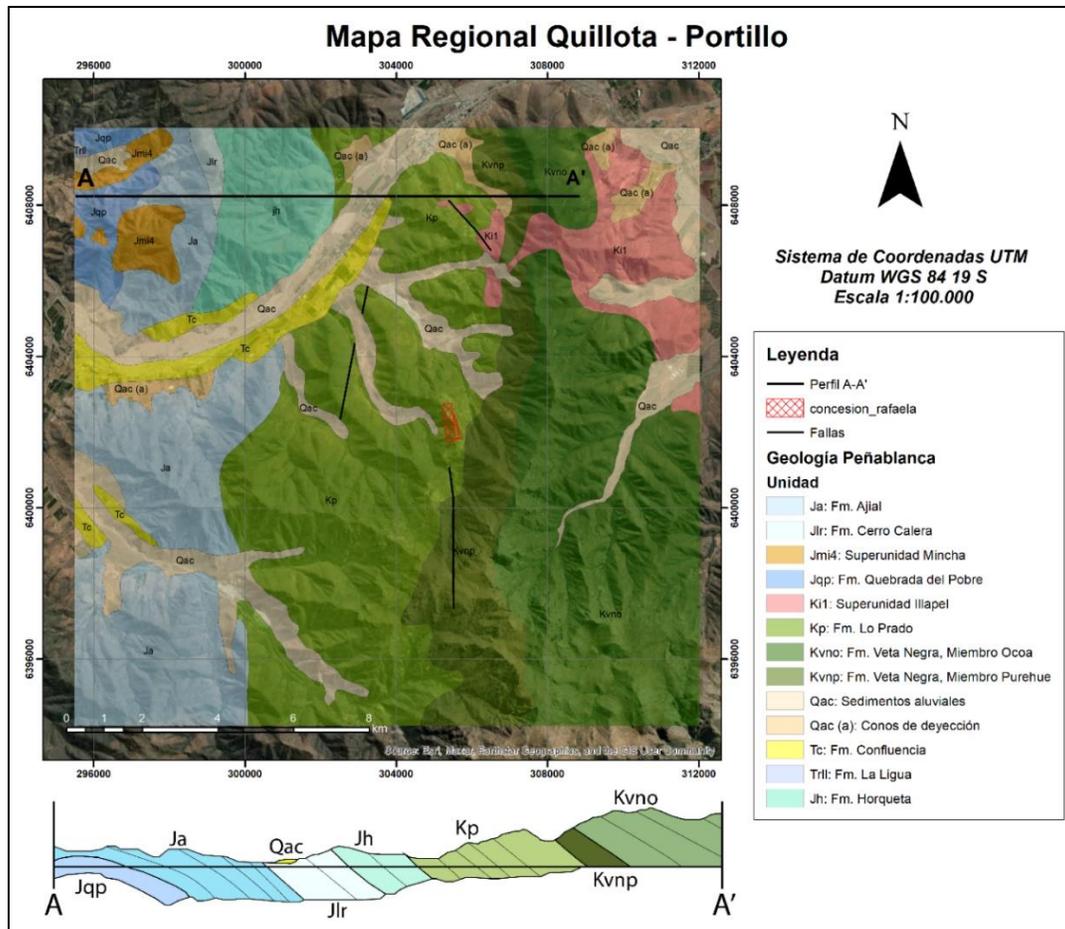


Figura 3.2. Mapa geológico regional de la zona de estudio, modificado de Rivano et al. (1993). En color rojo se encuentra la propiedad minera de Rafaela. Perfil esquemático modificado de Thomas (1958), en el cual se aprecia la disposición de las formaciones y el manto regional entre 20-40° hacia el este.

3.5. Estructuras y Tectónica

Según Rivano et al. (1993) la Hoja Quillota – Portillo se puede dividir en 3 dominios estructurales que se separan por límites morfológicos y geológicos: Dominio Costero; Dominio Central y Dominio Cordillerano. De estos tres dominios solo los dos primeros mencionados afectan al área de estudio.

3.5.1. Dominio Costero

Se compone por las formaciones triásicas Pichidangui, La Ligua; formaciones jurásicas Los Molles, Quebrada el Pobre, Ajjal, Cerro Calera y Horqueta. El límite occidental del dominio corresponde a la línea de costa, mientras que su límite oriental corresponde al contacto discordante entre las formaciones Horqueta y Lo Prado. Se asocia una deformación importante a este ambiente tectónico (Rivano et al., 1993).

En este dominio se reconoce un ambiente tectónico sometido a deformación compresiva producto de la rotación horaria de bloques corticales aislados (Beck et al., 1990) que habría provocado fallas de rumbo principalmente con dirección NNW, como se observa en la formación Ajjal en el sector del río Aconcagua, donde se aprecia foliación intensa en

volcanitas y rocas sedimentarias de la formación. En otros sectores como La Ligua, la deformación intensa se manifiesta en el estiramiento y deformación de clastos (Formación La Ligua) o en la presencia de una fuerte foliación planar en la formación Los Molles. Esta deformación se ha asociado a fallas inversas de alto ángulo en el sector (Charrier et al., 1991; Rivano et al., 1993).

3.5.2. Dominio Central

Se ubica entre el borde oriental de la Cordillera de la Costa y la Mediana Montaña. En específico, corresponde al dominio comprendido entre el supuesto contacto discordante entre las formaciones Horqueta y Lo Prado hacia el occidente y la megafalla Pocuro hacia el oriente. En este dominio se encuentran las formaciones Lo Prado, Veta Negra, Las Chilcas y Salamanca (Rivano et al., 1993).

Este dominio se define como una zona de deformación suave y limitada a suaves pliegues que afectan a las rocas volcanoclásticas y favorecen la formación de fallas normales y más localmente, “horst” en compresión producto de fallas inversas y cabalgamientos locales (Rivano et al., 1993). Dentro del dominio destaca la existencia de plegamientos de las formaciones volcanoclásticas que generan un sistema homoclinal que supera los 80 km de largo y que presenta un manteo promedio entre 35°-45° hacia el este. En la formación Veta Negra este promedio de manteo disminuye a 20°, mientras que ya en la Formación Las Chilcas se llega a adoptar una disposición subhorizontal de los estratos (Rivano et al., 1993).

En la zona de estudio no destaca una gran falla regional, si no que más bien está controlada por fallas de tipo locales, las cuales pueden variar entre normales e inversas y con direcciones preferentemente NNW-SSE, N-S y NNE-SSW.

3.6. Depósitos Minerales

3.6.1. Distrito de Cabildo

En términos metalogénicos, el distrito de Cabildo destaca por presentar una historia de mineralización bastante compleja dado que en la zona confluyen dos tipos de yacimientos: Skarn y estratoligados de Cu (-Ag) de tipo mantos. Los primeros se caracterizan por presentar mineralogía de pirita y calcopirita con cristales más gruesos. Como fases accesorias aparecen pirrotina, molibdenita, esfalerita, magnetita y hematita, de grano fino. La ganga es de granate, piroxenos, anfíboles, epidota y feldespatos (albita y feldespato potásico), clorita, calcita, cuarzo y pequeñas cantidades de rutilo y titanita (Rodríguez et al., 2008). Por otra parte, los estratoligados de cobre consisten en venillas y disseminaciones de sulfuros de cobre: calcopirita, bornita ± covelina y calcosina. Esta ocurre bien encajada en rocas volcánicas y sedimentarias. Según Rodríguez et al. (2008) las fases accesorias contienen esfalerita, galena, cobaltina y arsenopirita. La mineralogía de alteración corresponde principalmente a calcita con cantidades menores de prehnita e intercrecimientos de filosilicatos (clorita, micas). En rocas volcánicas se encuentran reemplazos de albita a feldespatos.

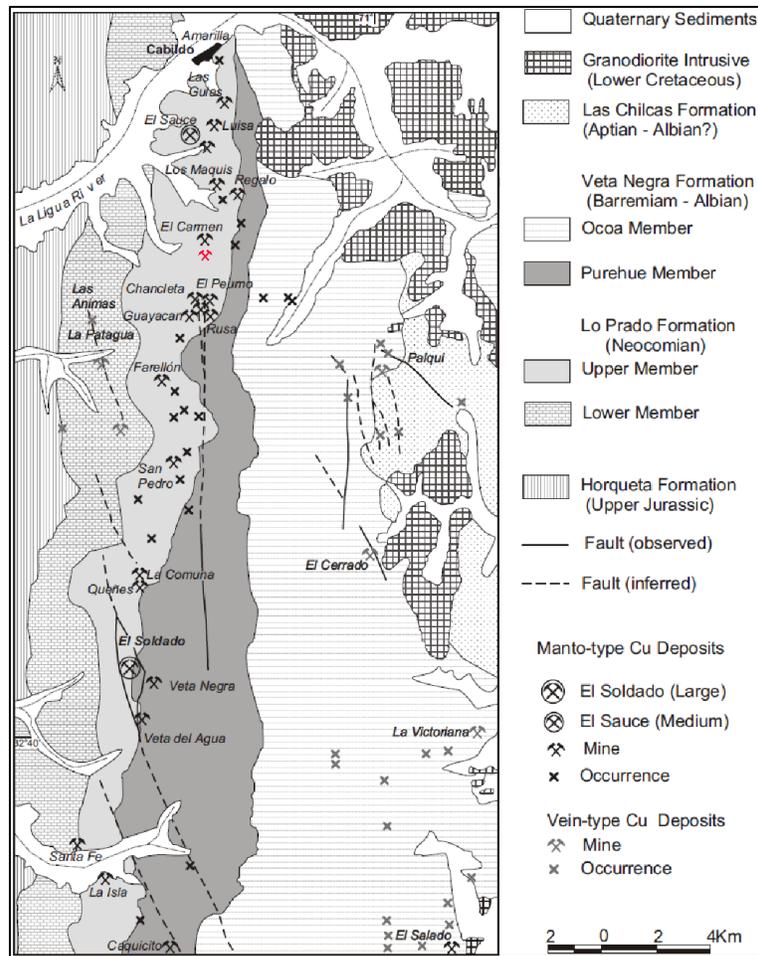


Figura 3.3. Depósitos minerales tipo mantos y vetiformes entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra. Destaca fuerte mineralización en Distrito de Cabildo. Símbolo rojo indica ubicación de Mina Rafaela. Modificado de Boric et al. (2002).

4. Geología de Mina Rafaela

4.1. Generalidades

En este capítulo, se describe el modelo geológico conceptual con las características principales del depósito en base a la información obtenida en terreno y datos de sondajes en las pertenencias de Rafaela. En específico, se describen las unidades litológicas que componen la faena y su distribución espacial, así como también las estructuras más importantes mapeadas tanto en superficie como al interior de la mina. Por último, se describe la alteración predominante y la mineralización.

4.2. Unidades geológicas

Dentro de la propiedad minera se logran identificar 3 unidades sedimentarias intercaladas con 3 unidades volcánicas a partir de datos en terreno (superficial e interior mina), donde se realiza un muestreo de estas unidades y se observan relaciones de contacto. Esto se complementa con el análisis de datos de sondajes dentro de la faena. Adicionalmente, se

logra identificar una serie de diques que cortan estas unidades estratificadas, los cuales en algunos casos presentan mineralización, aunque en general son post-mineralización.

Se destaca que la totalidad de las unidades se encuentran inmersas en un sistema homoclinal, donde el manto de los estratos ronda entre 24 y 30° hacia el Este.

4.2.1. Unidades sedimentarias

4.2.1.1. Unidad sedimentaria 1 (US1)

Esta se considera la unidad sedimentaria de mayor espesor en la faena llegando a un máximo de 60-68 metros de espesor según datos de sondajes. Es la unidad principal de extracción de mineral, en conjunto con la unidad volcánica 1. Se dispone concordantemente sobre la unidad volcánica recién mencionada y subyace la unidad volcánica 2. En superficie, esta unidad aflora en el límite occidental de la propiedad minera con una orientación NNW-SSE aproximada.

Esta secuencia se compone de rocas carbonatadas principalmente calizas negras con intercalaciones de areniscas calcáreas y lutitas. Las calizas se definen como roca sedimentaria de grano muy fino a limo, gris oscura bien estratificadas y con presencia de cristales de calcita menores a 1 cm en matriz (30-40%). Sin fenocristales apreciables. Presenta vetillas de calcita tardías que cortan toda la roca. En algunos casos se observan laminaciones paralelas que pueden o no estar mineralizadas. Se ha reportado que las calizas de esta unidad contienen material fosilífero, en específico ammonites (Tolosa, 2017).

Por otra parte, las lutitas calcáreas se describen como rocas de grano muy fino de color gris oscuras y con secuencias que no superan los 50 cm. Estas últimas en general dominan las cercanías a los contactos con las unidades volcánicas.

Por último, las areniscas calcáreas se definen como rocas sedimentarias de coloración gris oscura y tamaño de grano medio a fino. Presencia de líticos sedimentarios pequeños (entre 0.5-3 mm) de grano muy fino a limo, por lo que se asocian a clastos de calizas. Se distinguen cristales menores a 1 mm de calcita inmersos en la matriz calcárea. Vetillas de calcita cortan la muestra. Mineralización de calcosina en vetillas, patinas sobre vetas de calcita y diseminada en matriz. La calcosina se ve acompañada de calcopirita diseminada y en cúmulos. Los estratos pueden llegar a medir decenas de metros dentro de esta unidad, aunque en general se encuentran con intercalaciones de lutitas.

4.2.1.2. Unidad sedimentaria 2 (US2)

Unidad de espesor variable, entre 13 a 16 metros según datos de sondajes, aunque no se observa en todos estos. Se encuentra ubicada entre la unidad volcánica 2 y unidad volcánica 3 de manera concordante entre ambas. Es la unidad de menor espesor en el yacimiento, y no se ha logrado extraer mineral de esta aún, debido a que la mina se encuentra en niveles inferiores. En superficie es difícil de encontrar debido a que aflora, en su mayoría, en zonas de difícil acceso, como son acantilados en los bordes de los caminos, sin embargo, si es identificable en ciertos puntos de la propiedad. Esta aflora en la parte centro-oriente de mina Rafaela con una orientación NNW-SSE.

Esta unidad se compone de rocas carbonatadas, pero se diferencia de la unidad anterior porque en esta se identifican principalmente areniscas calcáreas por sobre calizas negras y lutitas. Las areniscas son rocas de grano fino a grueso de coloración marrón clara. Se destaca la presencia de fósiles ammonites de variados tamaños (entre 5 mm a 20 cm de diámetro).

4.2.1.3. Unidad sedimentaria 3 (US3)

Secuencia sedimentaria que se encuentra concordantemente sobre la unidad volcánica 3 y se asocia al techo de la columna estratigráfica dentro de la propiedad minera. El espesor es indeterminado debido a que no se identifica el techo de la unidad, pero se estima un mínimo de 24 metros. Esta unidad solo se define por información obtenida en terreno ya que en sondajes no aparece. En particular, esta formación aflora en una antigua labor minera al SE de Mina Rafaela, donde se extraía el manto entre esta unidad y la unidad volcánica 3. Aflora prácticamente fuera de la propiedad de Rafaela, hacia el límite oriental de esta.

La unidad se conforma de calizas negras, en conjunto con areniscas calcáreas y lutitas con espesores menores. Las calizas no presentan mayores diferencias con respecto a las unidades anteriores, ya que siguen siendo rocas de grano medio a fino con matriz carbonatada y cristales pequeños de calcita en matriz. Las areniscas en general presentan una coloración marrón oscura a gris oscuras, con matriz de grano fino a medio y cristales de cuarzo inmersos en matriz. Clastos volcánicos no mayores a 5 mm, además de clastos de calizas. Dentro del grupo de las areniscas destacan capas de areniscas calcáreas con fuerte presencia de material fosilífero en forma de coquinas. Los fragmentos de fósiles rondan entre los 1-4 mm inmersos en matriz calcárea. Esta secuencia no supera los 3 metros de espesor.

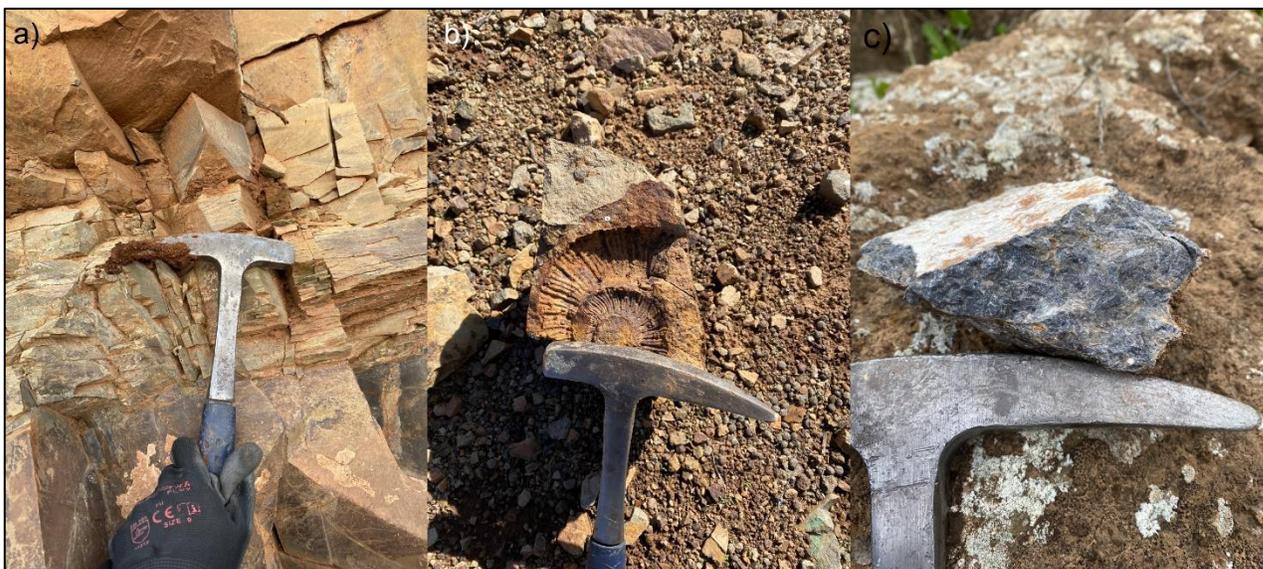


Figura 4.1. a) Calcilutitas pertenecientes a US1; b) Fósil ammonites de la US2; c) Calizas fosilíferas de la US3.

4.2.2. Unidades volcánicas

4.2.2.1. Unidad volcánica 1 (UV1)

Esta unidad se identifica como la base de la columna estratigráfica dentro de la propiedad minera, y es, en conjunto con la unidad sedimentaria 1, la secuencia de mayor extracción de

mineral dentro de la fauna. Esta tiene un espesor indeterminado ya que no se logra identificar la base de la unidad, no obstante, se identifica un espesor mínimo de 20 metros. En superficie aflora en el límite occidental de la propiedad y, en general, se encuentra fuera de esta. Al igual que las unidades sedimentarias, esta se dispone de manera NNW-SSE en superficie a lo largo de la propiedad.

Esta unidad se compone de una secuencia o alternancia de rocas volcánicas con composición andesíticas, en específico lavas, brechas volcánicas, tobas líticas, conglomerados y areniscas volcánicas.

Las lavas se describen como rocas de textura porfídica con fenocristales de plagioclasas de hasta 1 cm (30%) y hornblendas que no superan los 5 mm (10%) inmersos en masa fundamental gris oscura (60%). Las brechas se componen de matriz de grano medio y de coloración gris verdosa con líticos subangulosos polimícticos inmersos y con alto contenido de cristales: plagioclasa, calcita y en menor cantidad anfíbol. Los líticos son de composición volcánicos, que presentan cristales de plagioclasas, anfíbol y piroxenos en masas fundamentales de coloraciones variables entre blanquecina y marrón claro. También destacan clastos sedimentaria (calizas, areniscas) sin cristales visibles en matriz de grano medio a fino y tonalidades gris oscuras.

Por otra parte, las tobas volcánicas se dividen en dos grupos dependiendo del color de la matriz. Se tienen las denominadas tobas rojas que, como su nombre lo indica, presentan matriz rojiza-morada con cristales de cuarzos principalmente con tamaños de hasta 3 mm. Las tobas verdes son rocas volcanoclásticas de matriz tamaño grano medio y con menor contenido de cuarzo en matriz. En ambas tobas se logra identificar clastos volcánicos de tamaños no mayores a 1 cm.

Por último, se incluyen dentro de esta unidad a los conglomerados que, si bien podrían ser definidos dentro de la unidad sedimentaria 1, se identifican en esta unidad por el hecho de que estos actúan como roca de transición entre las calizas de la US1 y las andesitas de UV1. Además, hay sectores donde el contacto entre las calizas hacia el techo y conglomerados hacia la base está completamente mineralizado con calcopirita, bornita e incluso calcosina (como es el caso de la Veta Misterio y 709). Estas rocas son matriz soportada con presencia de fragmentos líticos de origen volcánico (presencia de hornblenda y plagioclasas en masa fundamental) subredondeados a redondeados, polimícticos y con tamaños variados entre 2 mm a 8 cm de diámetro. Matriz (60%) de grano grueso y coloración beige, con presencia de plagioclasas y calcita relleno de cavidades y sobreimpuesta en matriz.

4.2.2.2. Unidad volcánica 2 (UV2)

Secuencia volcánica que se dispone concordantemente entre US1 a la base y US2 al techo. Tiene espesor variable, no obstante, en algunos sondeos ha mostrado tener un espesor máximo de hasta 100 metros, por lo que se considera la unidad de mayor espesor en el depósito. Se ha logrado extraer mineral de esta unidad últimamente justo en la intersección entre el contacto con la US1 y la Veta Margarita. En superficie la UV2 aflora en el sector centro occidente de la propiedad y con dirección entre NNW-SSE y N-S aproximadamente.

En términos litológicos se asimila bastante a la UV1, ya que esta unidad también está compuesta por lavas porfídicas, tobas líticas y cristalinas, brechas volcánicas. En este caso se encuentran intercalaciones de areniscas calcáreas. No obstante, en la zona de contacto inferior (con US1), se encuentra otro tipo de tobas volcánicas cristalinas, caracterizadas por coloración gris verdosa y textura porfídica. Este tipo de rocas presenta fenocristales de plagioclasas alterados a albita (15%), mayor contenido de piroxenos (10%), presencia de cuarzo y calcita como cristales en matriz y líticos volcánicos menores a 2 mm. Por último, las areniscas se destacan por presentar grano medio a fino y coloración gris oscura. Esta última litología no supera los 50 cm por capa intercalada.

4.2.2.3. Unidad volcánica 3 (UV3)

Por último, UV3 se considera la unidad volcánica más “joven” dentro de la columna estratigráfica del yacimiento. Se encuentra concordantemente sobre la US2 y bajo la US3. En superficie aflora justo en el límite oriental de la propiedad con una orientación prácticamente N-S. Se determina un espesor mínimo de 20 metros según datos de sondajes. Es importante destacar que esta unidad, en conjunto con US3, fueron extraídas para producción mineral en una labor minera abandonada al SE de la propiedad de Rafaela.

Esta unidad es bastante similar a la unidad volcánica 2, ya que cuenta con lavas andesíticas porfídicas con fenocristales de plagioclasas con diámetros de hasta 2 cm (35%), y hornblendas de 5 mm de máximo tamaño (10%). Además, se encuentran brechas volcánicas y tobas cristalinas y líticas. Se destaca que en esta unidad no se observan las tobas cristalinas mencionadas solo en UV2. Esta unidad presenta intercalaciones de areniscas calcáreas de grano medio a fino y, en menor medida, de lutitas negras con capas que no superan 1 metro de espesor.

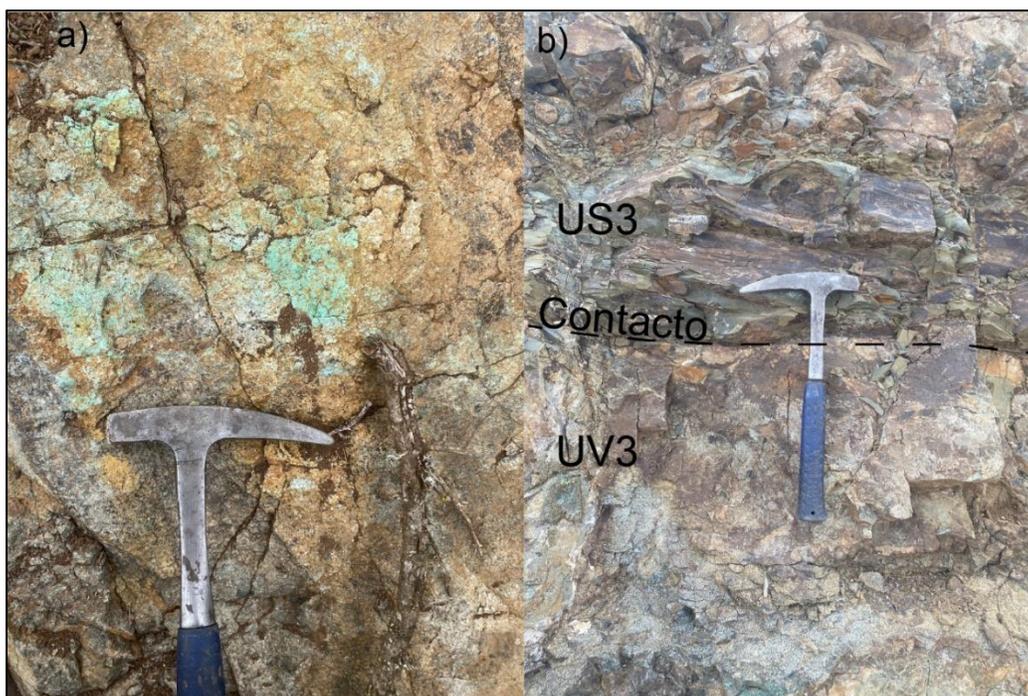


Figura 4.2. a) Brechas volcánicas pertenecientes a la Unidad Volcánica 1; b) Manto 5 entre US3 y UV3.

4.2.3. Diques mineralizadores y post-mineral

En superficie e interior mina se encuentra un conjunto de diques hipoabisales de composición andesítica y textura porfídica los cuales presentan, en algunos casos, mineralización asociada de baja ley, mientras que en otros casos se consideran prácticamente estériles. Estos, en general, se encuentran intruyendo las 6 unidades litológicas descritas anteriormente.

La dirección preferente para los diques mineralizadores va de forma paralela con las vetas mineralizadas. En específico, pueden variar con orientaciones entre N10W y N60W y manteos prácticamente subverticales (75-85°W). Sus anchos promedios rondan entre los 50 cm hasta 3 metros. La extensión de estos diques no se ha podido determinar de manera precisa, pero pueden alcanzar hasta decenas de metros en profundidad y en alcance horizontal.

Por otra parte, los diques post-minerales se diferencian en que presentan orientaciones NE-SW en general y sin mineralización apreciable. En la mayoría de los casos a estos diques se les asocian fallas normales con cierta componente de rumbo que desplazan la mineralización. Esto se ha logrado observar en labores de producción. Cabe destacar que hay estructuras de este tipo con texturas afanítica, a diferencia de los diques NW que presentan texturas porfídicas.

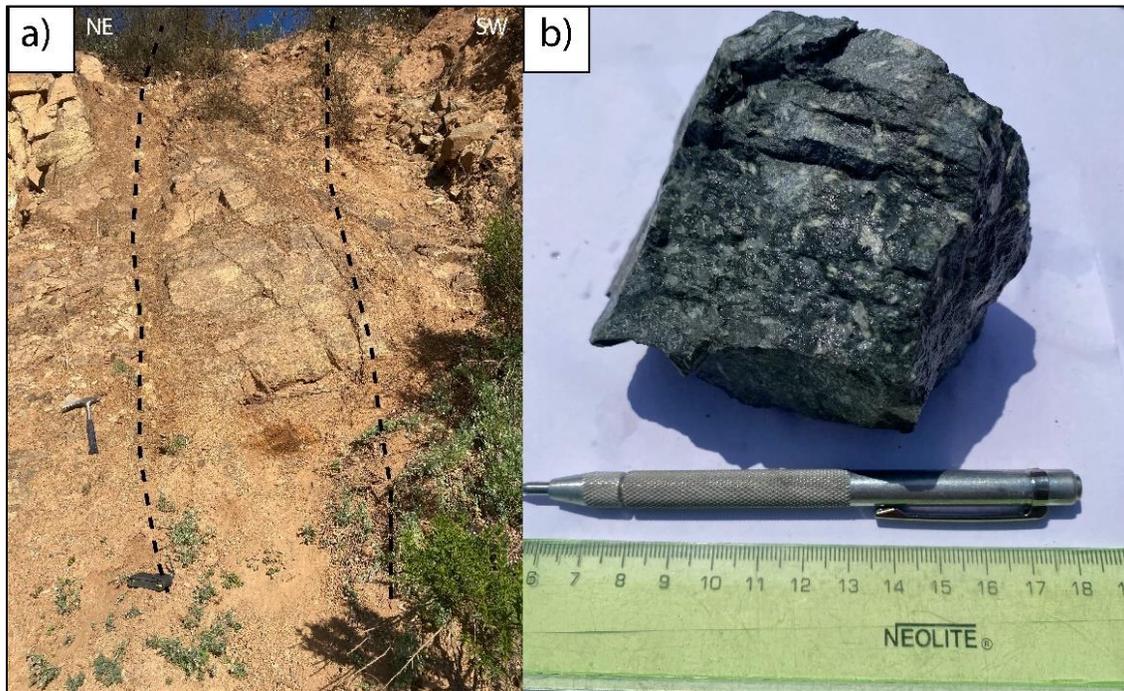


Figura 4.3. a) Dique andesítico de 2 metros de ancho y con pequeña mineralización de calcopirita en los contactos con la roca de caja perteneciente a la UV1. Las líneas punteadas delimitan el dique andesítico. b) Muestra de mano de dique Eurides al interior mina.

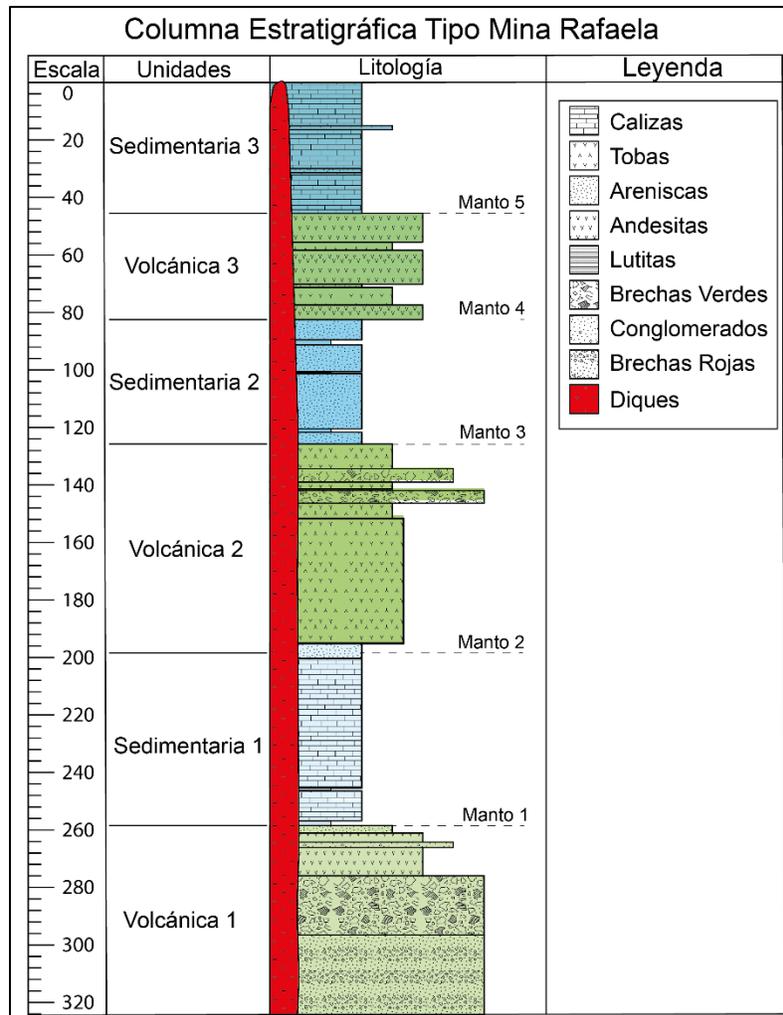


Figura 4.4. Columna estratigráfica esquemática de Mina Rafaela. Se destaca la disposición de todas las unidades litológicas descritas anteriormente y los mantos asociados a los contactos entre estas. Modificada de Toloza (2017).

4.3. Alteración hidrotermal

La alteración hidrotermal hipógena del yacimiento corresponde a una alteración de bajo grado que se puede asociar a una alteración propilítica de carácter regional, en donde la asociación calcita-clorita-epidota es predominante, aunque no es descartable a un metamorfismo de bajo grado. Por otra parte, existe una alteración de carácter más local que se asocia a la presencia de estructuras mineralizadoras dentro del yacimiento, también con una asociación calcita-clorita-epidota cristalizada en forma de halo. En el ambiente supérgeno también se define una alteración de bajo grado, pero con aumento de óxidos de Fe y presencia de zeolitas. Los principales minerales de alteración se describen a continuación:

- 1) **Calcita:** Mineral más abundante dentro y fuera de la mina. Se encuentra relleno de vetas, vetillas, vesículas, diseminada tanto en roca sedimentaria (Calizas, lutitas, areniscas), como en rocas volcánicas (tobas y brechas). Se aprecian distintos eventos de precipitación de calcita que se pueden observar en ciertas relaciones de corte de

vetillas de este mineral. Destacan eventos en que se forma calcita antes de la mineralización, y eventos post-mineralización.

- 2) **Clorita:** Mineral micáceo de tonos verdosos claros a oscuros. Predomina en rocas volcánicas en halos de fallas y vetas rellenas con calcita o salbanda de falla. Estos halos alterados con clorita pueden alcanzar espesores de hasta 1 metro.
- 3) **Epidota:** Cristales de tonos verdes oscuros, con hábitos radial en masa fundamental de rocas volcánicas. En general se encuentran reemplazando plagioclasas de estas rocas. Al igual que la clorita, este mineral se asocia a los halos de alteración de las estructuras presentes. En superficie, se encuentra en patinas sobre rocas volcánicas.
- 4) **Granate:** Estudios anteriores han reportado la presencia de este mineral en rocas sedimentarias. Se identificaron cristales de grano fino, no mayores a 3 mm, color amarillo a pardo, cercano a vetas de calcita (Toloza, 2017). **Se destaca que en el presente estudio no se logra identificar este mineral.**
- 5) **Zeolitas:** Mineral de alteración observado en superficie relleno de cavidades en rocas volcánicas. Se identifica como mineral blanco con hábito radial y baja dureza. Igualmente, se ha reportado este mineral en estudios anteriores (Toloza, 2017).
- 6) **Óxidos de Fe:** Minerales de alteración principales en superficie. En general, se identifica hematita, con tonos rojizos alterando matriz de rocas sedimentaria y rocas volcánicas, goetita con tonos más negros oscuros acompañando a la hematita en matriz.
- 7) **Bitumen:** Se ha reportado la presencia de este material orgánico dentro del yacimiento (Toloza, 2017). Este se define como material sólido derivado del querógeno alojado en rocas sedimentarias de forma diseminada o en fracturas. El bitumen en este tipo de depósitos está bien estudiado porque se le asocia un rol como agente reductor, participando en la precipitación de metales (Zentilli et al., 1997; Cisternas y Hermosilla, 2006). Cabe destacar que este material se ha observado en yacimientos estratoligados de Cu (-Ag) cercanos a la zona de estudio como, por ejemplo, Cerro Negro, El Soldado y Mantos de Catemu (Vilches, 2018).

4.4. Mineralización

La mineralización principal del depósito corresponde a sulfuros de cobre en profundidad y óxidos de cobre en niveles más superficiales. En particular, a nivel hipógeno predomina la mineralización de calcopirita como sulfuro más abundante, seguida de pirita y bornita. Además, se destaca la presencia de calcosina hipógena en algunos sistemas de vetas y covelina secundaria, generalmente reemplazando a la bornita. Esta mineralización se presenta en vetas de variados espesores, pero en un rango aproximado entre 1 a 3 metros de espesor, con halos mineralizados entre 0.5 y 6 metros de ancho.

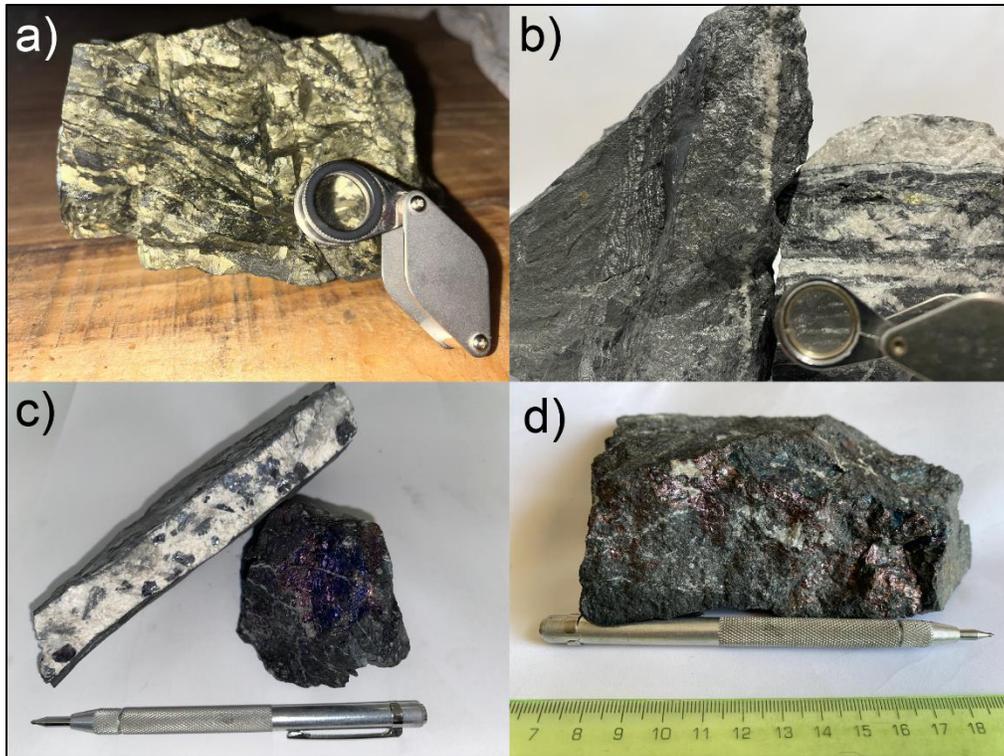


Figura 4.5. a) Calcopirita en patinas en roca sedimentaria caliza. b) Calcosina en patina sobre veta de calcita con un pequeño halo de calcosina laminada y diseminada, hacia sector izquierdo de la pátina. c) Bornita en cúmulos en calizas y cúmulos de calcosina en veta de calcita. D) Bornita en patinas y cúmulos en brecha volcánica perteneciente a la Unidad volcánica I en el sistema de vetas 709.

Sin embargo, las mayores zonas mineralizadas del yacimiento se encuentran en la intersección entre los contactos litológicos de unidades sedimentarias y volcánicas con las estructuras mineralizadoras. En efecto, estas se consideran las zonas de mayor interés económico por la cantidad de tonelaje acumulado en estas. La mineralización ocurre desde la veta hacia el exterior con una disminución del porcentaje de cobre, y variación de las asociaciones minerales, al alejarse de la estructura. Estas zonas se denominan “mantos” dada la forma tabular en la cual se dispone el mineral en el límite de ambas unidades geológicas (Figura 4.6). Dentro de mina Rafaela se consideran 5 mantos posibles, que corresponden a los contactos entre unidades litológicas definidas anteriormente (Figura 4.4).

En general, en estos mantos se genera un núcleo de alta ley, donde se logran observar las asociaciones **calcopirita-bornita-calcosina**; **bornita-calcopirita** y/o **calcopirita-calcosina**, dependiendo de la estructura mineralizadora. Al alejarse de la estructura comienza a aparecer la asociación de solamente **calcopirita** y ya en los extremos del manto se reconoce la asociación **calcopirita-pirita** y **pirita**.

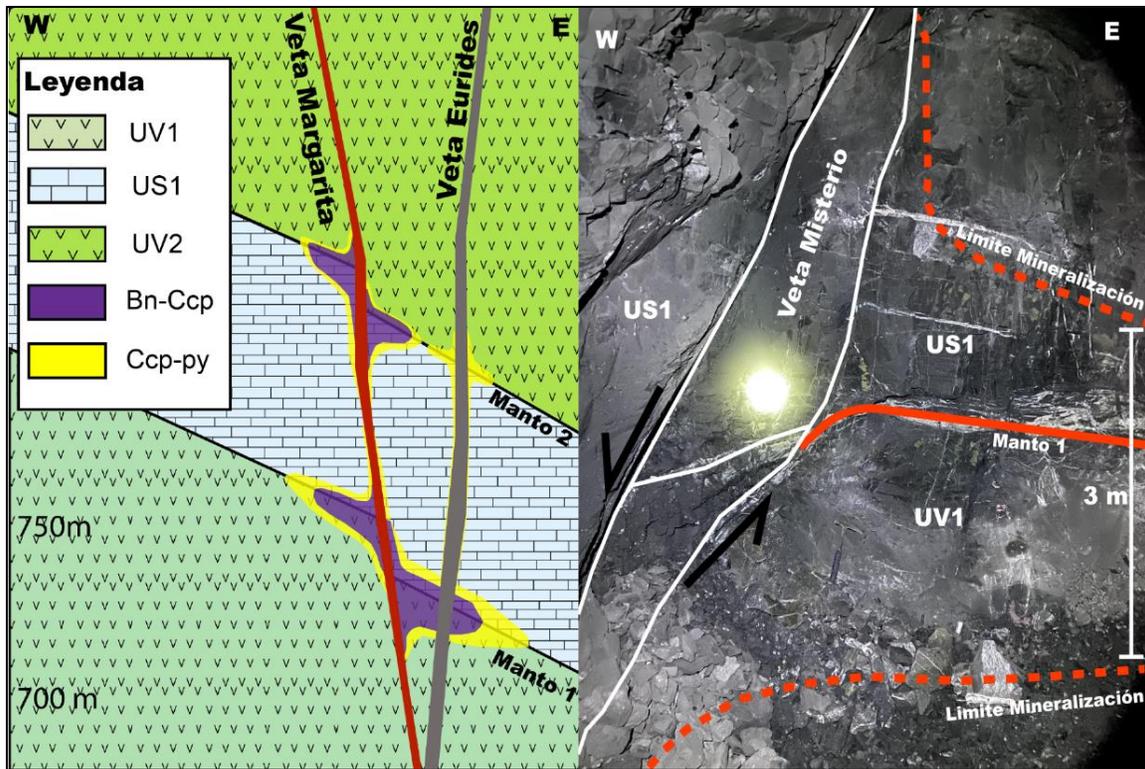


Figura 4.6. Izquierda: Representación esquemática de la mineralización tipo "manto" en el sistema de vetas Margarita-Eurides. Se observa mayor mineralización en contacto inferior con unidad sedimentaria a techo y unidad volcánica a base. Derecha: Mineralización tipo manto en Veta Misterio. Se aprecia potencia de 3 metros de mineral que corresponde a la asociación calcosina-calcopirita-bornita. Además, se aprecia desplazamiento de la estructura, el cual se estima en 6 metros.

En terreno se logra apreciar que las dimensiones de cada manto son variables y dependen principalmente de la estructura mineralizadora. Existen casos en que la mineralización del manto tiene extensiones horizontales de hasta 20 metros, como es el caso del sistema de vetas Margarita-Eurides, y otros casos en que la extensión horizontal no supera los 3 metros. Esto se describe con más detalles en la sección “Estructuras y mantos mineralizados”.

4.4.1. Estilos de mineralización

La mineralización en la roca huésped se encuentra en 5 diferentes estilos describiéndose a continuación:

- 1) **Vetillas:** rellenan fracturas en rocas volcánicas y sedimentarias. Dentro de este estilo mineralizado se encuentra la calcopirita, bornita y calcosina. Es de los estilos más comunes en el yacimiento.
- 2) **Diseminado:** Mineral dispersado en la matriz de la roca huésped. Se observa este estilo en rocas sedimentarias como areniscas, calcoareniscas, calizas. En rocas volcánicas se aprecia en brechas volcánicas y lavas. Los minerales que presentan este estilo son: calcopirita, bornita y calcosina.
- 3) **Patinas** en contactos de diaclasas y vetillas de calcita. Se observa en todo tipo de roca. El mineral principal con este estilo es la calcosina, seguida de la calcopirita y por último bornita. También se registra covelina con este estilo mineralizado.

- 4) **Laminar** que se define como una dispersión en los planos de laminaciones paralelas dentro de las rocas sedimentarias calizas y calcilutitas. Calcopirita, calcosina y bornita se presentan con este estilo.
- 5) **Stockwork** como conjunto de vetillas en varias direcciones. Solo se aprecia este estilo mineralizado en calizas y areniscas; con relleno de calcopirita solamente.
- 6) **Cúmulos:** Acumulación de mineral en volúmenes acotados dentro de la roca. Se asocia a rocas volcánicas y, en menor medida, a rocas sedimentarias como areniscas. Se observan cúmulos de calcopirita y bornita principalmente.

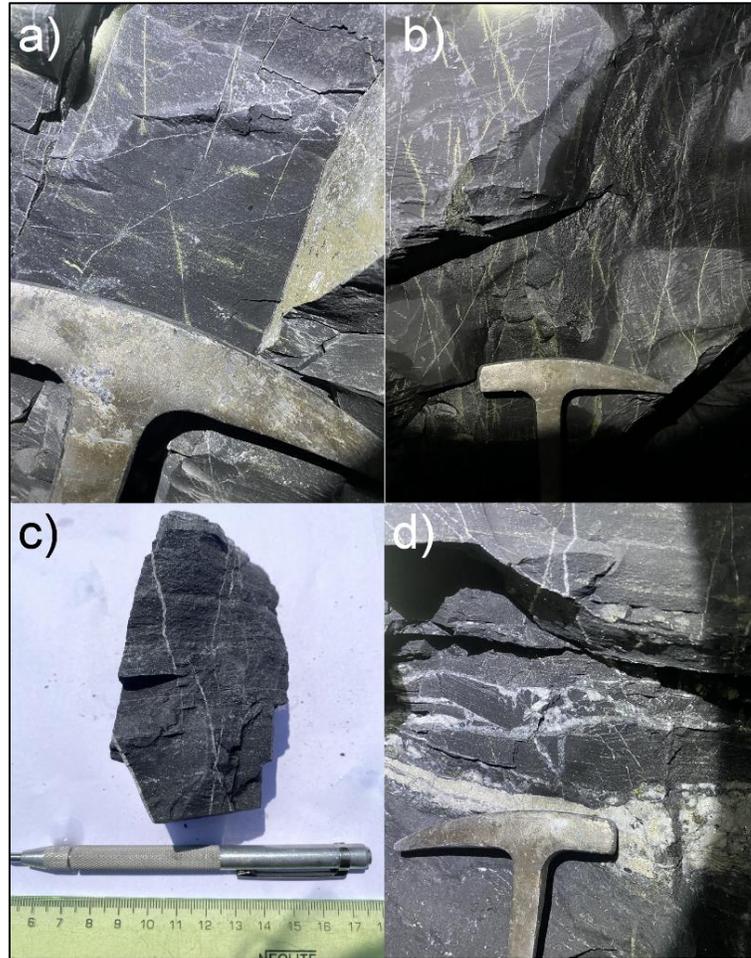


Figura 4.7. a) Calcopirita en vetillas y diseminada en calizas; b) Enrejado de vetillas de calcopirita en calizas (stockwork); c) Muestra de calcosina laminada en calizas; d) Asociación calcopirita-calcosina con esta última laminada y diseminada y con mayor porcentaje en la roca. Esta última imagen se asocia al sistema de veta Misterio, en el “Manto 1”.

4.5. Estructuras y mantos mineralizados

4.5.1. Interior Mina

En la campaña de mapeo interior mina se logra identificar 7 vetas/fallas principales que controlan la mineralización dentro de las pertenencias y son las que han estado en producción durante los últimos tiempos. Adicionalmente, se identifican 2 fallas post-mineral que han desplazado la mineralización dentro de la faena de manera tardía. Cada una de estas vetas

genera mantos mineralizados con dimensiones particulares (Figura 4.8). A continuación, se describen cada una de estas estructuras y sus mantos asociados (Figura 4.9). **Dada la poca información de sondajes y nula información en terreno para la mineralización de los mantos 3, 4 y 5 se determinan las dimensiones mínimas del Manto 1 para los mantos 3 y 5, y las dimensiones mínimas del Manto 2 para el Manto 4.** Esta correlación se determina porque los mantos 1, 3 y 5 corresponden a los contactos litológicos en los cuales las rocas sedimentarias se encuentran sobre las rocas volcánicas. En cambio, los mantos 2 y 4 las rocas volcánicas sobreyacen a las rocas sedimentarias.

4.5.1.1. Veta Margarita

Esta estructura se identifica como una falla normal con rumbo variable y manteo entre 80-85° al este. En principio, se identifica un rumbo entre N10-N15W (azimut entre 345-350) al sur de la propiedad de Rafaela. Al entrar en las pertenencias, un poco más al norte, esta falla/veta cambia su rumbo a N30W-N45W, lo cual hace variar la dirección de labores de producción. La veta formada actúa como tipo rosario producto de la morfología de lazo sigmoide de la falla asociada. Esto quiere decir que se presentan zonas de bonanza con alto porcentaje de mineralización en sectores de mayor extensión y zonas prácticamente estériles en zonas de menor espesor.

En las cercanías de los mantos se observa un alto porcentaje de mineralización de bornita, calcopirita e incluso covelina, sin embargo, una baja cantidad de calcosina que se encuentra de manera subordinada y asociada a cristales de calcita. Se determinan espesores variables de esta veta, desde un mínimo de 5 cm hasta un máximo de 70 cm de relleno de calcita. El halo mineralizado es variable, pero ronda entre 1 a 8 metros de espesor en zonas cercanas a los mantos. En terreno se estima un desplazamiento de al menos 10 metros.

Esta veta genera zonas de bonanza en los mantos 1 y 2 mencionados recientemente, los cuales varían en potencia y extensión lateral. El manto 1 hacia el Este se incluye en el sistema Margarita -Eurides y presenta una extensión horizontal entre 20-30 metros y una potencia variable pero situada entre 3-3.5 metros, y con mayor mineralización en la unidad volcánica 1 (aproximado 2 metros de potencia) en comparación con la unidad sedimentaria 1. Hacia el oeste el manto 1 alcanza una extensión lateral de 20 metros aproximados, pero con la misma potencia de 3-3.5 m. El manto 2 es de menores dimensiones, tan solo se considera una potencia de 2 a 2.5 metros, con la unidad sedimentaria 1 con mayor mineralización que la UV2. La extensión horizontal no supera los 12 metros.

4.5.1.2. Veta/ Dique Eurides

Estructura que se desarrolla en los contactos de un dique andesítico de 3 metros de ancho con la roca de caja, el cual presenta plagioclasa entre 5 mm a 2 cm de diámetro albitizadas y con masa fundamental verdosa con posible alteración de clorita-epidota. Esta estructura presenta una dirección preferente N30W-N35W, con manteos subverticales entre 84-88° al oeste. La veta asociada presenta un espesor variable, pero ronda entre los 20 cm a 50 cm de relleno de calcita. Se asocia una falla normal a este dique, con desplazamiento de máximo de 1 metro.

Al igual que la Veta Margarita, esta estructura genera zonas de bonanza en la intersección entre manto 1 y 2, sin embargo, de menores dimensiones. El manto 1 de esta estructura se

intercepta con el de Veta Margarita, y por ende se incluye en el sistema de manto-veta Margarita -Eurides. (Figura 4.6).

El manto 2 de la veta/dique Eurides se logra observar en terreno debido a que fue explotado en una labor de producción. Este presenta un espesor máximo de 2.5 metros y una extensión lateral de hasta 5 metros tanto para ambos bloques de la estructura.

4.5.1.3. Veta Sureste 1 (SE1)

Se describe como una veta/falla de tipo normal con un desplazamiento que no supera 1 metro. Rumbo variable pero acotado entre N10W-N20W y con manteo entre 60° y 70° al oeste. El espesor asociado de esta veta ronda entre 10-50 cm de relleno de calcita y salbanda de falla. La mineralización principal es de calcopirita seguida de bornita con halos entre 1 a 2 metros de espesor.

El manto 1 hacia el este presenta dimensiones bastante irregulares según la información de sondajes y de labores de producción. Además, hacia el norte este manto se “traslapa” con el manto de la Veta Galápagos, por lo que se genera un sistema SE1-Galápagos. Esta zona de bonanza tiene dimensiones laterales que rondan entre 5 a 12 metros desde la veta SE1 al este, dependiendo de la cercanía con la veta Galápagos. Vale decir, a mayor separación entre vetas, menor es el tamaño lateral del manto. La potencia promedio de este manto se encuentra en los 2.5-3 metros.

Hacia el oeste el manto 1 de esta veta tiene unas dimensiones entre 4 y 9 metros de extensión lateral y una potencia entre 2 y 2.5 metros entre ambas unidades litológicas.

Con respecto al manto 2, esta veta pierde bastante mineralización según la información de sondajes. El manto solo presenta una potencia que varía entre 1 y 1.5 metros entre ambas unidades geológicas (UV2 y US1), pero con una extensión lateral de 8 metros. Cabe destacar que, este manto se intercepta en gran medida con el manto 2 de veta Galápagos y se separa de esta hacia el norte de la propiedad.

4.5.1.4. Veta Galápagos

La veta “Galápagos” se identifica como la única falla/veta de tipo inversa dentro de la mina, la cual debe haberse reactivado durante periodos de compresión. Esta presenta una dirección principal de N33W, aunque variable en algunos tramos, donde ha llegado a tener rumbo N20W. Manteos que rondan entre 70-75°W. El espesor de la falla puede llegar hasta 1 metro de ancho. La mineralización corresponde a calcopirita + bornita en un halo mineralizado que ronda entre 1 a 3 metros de ancho. El desplazamiento de esta falla se estima entre 6-7 metros de levantamiento del bloque oeste.

Los mantos generados por la veta Galápagos se vinculan a dos sistemas. Hacia el oeste se encuentra el sistema manto/veta SE1-Galápagos ya mencionado, el cual puede llegar hasta 12 metros de extensión lateral y 3 metros de potencia. Hacia el este se define el sistema Galápagos/709. Este último sistema también se considera irregular, ya que hay zonas en las que se reconocen los mantos de ambas vetas y zonas donde la mineralización es parte del sistema, debido a la diferencia de rumbo entre las estructuras. De forma independiente, el

manto 1 hacia el este de la veta Galápagos tiene dimensiones laterales de 6-7 metros y una potencia de 3 metros. En las zonas que se une con el manto de la veta 709 (sistema Galápagos/709), la extensión lateral ronda entre 3 a 12 metros, también dependiendo de la cercanía entre estructuras. La potencia mineralizada se sitúa en 4 metros.

El manto 2 de Veta Galápagos presenta dimensiones variables ya que se intercepta un sondaje a 8 metros de la veta con mineralización de baja ley asociada al manto. Sin embargo, más al norte se intercepta otro sondaje donde no se reporta mineralización a 5 metros de la veta. Por ende, se determina una extensión horizontal entre 4 a 8 metros con promedio de 6 metros desde la veta hacia el exterior, y potencias máximas de 2 metros entre ambas litologías.

4.5.1.5. Veta 709

Esta estructura se identifica como una falla de tipo normal que presenta el mayor desplazamiento dentro del yacimiento, llegando a 45-50 metros de caída del bloque colgante hacia el oeste. Presenta un rumbo variable pero acotado entre N15W-N30W y con manteos entre 40-60°W. Contiene varias ramificaciones de vetas que generan mineralización, como son la veta Galápagos y SE1. Espesor de máximo 1 metro para la zona de falla, con 50 cm máximo de espesor de relleno de calcita en la veta principal. Vetas secundarias a esta pueden llegar a tener máximo 20 cm de espesor con direcciones paralelas a la principal. Mineralización de calcopirita y bornita en un halo de hasta 2-3 metros de ancho alejado de los mantos.

Esta veta, en el manto 1 hacia el oeste presenta el sistema Galápagos/709 que se separa en el manto 2. Hacia el este, se encuentra un manto independiente de dimensiones importantes, aunque bastante irregulares. En general la extensión lateral ronda entre 8 a 10 metros, aunque se ha identificado mineral asociado a la veta hasta 40 metros de la estructura. La gran extensión lateral se debe a que esta veta presenta varias vetillas secundarias que aumentan la cantidad de mineral al interceptar el manto, aunque estas estructuras, debido al tamaño que no supera los 5 cm de espesor, no se consideran en el modelo. La potencia varía entre 2 a 2.5 metros, con predominancia de mineralización en la unidad volcánica 1.

El manto 2 solo se observa por información de sondajes. Este presenta una extensión lateral de máximo 6 metros y una potencia de 2 metros en ambas litologías y para cada bloque de la veta. Cabe destacar que la mineralización de este manto se concentra en la unidad sedimentaria por sobre la unidad volcánica, contrario a lo que ocurre en el manto 1.

4.5.1.6. Veta Misterio

Estructura identificada como falla normal con dirección entre N10W-N15W y manteos entre 70-80°W. Hacia el sur esta falla presenta un cambio de rumbo considerable a N30W aproximado, manteniendo mismo manteo. El espesor es variable, pero se acota al rango entre 15-60 cm de espesor. Halo mineralizado puede llegar a 4 metros. Esta veta destaca por el alto porcentaje de mineralización de calcosina (diseminada y en vetillas) a diferencia de las otras vetas principales. Esta presenta texturas de relleno de calcita entre bloque de rocas sedimentarias cercanos a la estructura principal, indicando posible fracturamiento hidráulico. Es importante mencionar que esta estructura presenta mineralización vetiforme solo hasta 10 metros por sobre manto 1. Por tal motivo, se considera una estructura con mayor

mineralización tipo mantiforme por sobre vetiforme. Se logra determinar en terreno un desplazamiento mínimo de 6 metros para el bloque colgante.

Esta veta presenta, hacia el este, un manto 1 con una extensión lateral irregular entre 4 y 16 metros y una potencia entre 2 a 3 metros, con predominancia de mineralización en rocas volcánicas de UV1. El manto hacia el oeste no se ha interceptado, pero se infieren las mismas dimensiones.

En el caso del manto 2, no se intercepta sondajes ni tampoco se obtiene información en terreno. Por tales motivos se asocian las dimensiones del manto 2 de la veta 709, dadas las similitudes y la menor presencia de mineralización en la mayoría de los mantos 2 de las estructuras. Vale decir, extensión lateral de 5 metros y potencia de 2 metros.

4.5.1.1. Veta NE

Una de las pocas estructuras mayores con dirección NE, también se asocia a una falla normal que se considera posterior a las vetas anteriormente descritas, aunque a diferencia de la Falla Caserón Norte, esta sí presenta mineralización (calcopirita diseminada) según datos levantados en terreno y de sondajes. Se determina rumbo N38-40E y manto 50° al W. Ancho de zona de daño entre 20 a 50 cm. Relleno de calcita y harina de falla. No se logra identificar los metros de desplazamiento que provoca la falla en terreno, aunque por interpretación de la información de sondajes, esta puede tener desplazamientos de hasta 25 metros. Esta falla se logra identificar tanto en terreno, mapeo en Mina Vieja e intercepciones de sondaje.

Con respecto a los mantos formados, no se logra distinguir las dimensiones de cada uno de estos. Por tales razones, se utilizan las dimensiones mínimas descritas con anterioridad. La extensión lateral no supera los 4 metros, mientras que la potencia ronda entre 1.5-2.5 metros.

4.5.1.2. Falla Caserón Norte

Esta falla normal no presenta mineralización, debido a que se asocia a una estructura post-mineral que desplaza las vetas en sí. Tiene dirección N65W y manto 60°SE. El ancho de la zona de falla ronda entre los 40-60 cm donde se encuentra abundante salbanda de falla. Se destaca que en terreno no se logra identificar los metros de desplazamiento del bloque colgante y la traza no se distingue en superficie. Por información de sondajes esta falla tiene desplazamientos de hasta 15 metros.

4.5.1.3. Dique 2

Sistema de dos diques paralelos con rumbos variables entre N40E - N55E y manto entre 75-80° NW. Esta estructura no presenta mineralización ya que se forma en un evento de intrusión post-mineral que desplaza el mineral en sí. Se asocia una falla de tipo normal con desplazamiento de 3 metros de los mantos, el cual se observa en labores de producción del manto 1. El espesor de la estructura es de 1-2 metros y su relleno es de roca volcánica con cristales de plagioclasa inmersos en masa fundamental de coloración verdosa. El dique de menor dimensión de este sistema es de textura afanítica, donde solo destaca una masa fundamental de color verde-grisácea.

A continuación, se presenta un mapa en planta situado en la cota 730 metros, en el cual se observan las relaciones entre las estructuras identificadas al interior mina. Se destaca que la topografía de la faena, a grandes rasgos, también presenta una orientación NNW-SSE controlada por tales estructuras.

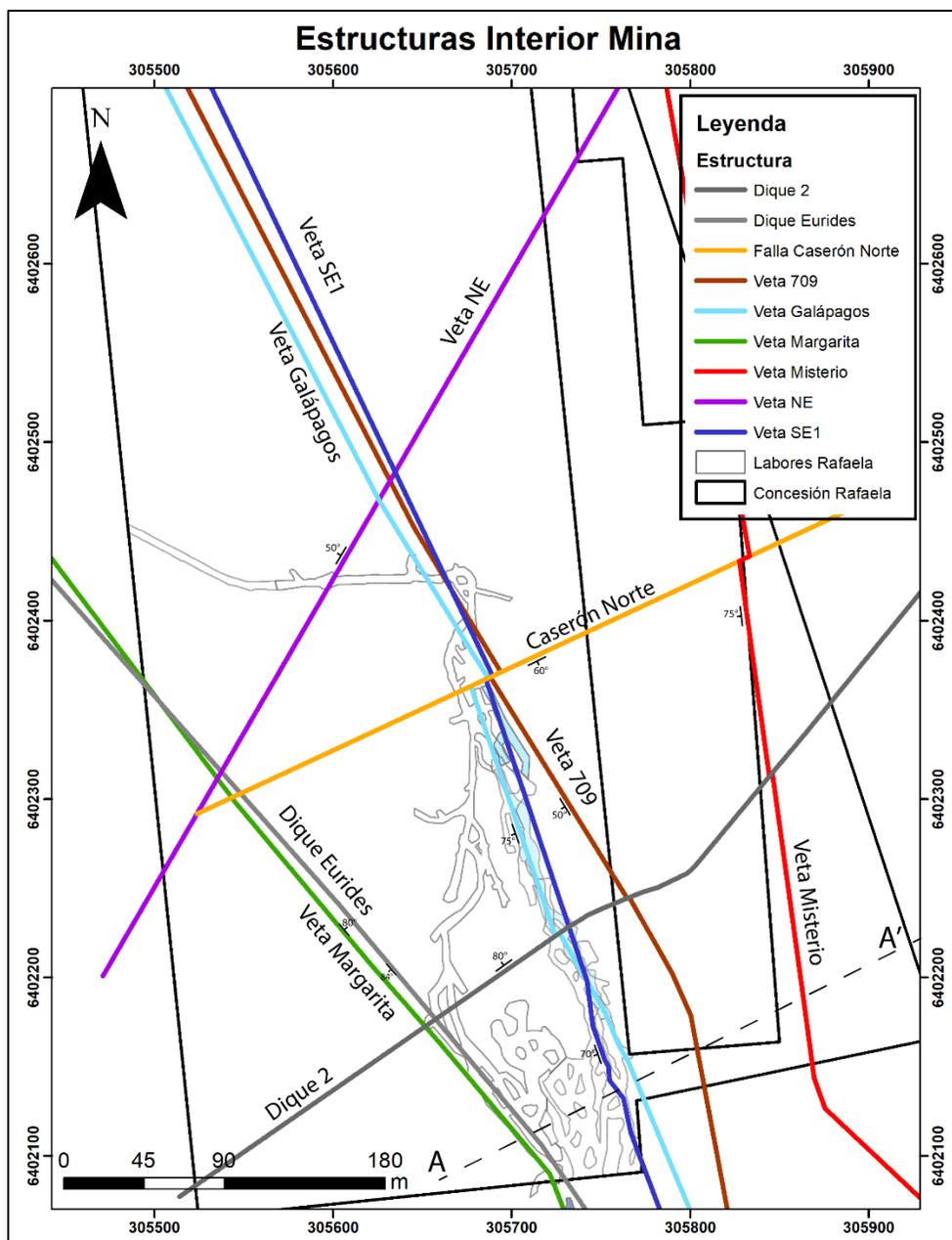


Figura 4.8. Mapa de las estructuras identificadas al interior mina en la cota 735. Elaboración propia.

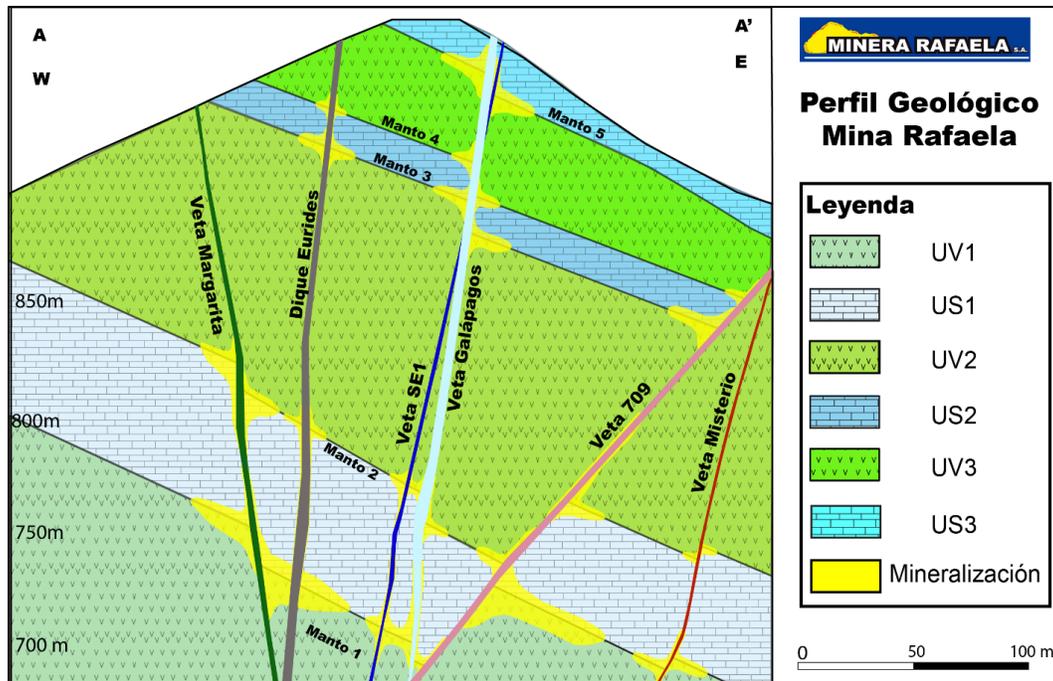


Figura 4.9. Perfil esquemático que muestra la mineralización dentro de la faena. Se aprecian 5 mantos mineralizados, más la mineralización vetiforme. Elaboración propia.

4.5.2. Superficie

4.5.2.1. Falla Norte

Esta estructura de tipo falla normal se identifica en superficie hacia el norte de la propiedad de Rafaela. Presenta un rumbo N58E y un manto de 82-85° NW. Este presenta un espesor de 70 cm. Presencia de salbanda de falla y un halo de alteración intensa de clorita dentro de la estructura y que baja la intensidad hacia los halos. Bajo porcentaje de óxidos de cobre. Según modelamiento se estima un desplazamiento de 3 metros de los contactos litológicos.

4.5.2.2. Falla A7

Falla normal tipo veta con rumbo N30W y manto 75°W que se identifica en pique minero en superficie. Presenta relleno de harina de falla de 20 cm de espesor. Gran alteración de óxidos de Fe (hematita, jarosita). En terreno no se identifica el desplazamiento, pero según modelamiento el bloque colgante se desplaza 18 metros. Cabe destacar que la continuidad de esta estructura en profundidad es inferida ya que en este sector no se tiene información de sondajes y de labores de producción. Esta veta contiene mineralización de óxidos de cobre en bajas cantidades (malaquita, crisocola) en un halo que puede llegar hasta 1.5 metros de ancho.

4.5.2.3. Falla 18

Estructura identificada como falla normal con rumbo N18E y manto de 65°E. Presenta un relleno de harina de falla de 30 cm aprox. Se infiere que es falla secundaria del Dique 2 dada su cercanía y la nula continuidad en profundidad. Esta falla se observa en sondajes, donde se determina un desplazamiento de 7-8 metros del bloque colgante.

4.5.2.4. Fallas normales de menor dimensión

En superficie es posible identificar numerosas estructuras normales que presentan, en gran medida, direcciones entre NNW-SSE y NW-SE, con manteos subverticales variables, pero en general, hacia el oeste. Cada una de estas fallas presenta desplazamientos que no superan los dos metros, por lo que por la escala del trabajo se han excluidos del modelo. Sin embargo, estas juegan roles importantes en temas de producción debido a que para este tipo de minería si son rentables los halos y mantos mineralizados (entre 1-1.5 metros de ancho mineralizado). Se destaca que mucha de estas fallas de menores dimensiones se asocia como secundarias de las estructuras principales.

4.6. Mapa Geológico

A partir de la información descrita anteriormente se genera un mapa superficial que representa la geología en planta de Mina Rafaela. Como se ha mencionado, este mapeo se realiza en base a cortes de caminos de servidumbre y piques antiguos de extracción de óxidos de cobre.

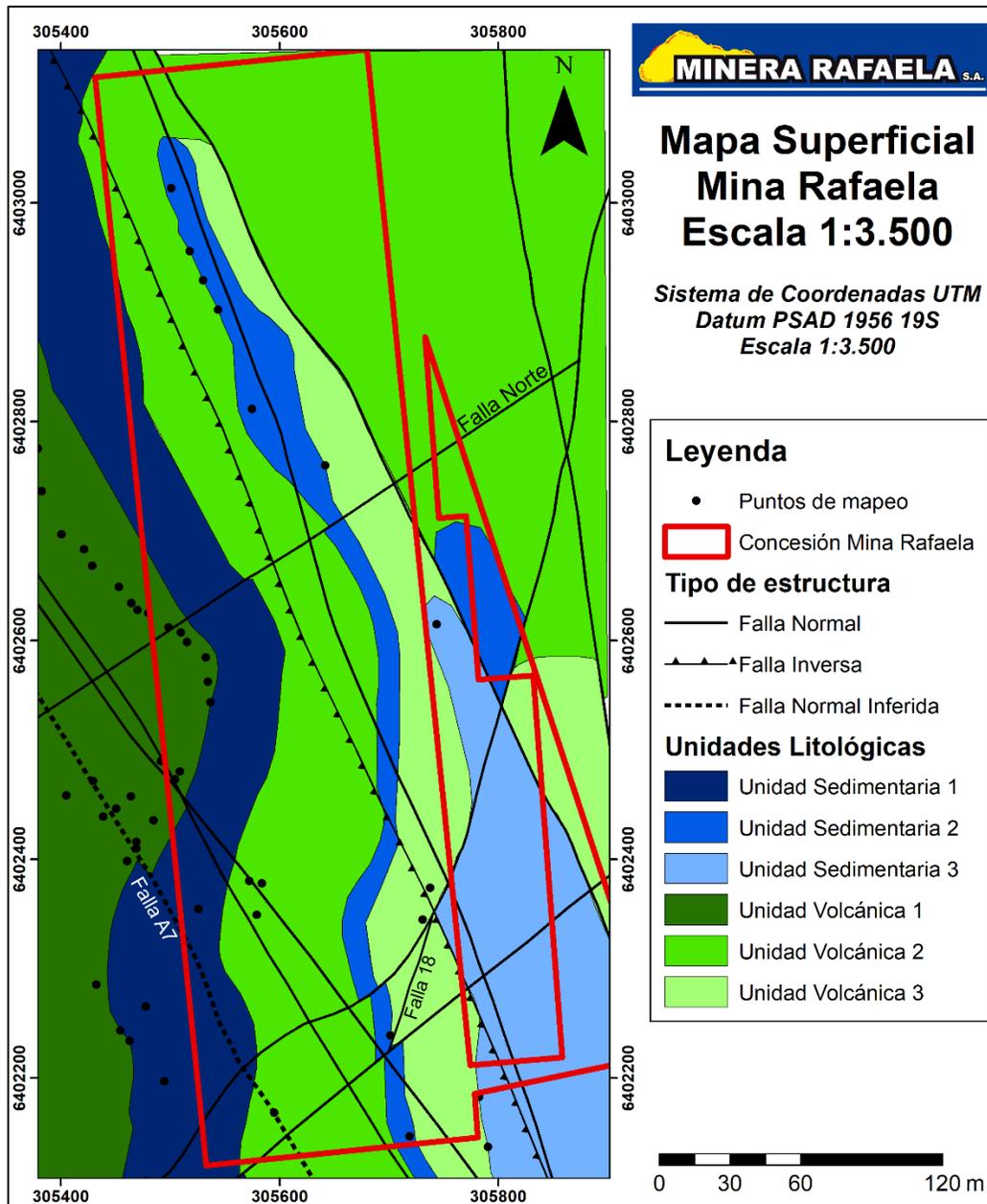


Figura 4.10. Mapa geológico superficial de Mina Rafaela.

5. Modelamiento geológico en 3D

5.1. Sondajes

Históricamente, dentro de la propiedad de Rafaela se han realizado tres campañas de sondajes:

- 1) **ENAMI** el año 2012 realiza campaña de sondajes que entrega un total de 11 sondajes con código EN-XXX-12.
- 2) **Minera Rafaela** realiza campaña que proporcionó 9 sondajes con códigos SX del 1 al 8 y Morro-1.

3) **Minera Las Cenizas** realiza dos campañas de sondajes, la primera exclusivamente dentro de la propiedad minera de Rafaela y que entregó un total de 4 sondajes con código DDH-08-XXX. La segunda campaña se desarrolla en el límite sur de “Rafaela” pero dentro de la Mina Carmen-Margarita que es propiedad de “Cenizas”. Estos sondajes son solicitados por parte de Minera Rafaela para poder realizar el presente modelo. Esta campaña entrega un total de 78 sondajes con códigos entre DDH1311XX, DDH1516XX, DDH1617XX y DDH1618-XX. Se destaca que estos sondajes se realizan de manera radial y se distribuyen entre ambas propiedades mineras mencionadas.

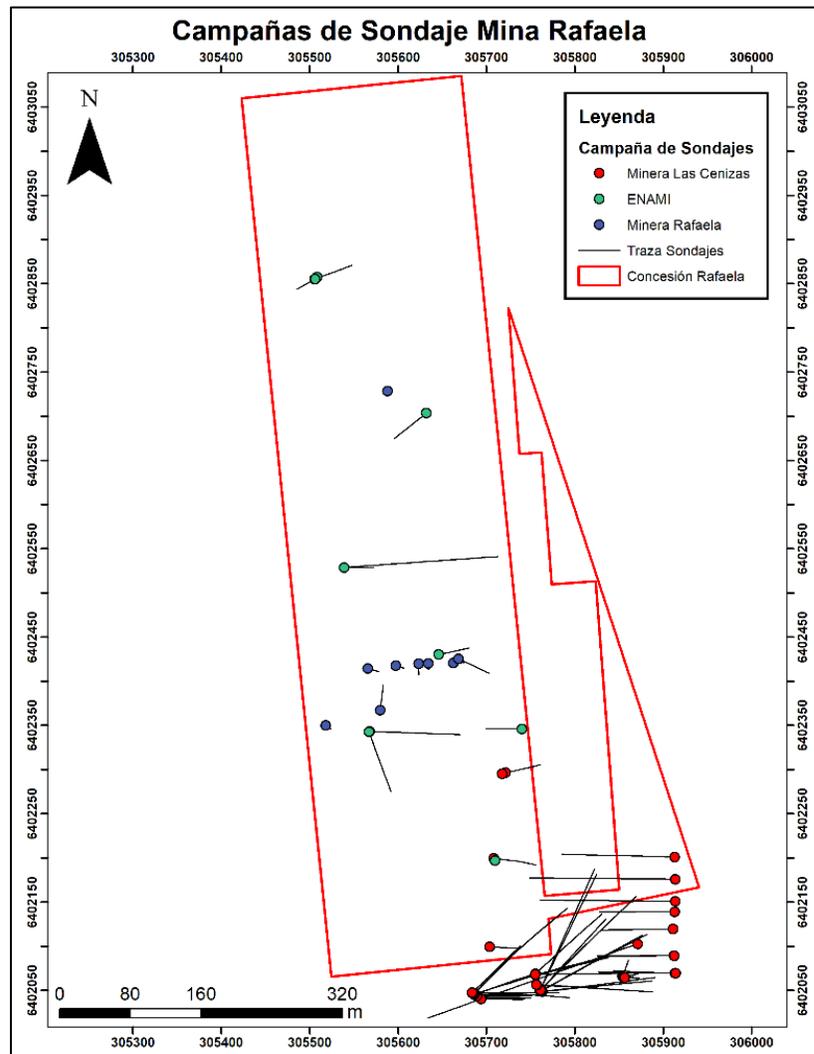


Figura 5.1. Mapa con la distribución de las 3 campañas de sondajes en Mina Rafaela.

De estos sondajes se logra extraer información de la litología de las unidades ya definidas y leyes de cobre total (CuT), no obstante, no todos los sondajes contienen ambas informaciones. Dentro de la campaña de sondajes de Minera Rafaela solo los sondajes S1, S4 y S6 tienen información completa de las leyes de cobre total. Cabe destacar que todos los sondajes de esta campaña presentan información litológica utilizada en el modelo geológico.

Por otra parte, la campaña de ENAMI también presenta información incompleta litológica y de leyes. Se omite información de 5 sondajes, la mayoría ubicado en la zona norte de la propiedad (EN-146-12; EN-145-12; EN-147-12; EN-158-12; EN-159-12).

Por último, ambas campañas de Minera las Cenizas presentan información incompleta, pero en menor cantidad con respecto a las anteriores. Solo se omite 1 sondajes con información faltante (DDH1541).

Considerando lo anterior, se tiene un total de 92 sondajes los cuales en su mayoría se encuentran concentrados al sur de la propiedad de Mina Rafaela, en el límite con Minera las Cenizas (77 sondajes en total). Esto quiere decir que solo 15 sondajes se encuentran exclusivamente en "Rafaela".

La tabla con los collares de todos los sondajes utilizados se encuentra en la sección "Anexos".

5.2. Estructuras

En primer lugar, para realizar el modelamiento en el software Leapfrog Geo se desarrolló una base de datos con la información levantada en terreno, en específico, datos estructurales y litológicos. Cabe destacar que a cada dato al interior de mina se le asigno una cota con la topografía en 3D que se encuentra en el programa. Posterior a esto, se designaron los sondajes a utilizar, ya mencionados con anterioridad, y fueron situados dentro del software. Se destaca que a estos últimos se les debe realizar un paso de verificación de los datos en el programa por errores de duplicación de valores dentro de la base de datos (errores en archivos survey y assay). Mayor detalle de cómo se realiza el modelo se encuentra en el apartado "Metodología"

Con tales datos disponibles se definió el sistema de fallas y vetas que rige el comportamiento mineralógico del yacimiento. En particular, se destaca que dentro del sistema de fallas no se incluyen el Dique Eurides y la Veta Sureste 1 debido a que su desplazamiento es menor a 1 metros. Cabe recalcar que esta exclusión de vetas del modelo de fallas no representa variaciones en el cálculo de recursos.

5.2.1. Vetas

Para la construcción del modelo de vetas, en primer lugar, se tuvo que editar la base de datos de sondajes, en los cuales no se encuentran descritas las vetas en la información litológica. Por ende, a partir de las leyes de cobre en los sondajes e interpretación geológica del depósito se procedió a identificar las vetas en una nueva categoría en los sondajes. Con tal paso se permite generar el modelo de vetas que fue separado en sistema de vetas: Sistema Margarita-Eurides, Sistema Galápagos-SE1-709, Veta Misterio y Veta NE.

Cabe destacar que el modelo generado no cuenta la litología de la roca de caja, debido a que, como algunas vetas actúan de fallas dentro del yacimiento, el programa Leapfrog no permite modelar ambos tipos de estructuras (vetas y fallas) en el mismo espacio. Por último, se destaca que el ancho de cada veta es variable y depende de la información de sondajes, donde el menor espesor observado puede llegar a los 0.5 metros.

terreno. La Veta Eurides es más compleja ya que los halos del Dique central son los mineralizados. En general, no superan halos de 3 metros.

5.2.1.2. Sistema Galápagos - Sureste 1 – 709 - Misterio

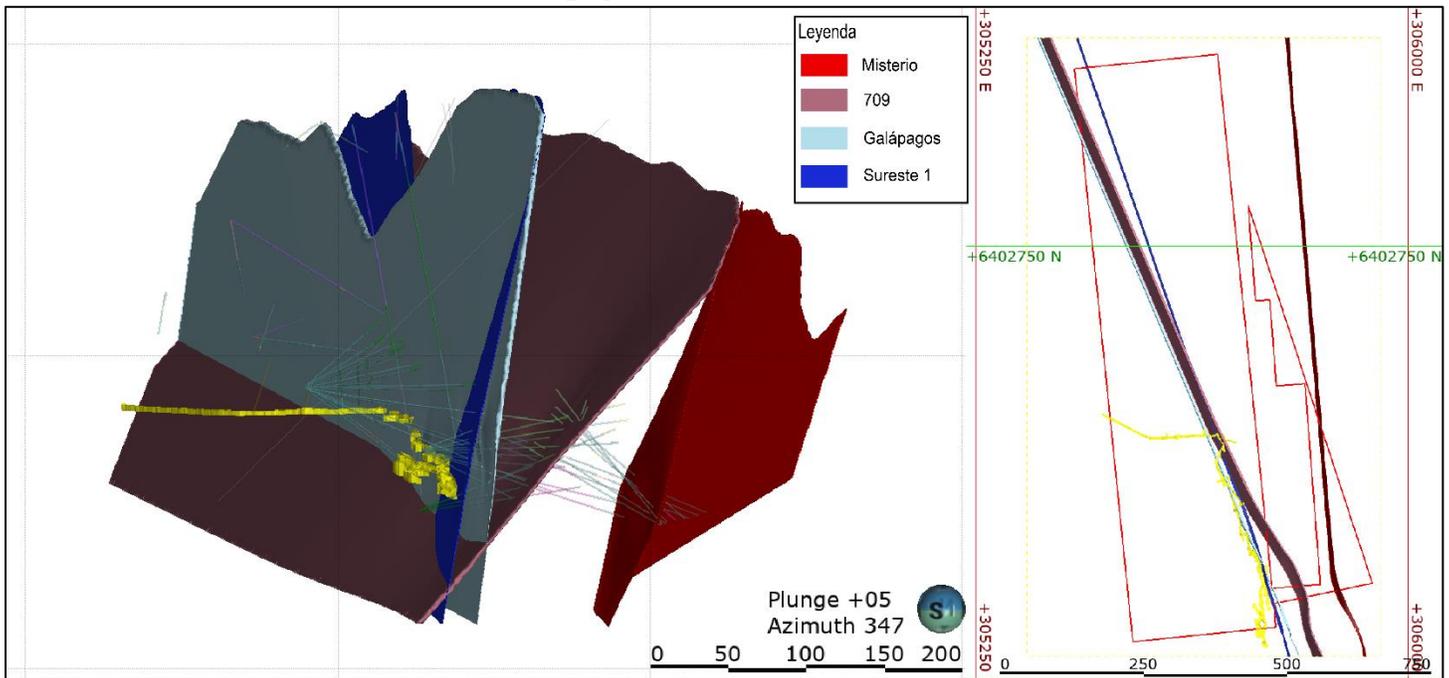


Figura 5.4. Izquierda: Vista global de las 4 vetas pertenecientes al sistema. Derecha: Vista en planta en la cota 730 m.

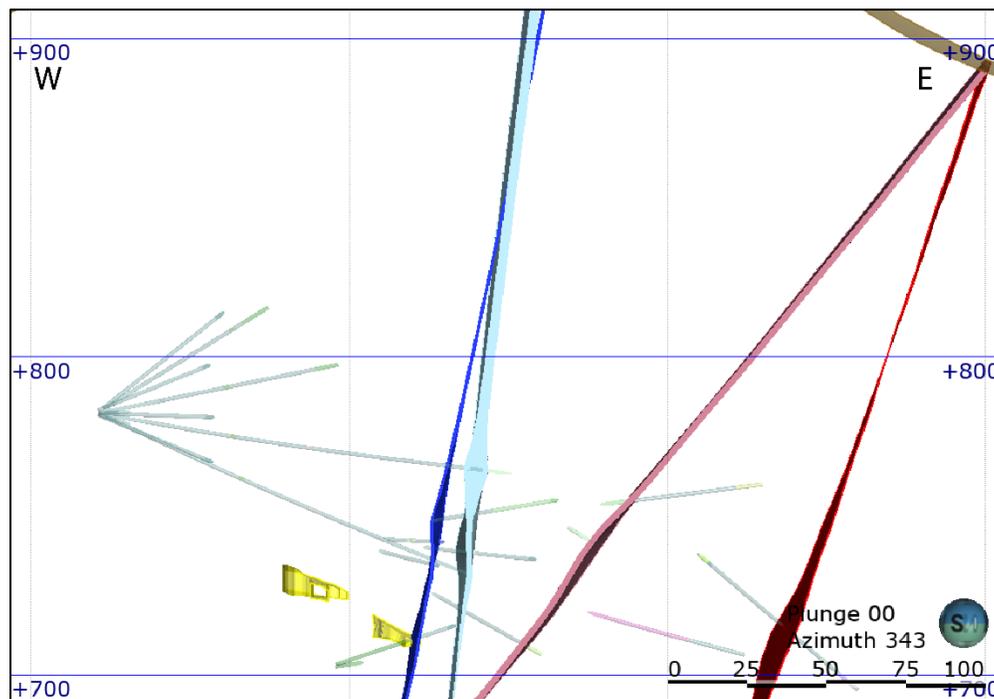


Figura 5.5. Perfil transversal que muestra la relación entre estructuras. En amarillo se presenta la topografía de la mina.

Se aprecian las cuatro vetas mineralizadoras de las cuales 3 tienen rumbo similar (Galápagos, SE1 y 709) entre N30-35W, mientras que Veta Misterio presenta rumbo prácticamente N-S. Con respecto a los manteos, se aprecia una clara diferencia en la Veta 709, la cual manteea mucho menos que las estructuras colindantes. Por último, las relaciones de corte no se logran observar en terreno, pero se interpreta que tanto Veta Galápagos como Veta SE1 son secundarias de la Veta 709 que domina el yacimiento en términos de desplazamiento y envergadura.

5.2.1.3. Veta Noreste (NE)

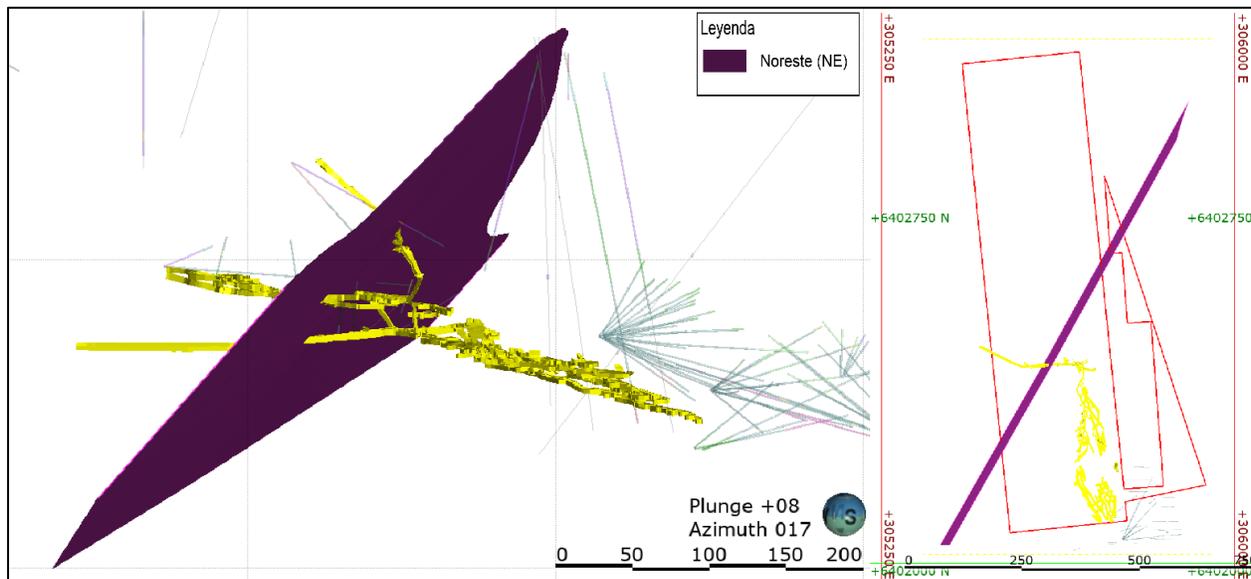


Figura 5.6. Vista global de la Veta NE. Derecha: Vista en planta en la cota 730 m.

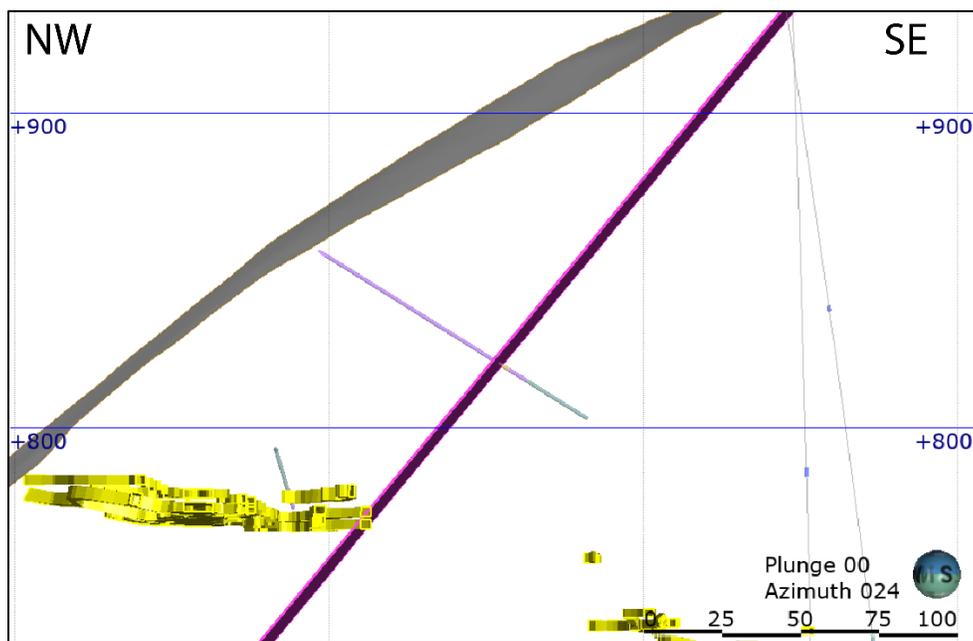


Figura 5.7. Perfil transversal que muestra el intercepto de la Veta NE con un sondaje. También se muestra la topografía de la mina en color amarillo.

Esta veta presenta pocos interceptos de sondajes. Se aprecia en el perfil uno de estos en la unidad volcánica 2. Cercano a la superficie también presenta un intercepto de sondajes con altas leyes. Esta veta coincide con los datos levantados en terreno, vale decir, rumbo entre N38-40E y manteo de 50-60° al NW.

5.2.2. Sistema de Fallas

Como se menciona anteriormente, en el sistema de fallas se cuentan las vetas con desplazamientos mayores a 3 metros dentro del depósito. Estas son: Veta Margarita, Veta Galápagos, Veta 709, Veta Misterio y Veta NE. A estas se les suman las 5 fallas que se mapearon tanto interior mina como en superficie: Falla Caserón Norte, Dique 2, Falla Norte, Falla A7 y Falla 18.

Este sistema de fallas fue construido en base a información estructural implementada en el software y, a partir de tal información, se crearon las superficies de falla. Tales superficies se utilizaron en un modelo geológico (Herramienta “Geological Model”) para la posterior generación de los contactos litológicos dentro de la faena, ya que este sistema es la base para modelar la litología. Para este modelo las estructuras se consideran continuas dentro de toda la propiedad de Mina Rafaela, a excepción de la Falla Caserón Norte que es cortada por Veta NE porque si se extrapolan a superficie solo hay evidencias (datos estructurales) de la Veta NE en mapeo superficial; y de la Falla 18 que se considera secundaria del Dique 2.

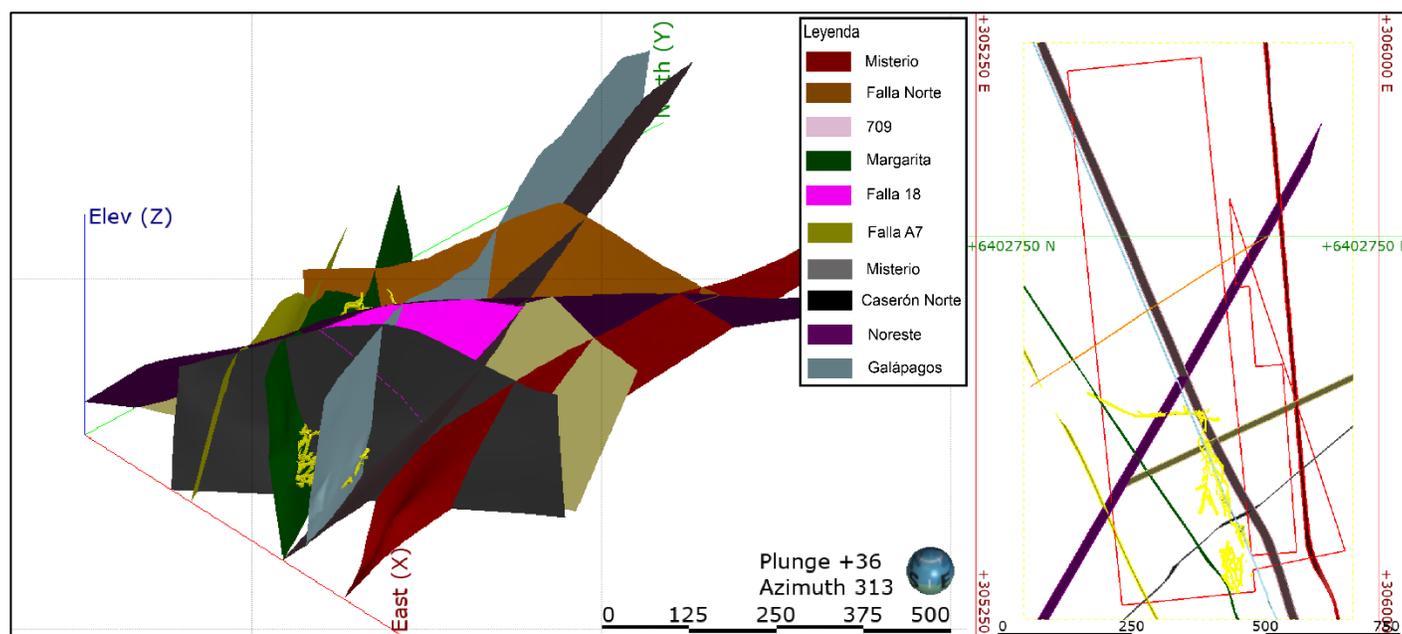


Figura 5.8. Izquierda: Vista global del sistema de vetas. Los colores se conservan para las vetas mineralizadoras del modelo mostrado anteriormente. Derecha: Vista en planta en cota 730.

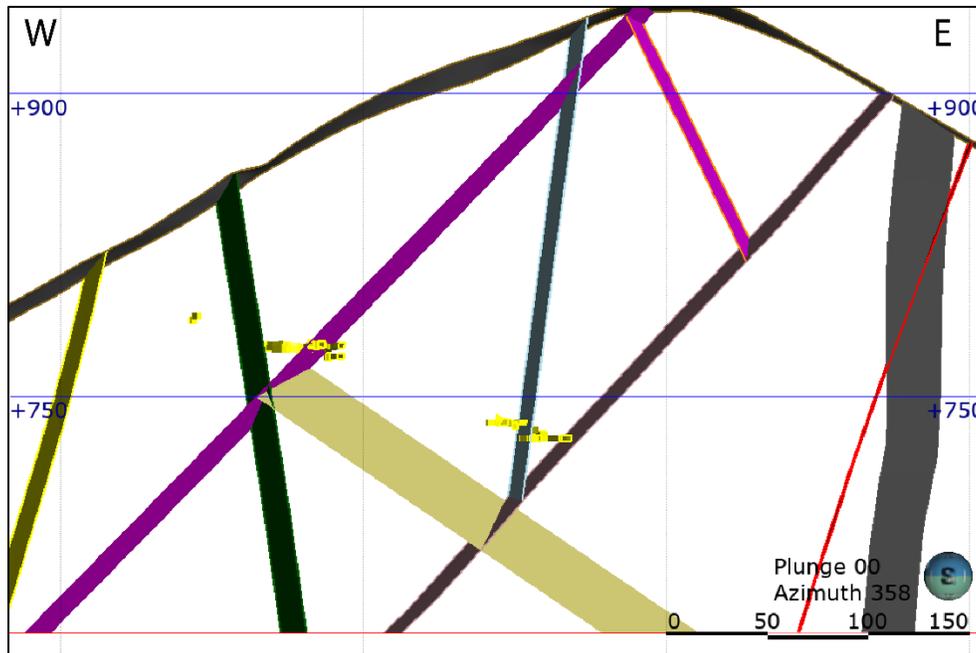


Figura 5.9. Perfil transversal que muestra la relación entre las estructuras. Se aprecia que la falla Caserón Norte (marrón claro) termina en la Veta NE (morado).

En la Figura 5.9 se logra apreciar las relaciones de corte entre las estructuras. Por ejemplo, se aprecia que la Veta Galápagos (celeste) proviene de Veta 709. Por otra parte, se aprecia que la falla Caserón Norte (marrón claro) termina en la Veta NE (morado). Por último, cercano a la superficie se aprecia que la Falla 18 (fucsia) se termina en la Veta 709.

5.3. Litología

Por último, en base a información de sondajes y mapeo en terreno se realiza el modelo litológico que es crucial para la estimación de recursos y trabajos de producción, ya que define de manera espacial los contactos litológicos entre unidades sedimentarias y volcánicas. Se consideran las unidades geológicas definidas en el apartado “Geología de Mina Rafaela” y los límites se ven definidos por la propiedad.

Además, se utiliza el sistema de fallas descrito recientemente. Estas estructuras, al interactuar entre sí, generan bloques de fallas que trabajan de manera independientes unos de otros. Por ende, se trabajan las superficies de contacto de las 6 unidades geológicas (5 superficies) en cada uno de los 34 bloques generados. Se destaca que hay bloques donde no se encuentra información de sondajes ni de terreno por lo que se definen las superficies en base a interpretación litológica-estructural.

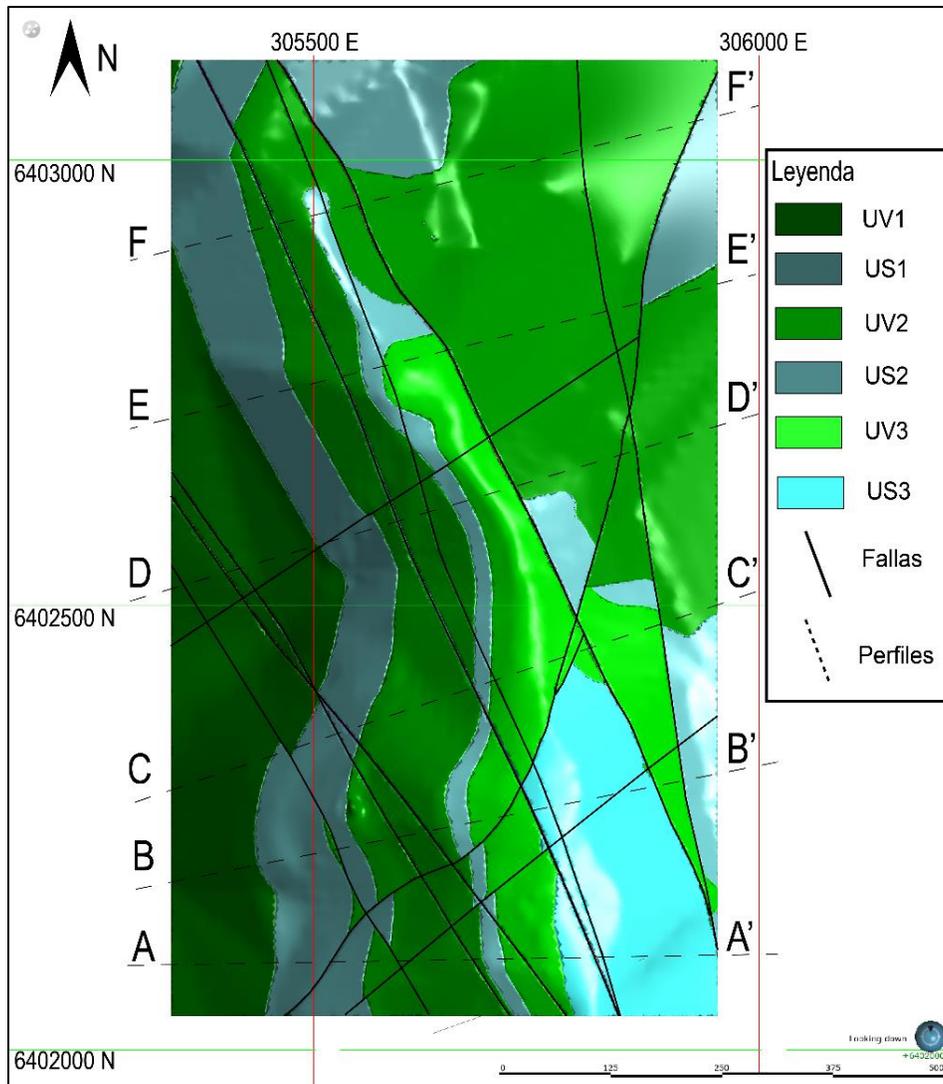


Figura 5.10. Mapa en planta editado de Modelo Mina Rafaela en software Leapfrog Geo. Se presentan los perfiles representativos del modelo en líneas punteadas.

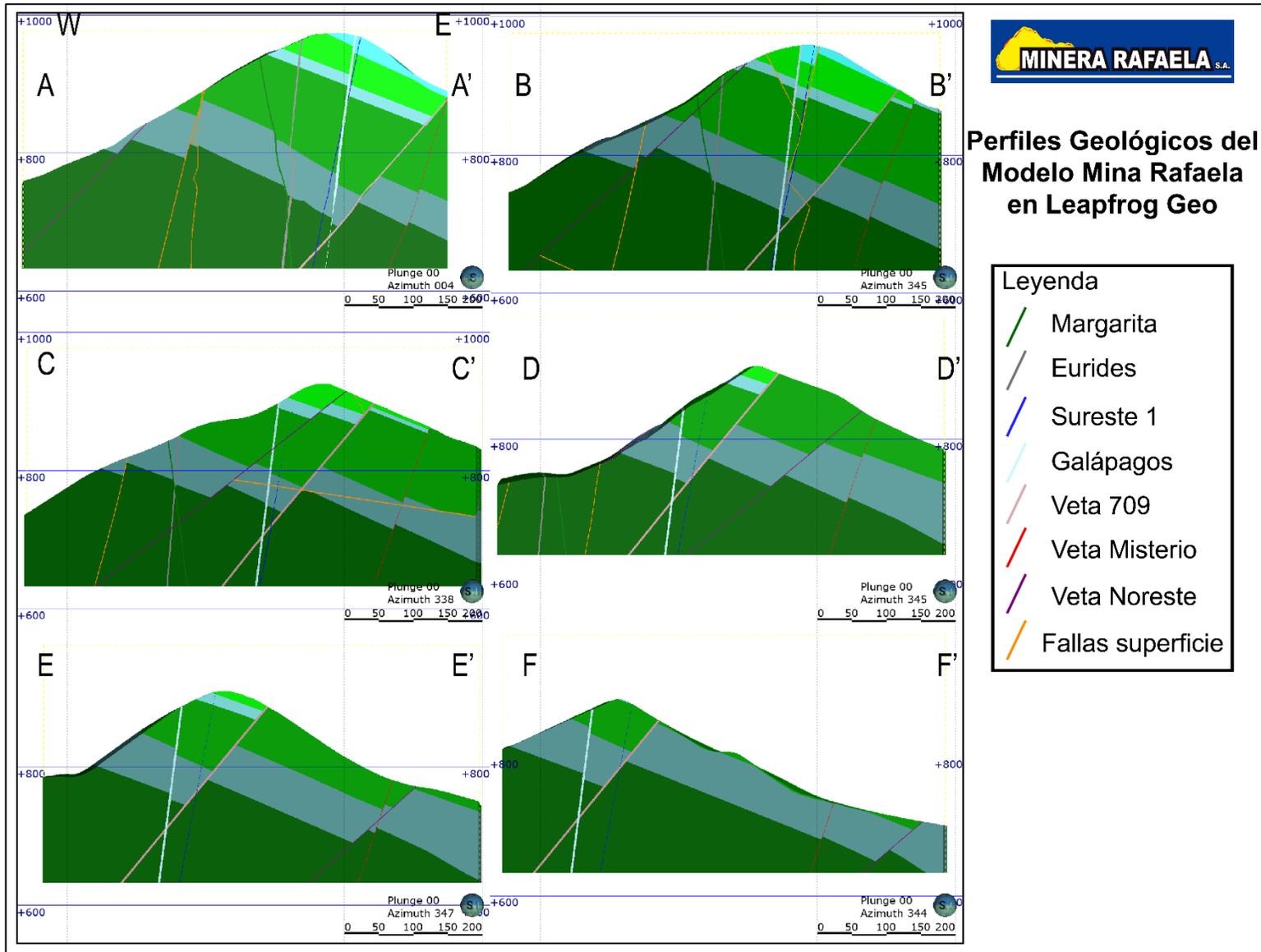


Figura 5.11. Seis perfiles transversales y representativos del modelo geológico en 3D realizado en el software Leapfrog Geo. Estos perfiles se encuentran ordenados de sur a norte. La ubicación de estos se presenta en el mapa superficial de esta sección.

Como se puede observar en los perfiles, el manto de los contactos litológicos ronda entre los 22-30° aproximado con un promedio 26° hacia el Este. También se logra apreciar que a lo largo del modelo la falla de mayor importancia es la Veta 709 al este, donde se estima 50-55 metros de offset, lo cual es de suma importancia para la búsqueda de mineral. Lo destacable del modelo es que permite determinar la distribución espacial de las zonas con mayor probabilidad de encontrar intercepción veta/manto. En Anexo D se encuentran más perfiles del modelo combinado (Litológico, Vetas y Fallas) con cortes en diferentes orientaciones.

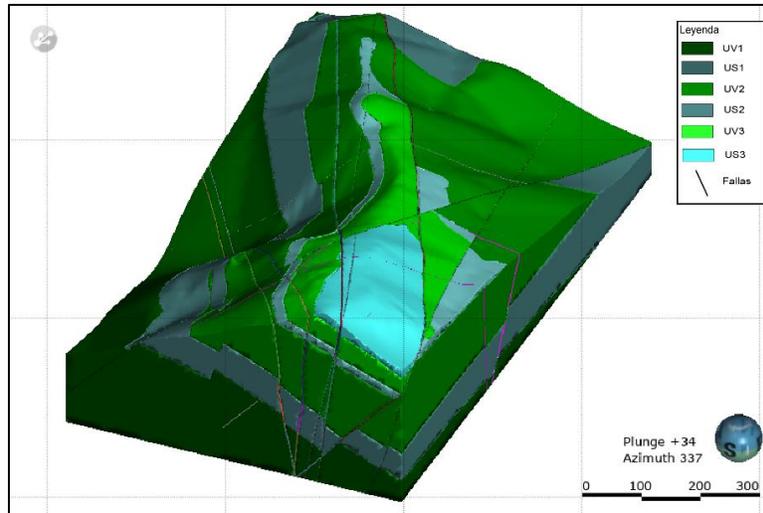


Figura 5.12. Vista global del modelo litológico en 3-D de Mina Rafaela.

6. Estimación de recursos

6.1. Muestreo histórico de frentes de explotación (% CuT)

Considerando la variación del contenido mineral con respecto a cada veta, se realiza una revisión completa de todos los registros de muestreo cobre total (%CuT) de frentes de explotación desde el año 2018 a 2022. También se desarrolla muestreo de frentes dentro de la propiedad minera en labores como Veta Misterio, Veta Margarita y Dique Eurides, las cuales fueron a analizar a Laboratorio Químico de Minera Las Cenizas y Laboratorio Mina El Bronce de Petorca, Minera Can-Can. Los tipos de muestreo son variados, pero el principal se considera muestreo de marinas (material tronado en labor). Asimismo, se encuentran muestreos tipos: Canaleta (muestra continua y uniforme a lo largo de la frente de explotación), Chip (similar a Canaleta, pero de manera discontinua a lo largo de la frente) y muestras de barro en perforaciones. En total, se recolectaron 175 muestras, de las cuales 79 corresponden a Marinas, 23 a Canaletas, 8 a Chipeo, 15 a muestras de barro y 50 muestras sin determinar tipo.

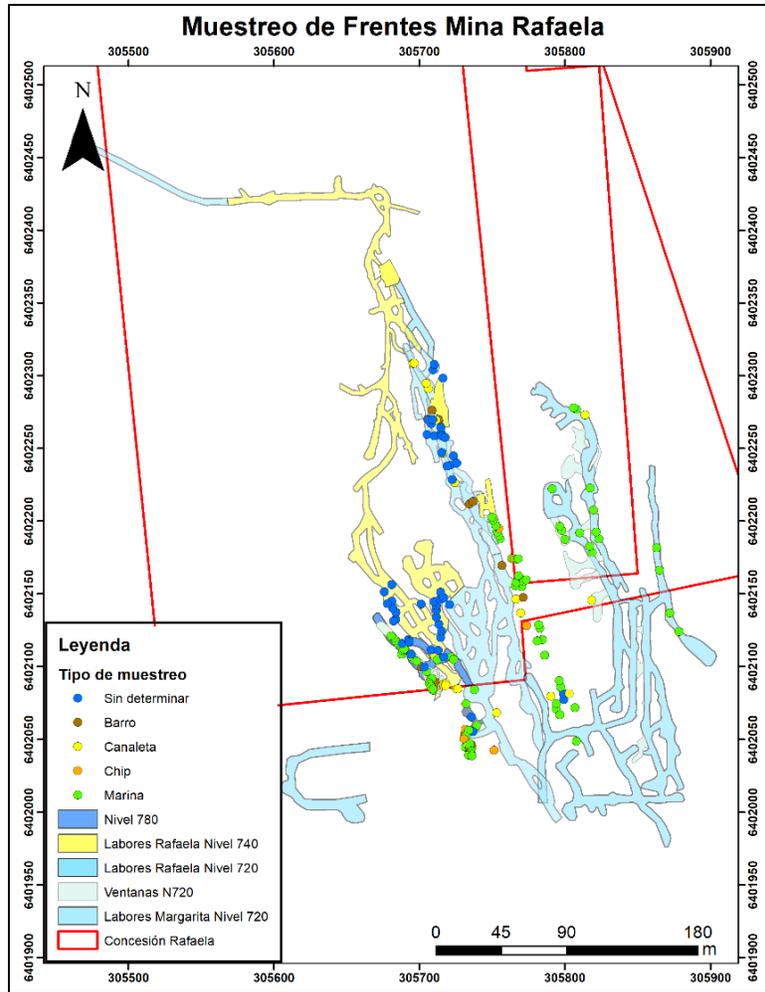


Figura 6.1. Distribución espacial de las muestras de frentes de explotación recolectadas entre 2018 y 2022.

Estas muestras están separadas por veta mineralizadora dentro de la faena, más aún, se separan en base al tipo de mineralización: vetiforme o mantiforme. Al ser muestras de producción, en general las leyes son variadas. Se encuentran mínimos entre 0.2-0.9 % CuT para la Veta Margarita en zonas de mineralización vetiforme y máximos de hasta 7% en las zonas de manto 1 junto con Dique Eurides. Por otra parte, el sistema Galápagos-SE1 presenta mínimos entre 0.02-0.8 % CuT en zonas vetiformes y máximos de 3-3.45 % tanto para zonas de manto como vetiformes. La Veta 709 presenta mínimos de 0.5 % y máximos de 6.08 % CuT en sectores mantiformes. Por último, Veta Misterio fue muestreada cuatro veces durante la campaña de mapeo actual. Los valores rondan entre 1.38 y 4% CuT con los mínimos asociados a zonas de vetas y más altos a mantos.

Tabla 6.1. Máximos y mínimos de muestreo histórico por sistema de vetas en Mina Rafaela. Se considera solo promedio simple para información, no representa promedio ponderado.

Estructura	Mínimo (% CuT)	Máximo (% CuT)	Promedio Simple (% CuT)
Margarita-Eurides	0.2	7	2.75
Galápagos-SE1	0.02	3.45	1.78
709	0.5	6.08	2.82
Misterio	1.38	4	2.93

Estas muestras fueron utilizadas en los modelos de leyes de interpolación RBF en software Leapfrog Geo en conjunto con los sondajes ya mencionados.

6.2. Cálculo de tonelajes y leyes

6.2.1. Tonelajes

Para realizar el cálculo de tonelaje, primero se diferencian los tipos de mineralización dentro de la faena. Vale decir, se separa el tonelaje en tipo manto y tipo veta. El tonelaje en vetas se define en base a volúmenes de las estructuras formados en software Leapfrog Geo en las 6 unidades litológicas definidas a partir del modelamiento anteriormente descrito.

Por otra parte, el cálculo de los mantos se realiza, también, en el software Leapfrog Geo, donde se desarrollan volúmenes tabulares en cada veta mineralizada ya descrita anteriormente, en base a las dimensiones de los mantos identificados en el apartado “**Estructuras y mantos mineralizados**”. Por ejemplo, para el sistema Margarita-Eurides se genera un volumen de 20 metros de extensión lateral y 3 metros de espesor. Este volumen representa, de manera inferida, el tonelaje total mantiforme en toda la propiedad minera. Se realiza la misma metodología para los diferentes sistemas de vetas.

Para obtener el tonelaje a partir de los volúmenes se determina una densidad de roca promedio de $2.7 \left[\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right]$.

6.2.2. Leyes

Para obtener las leyes de cobre total (%CuT) en mantos y vetas se utiliza la función de interpolación RBF en el programa Leapfrog Geo que, como se menciona en la metodología, es una herramienta numérica que utiliza una función dependiente de la distancia entre muestras. En primer lugar, se separa en los sistemas estructurales ya mencionados anteriormente, vale decir, se desarrolla una función RBF por cada sistema. En esta herramienta se ingresan los valores de CuT de sondajes, CuT de muestreo y los volúmenes generados tanto para mantos como para vetas. Cabe destacar que para el modelo de leyes solo se utilizan de límites solo los sectores con muestras oficiales. Con tal información se genera un modelamiento de las leyes generalizado en la estructura, la cual entrega un valor global que correspondería al valor promedio del sistema mineralizado.

Es necesario aclarar que no todos los mantos y vetas fueron calculados con este método debido a la poca información en algunos sectores. Es más, el método RBF solo fue utilizado en: Mantos 1 y 2 de sistema Margarita-Eurides; Manto 1 Sistema Galápagos-SE1; Manto 1 y 2 Veta 709; y Manto 1 Veta Misterio. Por tales condiciones, los mantos 3, 4 y 5 fueron estimados en base a los resultados obtenidos en los mantos 1 y 2.

6.2.2.1. Sistema Margarita Eurides

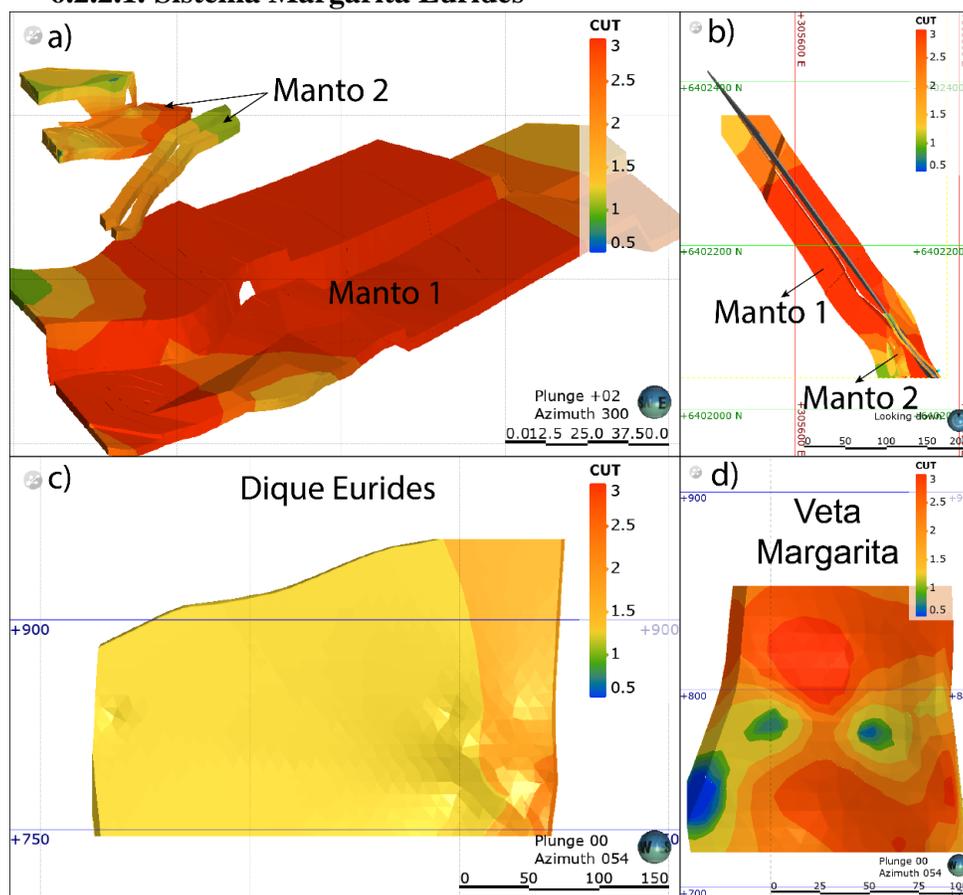


Figura 6.2. Modelo de leyes de cobre del Sistema Margarita-Eurides. a) Vista global donde se muestran modelos para Manto 1 y Manto 2; b) Vista en planta de ambos modelos (manto 1 y 2); c) Modelo RBF de leyes vetiforme de Dique Eurides con vista hacia el este; d) Modelo de leyes vetiforme de Veta Margarita con vista hacia el este.

El manto 1 de este sistema presenta una ley ponderada de 3.14 %CuT, la cual se mantiene con un alto porcentaje debido a las altas leyes en muestras de producción. Por otra parte, el Manto 2 de Eurides entrega una ley promedio de 1.61 %CuT, mientras que el Manto 2 de Margarita presenta ley de 1.99 % CuT. Con respecto a la mineralización de tipo vetiforme, el Dique Eurides a nivel global presenta una ley de 1.66 %, que se presenta más bien uniforme a lo largo de la estructura, con un aumento de la ley hacia el sur. Por último, la Veta Margarita presenta una ley promedio de 2.07% CuT distribuida de manera heterogénea en la estructura. Se observan zonas de baja ley en la cota 775-780 aproximado, mientras que hacía mayores cotas esta ley aumenta.

6.2.2.2. Sistema Galápagos-SE1

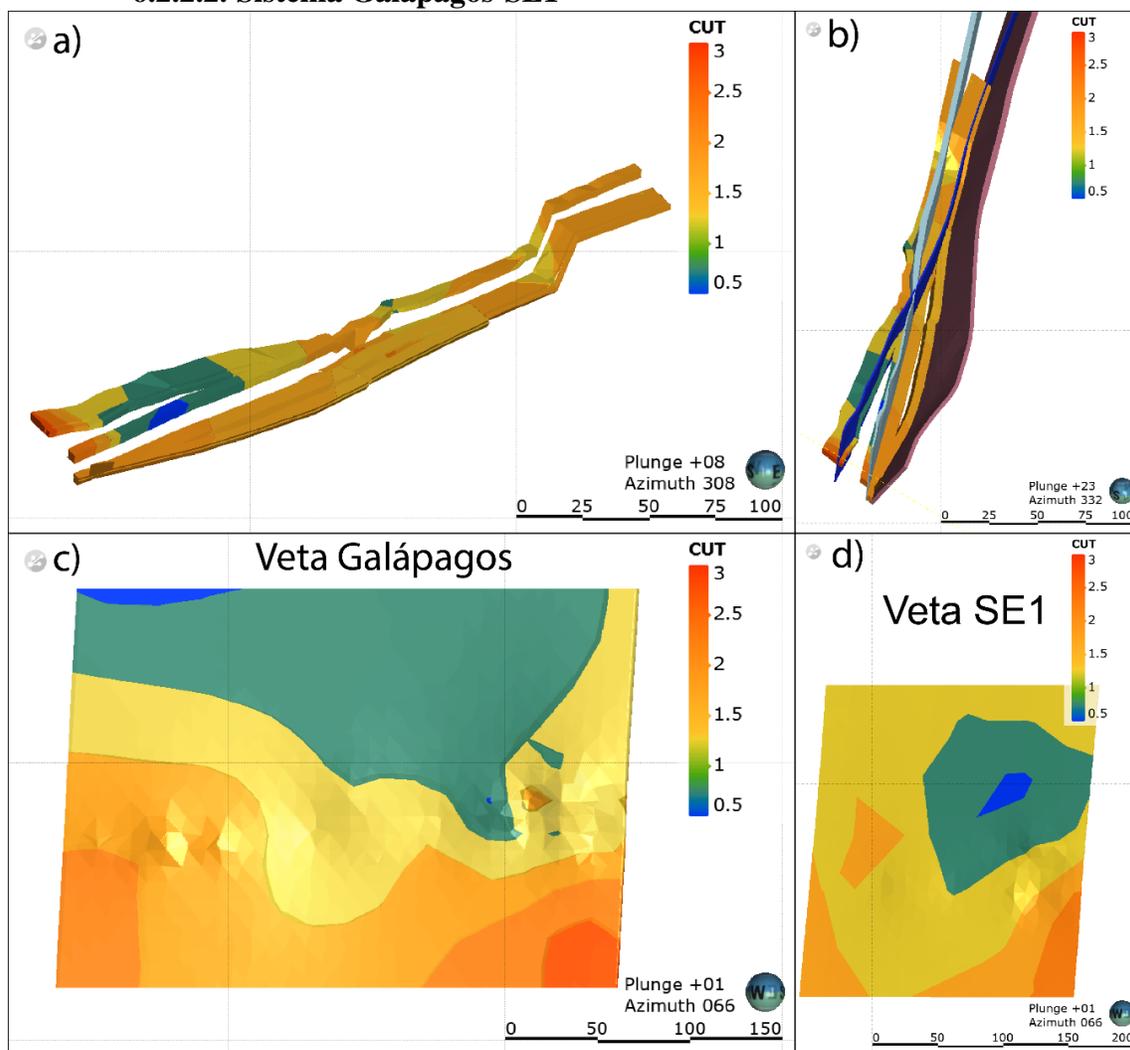


Figura 6.3. Modelos de leyes del Sistema Galápagos-SE1-709 Oeste. a) Modelo de leyes de CuT (%) de manto 1 de las vetas mencionadas; b) Vista en planta de modelo de los mantos junto con las vetas correspondientes; c) Modelo de leyes de Veta Galápagos con vista hacia el este; d) Modelo de leyes de veta SE1 con vista hacia el este.

En este sistema el manto 1 (Figura 6.3-a) presenta leyes variadas que corresponden con la irregularidad de esta mineralización. El promedio global de este sistema es de 1.67 %, aunque se observa una clara disminución de la ley hacia el suroeste de las vetas Galápagos- SE1. Por otra parte, la Veta Galápagos presenta una ley ponderada de 1.3 % CuT, con una disminución de la ley hacia superficie, coincidente con lo apreciado al interior mina. Por último, Veta SE1 presenta una ley ponderada de 1.32 % CuT, la cual se distribuye de manera más homogénea a excepción de un centro de baja ley hacia superficie.

Con respecto al Manto 2, solo se tiene un intercepto de sondajes con ley 1.2% por lo que se asume este mínimo porcentaje para todo el contacto mineralizado.

6.2.2.3. Veta 709 Este – Veta Misterio

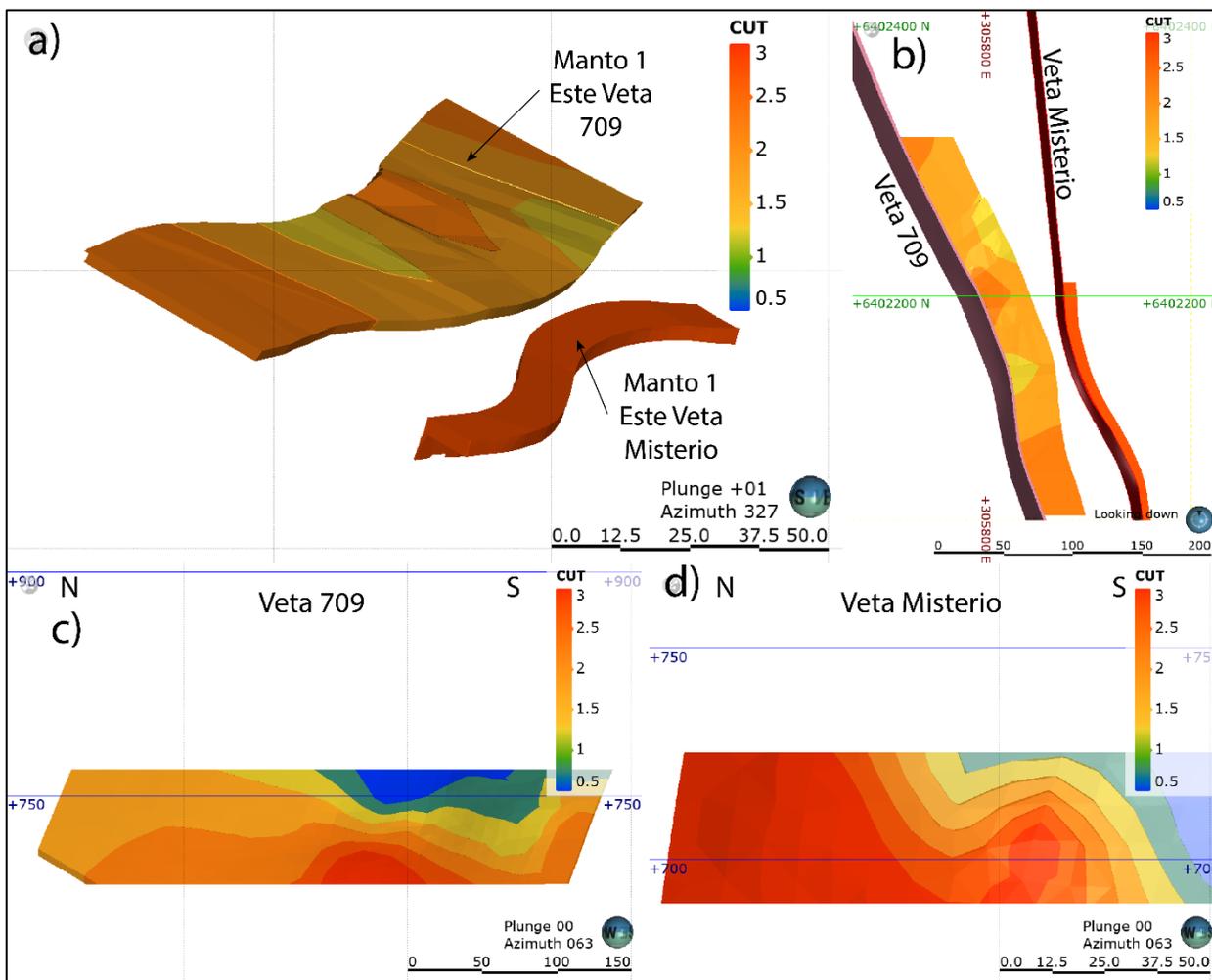


Figura 6.4. Modelo de leyes de Mantos y vetas de 709 y Misterio. a) Modelo de leyes de Mantos 1 hacia el este de las vetas correspondientes; b) Vista en planta de los mantos con sus respectivas vetas; c) Modelo de leyes de Veta 709 con vista hacia el Este; d) Modelo de leyes de Veta Misterio con vista hacia el Este.

Este sistema solo muestra el manto 1 hacia el este de cada una de las vetas, debido a que solo en estos se encuentran muestras de producción y datos de sondajes. En las Figuras 6.4.a y 6.4.b se aprecia que el Manto 1 de Veta 709 presenta leyes que rondan entre 1 y 2% con un promedio ponderado global de 1.85 % CuT. Esta ley solo se recluye a la zona con mineralización. Por otra parte, el manto 1 de Veta Misterio presenta altas leyes que rondan entre 2-3% con promedio ponderado global de 2.86 % CuT. Cabe destacar que para este manto se encuentran solo 4 muestras de producción y dos interceptos de sondajes. Con respecto a los modelos de vetas, la “709” presenta una ley ponderada 1.66% CuT, mientras que Veta Misterio presenta ley ponderada de 2.04 % aunque solo presente en la Unidad sedimentaria 1. El manto 2 de Veta 709 tiene dos interceptos con ley ponderada 1.54 % CuT. Para el Manto 2 de Veta Misterio se asume misma ley que Veta 709 dada la similitud entre estas.

6.2.2.4. Veta NE

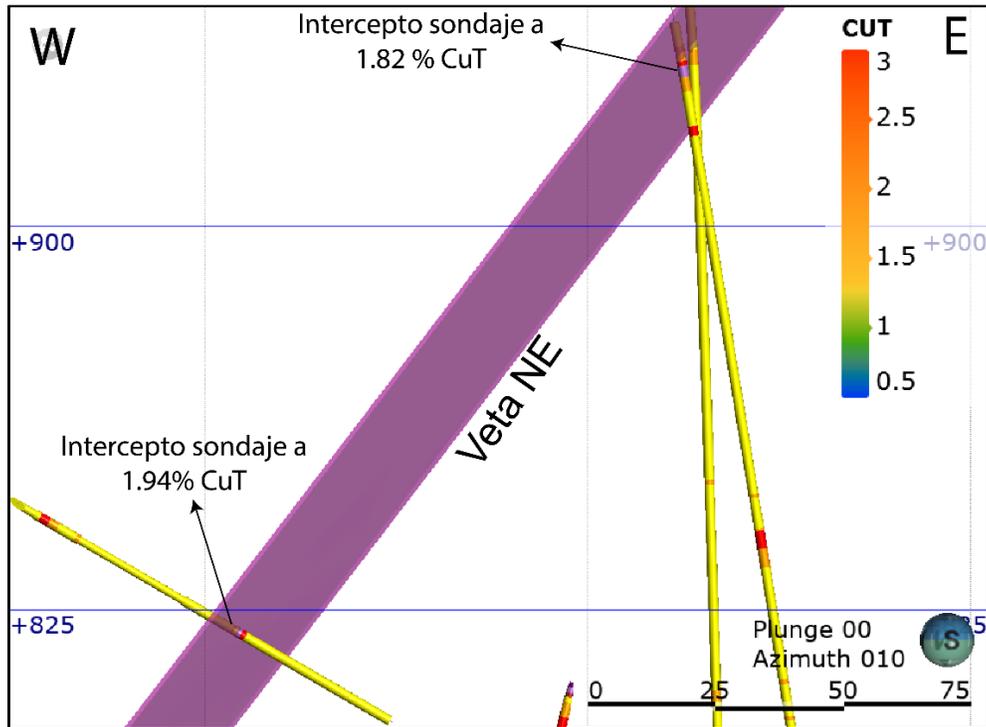


Figura 6.5. Interceptos de dos sondajes en la Veta NE. Vista hacia el Norte.

Esta veta presenta dos interceptos de sondajes con leyes y uno en el que muestra desplazamiento de 25 metros aproximados. La ley ponderada es de 1.94% CuT. Para los mantos se asumen misma ley debido a que son los únicos datos obtenidos para tal veta.

6.2.2.5. Resumen de Leyes

A continuación, se presenta una tabla resumen con las leyes mencionadas recientemente

Tabla 6.2. Tabla resumen de leyes de Mantos y vetas descritas anteriormente.

Modelo Mantos	Ley CuT (%)	Modelo Vetas	Ley CuT (%)
Manto 1 Eurides-Margarita	3.14	Margarita	2.07
Manto 1 Gal-SE1-709W	1.67	Eurides	1.66
Manto 1 709 Este	1.85	Galápagos	1.3
Manto 1 Misterio	2.86	Sureste 1	1.32
Manto 2 Margarita	1.99	709	1.66
Manto 2 Eurides	1.61	Misterio	2.04
Manto 2 Gal-SE1	1.2	Noreste	1.94
Manto 2 709	1.54		
Manto 2 Misterio	1.54		

6.3. Tonelajes y Leyes

A continuación, se presenta un resumen general de los tonelajes y leyes en Mina Rafaela. Se destaca que las reservas de este yacimiento solo se encuentran identificadas en la zona sur de la propiedad, mientras que hacia el norte de esta solo se encuentran categorizados como **recursos geológicos probables** asociados a una extrapolación de la geología observada e interpretada hacia el Sur.

Con respecto a la categorización de los recursos, solo se trabajan recursos indicados e inferidos debido a la falta de muestreo para las estructuras principales y porque el tonelaje fue trabajo, en su mayoría, a través de cálculos volumétricos, lo cual considera o se asume una constante de mineralización a lo largo del manto/veta que en la realidad no ocurre. En específico, los recursos indicados se consideran todo tonelaje que se encuentra dentro del modelo de interpolación RBF de leyes mencionado anteriormente, el cual muestra el tonelaje “influenciado” por las muestras y/o datos de sondajes. En cambio, el tonelaje fuera del modelo de leyes RBF se considera inferido. Se destaca que el tonelaje inferido solo se contabiliza en la zona sur de Mina Rafaela, que fue definida en la sección “Introducción-Presentación”.

Tabla 6.3. Tabla resumen de los recursos minerales mantiformes y vetiformes (Indicados e inferidos) en la zona sur de Mina Rafaela.

Recursos Geológicos Categorizados Zona Sur Mina Rafaela				
Estructura	Indicado [Ton]	Inferido [Ton]	Total [Ton]	Ley CuT (%)
Manto 1	375,454.2	149,135.3	524,589.5	2.54
Manto 2	15,562.8	220,743.9	236,306.8	1.64
Manto 3	-	33,555.9	33,555.9	1.77
Manto 4	-	41,970.4	41,970.4	1.53
Manto 5	-	-	-	1.72
Vetas	715,867.2	1,030,061.9	1,698,537.6	1.65
Total	1,106,884.2	1,475,467.4	2,534,960.1	1.835

Por otra parte, se consideran recursos geológicos probables al potencial mineral en zonas donde no se ha interceptado sondajes y/o no se tiene muestreo de producción. En el yacimiento prácticamente toda la zona norte (al norte de la topografía interior mina) se considera recurso geológico probable, obtenido en base a una extrapolación e interpretación de la geología observada en el sector sur. Asimismo, los mantos 3, 4 y 5 (tanto en la zona norte como en la zona sur) dada la baja cantidad de información también se consideran, en su mayoría, dentro de los recursos geológicos probables del yacimiento.

A continuación, se presentan dos tablas que resumen los Recursos Geológicos Probables calculados para la Zona Sur (Tabla 6.4) y para la Zona Norte (Tabla 6.5).

Tabla 6.4. Recursos geológicos probables en la zona sur de Mina Rafaela. Se contabilizan los mantos 3,4 y 5 por completo debido a la nula información de producción y sondajes.

Recursos Geológicos Probables Zona Sur Mina Rafaela		
Estructura	Tonelaje Total [Ton]	Ley CuT (%)
Manto 1	-	-
Manto 2	-	-
Manto 3	140,789	1.77
Manto 4	85,480	1.53
Manto 5	53,466	1.72
Vetas	274,176	1.46
Total	553,911	1.58

Tabla 6.5. Recursos geológicos probables en la zona norte de Mina Rafaela. Manto 5 solo se recluye a la zona sur.

Recursos Geológicos Probables Zona Norte Mina Rafaela		
Estructura	Tonelaje Total [Ton]	Ley CuT (%)
Manto 1	433,416	2.09
Manto 2	174,819	1.68
Manto 3	34,079	1.80
Manto 4	19,450	1.54
Manto 5	-	-
Vetas	1,183,833	1.58
Total	1,845,598	1.71

7. Discusiones

7.1. Modelos geológicos

El modelo geológico realizado en el presente trabajo refleja e integra las características principales del yacimiento Mina Rafaela como, por ejemplo, el sistema estructural que domina al depósito y también la disposición espacial de la litología inmerso en este sistema de estructuras normales.

En particular, el modelo geológico desarrollado en el software Leapfrog Geo logra plasmar como las capas estratigráficas se encuentran dispuestas en el sistema homoclinal con manto hacia el Este. Además, este modelo permite determinar de manera espacial, los lugares más factibles para encontrar los mantos mineralizados en intersecciones con las vetas. Se considera este modelo como una base para futuras exploraciones dentro de la mina tanto al norte como al sur de la propiedad. Se destaca, además, que la geología en el modelo 3D coincide con la topografía de la mina y lo que se puede observar en terreno. Sin embargo, este modelo puede variar a medida que se llega a superficie dada la menor cantidad de información en estas zonas. Por otra parte, es importante hacer notar que este es un modelo general del yacimiento, y es posible que se encuentren más estructuras mineralizadas que no han sido contadas en el modelamiento debido a que, o son de tamaños menores a la escala de trabajo o no se han descubierto aún.

A partir de este modelo se ha podido identificar la disposición y geometría de los cuerpos mineralizados que fueron separados en dos tipos: mantiformes y vetiformes. El cuerpo mineralizado principal dentro de la faena corresponde a los “mantos” que, como se menciona anteriormente, son niveles estratigráficos mineralizados con sulfuros de cobre. Estos mantos, en general, corresponden a cuerpos irregulares que acompañan a diferentes estructuras mineralizadoras. En el modelo se identifican diferentes distancias y espesores, en específico, extensiones laterales entre 4 hasta 40 metros y espesores entre 1.5 a 3 metros en promedio. Se consideran los mantos de mayores dimensiones a las intersecciones entre diferentes estructuras (Ej. Sistema Margarita-Eurides). Por otra parte, se encuentra la mineralización tipo **veta** que, si bien presentan mayor tonelaje, son recursos menor ley de CuT debido a que la mineralización no es constante a lo largo de la estructura y, es más, hay zonas dentro de las vetas donde no ocurre mineralización.

7.1.1. Litología

La mineralización tipo manto se ve alojada en intercalaciones de secuencias volcánicas y, en menor medida, en secuencias sedimentarias marinas (calizas, calcilutitas, etc.) dispuestas concordantemente. Esta secuencia estratigráfica sugiere que la depositación ocurrió en ambientes de transición marina-terrestre en el Cretácico Temprano, donde el volcanismo activo dominaba la cuenca. Es más, dada la presencia de fósiles ammonites en las rocas de las unidades sedimentarias 2 y 3 se interpretaría un ambiente de depositación cercano a la costa (Camus, 1990; Boric et al., 2002). Además, como se menciona anteriormente, en las unidades volcánicas definidas se encuentran capas intercaladas, de bajo espesor, de rocas

sedimentarias, en específico, calcoareniscas y calcilititas. Tales intercalaciones señalarían una relación co-genética entre unidades sedimentarias y volcánicas.

Recordando la definición de la formación Lo Prado (Sección “Marco Geológico- Unidades Estratigráficas”), esta se divide en 3 miembros principales: Miembro inferior, medio y Superior. El miembro superior se compone de calizas, areniscas y conglomerados, con intercalaciones de rocas volcánicas. Por ende, la secuencia de Mina Rafaela se puede correlacionar, en principio, con el Miembro superior de la Formación Lo Prado. Los miembros inferior y medio presentan características distintas como, por ejemplo, espesores menores para capas volcánicas (miembro inferior) o secuencias dominadas por lavas y menores rocas sedimentarias (miembro medio). Además, si se observa el Mapa Regional (Figura 3.2), se logra apreciar que la mina se encuentra cerca del contacto con la formación Veta Negra que se encuentra sobreyaciendo a la Fm. Lo Prado. Cabe destacar que esta correlación corresponde a una aproximación ya que hay una diferencia en la escala de trabajo, donde el mapeo y posterior generación de la columna se hace a escala local del yacimiento, mientras que ambas formaciones mencionadas están descritas en base a trabajos regionales.

7.1.2. Control Estructural

Mina Rafaela comprende numerosas vetillas y vetas con direcciones y tamaños diferentes, las cuales distribuyen una serie de cuerpos mineralizados a lo largo de la faena. Este sistema estructural que rige al yacimiento presenta una orientación preferente NNW-SSE, aunque hay estructuras que cortan tales vetas con direcciones NE-SW.

Las estructuras NW se definen como fallas normales e inversas subverticales, en su mayoría (manteos entre 70-85°), que controlan el desplazamiento de los contactos litológicos, los cuales pueden variar desde 1 metro a decenas de metros (ej. Veta 709 con aproximado 45 metros de desplazamiento). Estas vetas controlan la mineralización del yacimiento a través de 7 estructuras principales ya mencionadas, las cuales aumentan la permeabilidad para el paso de fluidos hidrotermales. En general presentan espesores entre 50 cm a 3 metros, aunque estos son bien variables dentro de la estructura.

Por otra parte, las estructuras NE-SW son, en general, vetillas de dimensiones entre 2-10 cm de espesor y se consideran secundarias a las estructuras mayores NNW, aunque puede haber casos en que una estructura mayor mineralizada tenga dirección noreste (ej. Veta NE). Hay casos en los que las estructuras Noreste son fallas normales sin mineralización y/o son diques intruidos en eventos post-minerales y que también se les asocia desplazamiento de los contactos litológicos (ej. Dique 2). Cabe destacar que las vetillas NE-SW pueden generar halos mineralizados de hasta 1.5 metros, por lo que igual se consideran en la producción de mineral.

Si se observa la geometría en planta formada por el sistema estructural en el que predominan fallas normales con cierta componente de rumbo, se logra interpretar a un sistema similar al de la mina El Soldado (Boric et al., 2002) (Figura 7.1) en el cual también dominan estructuras principales subverticales con orientación NNW-SSE mayoritariamente.

Este sistema correspondería a un lazo sigmoide que señalaría una zona con un comportamiento transtensional que se encuentra “cerrado” tanto hacia el norte como al sur por dos fallas principales (Cox et al., 2001; Boric et al., 2002). Las estructuras al interior del “lazo” corresponderían a fallas conjugadas que, en el caso de Mina Rafaela, serían las estructuras responsables de la mineralización. Sin embargo, a diferencia de Mina El Soldado, Rafaela no presenta dos fallas que cierren este lazo, lo cual puede ser debido a la escala de trabajo donde no se logró encontrar estas fallas principales.

Este patrón estructural en el que predomina un comportamiento transtensional en condiciones de fracturamiento frágil, se puede relacionar con el estrés regional que dominaba en el periodo del Cretácico Temprano que fue responsable del movimiento de rumbo de la falla de Atacama más al norte de la zona de estudio (Maksaev y Zentilli, 2002; Boric et al., 2002). Se destaca que, además, en este periodo se formaron estos dos yacimientos.

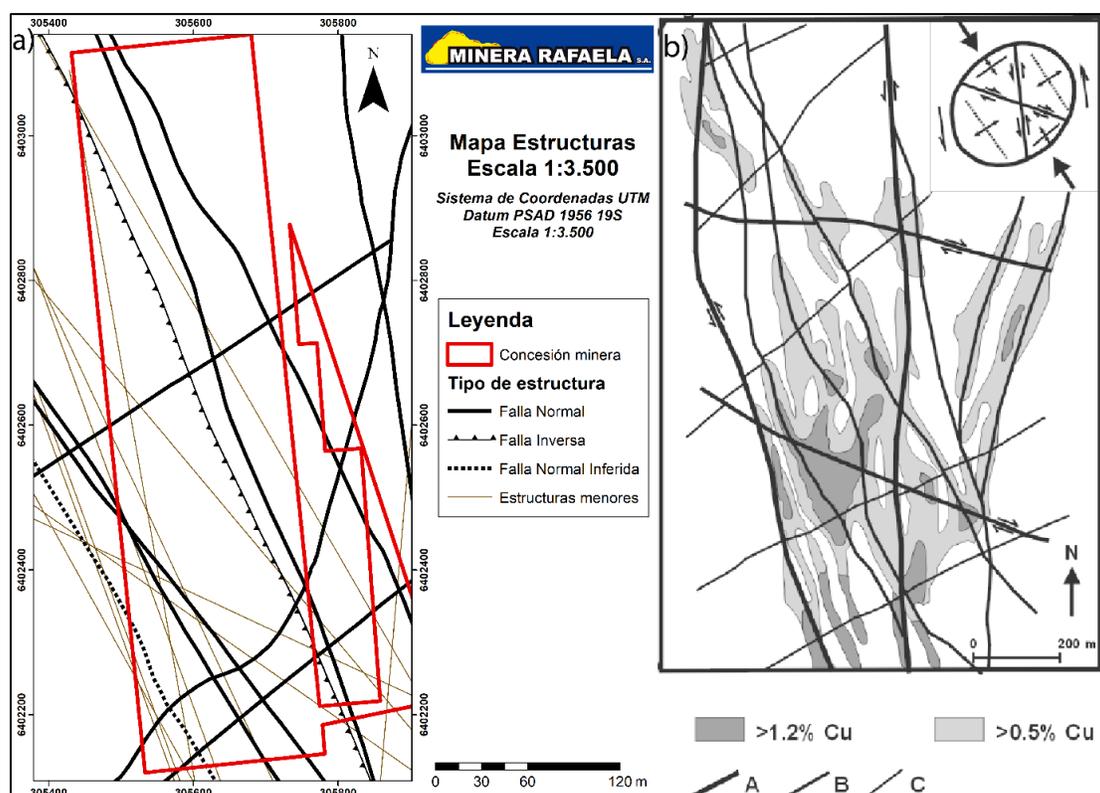


Figura 7.1. Comparación del sistema estructural de Mina Rafaela (a) y El Soldado (b). Se destaca que en la Figura b, A: Fallas principales; B: Fallas secundarias; C: Fracturas. Modificado de Boric et al., 2002.

7.1.3. Modelos anteriores

Como fue mencionado en la introducción, en Mina Rafaela solo se encuentra un trabajo de investigación geológica realizado por Lemuel Toloza el año 2017. Con respecto a este trabajo se encuentran ciertas diferencias dada la mayor cantidad de información que se tiene tanto de producción como de sondajes en la actualidad. Cabe destacar que al 2017 Mina Rafaela tenía una extensión aproximada de 800 metros y actualmente tiene una extensión aproximada de 2 km.

Del trabajo anterior se basó la definición de las unidades geológicas, las cuales fueron modificadas en el mapa superficial dada una modificación en los espesores de estas. Por ejemplo, para la unidad volcánica 2 se definieron nuevos espesores que rondan entre 80-100 metros. También hay unidades que fueron limitadas hacia el norte por la falta de información en superficie (ej. Unidad sedimentaria 2, unidad volcánica 3).

Con respecto al sistema estructural, en el presente trabajo se identificó una menor cantidad de fallas normales en superficie. Al interior mina hay fallas que se repiten, sobre todo las con dirección NW, la Falla Caserón Norte y Veta NE, aunque varían la disposición espacial. Se identifica la Veta Galápagos como falla inversa, mientras que según el modelo anterior esta tiene comportamiento de falla normal. Se destaca que algunas estructuras contabilizadas en superficie por el modelo anterior fueron descartadas porque no se observa presencia de estas en profundidad.

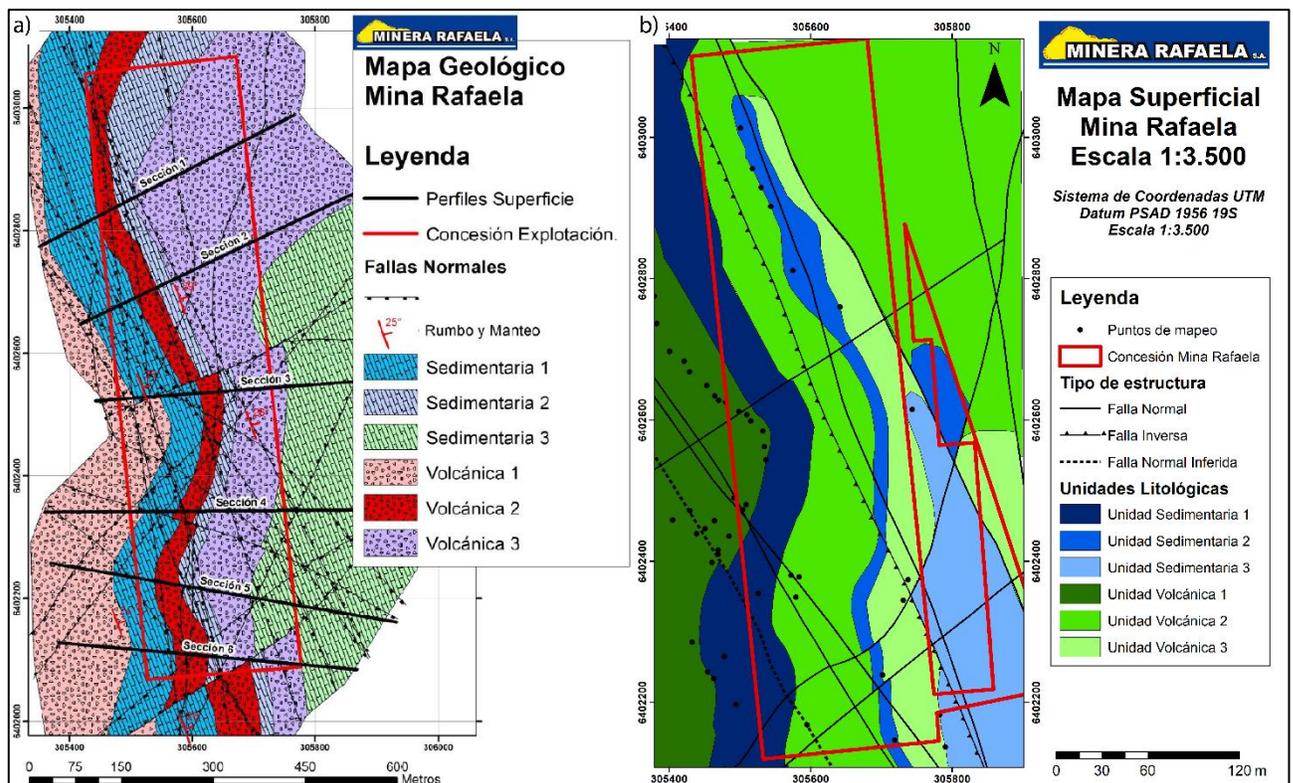


Figura 7.2. Comparativa entre mapa geológico del modelo anterior (a) y modelo actual (b). Se aprecia similitudes en las unidades litológicas, aunque con diferentes alcances hacia el norte. Modificado de Toloza (2017).

La alteración hidrotermal se mantiene igual que el modelo anterior. En cambio, la mineralización varía en los tipos. En el modelo anterior se definieron solamente 3 mantos que correspondían a los contactos entre unidades volcánicas infrayacentes y unidades sedimentarias sobreyacentes. Por el contrario, según datos de producción y sondajes se determina mineralización en contactos en los cuales las unidades volcánicas sobreyacen a las unidades sedimentarias. Esto agrega dos mantos, quedando en total 5 mantos mineralizados.

Por otra parte, en el presente trabajo se considera y contabiliza en la estimación de recursos la mineralización vetiforme dentro de las unidades litológicas, que no fue contabilizada anteriormente. Esto se debe a que gran parte de la producción en la mina se debe a la extracción de los halos mineralizados de estas vetas (ej. Veta Margarita). Cabe destacar que solo se considera mineralización (en la estimación de recursos) en vetas con datos de muestreo y sondajes y no se considera mineralización en estructuras mapeadas en superficie.

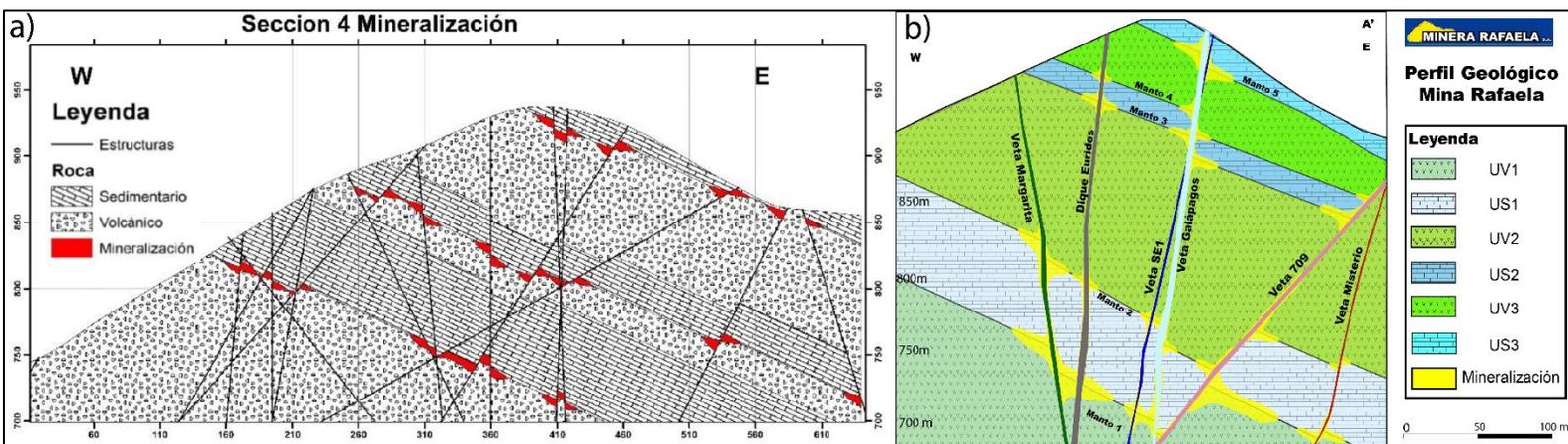


Figura 7.3. Comparativa de la mineralización tipo manto entre modelo anterior (a) y modelo actual (b). Se aprecia en la Figura b que los mantos 2 y 4 no se contabilizan en Figura a. Modificado de Toloza (2017).

7.2. Modelo de mineralización

7.2.1. Genesis de Estratoligados de Cu (-Ag)

En la literatura la formación de los yacimientos estratoligado de cobre pertenecientes al Cretácico Inferior es bastante controversial ya que se han postulado varios modelos de mineralización tanto singenéticos como epigenéticos. En los primeros trabajos se postulaban modelos singenéticos (Ruiz, 1965; Ruiz et al., 1971) en los que la mineralización ocurría a partir de un modelo volcano-exhalativo. Sin embargo, estudios posteriores muestran que la mineralización primaria en este tipo de yacimientos es más “antigua” que la edad de la roca caja (Sato 1984; Boric, 1985; Kojima et al, 2009). Por tales razones, los modelos epigenéticos presentarían mayor evidencia en estos depósitos.

Sato (1984), además de postular el modelo epigenético, resume las características que ocurren en la mayoría de estos tipos de yacimientos: 1. Mineralización ocurre mayoritariamente en zonas de mayor permeabilidad; 2. Esta se encuentra controlada por fallas y/o intrusivos subvolcánicos (diques y/o sills); 3. No se logra identificar una gran alteración hidrotermal en la roca de caja, y en varios casos no es diferenciable de un proceso de metamorfismo de bajo grado; 4) la calcita es el mineral de ganga más común y; 5) los rangos de temperatura de mineralización van desde los 270°-430°C.

No obstante, dentro de este último tipo de génesis se encuentran 2 fuentes de metales: (1) fuente magmática a través de fluidos hidrotermales que provienen de un posible dique y/o

sills subvolcánicos o; (2) lixiviación de componentes de las rocas volcánicas huéspedes a partir de circulación de fluidos meteóricos o hidrotermales (Kojima et al, 2009). Ambas hipótesis siguen siendo consideradas en estos yacimientos.

7.2.2. Clasificación de los depósitos

Por otra parte, Espinoza (1996) clasificó estos yacimientos según la litología en que ocurre la mineralización:

(1) **Depósitos hospedados en rocas volcánicas**, en los cuales la asociación mineral es de calcosina-bornita como mena principal y en donde la mineralización ocurre en estratos volcánicos y brechas hidrotermales asociadas a diques, cuellos volcánicos, etc.

(2) **Depósitos hospedados en rocas plutónicas Tipo Montecristo** hospedado en rocas plutónicas con diques dibásicos.

(3) **Depósitos hospedados en rocas sedimentarias** que, como su nombre lo indica, son depósitos donde la ocurrencia de mineral es en estratos sedimentarios, en su mayoría de origen marino y/o lacustres. Cabe destacar que en estos depósitos también es posible encontrar mineralización en rocas volcánicas. Estos yacimientos se caracterizan por presentar mena principal de calcopirita-bornita-calcosina (Camus, 1990). Dentro de esta última categoría se encuentra Mina Rafaela, junto con yacimientos de mayor envergadura como: Cerro Negro, Mantos de Catemu, Talcuna, El Soldado, Guayacán, Peumo, etc. (Camus, 1990).

7.2.3. Modelo geológico local

Como ya se ha presentado en este trabajo, Mina Rafaela presenta mineralización tipo mantiforme o lenticular en los contactos entre unidades volcánicas y sedimentarias, además de tipo vetiformes. En específico, estas zonas de bonanza se encuentran controladas con fallas subverticales con direcciones NNW-SSE y N-S. La mineralización es principalmente calcopirita, seguida de bornita y en algunos casos calcosina hipógena, esta última en zonas acotadas.

Se destaca que esta mineralización ocurre de manera diseminada, en vetillas y laminada en rocas sedimentarias como, por ejemplo, areniscas calcáreas, lutitas calcáreas, etc. Este nivel estratigráfico se considera como una capa sello para el atrapamiento de mineral que proviene de la circulación de fluidos hidrotermales, aunque de igual forma se aprovechan los espacios generados en este tipo de rocas para precipitar. En general el espesor mineralizado en sedimentarias es menor que en los estratos volcánicos ya que no supera 2 metros desde el contacto. Sin embargo, hay zona de cruce de estructuras donde el espesor en rocas sedimentarias que puede llegar hasta los 5 metros desde el contacto.

Por otra parte, las rocas volcánicas alojan la mineralización en vesículas de manera diseminada o en patinas. En menor cantidad se encuentran los minerales de mena en vetillas. Estas capas pueden tener espesores promedios de 2 a 3 metros y en general presentan más mineral que las sedimentarias. Cabe señalar que la ley de cobre en calizas puede superar a las andesitas debido a que el mineral se concentra mucho más en zonas más reducidas.

En el yacimiento se ha reportado la presencia de diques intruidos en eventos syn-mineral como en eventos post minerales, ambos de composición andesítica principalmente. Los diques post-minerales no presentan mineralización, y se emplazan con dirección NE-SW contraria a la mayoría de las estructuras mineralizadoras. En cambio, los diques mineralizados presentan orientaciones NW-SE y NNW-SSE, acorde a las estructuras mayores. La presencia de estos cuerpos volcánicos podría señalar la fuente o proveniencia de los fluidos hidrotermales que acarrear la mineralización, hipótesis que también ha sido postulada para los otros tipos de depósitos alojados en sedimentos (Camus, 1990). Sin embargo, dada la baja presencia de diques mineralizados, no se descarta que la mineralización provenga de una lixiviación de las rocas volcánicas, siendo esta la fuente de los metales de Cu (Camus, 1990). Para poder identificar de manera certera la proveniencia de los metales se deben realizar estudios geoquímicos de los diques andesíticos y de las unidades volcánicas del depósito.

Por último, es importante destacar que se ha reportado la presencia de material orgánico en rocas sedimentarias calcáreas, en específico bitumen, en este yacimiento y en varios depósitos estratoligados de Cu pertenecientes al Cretácico Inferior y cercanos a la zona de estudio como, por ejemplo, El Soldado, Talcuna, Uchumi, Cerro Negro, Mantos de Catemu, etc (Zentilli et al. 1997, Vilches, 2018). Este material orgánico ha sido bien estudiado debido a que se le asocian propiedades de agente reductor en estos depósitos, y por ende agente controlador en la precipitación de cobre.

En particular, Vilches (2018), en su estudio mineralógico y químico del bitumen, señala que este actúa como “trampa redox” para la precipitación de sulfuros y también como agente preconcentrador de metales y ligantes. Esta preconcentración puede darse en el momento de generación del hidrocarburo en la roca fuente, como también durante la migración y/o posterior interacción con fluidos hidrotermales.

En Mina Rafaela, se ha reportado bitumen en el trabajo de Toloza (2017), no obstante, se deben realizar estudios geoquímicos en rocas sedimentarias calcáreas para definir si efectivamente la presencia de bitumen en la faena genera un importante control sobre la mineralización. Puede este hidrocarburo jugar un rol importante, sobre todo por las zonas donde ocurre mayor mineralización, justo en contactos entre rocas sedimentarias por sobre rocas volcánicas.

7.2.4. Comparativa con otros yacimientos

La Mina Rafaela presenta características comunes de este tipo de yacimientos, por lo que se podría comparar con otro tipo de depósitos alojados en rocas sedimentarias. Por ejemplo, como se observó anteriormente, el sistema estructural coincide con el reportado por Boric et al. (2002) para la Mina El Soldado. Sin embargo, la mineralogía de mena de tal depósito se centra en núcleos de calcosina-hematita-bornita, los cuales no han sido reportados en Mina Rafaela, ya que la calcosina se encuentra asociada a la calcopirita o bornita solamente, con menor especularita. Por otra parte, en la Figura 7.4, se observa el modelo de mineralización de El Soldado, el cual se encuentra casi completamente controlado por estructuras y no tanto

por litologías, ya que no se forman los mantos lenticulares en los contactos observados en “Rafaela”.

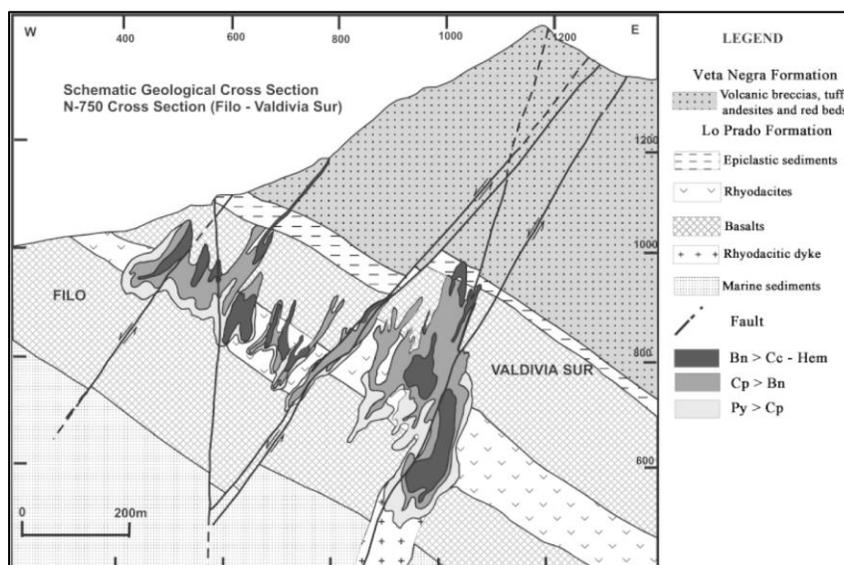


Figura 7.4. Modelo de mineralización de Mina El Soldado. Obtenido de Boric et al. (2002).

Por otra parte, Mina Rafaela se puede comparar con otro yacimiento más cercano, Cerro Negro (CN). Este yacimiento se encuentra al NE de la zona de estudio, alojado en la Formación Las Chilcas. Se caracteriza por presentar un nivel estratigráfico mineralizado de forma lenticular o “tipo manto” en una brecha volcánica denominada El Diablo, la cual se encuentra situada bajo una capa de roca sedimentarias lacustre (areniscas calcáreas, limonitas). La asociación mineralógica de mena comprende mayoritariamente calcopirita-pirita con menor bornita-calcosina. Se destaca que se diferencian del sistema estructural de Rafaela de debido a que CN presenta orientación preferente NNE-SSW (Elgueta et al., 1990). Con respecto a este yacimiento, la mayor similitud es el modelo de emplazamiento de la mineralización en forma de mantos con un aumento del mineral hacia las estructuras principales, aunque este yacimiento presenta solo un manto asociado. También se asemeja en los minerales de mena (calcopirita-pirita-bornita-calcosina). Sin embargo, las asociaciones minerales secundarias varían sobre todo por la presencia de magnetita, hematita, galena y esfalerita, todas en zonaciones verticales. Por último, se resalta que la Mina Cerro Negro no presenta mineralización vetiforme, a diferencia de la Mina Rafaela que presenta importante mineralización vetiforme.

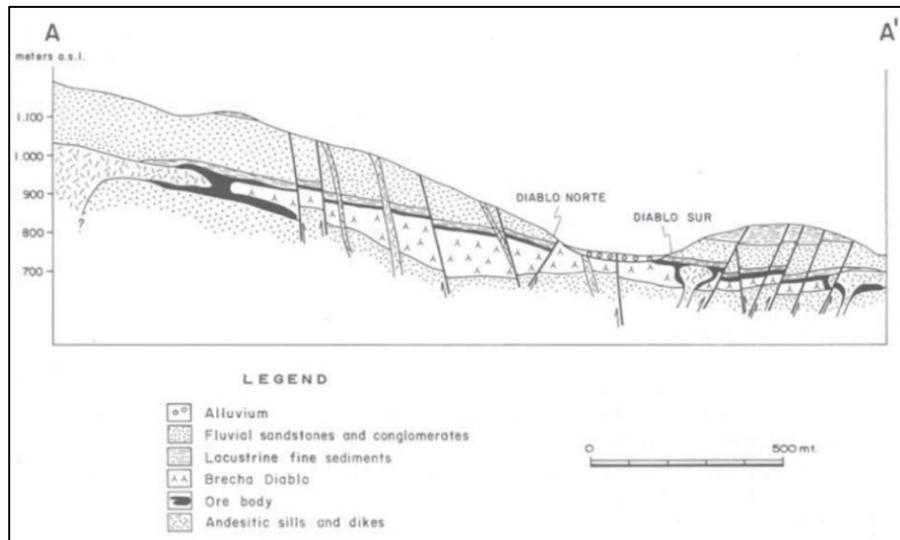


Figura 7.5. Modelo de mineralización de Mina Cerro Negro. Obtenida de Elgueta et al. (1990).

Por último, se tiene la Mina El Guayacán ubicada a 11 km al SW de la ciudad de Cabildo. Esta se aloja en la Formación Lo Prado, al igual que mina Rafaela. El sistema estructural que rige al yacimiento es bien simple, ya que se identifican pequeñas estructuras NE-SW sin mineralización tipo vetiforme. La mena principal se aloja en estratos andesíticos bajo rocas sedimentarias (areniscas, limonitas). La asociación principal es bornita-calcopirita -pirita con menor ocurrencia de calcosina. La mineralogía de ganga corresponde a calcita y clorita principalmente (Carter, 1964). Con respecto a Mina Rafaela, se puede apreciar similitudes tanto en el modelo de emplazamiento (sin contar vetiformes) como en las asociaciones minerales de mena y ganga. Sin embargo, el sistema estructural predominante es NE-SW a diferencia del NW-SE que domina en “Rafaela”. Cabe destacar que el estudio obtenido de esta mina data del 1964 por lo que puede estar bastante desactualizado con respecto a la información geológica-estructural que se tiene actualmente.

Aun así, este último sería el depósito que más características en común se tiene con Mina Rafaela, aunque falta información pública de otros yacimientos cercanos para hacer una comparativa más exhaustiva como, por ejemplo, Mina El Sauce perteneciente a Minera Las Cenizas, y que se ubica al norte de la zona de estudio.

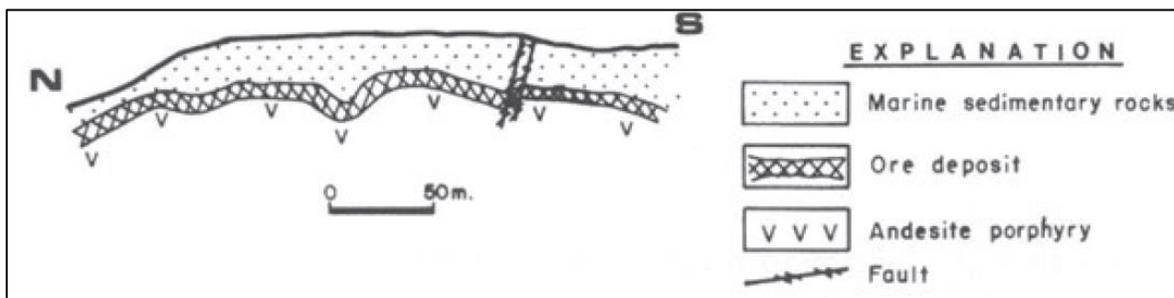


Figura 7.6. Perfil esquemático del modelo de mineralización de Mina El Guayacán. Obtenida de Camus (1990).

7.3. Tonelaje y ley

Para el cálculo de tonelaje se ha extrapolado la información de sondajes que se encuentran al sur de Mina Rafaela hacia el norte debido a que estas muestran vetas que presentan geometrías más o menos regulares y con inclinación subverticales. Además, la mineralización tipo manto también es observable y extrapolable al norte por la presencia de algunos sondajes de ENAMI y Minera Rafaela y muestreo histórico en labores de producción. Sin embargo, esta extrapolación solo puede llegar hasta el límite definido entre el norte y sur de la concesión minera, con cierto grado de confiabilidad (indicado e inferido) Hacia el norte la información es solamente litológica y prácticamente superficial, ya que hay tres sondajes validos en esta zona. Por tal razón, la estimación de recursos obtenida para la zona norte se cataloga solo como “Recurso Geológico” y no como recurso mineral.

Por otra parte, al ser un cálculo de tonelaje volumétrico, la continuidad de los cuerpos mineralizados se asume más bien constante, lo cual no es del todo correcta y, por lo tanto, se trabaja con recursos indicados a todo tonelaje que se encuentra dentro del modelo de interpolación RBF e inferido para el tonelaje fuera de este modelo.

Con respecto al cálculo de leyes, la mayoría de las vetas presentan intercepto de leyes en sondajes y también muestreo histórico. Sin embargo, esto solo se encuentra entre la Unidad Sedimentaria 1 y Unidad Volcánica 1, por lo que, hacia superficie los modelos de leyes pueden perder confiabilidad dada la baja a nula cantidad de datos.

Estudios anteriores de estimación de recursos en base a las primeras campañas de sondajes entregan 2.26 Mt @ 2,12 % CuT para 8 vetas y 3 mantos en el sector sur de la propiedad (Moscoso, 2016) y 2.9 Mt @ 2.3 % CuT **para todo el yacimiento** (tanto zona norte como sur) en base a 3 mantos asociados a 7 estructuras mineralizadoras (Toloza, 2017). En cambio, este trabajo calcula solo para la zona sur de la concesión valores de 2.5 Mt @ 1.83 % CuT en recursos minerales más 553 kt @ 1.58 % CuT en recursos geológicos probables, dando un total entre ambos de 3 Mt @ 1.78 % CuT. La zona norte se estiman recursos geológicos probables cercanos a 1.8 Mt @ 1.71 % CuT.

Tabla 7.1. Tabla comparativa de estimación de recursos de los tres estudios realizados en Mina Rafaela. Se destaca que el trabajo de Moscoso (2016) tiene por objetivo determinar la rentabilidad de explotación de óxidos en la faena.

Recursos medidos, indicados e inferidos		
Trabajo	Toneladas [ton]	Ley [%]
Moscoso (2016)	2,263,718	2.12
Toloza (2017)	2,912,738	2.23
Actual	2,534,960	1.83

El aumento de tonelaje con respecto a ambos estudios se debe a que, como ya se mencionó anteriormente, el presente trabajo contempla la mineralización que ocurre en los mantos donde las unidades volcánicas sobreyacen a las unidades sedimentarias, mientras que en los dos trabajos anteriores no se contabilizan. Además, en el presente estudio se contabiliza la mineralización que ocurre de forma vetiforme en las unidades litológicas tanto sedimentarias (observado en labores de producción) como en volcánicas (apreciado en sondajes). En cambio, en el estudio de Toloza (2017) no se contabiliza. Cabe destacar que en la tabla se aprecia mayor tonelaje en el estudio de Toloza (2017), sin embargo, este contabiliza la totalidad de la propiedad minera, en cambio los otros dos estudios (Moscoso, 2016 y actual) solo se centran en la zona sur de Mina Rafaela.

Por último, comparado con otros depósitos de tipo estratoligados de Cu como, por ejemplo, Cerro Negro (6 Mt @ 2 % CuT (Camus, 1990)) El Soldado (>200 Mt @ 1.4 % Cu (Boric et al., 2002)), etc., Mina Rafaela representaría un depósito menor (app 3 Mt @ 1.78% CuT), sin embargo, de magnitudes similares a Mantos de Catemu (2 Mt @ 1.75 % Cu (Camus, 1990)).

8. Conclusiones y recomendaciones

La Mina Rafaela corresponde a un yacimiento tipo Estratoligado de Cobre perteneciente a la franja Metalogénica del Cretácico Inferior y alojado en el Miembro Superior de la Formación Lo Prado, cerca del contacto con la Formación Veta Negra. En este depósito predominan secuencias sedimentarias intercaladas con secuencias volcánicas. En específico, las rocas que dominan el sector son brechas y tobas volcánicas, lavas andesíticas, calizas, y en menores medidas, areniscas calcáreas y conglomerados. Se destaca que estas rocas se encuentran en un sistema homoclinal con vergencia hacia el Este con manteos que rondan entre 20-30°. La presencia de esta intercalación indicaría una depositación co-genética en posibles zonas marinas someras o lacustres de los sedimentos en periodos de volcanismo activo en el área de estudio. Esto se ve respaldado por la presencia de fósiles “ammonites” en las unidades sedimentarias 2 y 3, además de presencia de pequeñas capas sedimentarias intercaladas en las unidades volcánicas.

Por otra parte, el sistema estructural que controla la mineralización está formado por una serie de fallas normales, en su mayoría, con una orientación preferente NNW-SSE y manteos subverticales. En total, para este modelo se determinaron 12 estructuras principales, de las cuales 7 se consideran mineralizadoras y 5 post-minerales. La importancia de este sistema es que, además de ser canales permeables para el paso de fluidos hidrotermales, desplazan los contactos litológicos que son las zonas de bonanza con mayor porcentaje de mineralización. Al comparar este sistema con el que ocurre en Mina el Soldado, se logran apreciar características bien similares, ya que ambos sistemas se componen principalmente de estructuras NNW-SSE con algunas en dirección NE-SW. Tales disposiciones indicarían que estas estructuras pertenecen a un sistema transtensional denominado “lazo sigmoide” el cual se habría formado en el período del Cretácico inferior en el que predominaban estas condiciones de estrés.

Se destaca que intruyendo a estas rocas se encuentran diques de composición andesítica en su mayoría, los cuales presentan direcciones NW-SE (con presencia de mineralización) y NE-SW (sin mineralización). Estos cuerpos volcánicos se consideran de suma importancia en el depósito, ya que a priori, se consideran como una posible fuente de los fluidos hidrotermales que generan la mineralización en la zona. Eso sí, como se discute anteriormente, no se descarta que la proveniencia de los metales sea de lixiviación de los paquetes volcánicos en la zona.

En cuanto a los minerales de mena, la calcopirita es la principal fuente de cobre dentro del yacimiento, seguida de bornita y en menores cantidades calcosina. Se destaca la presencia de pirita en zonas de baja ley. No se descarta la presencia de covelina, pero faltan estudios microscópicos para confirmar este mineral que podría estar reemplazando, principalmente, a la bornita. Las zonaciones principales que se dan en el depósito son: bornita-calcopirita (Ej. Veta Margarita); calcopirita-pirita; calcosina-calcopirita (Ej. Veta Misterio), esta última en casos específicos. En general, estas asociaciones van desde zonas de más altas leyes en intersección veta/manto, hasta zonas alejadas de estas donde comienza a dominar la pirita. La mineralización en superficie está compuesta de óxidos de cobre: malaquita, crisocola,

atacamita principalmente. Los minerales de ganga se componen de calcita (mineral más abundante), clorita, epidota, granates (muy bajas cantidades), zeolitas y óxidos de Fe (hematita, goethita en superficie). Se destaca la posible presencia de bitumen en el yacimiento, que según varios estudios (Zentilli et al., 1997, Vilches, 2018) juega un rol importante en la precipitación de sulfuros de cobre al actuar como agente reductor.

Con respecto a los tipos de mineralización, estos se dividen en dos grandes grupos: mineralización tipo mantiforme o “mantos” y vetiforme. Los mantos se desarrollan en los contactos litológicos entre unidades sedimentarias y volcánicas, siempre asociados a una estructura mineralizadora. En específico, se ha logrado apreciar que estos mantos presentan formas lenticulares, donde la mayor zona de mineral se encuentra en la intersección con la falla/veta principal, mientras que al alejarse se va degradando el porcentaje. Esto es apreciable en la zonación de la mineralización

Por otra parte, se encuentra la mineralización tipo vetiforme que, si bien puede ser más volumétrica en tonelaje, es más irregular que los mantos y también con menor porcentaje de sulfuros (esto implicaría menor ley de Cu). Esta ocurre a través de halos mineralizados desde la veta principal, los cuales pueden ser 1 a 3 metros de espesor.

El modelo geológico desarrollado en el software Leapfrog Geo logra identificar las características principales de la mina Rafaela, así como también la disposición espacial de estas. Por ejemplo, en el modelo se logra apreciar como capas estratigráficas se encuentran dispuestas en el sistema homoclinal con manteo hacia el Este. El principal objetivo del modelamiento en 3D es poder identificar de manera espacial los lugares más interesantes para encontrar estas intersecciones manto/veta que generan las zonas de bonanza. Este trabajo lograr identificar de buena manera tales zonas.

Como se menciona en las discusiones, es importante destacar que este es un modelo general del yacimiento, sobre todo en la zona norte del yacimiento donde la información en profundidad es muy acotada, y es posible que se encuentren más estructuras mineralizadas que no han sido contadas en el modelamiento debido a que, o son de tamaños menores a la escala de trabajo o no se han descubierto aún. No obstante, es una buena aproximación para futuras exploraciones y labores de producción tanto al norte como sur de la propiedad.

A partir del modelamiento en 3D se realiza una estimación de recursos en base a volúmenes generados tanto para los mantos como para las vetas. Esta estimación se considera, en confiabilidad, como recursos indicados o inferidos dado que se consideran los cuerpos mineralizados como continuos en el espacio de la zona sur del yacimiento. En el sector norte de la propiedad el tonelaje estimado se categoriza como Recurso geológico dada la baja cantidad de información en profundidad tanto de litología como de leyes de Cu. Considerando lo anterior, se logra estimar un total de 2.5 Mt @ 1.83 % CuT en reservas minerales más 553 kt @ 1.58 % CuT en recursos geológicos probables, dando un total entre ambos de 3 Mt @ 1.78 % CuT, para la zona sur. La zona norte se estiman recursos geológicos probables cercanos a 1.8 Mt @ 1.71 % CuT.

Dentro de las recomendaciones, en primer lugar, se deberían realizar exploraciones hacia el norte de Mina Rafaela tanto en superficie como con información de sondajes, para así complementar el modelo realizado en el presente trabajo. Se puede apreciar que esta zona tiene buen potencial de mineralización a rescatar en un futuro, ya que según el modelamiento en 3D, los mantos 1, 2 y 3 se mantienen en este sector.

También se recomienda realizar estudios a zonas más cercanas a superficie en la zona sur, en específico, en los mantos 2 y 3 que también presentan recursos extraíbles. Por otra parte, se recomienda realizar cortes transparentes en diques para determinar la composición específica de estos y así poder tener una mayor comprensión de la función de estos en el depósito. También se recomienda realizar estudios asociados al bitumen que también puede jugar un rol importante en la precipitación de sulfuros. Por último, se deberán hacer cortes pulidos en muestras de producción para determinar con mayor detalle las asociaciones de minerales de mena.

9. Bibliografía

Águila Aravena, B. I. (2019). Alteración y mineralización distrito minero Quitalcura, Región de Valparaíso, Chile implicancias en la génesis de depósitos estratoligados Cu-(Ag). Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Concepción.

Alarcón, B., & Olcay, L. (1979). Paragénesis y distribución de la mineralización del depósito estratiforme Diablo Sur, Cabildo, V Región. Actas II Congreso Geológico Chileno, C207-215.

Boric, R. (2002). The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits: A global perspective, 2, 1-22.

Camus, F. (1990). Geological characteristics of stratabound deposits associated with lacustrine sediments, central Chile. Stratabound ore deposits in the Andes, 449-462.

Carrillo-Rosúa, F., Moreno, V., Morales, S., Morata, D., Figueroa, J., Ramírez, E., & Boyce, A. J. (2009). Mineralizaciones de Cu de tipo skarn y de tipo “manto” en Cabildo, V Región, Cordillera de la Costa: datos preliminares sobre su mineralogía y geoquímica. Santiago, 22, S11_024.

Carter, W. D., & Aliste Torres, N. (1964). Paleo-channels at the Guayacan copper mine, Cabildo district, Aconcagua Province, Chile. Economic Geology, 59(7), 1283-1292.

Cochilco. (2023= Cochilco - Estadísticas - Precio de los Metales. Cochilco. Recuperado 10 de febrero de 2023, de https://boletin.cochilco.cl/estadisticas/grafico.asp?tipo_metal=1.

Elgueta, S., Hodgkin, A., Rodriguez, E., & Schneider, A. (1990). The Cerro Negro mine, Chile: Manto-type copper mineralization in a volcanoclastic environment. Stratabound ore deposits in the Andes, 463-471.

Espinoza, S.; Véliz, H.; Esquivel, J.; Arias, J.; Moraga, A. 1996. The cupriferous province of the coastal range, northern Chile. In Andean Copper Deposits: new discoveries, mineralization styles and metalogeny. Society of Economic Geologists, Special Publication, No. 5, p. 19-32.

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(1-2), 157-177.

Herazo Mercado, A. P. (2021). Reassessing the role of organic matter in stratabound Cu-(Ag) deposits, Northern-Central Chile. Tesis para optar al grado de Doctora en Ciencias, Mención Geología, Universidad de Chile.

Kojima, S., Trista-Aguilera, D., & Hayashi, K. I. (2009). Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits. Resource geology, 59(1), 87-98.

López Neira, J. I. (2019). Geología, alteración y mineralización del prospecto minero Verito, comuna de La Higuera, Región de Coquimbo. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Maksaev, V., Townley, B., Palacios, C., Camus, F., Moreno, T., & Gibbons, W. (2007). Metallic ore deposits. The geology of Chile, 179-199.

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

Morata, D., Varas, M. I., Higgins, M., Valencia, V., & Verhoort, J. (2010). Episodic emplacement of the Illapel Plutonic Complex (Coastal Cordillera, central Chile): Sr and Nd isotopic, and zircon U-Pb geochronological constraints. In South American Symposium on Isotope Geology (Vol. 7, pp. 1300169-7).

Moscoso Castillo, E. N. (2016). Explotación de recursos de óxidos en Minera Rafaela. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Ortega, S. (2018). Petrografía y Estratigrafía de la Formación Lo Prado en la Cordillera de la Costa (entre 33°27'–33°30'S); Sector Cuesta Lo Prado (Doctoral dissertation, Tesis para optar al Título de Geólogo, Universidad Nacional Andrés Bello, Facultad de Ingeniería: 145 p. Santiago).

Parada, M. A., Nyström, J. O., & Levi, B. E. A. T. R. I. Z. (1999). Multiple sources for the Coastal Batholith of central Chile (31–34 S): geochemical and Sr–Nd isotopic evidence and tectonic implications. *Lithos*, 46(3), 505-521.

Rudloff del Villar, R. A. (2021). Génesis de depósitos minerales de Cu y Au de la franja metalogénica cretácica de Chile Central: distrito minero Til Til. Tesis para optar al grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile

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.

Rodríguez, V. M., Rosúa, J. C., Ruano, S. M., Serrano, M. R., Cisterna, J. F., Salas, R. D. R., Chelsey, J. & Ruiz, J. (2010). Origen de los Metales en Depósitos Tipo "Manto" y Skarn. Isótopos de Pb y Cu (Cabildo, Chile Central). *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (13), 161-162.

Rodríguez, V. M., Ruano, S. M., & Rosua, F. J. C. (2008). Las Mineralizaciones de Cu de Cabildo, Cordillera de la Costa, Chile central. *Macla: revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, (9), 165.

Ruiz, C., Aguirre, L., Corvalán, J., Klohn, C., Klohn, E., & Levi, B. (1965). Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas, 305.

Ruiz, C., Aguilar A, Egert E, Espinosa W, Peebles F, Quezada R, Serrano M (1971). Stratabound copper sulphide deposits of Chile. Soc. Min. Geol. Jpn. Spec. Issue, 3, 252-260.

Saric, N., Kreft, C., & Huete, C. (2003). Geología del yacimiento Lo Aguirre, Chile. Revista geológica de Chile, 30(2), 317-331.

Sillitoe, R. H., & Perelló, J. (2005). Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery.

Surján Arellano, M. J. E. (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, Universidad de Chile.

Tolosa Weber, L. (2017). “Geología, alteración y mineralización del yacimiento estratoligado de Mina Rafaela, Cabildo, V Región”. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

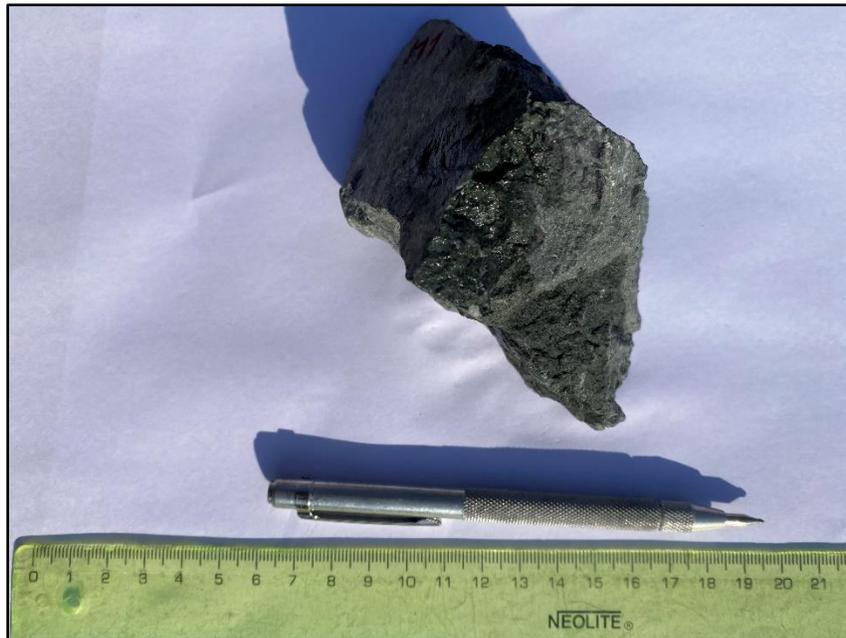
Vilches López, L. M. (2018). Mineralogía y química del bitumen en depósitos estratoligados de cobre en la franja cretácica inferior entre los 27° y los 33° latitud sur, Chile. Memoria para optar al título de Geólogo, Universidad de Chile.

Zentilli, M., Munizaga, F., Graves, M. C., Boric, R., Wilson, N. S., Mukhopadhyay, P. K., & Snowdon, L. R. (1997). Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits: an example in Cretaceous stratabound (Manto-Type) copper deposits of central Chile. International Geology Review, 39(1), 1-21.

ANEXOS

Anexo A: Descripción de Muestras

Muestra	M1 (P1M4)
Ubicación (UTM PSAD 56)	305625/6402425
Tipo de roca	Toba lítica
Mineralización	Calcopirita diseminada
Unidad litológica	Unidad volcánica 1
Nombre	Toba Verde
Descripción	
<p>Roca de matriz verdosa con textura piroclástica. Presencia de anfíbol (cristales tabulares) inmersas en matriz (en 30%). Cuarzo fragmentado. Plagioclasas alteradas a sericita. Calcita en patinas. Cristales de color rojo intensos no mayores a 1 mm. Mineralización de calcopirita en cúmulos en muy baja intensidad.</p>	



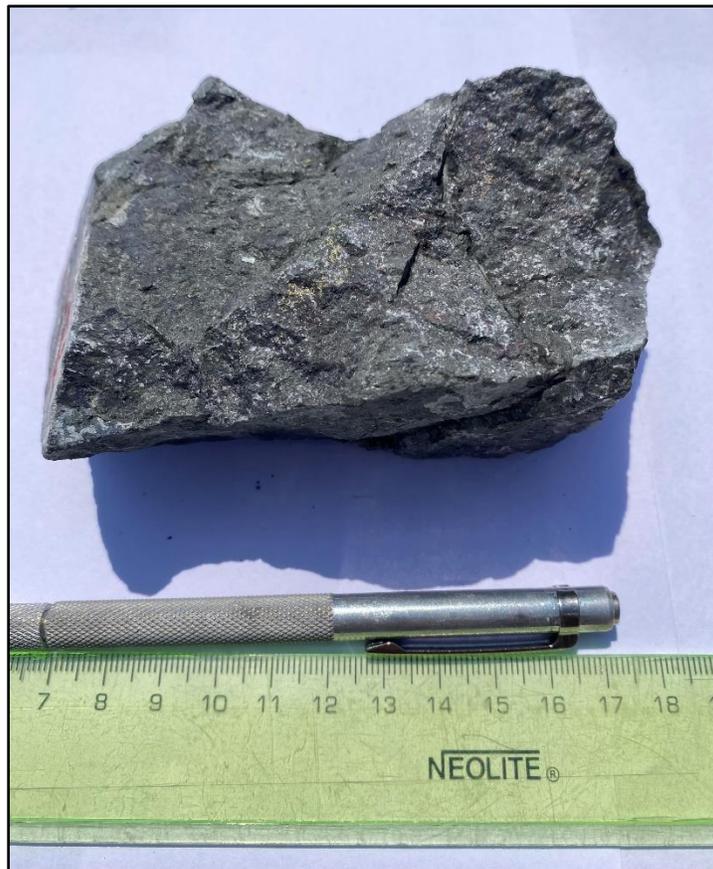
Muestra	M2
Ubicación (UTM PSAD 56)	305679/6402411
Tipo de roca	Toba lítica
Mineralización	S/M
Unidad litológica	Unidad volcánica 1
Nombre	Toba Roja
Descripción	
<p>Roca de matriz rojiza que tiene inmersa cristales de cuarzo traslucidos, plagioclasas alteradas a sericita y fragmentos líticos oscuros de hasta 5 mm de diámetro subangulosos. También se observan posibles anfíboles de tamaños menores a 1 mm. Menor cantidad de piroxenos como accesorios.</p>	



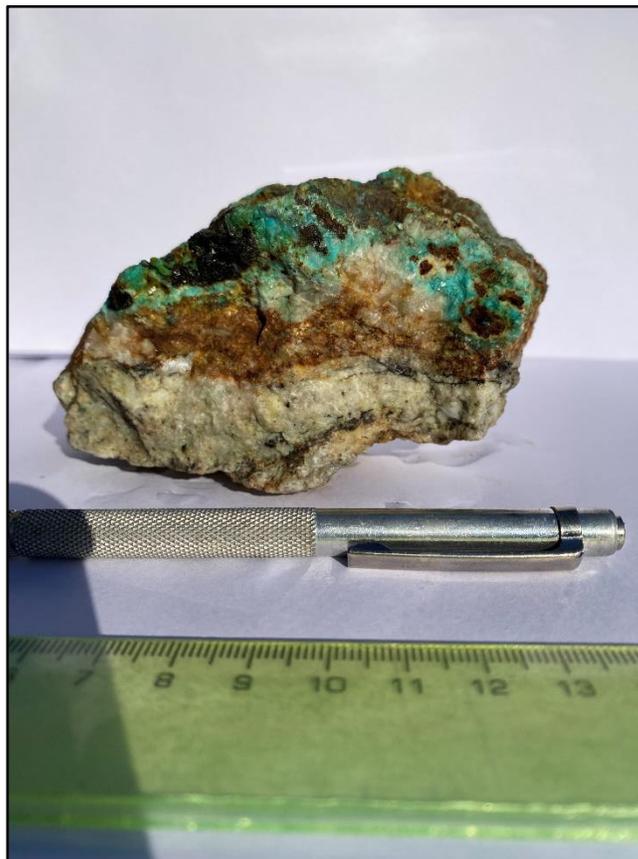
Muestra	M3
Ubicación (UTM PSAD 56)	305704/6402089
Tipo de roca	Toba cristalina
Mineralización	Bornita + calcopirita
Unidad litológica	Unidad volcánica 2
Nombre	Toba cristalina de piroxenos
Descripción	
<p>Roca volcanoclastica de coloración gris verdosa y textura porfídica que presenta cristales de plagioclasas alterados a albita? (5%) en una matriz (60%) más cristales de piroxenos en menores a 5 mm (15%). Destaca la presencia de cristales de calcita en la matriz en un 15%, al igual que cuarzo en menor medida (5%). La alteración predominante es de Calcita-qz y clorita-epidota en matriz. La mineralización es de calcopirita más bornita en cúmulos y bandeamientos. El alto porcentaje de mineral se debe a la proximidad con la veta principal.</p>	



Muestra	M4 (TB1)
Ubicación (UTM PSAD 56)	305705/6402093
Tipo de roca	Toba cristalina
Mineralización	Bornita + calcopirita
Unidad litológica	Unidad volcánica 2
Nombre	Toba cristalina de piroxeno
Descripción	
<p>Roca de textura porfídica y masa fundamental (60%) de coloración verdosa oscura. Presenta cristales de piroxenos menores a 1 mm (20%), cristales de plagioclasas alterados (5%) y cristales de calcita (que también se encuentra en vetillas). Destacan líticos de menor tamaño y con menor frecuencia (<5 %). Mineralización de bornita y calcopirita en cúmulos y diseminadas.</p>	



Muestra	M5
Ubicación (UTM PSAD 56)	305705/6402095
Tipo de roca	Brecha de falla
Mineralización	Óxidos de Cu (malaquita, atacamita) ; calcopirita
Unidad litológica	Veta Margarita
Nombre	Brecha de falla de calcita
Descripción	
<p>Roca compuesta por masa fundamental de calcita rombohédrica que se encuentra completamente obliterada a arcillas blancas, sericita y óxidos de Fe, debido a la cercanía con la superficie y presencia de fluidos meteóricos. Se obtiene de la cota 825 m.</p> <p>Mineralización de óxidos de Cu en cúmulos y rellenando cavidades (crisocola, atacamita), y en menor medida calcopirita diseminada.</p>	



Muestra	M6
Ubicación (UTM PSAD 56)	305822/6402144
Tipo de roca	Volcánica (Lava)
Mineralización	Calcopirita + bornita
Unidad litológica	Unidad volcánica 1
Nombre	Andesita
Descripción	
<p>Roca de textura porfírica y masa fundamental gris-oscuro (40%) donde destacan cx menores a 1 mm. Alta presencia de plagioclasas (>35%) con albitización selectiva, baja presencia de anfíboles (<15%) al igual que el cuarzo (<5%). Destaca presencia de líticos volcánicos que podrían señalar procesos de autobrecha. Calcopirita en vetillas, masiva y reemplazando cristales de plagioclasa.</p>	



Muestra	M7
Ubicación (UTM PSAD 56)	305829/6402159
Tipo de roca	Lutita calcárea
Mineralización	Calcopirita
Unidad litológica	Unidad sedimentaria 1
Nombre	Caliza
Descripción	
<p>Roca sedimentaria de grano muy fino a limo, gris oscura y con presencia de cristales de calcita menores a 1 m en matriz (30-40%). Presenta vetillas de calcita tardías que cortan toda la roca. Mineralización de calcopirita en vetillas y diseminada.</p>	



Muestra	M8
Ubicación (UTM PSAD 56)	305725/6402156
Tipo de roca	Conglomerado
Mineralización	Calcopirita
Unidad litológica	Unidad volcánica 1
Nombre	Conglomerado volcánico
Descripción	
<p>Roca sedimentaria matriz soportada con presencia de fragmentos líticos de origen volcánico (presencia de hornblenda y plagioclasas en masa fundamental) subredondeados a redondeados, polimícticos y con tamaños variados entre 2 mm a 8 cm de diámetro. Matriz (60%) de grano grueso y coloración beige, con presencia de plagioclasas y calcita rellenando cavidades y sobreimpuesta en matriz. Mineralización de calcopirita en vetillas, rellenando cavidades y en algunos casos entre clastos líticos como "cemento".</p>	



Muestra	M9
Ubicación (UTM PSAD 56)	305785/6402214
Tipo de roca	Brecha de falla
Mineralización	Calcopirita
Unidad litológica	Veta 709
Nombre	Brecha de falla
Descripción	
<p>Roca con protolito sedimentario de grano fino a muy fino (calizas) y coloración gris-oscuro. Presenta foliación, fracturamiento leve. Destaca superficie lustrosa ("pulida") en gran parte de la roca, sobre todo en zonas foleadas. Presenta calcopirita diseminada y en algunos casos en vetillas.</p>	



Muestra	M10
Ubicación (UTM PSAD 56)	305861/6402196
Tipo de roca	Lutita
Mineralización	Calcosina + calcopirita
Unidad litológica	Unidad sedimentaria 1
Nombre	Lutita calcárea
Descripción	
<p>Roca sedimentaria de coloración gris oscura y tamaño de grano medio a fino. Presencia de líticos sedimentarios pequeños (entre 0.5-3 mm) de grano muy fino a limo (calizas). No se aprecian fenocristales en matriz. Vetillas de calcita cortan la muestra. Mineralización de calcosina en vetillas, patinas sobre vetas de calcita y disseminada en matriz. La calcosina se ve acompañada de calcopirita disseminada y en cúmulos.</p>	



Muestra	M11
Ubicación (UTM PSAD 56)	305862/6402205
Tipo de roca	Arenisca calcárea
Mineralización	Calcosina + calcopirita
Unidad litológica	Unidad sedimentaria 1
Nombre	Arenisca calcárea
Descripción	
<p>Roca sedimentaria de coloración gris oscura y tamaño de grano medio a fino. Presencia de líticos sedimentarios pequeños (entre 0.5-3 mm) de grano muy fino a limo (calizas). No se aprecian fenocristales en matriz. Vetillas de calcita cortan la muestra. Mineralización de calcosina en vetillas, patinas sobre vetas de calcita y diseminada en matriz. La calcosina se ve acompañada de calcopirita diseminada y en cúmulos.</p>	



Muestra	M12
Ubicación (UTM PSAD 56)	305858/6402219
Tipo de roca	Brecha de falla
Mineralización	Bornita + calcopirita
Unidad litológica	Veta Misterio
Nombre	Brecha de falla
Descripción	
<p>Roca de falla matriz soportada y compuesta por fragmentos líticos de calizas subangulosos con tamaños de hasta 3 mm inmersos en una matriz de calcita rombohedrica euهدral con cristales de hasta 5 cm de diámetro. Destaca mineralización de bornita y calcopirita en cúmulos en los clastos de caliza .</p>	



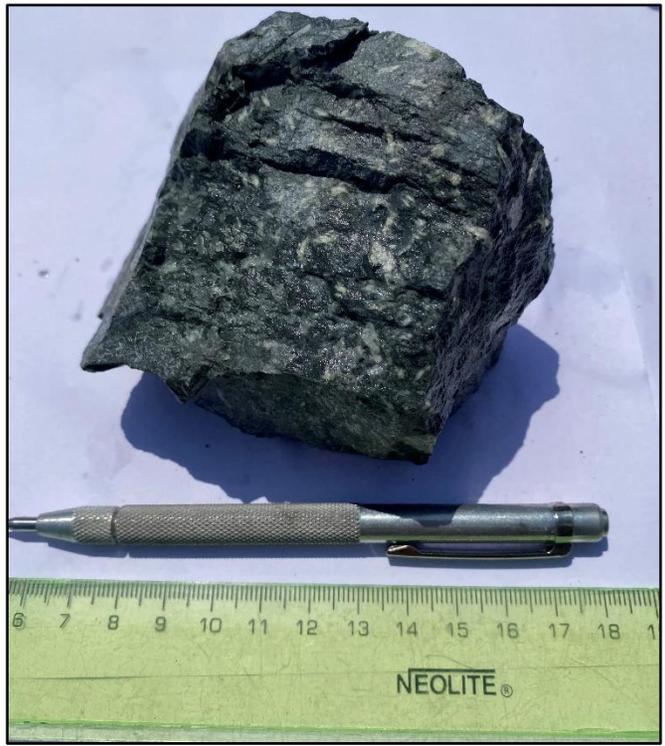
Muestra	M13
Ubicación (UTM PSAD 56)	305702/6402158
Tipo de roca	Arenisca fina calcárea
Mineralización	Calcopirita + bornita
Unidad litológica	Unidad sedimentaria 1
Nombre	Arenisca fina calcárea
Descripción	
<p>Roca sedimentaria gris-oscuro a negra de grano fino a muy fino con presencia de clastos oscuros no mayores a 0.5 mm. Se distinguen cristales menores a 1 mm de calcita inmersos en la matriz. Mineralización de calcopirita en vetillas y cúmulos, y bornita diseminada en toda la roca. Evento posterior de alteración de vetillas de calcita que cortan la mineralización en cúmulos y diseminada.</p>	



Muestra	M14
Ubicación (UTM PSAD 56)	305721/6402099
Tipo de roca	Brecha volcánica
Mineralización	Calcopirita
Unidad litológica	Unidad volcánica 1
Nombre	Brecha volcánica
Descripción	
<p>Roca volcanoclastica de coloración gris verdosa que presenta líticas subredondeados y subangulosos polimícticos inmersos en una matriz de grano fino a medio y con alto contenido de cristales: plagioclasa, calcita y en menor cantidad anfíbol. Los líticos son de composición sedimentaria (calizas, areniscas) sin cristales visibles en matriz de grano medio a fino y tonalidades gris oscuras; y volcánicos que presentan cristales de plagioclasas, anfíbol y piroxenos en masas fundamentales de coloraciones variables entre blanquecina y marrón clara. Alteración de calcita en vetillas y diseminada, sericita reemplazando plagioclasas y jaspe aislado.</p>	



Muestra	M15
Ubicación (UTM PSAD 56)	305734/6402088
Tipo de roca	Andesita porfídica (Dique)
Mineralización	Calcopirita
Unidad litológica	Dique Eurides
Nombre	Andesita porfídica
Descripción	
<p>Roca de textura porfírica y coloración verdosa oscura con fenocristales de plagioclasa euhedrales de tamaños variados entre 1 mm a 2 cm y, en menor medida, cristales negros de anfíbol que no superan 2 mm de diámetro, ambos inmersos en una masa fundamental verdosa con cristales de feldspatos potásicos menores a 1 mm subhedrales (tabulares y rectangulares) y de coloración rosácea. También se logran apreciar cristales de clorita en masa fundamental. Este último se encuentra alterando cristales maficos y a toda la masa fundamental. Epidota reemplazando fenocristales de plagioclasas y calcita en vetillas. Mineralización de calcopirita en cúmulos pero en bajo porcentaje.</p>	



Anexo B: Collares de sondajes

HOLE-ID	Coordenada Este (m) UTM PSAD 56	Coordenada Norte (m) UTM PSAD 56	Cota (m)	Profundidad (m)
DDH-08-006	305721.34	6402296.96	943.72	242.3
DDH-08-014	305708.02	6402199.39	946.58	249.2
DDH-08-023	305703.35	6402099.29	947.26	242.2
DDH-08-038	305717.36	6402295.5	943.75	265.1
EN-144-12	305709.51	6402196.92	946.68	30.45
EN-145-12	305508.31	6402857.67	879.68	185.7
EN-146-12	305505.21	6402855.22	877.92	27.7
EN-147-12	305505.93	6402855.65	878.27	51.6
EN-148-12	305567.76	6402343.29	861.82	117.85
EN-149-12	305567	6402343	861.62	83.3
EN-150-12	305539	6402529	770	175.2
EN-151-12	305539	6402529	770	35.55
EN-157-12	305740	6402346	935	155.7
EN-158-12	305631.67	6402703.86	911.01	91.1
EN-159-12	305645.85	6402430.31	736.37	41.7
Morro-1	305587.77	6402728.76	909.45	104.3
S1	305579.66	6402367.52	774.5	40.55
S2	305597.37	6402417.79	732	27.07
S3	305565.65	6402414.75	732.5	38.23
S4	305517.8	6402350.22	786.5	29.15
S5	305623.03	6402419.92	735.5	36.19
S6	305662.32	6402420.64	737.5	35.05
S7	305668.28	6402425.41	737.5	45.5
S8	305634.08	6402420.46	736.9	40.53
DDH161775	305761.27	6402050.27	743.88	153.1
DDH161757	305762.38	6402049.94	743.92	136.01
DDH161762	305763.08	6402050.06	745.08	54.99
DDH131185	305686.33	6402045.5	781.78	160
DDH131186	305686.45	6402045.54	781.29	170.45
DDH151611	305913.26	6402069.31	696.14	98.97
DDH151614	305913.9	6402069.34	696.81	110.49
DDH151618	305912.06	6402089.45	695.47	100.72
DDH151621	305912.53	6402089.44	696.61	94.76
DDH151637	305912.95	6402139.12	694.36	110.88
DDH151642	305911.13	6402119.42	695.26	105.63
DDH161750	305762.81	6402048.54	743.6	125.27
DDH161751	305762.56	6402048.54	742.82	135.2
DDH161756	305762.2	6402049.86	742.89	135.06
DDH161769	305761.21	6402050.26	743.31	109.41
DDH161785	305755.28	6402068.93	703.33	105.38
DDH161848	305853.84	6402066	746.62	33.7
DDH161849	305854.93	6402064.63	747.07	27.24
DDH161850	305855.65	6402064.83	747.1	30.44
DDH161851	305856.17	6402064.49	746.96	27.36
DDH12700	305819.41	6402010.45	699.91	77.43
DDH131122	305905.92	6402000.35	695.91	125.06
DDH131137	305907.94	6402032.04	695.65	149.07
DDH131145	305907.16	6402011.59	695.94	140.44
DDH131166	305690.55	6402012.68	776.45	126.45

DDH131167	305690.72	6402012.68	775.96	135.1
DDH131183	305686.26	6402045.47	782.6	75
DDH131196	305683.68	6402047.35	782.55	98.4
DDH131198	305683.65	6402047.36	781.82	115.3
DDH161755	305760.39	6402049.93	743.3	152.69
DDH161753	305760.58	6402050.43	743.5	146.01
DDH161764	305761.25	6402050.34	742.44	81.28
DDH161833	305913.35	6402150.88	693.56	161.6
DDH161834	305913.36	6402175.84	693.24	175.02
DDH161836	305912.79	6402200.95	693.11	135.09
DDH12755	305819.91	6401980.42	700.74	70.16
DDH161779	305755.16	6402068.06	702.59	106.55
DDH161798	305757.2	6402056.04	703.31	142.29
DDH161803	305756.57	6402056.44	703.86	70.24
DDH08028	305697.88	6401999.43	911.4	184.05
DDH131148	305686.57	6402045.36	783.48	70.2
DDH131149	305686.51	6402045.39	782.3	50.05
DDH131150	305686.53	6402045.4	781.67	56.6
DDH131152	305686.73	6402045.41	781.04	55.35
DDH131153	305686.56	6402045.36	783.13	65.3
DDH131154	305687.42	6402045.35	780.01	73.8
DDH131156	305693.59	6402040.81	782.48	62.2
DDH131158	305693.42	6402040.8	781.69	68.25
DDH131160	305693.57	6402040.76	781.23	47.4
DDH131161	305693.31	6402040.81	780.46	34.05
DDH131162	305690.57	6402012.7	778.01	87.3
DDH131164	305690.71	6402012.72	777.26	79.4
DDH131166	305690.55	6402012.68	776.45	126.45
DDH131167	305690.72	6402012.68	775.96	135.1
DDH131168	305690.62	6402012.69	775.76	77
DDH131169	305690.24	6402012.24	777.69	80.55
DDH131170	305690.29	6402012.24	777.02	75.4
DDH131171	305690.28	6402012.25	776.62	75.4
DDH131172	305689.96	6402011.85	777.28	98.55
DDH131173	305689.94	6402011.85	776.79	95.5
DDH131177	305689.98	6402011.84	776.48	90.85
DDH131179	305693.72	6402040.35	779.91	60.5
DDH131180	305689.23	6402043.42	783.76	58.45
DDH131181	305686.19	6402045.45	783.76	60.65
DDH131183	305686.26	6402045.47	782.6	75
DDH131185	305686.33	6402045.5	781.78	160
DDH131186	305686.45	6402045.54	781.29	170.45
DDH131190	305685.59	6402046.07	783.84	70.5
DDH131191	305683.77	6402047.13	783.26	80.5
DDH131193	305683.87	6402047.22	782.19	125.1
DDH131194	305683.92	6402047.28	781.57	152.5
DDH131196	305683.68	6402047.35	782.55	98.4
DDH131198	305683.65	6402047.36	781.82	115.3
DDH151441	305744.88	6401954.4	746.08	29.1
DDH151443	305744.34	6401954.39	746.79	37.27
DDH151445	305743.57	6401954.27	747.84	61.17
DDH151623	305775.3	6401973.85	782.57	50.79
DDH151627	305764.2	6402000.63	782.72	50.37
DDH1541	305871.03	6402102.75	953.54	350

Anexo C: Muestreo Histórico interior mina

Código Muestra	Coordenada Este (m) PSAD 56	Coordenada Norte (m) PSAD 56	Cota (m)	Tipo de muestreo	Labor (Nivel y sector)	Veta/Manto	Fecha de muestreo	Ley CuT (%)
310518-1	305722.581	6402228.65	725	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	0.017
120918-1	305709.243	6402269.95	729.29	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	0.028
280618-1	305710.417	6402258.73	727.5	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	0.029
080518-1	305715.348	6402247.12	726.5	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	0.475
290818-3	305706.132	6402269.9	728.5	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	0.556
150518-1	305723.29	6402245.03	726	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	0.699
140618-2	305705.212	6402259.78	731	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	0.718
100718-2	305714.652	6402264.42	736	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	0.808
080318-1	305701.241	6402143.22	740	s/d	Avance NE 1	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	0.54
080518-2	305714.592	6402120.11	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	1.965
150518-4	305715.067	6402124.65	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	3.374
310518-2	305713.223	6402129.29	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	2.373
140618-1	305711.644	6402133.98	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	2.995
280618-2	305711.596	6402138.95	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	0.994
040718-1	305711.68	6402142.17	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	2.392
100718-3	305710.321	6402144.81	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	1.472
180718-2	305714.051	6402146.45	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	2.897
230718-2	305716.745	6402147.5	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	3.194
130818-1	305714.615	6402151.27	738	s/d	Avance NE 2	Manto Veta Margarita/Eurides	oct-18	1.646
210818-2	305709.422	6402304.24	737	s/d	Avance SE4		oct-18	1.241
210818-3	305720.641	6402142.71	736	s/d	Avance SE4		oct-18	1.665
180718-3	305683.656	6402132.68	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	7.328
180718-4	305682.291	6402131.35	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	1.499
230718-3	305683.953	6402137.36	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	2.221
140818-3	305681.623	6402140.39	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	1.333
290818-2	305680.988	6402145.16	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	7.283
120918-2	305678.131	6402143.41	752	s/d	Caserón 6	Margarita	oct-18	0.405
080518-3	305688.189	6402116.04	757.28	s/d	Caserón 7	Margarita	oct-18	4.825
290518-1	305692.453	6402118.58	759	s/d	Caserón 7	Margarita	oct-18	4.36
310518-3	305692.973	6402117.18	758	s/d	Caserón 7	Margarita	oct-18	3.381
140818-2	305694.25	6402108.64	755	s/d	Caserón 7	Margarita	oct-18	7.623
220118-3	305703.534	6402099.95	751	s/d	Caserón 8	Margarita	oct-18	3.841
150518-3	305725.611	6402239.99	726	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	2.292
150518-2	305721.144	6402238.51	725.6	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	2.3
200718-1	305708.092	6402111.74	743	s/d	Chimenea a Caserón 7	Eurides/Margarita	oct-18	0.021
100718-1	305714.876	6402260.72	736	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	3.453
180718-1	305681.102	6402156.59	745	s/d	Labor Medio	Margarita	oct-18	0.132
200718-2	305675.957	6402151.54	745	s/d	Labor Medio	Margarita	oct-18	0.063
220118-1	305712.993	6402111.26	739.24	s/d	Rampa Labor Medio	Margarita	oct-18	5.71
080318-2	305716.866	6402106.62	739	s/d	Rampa Labor Medio	Margarita	oct-18	2.238
230718-1	305717.626	6402257.69	736	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	1.224
040718-2	305719.16	6402237.89	726	s/d	Galápagos Paula	Galápagos	oct-18	1.502
290818-1	305710.281	6402307.84	730	s/d	Esperanza	709	oct-18	0.339
140818-1	305716.125	6402298.46	729	s/d	Esperanza	709	oct-18	2.565
190718-1	305715.509	6402258.66	736	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	1.835
290518-2	305708.216	6402267.27	729.5	s/d	Caserón Ramon	Galápagos	oct-18	2.856

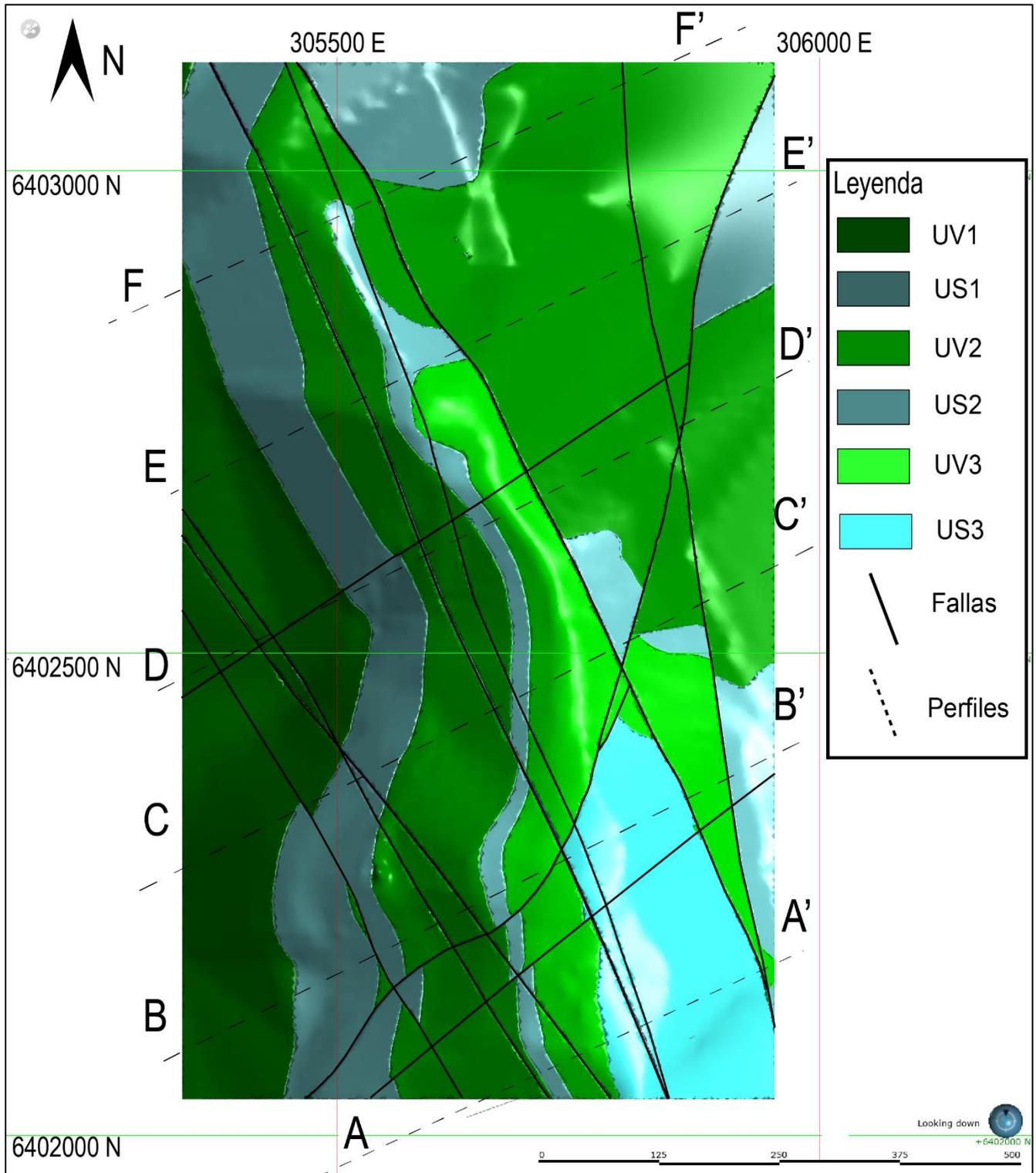
R42103	305716.2489	6402246.748	711	Canaleta	Galápagos NW	Manto Galápagos	21-abr	2.46
R42926	305711.4102	6402269.735	711	Canaleta	Galapagos NW	Galápagos	29-abr	1.18
R42923	305713.2728	6402269.311	710	Barro	Barro Andesita Gal NW	Galápagos	29-abr	1.48
R42924	305713.1035	6402270.073	710	Barro	Barro Caliza Gal NW	Galápagos	29-abr	1.78
R50505	305708.5738	6402276.529	710	Barro	Barro Galápagos NW	Galápagos	05-may	2.21
R50623	305724.1702	6402226.668	712	Canaleta	Canaleta Chimenea GNW	Galápagos	06-may	1.27
R50622	305766.4352	6402146.529	712	Canaleta	Canaleta Galapagos SE2	Galápagos	06-may	1.38
R51336	305734.4085	6402212.046	711	Barro	Barro 1 Oyanadel Medio (Losa Galapagos en esmeril)	Galápagos	13-may	1.19
R51337	305736.8639	6402213.697	710	Barro	Barro 1 Oyanadel Costado (Losa Galapagos en esmeril)	Galápagos	13-may	1.35
R51445	305705.9146	6402270.2	711	Barro	Barro 1 Valenzuela 2,4m (Chimenea 2 Gal NW)	Galápagos	14-may	2.36
R51446	305705.6267	6402270.225	711	Barro	Barro 1 Valenzuela 3,2m (Chimenea 2 Gal NW)	Galápagos	14-may	2.98
R51855	305706.0213	6402291.167	711	Canaleta	Canaleta Frente NW1	Manto Galápagos	18-may	1.19
R51854	305769.7358	6402136.862	710	Canaleta	Canaleta Banco SE2	Manto Galápagos	18-may	2.15
R52673	305704.5905	6402295.027	711	Canaleta	Canaleta NW1	Manto Galápagos	26-may	2.00
R60424	305695.6736	6402308.433	711	Canaleta	Canaleta Caliza NW1	Manto Galápagos	04-jun	1.71
R60426	305773.8635	6402128.347	709	Chipeo	Chipeo Caliza SE2	Manto Galápagos	04-jun	1.79
R60425	305696.4145	6402308.645	711	Canaleta	Canaleta Andesita NW1	Manto Galápagos	04-jun	2.84
R61246	305716.7933	6402086.844	745	Canaleta	Canaleta Andesita Distal (Veta Margarita 740)	Manto Margarita	12-jun	2.10
R61247	305716.6663	6402087.924	745	Canaleta	Canaleta Andesita Proximal (Veta Margarita 740)	Manto Margarita	12-jun	2.26
R61248	305717.9998	6402088.432	745	Canaleta	Canaleta Caliza Distal (Veta Margarita 740)	Manto Margarita	12-jun	3.80
R61249	305718.0633	6402087.098	745	Canaleta	Canaleta Caliza Proximal (Veta Margarita 740)	Manto Margarita	12-jun	4.80
R61864	305725.3533	6402084.761	745	Canaleta	Canaleta Andesita 740	Manto Margarita	18-jun	1.08
R61865	305726.4995	6402084.877	745	Canaleta	Canaleta Caliza 740	Manto Margarita	18-jun	6.18
R71428	305739.3751	6402059.545	726.5	Marina	Marina Chimenea Azul	Eurides/Margarita	14-jul	5.21
R72239	305751.3964	6402042.707	726.5	Chipeo	Chipeo Chimenea Roja	Manto Eurides	22-jul	2.8
R72341	305807.8634	6402048.96	697	Marina	Marina SE2	Galápagos	23-jul	2.16
R80101	305732.0731	6402074.716	741.5	Marina	Marina Chimenea Azul	Margarita/Eurides	01-ago	3.10
R81414	305799.3436	6402077.599	705	s/d	Chimenea Esperanza SE2	Esperanza/709	14-ago	1.72
R82028	305735.7637	6402065.533	733	s/d	Chimenea Azul Norte	Margarita	20-ago	10.03
R82030	305736.743	6402055.52	732	s/d	Chimenea Azul Sur	Margarita	20-ago	7.86
R82029	305798.8962	6402081.54	703	s/d	Chimenea Esperanza SE2	Esperanza/709	20-ago	2.99
R91518	305784.4478	6402118.679	700	Marina	Lejana NO	Manto/Veta 709	15-sept	2.12
R91522	305803.0108	6402081.644	707	Canaleta	Chimenea 1 SE2 (Falla)	Esperanza/709	15-sept	2.24
R91523	305823.4637	6402188.009	721.4	Marina	Frente Este 720	Manto/Veta 709	15-sept	2.37
R91520	305818.9128	6402178.748	724.5	Marina	Frente 720 Oeste	Manto 709	15-sept	2.68
R92225	305806.9751	6402071.91	707	Marina	Chimenea 2 SE2	Esperanza/709	22-sept	2.17
R92226	305817.051	6402182.747	725.1	Marina	720 Oeste	Manto 709	22-sept	2.63
R92329	305821.5842	6402192.6	721.6	Marina	720 Este	Manto/Veta 709	23-sept	3.74
R93049	305782.901	6402126.493	700	Marina	Lejana NO	Manto/Veta 709	30-sept	2.58
R11133	305819.6253	6402207.788	721.5	Marina	720 Este	Manto/Veta 709	13-nov	1.2
R11132	305810.1214	6402192.146	727	Marina	720 Oeste	Manto/Veta 709	13-nov	4.55
R11181	305793.9082	6402071.037	696	Marina	SE2 Galápagos	Manto/Veta Galápagos	18-nov	1.58
R11201	305818.4977	6402145.775	726	Canaleta	Falla Ventana 1 720	Veta 709	20-nov	1.55
R11261	305796.6901	6402066.919	696	Marina	SE2 Galápagos	Manto/Veta Galápagos	26-nov	2.8
R12012	305797.0525	6402086.052	701	Marina	SE2 Entrada chimenea	Manto /Veta 709	02-dic	2.04
R12075	305817.4155	6402222.934	720.6	Marina	720 Este	Manto/Veta 709	07-dic	2.38

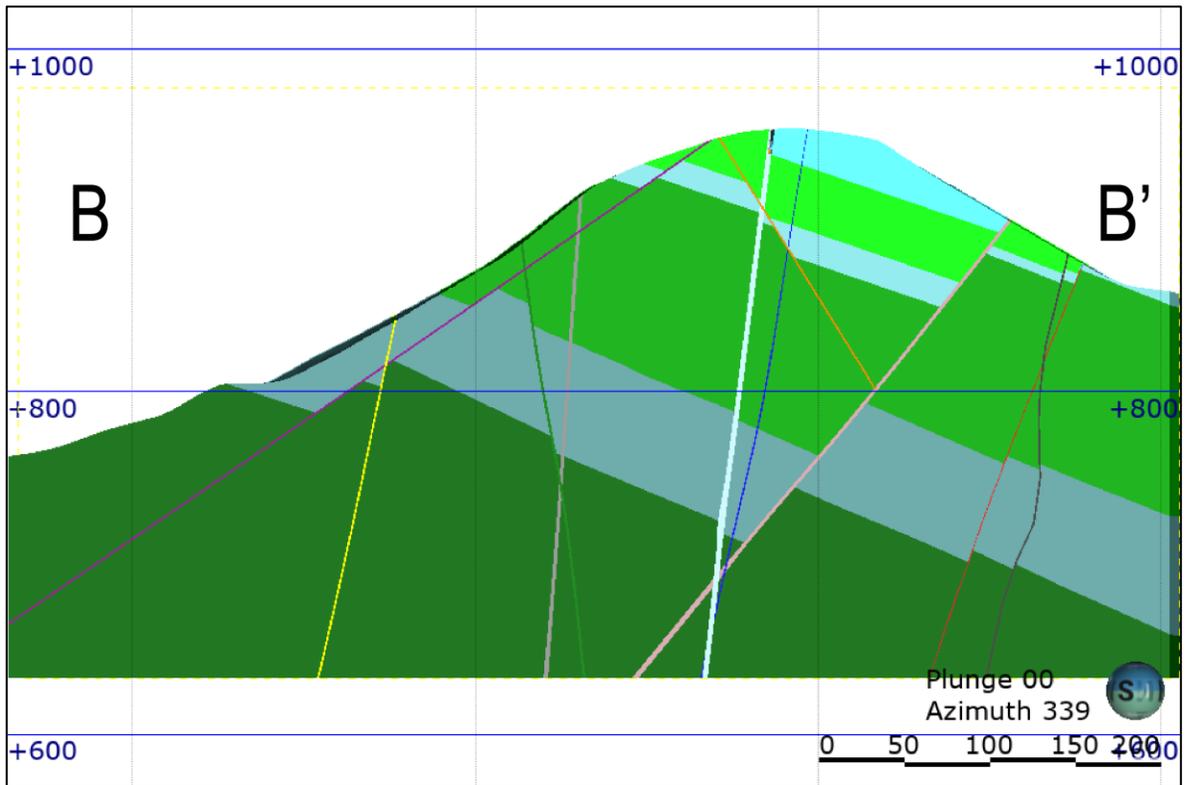
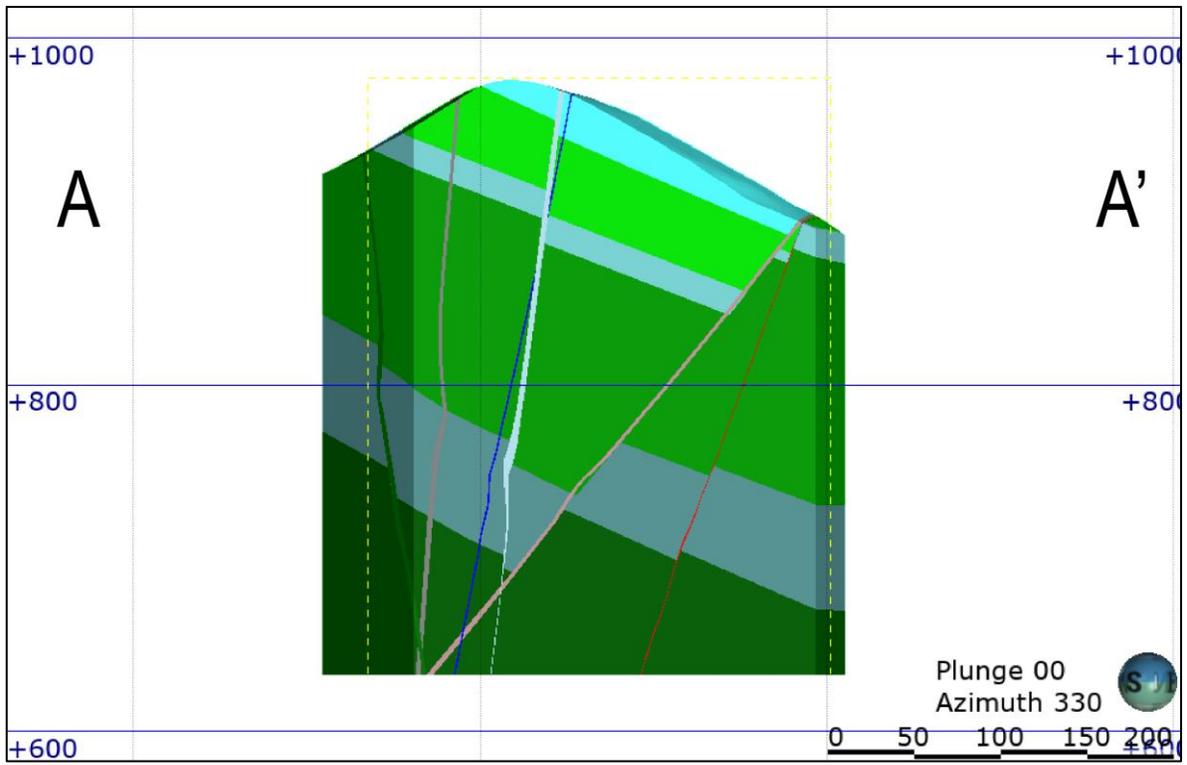
R12074	305800.1713	6402187.649	727	Marina	720 Oeste	Manto/Veta 709	07-dic	5.28
R12081	305710.5061	6402107.755	743.21	Canaleta	Chimenea azul 2	Eurides/Margarita	08-dic	1.97
R12093	305730.9604	6402053.305	722	Barro	Túnel Margarita	Eurides/Margarita	09-dic	2.3
R12141	305712.1834	6402104.815	744	Marina	Chimenea azul 2	Eurides/Margarita	14-dic	1.71
R12142	305731.6665	6402057.107	722	Chip	Veta túnel Margarita	Veta Margarita	14-dic	3.09
R12143	305796.2919	6402090.379	700	Marina	SE2 Entrada chimenea		14-dic	2.64
R12221	305733.9383	6402056.303	732	Marina	Caserón Azul	Manto Margarita/Eurides	22-dic	2.17
R01071	305731.6878	6402052.099	736	Marina	Caserón Azul	Manto Margarita/Eurides	07-ene	2.42
R01073	305790.3666	6402079.841	697	Canaleta	Banqueo SE2 Galápagos		07-ene	1.8
R01074	305781.9697	6402128.867	700	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	07-ene	2.47
R01101	305732.6312	6402048.043	741	Marina	Caserón Azul	Manto Margarita/Eurides	10-ene	2.03
R01212	305730.5886	6402050.313	722	Chip	Veta Avance Margarita	Veta Margarita	21-ene	1.45
R01251	305794.2443	6402074.611	696	Marina	Banqueo SE2 Galápagos		25-ene	3.64
R02034	305753.1107	6402068.431	700	Canaleta	Veta compresor	Veta Margarita	03-feb	0.75
R02042	305771.263	6402147.698	702	Barro	Ventana Lejana	Manto Galápagos/709	04-feb	2.82
R02151	305770.2516	6402155.156	700	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	15-feb	3.58
R02235	305766.0712	6402155.918	703.3	Marina	Ventana 2 Lejana	Manto Galápagos/709	23-feb	2.11
R03041	305769.0864	6402160.435	700	Canaleta	Frente Lejana	Manto/Veta 709	01-mar	1.22
R03042	305766.5675	6402157.98	701.24	Marina	Ventana 2 Lejana	Manto Galápagos/709	01-mar	4.48
R03081	305768.3244	6402162.679	700	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	08-mar	6.08
R03221	305756.6192	6402169.651	708	Barro	Ventana 3 Lejana	Manto Galápagos/709	22-mar	1.21
R03295	305763.4835	6402174.555	700	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	29-mar	2.87
R03296	305765.2337	6402174.396	700	Chip	Falla lejana	Veta 709	29-mar	3.62
R03303	305731.6577	6402044.797	727	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	30-mar	2.74
R04086	305734.4094	6402044.175	728.5	Barro	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	08-abr	1.65
R04126	305709.4337	6402083.92	779.5	Marina	780 Margarita	Veta Margarita	11-abr	0.56
R04125	305709.5607	6402086.767	779.5	Barro	780 Margarita	Veta Margarita	12-abr	2
R04141	305709.1585	6402089.032	779.8	Marina	780 Margarita	Veta Margarita	14-abr	3.92
R04151	305736.168	6402045.059	728	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	15-abr	1.46
R04204	305735.7203	6402046.364	729	Barro	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	20-abr	2.19
R04261	305707.5315	6402090.592	780	Chip	780 Margarita	Veta Margarita	26-abr	0.17
R04262	305710.9288	6402089.703	779	Barro	780 Estocada Der.	Veta Margarita	26-abr	2.33
R04263	305734.1201	6402046.363	732	Canaleta	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	26-abr	2.16
R04264	305734.6112	6402046.753	731	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	26-abr	1.63
R05053	305755.5152	6402187.989	701	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	05-may	2.4
R05052	305735.4835	6402042.133	734	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	05-may	1.17
R05054	305705.1051	6402096.596	781	Marina	Frente 780	Veta Margarita	05-may	2.95
R05061	305754.3955	6402190.253	701	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	06-may	2.3
R05092	305701.2635	6402100.286	783.41	Litoteca	Veta 780 (selectivo)	Veta Margarita	09-may	3
R05111	305735.3599	6402040.5	735	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	11-may	4.39
R05183	305708.5099	6402091.934	797	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	18-may	2.3
R05193	305733.8563	6402039.231	738	Marina	Chimenea Margarita	Manto/Veta Margarita	19-may	2.49
R05241	305786.115	6402107.873	700	Marina	Ventana - 2 Lejana	Manto Galápagos/709	24-may	1.77
R05244	305694.4968	6402106.922	785	Marina	Frente 780	Veta Margarita	24-may	0.69
R05245	305706.7387	6402089.106	797.5	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	24-may	3.72
R05251	305781.0787	6402117.78	702	Marina	Ventana - 1 Lejana	Manto Galápagos/709	25-may	3.99
R06143	305753.4373	6402192.667	701	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	14-jun	2.53
R06142	305690.3396	6402111.494	786.5	Marina	Frente 780	Veta Margarita	14-jun	0.64
R06164	305754.7198	6402195.131	700	Chip	Veta Lejana	Veta 709	16-jun	1.96
R06173	305687.6708	6402113.479	787.5	Marina	Frente 780	Veta Margarita	17-jun	0.78

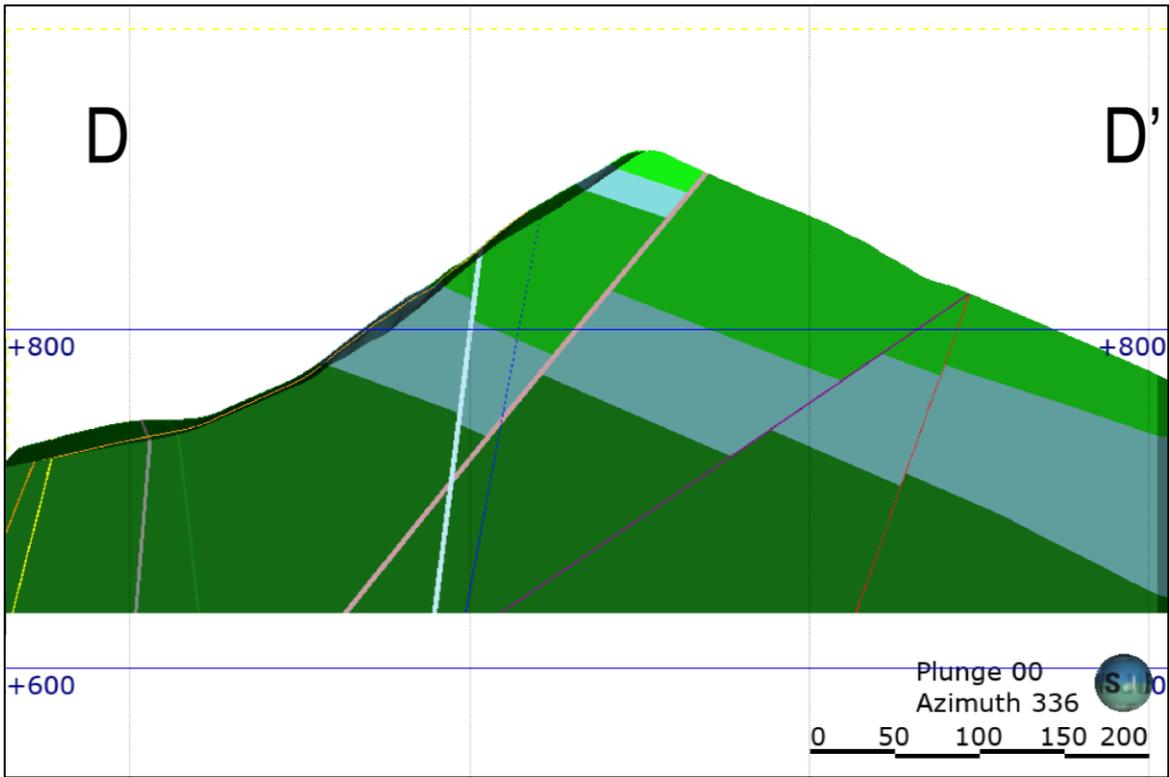
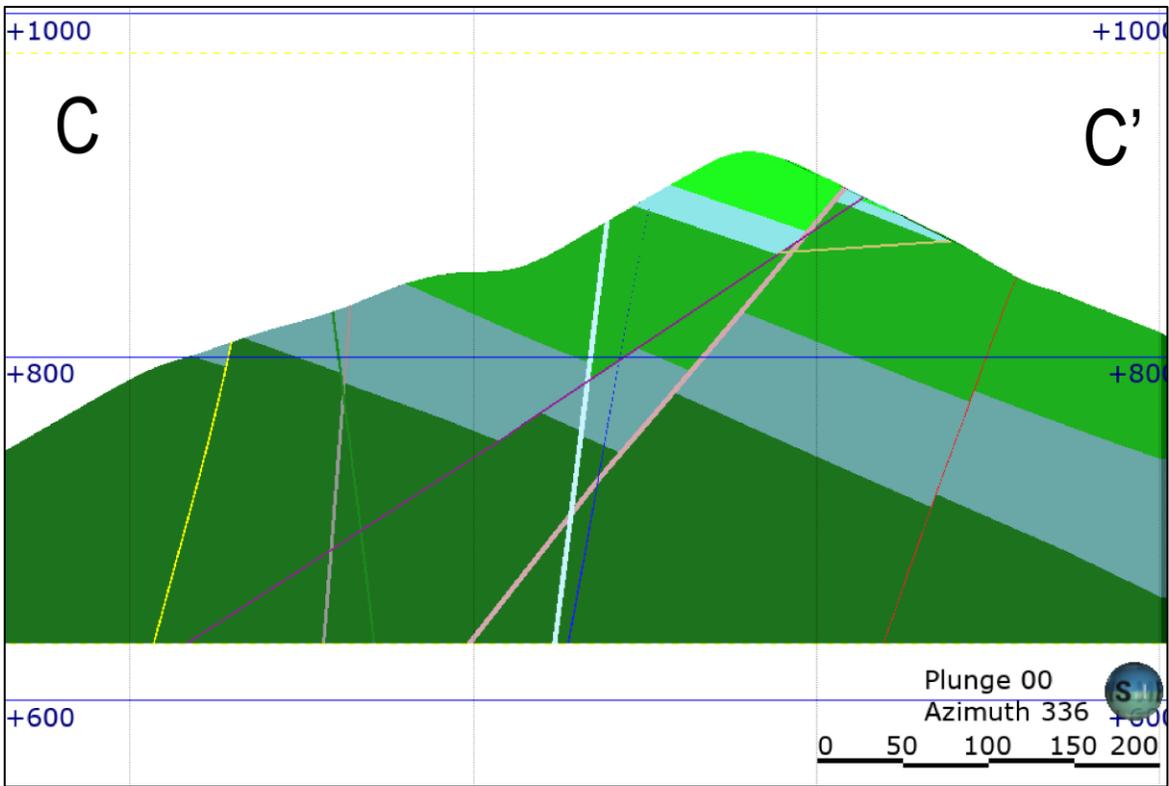
R06174	305707.3384	6402087.846	798	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	17-jun	2.03
R06172	305754.7198	6402195.131	700	Chip	Veta Lejana	Veta 709	17-jun	3.48
R06223	305707.9768	6402086.29	799	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	22-jun	4.73
R06233	305752.5272	6402196.901	701	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	25-jun	2
R06245	305709.0986	6402084.745	800	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	25-jun	2.2
R07054	305750.5915	6402200.968	702	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	05-jul	2.27
R07051	305687.7275	6402108.614	792	Marina	Chimenea 780 Oeste	Veta Margarita	05-jul	2.83
R07063	305749.9052	6402202.777	702	Marina	Frente Lejana	Manto/Veta 709	06-jul	0.97
R07061	305771.762	6402158.736	702	Marina	Ventana 1 Este Lejana	Veta 709	06-jul	4.5
R07062	305766.9359	6402174.217	701	Marina	Ventana 2 Este Lejana	Veta 709	06-jul	4.59
R07124	305814.0058	6402273.102	724.11	Canaleta	Frente 720 Este	Manto Veta Trato?	12-jul	2.06
R07121	305736.0541	6402038.734	737	Marina	Chimenea Margarita SE5	Manto/Veta Margarita	12-jul	3.01
R07122	305773.3499	6402159.775	704	Marina	Ventana 1 Este Lejana	Veta 709	12-jul	4.05
R07123	305768.0963	6402174.317	702	Marina	Ventana 2 Este Lejana	Veta 709	12-jul	4.12
R07151	305688.7026	6402111.23	795	Marina	Chimenea 2 780	Veta Margarita	15-jul	1.65
R07201	305808.0045	6402277.05	724.2	Marina	Frente 720 Este	Manto Veta Trato?	20-jul	4.02
R07212	305806.0425	6402278.023	724.25	Marina	Frente 720 Este	Manto Veta Trato?	21-jul	2.66
R07211	305689.402	6402112.135	796	Marina	Chimenea 2 780	Veta Margarita	21-jul	4.68
R07221	305684.8511	6402116.366	788	Marina	Frente 780	Veta Margarita	22-jul	0.69
R09072	305683.802	6402117.833	804	Marina	Chimenea NW 780	Veta Margarita	07-sept	2.32
R09132	305682.0663	6402119.611	807.25	Marina	Chimenea 780	Veta Margarita	13-sept	2.91
R09151	305797.8429	6402193.736	727.7	Marina	Ventana 4 - Nivel 720	Veta 709	15-sept	2.26
R09205	305796.4552	6402196.618	727.7	Marina	Ventana 4 - Nivel 720	Veta 709	20-sept	5.21
R10071	305680.5675	6402121.195	809.3	Marina	Chimenea 2 N780	Veta Margarita	07-oct	1.88
R121407	305721.91	6402106.732	783.9	Marina	Frente Este - Nivel 780	Veta Eurides	06-dic	1.33
R121408	305698.1358	6402103.891	800	Marina	Caserón Shrinkage - Nivel 780	Veta Margarita	11-dic	2.1
R12281	305723.6135	6402105.077	783.9	Marina	Frente Este - Nivel 780	Veta Eurides	28-dic	1.32
R06071	305737.8164	6402084.185	790	Marina	Levante Eurides - Nivel 780	Veta Eurides	06-jun	1.98
R06072	305872.057	6402136.894	709.5	Marina	Misterio Sur - Nivel 720	Veta Misterio	07-jun	1.38
R06133	305865.1779	6402166.422	710.32	Marina	Misterio Norte - Calle 3	Veta Misterio	13-jun	2.85
R06291	305791.2492	6402222.313	734	Marina	Frente Oeste - Nivel 720	Veta 709	21-jun	1.6
539902	305862.9695	6402181.697	711.58	Marina	Misterio Norte - Calle 3	Veta Misterio	04-jul	3.5
539901	305878.4388	6402124.131	708	Marina	Misterio Sur - Calle 3	Veta Misterio	04-jul	4

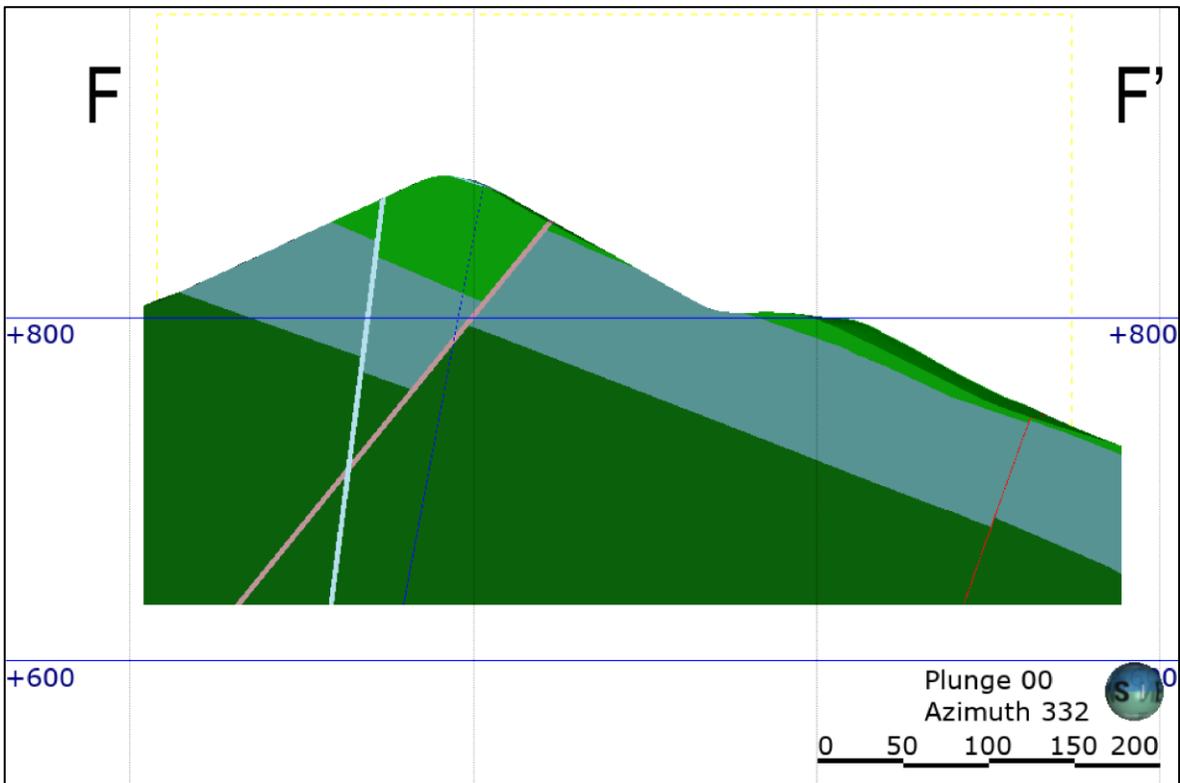
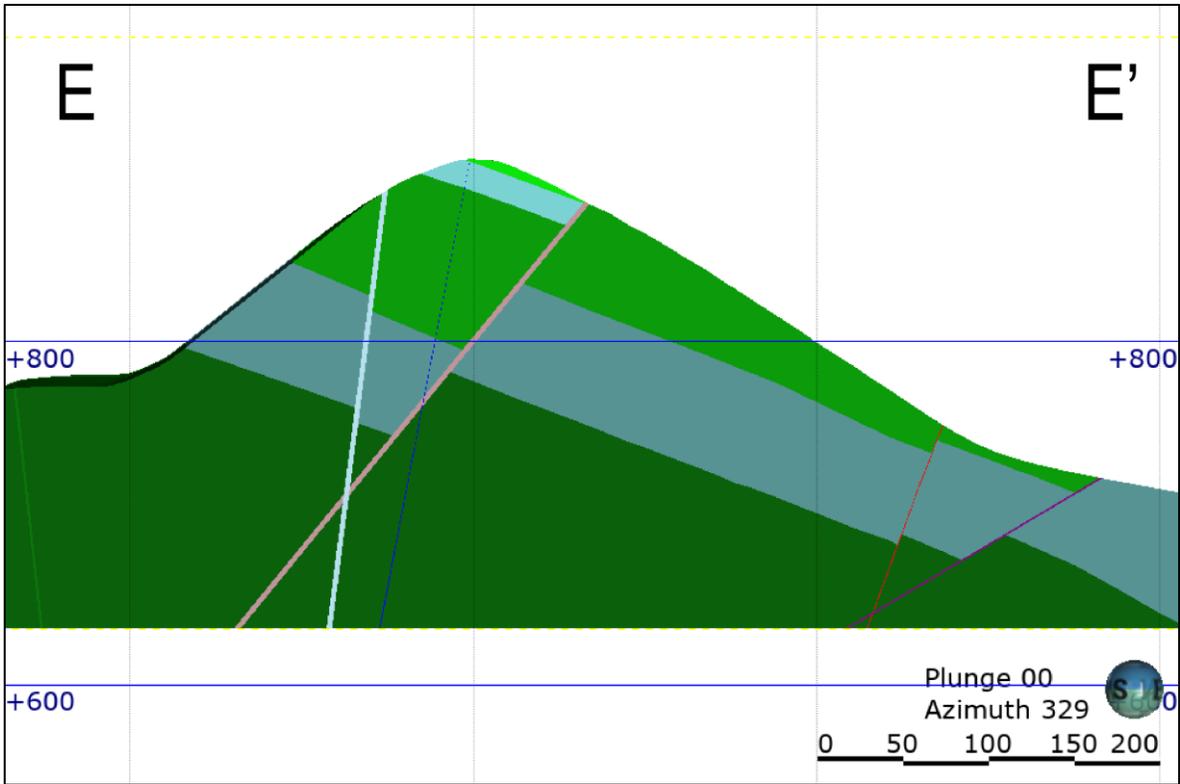
Código	R(Mes)(Día)(N° de muestra)
Marina	
Cancha	
Canaleta/Chipeo	
Barro	

Anexo D: Modelo Geológico en software Leapfrog Geo









Anexo E: Información de mapeo interior mina y superficial

