



UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
Facultad de Ciencias Químicas  
Departamento Ciencias de la Tierra



**Petrografía y Mineralogía de Mina el Olivo,  
Distrito Minero de Til-Til, Región  
Metropolitana: implicancias en su modelo  
genético.**



Memoria para optar al Título de Geólogo

**Gabriel Ignacio Arriagada Valdés**

**Profesor Patrocinante:** Dra. Fernanda Carolina Álvarez Amado  
**Profesional Guía:** Sr. Jercko Ignacio López Neira  
**Profesores Comisión:** Dr. Germán Enrique Velásquez Acosta  
Dra. María Verónica Pineda Mascayano

**Concepción, 2022**

# ÍNDICE

## PAGINA

<b>RESUMEN</b> .....	
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.1. Objetivo general</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. MÉTODO DE TRABAJO</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.1. Etapa de gabinete</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.2. Etapa de terreno</b> .....	<b>3</b>
<b>1.3.3. Etapa de gabinete II</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4. AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>3</b>
<b>2. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1. GENERALIDADES</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2. MARCO GEOTECTÓNICO</b> .....	<b>5</b>
<b>2.3. ROCAS ESTRATIFICADAS</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.1 Formación Lo Prado (Berriasiano-Hauteriviano) (Thomas, 1958)</b> .....	<b>7</b>
<b>2.3.2 Formación Veta Negra (Barremiano - Aptiano) (Thomas, 1958)</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.3 Formación Las Chilcas (Aptiano-Albiano) (Thomas, 1958)</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4. ROCAS INTRUSIVAS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4.1. Superunidad Illapel (Cretácico Inferior – Cretácico Superior) (Rivano y otros, 1985)</b> .....	<b>11</b>
<b>2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5. MARCO METALOGENÉTICO</b> .....	<b>13</b>
<b>3. MARCO GEOLÓGICO LOCAL</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1. LITOLOGÍAS Y ESTRUCTURAS</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2. YACIMIENTOS Y LABORES MINERAS LOCALES</b> .....	<b>14</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>16</b>
<b>4.1 DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE CU-(AG)</b> .....	<b>17</b>
<b>4.2 DEPÓSITOS IOCG</b> .....	<b>19</b>
<b>5. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>21</b>
<b>5.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO</b> .....	<b>21</b>
<b>6. RESULTADOS</b> .....	<b>22</b>

<b>6.1. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO</b> .....	22
<b>6.1.1 El Romero</b> .....	22
6.1.1.1 Nivel 1560.....	23
6.1.1.2 Nivel 1600.....	25
6.1.1.3 Nivel 1647.....	28
<b>6.1.2 Esmeralda</b> .....	29
6.1.1.1 Nivel 1610.....	30
6.1.1.2 Nivel 1633.....	33
<b>6.1.3 Camino a Esmeralda</b> .....	33
<b>6.1.4 El Llano</b> .....	37
<b>6.1.5 El Manzano</b> .....	39
<b>6.2. PETROGRAFÍA</b> .....	41
6.2.1 Mineralogía de alteración .....	46
6.2.2 Mineralogía de mena.....	50
<b>6.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL</b> .....	55
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	56
7.1. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN.....	56
7.2. CRONOLOGÍA DE EVENTOS DE MINERALIZACIÓN.....	56
7.3. MODELO CONCEPTUAL DE MINA EL OLIVO.....	58
7.4. COMPARACIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	62
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	68
<b>9. REFERENCIAS</b> .....	70
<b>10. ANEXOS</b> .....	75
10.1 FICHAS DE CORTES TRANSPARENTES PULIDOS .....	75
10.2 FICHAS DE MUESTRAS DE MANO .....	87
10.3 TABLA DE DATOS ESTRUCTURALES .....	94
10.4 MAPEOS DE NIVELES .....	95

# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAGINA
<b>Figura 1.1:</b> Mapa de ubicación y acceso a Mina El Olivo.....	2
<b>Figura 2.1:</b> Mapa geológico de las cercanías del área de estudio. Basado en los mapas de Rivano, 1996; Wall y otros, 1999 y Boyce, 2015. Datum: PSAD 56. ....	5
<b>Figura 2.2:</b> Contexto tectónico y relación con unidades estratigráficas entre el Triásico Superior y Cretácico Superior. Imagen tomada de Charrier y otros 2007. ....	7
<b>Figura 2.3:</b> Relación entre la distinta definiciones y nomenclaturas de la Formación Lo Prado. Imagen tomada de Rivano (1996).....	9
<b>Figura 4.1:</b> Distribución de los principales depósitos de la franja del Cretácico Inferior. El rectángulo rojo simboliza el área de estudio. Editado de Makshev y Zentilli (2002). ....	16
<b>Figura 4.2:</b> Zonación mineralógica vertical propuesto para los cuerpos mineralizados del depósito El Soldado. Imagen tomada de Boric y otros (2002). ....	18
<b>Figura 4.3:</b> Representación esquemática del origen de los IOCG: (A) Modelo magmático-hidrotermal (B) fluidos derivados de cuencas sedimentarias calentados por fuentes ígneas. A profundidad se muestra la relación que pueden tener con los depósitos del tipo IOA. Imagen tomada de Barra y otros (2017).....	20
<b>Figura 6.1:</b> Imagen satelital de mina El Olivo. Se muestran la distintas zona y labores principales donde se efectuaron los mapeos. ....	22
<b>Figura 6.2:</b> Imagen satelital del sector El Romero. Se muestran los distinto niveles y caserones explotados. ....	23
<b>Figura 6.3:</b> (A) Dique con fracturas rellenas de calcita, sílice y bornita. (B) Andesita porfídica con vetillas de calcopirita. (C) Dique hospedando vetillas de calcita y bornita con (D) cristales de bornita de gran tamaño. ....	24
<b>Figura 6.4:</b> Vetillas de epidota-hematita y calcita-bornita hospedadas en dique microdiorítico.....	25
<b>Figura 6.5:</b> Vetillas de calcita y especularita hospedadas en andesitas porfídicas. ....	26
<b>Figura 6.6:</b> (A) Zona de fracturas rellena con calcita y especularita. (B) Andesita porfídica amigdaloidal con vesículas rellenas de especularita, calcita y/o clorita. ....	26
<b>Figura 6.7:</b> (A) Contacto entre litologías. Las rocas porosas (amigdaloidales) hospedan preferentemente la mineralización mientras que las que no, son estériles. (B) Falla afectando andesitas porfídicas rellena con intercrecimientos de bornita y especularita. (C) Detalle de la falla con el intercrecimiento de bornita y calcosina. ....	27
<b>Figura 6.8:</b> Dique pórfido andesítico con mineralización de bornita y calcosina. En la zona de contacto con la roca de caja presenta cristalización de calcita. ....	28
<b>Figura 6.9:</b> Imagen satelital del sector Esmeralda. Se muestran los distintos niveles actualmente activos. ....	29
<b>Figura 6.10:</b> Muestra R-SUB-1 extraída de la chimenea tres norte. La textura original de la roca se encuentra completamente obliterada. (A) Vista frontal de la muestra R-SUB-1. (B) Vista posterior de la muestra R-SUB-1. ....	31
<b>Figura 6.11:</b> Vetillas de Cuarzo, Calcita y Calcopirita hospedadas en andesita porfídicas amigdaloidales. ....	32
<b>Figura 6.12:</b> (A) Vesículas rellenas de epidota de hábito radial. (B) Cavidades rellenas de cristales de cuarzo hospedadas en andesitas porfídicas amigdaloidales. (C) Dendritas de manganeso en paragénesis con oxidados de cobre, óxidos de hierro y arcillas. (D) Geoda con cristales de cuarzo bien formados y bordes de epidota. ....	35

<b>Figura 6.13:</b> (A) Dique microdiorítico emplazado en andesitas porfídicas amigdaloidales. (B) Contacto entre ambas litologías. En torno al dique se forma un halo de alteración que afecta a la roca de caja. ....	36
<b>Figura 6.14:</b> Zona de falla sector norte de El Llano. En color morado simboliza el plano de falla la cual tiene una cinemática normal-dextral. En la imagen inferior izquierda se observa los oxidados de cobre presentes en la zona de falla. ....	38
<b>Figura 6.15:</b> Zona de falla sector sureste de El Llano. El plano verde representa el plano de falla de orientación N50°E, mientras que las líneas moradas representan los planos de orientación N20°W.....	39
<b>Figura 6.16:</b> Imagen satelital del sector El Manzano. Se muestran los únicos dos niveles con los que cuenta actualmente esta zona. ....	40
<b>Figura 6.17:</b> Brecha polimíctica con clastos de andesita y toba, y masa fundamental cloritizada. ....	41
<b>Figura 6.18:</b> Mapa de ubicación de muestras. La tabla inferior izquierda muestra la correlación entre el código de muestra y la simbología del mapa. ....	43
<b>Figura 6.19:</b> Litologías Esmeralda y El Romero. (A) Muestra E-SUB-4. Cúmulos de epidota reemplazando a plagioclasas. (B) Muestra E-SUB-5. Clorita alterando máficos de la masa fundamental. (C) Muestra R-SUB-4. Calcita relleno vesículas. (D) Muestra R-SUB-6. Fenocristales de anfíbol y plagioclasa. Plg: plagioclasa. Chl: clorita. Cal: Calcita. Anf: anfíbol LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	44
<b>Figura 6.20:</b> Litologías El Manzano. (A) Muestra M-SUB-1. Clorita como relleno de vesículas, masa fundamental con abundante vidrio. (B) Muestra M-SUB-2. Calcita en vetillas, masa fundamental con abundante vidrio. Plg: plagioclasa. Chl: clorita. Vd: vidrio. Cal: calcita. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	45
<b>Figura 6.21:</b> Diques microdioríticos con ferromagnesianos alterados a clorita, y gran contenido de magnetita. En (D) se aprecia zonación en la magnetita. (A y B) Muestra R-SUB-5. (C y D) Muestra R-SUB-9. Chl: clorita. Mt: magnetita. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	45
<b>Figura 6.22:</b> Ocurrencias y texturas de clorita. (A) Muestra R-SUB-7. (B) Muestra M-SUB-2. Chl: clorita. Anf: anfíbol LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	47
<b>Figura 6.23:</b> Ocurrencias y texturas de epidota. (A) Muestra E-SUB-4. (B) Muestra E-SUB-3. Qz: cuarzo. Ep: epidota. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	48
<b>Figura 6.24:</b> Ocurrencias y texturas de calcita. (A) Muestra R-SUB-4. (B) Muestra R-SUB-7. (C y D) Muestra R-SUB-12. Cal: calcita. Qz: cuarzo. Ep: epidota. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	49
<b>Figura 6.25:</b> Ocurrencia y texturas de apatito y zeolitas. (A y B) Muestra M-SUB-2. (C) Muestra E-SUB-4. (D) Muestra R-SUB-3. Ap: apatito. Cal: calcita. Ep: epidota. Chl: clorita. Zeo: zeolita. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento. ....	50
<b>Figura 6.26:</b> Paragénesis de bornita y calcopirita en andesita porfídica. Muestra R-SUB-11. ....	51
<b>Figura 6.27:</b> Ocurrencia y texturas de los sulfuros de cobre. (A) Muestra M-SUB-1. Reemplazo de bordes de bornita por calcosina. (B) Muestra R-SUB-5. Inclusiones de calcosina en bornita. (C) Muestra R-SUB-3. Vetillas de bornita y calcosina. (D) Muestra R-SUB-7. Cúmulos de calcopirita. (E) Muestra E-SUB-3. Paragénesis de pirita y calcopirita. (F) Muestra R-SUB-4. Intercrecimiento de calcosina y bornita. Cal: calcita. Cc: calcosina. Bn: bornita. Mt: magnetita. Cp: calcopirita Py: pirita LR: luz reflejada. xN°: aumento. ....	52
<b>Figura 6.28:</b> Intercrecimiento de calcosina y bornita. (A) Muestra R-SUB-7. (B) Muestra R-SUB-9. ....	53

<b>Figura 6.29:</b> Paragénesis de cobre nativo y calcosina en andesíticas porfídicas. Muestra M-SUB-4. Zoom x10.53	
<b>Figura 6.30:</b> Oxidados de cobre en afloramiento de andesitas porfídicas amigdaloidales. Sector El Manzano. ...54	54
<b>Figura 6.31:</b> Diagrama de polo y de rosas. El diagrama de rosas agrupa datos de estructuras cada 10°. Las medidas utilizadas se incluyen en el Anexo. ....55	55
<b>Figura 7.1:</b> Cuadro paragenético de los eventos mineralizadores del yacimiento. La línea punteada indica concentración del mineral inferior al 5%.....58	58
<b>Figura 7.2:</b> Imagen satelital de mina El Olivo con ubicación del perfil A-A' y B-B'.....60	60
<b>Figura 7.3:</b> Perfil esquemático de cuerpos de mena presentes en Esmeralda.....60	60
<b>Figura 7.4:</b> Perfil esquemático de cuerpos de mena presentes en El Romero. ....61	61
<b>Figura 7.5:</b> Modelo conceptual para zona de El Manzano. Las zonas de gossan y lixiviación se encuentra erosionadas quedando solo los niveles inferiores del perfil de enriquecimiento. La existencia de la zona hipógena es incierta. ....62	62
<b>Figura 7.6:</b> Modelo de evolución paragenética de El Olivo. (A) En la etapa temprana precipitan sulfuros ricos en cobre como Bn y Cc. La fugacidad de oxígeno es baja lo que propicia la formación de magnetita. (B) El fluido mineralizador evoluciona hacia la periferia aumentando la actividad del azufre y precipitan sulfuros con menor concentración de cobre como calcopirita. (C) La fugacidad de oxígeno aumenta, precipita hematita, y la magnetita previamente formada se altera a este mineral. En el núcleo la alteración de la magnetita es pervasiva, mientras que en la periferia es moderada quedando relictos de esta. (D) El cambio en las condiciones provoca que la mineralogía hipógena se altere <i>in situ</i> a oxidados de cobre. Cc: calcosina. Bn: bornita. Mt: magnetita. Cpy: calcopirita. Py: pirita. Hm: hematita. Ox. Cu: oxidados de cobre. Escala referencial basada en el espesor estimado de los cuerpos.....64	64
<b>Figura 7.7:</b> Relación genética y espacial de entre los depositos IOCG, IOA y estratoligados. Imagen tomada de Vivallo y Henríquez (1997). ....66	66
<b>Figura 7.8:</b> Relación de genética entre los miembros pertenecientes al Clan IOCG Andino. Imagen tomada de Barra y otros (2017).....67	67

## RESUMEN

La franja del Cretácico Inferior se extiende a lo largo de la cordillera de la Costa entre los 22° y 34° de latitud sur y presenta un variado conjunto de depósitos metalíferos, entre ellos pórfidos cupríferos, depósitos de óxido de Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de óxido de Fe-apatito (IOA) y depósitos estratoligados de Cu.

Al oeste de la localidad del Til-Til, se ubica la mina El Olivo en propiedad de Minera San Pedro S.A. Este yacimiento corresponde a un depósito de cobre que se encuentra dentro de la franja metalogénica del Cretácico Inferior y está emplazada en rocas volcánicas de la Formación Veta Negra, específicamente en el Miembro Ocoa. La mineralogía de mena corresponde principalmente a calcosina, bornita y calcopirita.

Pese a que hay estudios previos de otros autores, estos se enfocan en general en la estimación de recursos del depósito lo que en la práctica conlleva a que, todavía no se tenga claro la génesis del yacimiento, los factores que controlan la mineralización, la temporalidad de los eventos mineralizadores y los tipos de ocurrencia de la mena.

Se llevó a cabo un estudio petrográfico mediante el mapeo de los distintos niveles de la mina y el análisis de secciones transparentes pulidas para recabar información acerca de los controles de mineralización, temporalidad de eventos hidrotermales, ocurrencia y texturas de la mineralogía asociada a los cuerpos de mena, todo esto con el fin de proponer un modelo genético conceptual que explicara la disposición de los cuerpos, y el cual posteriormente se comparó con otros modelos planteados en la literatura para determinar que tanto se ajusta a ellos.

Hay dos principales controles de mineralización en la mina El Olivo: un control litológico asociado a litologías porosas (rocas amigdaloidales) que funcionan como horizontes favorables para la mineralización; y un control estructural asociado a sistemas de fallas que propician el emplazamiento de intrusivos subvolcánicos responsables de la mineralización. Además, se observa una zonación mineralógica en los cuerpos de mena con núcleos de calcosina y bornita y zonas periféricas con calcopirita y pirita, lo cual estaría asociado a distintas etapas en el evento hidrotermal que originó el depósito.

La integración de la información obtenida indicaría que la mina El Olivo se ajustaría a los modelos propuestos para depósitos estratoligados de Cu(Ag) o *Chilean Manto Type*.

# 1. INTRODUCCIÓN

Minera San Pedro S.A. (MSP) es una empresa dedicada a la pequeña minería, actualmente es la propietaria y administradora de la mina El Olivo, la cual corresponde a un depósito de cobre conformado por pequeños cuerpos mineralizados emplazados en rocas andesíticas, y dispuestos sin un patrón claro.

La mina procesa alrededor de 7.000 toneladas mensuales de roca con leyes de Cu cercanas al 1%. El material es transportado hacia una planta de concentración por flotación, también de propiedad de MSP, ubicada en el sector El Sauce de la comuna de Til-Til. El producto final que se consigue es un concentrado de cobre con leyes sobre el 20% el cual es vendido a la Empresa Nacional de Minería (ENAMI).

El método de explotación utilizado corresponde a *sublevel stoping*, método el cual extrae el mineral a través de abanicos verticales, generando una excavación de dimensiones más grandes denominada caserón (Muruaga, 2016).

Las propiedades mineras asociadas a la mina El Olivo son: Trébol 1/20, Litre 1/10, Romero 1/20, Boldo 1/10, Peumo 1/54, aunque desde un punto de vista operacional, esta es dividida en 3 zonas denominadas El Romero, Esmeralda y El Manzano. Las dos primeras zonas se encuentran con labores activas de explotación, mientras que la última está bajo estudios de exploración para la determinación de su potencial económico.

Desde la perspectiva geológica, el yacimiento está ubicado dentro de la franja metalogénica del Cretácico Inferior y está emplazada en rocas volcánicas de la Formación Veta Negra, específicamente en el Miembro Ocoa. La mena principal corresponde a calcopirita, bornita y calcosina.

Pese a que existen trabajos previos en el área como el de Vizcachas Mining, 1991; Marambio, 1994 y Exploraberg, 2013, la mineralización asociada a la mina El Olivo es algo poco comprendido, esto se debe a que no se tiene claro que factores controlan la disposición y morfología de los cuerpos de mena por lo que tampoco es posible asociarlo a algún modelo planteado en la literatura. En diversas áreas dentro de la mina, se intercalan zonas de alta y baja ley sin un patrón de distribución claro, lo cual conlleva problemas tanto en operación como en la planificación de campañas de sondaje para la prospección de nuevos cuerpos mineralizados.

La presente memoria tiene como objetivo dilucidar los controles de mineralización y proponer un modelo conceptual que ayude al entendimiento del depósito y que sirva como herramienta predictiva al momento de explorar nuevos cuerpos.



## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo general

Proponer un modelo conceptual de mineralización para la mina El Olivo.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la geología, petrografía y mineralogía de la mina El Olivo.
- Determinar los estilos de mineralización del yacimiento de forma macroscópica y microscópica.
- Determinar los principales controles de mineralización que dan origen al yacimiento asociado a la mina El Olivo.
- Comparar el modelo conceptual propuesto con los modelos previos planteados por la literatura.

## 1.2. UBICACIÓN Y ACCESOS

La mina El Olivo se encuentra en la cordillera de la Costa de Chile central, y está localizada en la Región Metropolitana a aproximadamente a 14 kilómetros al SW de la localidad de Til-Til, y a 50 kilómetros al NW de Santiago, entre las coordenadas U.T.M 312.626-314.018 E y 6.333.170-6.334.345 S, y a alturas entre los 1.500 a 1.800 m s.n.m. aproximadamente.

Para llegar a la mina El Olivo desde Til-Til, se debe recorrer 2,8 km hacia el sur hasta llegar al sector El Sauce, frente a la fábrica de aceite de oliva, hay un camino de acceso con dirección oeste, por el cual se recorre aproximadamente 9 km hasta llegar al campamento base (Figura 1.1).

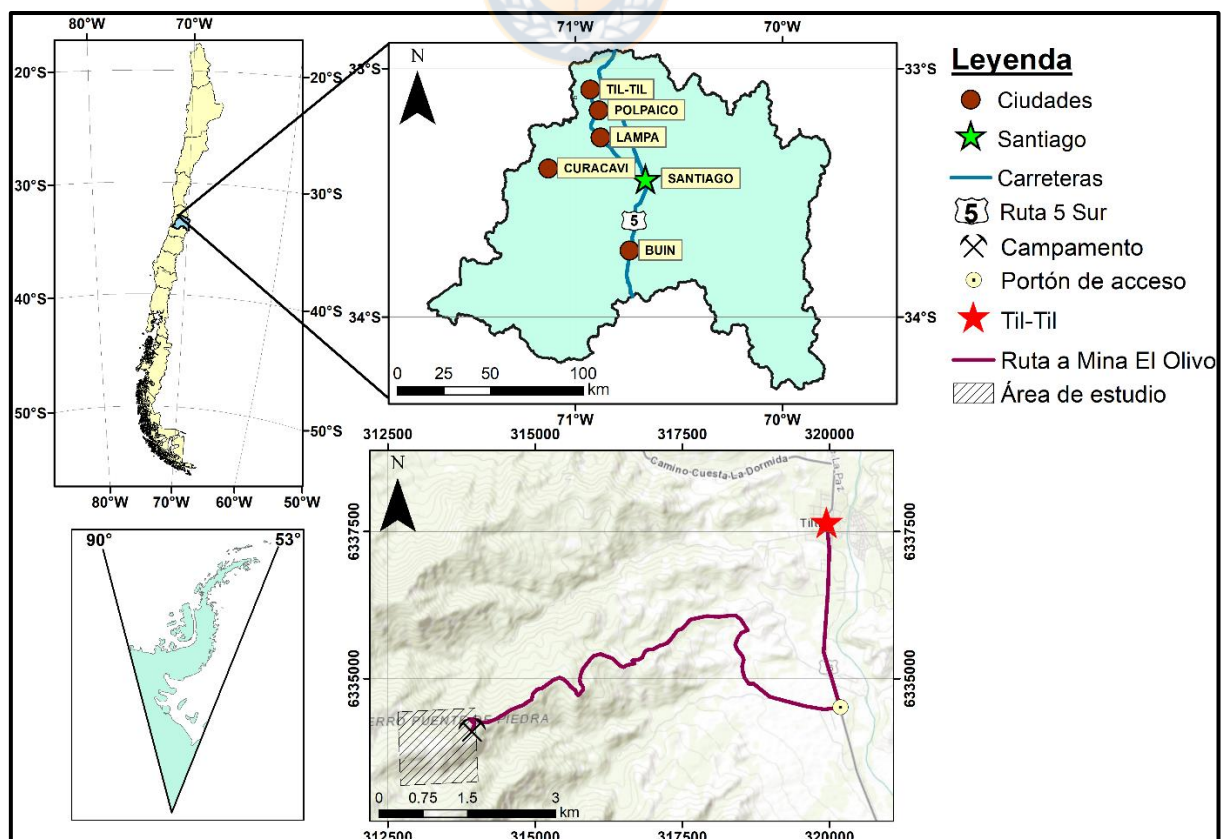


Figura 1.1: Mapa de ubicación y acceso a Mina El Olivo.

## **1.3. MÉTODO DE TRABAJO**

### **1.3.1. Etapa de gabinete**

Comprende la revisión bibliográfica de la geología y evolución tectónica del sector, disponible en publicaciones, memorias de título, mapas y cartas geológicas, además de la revisión de la información dispuesta por la empresa la que incluye informes de exploración, informes diarios de faena, información de sondajes de barro y un modelo 3D compatible con el software *Leapfrog*.

### **1.3.2. Etapa de terreno**

Consistió en trabajo de faena en turnos de 5x2 durante 6 meses en donde además de apoyar al geólogo de turno en las labores diarias como supervisión del frente, muestreos de colpa, revisión de sondajes de barro, confección de informes diarios, entre otros, se hizo uso del tiempo para la recopilación de datos geológicos de superficie, datos geológicos de la mina subterránea, recolección de muestras de mano para análisis y confección de cortes transparentes pulidos, todo esto con el fin de reunir información que pudiera ayudar a esclarecer los controles de mineralización del depósito.

### **1.3.3. Etapa de gabinete II**

Contempla la descripción y caracterización de las muestras macroscópicas y cortes transparentes pulidos confeccionados, y el procesamiento de los datos estructurales de terreno.

## **1.4. AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría en estas líneas dedicar un momento para agradecer a todas aquellas personas que de alguna manera contribuyeron en mi formación como profesional y también me forjaron como persona.

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a Don Fernando Silva y Don Andrés Guerrero por brindarme la oportunidad de realizar mi memoria en el área de la geología económica; a mi tutor Jercko López por ayudarme durante mi estancia en la mina; a José Miguel, Sebastián Plaza, Ignacio Vergara, José Bahamondes, Elías Moscoso, Don Pedro, y a todas las personas de Minera Rafaela y Minera San Pedro que conocí y de las cuales tuve la oportunidad de aprender.

Agradezco a todos los amigos y compañeros que tuve la oportunidad de conocer en la universidad con quienes viví buenos momentos, y que hicieron mi instancia por la carrera una experiencia única. Agradecer también a todos los profesores del Departamento de Ciencias de la Tierra quienes me formaron como profesional a lo largo de estos 6 años y en especial a la

profesora Fernanda Álvarez por aceptar ser mi profesora patrocinante y guiarme en la confección de este informe.

Por último, me gustaría agradecer a mi familia: a mis padres, Gino y Rosina, quienes desde pequeño me inculcaron la importancia del conocimiento, me brindaron las herramientas para afrontar mi vida universitaria, y que en ningún momento dudaron en darme su completo apoyo; a mis hermanos, Francisco y Pablo quienes me acompañaron durante este proceso, y que más de una vez me brindaron risas o me sacaron de aprietos; a mi tía Gabriela Valdés, a quien llevo siempre en mi memoria, quien fue como una madre para mí, y me ayudo a cultivar mi gusto por la ciencia, gracias por todo, ahora y siempre. Quiero agradecer también a una persona muy especial para mí: mi amiga, confidente y compañera de aventuras, gracias por todo Francisca. Como olvidar a Joselyn Fuentes quien incondicionalmente siempre me acogió en su hogar y me hizo sentir parte de él.



## 2.MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### 2.1. GENERALIDADES

En los sectores aledaños al área de estudio, afloran secuencias estratificadas del Cretácico Inferior correspondientes a las formaciones Lo Prado, Veta Negra y Las Chilcas, las cuales se disponen respectivamente de oeste a este, de más antigua a más reciente. Todas estas formaciones son intruidas por la Superunidad Illapel, específicamente por el Plutón Caleu de edades entre el Cretácico Inferior y el Cretácico Superior (Figura 2.1)

La mina el Olivo se ubica en la cordillera de la Costa sobre secuencias volcánicas correspondientes a la Formación Veta Negra, específicamente en el Miembro Ocoa, el cual se dispone como un monoclinal con manteo hacia el este, y con variaciones en su inclinación que dependen del sector.

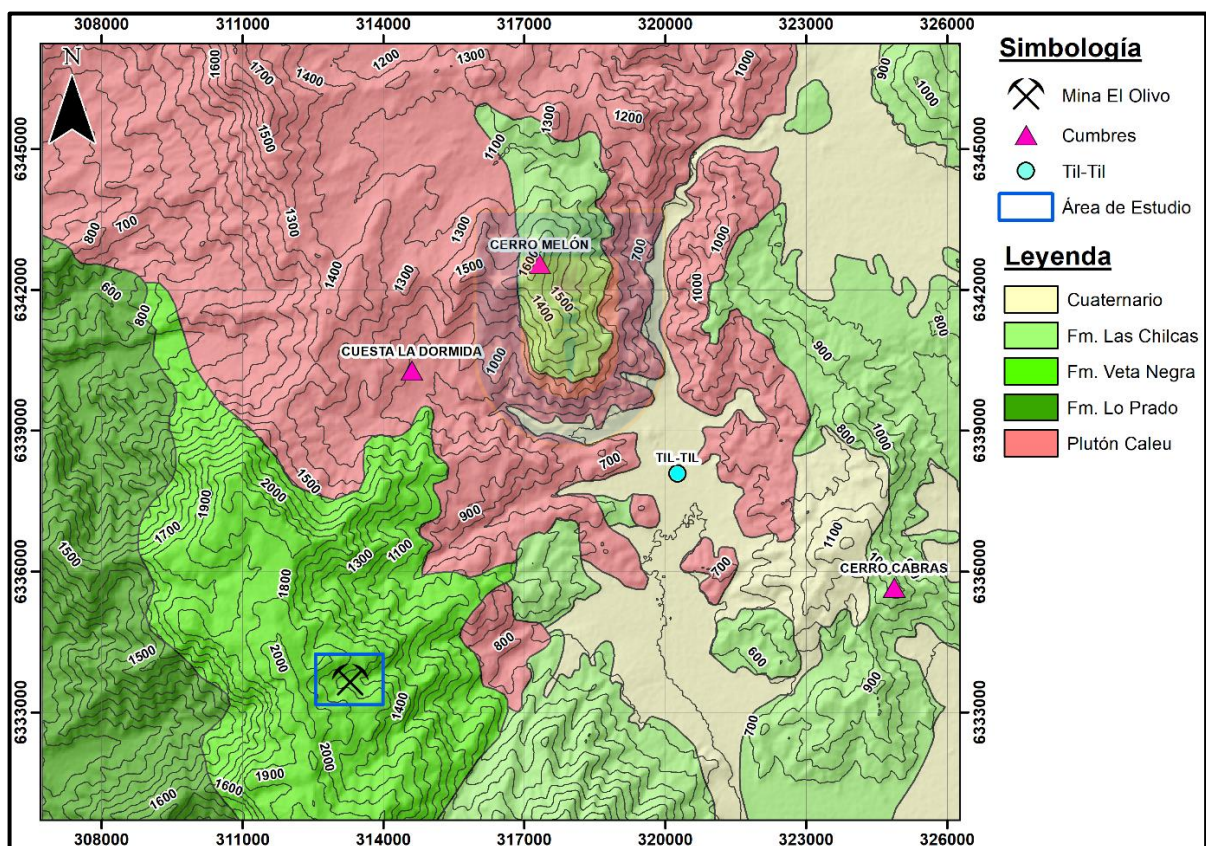


Figura 2.1: Mapa geológico de las cercanías del área de estudio. Basado en los mapas de Rivano, 1996; Wall y otros, 1999 y Boyce, 2015. Datum: PSAD 56.

### 2.2. MARCO GEOTECTÓNICO

Según Charrier y otros (2007) el ciclo tectónico Andino tuvo su inicio durante el Jurásico temprano con el reinicio de la subducción en el borde occidental de Gondwana, sin embargo, autores como Oliveros y otros (2020) postulan que la subducción nunca cesó, pero que si hubo cambios en la dinámica de esta.

El ciclo Andino es posible sintetizarlo en dos etapas, una inicial de carácter extensivo dado por una subducción del tipo Mariana, que se extiende hasta el Cretácico Inferior; y una etapa final de tipo compresivo que se extiende desde el Cretácico Superior al presente, asociada a una subducción del tipo Chilena (Charrier y otros, 2007).

La etapa extensiva se caracteriza por un bajo acople entre las placas oceánica y continental, y el desarrollo de un arco magmático, paralelo al margen occidental de Gondwana (Charrier y otros, 2007) con una clara señal mantélica (Oliveros y otros, 2020). En este periodo, el arco habría migrado hacia el este en dos subfases diferenciadas; la primera correspondiente al Jurásico temprano – Kimmeridgiano, caracterizada por una intensa actividad volcánica en el arco y el desarrollo de un ciclo de transgresión y regresión marina en la cuenca de trasarco; y la segunda comprendiendo el período entre el Kimmeridgiano y el Aptiano–Albiano, caracterizada por una menor actividad volcánica en algunas regiones y por un segundo ciclo de transgresión y regresión marina, y donde además se depositan las formaciones Lo Prado, Veta Negra y Las Chilcas (Figura 2.2) en un contexto de cuenca de antearco (Charrier y otros, 2007). Los arcos magmáticos se han situado en diferentes posiciones a lo largo del tiempo geológico, dando origen a franjas de yacimientos metálicos, cada una con su respectiva edad geológica, conocidas como Franjas Metalogénicas (COCHILCO, 2016) en este contexto, sobre estos arcos se desarrollarían las llamadas franjas metalogénicas del Jurásico y Cretácico Inferior. La actividad plutónica de este periodo está representada por la Superunidad Illapel (Charrier y otros, 2007).

La etapa compresiva del ciclo Andino está asociada a la fase tectónica Sub-hercínica o Peruana, la cual tuvo su inicio debido probablemente a una suma de condiciones, como la subducción bajo Sudamérica del rift que separaba las placas de Farallón y Aluk (Scheuber y otros, 1994), y las altas tasas de expansión de las dorsales oceánicas del Atlántico Sur y del Pacífico (Larson y Pitman, 1972). Lo anterior pudo haber provocado un aumento en la tasa de convergencia lo que provocaría una disminución en el ángulo de subducción provocando así una subducción del tipo Chilena presente hasta el día de hoy. El plegamiento de las unidades mesozoicas habría sido originado por la actividad tectónica del Cretácico Superior representada por la fase compresiva Peruana en el margen andino (Boyce, 2015 en Cerda, 2020). Esto es concordante a lo dicho por Wall y otros (1999) quienes señalan que el monoclinial de la cordillera de la Costa se formó a fines del Cretácico Inferior.

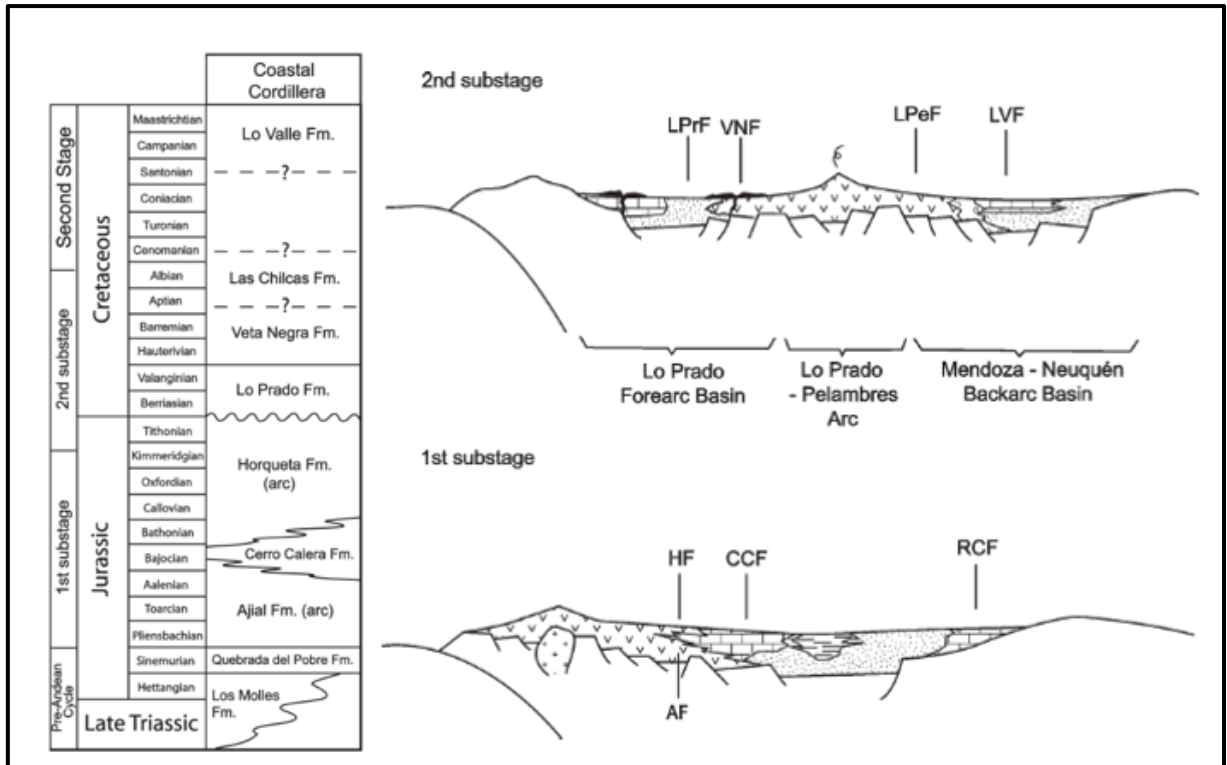


Figura 2.2: Contexto tectónico y relación con unidades estratigráficas entre el Triásico Superior y Cretácico Superior. Imagen tomada de Charrier y otros 2007.

## 2.3. ROCAS ESTRATIFICADAS

### 2.3.1 Formación Lo Prado (Berriasiano-Hauteriviano) (Thomas, 1958)

Thomas (1958) usó la denominación Formación Lo Prado por primera vez, para referirse a secuencias transgresivas del Neocomiano (Berriasiano-Barremiano) en el sector austral de la cuesta Lo Prado. Aliste y otros (1960) reconocen la presencia de rocas neocomianas en el Miembro Patagua de la Formación Melón, y las redefinen como formación. Piraces (1976) redefine la Formación Lo Prado incluyendo dentro de ella a las formaciones Patagua, Pachacama y Lo Prado, del Cretácico Inferior definidas anteriormente por Carter y Aliste (1962). Esta nueva formación, que comprendía inicialmente 2 miembros, es cambiada por Piraces y Makshev (1977) a 3 miembros (inferior, medio, superior) los que son equivalentes a las formaciones Patagua, Pachacama y Lo Prado (Figura 2.3) descritas por Carter y Aliste en 1962 (Rivano, 1996).

La litología de la Formación Lo Prado es muy variada, y consiste principalmente en rocas sedimentarias como calcilitas negras fértidas fosilíferas intercaladas con niveles masivos de calcarenitas grises, además aparecen niveles de brechas y/o conglomerados. Una litología especial son algunos niveles volcánicos que han sido descritos como traquitas en el sector de La Ligua y El Carretón (Rivano, 1996). Las características generales de los miembros de la Formación Lo Prado son:

**Miembro Inferior:** Este miembro es correlacionable con la Formación Patagua propuesta por Aliste y otros (1960) y se le estiman 1.200 m de espesor. Está constituida principalmente por areniscas y areniscas calcáreas finas, calizas y lutitas calcáreas; tiene intercalaciones de brechas y conglomerados con clastos de queratófiros en una matriz de arenisca volcánica. También se intercalan escasas rocas andesíticas y queratófíricas. Las rocas sedimentarias que lo forman tienen una laminación fina con colores predominantemente grises. Se especula que su edad es berriasiana a valanginiana superior, en base a la fauna de *Argentiniceras* sp., *Cuyaniceras* sp., *Olcostephanus* sp. y *Thumaniceras* sp., dada a conocer por Aliste y otros en 1960 (Piraces, 1977).

**Miembro Medio:** Este miembro se correlaciona con la Formación Pachacama descrita por Thomas (1958) y se le estiman 800 m de espesor. Se conforma por brechas, lavas y tobas de composición andesítica y queratófírica de color predominantemente gris verdoso. Corresponden a depósitos de rocas efusivas continentales con gran variación litológica lateral. Considerando su posición estratigráfica, se le asigna una edad valanginiana superior a hauteriviana inferior (Piraces, 1977).

**Miembro Superior:** Este miembro se correlaciona con la Formación Lo Prado descrita por Thomas (1958) y se le estiman 900 m de espesor. Se constituye principalmente por lentes de calizas, areniscas, andesitas, tobas, brechas y traquitas. Basándose en la presencia de *Holcoptychites neuquensis* Douvillé encontrados por Tavera (1952), se le asocia una edad hauteriviana a este Miembro (Piraces, 1977).

De acuerdo con lo expuesto por Piraces y Makshev (1977) la Formación Lo Prado se dispondría concordantemente sobre la Formación Horqueta, sin embargo, estos autores no niegan la existencia de una discordancia de erosión entre ambas unidades, aunque faltarían nuevos estudios que lo corroboren. Por otra parte, Rivano (1996) observó actitudes de capas al este del Cerro El Cobre, que sugieren una discordancia angular entre las formaciones Horqueta y Lo Prado, similar a lo planteado por Carter y Aliste (1962) quienes indican una relación de base discordante para la Formación Lo Prado. Con respecto a la Formación Veta Negra, esta se dispondría concordantemente sobre la Formación Lo Prado (Piraces y Makshev, 1977 en Rivano, 1996) donde la transición entre los queratófiros y tobas de la Formación Lo Prado, y las brechas, tobas, andesitas y areniscas del Miembro Purehue de la Formación Veta Negra sería gradual (Thomas, 1958).

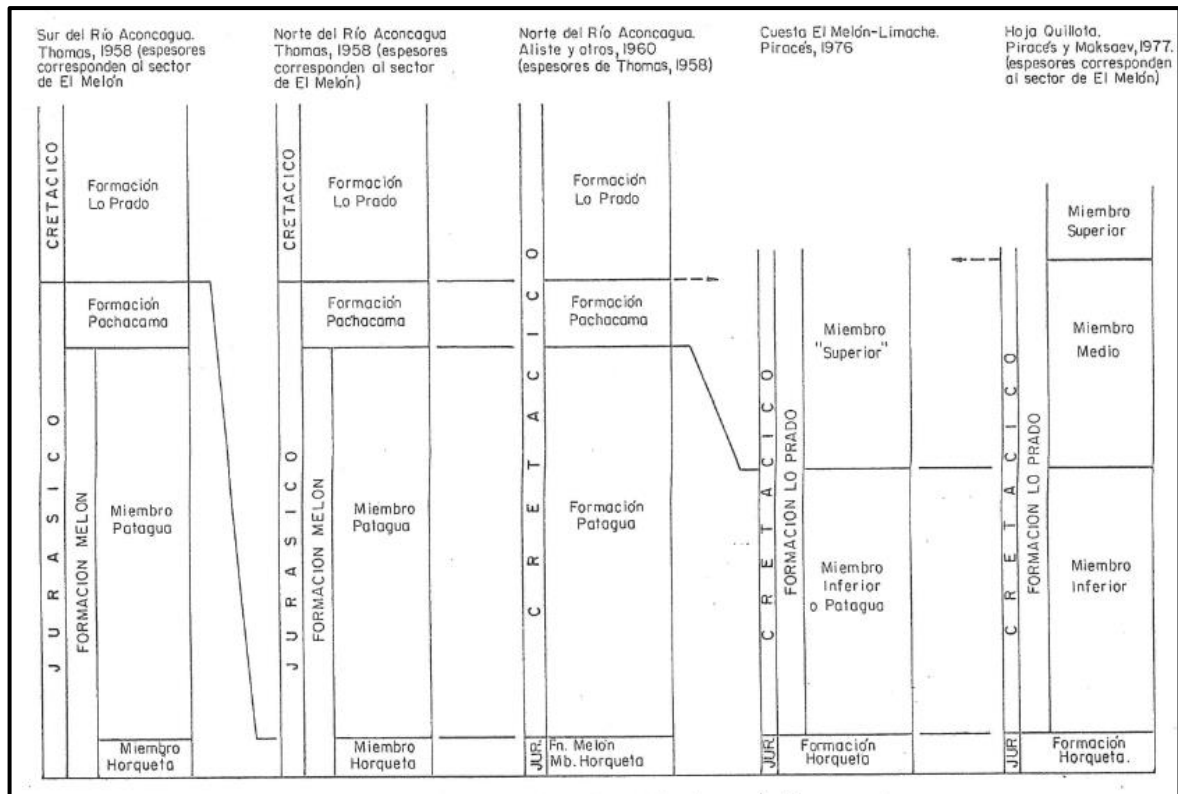


Figura 2.3: Relación entre la distinta definiciones y nomenclaturas de la Formación Lo Prado. Imagen tomada de Rivano (1996).

### 2.3.2 Formación Veta Negra (Barremiano - Aptiano) (Thomas, 1958)

La Formación Veta Negra fue definida por Thomas (1958) para referirse a una sucesión de estratos continentales que tienen su mejor expresión en la mina homónima. En términos generales, la formación Veta Negra es una unidad volcánica que consiste en una gruesa pila de flujos básicos a intermedios, tipo ocoítas, con intercalaciones sedimentarias subordinadas, emplazados en un ambiente continental. La morfología de estos flujos ocoíticos fue descrita por Åberg y otros (1984) como *flood basalts* (Hasler, 2007).

Thomas (1958) distinguió dos miembros: el Miembro Purehue o inferior compuesto por rocas volcánicas y sedimentarias, y el Miembro Ocoa o superior compuesto casi en su totalidad por andesitas de textura muy característica denominadas ocoítas.

**Miembro Purehue:** corresponde a una secuencia volcánica andesítica con intercalaciones de tobas y andesitas ocoíticas, fangolitas, areniscas y conglomerados volcanoclásticos rojos de ambiente aluvial. Presenta una potencia máxima de 900 m (Gana y otros, 1996). En esta unidad, las lavas están muy alteradas y son frecuentes los cambios laterales que incluyen cambios de color y texturales en las lavas, así como cambios de facies volcánicas a sedimentarias (Rivano, 1996). El carácter continental de estos estratos está indicado, tanto por la presencia de sedimentos rojos, como por el hallazgo de restos vegetales, vertebrados y



ostrácodos, en areniscas y lutitas de la región de Veta Negra (Muñoz Cristi, 1943 en Thomas, 1958).

**Miembro Ocoa:** corresponde a una secuencia constituida casi exclusivamente por rocas andesíticas que se caracterizan por presentar una textura porfídica gruesa definida por fenocristales de plagioclasa que alcanzan en ocasiones hasta 2 cm de largo y una masa fundamental microcristalina muy fina. Este tipo de andesita por su textura característica recibe el nombre de “ocoíta” (Rivano, 1996). Además, hay intercalaciones de lavas andesíticas porfídicas y afáníticas y secuencias de areniscas y conglomerados volcanoclásticos de ambiente aluvial. (Gana y otros, 1996). El espesor estimado para el Miembro Ocoa es de 2.100 m (Gana y otros, 1996) hasta 5000 m al norte del valle del Aconcagua (Thomas, 1958).

La Formación Veta Negra se dispone concordantemente sobre la Formación Lo Prado (Thomas, 1958) y su contacto superior con la Formación Las Chilcas ha sido descrito como discordante (Levi, 1968) y concordante (Thomas, 1958).

Dataciones de Ar-Ar realizadas en plagioclasas frescas de lavas del miembro Ocoa por Aguirre y otros (1999) y Fuentes y otros (2005) entregaron edades de  $119 \pm 1,2$  Ma y  $118,7 \pm 0,6$  Ma respectivamente (Muñoz, 2017).

### **2.3.3 Formación Las Chilcas (Aptiano-Albiano) (Thomas, 1958)**

Thomas (1958) propuso definir a la Formación Las Chilcas a una secuencia volcanoclástica con marcada variación lateral de facies y sin una exposición típica en terreno, sin embargo, la región de Las Chilcas presenta todas las variedades litológicas que caracterizan a esta Formación, razón por la cual se le da este nombre. Está constituida por lavas basálticas y andesíticas, brechas volcánicas, tobas rojas, areniscas y conglomerados con intercalaciones lenticulares carbonatadas marinas (Hasler, 2007). Los niveles basales de la Formación están compuestos por lavas andesíticas a dacíticas y, en menor medida, por rocas piro y epiclásticas de similar composición. Las andesitas son de composición alcalina a shoshonítica. La parte media de la Formación se caracteriza por un predominio de productos volcánicos ácidos, tanto domos como tobas riolíticas y sus equivalentes epiclásticos. Intercalados en los niveles bajos a medios de la Formación se encuentran estratos calcáreos fosilíferos que contienen restos de ostrácodos pertenecientes a los géneros *Argilloecia* y *Krithe*, y posiblemente representantes de la familia *Cytherellidae* sp., además de estromatolitos y foraminíferos de las familias *Globigerinidae* sp., *Miliolidae* sp. y *Rotalidae* sp. (Sellés y Gana, 2001).

En su localidad tipo, alcanza un espesor máximo de 7.000 m (Thomas, 1958) mientras que en el área estudiada por Sellés y Gana (2001) alcanza un espesor máximo de 1.800 m.

Sobreyace a la Formación Veta Negra en aparente concordancia (Thomas, 1958; Wall y otros, 1999) y en cuanto a su contacto superior con la Formación Lo Valle, este ha sido descrito como discordante (Thomas, 1958; Wall y otros, 1999) y como concordante (Godoy, 1981; Padilla, 1981; Moscoso y otros, 1982).

Sellés y Gana (2001) corroboran el intervalo Aptiano-Albiano asignado a la Formación Las Chilcas por Wall y otros (1999) en base a dos dataciones de U-Pb en circones de riolitas ubicadas al oeste del cerro Challay cuyas edades radiométricas arrojaron  $116,1 \pm 0,3$  Ma y  $110,0 \pm 0,5$  Ma.

## 2.4. ROCAS INTRUSIVAS

### 2.4.1. Superunidad Illapel (Cretácico Inferior – Cretácico Superior) (Rivano y otros, 1985)

El plutonismo fue casi nulo durante gran parte del Cretácico Inferior, reactivándose en el Aptiano (Corvalán y Munizaga, 1972). Estos plutones conforman la franja oriental del Batolito Costero que aflora en el flanco este de la cordillera de la Costa entre los  $18^{\circ}30' - 35^{\circ}S$  (Parada, 1990). Hacia el sur, afloran de manera discontinua en la cordillera Principal (Hervé y otros, 1988). Al norte del río Aconcagua, entre los  $30^{\circ}30' - 32^{\circ}30'S$ , constituyen la Superunidad Illapel (Rivano y otros, 1985).

Rivano y otros (1985) definen a la Superunidad Illapel como una franja ancha de rocas plutónicas ubicadas al oriente de la Superunidad Mincha, de superficie mayor a  $1.800 \text{ km}^2$ , y cuyos intrusivos asociados se agrupan en un conjunto de cuerpos de dimensiones desde batolitos a stocks distribuidos en una franja irregular de unos 20 a 25 km (Rivano, 1996). Las unidades reconocidas dentro de la Superunidad Illapel son: la Unidad La Campana, Unidad Chalinga, Unidad Quebrada Herrera y Unidad Chagres (Rivano, 1996).

**Unidad La Campana:** fue definida por Tidy (1971) cercano al cerro la Campana (Rivano, 1996). Se trata de un cuerpo de gabros y dioritas subordinadas de colores gris oscuro a negro con índice de color  $> 65$ , de grano medio a grueso (1 a 4 mm) y textura hipidiomorfa granular ofítica a subofítica (Rivano, 1996). Las edades conocidas para esta unidad corresponden a una antigua edad K-Ar en plagioclasa (Tidy, 1970) de  $66 \pm 8$  Ma, interpretada como una edad mínima debido al sistema isotópico usado.

**Unidad Chalinga:** Constituye aproximadamente el 95% del total de la Superunidad Illapel con un amplio espectro petrográfico desde dioritas a sienogranitos. Predominan las facies granodioríticas a tonalíticas y en menor proporción las facies de monzonitas y monzodioritas cuarcíferas; las facies monzograníticas y tonalíticas son subordinadas (Rivano, 1996). En base a edades de K-Ar estudiadas principalmente en micas, la edad de esta unidad

está delimitada entre los 134 y 85 Ma, esto es, Cretácico Inferior medio a Cretácico Superior (Rivano y otros, 1985).

**Unidad Quebrada Herrera:** corresponde a un cuerpo menor cuyos afloramientos forman una franja de unos 3 km de largo en dirección norte sur por un ancho de unos 0,7 a 1,5 km en el cordón del cerro Los Marines. Petrográficamente corresponde a monzonitas con cristales de plagioclasa subhedral y ortoclasa argilizados pervasivamente, y que en cuyos bordes de contacto se produce intercrecimiento mineral con textura gráfica (Rivano, 1996).

**Unidad Chagres:** corresponde a sienogranitos hololeucocráticos de grano fino a medio que hacia el contacto con la Unidad Chalinga se decolora adoptando un tono gris claro. Aflora por el sur de la ruta 60 de San Felipe a Llay-Llay (Rivano, 1996).

## 2.4. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

En el área Til-Til/Santiago se distinguen tres dominios morfoestructurales, correspondientes a la cordillera de la Costa, depresión intermedia y borde occidental de la cordillera de los Andes (Wall y otros, 1999).

Entre los 33°-34°S, las secuencias estratificadas que forman parte de la cordillera de la Costa se disponen con un rumbo general NS-NE y manteo variable hacia el este (Nasi, 1981 en Hasler, 2007). Boyce (2015) afirma que estas secuencias conforman como rasgo estructural principal, un monótono homoclinal de hasta 80 km con manteo hacia el este que afecta a todas las rocas mesozoicas, y que presenta manteos de entre 40° y 70° en el sector más occidental, lo cual corresponde a los zonas sin metamorfismo de las formaciones Quebrada del Pobre y Ajial, luego se mantiene con un manteo similar hasta la Formación Lo Prado, disminuye a 20° en la Formación Veta Negra, y finalmente se hace horizontal en la Formación Las Chilcas.

Wall y otros (1999) menciona que en el área de Til-Til/Santiago, específicamente en la cordillera de la Costa, las secuencias volcano-sedimentarias del Cretácico Inferior (formaciones Lo Prado, Veta Negra y base de Las Chilcas) constituyen a gran escala un monoclinial de rumbo NE-NNW con inclinación variable entre 10° a 50° hacia el este que disminuyen paulatinamente hacia el oriente, deformado suavemente por pliegues amplios de eje norte-sur, pese a esto, en algunos sectores de la cordillera de la Costa, las formaciones Lo Prado y Veta Negra poseen manteos de 60°-75°E, cerca del contacto con intrusivos cretácicos o en la proximidad de fallas menores, en parte asociadas a vetas mineralizadas y zonas de alteración hidrotermal.

Cerda (2020) señala que las unidades volcano-sedimentarias del Jurásico al Cretácico Inferior (formaciones Ajial, Cerro Calera, Horqueta, Lo Prado y Veta Negra) constituyen un bloque monoclinial de rumbo NNE a NNW, con un manteo promedio de 40° hacia el E, y que

localmente alcanzan un manteo de 70° hacia el E en las formaciones Lo Prado y Veta Negra, esto debido a flexuras y pliegues asociados a fallas o bordes de cuerpos intrusivos.

Basándose en lo descrito por los autores, se puede considerar que las secuencias mesozoicas mantean hacia el este, pero con valores de inclinación variable, lo cual dependería de las estructuras presentes y localidad en las que se estén estudiando.

## **2.5. MARCO METALOGÉNICO**

El distrito minero de Til-Til está ubicado en la franja metalogénica del Cretácico Inferior. Esta franja metalogénica se extiende a lo largo de la cordillera de la Costa entre los 22° y 34° de latitud sur y presenta un variado conjunto de depósitos metalíferos, entre ellos pórfidos cupríferos, depósitos de óxido de Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de óxido de Fe-apatito (IOA) y depósitos estratoligados (Maksaev y otros, 2007).

A partir de los 32°S, esta franja se presenta a lo largo del contacto entre las formaciones Lo Prado y Veta Negra. Si bien la franja contiene yacimientos reconocidos hasta el paralelo 34°S, no se descarta que esta pueda proyectarse hasta más allá del paralelo 35°S debido a las condiciones geológicas similares que se pueden identificar en dicha zona (Gröpper, 2011).

Los yacimientos de mayor importancia económica asociados a este cinturón metalogénico son: Andacollo, el más importante económicamente de esta franja, de tipo “híbrido” con características de pórfido cuprífero con transición a epitermal, Candelaria y Mantoverde de tipo IOCG y El Soldado, del grupo de los estratoligados (COCHILCO, 2016).

### **3.MARCO GEOLÓGICO LOCAL**

#### **3.1. LITOLOGÍAS Y ESTRUCTURAS**

La geología del distrito minero de Til-Til se caracteriza por ser muy homogénea en su estratigrafía, con solo dos unidades estratigráficas de gran potencia, correspondientes al Miembro Ocoa de la Formación Veta Negra y la Formación las Chilcas, ambas intruidas por el Batolito Caleu, compuesto por dioritas y granodioritas (Zeballos, 2007) y perteneciente a la Superunidad Illapel (Rivano, 1996). Las rocas más antiguas del área se ubican en el sector occidental del distrito y parte alta de los cerros del distrito, como el cerro Puerta de Piedra y parte superior de la Cuesta La Dormida, y están representadas por el Miembro Ocoa compuestas casi en su totalidad por andesitas de grandes fenocristales (ocoítas) en contacto con el Intrusivo Caleu (Zeballos, 2007).

Estructuralmente, hay numerosas fallas de rumbo generalizado NS a N20°E desde el borde de la mina Romero a la parte alta de la Cuesta la Dormida y fallas tensionales de rumbo N45° a 50°E en el cauce de la Quebrada El Atajo, del Calabozo y en Cerro Caracoles donde se ponen en contacto rocas del Miembro Ocoa con el intrusivo (Zeballos, 2007).

El rumbo general de las rocas superficiales es NS con manteos de entre 50 a 60° hacia el este (Vizcachas Mining, 1991) sin embargo, en la presente memoria se han tomado medidas que incluso llegan a valores de 80° de inclinación hacia el este.

En el área de estudio, ubicada en el sector de la mina el Olivo y asociada al Miembro Ocoa, se han identificado principalmente secuencias volcánicas compuestas por andesitas afaníticas, andesitas porfídicas, andesitas porfídicas vesiculares, ocoítas, ocoítas vesiculares, brechas volcánicas y en menor medida niveles sedimentarios compuesto por areniscas, estas litologías están intruidas por diques que en algunos casos presentan mineralización de cobre.

#### **3.2. YACIMIENTOS Y LABORES MINERAS LOCALES**

La actividad minera en el distrito minero de Til-Til se encuentra representada por las siguientes labores: mina Mogote, mina Clarita y mina El Olivo.

La mina Mogote se encuentra ubicada al costado norte de la Quebrada de la Mostaza, presenta como laboreos principales un socavón donde se ha explotado solo cobre soluble desde cuatro estructuras vetiformes, dejando en los pisos importantes recursos de sulfuros de cobre con plata como subproducto.

La mina Clarita tiene un socavón de 700 a 800 metros, ubicado al norte del sector Los Placeres. Esta mina explotó una veta aurífera de buena ley en antiguos laboreos de corto desarrollo (Zeballos, 2007).

La mina El Olivo, antiguamente llamada mina El Romero, es la principal mina en actividad del sector. Presenta mineralización tanto de sulfuros como oxidados de cobre.

En el sector también se encuentra las minas San Matilde, La Poza y San Aurelio, aunque solo labores menores.



## 4. MARCO TEÓRICO

Debido a que los yacimientos cercanos al área de estudio y pertenecientes a la franja del Cretácico Inferior corresponden a depósitos del tipo estratoligados (Figura 4.1), además de que en el último tiempo autores como Barra y otros (2017) y Del Real y otros (2018) han señalado una relación genética entre estratoligados e IOCG, es que se hace necesario comprender las principales características y estilos de mineralización propuestos para ambos tipos de depósito.

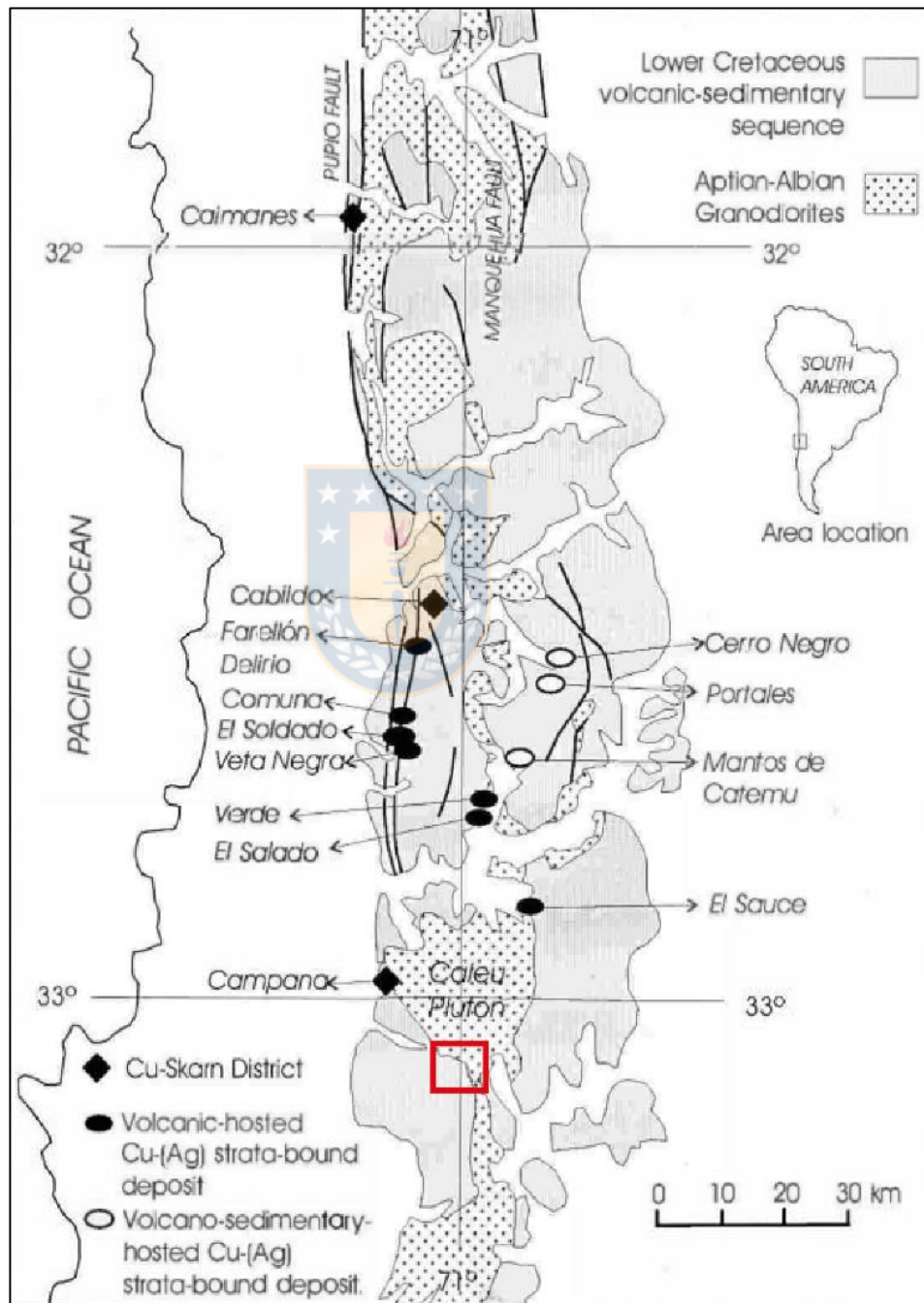


Figura 4.1: Distribución de los principales depósitos de la franja del Cretácico Inferior. El rectángulo rojo simboliza el área de estudio. Editado de Maksae y Zentilli (2002).

#### 4.1 DEPÓSITOS ESTRATOLIGADOS DE CU-(AG)

Los depósitos estratoligados de Cu-(Ag) se presentan a lo largo de la cordillera de la Costa en el norte de Chile, y están hospedados en rocas volcánicas y volcano-sedimentarias de Jurásico y Cretácico Inferior. Estos depósitos son típicos de la primera etapa de la evolución Andina la cual está representada por condiciones extensionales del arco magmático en el margen activo Sudamericano. Los estratoligados de Cu- (Ag) se formaron durante dos épocas metalogénicas: Jurásico Superior y el Cretácico Inferior (Maksaev y Zentilli, 2002).

Se usa el concepto de “estratoligado” aludiendo al origen epigenético del depósito, y porque la mena está restringida solo a ciertas unidades estratigráficas. Los cuerpos mineralizados están controlados por estructuras, y condicionados por los estratos más permeables (Boric, 2002).

Este tipo de depósitos han sido conocidos como “Tipo manto chileno” debido a que inicialmente se explotaban secciones estratiformes conocidos por los mineros como “mantos”, sin embargo, los cuerpos mineralizados en su totalidad no solo incluyen a geometrías estratiformes sino también cuerpos lenticulares, chimeneas, y cuerpos irregulares que pueden ser concordantes o discordantes con el buzamiento de las capas (Maksaev y Zentilli, 2002).

Los sulfuros hipógenos corresponden mayoritariamente a bornita y calcosina, menor calcopirita, y algunas veces covelina y digenita. La mineralogía de ganga hipógena consiste en cuarzo, hematita, pirita, clorita, albita y calcita. Menores cantidades de magnetita ocurren de forma diseminada dentro las rocas mineralizadas, pero la mayoría de las veces es reemplazada por hematita (Maksaev y Zentilli, 2002).

La mena sulfurada sigue una zonación formada por un núcleo de calcosina, covelina, hematita o calcosina, covelina, bornita y hematita que hacia la periferia forma zonas aproximadamente concéntricas de bornita-calcopirita, calcopirita, calcopirita-pirita y pirita en la zona más periférica (Figura 4.2). Además, las zonas profundas del cuerpo mineralizado contienen más pirita que las zonas superiores, las cuales son más ricas en bornita (Boric, 2002).

La alteración hidrotermal en este tipo de depósitos es incipiente, por lo que la textura original de la roca se preserva, espacialmente está relacionada a cuerpos gabroicos y dióriticos (Sillitoe, 2003) donde la mineralogía consiste en albita, clorita, hematita, cuarzo, epidota, esfeno, escapolita, anatasa y cantidades menores de sericita, asociadas a los minerales de mena (Losert, 1973, Chavez, 1984, 1985, Palacios, 1986, 1990 en Maksaev y Zentilli, 2002). La alteración hidrotermal se sobrepone sobre la mineralización asociada a metamorfismo regional de bajo grado, la cual se compone por clorita, calcita, epidota, pumpellita, prehnita y zeolitas (Maksaev y Zentilli, 2002). Los efectos de alteración hidrotermal son difíciles de distinguir del



metamorfismo de bajo grado donde se tiende a confundir la alteración propilítica con facies metamórficas de esquistos verdes (Sato, 1984).

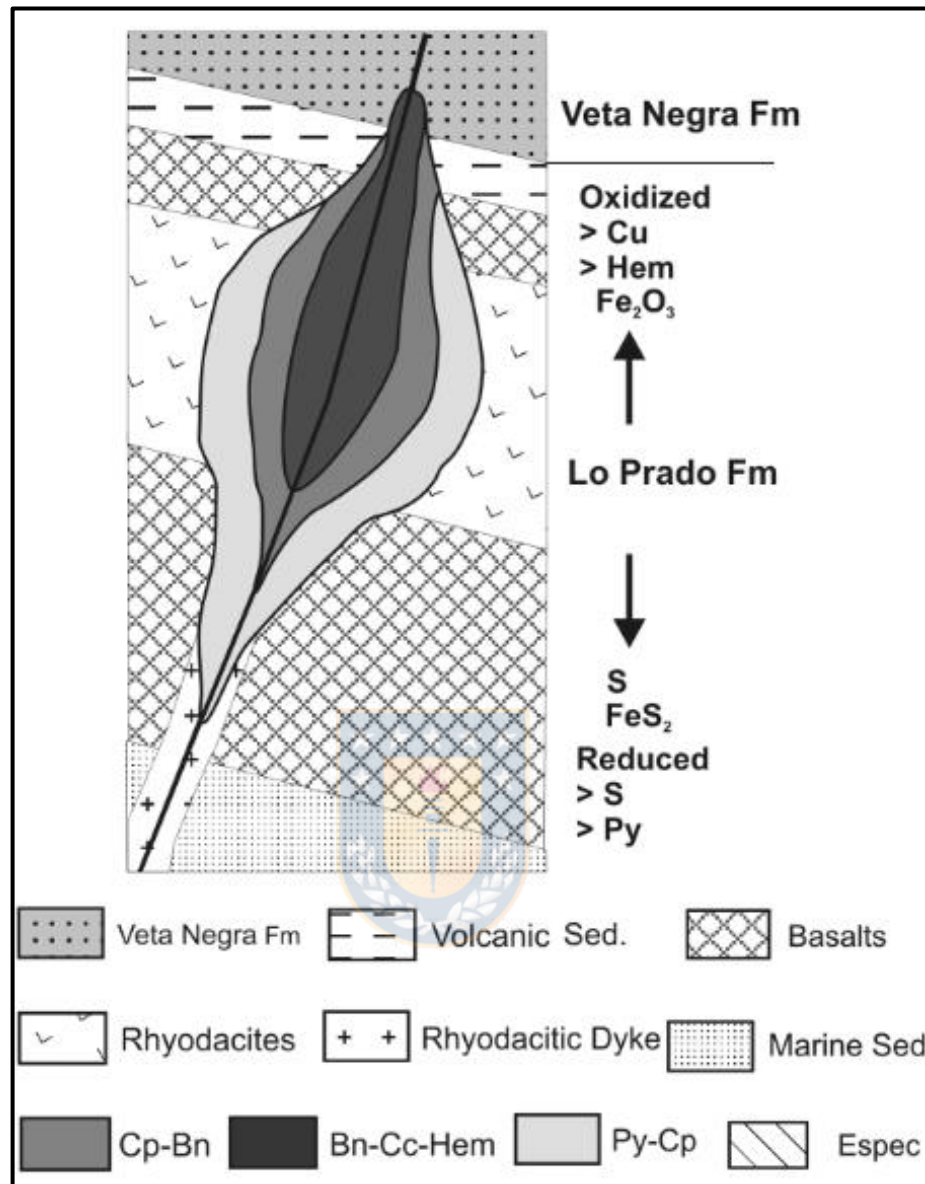


Figura 4.2: Zonación mineralógica vertical propuesto para los cuerpos mineralizados del depósito El Soldado. Imagen tomada de Boric y otros (2002).

Se han propuesto diversos orígenes para este tipo de depósitos como es por ejemplo un origen metamórfico hidrotermal (Sato, 1984; Sillitoe, 1990) donde el cobre provendría de las rocas volcánicas lixiviadas por fluidos metamórficos, concentrándose posteriormente en zonas favorables; o un origen singenético (Ruiz y otros 1965) asociado a contenidos anómalos de cobre en las lavas hospedantes. Sin embargo, la hipótesis más aceptada es un origen hidrotermal (Espinoza, 1981, 1982, Chavez, 1985, Palacios, 1990, Espinoza y otros, 1996) donde los fluidos provienen de cuerpos intrusivos subvolcánicos que se alojan en los niveles favorables de las rocas volcánicas (Maksaev y Zentilli, 2002).

## 4.2 DEPÓSITOS IOCG

Los depósitos del tipo *iron oxide copper gold* (IOCG) son fuentes importantes de Cu, Au, y que pueden contener además cantidades significantes de U, tierras raras y otros elementos como Mo, Ni, Co, Zn, F, Ba (Del Real y otros, 2018). Este tipo de depósitos se ha convertido en la segunda fuente de Cu más importante en Chile siendo precedido solo por los pórfidos cupríferos (Maksaev y Zentilli, 2002). Muchos de estos depósitos se generaron durante la orogenia Andina en condiciones extensionales y transtensionales (Del Real y otros, 2018) y al igual que los depósitos estratoligados de Cu-(Ag) los IOCG pueden presentarse en la cordillera de la Costa del norte de Chile (Barra y otros, 2017).

Se han planteado diversos modelos para explicar el origen de este tipo de depósitos, y hasta el día de hoy, todavía sigue siendo un tema debatido. Pese a lo anterior, la génesis más aceptada para los IOCG es la que se relaciona a procesos hidrotermales. Se han propuesto diferentes fuentes para estos fluidos hidrotermales tales como: salmueras de origen sedimentario calentadas en profundidad por intrusivos que lixivian y precipitan los metales de la corteza (Barton y Johnson, 1996; Hitzman, 2000; Benavides y otros, 2007); fluidos hidrotermales - magmáticos que incorporan los metales de magmas silicatados (Pollard, 2006); o una combinación de ambos (Hitzman, 2000; Groves y otros, 2010; Rieger y otros, 2012). En la Figura 4.3 se sintetizan los principales modelos asociados a las distintas fuentes de fluidos hidrotermales mencionadas.

En este tipo de depósitos la roca de caja está intensamente alterada. La mineralogía de alteración depende directamente de la litología y profundidad de emplazamiento del depósito, pero en general, hay alteración sódica en los niveles más profundos, potásica en los niveles intermedios a someros y sericítica en los niveles muy someros. La mineralización está dominada por óxidos de hierro, encontrándose hematita en los niveles superficiales y magnetita en los profundos, además de minerales de CO<sub>3</sub>, Ba, P, los cuales también son comunes. Los sulfuros de cobre como bornita y calcopirita se encuentran asociados tanto a la magnetita como a la hematita (Hitzman, 1992).

En la literatura también se ha propuesto la idea de que los depósitos del tipo IOA y estratoligado de Cu-(Ag) están vinculados genéticamente a los IOCG, debido a esto, autores como Hitzman y otros (1992); Sillitoe (2003); Williams y otros (2005); Groves y otros (2010) incluyen todos estos depósitos en el llamado “Clan IOCG Andino” (Barra y otros, 2017) donde los IOA corresponderían a la raíz profunda de los IOCG (Rodríguez y otros, 2020) y los estratoligados de Cu-(Ag) a la zona superficial en donde los fluidos aprovechan estructuras y litologías favorables (Barra y otros, 2017) para la precipitación de la carga mineral.

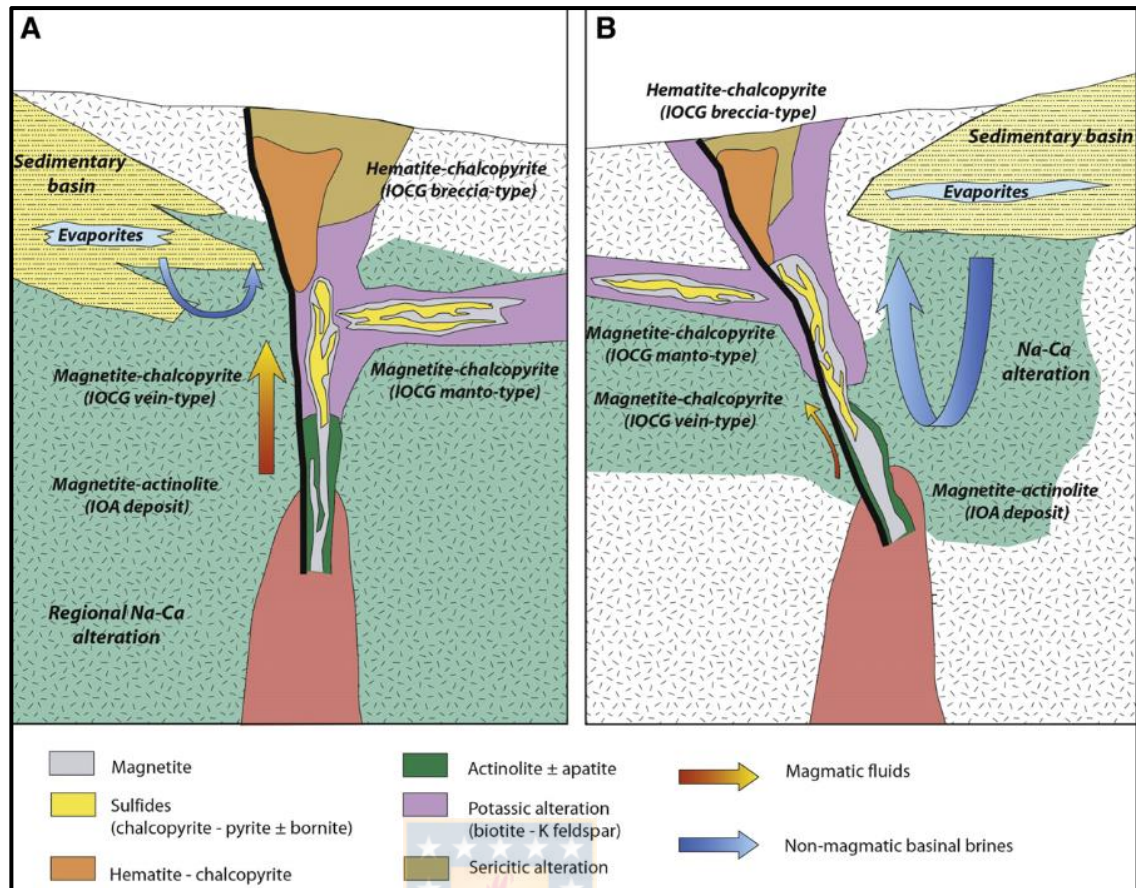


Figura 4.3: Representación esquemática del origen de los IOCG: (A) Modelo magmático-hidrotermal (B) fluidos derivados de cuencas sedimentarias calentados por fuentes ígneas. A profundidad se muestra la relación que pueden tener con los depósitos del tipo IOA. Imagen tomada de Barra y otros (2017).

## **5.METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **5.1. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO**

La mayor parte de la información obtenida para la presente memoria se recabó a través de descripciones tanto de las labores subterráneas de la mina como en superficie, donde se recopiló información litológica, estructural, de alteraciones y mineralogía. Con el fin de tener un mejor manejo de la información, se adoptó la subdivisión y nomenclatura de las labores y áreas utilizada por la empresa para efectuar el mapeo, las cuales corresponden a El Romero, Esmeralda y El Manzano en el interior de la mina, y Camino Esmeralda y El Llano en superficie.

Debido a que las imágenes satelitales disponibles para el sector de El Manzano eran de baja resolución para ser usadas como bases de mapeo, se hizo un levantamiento fotogramétrico de la zona utilizando un dron *DJI Phantom 4 Pro v2* para la captura de fotografías y el software *Agisoft Metashape* para el procesamiento de imágenes.

Ya que mucha información geológica se ha perdido debido al avance de las labores producto de la explotación del yacimiento, adquiere mucha importancia el análisis de los registros del sector. Minera San Pedro S.A puso a disposición distintos informes de exploración y de campañas de sondajes realizados en las inmediaciones de la mina El Olivo, los cuales abarcan mapas litológicos, mapas estructurales, perfiles geológicos, modelos conceptuales del yacimiento, entre otros. Estos informes fueron ordenados y seleccionados según presentaran información que resultara útil para entender la génesis y geometría del yacimiento, y que sirviera además para complementar los mapeos en los sectores ya explotados donde obtener datos geológicos se hace difícil.

Con el fin de delimitar las zonas de alta y baja ley, y la morfología de los cuerpos de mena, se tomaron muestras de colpa en terreno o de *cutting drills*, que posteriormente eran enviadas al laboratorio de la mina ubicado en la planta concentradora por flotación, donde a través de volumetría, se estimaban las leyes aproximadas de las rocas.

### **5.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO**

Se recopilaron muestras de roca de diversos sectores de la mina con el objetivo de hacer una descripción macroscópica por medio de muestras de mano, y microscópica a través de cortes transparente pulidos. La confección de los cortes se realizó en el laboratorio del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Concepción y su posterior análisis se efectuó en la sala de microscopía del mismo establecimiento donde se hizo uso de un microscopio petrográfico OLYMPIC.

## 6.RESULTADOS

### 6.1. LEVANTAMIENTO GEOLÓGICO

Como fue mencionado en el capítulo 5.1, con el fin de organizar de mejor manera la información recopilada, el área de estudio fue dividida en tres zonas correspondientes a las principales labores de la mina. Estas zonas a su vez se subdividen en distintos niveles subterráneos. Las zonas corresponden a: El Romero con los niveles 1560, 1580, 1600, 1610, 1620 y 1647; Esmeralda, con los niveles 1610, 1625, 1630, 1633, 1657, 1683; y El Manzano, este último se encuentra en etapa de exploración y presenta un único nivel activo en la cota 1650 y un nivel abandonado en la cota 1670. Además, se incluyen otras dos áreas en superficie en donde se también se realizaron mapeos: Camino a Esmeralda y El Llano. La Figura 6.1 muestra la disposición de la subdivisión del área estudiada.

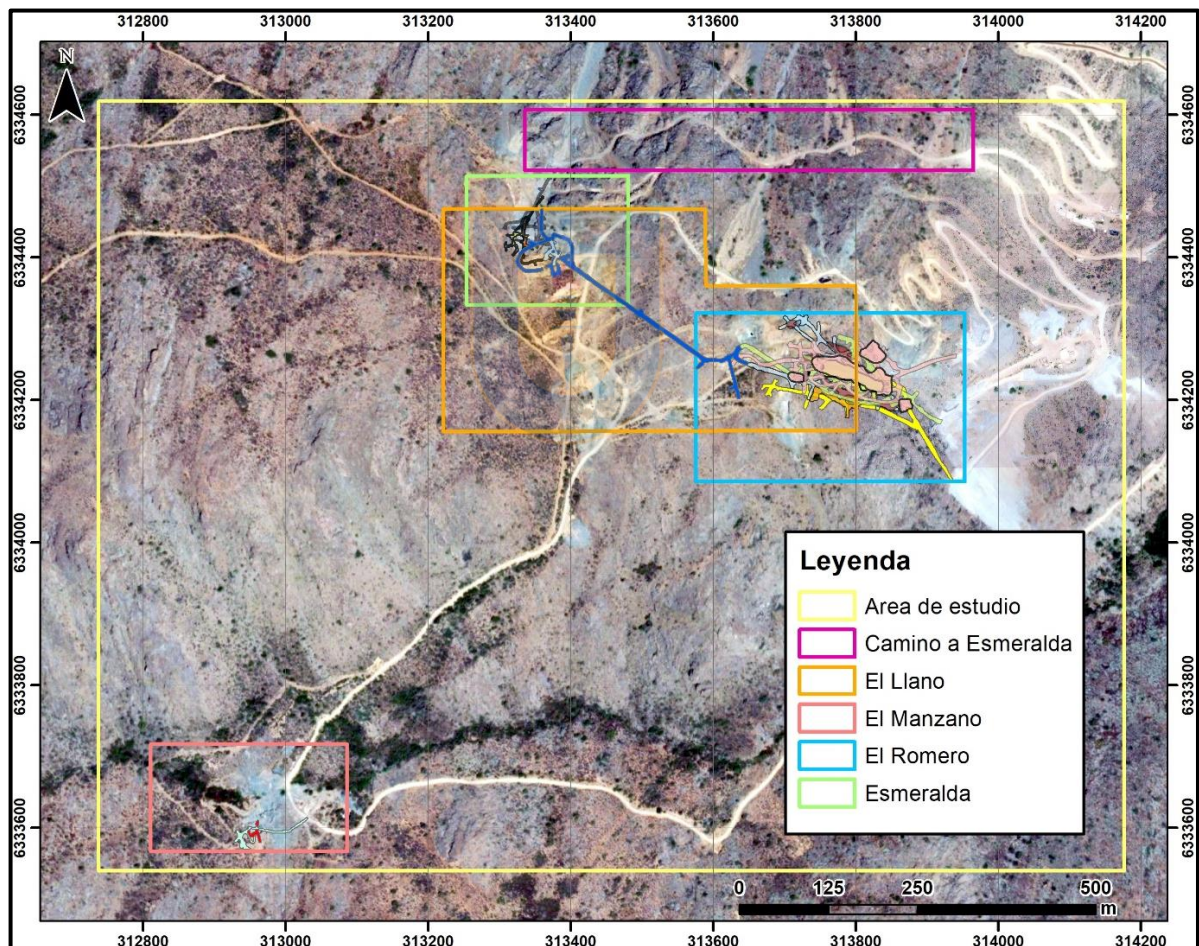


Figura 6.1: Imagen satelital de mina El Olivo. Se muestran la distintas zona y labores principales donde se efectuaron los mapeos.

#### 6.1.1 El Romero

El Romero se ubica en el sector oriental de la mina El Olivo, y corresponde a la zona con mayor desarrollo albergando gran cantidad de caserones ya explotados, pese a esto, se está

explorando en búsqueda de nuevos cuerpos mineralizados. La Figura 6.2 muestra los niveles del sector El Romero, de los cuales los niveles 1560, 1600, 1620 y 1647 fueron descritos, aunque en el nivel 1620 se hizo de manera indirecta a través de la caracterización de muestras petrográficas.

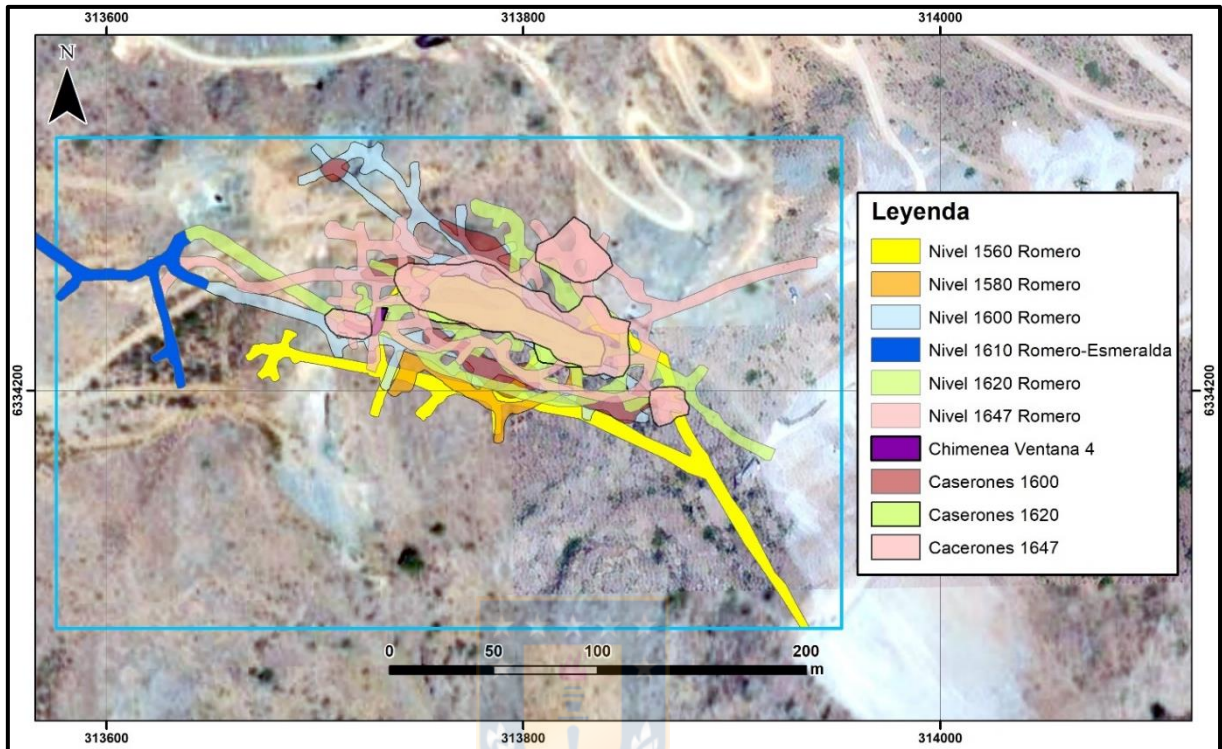


Figura 6.2: Imagen satelital del sector El Romero. Se muestran los distintos niveles y caserones explotados.

### 6.1.1.1 Nivel 1560

#### A. Litología y mineralogía de alteración

Las rocas predominantes que afloran en este nivel corresponden a andesitas porfídicas, aunque es posible encontrar de manera subordinada ocoítas, andesitas afaníticas, y hacia el norte, andesitas porfídicas amigdaloidales. El grado de alteración de las litologías es incipiente.

Los fenocristales de plagioclasa de las andesitas porfídicas y ocoítas son subhedrales, y están alterados a epidota y calcita, estos presentan tamaños de alrededor de 0,4 cm y su abundancia relativa con respecto a la masa fundamental es baja, en algunas zonas, la roca presenta pátinas de hematita terrosa dándole una coloración rojiza. Para el caso de las andesitas que contienen amígdalas, estas están rellenas de epidota, clorita y/o cuarzo. Las andesitas afaníticas tienen el menor grado de alteración, tienen alta dureza, y al momento de fracturarse, lo hacen siguiendo planos preferenciales rellenos por sílice.

#### B. Mineralogía de mena

En este nivel se puede encontrar calcopirita en vetillas asociada a andesitas porfídicas, y calcopirita, bornita y calcosina como relleno de vesículas asociada a andesitas porfídicas

amigdaloidales. La mineralización está concentrada en torno a la rampa ubicada al NW del nivel, la zona de mayor ley está ubicada al norte de esta, donde hay presencia de calcosina como relleno de vesículas de andesitas. La precipitación de este mineral está asociada al emplazamiento de un dique de orientación NNW-SSE.

Es posible observar variaciones en la mineralogía desde norte a sur de la rampa que gradúa desde calcosina, seguido de bornita-calcopirita, y en la zona más periférica, calcopirita-pirita. Cercano a la intersección entre la rampa NW y el túnel principal, se encuentra un dique que hospeda vetillas de calcita y cuarzo con cristales de bornita de 3 mm de diámetro, el cual en algunas zonas se encuentra con fracturas con rellenos de calcita, sílice y bornita. La roca intruida por el dique contiene calcopirita en vetillas (Figura 6.3).

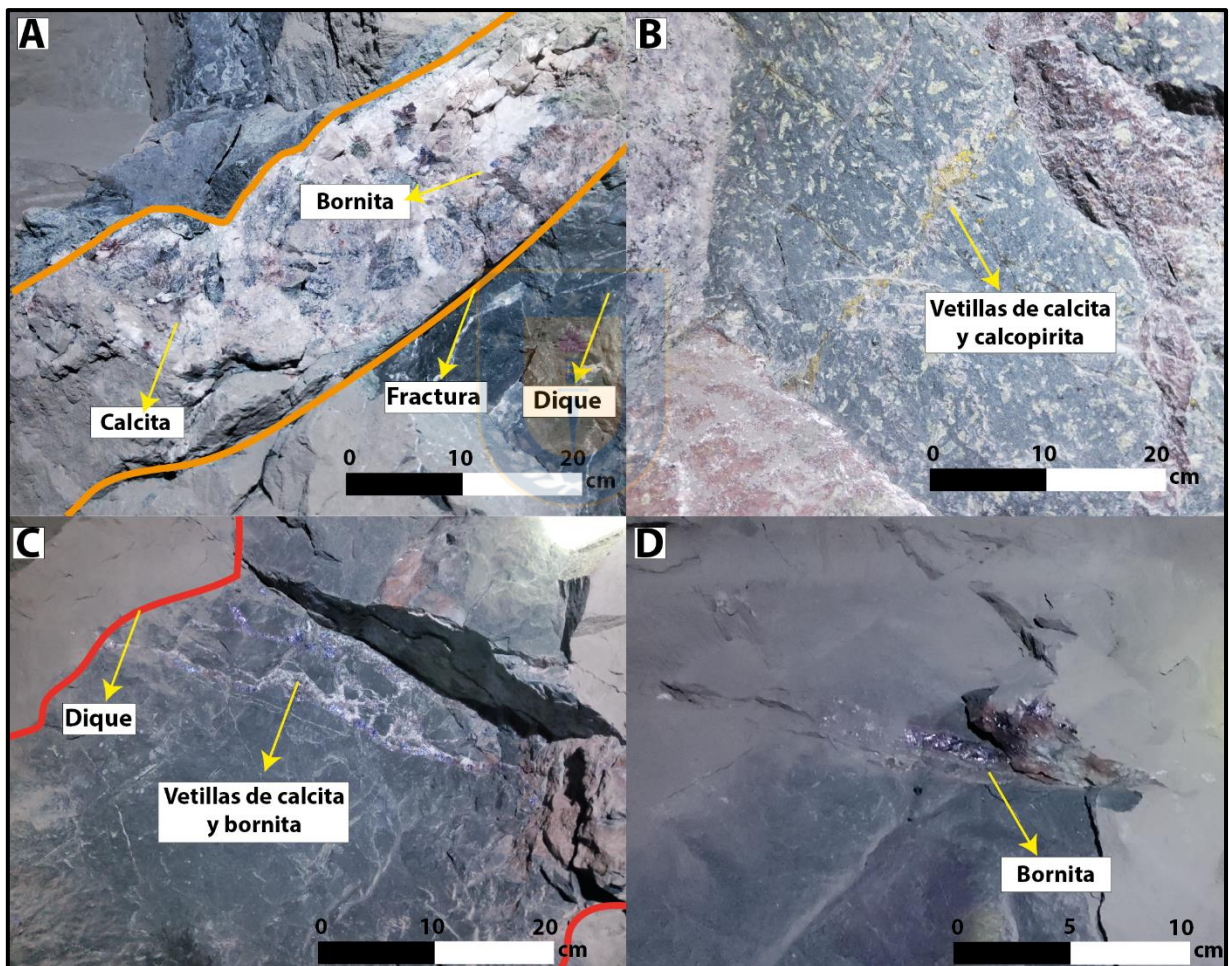


Figura 6.3: (A) Dique con fracturas rellenas de calcita, sílice y bornita. (B) Andesita porfídica con vetillas de calcopirita. (C) Dique hospedando vetillas de calcita y bornita con (D) cristales de bornita de gran tamaño.

### C. Estructuras

Las fallas presentes en este nivel pueden ser dividida en dos familias de dirección aproximada N20°W y N55°E, toda presentan características similares tales como rellenos de roca molida, calcita, hematita terrosa y arcillas delimitados por planos bien definidos de calcita.

Los diques del nivel tienen direcciones preferentes similares a las fallas por lo que se asume que están asociadas a una de las dos familias de estructuras. Composicionalmente, son dioríticos, de un color verdoso, y hospedan dos tipos de vetillas. El primer tipo de vetillas tiene espesores variables de entre 2 a 5 cm, y está relleno con cristales bien formados de calcita y bornita, el segundo tipo de vetillas presenta espesores de hasta 1 cm, y está relleno con hematita roja de textura terrosa y epidota (Figura 6.4).



Figura 6.4: Vetillas de epidota-hematita y calcita-bornita hospedadas en dique microdiorítico.

### 6.1.1.2 Nivel 1600

#### A. Litología y mineralogía de alteración

En este nivel predominan secuencias volcánicas compuestas por andesitas porfídicas y andesitas porfídicas amigdaloidales con niveles subordinados de ocoítas amigdaloidales. Hacia el este del nivel predominan las andesitas afaníticas. La actitud de los estratos es N10°W/ 75°NE

En general, el grado de alteración de todas las rocas es incipiente por lo que es posible reconocer con claridad la textura original de cada una.

Tanto las andesitas porfídicas como las andesitas porfídicas amigdaloidales contienen fenocristales de plagioclasa con dimensiones de hasta 0,6 cm que presentan un color verde cuando están alterados a epidota y un color blanco cuando están alterados a calcita o albita, la masa fundamental tiene un leve color verdoso debido a la alteración de los minerales ferromagnesianos a clorita y un leve magnetismo por la presencia de magnetita. Vetillas de 0,2



cm rellenas por calcita y especlarita se observan en estas rocas (Figura 6.5). El relleno de las amígdalas de las andesitas es principalmente epidota con hábito radial.



Figura 6.5: Vetillas de calcita y especlarita hospedadas en andesitas porfídicas.

Las ocoítas amigdaloidales, en cuanto a mineralogía de alteración, son muy similares a las andesitas previamente descritas salvo que en algunos sectores presentan feldespato potásico además de vetillas y vesículas de espesores variables entre 1 a 2 cm rellenas de especlarita y/o calcita (Figura 6.6).

Las andesitas afaníticas son las rocas que tienen el menor grado de alteración, estas presentan color negro y vetillas rellenas con sílice.

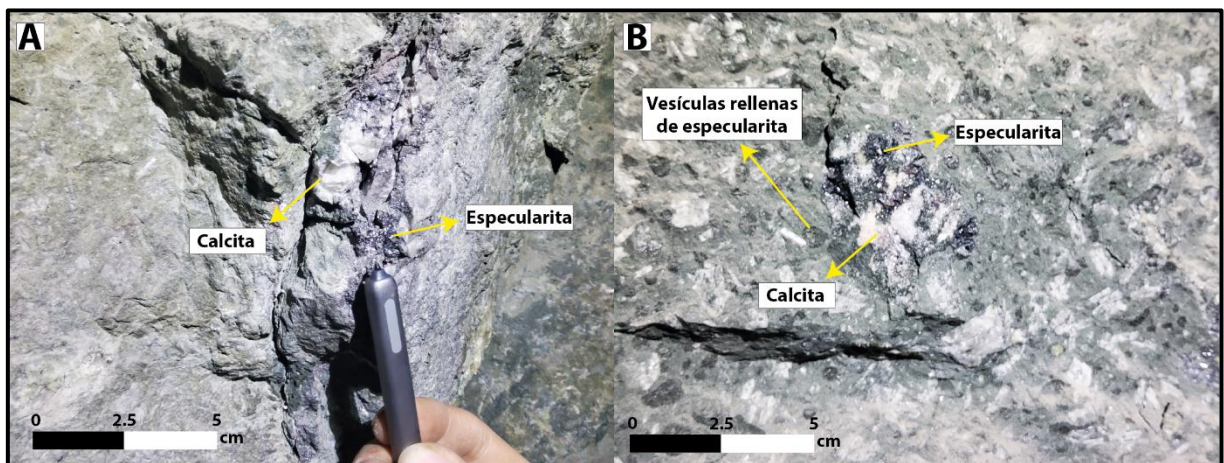


Figura 6.6: (A) Zona de fracturas rellena con calcita y especlarita. (B) Andesita porfídica amigdaloidal con vesículas rellenas de especlarita, calcita y/o clorita.

## B. Mineralogía de mena

La mineralización de cobre está representada por calcopirita y bornita, y ocurre preferentemente en andesitas porfídicas amigdaloidales y en menor medida en andesitas porfídicas, tanto como relleno de vesículas como diseminada en la masa fundamental.

Hay zonas en las que queda evidenciada que cambios texturales condicionan directamente el grado de mineralización donde las litologías con mayor porosidad tienen mayor cantidad de cobre (Figura 6.7 A). En algunos casos, la bornita también se encuentra intercrecida con especularita, y asociada a rellenos de falla (Figura 6.7 B y C).

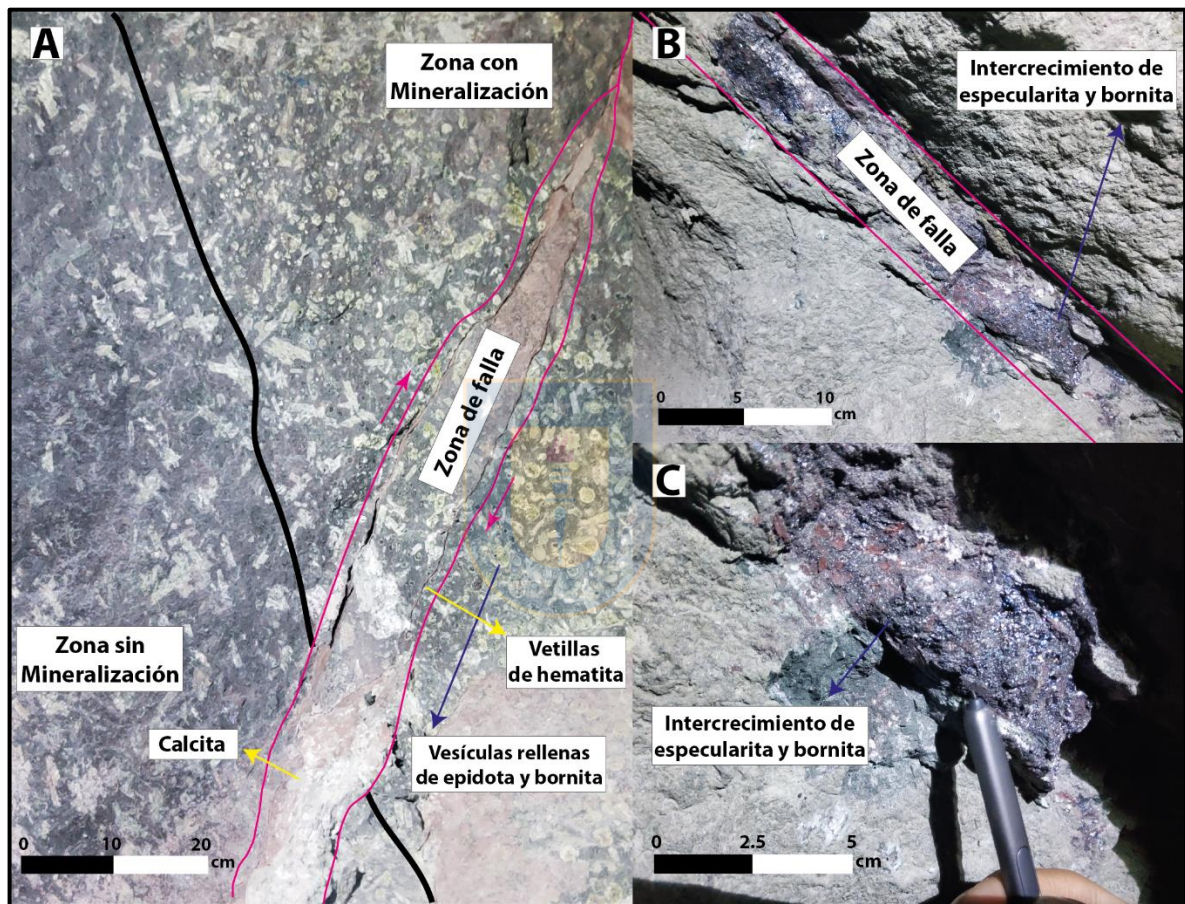


Figura 6.7: (A) Contacto entre litologías. Las rocas porosas (amigdaloidales) hospedan preferentemente la mineralización mientras que las que no, son estériles. (B) Falla afectando andesitas porfídicas rellena con intercrecimientos de bornita y especularita. (C) Detalle de la falla con el intercrecimiento de bornita y calcosina.

## C. Estructuras

En este nivel se identificaron dos familias de fallas de direcciones preferentes NE-SW y NW-SE. La familia de fallas de dirección NE-SW está asociada a la mayor parte de las estructuras del nivel, presentan escalones de falla lo cual evidencia una cinemática del tipo normal-sinistral, coinciden espacialmente con algunos caserones ya explotados, y están relacionadas a la mineralización de calcopirita y/o bornita, calcita y hematita. La familia NW-

SE está asociada a fallas de menor envergadura, también presenta rellenos de calcita y hematita, pero sin mineralización de cobre.

Además, numerosos diques con textura fanerítica equigranular de grano fino fueron observados. Estos son de color verdoso y de composición diorítica, presentan un grado de alteración que va de incipiente a moderado, y están asociados a bornita y calcopirita, hacia los bordes de este se observan planos rellenos con calcita (Figura 6.8). La dirección preferente de los diques coincide con la familia de fallas NE-SW por lo que se sospecha que son estas estructuras las que actúan como planos favorables para su emplazamiento.

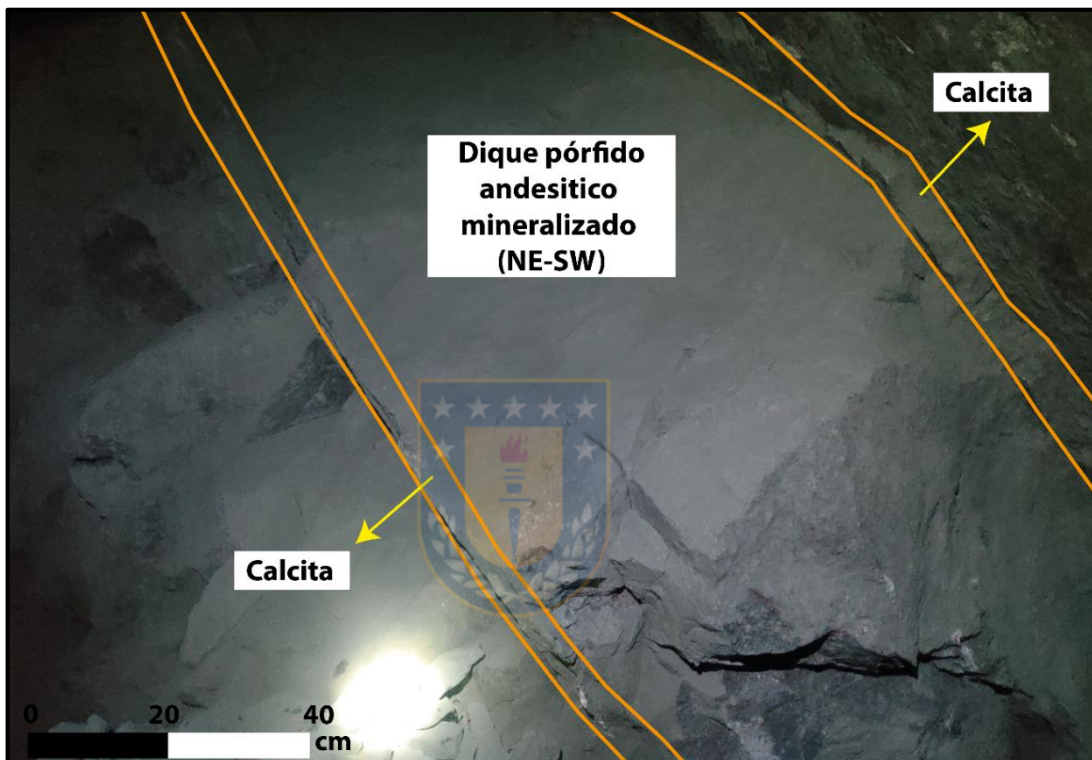


Figura 6.8: Dique pórfido andesítico con mineralización de bornita y calcosina. En la zona de contacto con la roca de caja presenta cristalización de calcita.

### 6.1.1.3 Nivel 1647

#### A. Litología y mineralogía de alteración

Andesitas porfídicas y andesitas porfídicas amigdaloidales son las litologías que están presentes en este nivel. Debido a su cercanía con la superficie, la mayoría de la mineralogía de alteración es de origen principalmente supérgeno abarcando minerales como óxidos e hidróxidos de hierro, limonitas, arcillas y minerales oxidados de cobre. Las rocas tienen un grado de alteración incipiente, aunque, en torno a fallas, el grado de alteración se acentúa obliterando la textura de la roca adyacente a estas.

Los fenocristales de ambos tipos de andesita varían entre 3mm a 5mm, están alterados a arcilla mientras que la masa fundamental está levemente alterada a clorita.

### B. Mineralogía de mena

La presencia de sulfuros en este sector es escasa, y solo se da de manera muy local asociada a andesitas porfídicas, donde bornita cristaliza en vetillas y planos de debilidad.

Con respecto a los minerales oxidados de cobre, aparecen como patinas que cubren gran parte de las rocas del nivel, aunque su concentración aumenta en zonas afectadas por tectónica y en torno a estructuras donde se observa malaquita, azurita, crisocola y tenorita.

### C. Estructuras

Hay dos fallas menores de actitud N45W/45NE y N80W/80NE rellenas por roca triturada y calcita presentes hacia el este del nivel, según lo observado, ninguna de ellas controlaría la mineralización en el área.

Hacia el oeste, en el acceso sur del caserón de mayor envergadura del sector denominado “Marcela”, se encuentra un dique de composición aparentemente diorítica, de orientación N50E/45NW, alterado a clorita y sin mineralización de cobre.

## 6.1.2 Esmeralda

La zona de Esmeralda se encuentra en el sector occidental de la mina El Olivo, actualmente es donde se centra la mayor actividad de extracción de mineral, aunque consta de menos labores que la zona de El Romero. La Figura 6.9 muestra los niveles del sector Esmeralda, de los cuales los niveles 1610 y 1633 y Chimenea Tres Norte fueron descritos.

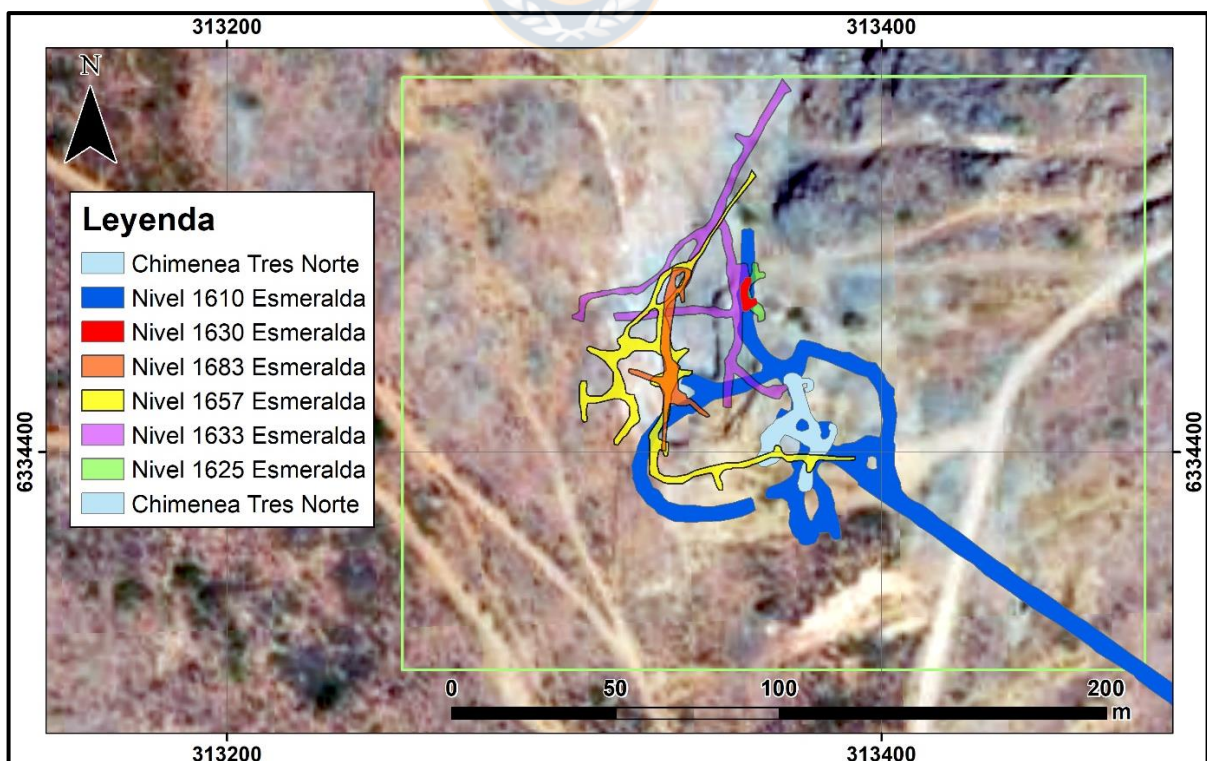


Figura 6.9: Imagen satelital del sector Esmeralda. Se muestran los distintos niveles actualmente activos.

### 6.1.1.1 Nivel 1610

Este nivel corresponde actualmente al de mayor producción con aportes provenientes de un cuerpo mineralizado de gran envergadura de dirección aproximada N10W, explotado por medio del caserón BK12, de la chimenea tres norte, y donde se busca además alcanzar su zona más profunda por medio de la rampa cuatro norte.

#### A. Litología y mineralogía de alteración

La litología en este sector es monótona, abarcando solo andesitas porfídicas y andesitas porfídicas amigdaloidales que en algunos casos presentan textura fluidal, ambos tipos de rocas presentan fenocristales de hasta 0,6 cm conformados principalmente por plagioclasa alteradas a albita, epidota y calcita, la masa fundamental presenta color verdoso producto de la cloritización y magnetismo producto de la presencia de magnetita, las vetillas son comunes y están rellenas de calcita y/o hematita con cantidades menores de calcopirita.

Para el caso particular de las andesitas porfídicas amigdaloidales, las vesículas están rellenas por epidota de hábito radial, calcita, hematita roja terrosa y cuarzo como minerales de ganga, además de bornita y calcopirita.

En el área que abarca la chimenea tres norte, la alteración hidrotermal en algunas zonas es pervasiva, y está compuesta principalmente por calcita, epidota, clorita y hematita roja terrosa lo cual oblitera totalmente la textura original de la roca (Figura 6.10). Este tipo de alteración se asocia a las zonas de mayor ley del nivel.

#### B. Mineralogía de mena

La mena en este nivel está compuesta por calcopirita, bornita y en menor cantidad calcosina. La mineralización se hospeda exclusivamente en andesitas porfídicas amigdaloidales, roca que determina en gran medida la forma que adquieren los cuerpos mineralizados. Cabe destacar que hay dos diques de envergadura considerable de los cuales uno de ellos también hospeda minerales de mena.

La calcopirita se encuentra principalmente como relleno de vesículas, como halos bordeando a los fenocristales, aunque también es posible encontrarlas en menor medida asociada a cuarzo y calcita formando vetillas de espesor cercano a los 8 cm y con cristales bien formados (Figura 6.11). La bornita es posible encontrarla como relleno de vesículas, diseminada en la masa fundamental de la roca, en halos bordeando fenocristales, como patinas en planos de debilidad (principalmente en el dique mineralizado) y en vetillas donde aparecen cristales bien formados de bornita en paragénesis con calcita y calcosina. La presencia de las vetillas de bornita y calcosina se limita solo a la labor norte de la rampa cuatro norte. Al oeste del cuerpo principal, la mineralización se empobrece en cobre y se enriquece en pirita.

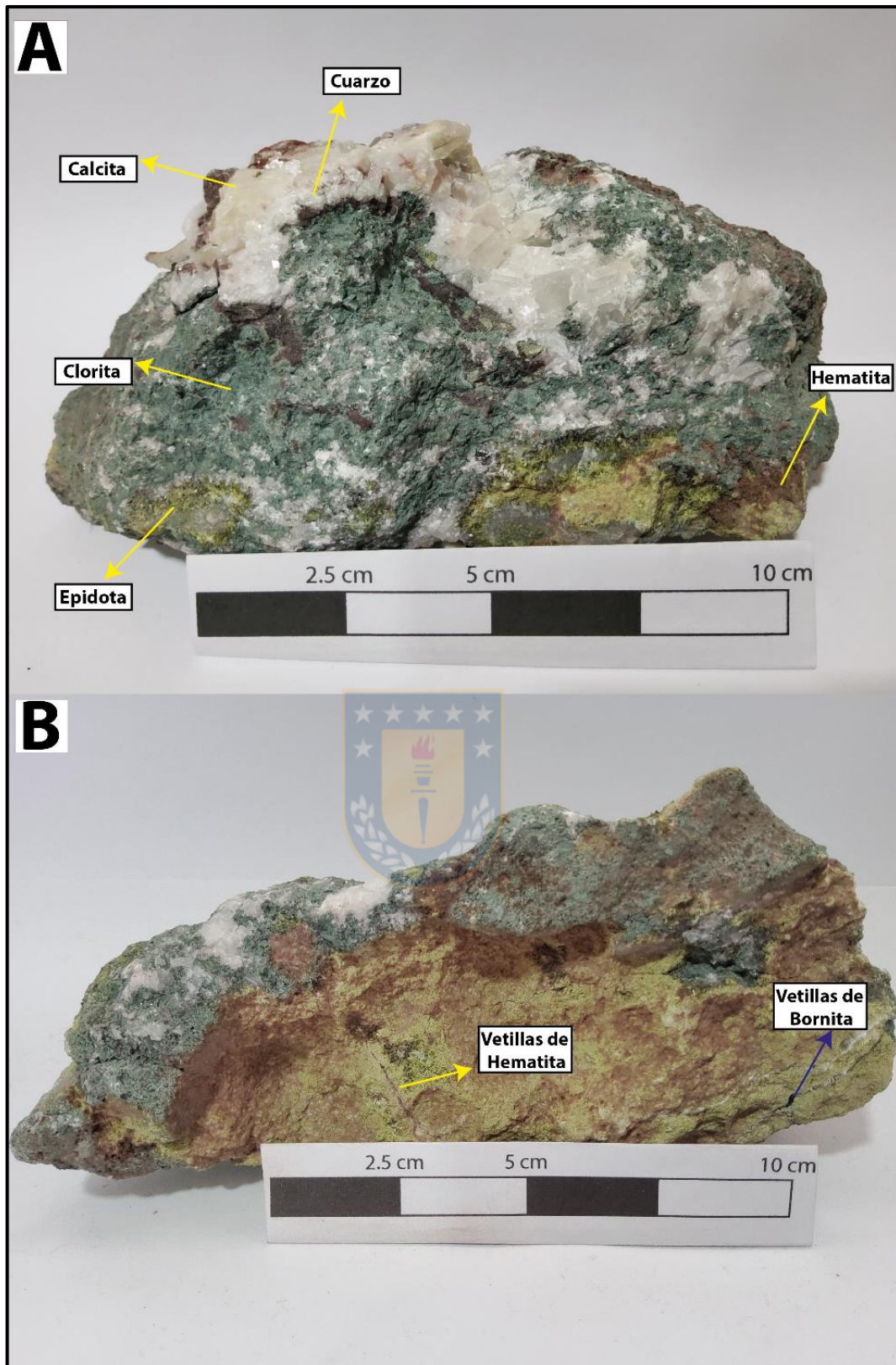


Figura 6.10: Muestra R-SUB-1 extraída de la chimenea tres norte. La textura original de la roca se encuentra completamente obliterada. (A) Vista frontal de la muestra R-SUB-1. (B) Vista posterior de la muestra R-SUB-1.

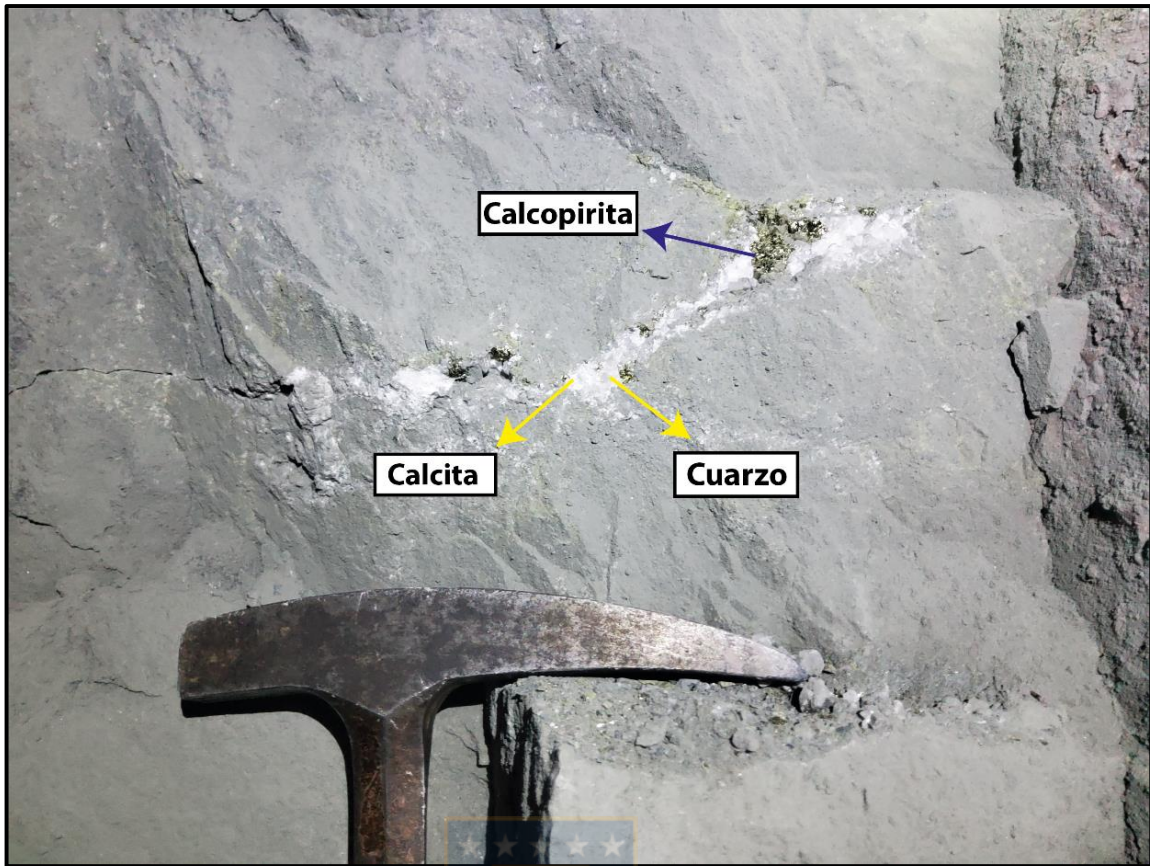


Figura 6.11: Vetillas de Cuarzo, Calcita y Calcopirita hospedadas en andesita porfídicas amigdaloidales.

### C. Estructuras

Hay dos familias de fallas de tendencia marcada en este nivel, con dirección aproximada N20°W y N50°E, manteos 80°SW y 60°NW respectivamente, y rellenas con salbanda, calcita y hematita. El set de estructuras con dirección N20°W controla principalmente la mineralización y emplazamiento del cuerpo de mayor envergadura descubierto hasta el momento en esta zona. Por otra parte, la mineralización asociada al set de estructuras N50°E es subordinada salvo en las zonas donde intercepta a las estructuras N20°E.

Se identificaron dos diques de dimensiones considerables, cada uno asociado a una familia de estructuras mencionadas anteriormente. El dique asociado al set de estructuras N20°W tiene un espesor de 50 cm aproximadamente, presenta una coloración verdosa producto de la alteración a clorita además de una alta concentración de bornita y calcopirita que aprovechan planos de debilidad de este, además, se emplaza en andesitas porfídicas amigdaloidales también mineralizadas. Por otro lado, el dique asociado a la familia de estructuras N50°E tiene un espesor de 80 cm, presenta un color gris oscuro, a simple vista no presenta mineralización de cobre, está limitado por planos rellenos de calcita, y es posible visualizarlo en distintos sectores del nivel en donde se aprecia que se emplaza en andesita porfídicas, andesita porfídicas amigdaloidales y ocoítas amigdaloidales.

### **6.1.1.2 Nivel 1633**

#### **A. Litología y mineralogía de alteración**

Andesitas afaníticas, andesitas porfídicas y ocoítas amigdaloidales con actitud N5°W/50°NE son las litologías presentes en este nivel. Al sureste de la labor, en la intersección con la zona superior de la chimenea tres norte, predominan andesitas porfídicas las cuales se encuentran fuertemente silicificadas, con fenocristales de tamaños entre 4 mm y 6 mm alterados a epidota, y en donde se hospedan vetillas de cuarzo y hematita de hasta 1 mm de espesor, en dirección norte, estas rocas se intercalan con andesitas afaníticas también silicificadas. Casi llegado al acceso de la labor hacia el sector norte, las ocoítas predominan por sobre el resto de las litologías, estas se encuentra rellenas principalmente por epidota con hábito radial.

En general, el grado de alteración es incipiente, aunque de manera local, es posible encontrar evidencias de alteración supérgena, especialmente en torno a estructuras, en donde se concentran gran cantidad de óxidos e hidróxidos de hierro, oxidados de cobre como atacamita, malaquita y azurita; y arcillas.

#### **B. Mineralogía de mena**

La mena es escasa y consiste principalmente en calcopirita diseminada en paragénesis con pirita asociada a las andesitas porfídicas. El resto de las rocas no presenta mineralización salvo en los casos donde hay estructuras que favorecen la circulación de fluidos superficiales.

#### **C. Estructuras**

Una zona de falla de dirección N20°W y manto 65°SE afecta gran parte del nivel, algunas estructuras menores de las mismas características y otras con actitud N45°E, subverticales y con relleno de calcita bien cristalizada se pueden visualizar en algunas paredes del laboreo. Un dique de dirección N50°E con manto 60°NW, de composición diorítica, alterado pervasivamente a clorita y con vetillas de calcita se emplaza en las ocoítas amigdaloidales hacia el norte del nivel.

### **6.1.3 Camino a Esmeralda**

Esta zona corresponde al camino de acceso desde el campamento hasta la entrada de los niveles del sector Esmeralda. Los cortes de camino permiten acceder a afloramientos de roca bien conservados.



### A. Litología y mineralogía de alteración

Las rocas del sector se componen en intercalaciones de andesitas amigdaloidales y ocoítas amigdaloidales de actitud N10°W/60°NE y espesores que varían entre metros a decenas de metros. Las andesitas amigdaloidales presentan textura seriada y glomeropórfidica con tamaños de fenocristal que varían desde 2 mm a 10 mm, inmersos en una masa fundamental gris verdosa alterada a clorita. Las ocoítas se componen de fenocristales alargados de tamaños cercanos a 1.7 cm, la masa fundamental es gris oscura, y en algunos casos presenta magnetismo. Para ambos tipos de roca, las vesículas tienen un amplio rango de diámetros variando desde los 0.3 cm a 4 cm con rellenos de epidota, calcita, cuarzo y clorita (Figura 6.12 A) los fenocristales de plagioclasa están alterados a albita y arcillas, y hospedan vetillas de hematita y epidota.

Es posible observar también cavidades de tamaños cercanos a los 20 cm rellenas con cristales bien formados de calcita, y algunas de tamaños entre 4 cm y 25 cm asociadas a geodas de cuarzo y cuarzo-epidota alojadas en andesitas amigdaloidales (Figura 6.12 B y D).

Los procesos de alteración que afectan a las rocas son principalmente supérgenos asociado a minerales como óxidos e hidróxidos hierro, óxidos de cobre, óxidos de manganeso con hábito dendrítico (Figura 6.12 C), y arcillas, además presentan características propias de intemperismo.

### B. Mineralogía de mena

La mineralización es escasa, y se limita a óxidos de cobre asociados a diques emplazados en andesitas amigdaloidales, que afloran en la zona noreste del camino de acceso.

### C. Estructuras

Las estructuras presentes corresponden a cuatro diques de composición diorítica emplazados en andesitas porfídicas amigdaloidales (Figura 6.13). La actitud de los diques desde oeste a este es N40°E/50°NW, N46°E/70°NW, N60°E/50°NW, N15°W/40°SW respectivamente de los cuales, solo el más oriental hospeda mineralización asociada a óxidos de cobre, sus espesores varían desde 0.8 m a 1 m, y en algunos casos, se observan halos de alteración de epidota y hematita con pequeñas cavidades rellenas de specularita.

Se observa también dos fallas de pequeña envergadura de orientación N15°E y manteos 80°NW y 70°NW respectivamente, afectando a las sucesiones volcánicas.

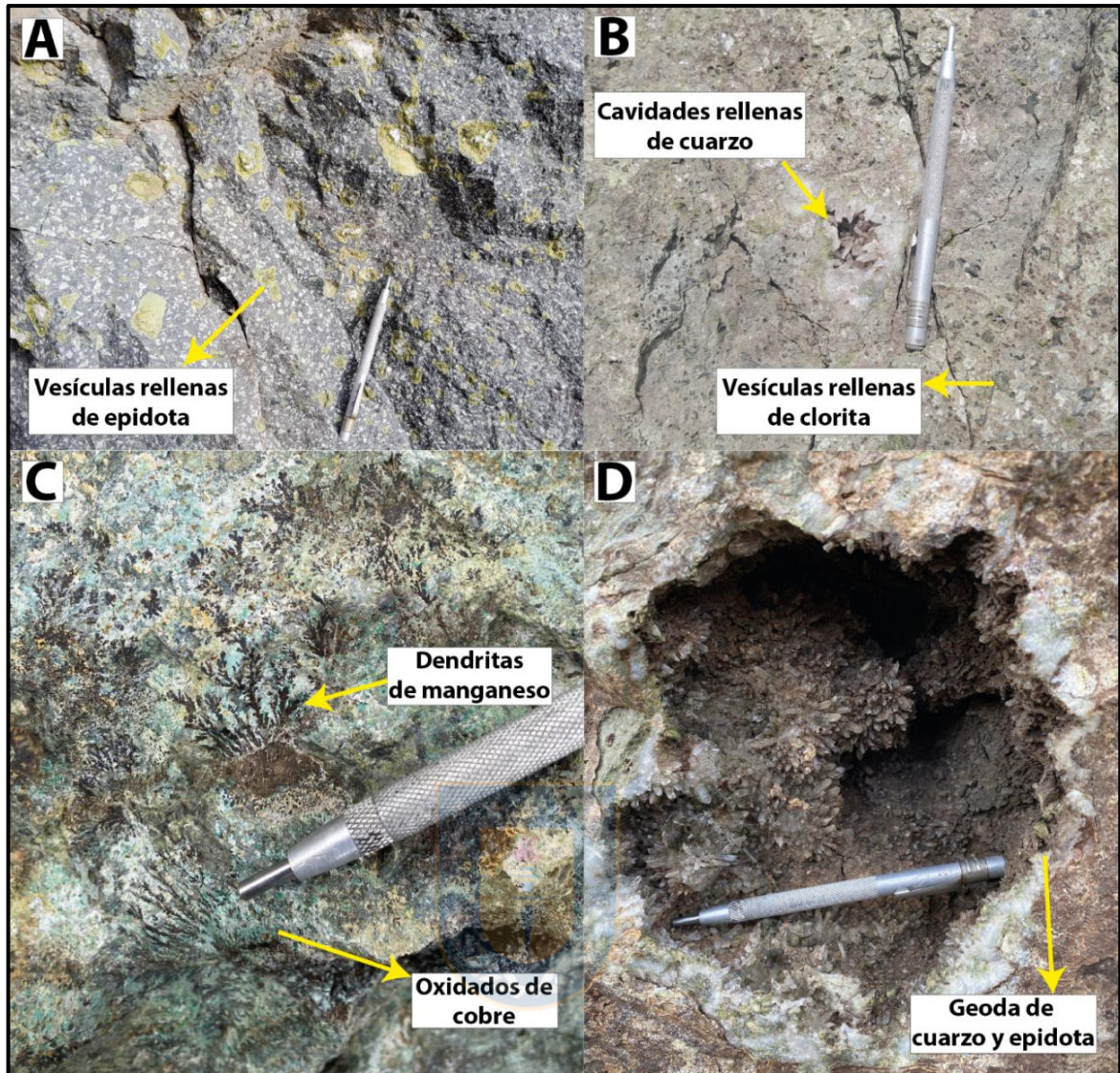


Figura 6.12: (A) Vesículas rellenas de epidota de hábito radial. (B) Cavidades rellenas de cristales de cuarzo hospedadas en andesitas porfídicas amigdaloidales. (C) Dendritas de manganeso en paragénesis con oxidados de cobre, óxidos de hierro y arcillas. (D) Geoda con cristales de cuarzo bien formados y bordes de epidota.

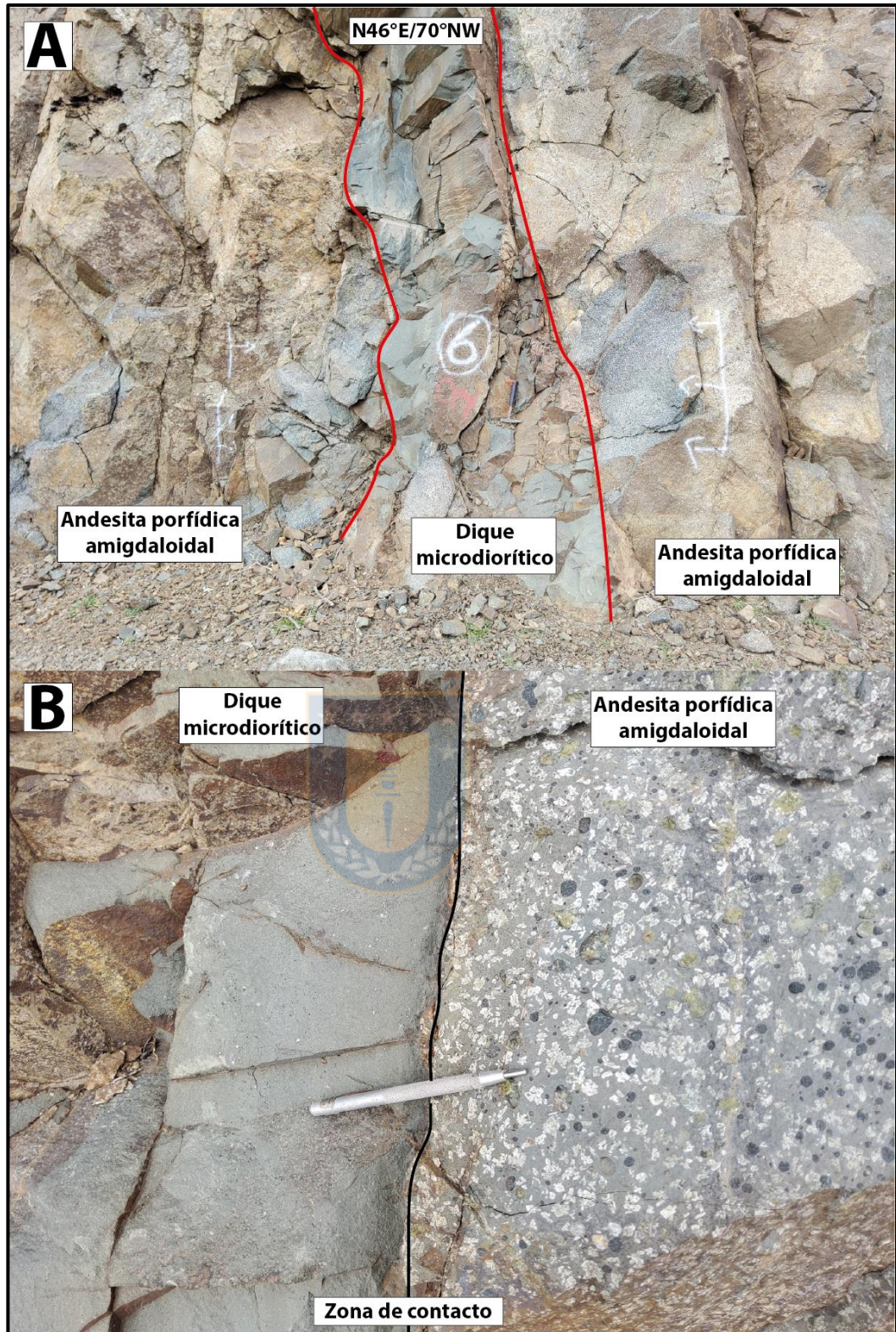


Figura 6.13: (A) Dique microdiorítico emplazado en andesitas porfídicas amigdaloidales. (B) Contacto entre ambas litologías. En torno al dique se forma un halo de alteración que afecta a la roca de caja.

### 6.1.4 El Llano

El Llano corresponde a la zona superficial de las labores de Esmeralda y El Romero en donde antiguamente se llevaron a cabo campañas de exploración por medio de trincheras, sondajes y mapeos.

#### A. Litología y mineralogía de alteración

La roca está muy afectada por el intemperismo, aunque en algunos casos, es posible reconocer sucesiones volcánicas compuestas por andesitas porfídicas, andesitas amigdaloidales y ocoítas amigdaloidales similares a las vistas en los niveles subterráneos.

La mineralogía de alteración es de origen supérgeno, y se compone principalmente por arcillas, óxidos e hidróxidos de hierro, óxidos de manganeso y óxidos de cobre.

#### B. Mineralogía de mena

Los oxidados de cobre como crisocola, tenorita, atacamita, malaquita, azurita son muy abundantes, y están dispersos en toda el área de El Llano.

La presencia de sulfuros es subordinada, y se limita a calcosina asociada a halos de alteración en torno a diques dioríticos.

#### C. Estructuras

Múltiples estructuras son las que afloran en esta zona, sin embargo, es posible identificar tres familias con tendencias bien marcadas en su orientación correspondientes a N20°W, N20°E y N60°E. De las tres familias, la de orientación N20°W es la que controla la mineralización tanto en las cercanías de la superficie como en los niveles más profundos de Esmeralda, esto se ve reflejado al norte del Llano donde una zona de falla de gran envergadura, y de manteo 75°NE, se encuentra rellena por abundantes minerales oxidados de cobre en superficie (Figura 6.14), y cuya proyección a profundidad coincide con las zonas mineralizadas de sulfuros de cobre de los niveles 1610 y 1633. La cinemática de esta falla sería normal-dextral evidenciada por escalones de falla observados en terreno en el plano de falla.

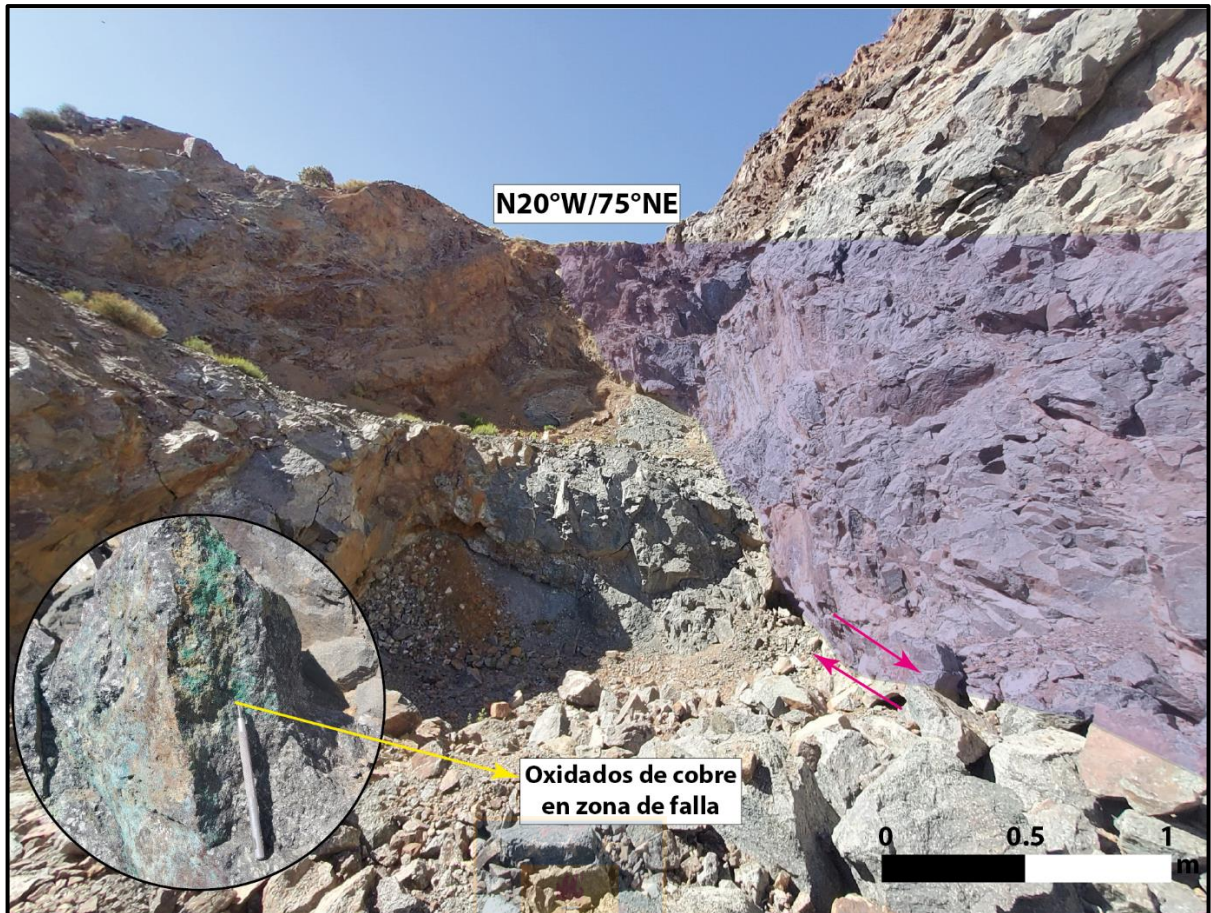


Figura 6.14: Zona de falla sector norte de El Llano. En color morado simboliza el plano de falla la cual tiene una cinemática normal-dextral. En la imagen inferior izquierda se observa los oxidados de cobre presentes en la zona de falla.

Hacia el sureste del área, es posible reconocer también zonas donde estructuras de orientación  $N50^{\circ}E$  cortan a fallas de orientación  $N20^{\circ}W$ , evidenciando que esta última es más antigua (Figura 6.15).

Un dique de actitud  $N45^{\circ}E/50^{\circ}NW$  aflora hacia el norte, en las cercanías donde se observa la zona de falla  $N20^{\circ}W$  de gran envergadura, es de color gris verdoso, composición diorítica, de espesor cercano a los 70 cm, y con mineralización subordinada de calcosina.

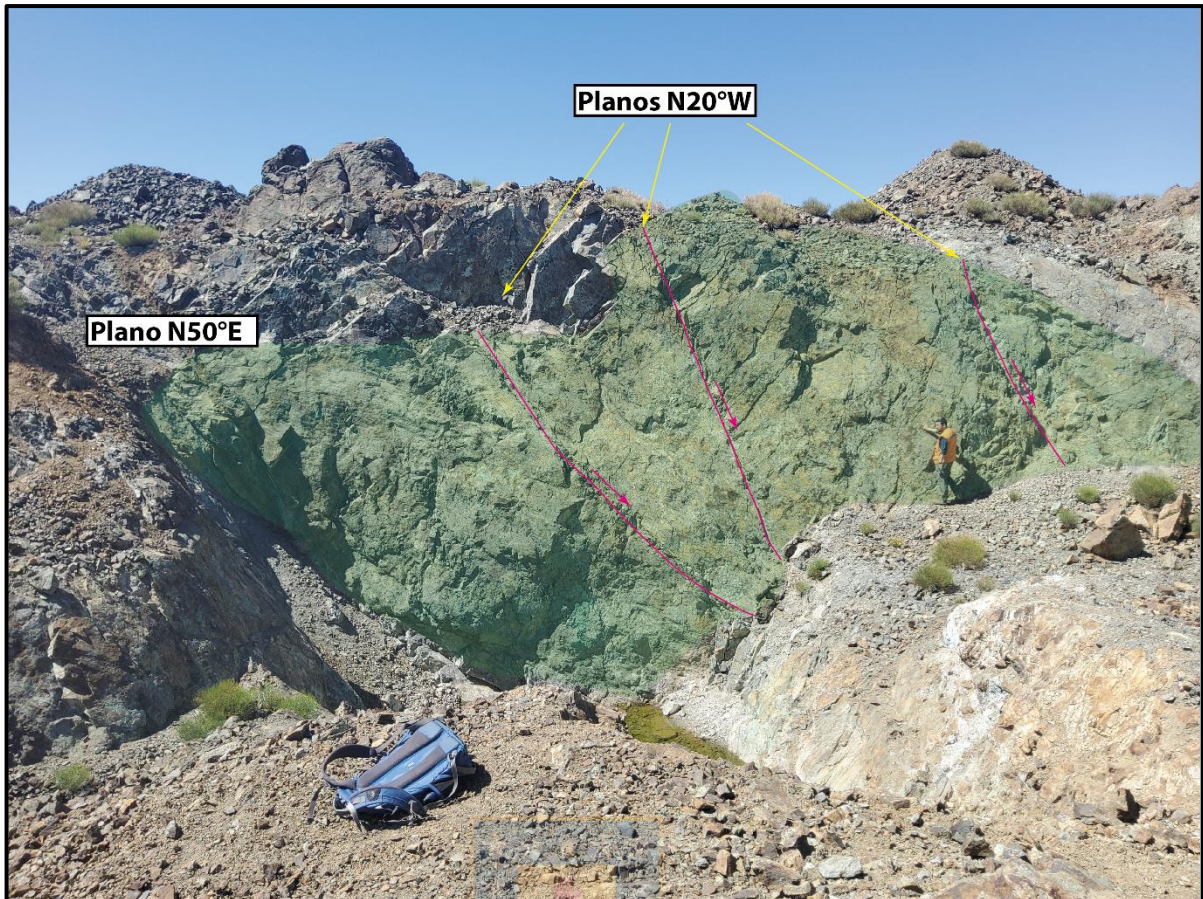


Figura 6.15: Zona de falla sector sureste de El Llano. El plano verde representa el plano de falla de orientación N50°E, mientras que las líneas moradas representan los planos de orientación N20°W.

### 6.1.5 El Manzano

El Manzano corresponde a un prospecto al suroeste de El Llano ubicada en una quebrada homónima, actualmente se encuentra en etapa de exploración, aunque dentro de poco iniciará operaciones a mayor escala. La Figura 6.16 muestra la disposición de los niveles en esta zona.

#### A. Litología y mineralogía de alteración

Las rocas presentes en este sector corresponden a brechas volcánicas, tobas, andesitas porfídicas amigdaloidales, andesita afaníticas, y algunos niveles sedimentarios.

Las brechas volcánicas son polimícticas, matriz-soportadas, con un porcentaje de clastos con respecto al total de la roca cercano al 60%, y con matriz de color grisáceo. Los clastos se componen por: fragmentos de andesita de tamaño variable entre 3 cm a 20 cm cuya masa fundamental es de color negro, marrón o verde; y clastos de tobas de dimensiones similares, pero en menor abundancia (Figura 6.17). Las brechas están alteradas a clorita en su matriz lo que en algunos casos les da un color verdoso, cercano a la superficie, están alteradas a arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro.

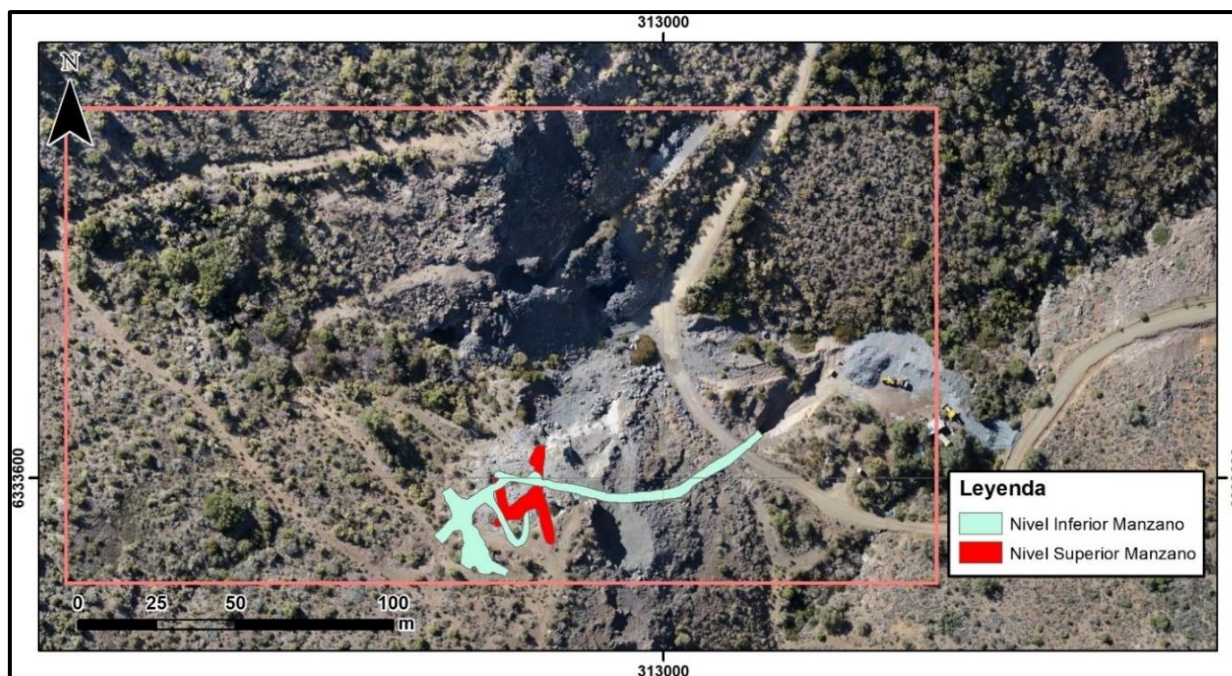


Figura 6.16: Imagen satelital del sector El Manzano. Se muestran los únicos dos niveles con los que cuenta actualmente esta zona.

Los dos tipos de andesita en el sector presentan alteraciones similares asociadas a clorita reemplazando los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental, epidota y albita reemplazando fenocristales de plagioclasa, y hematita terrosa rojiza y calcita precipitada en planos de debilidad. En algunas zonas, también hospedan vetas de con cristales de calcita bien formados.

Los niveles de toba son subordinados y de espesores que no sobrepasan las decenas de centímetros, pero, al igual que las andesitas, en algunos casos tienen coloración verdosa producto de la cloritización.

#### B. Mineralogía de mena

Distribuidos en la superficie de toda el área, es posible encontrar óxidos de cobre que se encuentran diseminados como pátinas sobre brechas y andesitas, y que consisten principalmente en atacamita, crisocola, malaquita, azurita y tenorita.

En los niveles inferiores, hay calcosina en paragénesis con cobre nativo hospedados en las vesículas de las andesitas, en planos de debilidad de la roca, y bordeando los clastos de brechas volcánicas, también es posible encontrar vetas de calcita de espesores cercanos a los 20 cm que además contienen a estos minerales. Al centro de los cristales de calcosina, se observan cristales de bornita siendo reemplazada, lo que indica que la calcosina es de origen secundario y que la bornita fue afectada por procesos de enriquecimiento. Se han encontrado también vestigios de calcopirita y bornita primaria en algunos sectores de la labor subterránea tanto diseminada en la roca, como aledañas a diques y fallas.



Figura 6.17: Brecha polimíctica con clastos de andesita y toba, y masa fundamental cloritizada.

### C. Estructuras

En superficie se observan grupos de planos de fallas muy cercanos entre ellos, con orientación  $N25^{\circ}W/80^{\circ}NE$ , rellenos con salbanda, arcillas, y óxidos de hierro y cobre. En los niveles subterráneos, se reconoce una falla de actitud  $N10^{\circ}W/85^{\circ}SW$  que condiciona la mineralización de calcosina.

## 6.2. PETROGRAFÍA

Durante la campaña de terreno, se recolectaron 25 muestras de roca distribuidas por toda el área de estudio (Figura 6.18) para su descripción, de las cuales 12 fueron seleccionadas para la confección de cortes transparentes pulidos, todo esto con el fin de determinar cuáles son las principales litologías del área, que texturas presentan, cuales hospedan más mineralización, que características de estas favorecen la precipitación de la mena, y si existe alguna relación entre la composición de los diques y la distribución de los cuerpos mineralizados. El criterio de selección para los cortes transparentes pulidos consistió en elegir muestras que fueran representativas de las litologías y mineralización asociadas a los cuerpos de mena, y que a su vez tuvieran un espaciamiento mínimo entre ellas para determinar si existiera zonación mineralógica en los cuerpos. La totalidad de las muestras elegidas para cortes transparentes



pulidos corresponden solo a niveles inferiores, esto se debe a que la mineralogía asociada a oxidados de cobre en superficie es identificable gracias a criterios de reconocimiento macroscópicos, por otra parte, gran parte de los afloramientos en superficie están afectados por intemperismo lo cual de todas maneras dificulta mucho la obtención de muestras competentes para la confección de cortes transparentes.

La variedad de rocas que se pueden encontrar en Esmeralda y El Romero no es mucha, corresponden a andesitas afaníticas, andesitas porfídicas con y sin amígdalas, y ocoítas con y sin amígdalas, donde en ambas zonas presentan características similares. Para el caso de las rocas porfídicas, estas pueden presentar texturas seriadas, glomeroporfídicas y/o fluidales, en donde su mineralogía original corresponde a fenocristales de plagioclasa, y en menor medida, biotita y anfíbol cuyo porcentaje de abundancia con respecto a la masa fundamental es cercano al 50%; la masa fundamental está compuesta por microlitos de plagioclasa y anfíbol en paragénesis con magnetita y vidrio. La proporción de microlitos/vidrio es alta (Figura 6.19).

Las rocas en El Manzano se componen por brechas volcánicas, tobas, andesitas porfídicas con y sin amígdalas, y algunos niveles sedimentarios. Las brechas volcánicas son matriz soportadas, polimícticas, y con una masa fundamental de grano fino con color marrón o verdosa, sus clastos están conformados por: fragmentos de andesitas de tamaños centimétricos a decimétricos de al menos 3 orígenes distintos, los cuales presentan colores negros, marrones y verdosos, pueden o no contener vesículas, y tienen grados de alteración distintos; y clastos de tobas vítreas de colores blanco a verdoso y con vesículas aplastadas y orientadas.

Los niveles de tobas corresponden a tobas líticas o tobas vítreas, y presentan características similares a las vistas en los clastos de las brechas, mientras que los niveles sedimentarios son subordinados, y corresponden a areniscas volcanoclásticas.

Las andesitas de El Manzano se diferencian de las de El Romero y Esmeralda porque presentan baja abundancia de fenocristales con respecto a la masa fundamental, su masa fundamental contiene principalmente vidrio por sobre microlitos, y el tamaño de las amígdalas tiende a ser mucho más pequeña. La mineralogía es similar, aunque la biotita y anfíbol es escaso (Figura 6.20).

Las rocas intrusivas observadas en el área de estudio corresponden a diques microdioríticos y pórfido andesíticos. Ninguna de las distintas zonas de la mina presenta una asociación con un tipo de dique u otro. Su mineralogía se compone principalmente por plagioclasa, máficos como biotita y anfíbol alterados a clorita y abundante magnetita que en algunos casos se evidencia por magnetismo en la roca, en menor medida, se puede encontrar

piroxeno. Es posible encontrar ambos tipos de diques pervasivamente alterados, y con mineralización de cobre abundante, pero en general, son estériles o de baja ley (Figura 6.21).

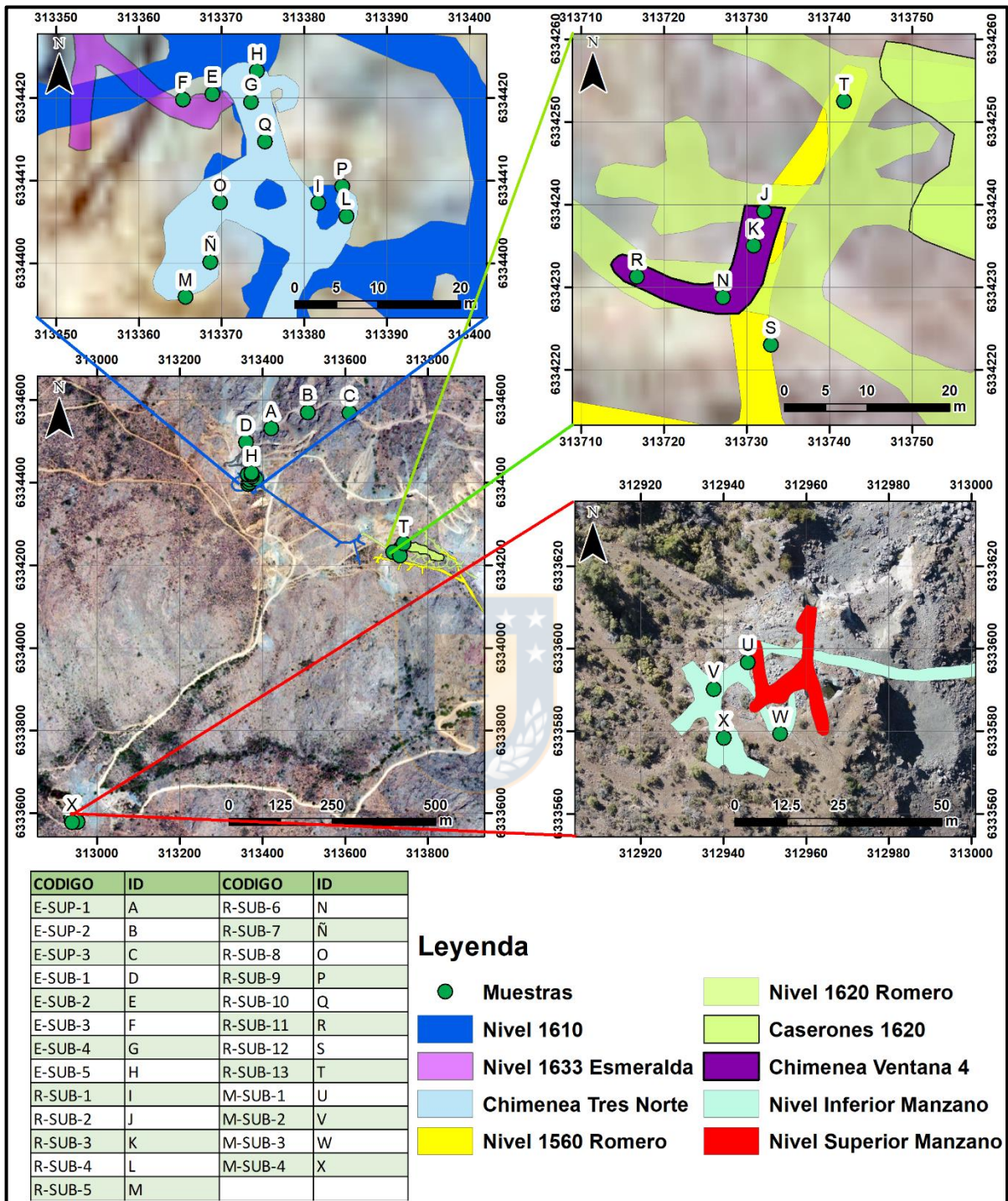


Figura 6.18: Mapa de ubicación de muestras. La tabla inferior izquierda muestra la correlación entre el código de muestra y la simbología del mapa.

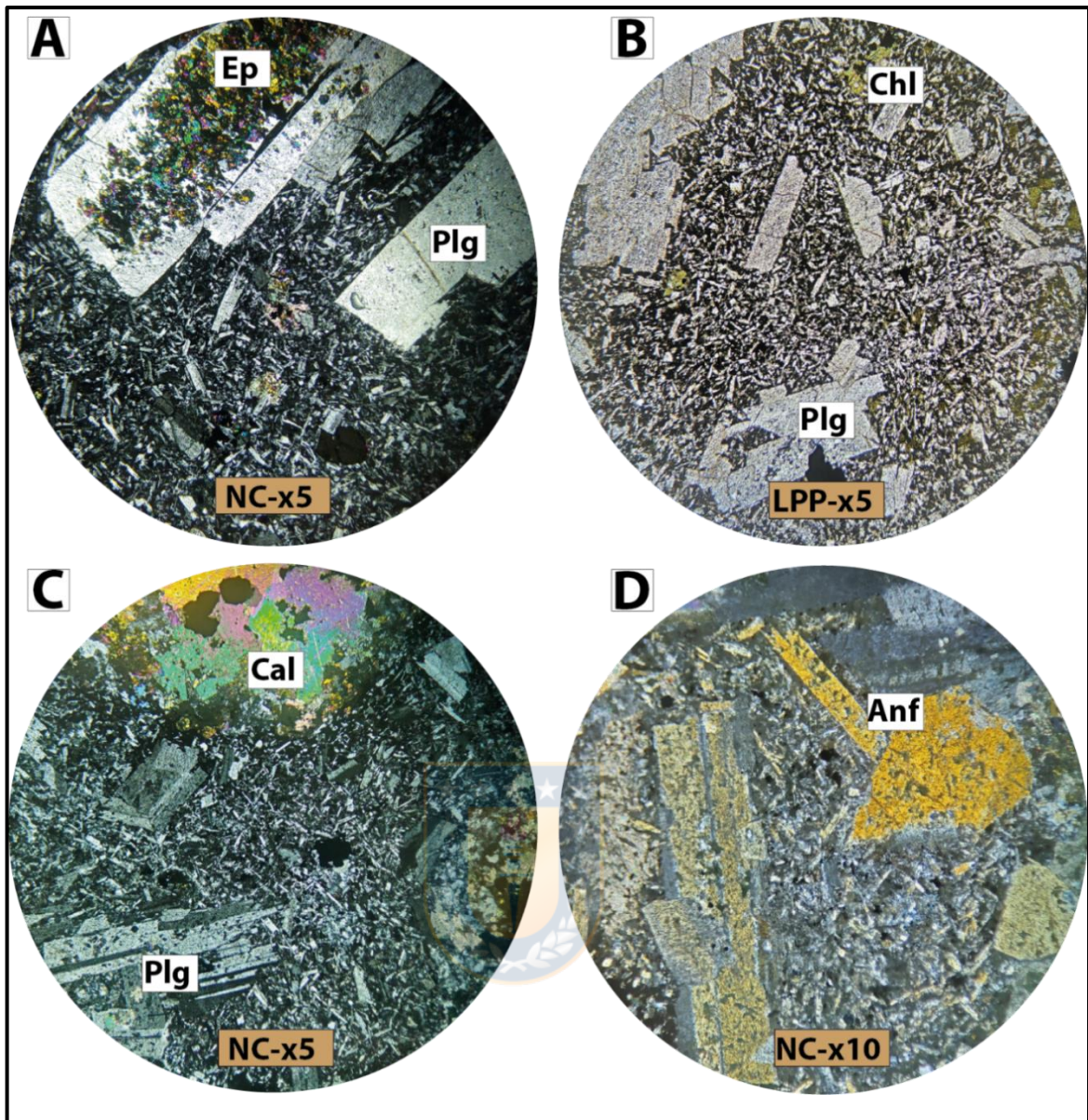


Figura 6.19: Litologías Esmeralda y El Romero. (A) Muestra E-SUB-4. Cúmulos de epidota reemplazando a plagioclasas. (B) Muestra E-SUB-5. Clorita alterando máficos de la masa fundamental. (C) Muestra R-SUB-4. Calcita relleno vesículas. (D) Muestra R-SUB-6. Fenocristales de anfíbol y plagioclasa. Plg: plagioclasa. Chl: clorita. Cal: Calcita. Anf: anfíbol LPP: luz polarizada plana. NC: nicoles cruzados. xN°: aumento.

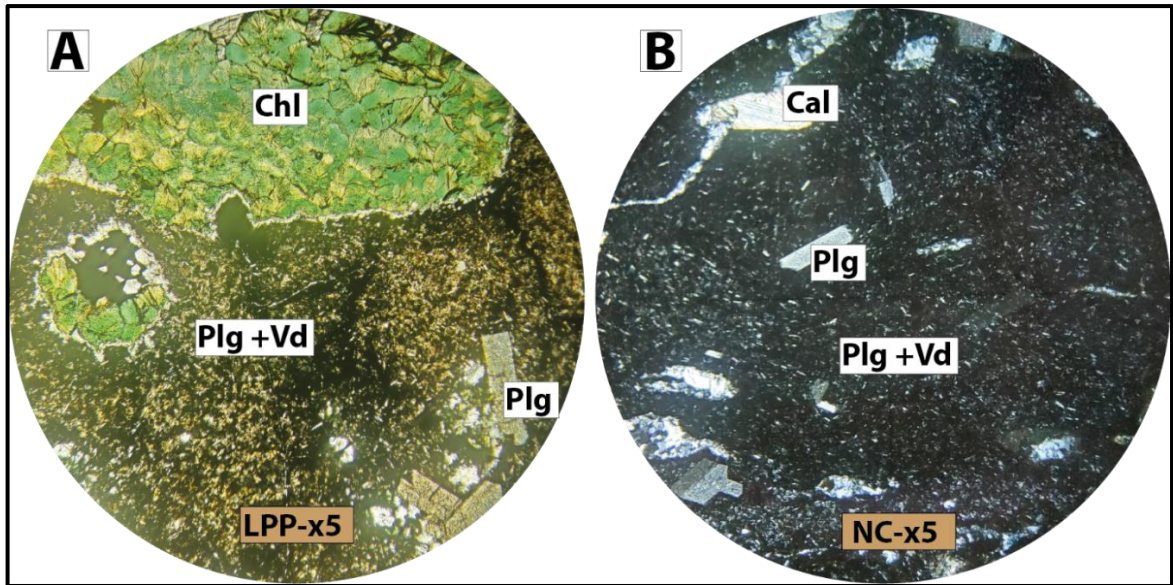


Figura 6.20: Litologías El Manzano. (A) Muestra M-SUB-1. Clorita como relleno de vesículas, masa fundamental con abundante vidrio. (B) Muestra M-SUB-2. Calcita en vetillas, masa fundamental con abundante vidrio. Plg: plagioclasa. Chl: clorita. Vd: vidrio. Cal: calcita. LPP: luz polarizada plana. NC: nicoles cruzados. xN<sup>o</sup>: aumento.

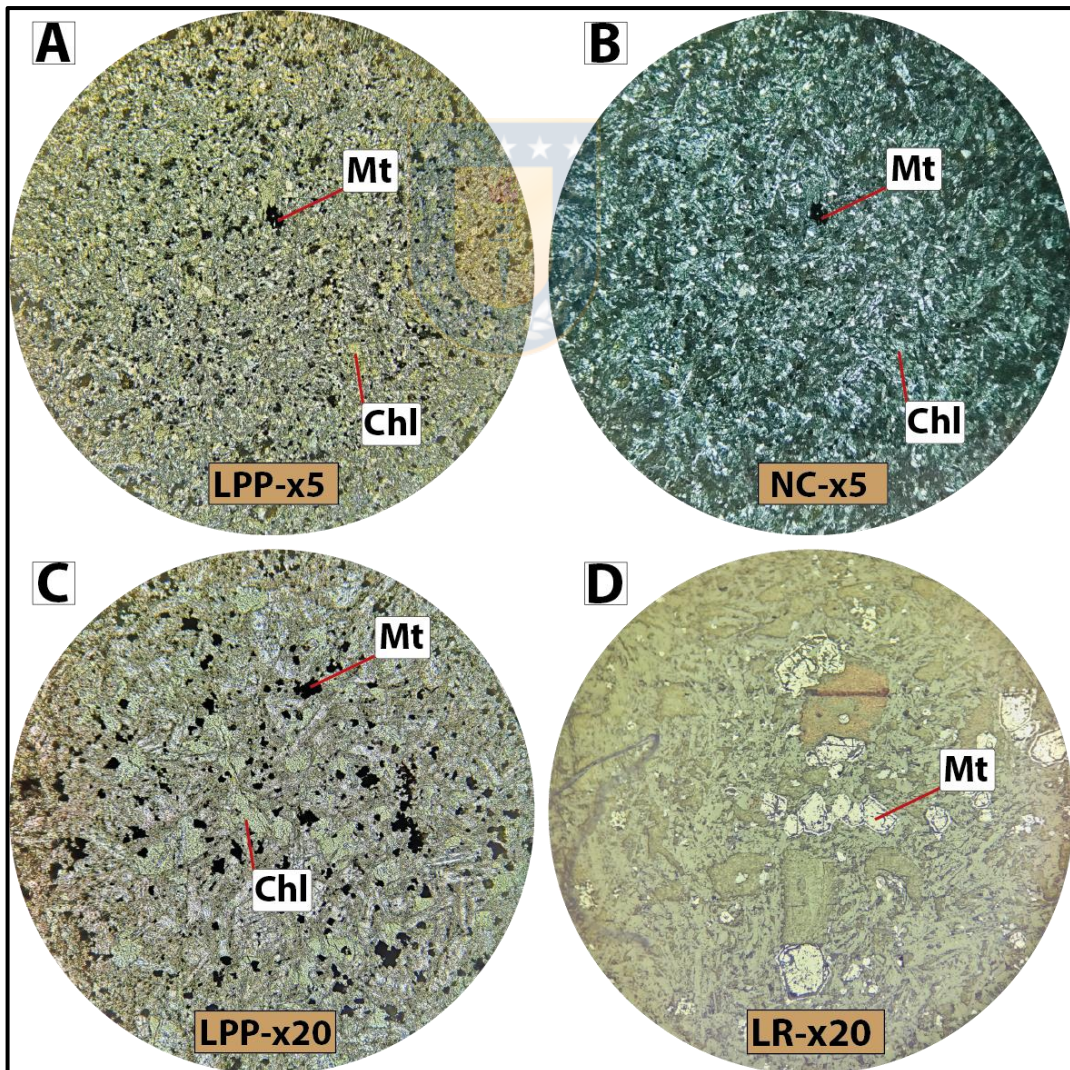


Figura 6.21: Diques microdioríticos con ferromagnesianos alterados a clorita, y gran contenido de magnetita. En (D) se aprecia zonación en la magnetita. (A y B) Muestra R-SUB-5. (C y D) Muestra R-SUB-9. Chl: clorita. Mt: magnetita. LPP: luz polarizada plana. NC: nicoles cruzados. xN<sup>o</sup>: aumento.

## 6.2.1 Mineralogía de alteración

### Clorita

En la mina El Olivo se han identificado dos tipos de clorita: la primera se encuentra alterando a los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental de las rocas volcánicas de la zona (clorita I) mientras que, la segunda variedad (clorita II) se encuentra relleno de fracturas y/o vesículas de las rocas volcánicas, alterando a intrusivos subvolcánicos, y en algunos casos, en estrecha asociación con calcita, epidota, cuarzo, magnetita, hematita y sulfuros de cobre (Figura 6.22).

La clorita es un mineral de ganga muy abundante en el depósito, y es la responsable de dar la coloración verdosa a las rocas del área de estudio, independientemente de su cercanía a los cuerpos mineralizados.

### Epidota

La epidota es un mineral muy abundante en las cercanías de los cuerpos mineralizados del depósito, se encuentra en forma de vetillas, como relleno de fracturas y vesículas donde tiene hábitos radiales, y como cúmulos en reemplazo de plagioclasa (Figura 6.23). Está asociada a clorita II, calcita II, hematita terrosa de color rojizo, cuarzo y sulfuros de cobre. Para el caso particular de Esmeralda, el alto grado de alteración en algunas zonas se asocia al desarrollo de grandes cristales de epidota y zonas de alta ley.

### Sericita

La sericita es un mineral poco abundante que se encuentra reemplazando plagioclasas en asociación con arcillas, se presenta como pequeños cristales diseminados sobre los fenocristales, y está presente en gran parte de las rocas del depósito, pero en baja concentración.

### Calcita

La calcita es el mineral de ganga más abundante del depósito incluso por sobre la epidota, se observan dos variedades en la mina El Olivo (Figura 6.24) la primera se encuentra como cúmulos reemplazando fenocristales de plagioclasa en las rocas volcánicas (calcita I) mientras que la segunda se encuentra relleno de poros, vesículas, fracturas o como vetillas que, en algunos casos, alcanzan grandes dimensiones (calcita II).

La calcita II se asocia a minerales como epidota, clorita II, hematita terrosa de color rojizo, cuarzo, y en algunos casos, sulfuros de cobre. Macroscópicamente pueden desarrollarse cristales prismáticos romboédricos bien formados, intercrecidos con cuarzo, y asociados a zonas de alta ley y grado de alteración, o bordes de diques. Al microscopio es posible observar su clivaje romboédrico característico.

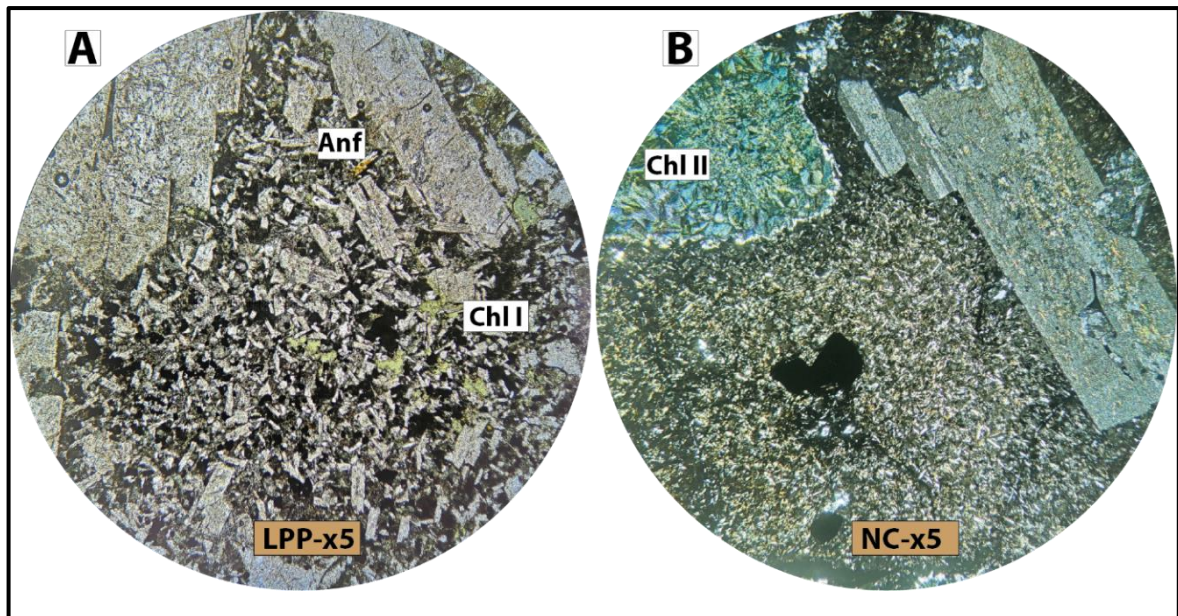


Figura 6.22: Ocurrencias y texturas de clorita. (A) Muestra R-SUB-7. (B) Muestra M-SUB-2. ChI: clorita. Anf: anfíbol LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xNº: aumento.

### Cuarzo

El cuarzo es un mineral poco abundante en las rocas de bajo grado de alteración donde generalmente se encuentra como pequeños cristales euhedrales relleno de cavidades, por el contrario, en las cercanías de zonas de alta ley o de alto grado de alteración, el cuarzo es abundante, forma cristales bien formados de tamaños mucho mayores, aunque también se encuentra de forma masiva relleno de vesículas e intercrecidos con calcita II y epidota.

El cuarzo de origen primario es escaso, y se encuentra como fenocristales en las rocas volcánicas del área.

### Magnetita

Gran parte de la magnetita presente en las rocas observadas es de origen primario (magnetita I), esta se encuentra diseminada en la masa fundamental de las rocas volcánicas, y en algunos casos, puede llegar a conformar cerca del 15% del total de la roca, lo que se expresa con un fuerte magnetismo.

Hay también magnetita de origen hidrotermal la cual se asocia al evento que dio origen a la mineralización de cobre (magnetita II), esta se encuentra como cúmulos o diseminada asociada a pirita, calcopirita, bornita y/o calcosina, o como cristalizada en los bordes de la magnetita I.

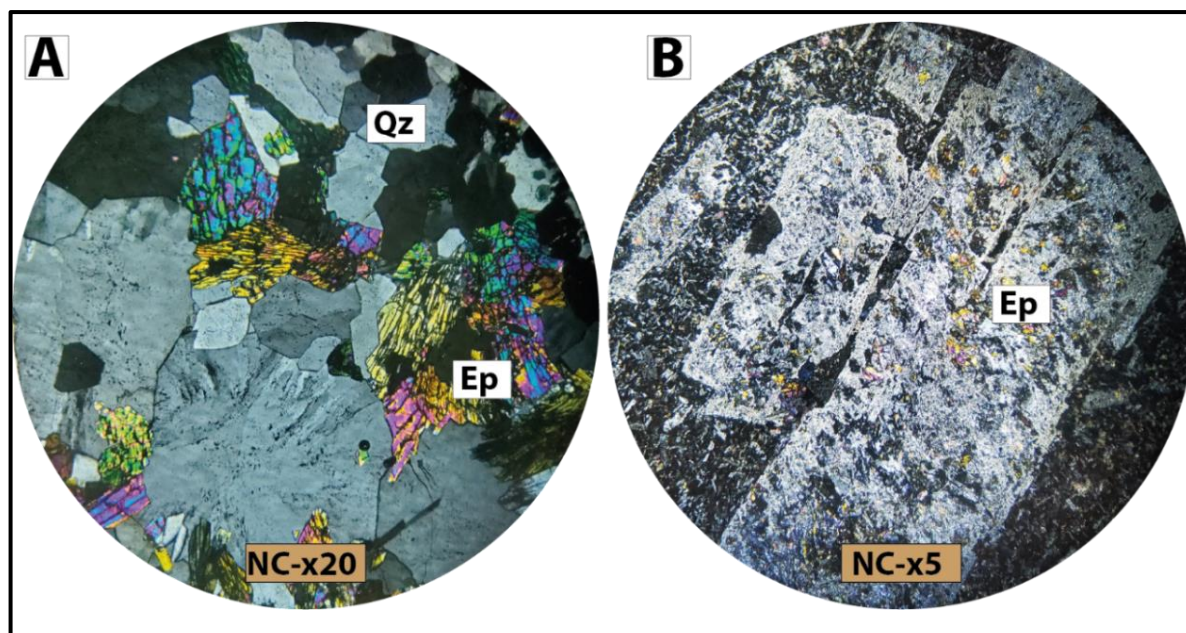


Figura 6.23: Ocurrencias y texturas de epidota. (A) Muestra E-SUB-4. (B) Muestra E-SUB-3. Qz: cuarzo. Ep: epidota. LPP: luz polarizada plana. NC: nículos cruzados. xN°: aumento.

### Hematita

En el depósito se identificaron dos variedades de hematita, el primer tipo (hematita I) se encuentra alterando los bordes y fracturas de cristales de magnetita (martitización) aunque en algunos casos puede reemplazarla completamente. El segundo tipo (hematita II) se encuentra relleno de cavidades, en forma de vetillas, relleno de planos de debilidad de la roca y diseminado tanto en sucesiones de rocas volcánicas como diques.

La segunda variedad de hematita es la más abundante, se puede presentar con hábito terroso, de color rojizo, asociada a zonas de alta ley; o con hábito hojoso, de color gris y brillo metálico (especularita). Se encuentra en paragénesis con clorita II, epidota, calcita II, calcopirita, bornita y calcosina y en algunos casos con feldespato potásico. La specularita es más común en el sector de El Romero.

### Feldespato potásico

El feldespato potásico se encuentra como reemplazo de las plagioclasas en las cercanías de algunas zonas de alta ley. Se ha observado que es mucho más abundante hacia la zona de El Romero donde se encuentra en paragénesis con clorita II, epidota, hematita terrosa, calcopirita y bornita. Macroscópicamente, se identifica con cristales tabulares de un leve, pero característico color rosado.

### Albita

La albita está presente en la mayoría de las rocas del depósito reemplazando fenocristales de plagioclasas tanto en zonas estériles como de alta ley.

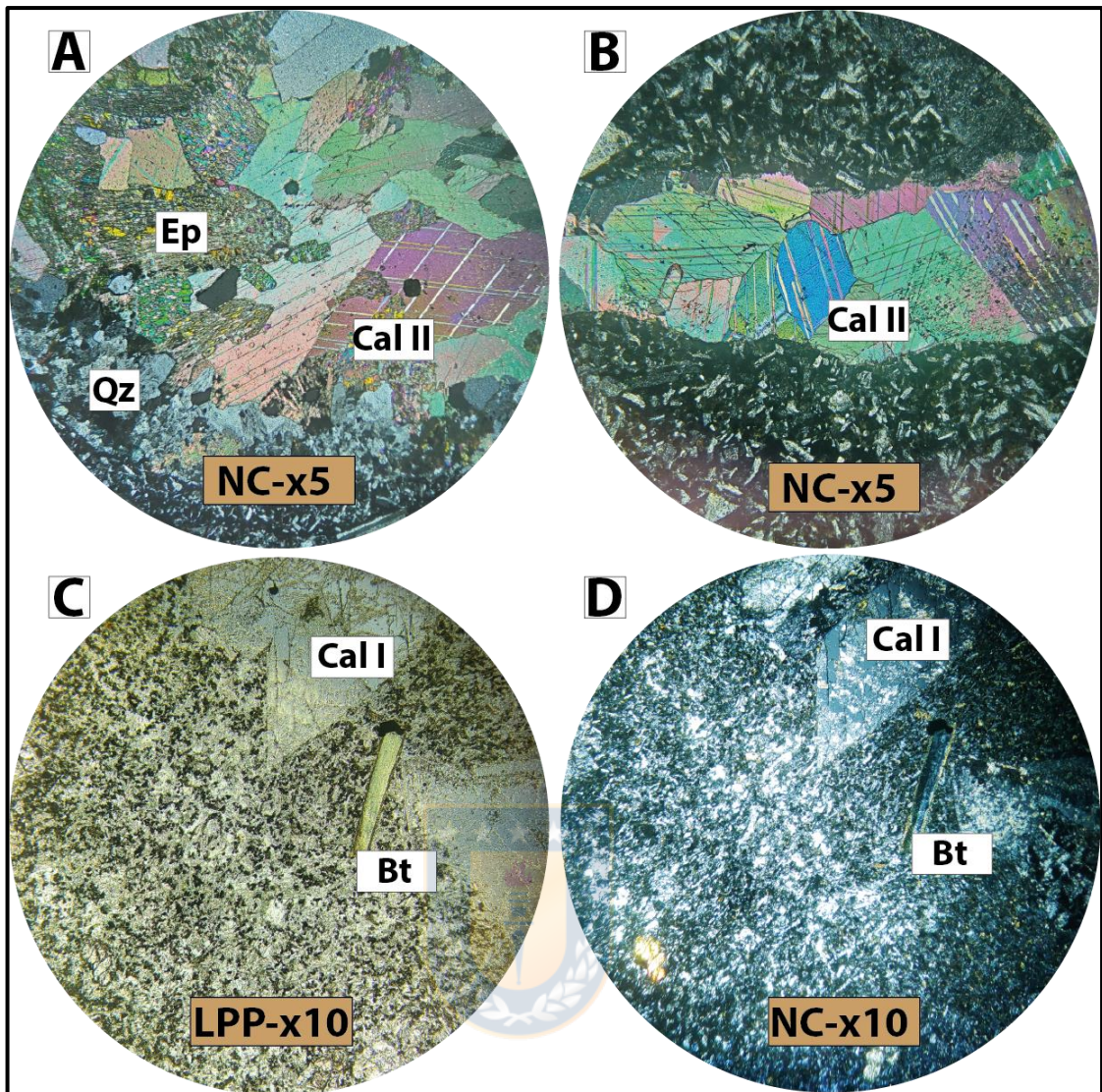


Figura 6.24: Ocurrencias y texturas de calcita. (A) Muestra R-SUB-4. (B) Muestra R-SUB-7. (C y D) Muestra R-SUB-12. Cal: calcita. Qz: cuarzo. Ep: epidota. LPP: luz polarizada plana. NC: nícoles cruzados. xN°: aumento.

### Apatito

El apatito es escaso, se encuentra como cristales euhedrales de forma hexagonal y prismática en los bordes de vesículas rellenas de epidota, clorita II y calcita II (Figura 6.25 A, B y C).

### Zeolitas

Se identificaron zeolitas con hábitos fibrosos y radiales reemplazando al vidrio de la masa fundamental, y como relleno de fracturas en andesitas. Aunque en general son escasas en el depósito (Figura 6.25 D).



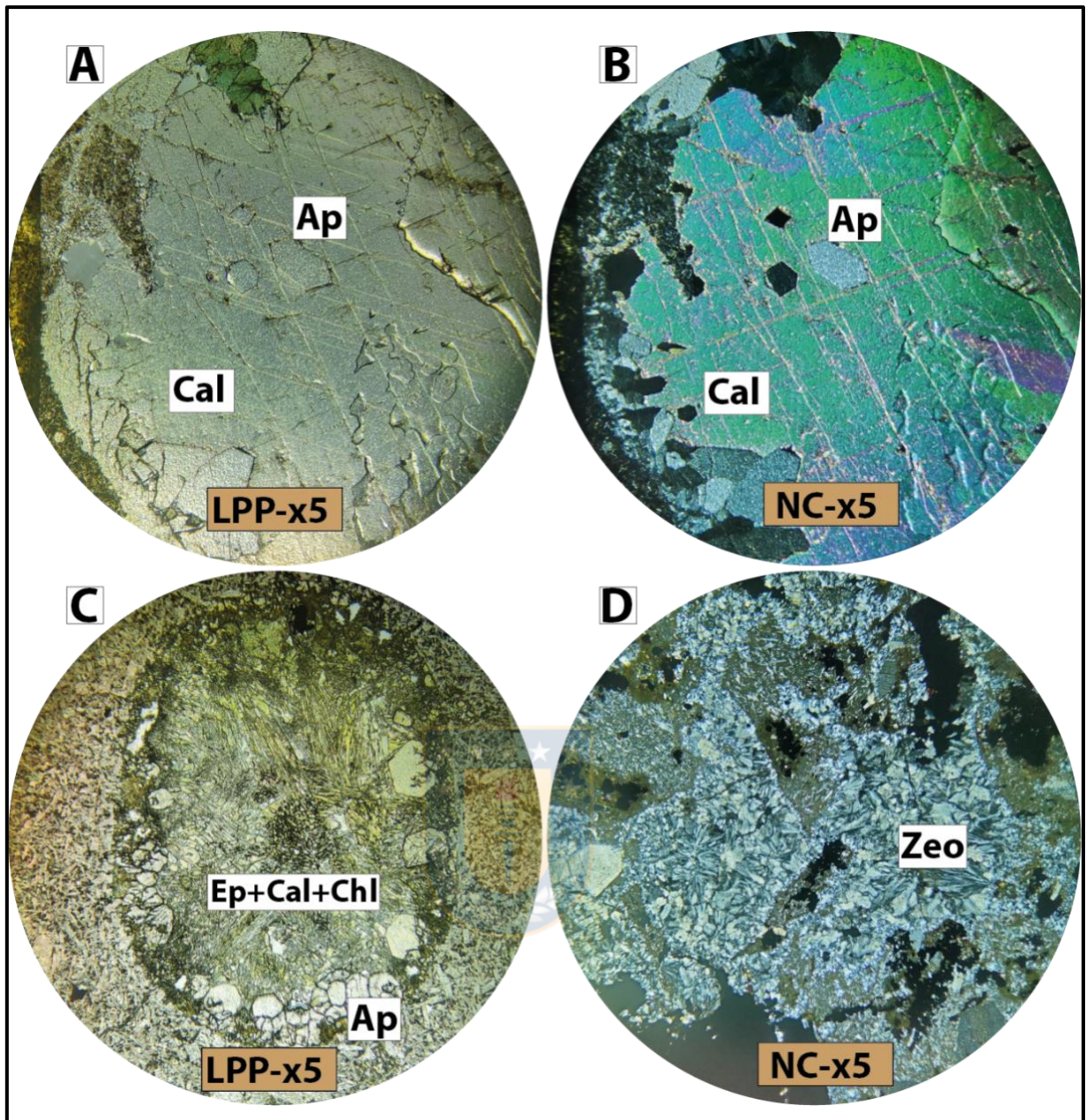


Figura 6.25: Ocurrencia y texturas de apatito y zeolitas. (A y B) Muestra M-SUB-2. (C) Muestra E-SUB-4. (D) Muestra R-SUB-3. Ap: apatito. Cal: calcita. Ep: epidota. Chl: clorita. Zeo: zeolita. LPP: luz polarizada plana. NC: nículos cruzados. xN°: aumento.

## 6.2.2 Mineralogía de mena

### Sulfuros de cobre

Los sulfuros de cobre presentes en el depósito corresponden a calcopirita, bornita y calcosina (Figura 6.26, 6.27 y 6.28). Estos minerales se encuentran principalmente en andesitas porfídicas amigdaloidales y ocoítas amigdaloidales como relleno de vesículas y/o diseminadas en la masa fundamental; en diques auto-metasomatizados donde se encuentran como vetillas, y en algunos casos, alojados en brechas volcánicas. Las rocas menos permeables pueden contener estos minerales en forma de vetillas y como relleno de planos de debilidad siempre que la roca

haya sido afectada por tectónica desarrollando permeabilidad secundaria, aunque generalmente, no suelen estar mineralizadas.

En las zonas de Esmeralda y El Romero, la bornita y la calcosina están vinculadas genéticamente y son de origen hipógeno, además, casi en la totalidad de los casos, ambos minerales se encuentran intercrecidos (Figura 6.27 F y Figura 6.28). En los núcleos de los cuerpos mineralizados, la proporción calcosina-bornita es alta, pero hacia la periferia disminuye. Hacia el área más externa de los cuerpos mineralizados, se observan zonas de paragénesis de bornita-calcopirita (Figura 6.26 y muestra R-SUB-7 en Anexos) calcopirita, y calcopirita–pirita (Figura 6.26 E).

Para el caso de El Manzano, la calcosina tiene un origen secundario, se encuentra reemplazando los bordes de la bornita hipógena, especialmente en las zonas donde hay vetillas (Figura 6.27 A) y en algunos casos, se encuentra en paragénesis con cobre nativo (Figura 6.29). La calcopirita también es de origen hipógeno, pero es escasa.

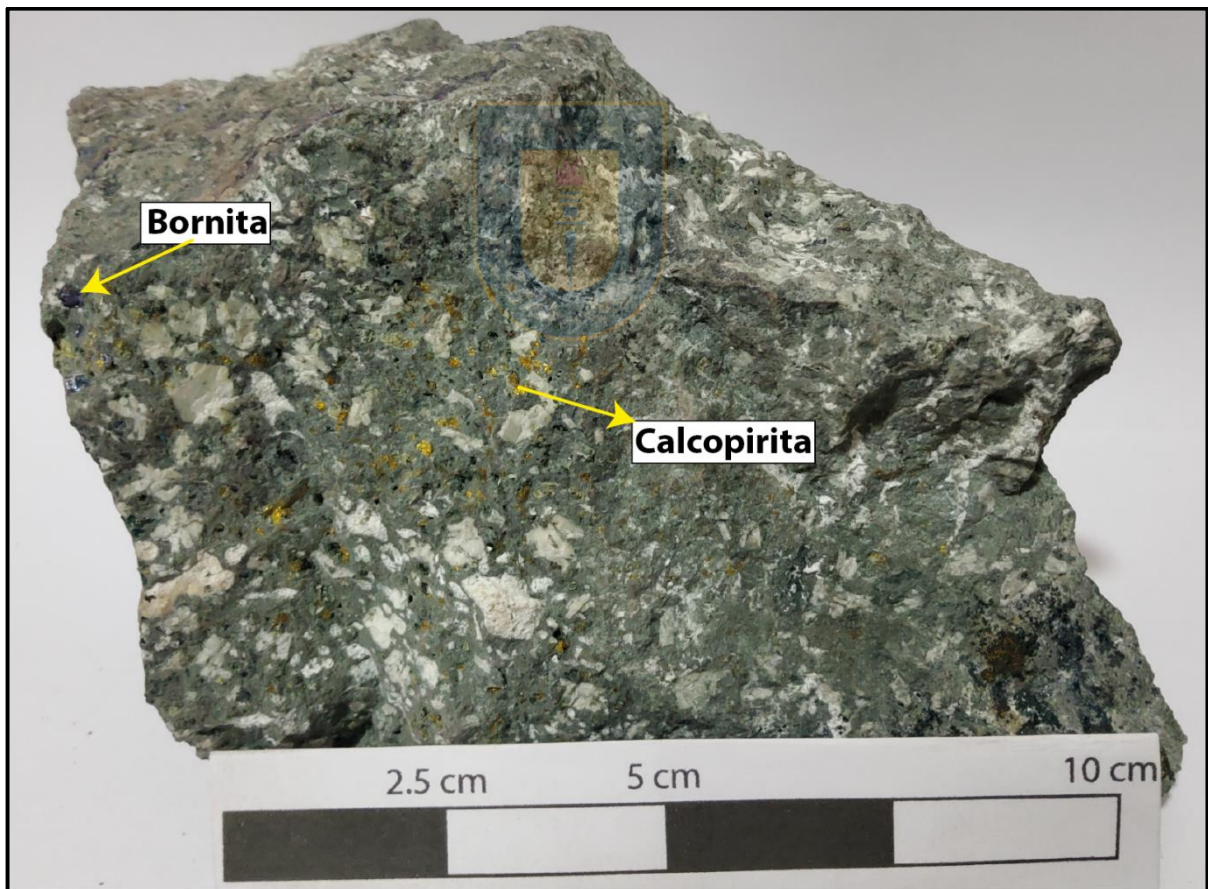


Figura 6.26: Paragénesis de bornita y calcopirita en andesita porfídica. Muestra R-SUB-11.

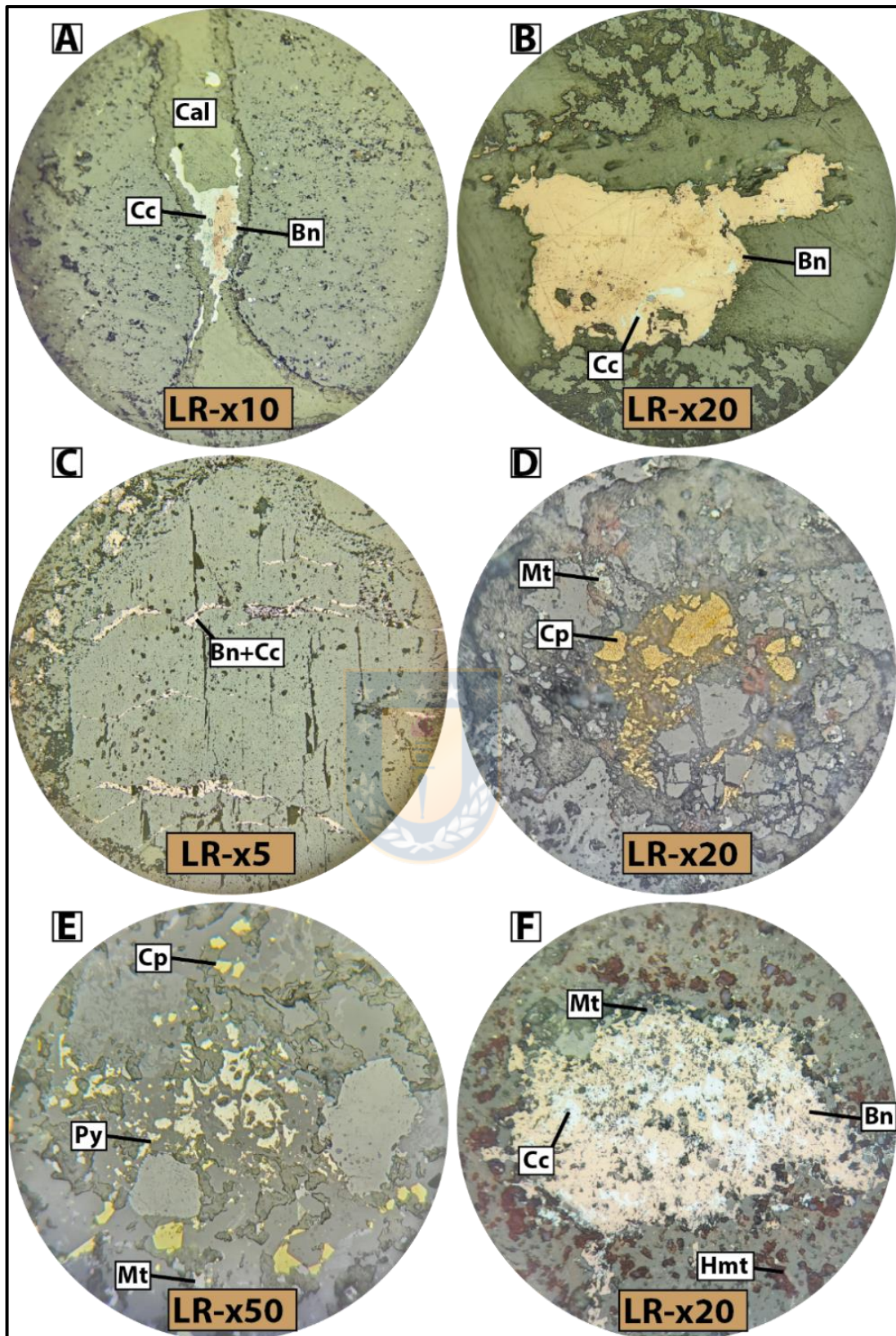


Figura 6.27: Ocurrencia y texturas de los sulfuros de cobre. (A) Muestra M-SUB-1. Reemplazo de bordes de bornita por calcosina. (B) Muestra R-SUB-5. Inclusiones de calcosina en bornita. (C) Muestra R-SUB-3. Vetillas de bornita y calcosina. (D) Muestra R-SUB-7. Cúmulos de calcopirita. (E) Muestra E-SUB-3. Paragénesis de pirita y calcopirita. (F) Muestra R-SUB-4. Intercrecimiento de calcosina y bornita. Cal: calcita. Cc: calcosina. Bn: bornita. Mt: magnetita. Cp: calcopirita Py: pirita LR: luz reflejada. xN°: aumento.

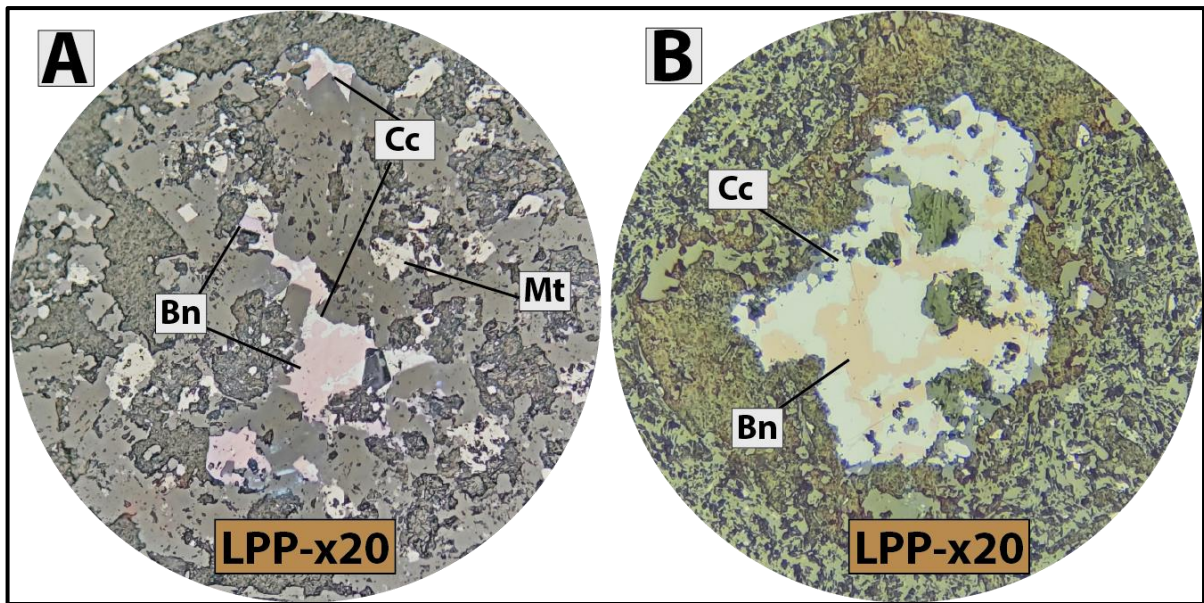


Figura 6.28: Intercrecimiento de calcosina y bornita. (A) Muestra R-SUB-7. (B) Muestra R-SUB-9.

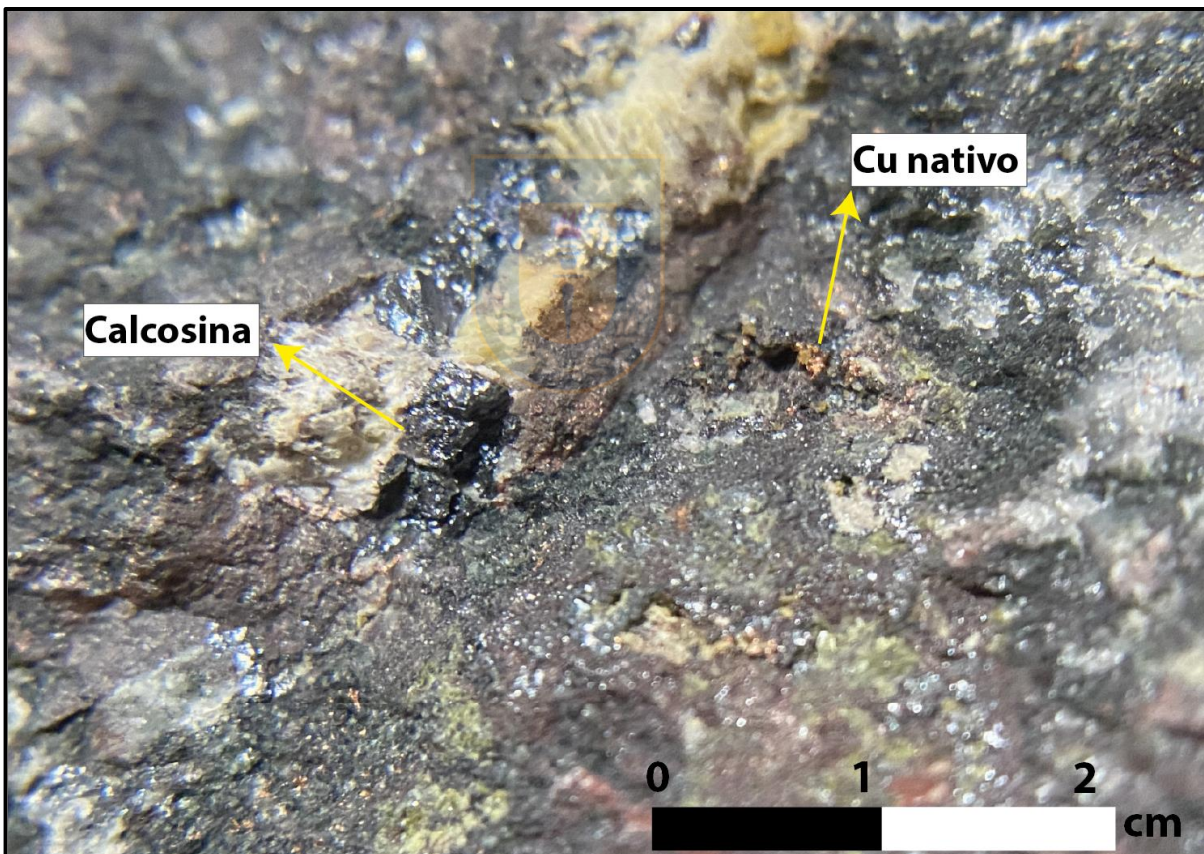


Figura 6.29: Paragénesis de cobre nativo y calcosina en andesíticas porfídicas. Muestra M-SUB-4. Zoom x10.

### Oxidados de cobre

Los oxidados de cobre se distribuyen en las zonas superficiales de todo el yacimiento, aunque su concentración es mayor en el sector de El Manzano. Su mineralogía se compone de atacamita, crisocola, dioptasa, malaquita, azurita y tenorita en paragénesis con arcillas y óxidos e hidróxidos de hierro y manganeso (Figura 6.30). Los oxidados de cobre se encuentran

diseminados o como pátinas en brechas volcánicas, andesitas porfídicas amigdaloidales y ocoítas amigdaloidales, aunque también se encuentran de manera masiva, y en menor medida, en vetillas. Las zonas afectadas por tectónica tienen mayor desarrollo de oxidados de cobre.



Figura 6.30: Oxidados de cobre en afloramiento de andesitas porfídicas amigdaloidales. Sector El Manzano.

### 6.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A partir de la integración de todos los datos estructurales obtenidos de fallas y diques en terreno, se realizaron diagramas de roseta y de polos para estimar la tendencia general de los principales sistemas estructurales que afectan al área de estudio (Figura 6.27).

Los resultados muestran que las estructuras tienen orientaciones preferentes N20°W, N50°E y N20°E, aunque solo los primeros dos corresponden a las fallas de mayor envergadura vistas en terreno, por lo que estas direcciones se asociarían con los principales sistemas de estructuras de la zona. La familia de estructuras N50°E muestra una tendencia general en sus manteos, los cuales se orientan hacia el noroeste, por otro lado, la familia N20°W muestra inclinaciones pronunciadas tanto hacia el noreste como el suroeste.

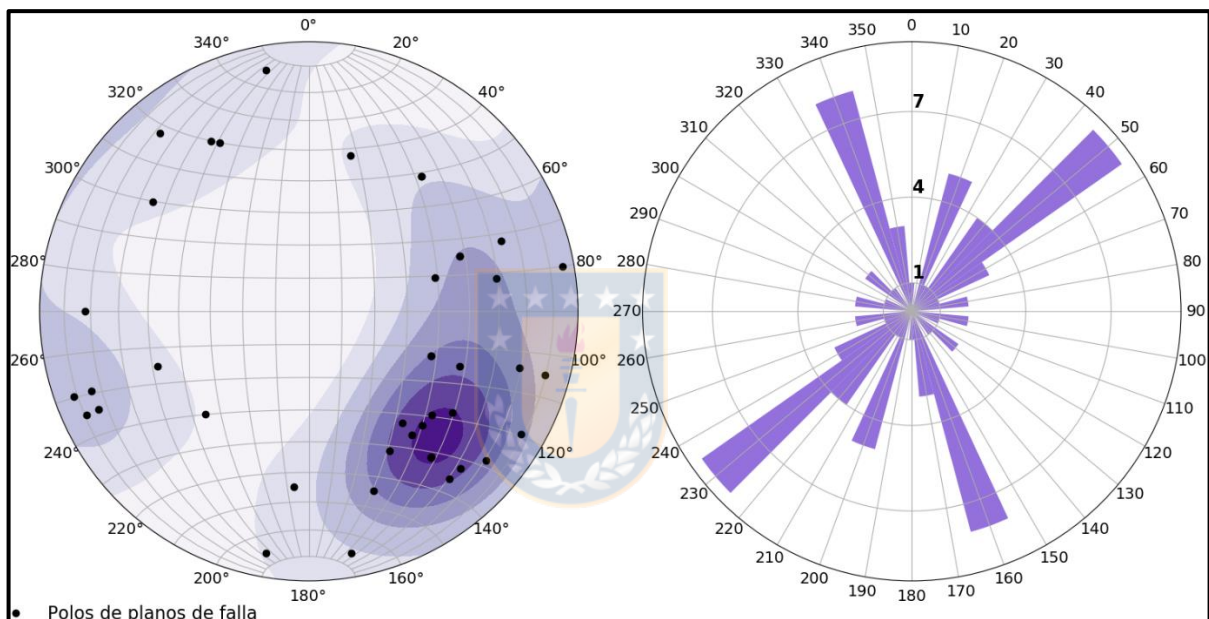


Figura 6.31: Diagrama de polo y de rosas. El diagrama de rosas agrupa datos de estructuras cada 10°. Las medidas utilizadas se incluyen en el Anexo.

Las evidencias observadas en las zonas de El Llano y el nivel 1633 de El Romero indican a que ambos sistemas de fallas, N20°W y N50°E, tienen un comportamiento normal-dextral y normal-sinistral respectivamente, siendo este último más reciente debido a que corta al sistema N20°W, por otra parte, el sistema N20°W presenta estructuras de mayor envergadura en la zona de Esmeralda mientras que en Romero las estructuras mayores están asociadas a El Romero.

## **7.DISCUSIÓN**

### **7.1. CONTROLES DE MINERALIZACIÓN**

Para conocer la forma y distribución de los cuerpos de mena, es necesario identificar qué factores son los que controlan la mineralización. Integrando la información recopilada en la presente memoria, es posible reconocer dos controles de mineralización claros: un control estructural y un control litológico.

El control estructural se asocia a los principales sistemas de fallas, los cuales funcionan como conductos que facilitaron el emplazamiento de intrusivos subvolcánicos (diques) y que focalizaron los fluidos hidrotermales responsables de la precipitación de minerales de cobre. Esto se reconoce en la zona de Esmeralda, donde los diques mineralizadores se emplazan siguiendo la orientación del sistema de falla N20°W, mientras que, en el sector de El Romero se emplazan siguiendo el sistema N50°E. Por otra parte, la intersección de los diques mineralizados con estructuras preexistentes asociadas o no a los sistemas previamente mencionados favorece la formación de zonas de mayor ley que en el resto del depósito, especialmente cuando afectan a litologías permeables.

Pese a que las fallas serían las responsables de focalizar los fluidos mineralizadores, los cuerpos de mena no siguen una orientación totalmente concordante con ellas, por lo que este no sería el único factor que condicionaría la morfología de estos, en este caso, la litología también desempeñaría un rol importante. Las principales litologías que albergan mineralización y que están asociadas a las zonas de mayor ley en el depósito corresponden a andesitas porfídicas amigdaloidales, ocoítas amigdaloidales y andesitas porfídicas tectonizadas, estas rocas funcionarían como horizontes favorables para la mineralización, ya que contarían con la permeabilidad suficientes para permitir el paso de las soluciones, y alta porosidad que brinda el espacio para la precipitación de la mena como relleno de fracturas y vesículas.

Debido a que los horizontes favorables son desplazados por los sistemas de falla, todo cuerpo mineralizado que se forme posterior a la dislocación de los estratos, y que se aloje en estas rocas, estará condicionado a tener una forma irregular.

### **7.2. CRONOLOGÍA DE EVENTOS DE MINERALIZACIÓN**

A partir de la descripción de las muestras de mano y secciones transparente pulidas, es posible establecer asociaciones entre las distintas fases minerales con el fin de dilucidar los eventos de alteración y mineralización que dieron origen al yacimiento. Con la información obtenida se confecciona un cuadro paragenético donde se muestra la cronología de eventos y mineralogía asociada (Figura 7.1).

### **Metamorfismo de bajo grado**

Las secuencias volcánicas de El Olivo, independiente de su cercanía a los cuerpos mineralizados, presentan un pequeño grado de alteración que no está vinculado al evento hidrotermal principal que da origen a las zonas ricas en cobre. Este evento de alteración estaría asociado a metamorfismo regional de bajo grado que en un principio habría dado origen a zeolitas y posteriormente, con el aumento de la presión y temperatura, habría originado clorita I y calcita I y albita.

### **Evento hidrotermal principal**

Sobreimpuesto al metamorfismo de bajo grado, se desarrolla el evento hidrotermal principal de mineralización donde precipita, calcosina, bornita y calcopirita, en asociación con calcita II, clorita II, epidota, cuarzo, albita y cantidades menores de pirita y apatito. La asociación de minerales de ganga es muy similar a la alteración propilítica propuesta para pórfidos cupríferos, aunque en algunas zonas también es posible encontrar cantidades menores de sericita y feldespatos potásicos relacionada con la mineralización.

El evento hidrotermal principal es epigenético, y se puede dividir en dos etapas, una temprana relacionada a la precipitación de sulfuros de alta concentración de cobre como calcosina y bornita en los núcleos de los cuerpos de mena y fallas en donde además los diques mineralizadores se alteran producto de auto-metasomatismo; y una etapa tardía asociada a la evolución de los fluidos hidrotermales mineralizadores a soluciones empobrecidas en cobre de las cuales precipitan sulfuros como calcopirita y pirita en las zonas periféricas de los cuerpos (Figura 7.1). Para el caso de los óxidos de hierro, en la etapa temprana de mineralización precipita magnetita II en asociación con los minerales de cobre mientras que, en la etapa tardía, parte de la magnetita II es alterada a hematita I, y precipita hematita II (terrosa y especular). El emplazamiento de los diques estériles sería posterior al evento mineralizador.

### **Alteración Supérgena**

En los niveles superficiales asociados a los cuerpos mineralizados de todo el depósito, se observa el desarrollo de amplias zonas de alteración supérgena producto del intemperismo, las cuales se superponen al metamorfismo de bajo grado y al evento hidrotermal principal. Estas zonas se relacionan con la presencia de minerales oxidados de cobre en paragénesis con óxidos e hidróxidos de hierro - manganeso, y arcillas.

Para el caso de El Romero y Esmeralda, la formación de oxidados de cobre pareciera haber ocurrido *in situ* ya que no hay evidencias de movilización de fluidos hacia niveles inferiores ni formación de zonas de enriquecimiento de cobre, por el contrario, en el caso de El



Manzano, si hay desarrollo de zonas de enriquecimiento secundario en donde hay presente cobre nativo y reemplazo de bornita por calcosina.

	Roca Original	Metamorfismo regional de bajo grado	Evento hidrotermal principal		Alteración supérgena
			Etapa temprana	Etapa Tardía	
Plagioclasa	————				
Anfibol	————				
Biotita	————				
Zeolitas		— — — —			
Clorita		—	————		
Calcita		—	————		
Epidota			————		
Cuarzo			————		
Albita			————		
Sericita			— — — —	— — — —	
Feldespato K			————		
Apatito			— — — —	— — — —	
Magnetita	————		— — — —		
Hematita				— — — —	
Calcosina			— — — —		— — — —
Bornita			— — — —		
Calcopirita				— — — —	
Pirita				— — — —	
Atacamita					— — — —
Crisocola					— — — —
Dioptasa					— — — —
Malaquita					— — — —
Azurita					— — — —
Tenorita					— — — —
Arcillas					————
Hidroxidos Fe -Mn					————

Figura 7.1: Cuadro paragenético de los eventos mineralizadores del yacimiento. La línea punteada indica concentración del mineral inferior al 5%.

### 7.3. MODELO CONCEPTUAL DE MINA EL OLIVO

Como se mencionó anteriormente, la mineralización en la mina El Olivo está emplazada en andesitas y ocoítas de distintas texturas además de brechas y tobas, estas sucesiones volcánicas presentan metamorfismo regional de bajo grado, y corresponderían a la Formación Veta Negra del Cretácico Inferior (Thomas, 1958) específicamente al miembro Ocoa. Los datos recabados en terreno indican que estos estratos tienen una actitud N10°W/70°NE, y que hay dos sistemas de fallas principales afectando a los paquetes de roca y controlando la mineralización, estos corresponden a los sistemas N20°W y N50°E, de cinemática normal, y originados en fases tectónicas extensivas. Hay una tercera familia de estructuras de orientación N20°E, pero es de menor envergadura y no controlaría de forma importante la mineralización salvo en las zonas en las que corta a los otros sistemas.

Ambos sistemas de fallas principales son utilizados como conductos donde se emplazan tanto los diques mineralizadores como los estériles, estos intrusivos subvolcánicos se formarían a partir de cuerpos magmáticos de mayor envergadura hacia profundidad, y que estarían relacionados con la Super Unidad Illapel (Rivano y otros, 1985). No hay una relación clara entre la composición, textura y potencial mineralizador de los diques, todos los diques observados son microdioríticos o pórfido andesíticos, y en ambos casos, pueden o no portar mineralización.

La mena corresponde principalmente a sulfuros hipógenos como calcosina, bornita y calcopirita, estos minerales se emplazan en torno a los diques mineralizadores donde se forman núcleos ricos en cobre asociados a abundante hematita y zonas periféricas de menor ley asociadas a epidota por sobre hematita. La morfología de los cuerpos está condicionada tanto por la estructura como por el grado de porosidad y permeabilidad de la roca de caja. Desde el centro hacia la periferia las zonas mineralizadas se dividen en: calcosina-bornita, bornita-calcopirita, calcopirita-pirita, pirita.

En las distintas áreas del yacimiento, la morfología y distribución de los cuerpos mineralizados cambia drásticamente, mientras que en Esmeralda la elongación de los cuerpos coincide aproximadamente con la orientación de los estratos, en la zona de El Romero la elongación de los cuerpos tiende a ser aproximadamente EW. Lo anterior puede ser explicado a través de la relación entre la orientación de los estratos y la orientación de los diques mineralizadores.

En la zona de Esmeralda los diques mineralizadores se emplazan en el sistema de fallas N20°W, donde la actitud de las estructuras es cercana a la actitud de los estratos, esto provoca que gran extensión de la litología que es favorable para la mineralización (rocas amigdaloidales) sea afectada por la estructura, esto permitió que los fluidos canalizados se alojen casi totalmente en ese nivel estratigráfico aprovechando el espacio disponible de las vesículas (Figura 7.2 y Figura 7.3) y generando cuerpos subverticales con una elongación cercana a NS. Esto es consistente con lo visto en terreno ya que el mayor cuerpo mineralizado del sector, correspondiente al explotado por el caserón BK12, es posible interceptarlo en coordenadas similares en la rampa cuatro norte, nivel 1610, chimenea tres norte y nivel 1633, pero a distintas cotas.

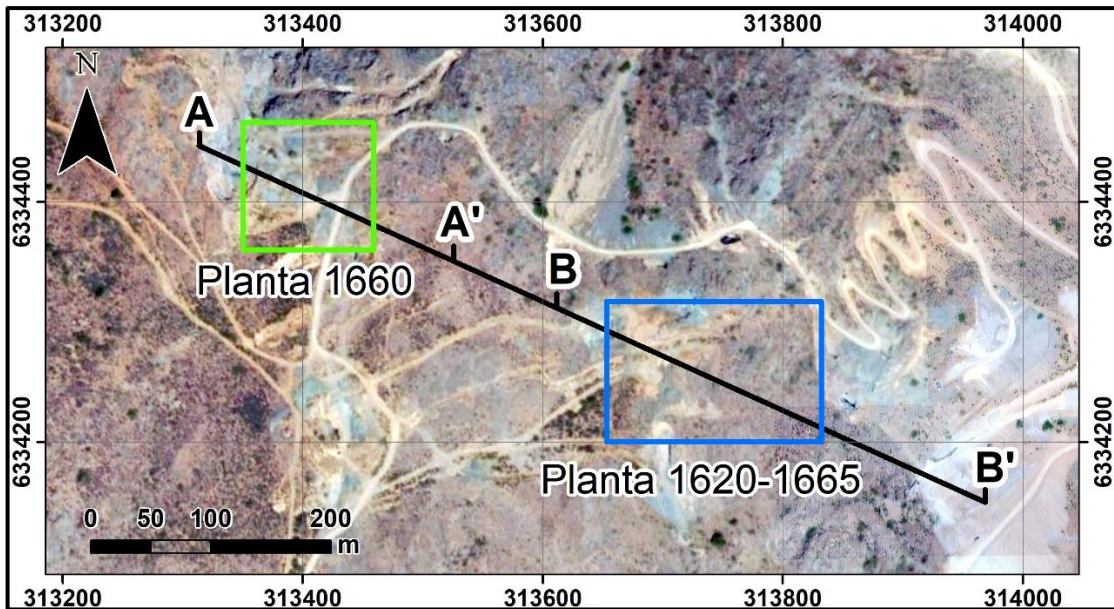


Figura 7.2: Imagen satelital de mina El Olivo con ubicación del perfil A-A' y B-B'.

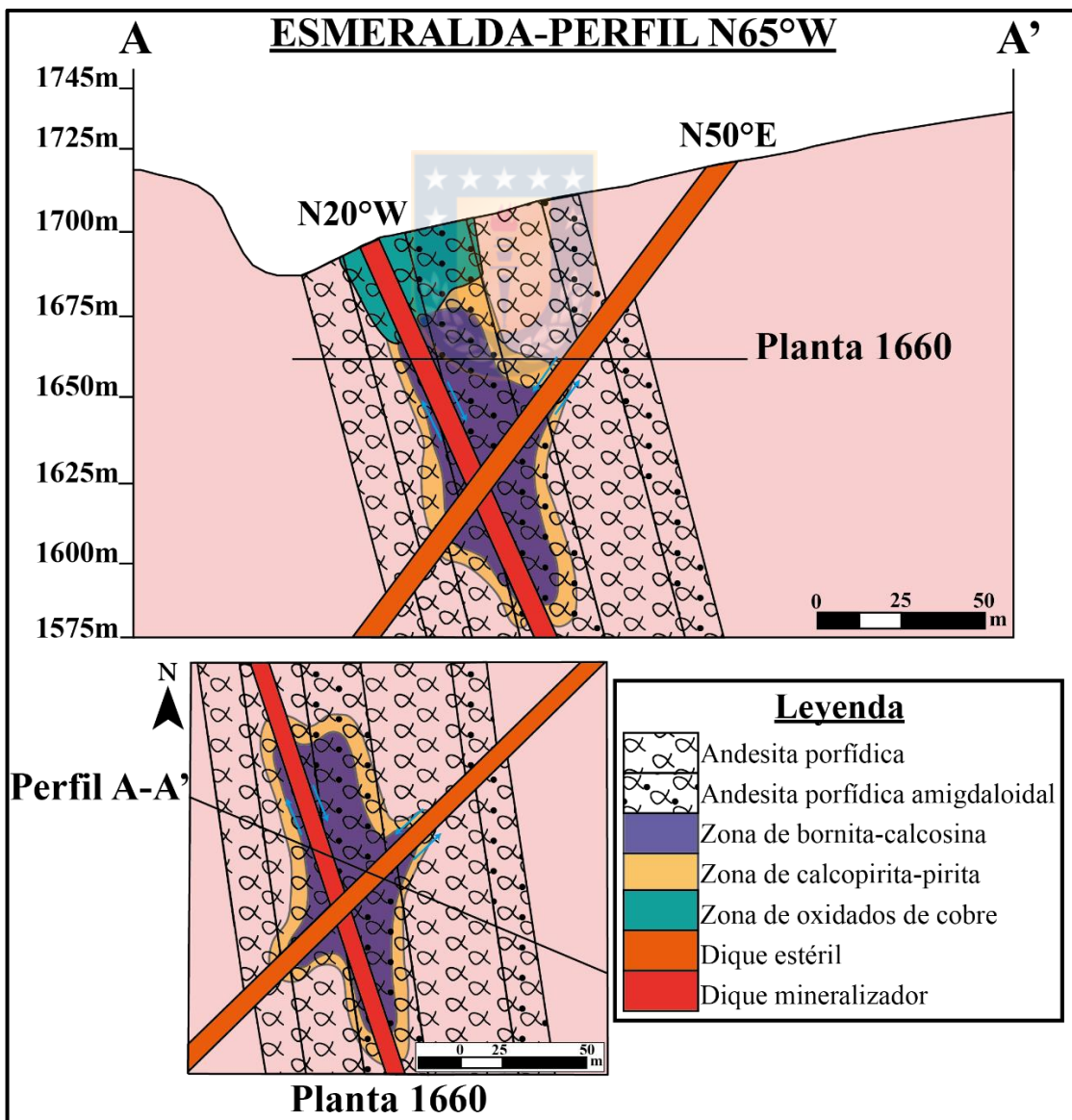


Figura 7.3: Perfil esquemático de cuerpos de mena presentes en Esmeralda.

Por otra parte, en el caso de El Romero, los diques que mineralizan se emplazan siguiendo el sistema de fallas N50°E, el cual tiene un ángulo mayor con respecto a la orientación de los estratos, esto provocaría que una mayor cantidad de litologías sean afectadas, pero con una menor zona de contacto con el dique. El resultado sería que los fluidos mineralizadores canalizados por la estructura se hospeden en una mayor cantidad de litologías, aunque concentrándose en los horizontes favorables, esto explicaría por qué en esta zona la elongación del cuerpo de mena tiende a ser EW, y por qué existen intercalaciones de zonas de alta y baja ley en áreas tan acotadas (Figura 7.2 y Figura 7.4).

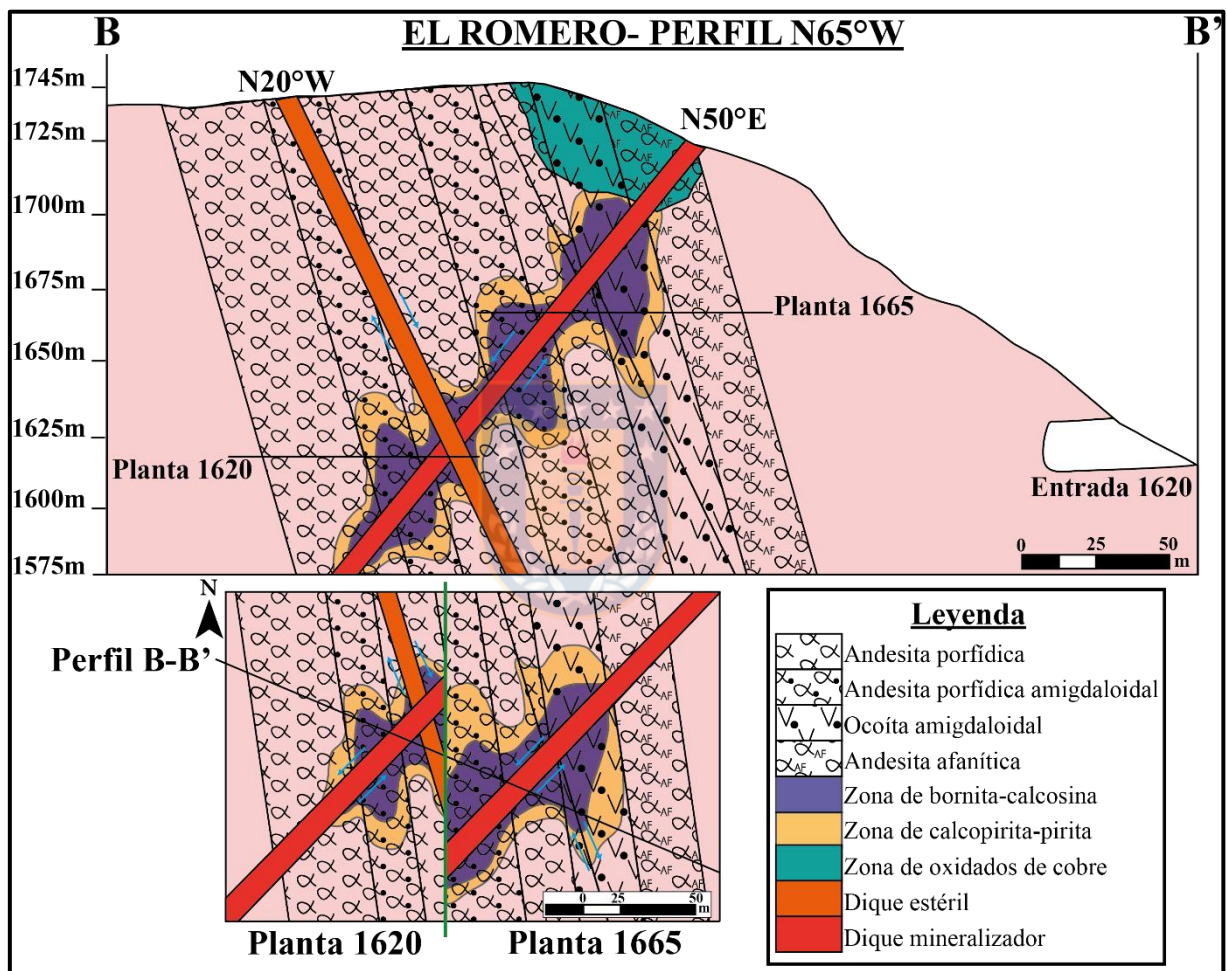


Figura 7.4: Perfil esquemático de cuerpos de mena presentes en El Romero.

En ambos casos, cercano a la superficie se desarrollan zonas de oxidación con una concentración considerable de óxidos de cobre, y que se hacen más profundas en las zonas cercanas a estructuras.

El caso de El Manzano es distinto, la concentración de óxidos de cobre en superficie es mucho mayor que en Esmeralda y El Romero, y es posible que haya habido desarrollo local de horizontes de enriquecimiento supérgeno, evidencia de esto es la presencia en profundidad de cobre nativo y de calcosina reemplazando a bornita. Lo anterior podría significar que el sector

de El Manzano presenta un perfil enriquecimiento secundario donde las zonas lixiviada y de enriquecimiento en hierro (gossan) fueron erosionadas dejando solo las de oxidación y enriquecimiento secundario de cobre y que, además, en profundidad podría haber cuerpos asociados a sulfuros hipógenos (Figura 7.5). Pese a lo anterior, el enriquecimiento sería solo local, y las zonas lixiviadas no abarcarían gran extensión, esto podría deberse a la baja presencia de pirita en el yacimiento o a factores geomorfológicos que favorecen la percolación de fluidos solo en el sector de El Manzano. Por otra parte, no fue posible determinar la disposición de los cuerpos de mena debido a la falta de información.

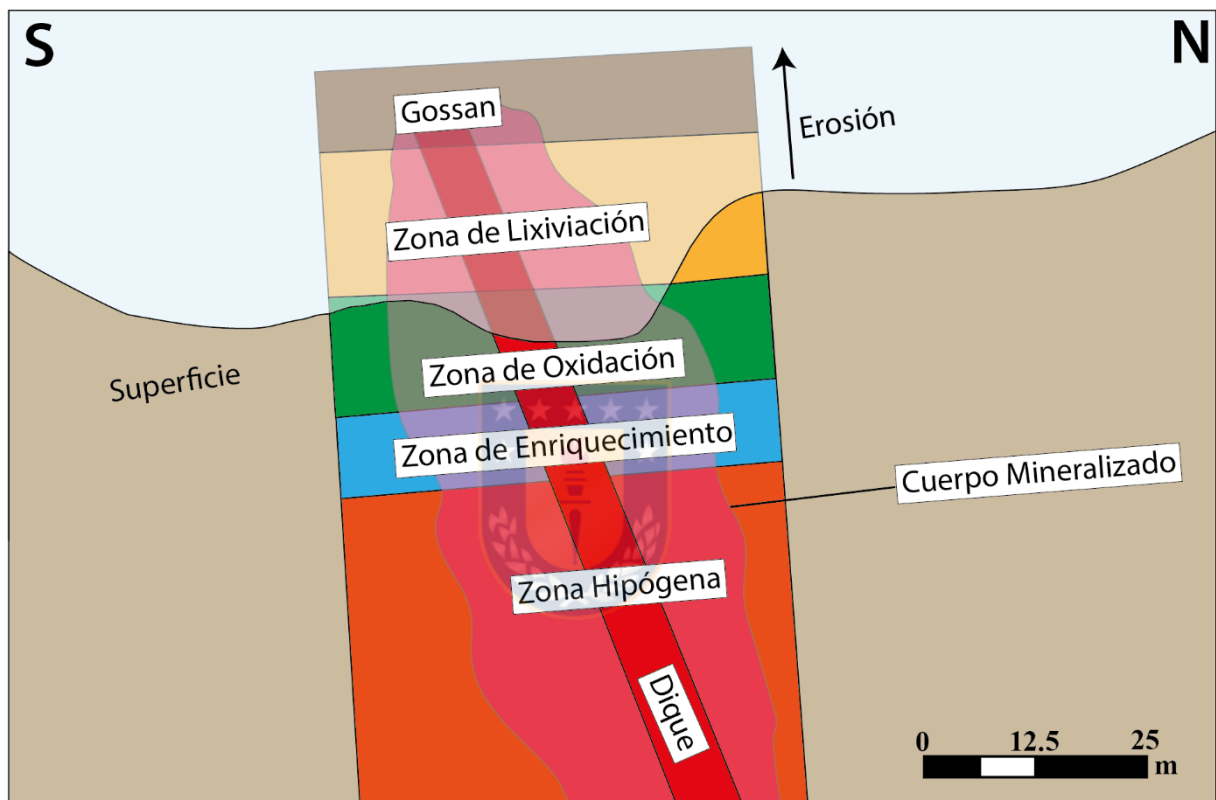


Figura 7.5: Modelo conceptual para zona de El Manzano. Las zonas de gossan y lixiviación se encuentra erosionadas quedando solo los niveles inferiores del perfil de enriquecimiento. La existencia de la zona hipógena es incierta.

#### 7.4. COMPARACIÓN BIBLIOGRÁFICA

Muchas de las características observadas en el depósito se adaptan a los modelos planteados en la literatura para depósitos estratoligados de Cu-Ag del Jurásico a Cretácico Inferior, entre ellas se encuentran que la mineralización está vinculada a un nivel estratigráfico correspondiente o asociado a rocas volcánicas y/o volcanoclásticas (Sato, 1984; Maksaev y Zentilli, 2002; Boric, 2002; Kojima y otros, 2009); las rocas hospedantes están afectadas por metamorfismo de bajo grado previo al evento mineralizador (Sato, 1984; Maksaev y Zentilli, 2002); la mena principal corresponde a calcosina, bornita y calcopirita (Sato, 1984; Maksaev y Zentilli, 2002; Boric, 2002; Kojima y otros, 2009) y la mineralización ocurre en poros y/o

amígdalas (Sato, 1984; Makshev y Zentilli, 2002; Kojima y otros, 2009); los minerales de alteración asociados a la mineralización consisten en hematita, magnetita, calcita, epidota, clorita, albita, cuarzo y cantidades menores de sericita, arcillas y feldespato potásico (Losert, 1973; Palacios y Delfinis, 1981; Makshev y Zentilli, 2002; Boric, 2002) siendo la calcita el más abundante (Sato, 1984); los cuerpos mineralizados están condicionados por zonas de debilidad asociadas a fallas y/o intrusivos (Sato, 1984; Makshev y Zentilli, 2002); la oxidación ocurre generalmente *in situ* sin movilización importante de Cu hacia niveles inferiores salvo en algunos casos donde el enriquecimiento secundario es solo local (Makshev y Zentilli, 2002); la presencia de pirita es subordinada (Makshev y Zentilli, 2002; Kojima y otros, 2009) esto explicaría el poco desarrollo de horizontes de enriquecimiento secundario debido a la escasa disponibilidad de fluidos ácidos provenientes de la oxidación de este mineral los cuales lixivian el cobre hacia zonas profundas (Makshev y Zentilli, 2002).

Otra característica que es consistente con lo observado en el yacimiento es la zonación mineralógica propuesta por Boric (2002) para El Soldado, donde los cuerpos de mena están compuestos por núcleos ricos en cobre con presencia de calcosina y bornita, que hacia la periferia cambian a zonas de calcopirita-bornita, calcopirita-pirita y pirita. Con respecto a lo anterior, la mineralogía no es lo único que cambia sino también las leyes de cobre que, desde los núcleos de los cuerpos de mena (leyes cercanas al 3%) hacia la periferia (leyes cercanas al 1%), disminuye de forma contrastada y variable concordante a lo planteado por Klohn y otros (1990).

Por otra parte, autores como Chavez (1985); Wolf y otros (1990) estudiaron estratoligados del Jurásico al norte de Chile (Mantos Blancos y Susana respectivamente) y plantean que la secuencia paragénetica asociada a sus depósitos está relacionada a una disminución gradual en el tiempo de la actividad de azufre, y un aumento en la proporción de cobre en los sulfuros lo cual conlleva que los sulfuros depositados en una primera etapa (calcopirita y pirita) sean reemplazados por sulfuros ricos en cobre (bornita, calcosina y digenita) en una fase tardía. El hierro liberado daría origen a hematita hipógena (Chavez, 1984). Lo anterior no concuerda con lo visto en las secciones delgadas debido a que no hay evidencia textural que indique el reemplazo de calcopirita y pirita por fases más ricas en Cu. La secuencia paragénetica interpretada para El Olivo, por el contrario a lo anterior, estaría relacionado a un aumento en la actividad del azufre y a una disminución en la proporción de cobre en los sulfuros en el tiempo, esto se explica por medio de la evolución de un fluido hidrotermal que precipitó calcosina y bornita en una etapa temprana (evidenciado por texturas de intercrecimiento) agotando el cobre y aumentando la relación azufre/cobre, lo que provocaría que hacía la

periferia de los cuerpos de mena precipiten minerales pobres en Cu, por otro lado, la precipitación de hematita en las etapas finales de la evolución del fluido estaría asociado a un aumento en la fugacidad de oxígeno lo que también explicaría el reemplazo de magnetita por este mineral (Figura 7.6).

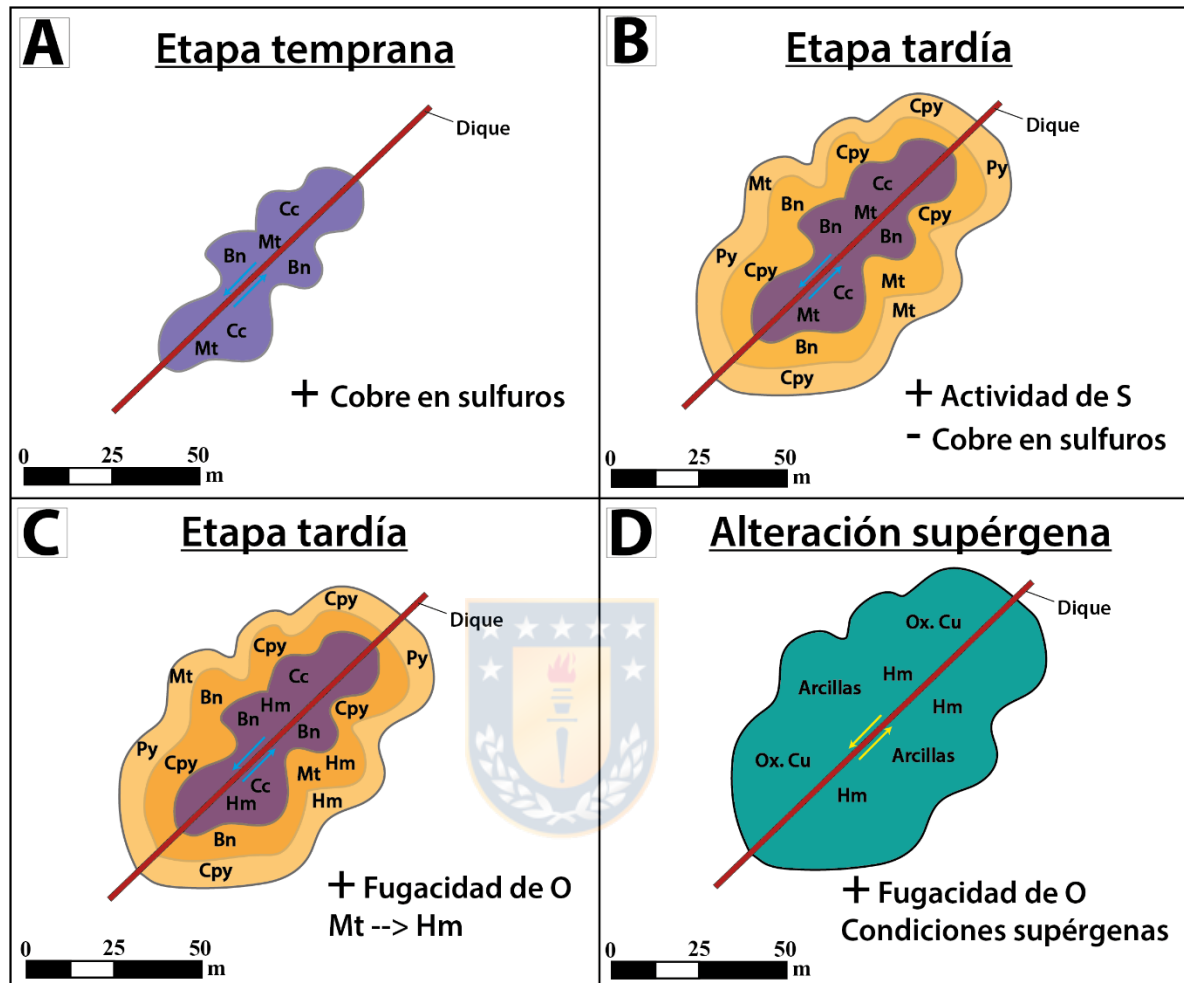


Figura 7.6: Modelo de evolución paragenética de El Olivo. (A) En la etapa temprana precipitan sulfuros ricos en cobre como Bn y Cc. La fugacidad de oxígeno es baja lo que propicia la formación de magnetita. (B) El fluido mineralizador evoluciona hacia la periferia aumentando la actividad del azufre y precipitan sulfuros con menor concentración de cobre como calcopirita. (C) La fugacidad de oxígeno aumenta, precipita hematita, y la magnetita previamente formada se altera a este mineral. En el núcleo la alteración de la magnetita es pervasiva, mientras que en la periferia es moderada quedando relictos de esta. (D) El cambio en las condiciones provoca que la mineralogía hipógena se altere *in situ* a oxidados de cobre. Cc: calcosina. Bn: bornita. Mt: magnetita. Cpy: calcopirita. Py: pirita. Hm: hematita. Ox. Cu: oxidados de cobre. Escala referencial basada en el espesor estimado de los cuerpos.

Trabajos anteriores como los de Zentilli y otros (1997); Wilson y Zentilli (1999); Maksaev y Zentilli (2002); Boric (2002); Cisternas y Hermosilla (2006) proponen que la presencia de bitumen juega un rol fundamental en la precipitación de la carga metálica en otros depósitos estratoligados, entre ellos, El Soldado a 55 kilómetros al noroeste del área de estudio, ya que este propiciaría condiciones reductoras que desestabilizarían los complejos que transportan el cobre en solución. Pese a esto, en ninguna de las muestras analizadas en el presente depósito se encontró bitumen por lo que la formación de los cuerpos mineralizados

estaría vinculado a otros mecanismos, esto concuerda con lo documentado por Saric y otros (2003) en el yacimiento Lo Aguirre 40 kilómetros al sur de Mina El Olivo, donde tampoco se ha descrito la presencia de bitumen.

El origen de los yacimientos estratoligados es aún bastante controversial (Saric y otros, 2003) pese a que existe un consenso de su origen epigénético (Maksaev y Zentilli, 2002) existen diversas propuestas para explicar la fuente de los fluidos mineralizadores: una fuente magmática profunda que aporta la totalidad de los metales (Holgrem, 1987; Vivallo y Henríquez, 1998); fluidos derivados de intrusivos subvolcánicos (Espinoza, 1981; Chavez, 1985; Palacios, 1990; Wolf y otros, 1990; Espinoza y otros, 1996); fluidos de origen metamórfico liberados de rocas volcánicas y/o volcanoclásticas durante el adelgazamiento cortical (Sato, 1984; Sillitoe, 1990); fluidos de origen mixto de fuentes magmáticas, connatas y meteóricas (Maksaev y Zentilli, 2002); y fluidos asociados a salmueras recalentadas por intrusivos profundos (Kojima y otros, 2009). La hipótesis que mejor se adaptaría al modelo de mina El Olivo es en la que los fluidos se originan a partir de los intrusivos subvolcánicos presentes en el área, esto debido a que los cuerpos mineralizados se disponen espacialmente en torno a estos y que, además, los diques se encuentran pervasivamente alterados y portando mineralización, probablemente, por efecto de los mismos fluidos. Con respecto a esto, Maksaev y Zentilli (2002) plantean que la disposición de los cuerpos de mena en torno a los diques es accidental, y que no corresponde a un origen genético, esto se debería a que los fluidos mineralizadores y los cuerpos intrusivos solo seguirían rutas similares a través de zonas de debilidad. Pese a esto, el alcance de este estudio es limitado, y no contempló análisis isotópicos por lo que no es posible sacar conclusiones precisas acerca de la proveniencia de los fluidos.

Otro aspecto por considerar es que en la literatura se ha planteado la hipótesis de que los depósitos estratoligados guardan relaciones genéticas con los depósitos del tipo IOCG e IOA, Vivallo y Henríquez (1997) en su trabajo mencionan que estos depósitos formarían parte de un mismo sistema subvolcánico con una fuente magmática común rica en Fe-P, donde los depósitos IOA e IOCG corresponderían a depósitos profundos asociados a cuerpos intrusivos mientras que los depósitos estratoligados serían superficiales emplazándose en las zonas periféricas y aprovechando rocas volcánicas permeables, la profundidad condicionaría la fugacidad de oxígeno, por lo que dependiendo del nivel de emplazamiento los depósitos serían más ricos en magnetita o hematita (Figura 7.7).



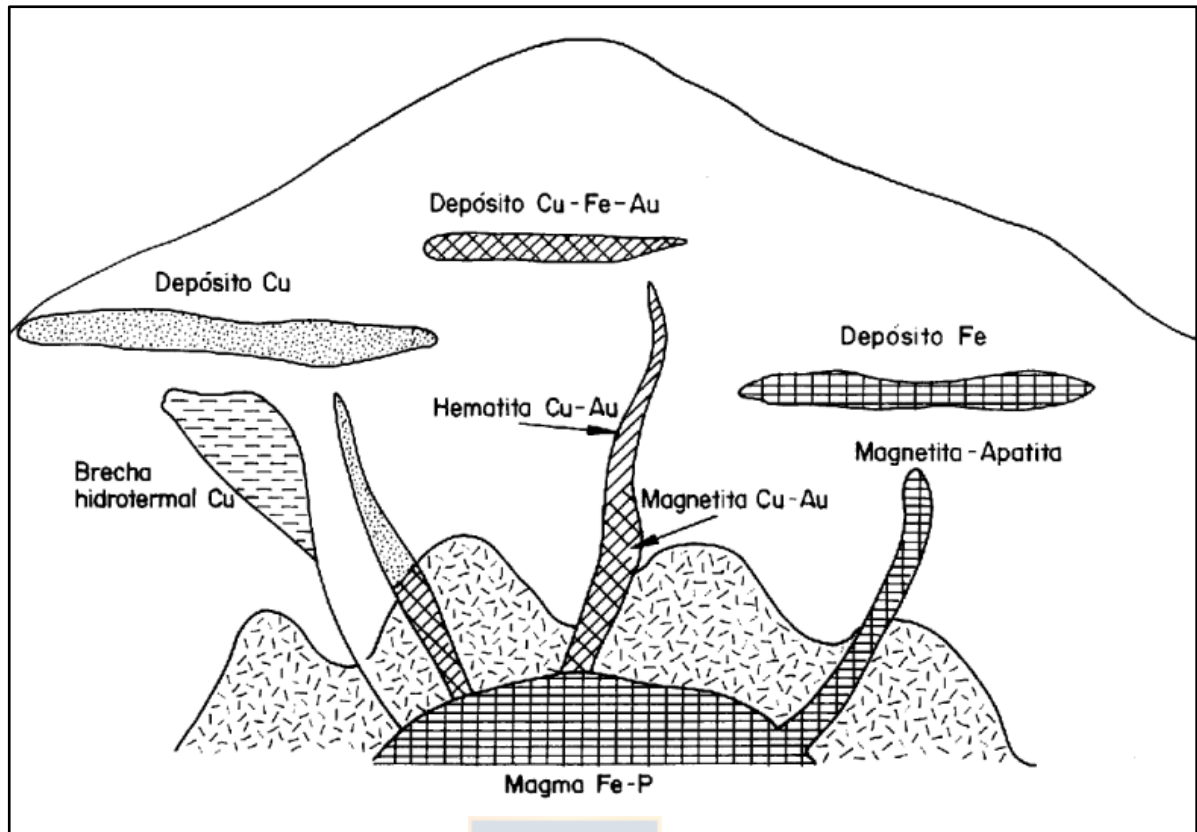


Figura 7.7: Relación genética y espacial de entre los depósitos IOCG, IOA y estratoligados. Imagen tomada de Vivallo y Henríquez (1997).

Barra y otros (2017) retoma esta idea y propone que todos estos depósitos forman parte de un mismo sistema al cual llama Clan IOCG Andino, igualmente, menciona que los IOA e IOCG son depósitos profundos asociados a actividad magmática e hidrotermal, mientras que, los estratoligados corresponden a un miembro terminal pobre en hierro dentro de este sistema mineralizado y asociado a hematita (Figura 7.8).

Lo anterior abre la posibilidad de que en zonas más profundas puedan encontrarse nuevos cuerpos mineralizados asociados a los miembros profundos del Clan IOCG Andino, pese a esto, en ninguna de las muestras tomadas se observó actinolita lo cual sería indicativo de que la mineralización ocurrió a bajas temperaturas, y que las zonas que actualmente se están explotando se encontrarían alejadas de la influencia de intrusivos profundos.

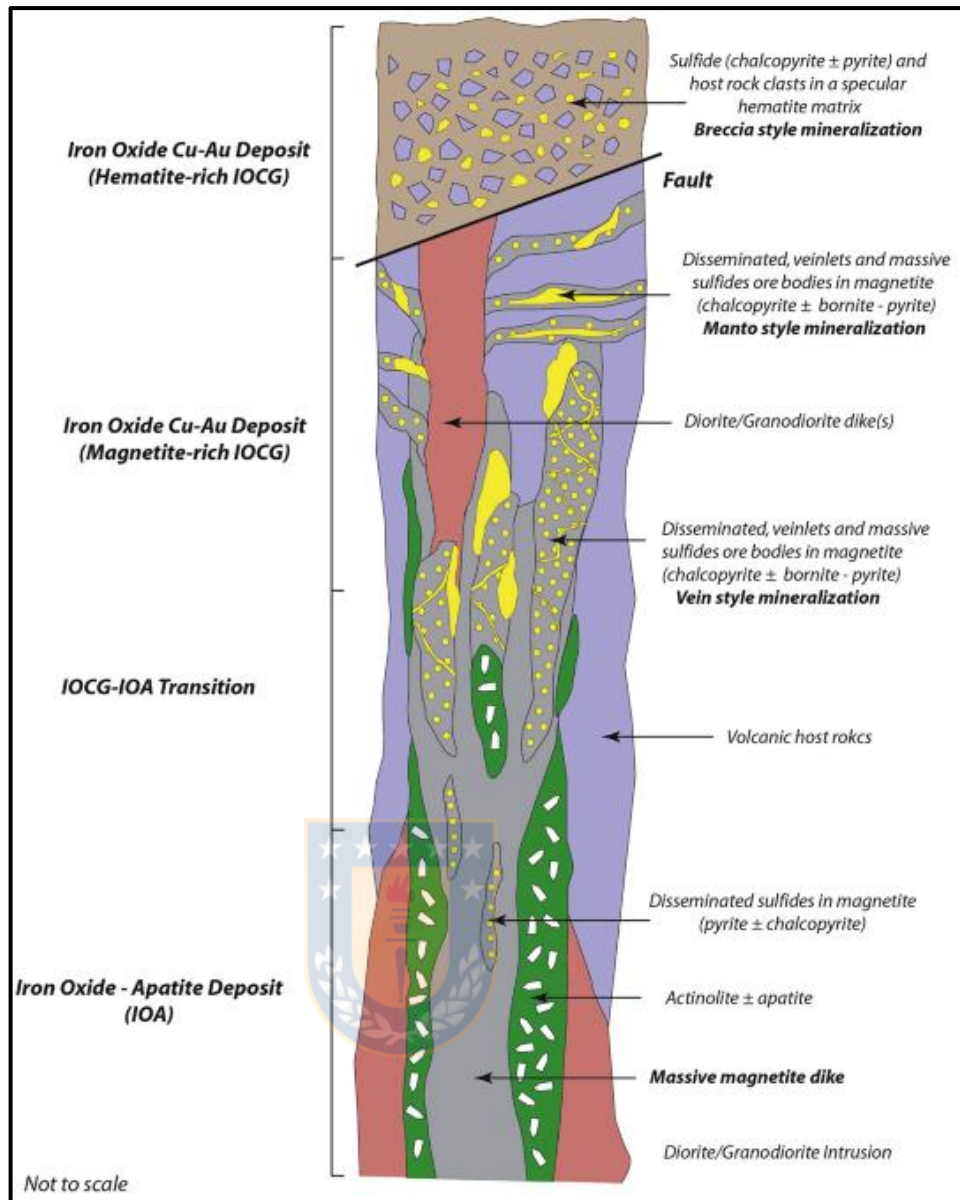


Figura 7.8: Relación de genética entre los miembros pertenecientes al Clan IOCG Andino. Imagen tomada de Barra y otros (2017).

## 8. CONCLUSIONES

La mina el Olivo corresponde a un yacimiento de Cu emplazado en estratos volcánicos del Miembro Ocoa de la Formación Veta Negra, que se ajusta más a los modelos planteados en la literatura para estratoligados de Cu (Ag) que a otros modelos de yacimientos de la misma franja metalífera como los IOCG.

La mineralización, distribución y morfología de los cuerpos mineralizados está controlada por dos factores: un control estructural asociado a sistemas de fallas (N20°W y N50°E) que propiciaron el emplazamiento de diques y que a su vez habrían aportado las soluciones hidrotermales ricas en Cu; y un control litológico asociada a horizontes permeables y porosos donde rocas amigdaloidales y tectonizadas habrían favorecido la precipitación de la carga metálica. Los diques mineralizadores en el sector de El Romero se emplazan según el sistema N20°W y la elongación de los cuerpos es cercana a NS mientras que, en el sector de Esmeralda, los diques se emplazan preferentemente en el sistema N50°E y la elongación de los cuerpos es cercana a EW.

Las rocas hospedantes estarían afectadas por metamorfismo de bajo grado a la cual se le habría sobrepuesto un evento hidrotermal principal relacionado a la formación de los cuerpos de mena, y que habría ocurrido en dos etapas: una temprana asociada a la formación de sulfuros ricos en cobre; y una tardía con la precipitación de sulfuros con menor concentración de este elemento.

Los cuerpos de mena presentan zonación con núcleos ricos en cobre asociados a intercrecimientos de calcosina y bornita en paragénesis con abundante hematita; y zonas periféricas de menor ley con calcopirita en paragénesis con epidota y cantidades menores de hematita.

Producto de la exposición a condiciones supérgenas, hay desarrollo *in situ* de minerales oxidados de cobre en los niveles superficiales de todo el depósito a excepción del área de El Manzano donde se habrían formado además horizontes de enriquecimiento secundario con presencia de cobre nativo y calcosina en reemplazo de bornita.

A diferencia de otros depósitos del mismo tipo, la materia orgánica no jugaría un rol importante en la precipitación de los metales, por otra parte, no es posible determinar con precisión el origen de los fluidos mineralizadores debido a las limitaciones de este estudio y a la falta de análisis isotópicos.

La relación genética que guardarían los depósitos estratoligados de Cu con los IOCG e IOA plantea la posibilidad de que existan otros cuerpos hacia zonas profundas, pese a esto, la

ausencia de actinolita indicaría que la mineralización ocurre en zonas periféricas de intrusivos alejadas de donde se formarían estos depósitos.

A modo de recomendaciones, se sugiere:

- 1) Efectuar una campaña de sondajes en el sector de Esmeralda desde el nivel 1610 a profundidad para delimitar la extensión del cuerpo actualmente explotado y estimar su continuidad hacía niveles inferiores.
- 2) Hacer mapeos de detalle conforme avancen las labores en El Manzano y de ser posible, complementar con sondajes, esto con el fin de determinar la disposición de los cuerpos y averiguar si se adaptan a algunos de los modelos planteados al norte del yacimiento.
- 3) Efectuar estudios geoquímicos o de inclusiones fluidas para determinar con mayor certeza la temporalidad de eventos que dio origen al depósito.



## 9.REFERENCIAS

- ÅBERG, G.; AGUIRRE, L.; LEVI, B. Y NYSTRÖM, J. 1984. Spreading-subsidence and generation of ensialic marginal basins: an example from the early Cretaceous of central Chile. *Geological Society, Special Publications*. Vol. **16**: 185-193. Londres.
- AGUIRRE, L.; FERAUD, G.; MORATA, D.; VERGARA, M. Y ROBINSON, D. 1999. Time interval between volcanism and burial metamorphism and rate of basin subsidence in a Cretaceous Andean extensional setting. *Tectonophysics*. Vol. **313**: 433-447.
- ALISTE, N.; PÉREZ A. Y CARTER, W. 1960. Definición y edad de la Formación Patagua, provincia de Aconcagua, Chile. *Revista Geológica Minerales*. Vol. **71**: 40-51. Santiago.
- BARRA, F.; REICH, M.; SELBY, D.; ROJAS, P.; SIMON, A; SALAZAR, E. Y PALMA, G. 2017. Unraveling the origin of the Andean IOCG clan: A Re-Os isotopes approach. *Ore Geology Reviews*. Vol. **81**: 62–78.
- BARTON, M. Y JOHNSON, D. 1996. Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide–(REE–Cu–Au–U) mineralization. *Geology* Vol. **24**, (3): 259–262.
- BENAVIDES, J.; KYSER, T.; CLARK, A.; OATES, C.; ZAMORA, R.; TARNOVSCHI, R. Y CASTILLO, B. 2007. The Mantoverde iron oxide-copper-gold district, III Region, Chile: the role of regionally derived, nonmagmatic fluids in chalcopyrite mineralization. *Economic Geology*. Vol. **102**, (3): 415–440.
- BORIC, R. 2002. Geology, mineral zoning and lithochemistry of hydrothermal alteration at the El Soldado manto type copper deposit, Chile. Unpublished MSc thesis, Dalhousie University (Inédito): 250 pp. Halifax.
- BORIC, R.; HOLMGREN, C.; WILSON, N. Y ZENTILLI, M. 2002. The Geology of El Soldado Manto Type Cu (Ag) Deposit, Central Chile. In Hidrotermal Iron Oxide Copper-Gold and related deposits: a global perspective. *PGC Publishing*. Vol. **2**: 163-184. Adelaide.
- BOYCE, D. 2015. Modelo de evolución tectónica y paleogeográfica del margen andino en Chile Central durante el Cretácico medio - tardío: El registro estructural y sedimentario en la Formación Las Chilcas. Tesis de Magister. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 304pp., Santiago.
- CARTER, W. Y ALISTE, N. 1962. Geology and ore deposits of the Ñilhue quadrangle, Aconcagua province. *Boletín Instituto Investigaciones Geológicas*. 189 p., Santiago.
- CERDA, D. 2020 Prospección Geoquímica del Distrito Minero Cabildo, Región de Valparaíso, Chile. Tesis para optar al Título de Geólogo. Universidad del Desarrollo (Inédito): 94pp., Santiago.
- CHARRIER, R.; PINTO, L. Y RODRÍGUEZ, M. 2007. Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. *The Geology of Chile* (Moreno, T. y Gibbons, W. editores). 21-114. Londres.
- CHAVEZ, W. 1984. Alteration mineralogy and chemistry of rhyolitic and andesitic volcanic rocks of the Mantos Blancos copper-silver district, Chile. *Preprint*. N° **84-153**, 6 p.
- CHAVEZ, W. 1985. Geological setting and the nature and distribution of disseminated copper mineralization of the Mantos district, Antofagasta Province, Chile. Unpublished PhD Thesis, University of California: 142pp., Berkeley, USA.
- CISTERNAS, M. Y HERMOSILLA, J. 2006. The role of bitumen in strata-bound copper deposit formation in the Copiapo area, Northern Chile. *Mineralium Deposita*. Vol. **41** (4): 339–355.
- COCHILCO. 2016. “Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera”. Dirección de estudios y políticas públicas. 61pp. Santiago.

- CORVALÁN, J. Y MUNIZAGA, F. 1972. Edades radiométricas de rocas intrusivas y metamórficas de la Hoja Valparaíso-San Antonio. *Boletín Instituto de Investigaciones Geológicas*. N° 28: 40 p.
- DEL REAL, I.; THOMPSON, J. Y CARRIEDO, J. 2018. Lithological and structural controls on the genesis of the Candelaria-Punta del Cobre Iron Oxide Copper Gold district, Northern Chile. *Ore Geology Reviews*. Vol. 102: 106-153.
- DÍAZ, K. 2020. Geología del depósito IOCG La Higuera, Región de Coquimbo, Chile. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 76pp., Santiago.
- ESPINOZA, S. 1981. Esbozo metalogénico del distrito Carolina de Michilla, II Región, Chile. Primer Coloquio sobre volcanismo y metalogénesis, Universidad del Norte, Departamento de Geociencias: 71-81, Antofagasta.
- ESPINOZA, S. 1982. Definición del tipo diseminado infravolcánico de sulfuros de cobre. Congreso Geológico Chileno N° 3. Vol. 3: 201-219. Concepción.
- ESPINOZA, S.; VÉLIZ, H.; ESQUIVEL, J.; ARIAS, J. Y MORAGA, A. 1996. The cupriferous province of the Coastal Range, northern Chile. *Society of Economic Geologists*. N° 5: 19-32.
- FUENTES, F.; FÉRAUD, G.; AGUIRRE, L. Y 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*. Vol. 214: 157– 177.
- GANNA, P.; WALL, R. Y GUTIÉRREZ, A. 1996. Mapa geológico del área Valparaíso-Curacaví, Región de Valparaíso y Región Metropolitana. *Mapas Geológicos Servicio Nacional de Geología y Minería*. N° 1: 21pp. Santiago.
- GODOY, E. 1981. Sobre la discordancia intrasenoniana y el origen de los depósitos de caolín de Montenegro, Región Metropolitana, Chile. Congreso Geológico Argentino N° 8. Actas 3: 733-741. San Luis.
- GRÖPPER, J. 2011. “Franjas metalogénicas de edad jurásica y cretácica en la cordillera de la Costa de Chile Central, entre los 32° y los 35° 20’ de latitud sur”. Memoria para optar al título de geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 130 pp. Santiago.
- GROVES, D.; BIERLEIN, F.; MEINERT, L. Y HITZMAN, M. 2010. Iron oxide copper-gold (IOCG) deposits through earth history: implications for origin, lithospheric setting, and distinction from other epigenetic iron oxide deposits. *Economic Geology*. Vol. 105: 641–654.
- HASLER, K. 2007. Petrogénesis del magmatismo bimodal y metamorfismo de muy bajo grado del Cretácico inferior de la cordillera de la Costa, Chile central (33°20'-34°00's). Tesis de Magister. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 281pp., Santiago.
- HERVÉ, F.; MUNIZAGA, F.; PARADA, M.; BROOK, M.; PANKHURST, R.; SNELLING, N. Y DRAKE, R. 1988. Granitoids of the Coast Range of central Chile: geochronology and geologic setting. *Journal of South American Earth Sciences*, Vol. 1: p. 185-194.
- HITZMAN, M. 2000. Iron-oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why. Hydrothermal iron-oxide copper-gold and related deposits: a global perspective. Australian Mineral Foundation: 9–25. Adelaide.
- HITZMAN, M.; ORESKES, N. Y EINAUDI, M. 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-LREE) deposits. *Precambrian research*. Vol 58 (1-4): 241–287.

- HOLGREN, C. 1987. Antecedentes para un modelo genético del yacimiento El Soldado, V Región de Valparaíso, Chile. *Revista Geológica de Chile*, N° 30: 3-18.
- KLOHN, E.; HOLMGREN, C. Y RUGE, H. 1990. El Soldado, a stratabound copper deposit associated with alkaline volcanism in the central Chilean Coastal Range. *Stratabound Ore Deposits in the Andes* (Fontboté, L.; Amstutz, C.; Cardozo M.; Cedillo E. y Frutos J. editores). Springer-Verlag: 435-448. Berlín.
- KOJIMA, S.; TRISTÁ, D. Y HAYASHI, K. 2009. Genetic aspects of the Manto-type copper deposits based on geochemical studies of north Chilean deposits. *Resource Geology*. Vol 59 (1): 87–98.
- LARSON, R. Y PITMAN, W. 1972. World-wide correlation of Mesozoic magnetic anomalies, and its implications. *Geological Society of America Bulletin*. Vol. 83 (12): 3645-3662.
- LOSERT, J. 1973. Genesis of copper mineralization and associated alterations in the Jurassic volcanics rocks of Buena Esperanza mining area. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 104 pp., Santiago.
- MAKSAEV, V. Y ZENTILLI, M., 2002. Chilean strata-bound Cu- (Ag) deposits: An Overview. *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective* (Porter, T. editor). PGC Publishing: 185-205. Adelaida.
- MAKSAEV, V.; TOWNLEY, B.; PALACIOS, C. Y CAMUS, F. 2007. “Metallic ore deposits”. *The Geology of Chile* (Moreno, T. y Gibbons, W. editores). The Geological Society: 179-199. Londres.
- MARAMBIO, F. 1994. Geología del Proyecto Cuprífero Lohan, Región Metropolitana. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología(Inédito): 82 pp. Santiago.
- MOSCOSO, R.; PADILLA, H. Y RIVANO, S. 1982. Hoja Los Andes, Región de Valparaíso. Servicio Nacional de Geología y Minería, carta geológica de Chile N° 52. 67 pp.
- MUÑOZ G. 2017. Estudio del relave abandonado Anita, comuna de Tiltil y sus posibles implicancias a la comunidad. Tesis para optar al Título de Doctor. Universidad Andrés Bello: 119pp., Santiago.
- MURUAGA S. 2016. Selección de métodos de explotación para vetas angostas. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología: 127pp., Santiago.
- NASI, C. 1981. Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la cordillera de la Costa al sureste de Melipilla (Chile Central). Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 246 pp., Santiago.
- OLIVEROS, V.; VÁSQUEZ, P.; CREIXELL, C.; LUCASSEN, F.; DUCEA, N.; CIOCCA, I.; GONZÁLEZ, J.; ESPINOZA, M.; SALAZAR, E.; COLOMA, F. Y KASEMANN, S. 2020. Lithospheric evolution of the Pre-and Early Andean convergent margin, Chile. *Gondwana Research*. Vol. 80: 202-227. Concepción.
- PADILLA, H. 1981. Contribución a la geología y petrología de las rocas volcánicas e intrusivas de los Andes chilenos entre las latitudes 32°45' y 33°00' Sur. Memoria para optar al Título de Geólogo Universidad de Chile, Departamento de Geología (Inédito): 329 pp., Santiago.
- PALACIOS, C. 1986. Subvolcanic Copper deposits in the Coastal Range of northern Chile. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie*. Vol. 1: 1605-1615.
- PALACIOS, C. 1990. Geology of the Buena Esperanza copper-silver deposit, northern Chile. *Stratabound Ore Deposits in the Andes* (Fontboté, L.; Amstutz, C.; Cardozo M.; Cedillo E. y Frutos J. editores). Society for geology applied to mineral deposits: 313-318. Berlín.

- PALACIOS, C. Y DEFINÍS, A. 1981. Petrología del yacimiento Buena Esperanza, II Región, Norte de Chile. Primer Coloquio sobre volcanismo y metalogénesis. *Actas* **1**: 48-67. Antofagasta.
- PARADA, M. 1990. Granitoid plutonism in central Chile and its geodynamic implications; a review. *Geological Society of America, Special Paper*. N° **241**: 51-66.
- PIRACÉS, F. Y MAKSAEV, V. 1977. Geología de la Hoja Quillota, IV y V Región. Instituto de Investigaciones Geológicas. 135 pp. Santiago.
- PIRACÉS, R. 1976. Estratigrafía de la cordillera de la Costa entre la cuesta El Melón y Limache, Provincia de Valparaíso, Chile. Congreso Geológico Chileno N° 1. *Actas*, **1(A)**: 65-82. Santiago.
- POLLARD, P. 2006. An intrusion-related origin for Cu-Au mineralization in iron oxide-copper-gold (IOCG) provinces. *Mineralium Deposita*. Vol. **41** (2): 179-187.
- RIEGER, A.; MARSCHIK, R. Y DÍAZ, M. 2012. The evolution of the hydrothermal IOCG system in the Mantoverde district, northern Chile: new evidence from microthermometry and stable isotope geochemistry. *Mineralium Deposita*. Vol. **47** (4): 359-369.
- RIVANO, S. 1996. Geología de las hojas Quillota y Portillo. Servicio Nacional de Geología y Minería. 202 pp.
- RIVANO, S.; SEPULVEDA, P.; HERVÉ, M.; PUIG, A. 1985. Geocronología K-Ar de las rocas intrusivas entre los 31°-32° latitud sur, Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **24**: 63-74.
- RUIZ, C.; AGUIRRE, L.; CORVALAN, J.; KLOHN, C.; KLOHN, E. Y LEVI, B. 1965. Geología y yacimientos metalíferos de Chile. Instituto de Investigaciones Geológicas. 302 pp. Santiago.
- SARIC, N.; KREFT, C. Y HUETE, C. 2003. Geología del yacimiento Lo Aguirre, Chile. *Revista geológica de Chile*. Vol. **30** (2): 317-331.
- SATO, T. 1984. Manto type copper deposits in Chile: a review. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*. Vol. **35**: 565-582.
- SCHEUBER, E.; BOGDANIC T.; JENSEN A. Y REUTTER K. 1994. Tectonic development of the north Chilean Andes in relation to plate convergence and magmatism since the Jurassic. *Tectonics of the southern central Andes* (Reutter K.; Scheuber E. y Wigge P. editores). Springer-Verlag: 121-139. Heidelberg.
- SELLÉS, D. Y GANA, P. 2001. Mapa geológico del área de Talagante-San Francisco de Mostazal, regiones Metropolitana de Santiago y del Libertador General Bernardo O'Higgins. Servicio Nacional de Geología y Minería. 33p.
- SILLITOE, R. 1990. Copper Deposits and Andean Evolution. *Geology of the Andes and its relation to hydrocarbon and mineral resources* (Ericksen, G.; Cañas, M. y Reinemund, J. editores). Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources: 285-311.
- SILLITOE, R. 2003. Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view. *Mineralium Deposita*. Vol. **38** (7): 787-812.
- TAVERA, J. 1952. Informe sobre material de fósiles muestreado en calizas de la Cuesta de Lo Prado. Universidad de Chile, Departamento de Geología. 1p. Santiago.
- THOMAS, H. 1958. Geología de la cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga. *Boletín Instituto de Investigaciones Geológicas Boletín*. N° **2**: 96 pp. Santiago.
- TIDY, E. (1970). Geología del distrito minero La Campana, Provincia de Valparaíso. Memoria para optar al Título de Geólogo. Universidad de Chile, Departamento de Geología(Inédito): 286 pp. Santiago.



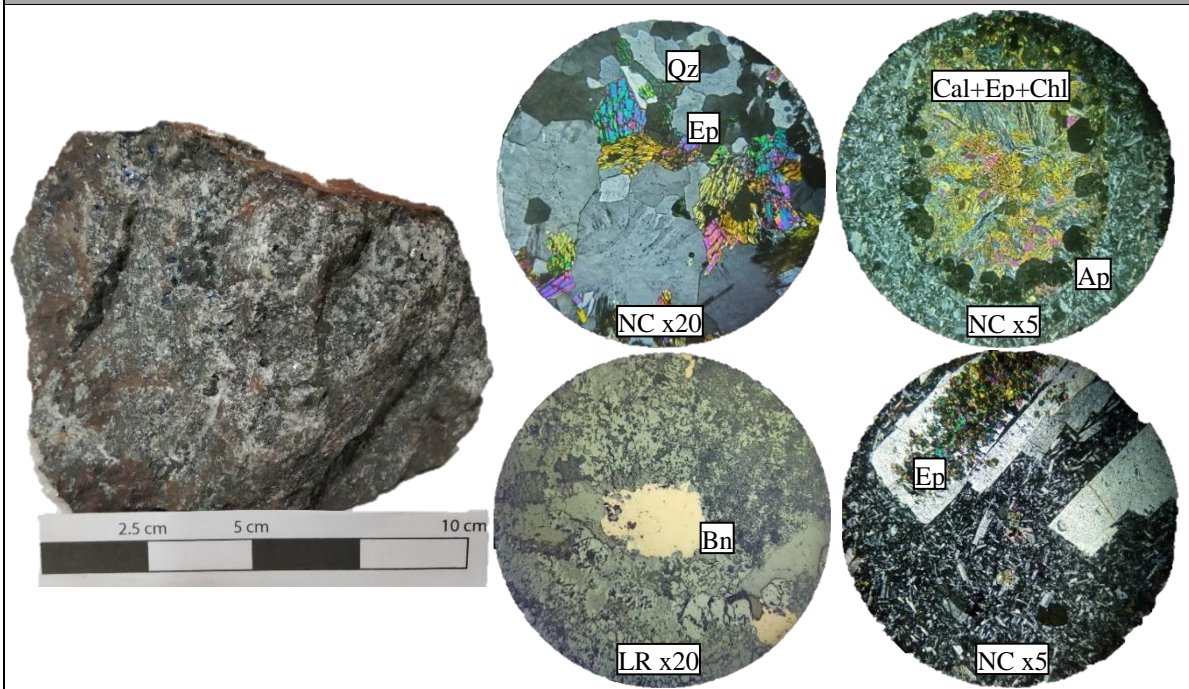
- VIVALLO, W Y HENRIQUEZ, F. 1997. Relación genética entre los yacimientos estratoligados de Cu ("tipo manto"), de Cu-Fe±Au y de hierro del tipo Kiruna. Congreso Geológico Chileno N° 8. Actas **2**: 1189-1193. Antofagasta.
- VIVALLO, W. Y HENRIQUEZ, F. 1998. Génesis común de los depósitos estratoligados y vetiformes de cobre del Jurásico Medio a Superior en la cordillera de la Costa, Región de Antofagasta, Chile. *Revista Geológica de Chile*. Vol. **25** (2): 199-228.
- VIZCACHAS MINING Co. 1991. "Lohan project geological report". Minera San Pedro (Inédito). 33pp. Santiago.
- WALL, R.; SELLÉS, D.; GANA, P. 1999. Área Tiltil-Santiago, Región Metropolitana. Servicio Nacional de Geología y Minería. 46pp. Santiago.
- WILLIAMS, P.; GUOYI, D.; POLLARD, P.; BROMAN, C.; MARK, G.; RYAN, C. Y MERNAGH, T. 2002. The Nature of Iron Oxide-Copper-Gold Ore Fluids: Fluid Inclusion Evidence from Norrbotten (Sweden) and the Cloncurry district (Australia). 7th Biennial SGA Meeting. 1127–1130. Atenas.
- WILSON, N. Y ZENTILLI, M. 1999. The Role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile. *Economic Geology*. Vol. **94**(7): 1115-1136.
- WOLF, F.; FONTBOTÉ, L. Y AMSTUTZ, G. 1990. The Susana Copper (-Silver) deposit in northern Chile, hydrothermal mineralization associated with a Jurassic Volcanic. Stratabound Ore Deposits in the Andes (Fontboté, L.; Amstutz, C.; Cardozo M.; Cedillo E. y Frutos J. editores). Springer-Verlag: 319-318. Berlín.
- ZEBALLOS, J. 2007. Informe geológico, distrito minero Til-Til, Región Metropolitana, Provincia Chacabuco-Til-Til. Empresa Nacional de Minería de Chile. 18pp.
- ZENTILLI, M.; MUNIZAGA, F.; GRAVES, M.; BORIC, R.; WILSON, N.; MUKHOPADHYAY, P. Y SNOWDON, L. 1997. Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits: an example in Cretaceous stratabound (Manto-Type) copper deposits of central Chile, *International Geology Review*. Vol. **39** (1): 1-21.

## 10.ANEXOS

### 10.1 FICHAS DE CORTES TRANSPARENTES PULIDOS

MUESTRA: E-SUB-3 COORDENADAS: 313182/6334046				
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Cloritización moderada en máficos.            Albitización moderada en plagioclasas.            Epidotización incipiente en plagioclasas.            Sericitización incipiente en plagioclasas.            Carbonatación incipiente en plagioclasas.</p>			
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Calcopirita, pirita y magnetita.</b>			
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica con textura seriada y glomeroporfídica, fenocristales de tamaños que varían desde 0,3mm a 1,0 cm de diámetro. La masa fundamental esta predominantemente conformada por microlitos de plagioclasa por sobre vidrio. Vesículas subordinadas.			
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<table border="1"> <tr> <td> <p>Clorita: diseminada, en vetillas.            Albita: diseminada.            Epidota: diseminada, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vetillas, en vesículas.            Calcopirita: diseminada.            Pirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p> </td> <td><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></td> <td> <p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Calcopirita: relleno.            Pirita: relleno.            Magnetita: relleno.</p> </td> </tr> </table>	<p>Clorita: diseminada, en vetillas.            Albita: diseminada.            Epidota: diseminada, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vetillas, en vesículas.            Calcopirita: diseminada.            Pirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Calcopirita: relleno.            Pirita: relleno.            Magnetita: relleno.</p>
<p>Clorita: diseminada, en vetillas.            Albita: diseminada.            Epidota: diseminada, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vetillas, en vesículas.            Calcopirita: diseminada.            Pirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Calcopirita: relleno.            Pirita: relleno.            Magnetita: relleno.</p>		
<b>Estructuras</b>	Vetillas de calcita, vetillas de clorita cuarzo, vesículas rellena de calcita, vesículas rellena de epidota.			

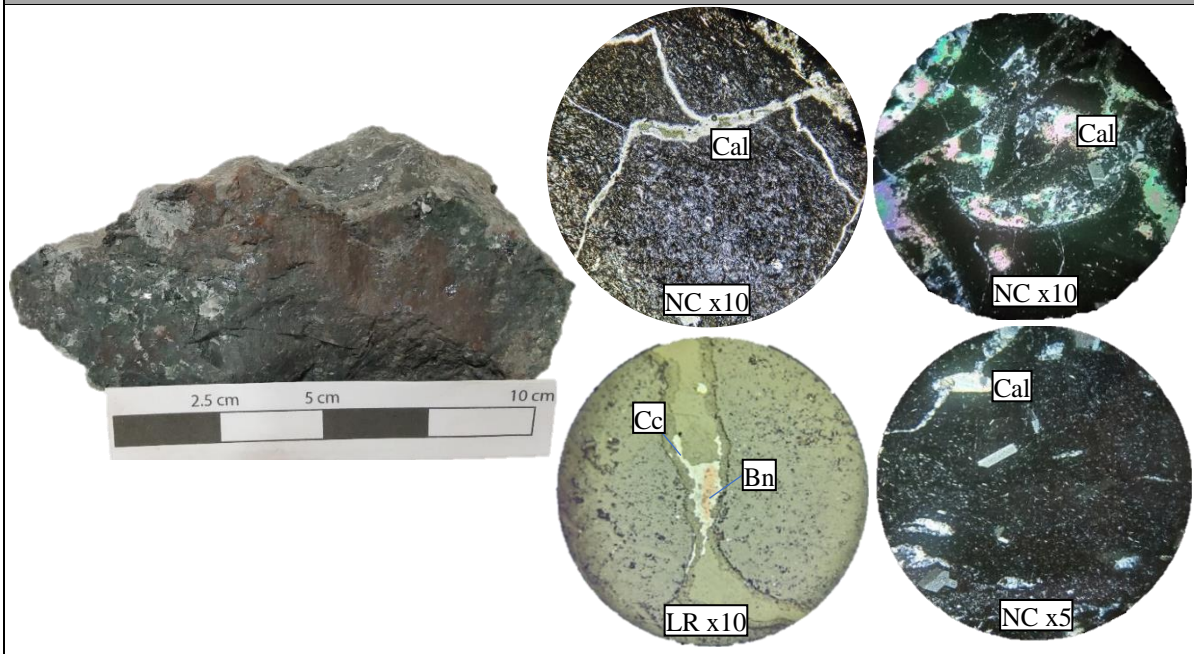
MUESTRA: E-SUB-4 COORDENADAS: 313190/6334046



<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Cloritización incipiente en máficos.          Albitización moderada en plagioclasa.          Epidotización moderada en plagioclasa.          Sericitización moderada en plagioclasa.          Carbonatación moderada en plagioclasa.          Silicificación.</p>	
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita, calcosina y magnetita.</b>	
<b>Litología Original</b>	<p>Andesita pórfidica amigdaloidal con textura glomeroporfidica y seriada. Se conforma por fenocristales de tamaños desde 0,2mm a 0,9mm de diámetro. En la masa fundamental, predominan los microlitos de plagioclasa por sobre el vidrio volcánico. Contiene vesículas abundantes y de gran tamaño (hasta 2,5 cm).</p>	
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: diseminada.          Albita: diseminada.          Epidota: en cúmulos.          Sericita: diseminada.          Calcita: diseminada, en vetillas, en vesículas.          Cuarzo: en vesículas.          Apatito: en vesículas.          Bornita: diseminada, intercrecida con calcosina.          Calcosina: diseminada, intercrecida con bornita.          Magnetita: diseminada.</p>	<p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p> <p>Clorita: reemplazo.          Albita: reemplazo.          Epidota: reemplazo, relleno.          Sericita: reemplazo.          Calcita: reemplazo, relleno.          Cuarzo: relleno.          Apatito: relleno.          Bornita: relleno.          Calcosina: relleno.          Magnetita: relleno.</p>
<b>Estructuras</b>	<p>Vetillas de calcita y epidota, vesículas rellenas de cuarzo y epidota y calcita.</p>	

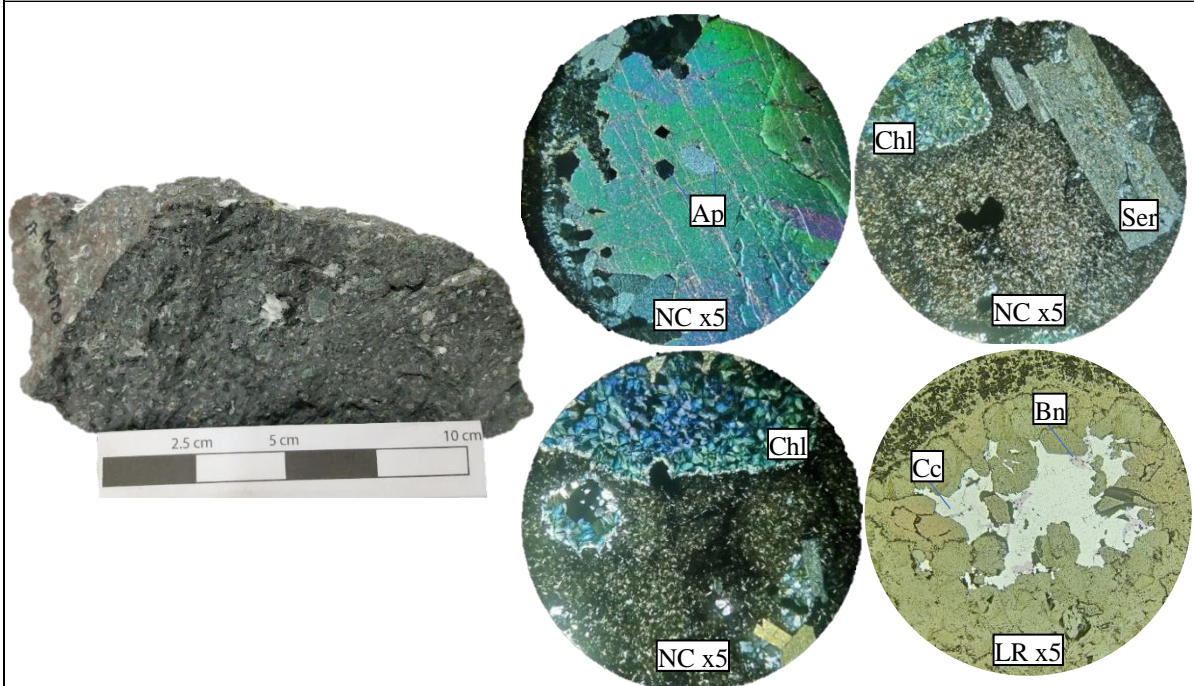
MUESTRA: E-SUB-5 COORDENADAS: 313191/6334050				
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Epidotización incipiente en plagioclasas. Albitización moderada en plagioclasas. Sericitización incipiente en plagioclasas. Cloritización moderada en minerales máficos.			
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita, calcosina, magnetita y hematita.</b>			
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica amigdaloidal con textura glomeroporfídica, fenocristales de tamaños variables desde 0,5 mm hasta 4mm, masa fundamental compuesta principalmente por microlitos de plagioclasa, y en menor medida, vesículas de tamaños de alrededor de 4-5mm de diámetro.			
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<table border="1"> <tr> <td> <p>Epidota: En cúmulos, vesículas. Albita: diseminada. Clorita: diseminada, en vesículas. Sericita: diseminada. Bornita: diseminada e intercrecida con calcosina. Calcosina: diseminada y intercrecida con bornita. Magnetita: diseminada. Hematita: diseminada.</p> </td> <td> <p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p> </td> <td> <p>Epidota: reemplazo y relleno. Albita: reemplazo. Clorita: reemplazo. Sericita: reemplazo. Bornita: relleno. Calcosina: relleno. Magnetita: relleno. Hematita: relleno.</p> </td> </tr> </table>	<p>Epidota: En cúmulos, vesículas. Albita: diseminada. Clorita: diseminada, en vesículas. Sericita: diseminada. Bornita: diseminada e intercrecida con calcosina. Calcosina: diseminada y intercrecida con bornita. Magnetita: diseminada. Hematita: diseminada.</p>	<p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p>	<p>Epidota: reemplazo y relleno. Albita: reemplazo. Clorita: reemplazo. Sericita: reemplazo. Bornita: relleno. Calcosina: relleno. Magnetita: relleno. Hematita: relleno.</p>
<p>Epidota: En cúmulos, vesículas. Albita: diseminada. Clorita: diseminada, en vesículas. Sericita: diseminada. Bornita: diseminada e intercrecida con calcosina. Calcosina: diseminada y intercrecida con bornita. Magnetita: diseminada. Hematita: diseminada.</p>	<p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p>	<p>Epidota: reemplazo y relleno. Albita: reemplazo. Clorita: reemplazo. Sericita: reemplazo. Bornita: relleno. Calcosina: relleno. Magnetita: relleno. Hematita: relleno.</p>		
<b>Estructuras</b>	Vetillas de 0,3 mm de espesor rellenas con calcita.			

MUESTRA: M-SUB-1 COORDENADAS: 312763/6333223



<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Cloritización incipiente en máficos. Carbonatación incipiente en plagioclasas. Albitización incipiente en plagioclasas. Silicificación.		
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Calcosina reemplazando bornita (enriquecimiento supérgeno), calcopirita, pirita, magnetita.</b>		
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica con textura seriada y glomeroporfídica, con fenocristales subordinados de dimensiones entre 0,5mm y 3mm. La masa fundamental se compone principalmente de vidrio. Pobre en vesículas.		
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	Clorita: diseminada, en vetillas. Calcita: en cúmulos, en vesículas, en vetillas. Albita: diseminada. Cuarzo: en vetillas, en vesículas. Calcosina: diseminada, en vetillas. Bornita: diseminada, en vetillas. Calcopirita: diseminada. Pirita: diseminada. Magnetita: diseminada.	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	Clorita: reemplazo. Calcita: relleno, reemplazo. Albita: reemplazo. Cuarzo: relleno. Calcosina: reemplazo. Bornita: relleno. Calcopirita: relleno. Pirita: relleno. Magnetita: diseminada.
<b>Estructuras</b>	Vetillas de cuarzo y clorita; vetillas de calcita, clorita y bornita-calcosina; vesículas rellenas de cuarzo o calcita.		
<b>Observaciones</b>	La mayor cantidad de metal se concentra en las vetillas donde la calcosina reemplaza la bornita pervasivamente. Ya que es una roca casi completamente afanítica y, por lo tanto, poco permeable, la mineralización ocurre por planos o vetillas debido a la fracturamiento de la roca. La mineralización metálica es pobre.		

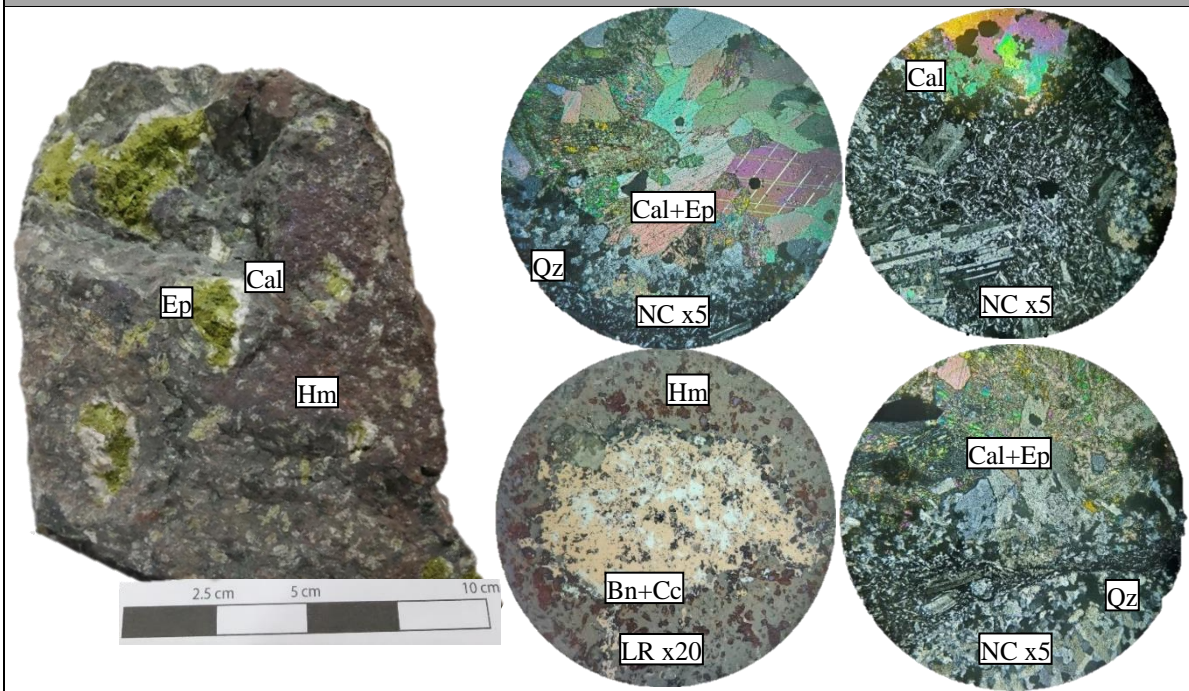
MUESTRA: M-SUB-2 COORDENADAS: 312755/6333217



<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Cloritización pervasiva en máficos. Albitización incipiente en plagioclasas. Epidotización incipiente en plagioclasas. Carbonatación incipiente. Silicificación incipiente.		
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Calcosina reemplazando a bornita (enriquecimiento secundario).</b>		
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica amigdaloidal con textura glomeroporfídica, y fenocristales de plagioclasa de diámetro de alrededor de 4mm. Masa fundamental con microlitos de plagioclasa y vidrio en proporciones similares. Abundantes vesículas.		
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	Clorita: en cúmulos, en vesículas. Albita: diseminada. Epidota: en cúmulos, en vesículas. Calcita: en vesículas, en vetillas. Cuarzo: en vesículas. Calcosina: diseminada, en vesículas. Bornita: diseminada, en vesículas.	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	Clorita: reemplazo, relleno. Albita: reemplazo, relleno. Epidota: reemplazo, relleno. Calcita: relleno. Cuarzo: relleno. Calcosina: relleno, reemplazo. Bornita: relleno.
<b>Estructuras</b>	Vesículas rellenas, de clorita, calcita, epidota, cuarzo y apatito.		

MUESTRA: R-SUB-3 COORDENADAS: 313548/6333861			
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Epidotización moderada en plagioclasas.            Sericitización moderada en plagioclasas.            Albitización moderada en plagioclasa.            Carbonatación moderada.            Silicificación moderada.</p>		
<b>Mineralogía Metálica</b>	<p><b>Bornita, calcosina y magnetita.</b></p>		
<b>Litología Original</b>	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con textura original fuertemente obliterada. Diámetro de los fenocristales alrededor de 6mm. No se distingue bien composición de la masa fundamental, ni abundancia de vesículas.</p>		
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<p>Zeolita: en cúmulos.            Epidota: en cúmulos.            K-Feldespato: diseminado.            Albita: diseminado.            Calcita: en cúmulos.            Cuarzo: en cúmulos, en vetilla.            Bornita: diseminada, en vetillas, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, en vetillas, intercrecimiento con calcosina.            Magnetita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Zeolita: reemplazo, relleno.            Epidota: reemplazo.            K-Feldespato: reemplazo.            Albita: reemplazo.            Calcita: relleno.            Cuarzo: relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Magnetita: relleno.</p>
<b>Estructuras</b>	<p>Vetillas de cuarzo, vetillas de calcita, vetillas discontinuas de bornita, vesículas rellenas de zeolita.</p>		

MUESTRA: R-SUB-4 COORDENADAS: 313202/6334032



<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Cloritización incipiente en minerales máficos. Secitización incipiente en plagioclasas. Epidotización incipiente en plagioclasas. Carbonatación incipiente.		
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita y calcosina, magnetita y hematita.</b>		
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica amigdaloidal, fenocristales de tamaños desde 1mm a 7mm, vesículas de hasta 1,5 cm de diámetro. Masa fundamental rica en microlitos de plagioclasa, pobre en vidrio.		
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: diseminada, en vesículas.</p> <p>Albita: diseminada, en vesículas.</p> <p>Epidota: diseminada, en vesículas.</p> <p>Sericita: diseminada.</p> <p>Calcita: diseminada, en vesículas.</p> <p>Bornita: diseminada, en vesículas, intercrecimiento con calcosina.</p> <p>Calcosina: diseminada, en vesículas, intercrecimiento con bornita.</p> <p>Magnetita: diseminada, en vesículas.</p> <p>Hematita: diseminada, en vesículas.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: relleno, reemplazo.</p> <p>Albita: reemplazo.</p> <p>Epidota: relleno, reemplazo.</p> <p>Sericita: reemplazo.</p> <p>Calcita: relleno.</p> <p>Bornita: relleno.</p> <p>Calcosina: relleno.</p> <p>Magnetita: relleno.</p> <p>Hematita: relleno, reemplazo.</p>
<b>Estructuras</b>	Vesículas conformado por un ensamble de epidota, calcita, clorita, cuarzo y asociadas a mineralización de bornita y calcosina.		



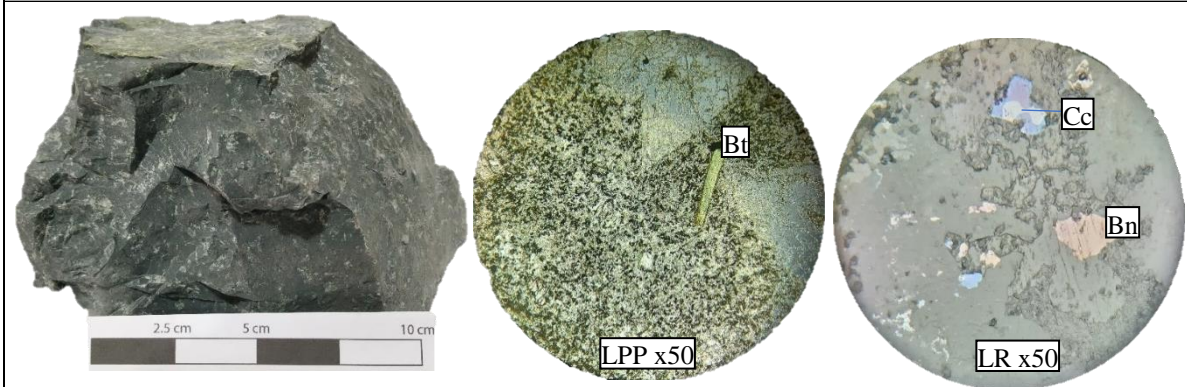
MUESTRA: R-SUB-5 COORDENADAS: 313182/6334022		
		
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Cloritización pervasiva en minerales máficos. Epidotización incipiente en plagioclasas.	
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita, calcosina (anisotropía sutil, pero evidente).</b>	
<b>Litología Original</b>	Dique microdiorítico de textura hipidiomorfica equigranular de grano fino con tamaño de cristales entre 0,2mm – 0.4mm. Presenta abundante magnetita (25%) y máficos como biotita, anfíbol y piroxeno.	
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: diseminada</p> <p>Epidota: diseminada</p> <p>Calcosina: diseminada, inclusiones en bornita, en vetillas.</p> <p>Bornita: diseminada, en vetillas.</p>	<p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p> <p>Clorita: reemplazo.</p> <p>Epidota: reemplazo.</p> <p>Calcosina: relleno.</p> <p>Bornita: relleno.</p>
<b>Estructuras</b>	Vetillas rellenas de hematita o rellenas de bornita y calcosina.	

MUESTRA: R-SUB-6 COORDENADAS: 313544/6333855				
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Cloritización incipiente en máficos (alteración en biotitas y anfíboles).            Albitización incipiente en plagioclasas.            Epidotización incipiente en plagioclasas.            Sericitización incipiente en plagioclasas.            Carbonatación incipiente en plagioclasas.            Silicificación incipiente.</p>			
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita, calcosina, calcopirita, magnetita, hematita.</b>			
<b>Litología Original</b>	Andesita porfídica amigdaloidal de textura glomeroporfídica y seriada. Tamaño de fenocristal que varía desde los 3mm a 8mm, abundantes vesículas de diámetro aproximado de 5mm. Abundan los microlitos de plagioclasa por sobre el vidrio en la masa fundamental. Se identifican relictos de anfíbol y biotita			
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<table border="1"> <tr> <td> <p>Clorita: diseminada, en vesículas.            Albita: diseminada.            Epidota: en cúmulos, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vesículas.            Cuarzo: en vesículas.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Apatito: en vesículas.            Magnetita: diseminada.            Hematita: diseminada.</p> </td> <td style="text-align: center;"><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></td> <td> <p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Cuarzo: relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Apatito: relleno            Magnetita: relleno.            Hematita: relleno.</p> </td> </tr> </table>	<p>Clorita: diseminada, en vesículas.            Albita: diseminada.            Epidota: en cúmulos, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vesículas.            Cuarzo: en vesículas.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Apatito: en vesículas.            Magnetita: diseminada.            Hematita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Cuarzo: relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Apatito: relleno            Magnetita: relleno.            Hematita: relleno.</p>
<p>Clorita: diseminada, en vesículas.            Albita: diseminada.            Epidota: en cúmulos, en vesículas.            Sericita: diseminada.            Calcita: diseminada, en vesículas.            Cuarzo: en vesículas.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Apatito: en vesículas.            Magnetita: diseminada.            Hematita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo, relleno.            Albita: reemplazo.            Epidota: reemplazo, relleno.            Sericita: reemplazo.            Calcita: reemplazo, relleno.            Cuarzo: relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Apatito: relleno            Magnetita: relleno.            Hematita: relleno.</p>		
<b>Estructuras</b>	Vesículas rellenas de cuarzo, clorita, calcita, epidota, apatito y bornita-calcosina.			

MUESTRA: R-SUB-7 COORDENADAS: 313186/6334026				
				
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Cloritización moderada en minerales máficos de la masa fundamental.            Albitización incipiente en plagioclasas.            Sericitización incipiente en plagioclasas.            Epidotización incipiente en plagioclasas.            Carbonatación incipiente en plagioclasas.</p>			
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Bornita, calcosina, calcopirita, magnetita.</b>			
<b>Litología Original</b>	Andesita pórfídica. Los fenocristales se dividen en 2 familias de tamaños promedio de 3mm y de 1cm aproximadamente. La roca presenta textura glomeropórfídica. La masa fundamental está compuesta principalmente por microlitos de plagioclasa donde el vidrio es escaso.			
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<table border="1"> <tr> <td> <p>Clorita: diseminada.            Albita: diseminada.            Sericita: diseminada.            Epidota: diseminada.            Calcita: en vetillas y diseminada.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p> </td> <td style="text-align: center;"><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></td> <td> <p>Clorita: reemplazo.            Albita: reemplazo.            Sericita: reemplazo.            Epidota: reemplazo.            Calcita: reemplazo y relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Magnetita: relleno</p> </td> </tr> </table>	<p>Clorita: diseminada.            Albita: diseminada.            Sericita: diseminada.            Epidota: diseminada.            Calcita: en vetillas y diseminada.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo.            Albita: reemplazo.            Sericita: reemplazo.            Epidota: reemplazo.            Calcita: reemplazo y relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Magnetita: relleno</p>
<p>Clorita: diseminada.            Albita: diseminada.            Sericita: diseminada.            Epidota: diseminada.            Calcita: en vetillas y diseminada.            Bornita: diseminada, intercrecimiento con calcosina.            Calcosina: diseminada, intercrecimiento con bornita.            Calcopirita: diseminada.            Magnetita: diseminada.</p>	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: reemplazo.            Albita: reemplazo.            Sericita: reemplazo.            Epidota: reemplazo.            Calcita: reemplazo y relleno.            Bornita: relleno.            Calcosina: relleno.            Calcopirita: relleno.            Magnetita: relleno</p>		
<b>Estructuras</b>	Vetillas rellenas de calcita, no asociadas a la mineralización metálica.			
<b>Observaciones</b>	Bajo contenido metálico. Roca estéril.			

MUESTRA: R-SUB-9 COORDENADAS: 313201/6334036			
<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	Cloritización pervasiva en máficos. Epidotización incipiente en plagioclasa. Albitización moderada en plagioclasas. Carbonatación.		
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Magnetita (cerca al 20%), bornita, calcosina.</b>		
<b>Litología Original</b>	Dique dióritico, litología muy homogénea compuesta principalmente por plagioclasa, máficos alterados a clorita, y magnetita. Alto índice de color.		
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	Clorita: diseminada. Albita: diseminada. Epidota: diseminada. Calcita: en vetillas. Magnetita: diseminada. Bornita: diseminada e intercrecida con calcosina. Calcosina: diseminada e intercrecida con bornita.	<b>Texturas (Mena y Ganga)</b>	Clorita: reemplazo. Albita: reemplazo. Epidota: reemplazo. Calcita: relleno. Magnetita: relleno. Bornita: relleno. Calcosina: relleno.
<b>Estructuras</b>	Vetillas de calcita.		

MUESTRA: R-SUB-12 COORDENADAS: 313550/6333849





<b>Mineralogía y Grado de Alteración Hidrotermal</b>	<p>Cloritización incipiente en máficos.          Albitización incipiente en plagioclasas.          Sericitización incipiente en plagioclasa.          Epidotización incipiente en plagioclasas.          Carbonatación incipiente en plagioclasas.</p>	
<b>Mineralogía Metálica</b>	<b>Magnetita, bornita, calcosina.</b>	
<b>Litología Original</b>	Andesita pórfidica con textura glomeropórfidica y tamaños de fenocristal entre 3mm a 6mm. La masa fundamental está compuesta por microlitos de plagioclasa y anfíbol, y vidrio en partes similares. No hay presencia de vesículas.	
<b>Ocurrencias (Mena y Ganga)</b>	<p>Clorita: diseminado.          Albita: diseminado.          Sericita: diseminado.          Epidota: en cúmulos, en vetillas.          Calcita: diseminado.          Bornita: diseminado.          Calcosina: diseminado.          Magnetita: diseñado.</p>	<p><b>Texturas (Mena y Ganga)</b></p> <p>Clorita: reemplazo.          Albita: reemplazo.          Sericita: reemplazo.          Epidota: reemplazo, relleno.          Calcita: reemplazo.          Bornita: relleno.          Calcosina: relleno.          Magnetita: relleno.</p>
<b>Estructuras</b>	Vetillas de epidota.	

## 10.2 FICHAS DE MUESTRAS DE MANO

<p style="text-align: center;"><b>CODIGO: E-SUP-1</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>COORDENADAS: 313239/6334158</b></p> <p>Dique microdiorítico porfídico con una abundancia de fenocristales cercana al 15% cuyos diámetros varían entre 1 a 2 mm y correspondientes principalmente a plagioclasas. La masa fundamental contiene cristales entre 0,3mm a 0,6 mm y se compone de abundante magnetita evidenciado por el magnetismo de la roca. Presenta un grado de alteración moderado. Las plagioclasas están alteradas a calcita y albita mientras que la masa fundamental está alterada principalmente a clorita. Contiene vetilla de 0,1 mm de espesor rellenas con calcita. No se observa minerales de mena.</p>
<p style="text-align: center;"><b>CODIGO: E-SUP-2</b></p> 	<p style="text-align: center;"><b>COORDENADAS: 313327/6334197</b></p> <p>Dique pórfido andesítico con abundancia relativa de fenocristales cercana al 32%, con dimensiones que varían entre 3mm a 8mm, y compuestas principalmente por plagioclasas. La masa fundamental contiene cristales entre 0,3mm a 0,7mm, abundante magnetita, y en menor medida, biotita. Presenta un grado de alteración incipiente con plagioclasas alteradas a calcita y arcillas, y masa fundamental alterada a clorita. No se observa asociación con minerales de mena.</p>

<b>CODIGO: E-SUP-3</b>	<b>COORDENADAS: 313427/6334195</b>
	<p>Dique pórfido andesítico con abundancia de fenocristales cercana al 27%, con dimensiones que varían entre 1mm a 3mm, y compuestas principalmente por plagioclasas. La masa fundamental contiene cristales entre 0,2mm a 0,5mm, abundante magnetita, y en menor medida, biotita y anfíbol. Presenta un grado de alteración moderada con plagioclasas alteradas a albita, masa fundamental alterada a clorita, y hematita y otros óxidos de hierro en la superficie de la roca. No hay minerales de mena presentes.</p>
<b>CODIGO: R-SUB-1</b>	<b>COORDENADAS: 313199/6334034</b>
	<p>La muestra presenta un grado de alteración pervasivo que oblitera totalmente la textura original de la roca, debido a esto, no es posible clasificarla. La mineralogía de alteración se compone por: cristales centimétricos de calcita bien formados intercrecidos con cuarzo también centimétrico; hematita terrosa rojiza la cual recubre toda la roca y se encuentra en vetillas, albita alterando relictos de plagioclasa, clorita, epidota y magnetita. La roca es de alta ley, y está asociada a gran cantidad de sulfuros asociados principalmente a bornita en vetillas y diseminada.</p>


<b>CODIGO: R-SUB-2</b>	<b>COORDENADAS: 313549/6333866</b>
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con textura seriada y glomeroporfídica, y fenocristales de tamaños que varían entre 1mm a 1cm. Presenta gran cantidad de vesículas cuyos diámetros son cercanos a 1cm. El grado de alteración es moderada. La mineralogía de alteración: se compone por albita y epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; clorita reemplazando a los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental; y en menor medida, calcita. Hay presencia de bornita como relleno de vesículas y en menor cantidad, diseminada en la masa fundamental.</p>
<b>CODIGO: R-SUB-8</b>	<b>COORDENADAS: 313187/6334034</b>
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con textura glomeroporfídica, y fenocristales de tamaños cercanos a 5mm. Contiene abundantes vesículas de tamaños variables, algunas con diámetro cercano a 11 mm. Presenta ligero magnetismo a causa de la magnetita diseminada en la masa fundamental. El grado de alteración es moderado. La mineralogía de alteración se compone por: albita y epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; clorita reemplazando los ferromagnesianos de la masa fundamental y como relleno de vesículas; calcita y hematita rellenando fracturas y planos de debilidad; y en menor medida, arcillas. La mena es abundante, y corresponde a bornita diseminada en la masa fundamental y como relleno de vesículas.</p>



<b>CODIGO: R-SUB-10</b>	<b>COORDENADAS: 313192/6334041</b>
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con fenocristales de tamaños cercanos a 3mm de diámetro. Las vesículas no son abundantes, pero alcanzan grandes diámetros de hasta 1,6 cm. El grado de alteración es moderado. La mineralogía de alteración se compone por: albita y epidota reemplazando plagioclasas; clorita reemplazando los ferromagnesianos presentes en la masa fundamental, y como relleno de vesículas; cuarzo rellenando vesículas; y hematita rellenando planos de debilidad. La mena es abundante, y corresponde a bornita diseminada en la masa fundamental y como relleno de vesículas.</p>
<b>CODIGO: R-SUB-11</b>	<b>COORDENADAS: 313534/6333858</b>
	<p>Andesita porfídica con textura glomeroporfídica y seriada con diámetros de fenocristal que varían desde 2 mm a 1,2 cm. No hay presencia de vesículas. El grado de alteración es moderado. La mineralogía de alteración se compone por: feldespato potásico y epidota reemplazando plagioclasas; clorita reemplazando los ferromagnesianos presentes en la masa fundamental; y hematita diseminada por la roca. La mena es abundante, se encuentra diseminada por la masa fundamental de la roca, y se compone principalmente por calcopirita y bornita en proporciones similares.</p>

<p><b>CODIGO: R-SUB-13</b></p>	<p><b>COORDENADAS: 313559/6333879</b></p>
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con fenocristales poco abundantes y de dimensiones variables entre 2 mm a 8 mm. Vesículas poco abundantes y de dimensiones entre 3 mm a 5 mm. El grado de alteración es moderado. La mineralogía de alteración se compone por: epidota y albita reemplazando plagioclasas; clorita reemplazando a los ferromagnesiano de la masa fundamental y relleno vesículas; calcita relleno planos de debilidad y diseminada por la roca. La mena es abundante, y se compone por calcosina intercrecida con bornita diseminada por toda la roca.</p>
<p><b>CODIGO: E-SUB-1</b></p>	<p><b>COORDENADAS: 313177/6334124</b></p>
	<p>Dique microdiorítico con textura hipidiomórfica equigranular de grano fino. El tamaño de grano es cercano a 0,2mm. El grado de alteración es moderado. La mineralogía de alteración se asocia principalmente a clorita reemplazando los minerales máficos de la roca y calcita relleno fracturas y planos de debilidad. No hay presentes minerales de mena.</p>

<p><b>CODIGO: E-SUB-2</b></p>	<p><b>COORDENADAS: 313186/6334047</b></p>
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con textura seriada y glomeroporfídica. Contiene fenocristales de tamaños que varían entre 1mm a 8 mm. Presenta gran cantidad de vesículas cuyos diámetros son cercanos a 1cm. El grado de alteración es moderada. La mineralogía de alteración: se compone por albita y epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; clorita reemplazando a los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental, cuarzo y calcita como relleno de vesículas. La mena es abundante, y corresponde a bornita como relleno de vesículas y en menor cantidad, diseminada en la masa fundamental.</p>
<p><b>CODIGO: M-SUB-3</b></p>	<p><b>COORDENADAS: 312771/6333206</b></p>
	<p>Andesita porfídica con escasos fenocristales de tamaños cercanos a 3mm. El grado de alteración es moderado. Las plagioclasas están alteradas a calcita y epidota; la clorita reemplaza los minerales máficos de la masa fundamental; hematita terrosa se encuentra diseminada por la muestra; y también hay calcita que rellena fracturas de la roca. La mena corresponde a calcosina y cobre nativo diseminado por la masa fundamental.</p>

<b>CODIGO: M-SUB-4</b>	<b>COORDENADAS: 312757/6333205</b>
	<p>Andesita porfídica con escasos fenocristales de tamaños que varían entre 2 mm a 3 mm. El grado de alteración es moderado. Las plagioclasas están alteradas a calcita y epidota; la clorita reemplaza los minerales máficos de la masa fundamental, la hematita terrosa se encuentra diseminada por la muestra; la calcita rellena fracturas de la roca, aunque también está presente en planos de debilidad. La mena corresponde a calcosina y cobre nativo diseminadas por la roca.</p>

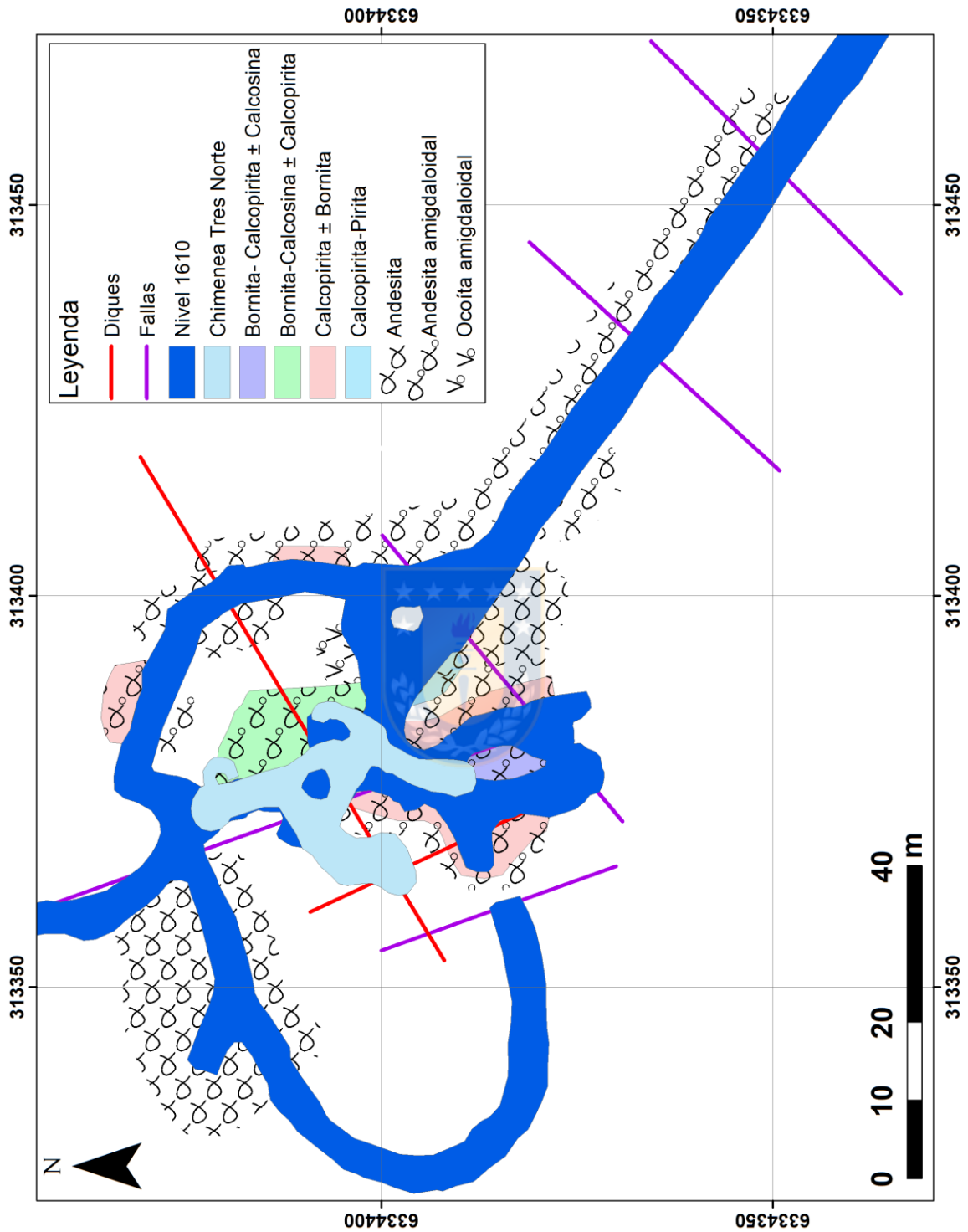


### 10.3 TABLA DE DATOS ESTRUCTURALES

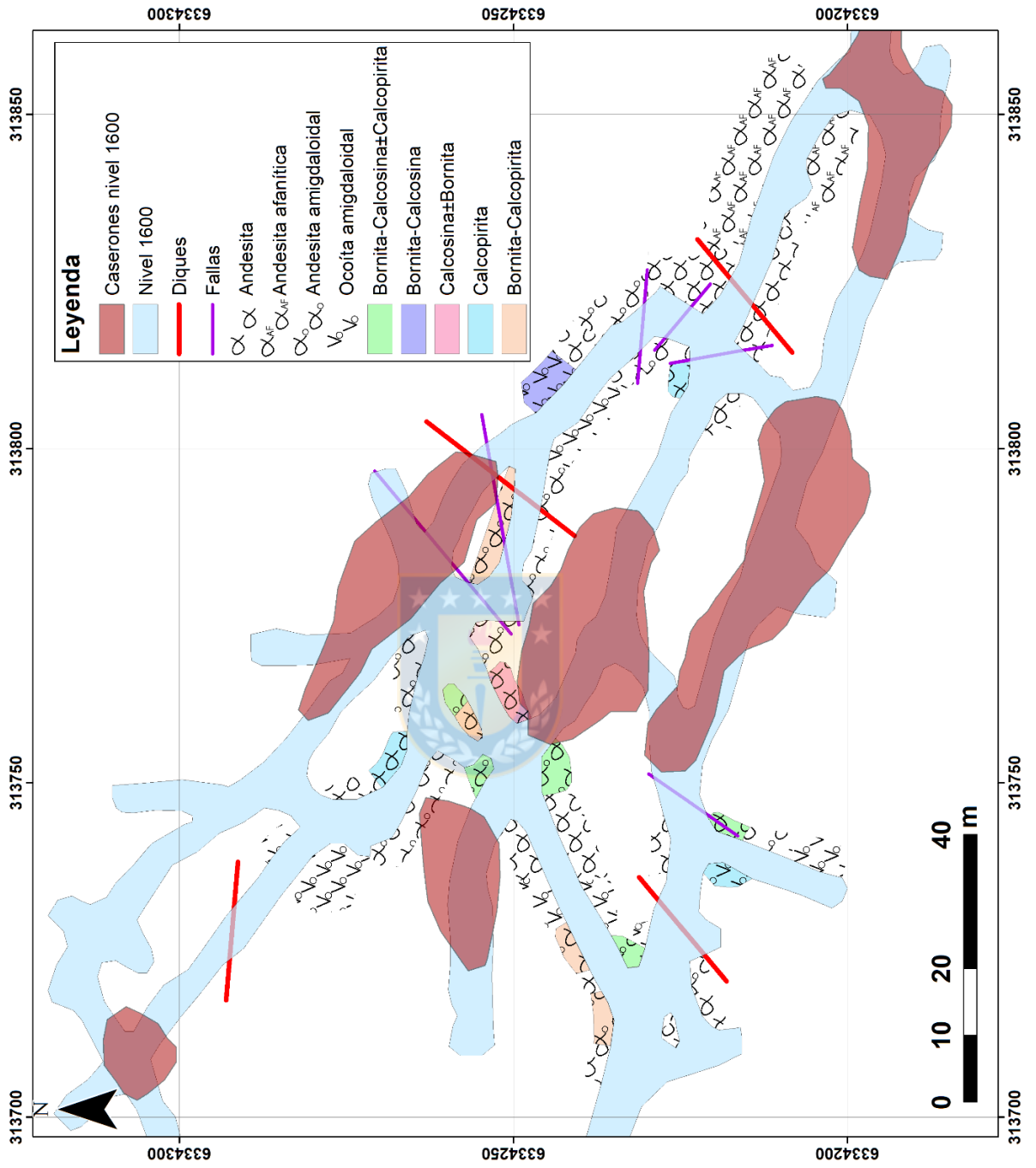
RUMBO RHR	MANTEO RHR	TIPO	AREA
50	75	FALLA	NIVEL 1560
60	62	FALLA	NIVEL 1560
340	50	FALLA	NIVEL 1560
160	50	DIQUE	NIVEL 1560
62	60	DIQUE	NIVEL 1560
35	60	FALLA	NIVEL 1600
230	70	FALLA	NIVEL 1600
260	80	FALLA	NIVEL 1600
105	50	FALLA	NIVEL 1600
130	55	FALLA	NIVEL 1600
170	60	FALLA	NIVEL 1600
230	60	DIQUE	NIVEL 1600
275	55	DIQUE	NIVEL 1600
210	80	DIQUE	NIVEL 1600
130	55	DIQUE	NIVEL 1600
340	82	FALLA	NIVEL 1610
230	60	FALLA	NIVEL 1610
215	55	FALLA	NIVEL 1610
220	75	FALLA	NIVEL 1610
360	72	FALLA	NIVEL 1610
250	60	DIQUE	NIVEL 1610
335	75	DIQUE	NIVEL 1610
195	80	FALLA	C.ESMERALDA
195	70	FALLA	C.ESMERALDA
165	40	DIQUE	C.ESMERALDA
226	70	DIQUE	C.ESMERALDA
220	50	DIQUE	C.ESMERALDA
240	50	DIQUE	C.ESMERALDA
340	75	FALLA	EL LLANO
200	50	FALLA	EL LLANO
230	50	FALLA	EL LLANO
160	50	FALLA	EL LLANO
200	40	FALLA	EL LLANO
200	40	FALLA	EL LLANO
225	50	DIQUE	EL LLANO
80	80	DIQUE	EL LLANO
315	45	FALLA	NIVEL 1647
280	80	FALLA	NIVEL 1647
230	45	DIQUE	NIVEL 1647
160	65	FALLA	NIVEL 1633
230	60	DIQUE	NIVEL 1633
335	80	FALLA	EL MANZANO
170	85	FALLA	EL MANZANO

### 10.4 MAPEOS DE NIVELES

Nivel: 1610. Datum: PSAD56



# Nivel: 1600. Datum: PSAD56



Nivel: 1560. Datum: PSAD56

