



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA

**GEOLOGIA DE LA MINA LA LEONA, REGION DE
COQUIMBO, CHILE. ESCALA 1:4.000 Y EVALUACION DEL
POTENCIAL DE MINERALIZACION CU DEL SECTOR EL
LEON**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos
para obtener el título de Geólogo.

Profesor Guía: Karl Riveros Jensen

Gabriel Andrés Rivera Cordero

Copiapó, Chile 2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios por brindarme la salud, sabiduría y la virtud para llevar a cabo esta investigación y poder terminar con mi titulación que tanto deseo. También reconocer el papel fundamental de mi esposa Verónica y mi hermosa hija Amalia, quienes han sido mi mayor inspiración, han impulsado cada paso de este camino de estudio a concluirlo y cada día demostrar su amor hacia mí. Además, no puedo dejar de agradecer a mis padres, cuya presencia y sabios consejos desde mi infancia que han sido fundamentales para mi desarrollo profesional y pilares fundamentales en mi vida.

Quiero extender mi gratitud hacia Patricio Chávez, mi gran amigo, por ofrecerme el acceso a su mina, La Leona, lo cual ha sido crucial para la realización de esta investigación. Asimismo, agradecer a mis compañeros John, Nelson y Werner en la etapa de universidad donde fueron unos excelentes compañeros y cada día compartíamos experiencias, enseñanzas y locuras juntos. Además, quiero expresar mi sincero agradecimiento a todos aquellos que estuvieron cerca de mí durante este proceso: amigos, compañeros y familiares. Su apoyo incondicional y palabras de aliento han sido una columna fundamental en este viaje.

RESUMEN

El yacimiento la Leona, ubicado al suroeste de Salamanca, región de Coquimbo, Chile. Este sector se localiza en la franja metalogénica cretácica, una franja caracterizada por pórfidos cupríferos y depósitos tipo IOCG. En el área de estudio se buscó evaluar el potencial geológico y económico. Se realizó fotointerpretación satelital mediante SAS Planet y utilizando el Software QGIS, dos campañas de mapeo superficial, un mapeo de frente en un sector previamente tratado con explosivos, análisis geoquímico mediante XRF del sondaje exploratorio DHEL001 y un estudio geológico del mismo. La litología dominante en el sector corresponde a andesitas de la Formación Quebrada Marquesa, Miembro Quelén, sienogranito de la Unidad Chalinga al Este de la pertenencia y un dique de microdiorita.

Se localizaron 3 vetas de potencia 65, 48 y 75 metros (en promedio) con dirección NNW emplazadas en las andesitas, con alteración de óxidos de Fe en superficie, asociadas a sectores mineralizados con óxidos de Cobre en superficie y sulfuros de Cobre a 3-4 metros de profundidad. Estructuralmente, se destacan dos fallas con dirección NNW y NE, y familias de diaclasas con 3 direcciones preferenciales. Las vetas mineralizadas presentan características geológicas que indican un potencial económico significativo para la exploración avanzada y eventual explotación del yacimiento, dada la presencia de calcopirita, bornita, covelina y crisocola.

La ley media estimada es de 1,08 %Cu, con un tonelaje de recursos inferidos de 717,08 toneladas. Se señala una viabilidad favorable para el proyecto, específicamente con los ingresos calculados para la extracción de cobre. Se recomienda sondear de forma perpendicular a la veta del sector El León, para conocer la potencia en profundidad y verificar el comportamiento de la ley mineral, y extrapolar los estudios a los demás sectores de la pertenencia.

Palabras clave: Depósito IOCG y vetiforme, potencial económico, pertenencia La Leona.

ABSTRACT

The La Leona deposit is located southwest of Salamanca, in the Coquimbo region of Chile. This sector is located in the Cretaceous metallogenic belt, a belt characterized by copper porphyries and IOCG-type deposits. The study area was aimed at evaluating the geological and economic potential. Satellite photointerpretation was carried out using SAS Planet and QGIS software, two surface mapping campaigns, a front mapping in a sector previously treated with explosives, geochemical analysis using XRF of the DHEL001 exploratory well and a geological study of the same. The dominant lithology in the sector corresponds to andesites of the Quebrada Marquesa Formation, Quelén Member, sienogranite of the Chalinga Unit to the east of the property and a microdiorite dike.

Three veins of power 65, 48 and 75 meters (on average) with NNW direction located in the andesites, with alteration of Fe oxides at surface, associated to mineralized sectors with Copper oxides at surface and Copper sulphides at 3-4 meters depth. Structurally, there are two faults with NNW and NE direction, and families of diaclasses with 3 preferential directions. The mineralised veins present geological characteristics that indicate a significant economic potential for advanced exploration and eventual exploitation of the deposit, given the presence of chalcopyrite, bornite, covellite and chrysocolla.

The estimated average grade is 1.08 %Cu, with an inferred resource tonnage of 717.08 tonnes. A favourable feasibility is indicated for the project, specifically with the revenues calculated for copper extraction. It is recommended to drill perpendicular to the vein in the El León sector, to know the power at depth and verify the behaviour of the mineral grade, and to extrapolate the studies to the other sectors of the property.

Keywords: IOCG and vetiform deposit, economic potential, La Leona belonging.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XII
1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Hipótesis	1
1.3. Objetivos	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4 Ubicación y accesos	2
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	4
2.1. Franjas metalogénicas	4
2.1.1 Franja metalogénica cretácica.....	4
2.2 Sistema extensional del Cretácico	6
2.3. Depósitos magmáticos hidrotermales.....	6
2.4. Alteraciones hidrotermales.....	8
2.5 Depósitos IOCG	10
3. CAPÍTULO III. MARCO GEOLÓGICO	13
3.1 Formación Quebrada Marquesa	13
3.2 Miembro Quelén.....	14
3.3 Superunidad Illapel.....	14
3.4 Unidad Chalinga.....	15

4.	CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA.....	16
4.1	Trabajo pre terreno	16
4.2	Etapa de terreno.....	16
4.2.1	Sector El León.....	18
4.3	Trabajo gabinete	20
5.	CAPÍTULO V. RESULTADOS.....	22
5.1	Unidades litológicas	22
5.1.1	Unidad Andesítica.....	22
5.2.2	Unidad Sienogranito	24
5.2	Alteración hidrotermal	25
5.2.1	Clorita	25
5.2.2	Epidota	26
5.3	Alteración supérgena.....	27
5.4	Estructuras	29
5.4.1	Vetas Mineralizadas.....	31
5.4.2	Fallas	33
5.5	Sector Granero.....	33
5.6	Sector El Pato	34
5.7	Sector El León.....	34
5.7.1	Segmentos del sector El León.....	35
5.8	Sondaje	40
5.9	Geoquímica del sector El León	41
5.10	Estimación del tonelaje mínimo del sector El León.....	42
5.11	Mapa geológico	43
6.	CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	46
6.1	Comparación Bibliográfica	46

6.2	Geología	48
6.3	Estructural	49
6.4	Zonaciones del yacimiento o modelo conceptual.....	50
6.5	Geoquímica y potencial mínimo del oro	51
7.	CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
7.1	Vetas mineralizadas.....	53
7.2	Potencial minero de Cu en la zona El León	53
7.3	Campaña de sondajes	54
	REFERENCIAS	57
8.	CAPÍTULO IX. ANEXOS.....	63
8.1	Ficha de muestras de mano	63
8.2	Tabla de datos estructurales.....	69
8.3	Análisis de minerales cobre, oro y plata del sector El León	70
8.4	Análisis químico XRF del sondaje DHEL001	71
8.5	Medición del largo de v.b en la zona de El León	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Ruta de acceso a la mina la Leona desde la ciudad de Salamanca.	3
Figura 2.1. Mapa con principales yacimientos y franja metalogénica de Chile (Sillitoe, 1988).	5
Figura 2.2. Esquema geológico de sistema magmático hidrotermal (Hedenquist & Lowenstern, 1994; Hedenquist, 1996).	7
Figura 2.3. Alteraciones hidrotermales y su asociación de mineral. Extraído y editado de (Corbett & Leach, 1998). Abreviaciones: Ab = albita, Ac = actinolita, Ad = adularia, Al = alunita, And = andalucita, Bi = biotita, Ca = calcedonia, Cb = carbonatos (de Ca, Mg, Mn y/o Fe), Cc = calcita, Cl = clorita, Co = corindón, Cr = cristobalita, Dc = dickita, Di = diápora, Do = dolomita, Ep = epidota, Fp = feldespatos potásicos, Ha = halloysita, I = illita o illita-smectita, K = caolinita, Mt = magnetita, Op = ópalo o sílice opalina, Pi = pirofilita, Px = clinopiroxenos, Q = cuarzo, Se = sericita, Si = siderita, Sm = smectita o smectita- illita, Tri = tridimita, Z = zeolitas (de menor a mayor temperatura: natrolita, chabazita, mordenita, heulandita; laumontita; wairakita).mica = muscovita generalmente.	9
Figura 2.4. Modelo genético de formación de yacimiento IOCG adaptado y modificada por Barton (2014).	10
Figura 2.5. Zonaciones de alteración hidrotermal en un depósito IOCG. Extraído de Hirtzman y otros (1992).	11
Figura 2.6 (a). Mapa geológico de la región de Atacama. Se indican las ubicaciones de los principales depósitos de magnetita-apatita y óxido de hierro Cu-Au. (b). Mapa de ubicación del área de Copiapó, que muestra depósitos seleccionados de óxido de hierro Cu-Au del cinturón Punta del Cobre. Extraído de Marschik y Fontboté (2001).	12
Figura 3.1. Extracto de la Hoja Illapel. Distribución de las unidades sedimentarias y volcánicas del Cretácico Interior. 1. Estratos Río Alitre (Neocomiano), 2. Formación Arqueros, a. Calizas (Neocomiano), 3. Formación Los Pelambres	

(Neocomiano), 4. Formación Río Tascadero (Berriasiano-Hauteriviano). Formación Quebrada Marquesa: 5 Miembro Ei Espino, 6 Miembro Quelén (Barremiano-Albiano), 7. Formación Pucalume, 8. Falla inversa, 9. Falla normal, 10. Falla probable y/o lineamiento, 11. Ubicación del perfil, 12. Área de estudio.....	14
Figura 3.2. Índice de color de las rocas en la unidad Chalinga. Extraído de Rivano y Sepúlveda (1991).....	15
Figura 4.1. Mapa de sectores de interés económico en la mina La Leona, escaló 1:5.000. Color amarillo: Zona el Granero; color celeste: Zona El León; color verde: Zona El Pato.....	17
Figura 4.2. Extracción de muestra en el mediante el método <i>Channel Sampling</i>	18
Figura 4.3. Frente de El León divide en segmentos para análisis geológico y químico, mediciones corresponde del espesor real de la veta.	19
Figura 5.1. Brechas volcánicas andesíticas, presentan clastos cloritizados y masa fundamental de color marrón oscuro.	22
Figura 5.2. Muestra obtenida en la coordenada 317560 E, 6473561 N; de Andesita con matriz de composición máfica, los cristales de plagioclasa están alterando a epidota y son de grano medio a grueso.	23
Figura 5.3. Amígdalas con relleno de covelina de tamaño milimétrico ubicadas en el sector “El León”.	24
Figura 5.4. Sienogranito fracturado donde se hospedan óxidos de hierro.	25
Figura 5.5. A: Vetilla de tipo D hospedada en andesita porfídica amigdaloidal; B: Andesita con alteración clorita con intensidad de media a avanzada.	26
Figura 5.6. A: Andesita porfídica con alteración epidota con intensidad media a intensa, fracturas rellenas con epidota y óxidos de hierro menor. B: Planos de fractura donde se observa epidota.	27
Figura 5.7. Andesita obliterada por alteración de hematita y jarosita.	28
Figura 5.8: Muestra EP003, extraída en la coordenada 317202E, 6472782N. Andesita porfídica con fenocristales de tamaño fino hasta de 1 milímetro. No hay presencia de vesículas. El grado de alteración es leve a moderado. Índice de color máfico 85%. La mineralogía de alteración se compone por: epidotas	

reemplazando plagioclasas; clorita reemplazando ferromagnesianos presentes en la masa fundamental; y hematitas y goetitas diseminadas en la roca. Presenta magnetismo en la roca a causa de magnetita diseminada en la roca. Mineral de mena presente: crisocola en pequeña proporción.....	29
Figura 5.9. Ploteo de planos de las estructuras en la Leona, donde se puede observar las densidades de concentración de los datos.....	30
Figura 5.10. A: Ploteo de las direcciones con mayor concentración. B: Ploteo en Rosette, donde se observa las direcciones de concentraciones de los datos, la fractura principal (M) y planos de las tres direcciones preferenciales.	30
Figura 5.11. Muestra EP003, presenta grado de alteración media de epidota, hematita y goetita. La roca es de muy baja ley, y está asociada con crisocola.	31
Figura 5.12. Veta B mineralizada asociada con covelina diseminada, calcopirita, pirita y óxidos de Fe. Cv: covelina. Ccp: calcopirita. Py: pirita.	32
Figura 5.13. El segmento presenta un grado de alteración argílica pervasiva de y óxidos de Fe que obliteran totalmente la textura original de la roca. Líneas achuradas corresponden a la extracción de muestras mediante <i>Channel Sampling</i>	36
Figura 5.14. A: Mineral de covelina en el segmento. B: Estrías de fallas. C: Fractura con flujo hidrotermal. D: Vetillas rellenas con yeso.	38
Figura 5.15. Vetillas de yeso hospedada en andesita obliterada producto de la alteración.....	39
Figura 5.16 Muestras de sondaje DHEL001 en el sector El León. Bn: bornita. Cv: covelina. Cp: calcopirita. Ep: epidota. Mgt: magnetita. Plg: plagioclasa. Py: pirita.	41
Figura 5.17 Mapa geológico de minera La Leona escala 1:4.000, donde presenta litología, alteración y minerales de mena.	44
Figura 5.18 Sección A-A', veta A con inclinación aparente 75,5° hacia el este, veta B con inclinación aparente 71° hacia el ste y veta C con inclinación aparente 67,8° hacia el este.	45

Figura 5.19 Sección B-B', veta B con inclinación aparente al este de 71°, veta C con inclinación aparente 67,8° al este.	45
Figura 6.1. Modelo de zonación vertical de depósitos Tipo IOA a depósitos tipo IOCG propuesto por Barra y otros (2017).....	47
Figura 6.2. Modelo conceptual para la zona El Pato. Las zonas gossan y lixiviación se encuentran erosionadas en su totalidad, quedando solo niveles inferiores del perfil de enriquecimiento.....	50
Figura 7.1. Mapa escala 1:2000. Con las ubicaciones de los sondajes que se recomienda a realizar en la mina La Leona. Círculos blancos con punto negro en el centro es la ubicación del sondaje.	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Datos de mediciones de la veta en el sector El León	20
Tabla 5.1. Datos de las estructuras preferenciales en la mina	31
Tabla 5.2. Direcciones preferenciales de diaclasas ubicadas en el sector “El León”.	35
Tabla 5.3. Valores de mediciones longitudinales de v.b mediante QGIS, y promedio de los resultados obtenido.	35
Tabla 6.1. Leyes de Au del sondaje DHEL001 y de la zona 2 y 3 en la zona El León. ..	51
Tabla 7.1. Datos de los sondajes para futura campaña en la mina La Leona.....	56

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En este capítulo introductorio, se aborda la problemática esencial que fundamenta la presente investigación, focalizada en la evaluación geológica del yacimiento La Leona. Se expone la hipótesis que dirige este estudio, junto con la delimitación de objetivos, una metodología y la especificación del área de estudio, definiendo así el alcance preciso de la investigación.

1.1. Planteamiento del problema

En el distrito de La Leona, se plantea la necesidad de iniciar una operación minera con el objetivo de extraer recursos de minerales de cobre. Cabe de destacar que no existe estudios previos donde indique la presencia de recursos mineralógicos en el área, solo se tiene conocimiento de afloramientos de algunos minerales de menas en el área y de extracciones de oro de antiguos pirquineros. Este distrito está dividido en distintos sectores de interés, llamados El León, El Pato y Granero. Se dará un énfasis particular en el análisis y evaluación del sector El León. Para llevar a cabo esta actividad, es crucial contar con un sustento geológico del depósito en cuestión, para determinar la geometría y las características mineralógicas y geoquímicas del depósito, permitiendo la futura planificación minera y explotación. En esta investigación se realizará la recopilación, análisis y aplicación de datos geológicos, estructurales y geoquímicos, con el propósito de respaldar la operación minera con sustento geológico.

1.2. Hipótesis

El yacimiento corresponde a un depósito de tipo IOCG, debido a la ubicación geográfica del sector, dentro de la franja metalogénica del Cretácico. Además, el cuerpo mineralizado podría exhibir características morfológicas y estructurales propias de los yacimientos vetiformes, similares a las observadas en el sistema mineralizado cercano "El Espino" (Hernández, 2010). A su vez estas similitudes indican que se hospedaría un tonelaje de mineral de cobre que resultaría económicamente rentable.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el potencial económico del yacimiento La Leona, región de Coquimbo, Chile.

1.3.2. Objetivos específicos

- i) Definir las unidades litológicas, zonas de alteración y mineralización existente en el yacimiento.
- ii) Caracterizar la geometría, orientación y morfología de los cuerpos mineralizados.
- iii) Estimar los recursos inferidos de cobre en el sector “El León” del yacimiento.
- iv) Brindar recomendaciones para ampliar las campañas de explotación.

1.4 Ubicación y accesos

El distrito La Leona tiene un área de 100 hectáreas y se encuentra estratégicamente ubicado en la región de Coquimbo, Chile, en la comuna de Salamanca, específicamente en el cuadrante con las coordenadas (P1: 316950E, 6473750N; P2: 317950E, 6473750N; P3: 316950E; 6472750N; P4: 317950E, 6472750N), aproximadamente a 9,5 kilómetros al Sureste de Salamanca (Figura 1.1). El acceso a la mina se realiza desde la ciudad de Salamanca, tomando la ruta D-825 durante una distancia de 7,7 kilómetros. A continuación, se toma la ruta D-847 en dirección al sur, avanzando 28 kilómetros hasta llegar al acceso de Esteros Camisas. Desde este punto, se continúa avanzando hasta alcanzar el camino del canal de Agua y se prosigue hasta llegar a los caminos que llevan a la mina La Leona, culminando el trayecto en el área de estudio.



Figura 1.1. Ruta de acceso a la mina la Leona desde la ciudad de Salamanca.

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Franjas metalogénicas

La metalogénesis es el estudio de la génesis y evolución de los depósitos minerales en la corteza terrestre. Este campo de investigación se centra en la caracterización de las relaciones temporales y espaciales de estos yacimientos, así como en su contexto geológico integral (Maksajev, 2001). La formación de depósitos puede estar relacionado a procesos magmáticos-hidrotermales, metamórficos o sedimentarios. La mayor parte de los yacimientos metálicos en Chile son de origen magmático-hidrotermal (Sillitoe, 1992; Maksajev & Zentilli, 2002), principalmente pórfidos cupríferos, de molibdeno, IOCG (Iron oxide copper gold), entre otros.

Para referirse a los depósitos minerales en la Cordillera de los Andes al sur de Perú, en el norte y centro de Chile, se utiliza el concepto de Provincia Metalogénica de los Andes, y esta se subdivide en franjas metalogénicas (Stoll, 1965), que corresponden a agrupaciones de depósitos minerales dispuestos en cinturones longitudinales de orientación norte-sur (Figura 2.1) formados durante períodos discretos; los más antiguos se ubican al oeste, en la Cordillera de la Costa, mientras que los más recientes al este, en la Cordillera de los Andes (Sillitoe & Perelló, 2005; Maksajev & Zentilli, 1999).

2.1.1 Franja metalogénica cretácica

La Franja Metalogénica del Cretácico en Chile es una región geológica que alberga importantes depósitos metalíferos que se formaron durante el período Cretácico (Figura 2.1), hace aproximadamente entre 145 y 66 millones de años. Esta franja abarca una extensa área en el norte de Chile, desde los 22° y los 35° 20' de Latitud Sur (Mpodozis & Ramos, 1990).

En esta franja, se encuentran diversos tipos de depósitos metalíferos, entre ellos pórfidos cupríferos, depósitos de óxido de Fe-Cu-Au (IOCG), depósitos de óxido de Fe-apatito y depósitos estratoligados (Sillitoe, 2010; Williams et al., 2005).

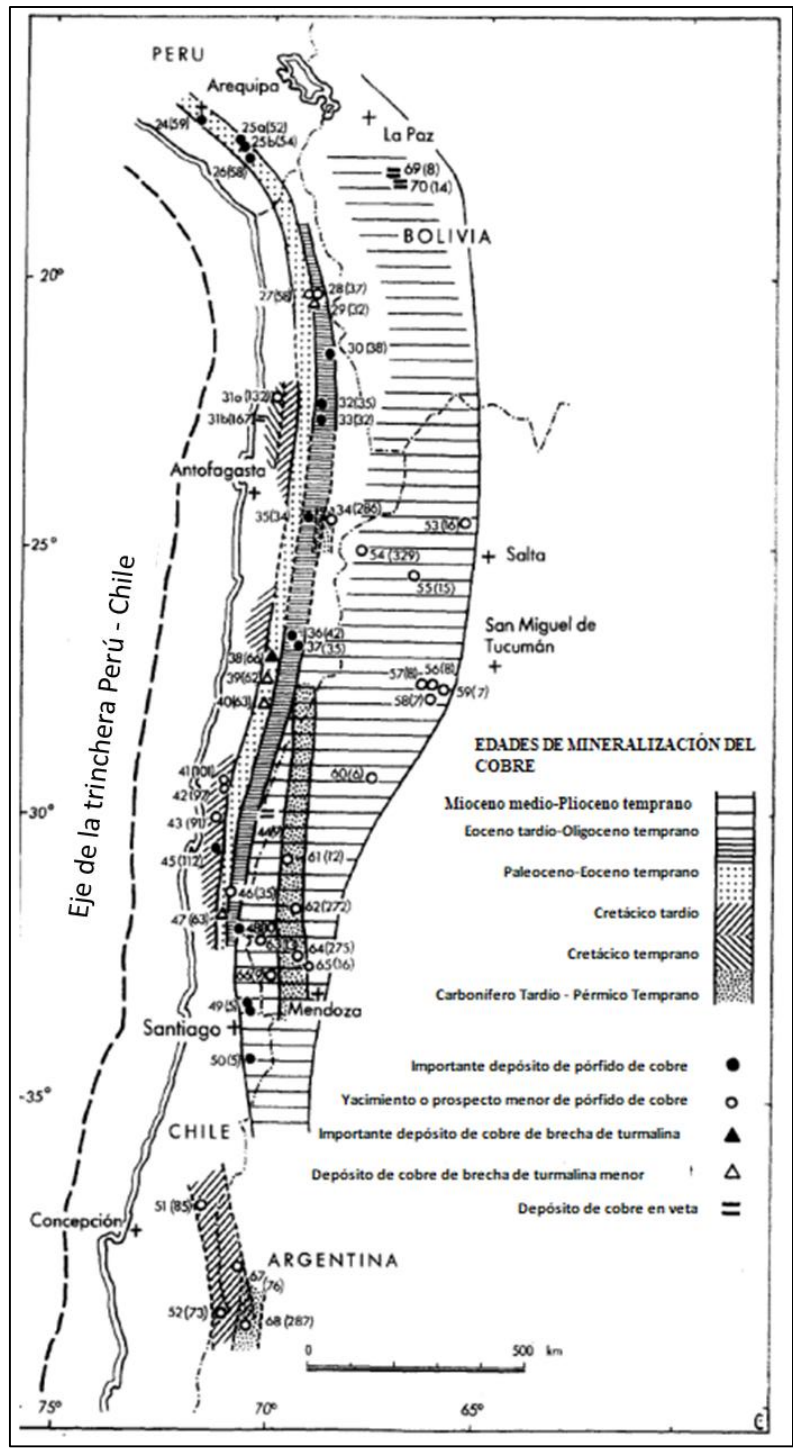


Figura 2.1. Mapa con principales yacimientos y franja metalogénica de Chile (Sillitoe, 1988).

2.2 Sistema extensional del Cretácico

El periodo del Cretácico Inferior en Chile central se caracteriza por la formación de un sistema extensional acompañado de actividad magmática asociada (Ramos, 2009). Este fenómeno se manifiesta a través de franjas alargadas de secuencias estratificadas que se extienden en dirección N-S. Marquardt y otros (2009) proponen un sistema de fallas de rumbo NS sinistral está controlando las rocas las rocas del Cretácico Inferior.

La inversión tectónica en Chile implicó la reactivación de estructuras extensionales preexistentes, lo que conduce a la deformación compresiva y al levantamiento de características geológicas (Allmendinger et al., 2005). En la región norte de Chile, particularmente en la Cordillera de Domeyko, la inversión tectónica ha tenido un papel significativo. Este proceso implica la reversión de fallas normales en fallas inversas, lo que resulta en el levantamiento de bloques del basamento y la deformación de rocas de cobertura mesozoica (Mpodozis & Ramos, 1990). La Cordillera de Domeyko, parte del antepaís andino, exhibe estructuras indicativas de inversión tectónica, con estructuras compresivas orientadas predominantemente de oeste a este y de norte a sur. Además, como resultado directo de este proceso de inversión tectónica, se han formado importantes depósitos minerales de tipo IOCG en la Cordillera de Domeyko (Sillitoe, 2010). Los depósitos IOCG se concentra en zonas de fallas y fracturas reactivadas durante la inversión tectónica. La deformación compresiva y el levantamiento de bloques de basamento han creado espacios abiertos y canales de fluidos favorables para la precipitación de estos minerales (Barton & Johnson, 1996).

2.3. Depósitos magmáticos hidrotermales

Los depósitos hidrotermales de origen magmático se forman como resultado de la interacción entre fluidos hidrotermales y rocas ígneas (Figura 2.2) (Sillitoe, 2010). Los fluidos hidrotermales, enriquecidos en metales disueltos, migran a través de sistemas de fracturas en la roca huésped. A medida que estos fluidos se enfrían y cambian las condiciones fisicoquímicas del sistema, los minerales precipitan, concentrando metales de interés económico (Kesler et al., 2007).

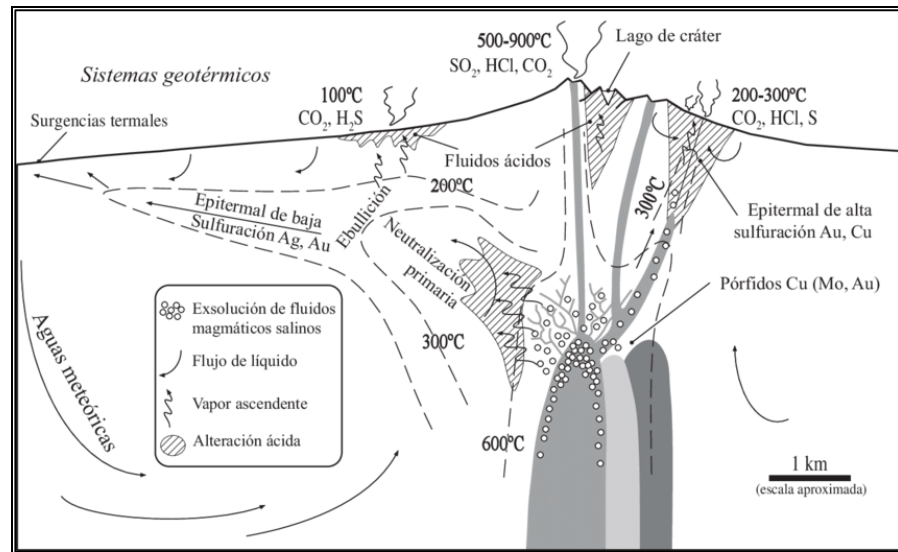


Figura 2.2. Esquema geológico de sistema magmático hidrotermal (Hedenquist & Lowenstern, 1994; Hedenquist, 1996).

Las fuentes de calor responsables de la formación de estos yacimientos son diversas y están asociadas a procesos geotectónicos y termodinámicos. Entre ellas se incluyen el gradiente geotérmico regional, el calor derivado del decaimiento de isótopos radiactivos, el calor friccional generado por el desplazamiento de fallas geológicas, y la proximidad de las intrusiones magmáticas, los cuales actúan como sistemas termales primarios en el entorno geológico (Norton & Knight, 1977; Henley & Ellis, 1983; Sibson, 1987).

La fase fluida hidrotermal, que presenta temperaturas que oscilan entre 50°C y 600°C, se conforma mediante la mezcla de distintos geofluidos. Estos pueden incluir aguas expulsadas de magmas, generadas por reacciones metamórficas, expulsadas por procesos diagenéticos (aguas connatas), así como aguas superficiales y subterráneas (aguas meteóricas), aguas marinas y aguas del manto terrestre (Richards, 2003).

Durante su recorrido, los fluidos hidrotermales interactúan con las rocas circundantes, disolviendo minerales en su paso (Heinrich, 2005). Esta capacidad solvente da lugar a la lixiviación de metales, que posteriormente se depositan cuando la temperatura y la presión disminuyen. Es así como se generan los yacimientos minerales,

que, debido a su riqueza en metales como oro, plata, cobre y otros, tienen una gran relevancia económica (Hedenquist & Lowenstern, 1994).

2.4. Alteraciones hidrotermales

La alteración hidrotermal, se produce como resultado de la interacción entre fluidos hidrotermales de alta temperatura y las litologías de la corteza terrestre. Este mecanismo provoca transformaciones químicas y mineralógicas en las rocas encajantes, derivadas del desequilibrio termodinámico entre las soluciones hidrotermales y los minerales primarios (Lowell & Guilbert, 1970).

Se identifican diversos tipos de alteración hidrotermal en los yacimientos, cada uno caracterizado por asociaciones particulares de minerales. La variedad en los tipos y la intensidad de la alteración depende de factores clave, como la composición del fluido hidrotermal, la composición de la roca huésped, el pH, el Eh, la temperatura, la razón agua/roca y el tiempo de interacción, entre otros (Lowell & Guilbert, 1970; Sillitoe, 2010).

Corbett y Leach (1998) proponen un diagrama de clasificación de los ensamblajes de alteración hidrotermal, el cual está basado en la temperatura y el pH de los fluidos hidrotermales (Figura 2.3).

2.5 Depósitos IOCG

Los depósitos tipo IOCG (Iron Oxide Copper Gold) representan una clase distintiva de sistemas mineralizados, caracterizados por una asociación predominante de óxidos de hierro (magnetita y hematita) con sulfuros de cobre, oro y otros elementos metálicos. Estos depósitos se desarrollan en ambientes hidrotermales vinculados a complejos magmáticos y zonas de deformación tectónica. Las características fundamentales de los IOCG incluyen una baja concentración de sulfuros totales, la presencia dominante de óxidos de hierro y alteraciones hidrotermales que incluyen potásica, sódica-cálcica y carbonatización (Hitzman et al., 1992).

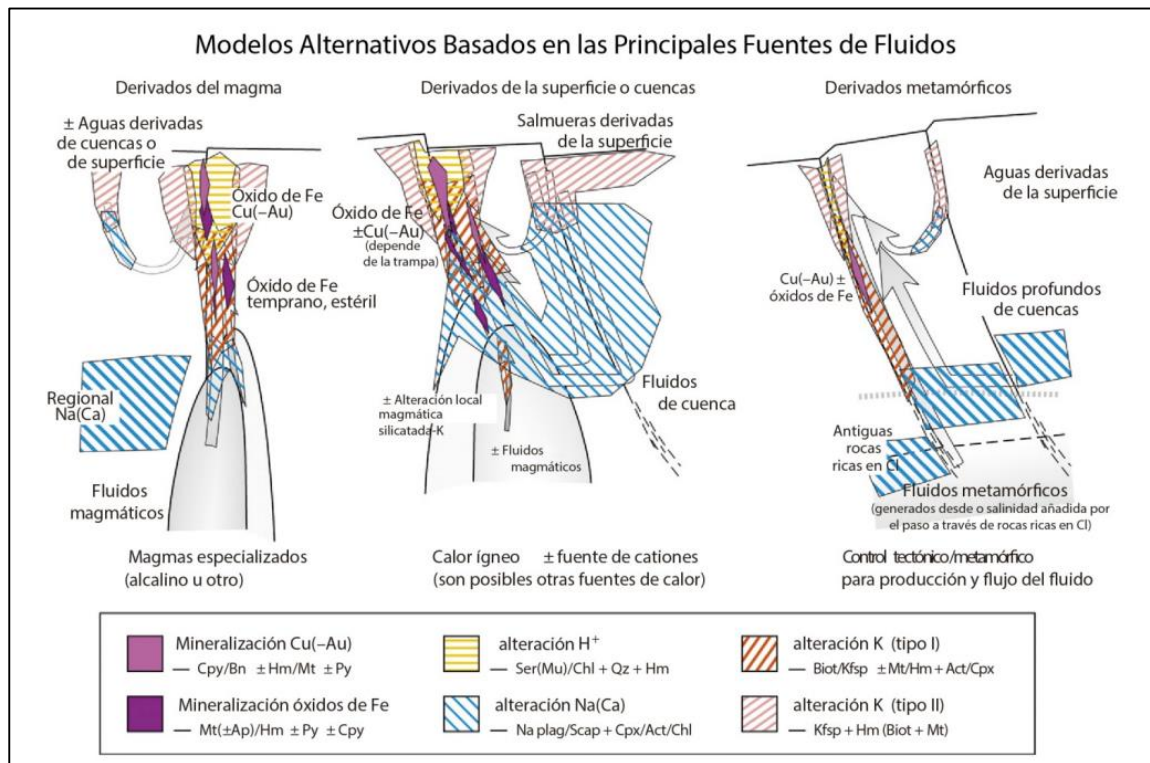


Figura 2.4. Modelo genético de formación de yacimiento IOCG adaptado y modificada por Barton (2014).

Aunque la presencia de óxidos de hierro, como magnetita y hematita, junto con sulfuros de cobre y oro, es común en diversos estilos de mineralización, se clasifica como depósitos IOCG aquellos que presentan características adicionales distintivas. Estas características incluyen una combinación particular de composiciones

mineralógicas, condiciones termodinámicas y asociaciones geológicas que permiten su diferenciación dentro de los sistemas hidrotermales (Figura 2.4) (Barton, 2014; Hirtzman, 1992, Williams et al., 2005).

En el ámbito de las alteraciones hidrotermales asociadas (Figura 2.5), se identifica una relación directa con la presencia de magnetita maciza y patrones de alteraciones de sodio-cálcica (Na-Ca) bien desarrollados (Hirtzman et al., 1992).

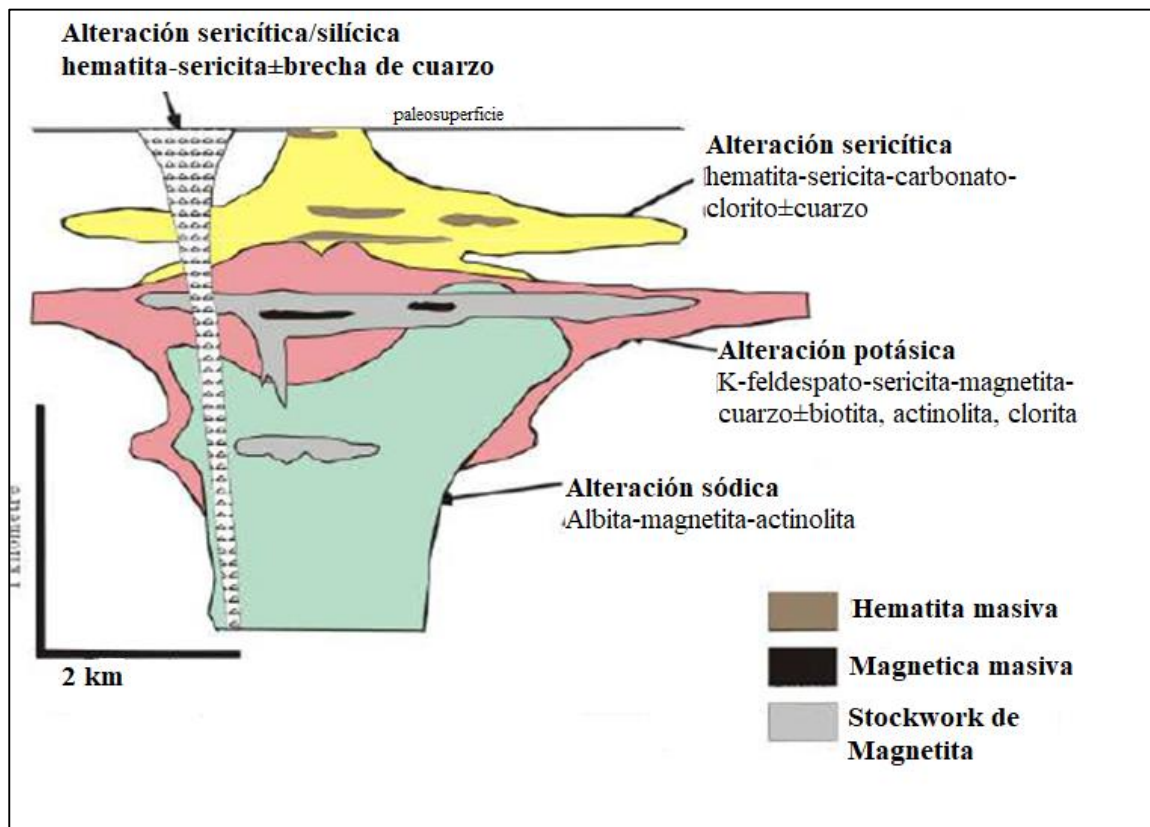


Figura 2.5. Zonaciones de alteración hidrotermal en un depósito IOCG. Extraído de Hirtzman y otros (1992).

En el norte de Chile, los depósitos de Candelaria y Punta del Cobre son ejemplos clásicos de sistemas IOCG formados durante el Cretácico. Estos yacimientos están alojados en el cinturón costero de la región de Atacama y están estrechamente relacionados con intrusiones dioríticas y tonalíticas, que aportaron el calor necesario para la circulación de fluidos hidrotermales (Marschik & Fontboté, 2001). La

mineralización en estos depósitos se distribuye principalmente en forma de mantos y vetas, controladas por estructuras extensionales y fallas regionales.

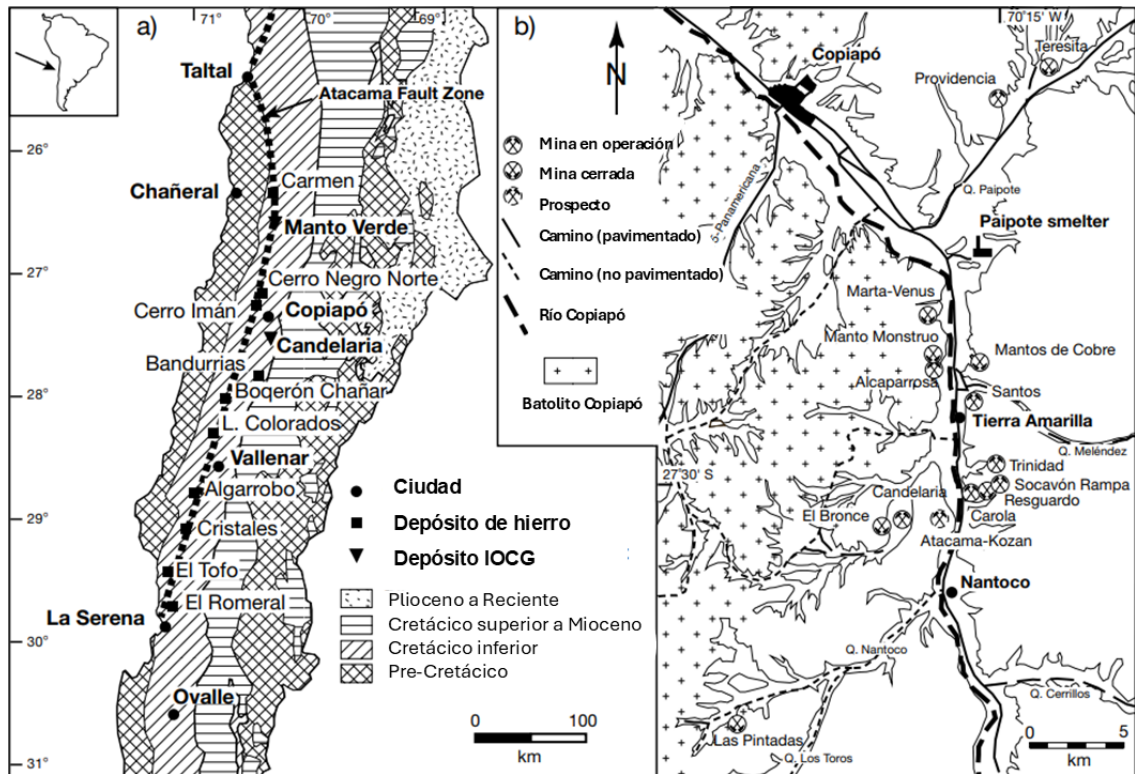


Figura 2.6 (a). Mapa geológico de la región de Atacama. Se indican las ubicaciones de los principales depósitos de magnetita-apatita y óxido de hierro Cu-Au. (b). Mapa de ubicación del área de Copiapó, que muestra depósitos seleccionados de óxido de hierro Cu-Au del cinturón Punta del Cobre. Extraído de Marschik y Fontboté (2001).

La paragénesis de mena en estos sistemas incluye magnetita, calcopirita, bornita y oro nativo, mientras que los minerales de ganga están representados por cuarzo, carbonatos y actinolita. La alteración hidrotermal es diversa, con zonas de alteración potásica en proximidad a los cuerpos intrusivos y alteración sódica-cálcica que se extiende más ampliamente hacia las rocas anfitrionas volcánicas y sedimentarias (del Real & Rieger, 2005). Estos patrones de alteración indican múltiples eventos hidrotermales, controlados por la interacción entre el magmatismo y la tectónica regional.

3. CAPÍTULO III. MARCO GEOLÓGICO

En el área de estudio afloran rocas volcánicas del Cretácico Inferior, pertenecientes al Miembro Quelén de la Formación Quebrada Marquesa (Vergara & Thomas, 1984). Esta formación se encuentra intruida por la Superunidad Illapel, específicamente representada por la Unidad Chalinga, cuya cronología abarca desde el Cretácico Inferior hasta el Cretácico Superior (Rivano et al., 1993; Nasi et al., 1985).

3.1 Formación Quebrada Marquesa

La Formación Quebrada Marquesa, ubicada en la localidad homónima en el valle del Elqui (Figura 3.1), se caracteriza como una secuencia continental con una delgada intercalación de areniscas marinas en su base (Aguirre y Egert, 1962), posteriormente validada en la Hoja Ovalle (Thomas, 1967). Esta formación se compone de dos niveles distintos: un nivel inferior volcánico andesítico con brechas y conglomerados intercalados, y un nivel superior que incluye areniscas de grano fino, lutitas, calizas lagunares, y mantos de manganeso y yeso.

La Formación Quebrada Marquesa se presenta como una secuencia volcánico-sedimentaria marino-transicional a continental, en concordancia sobre la Formación Arqueros y en discordancia angular bajo la Formación Salamanca.

En este contexto, se reconoce la Formación Quebrada Marquesa como el equivalente a la parte superior de la unidad mapeada en la Hoja Ovalle (Rivano y Sepulveda, 1991), ya que la parte inferior resulta litológicamente inseparable de la Formación Arqueros. Esta formación en Illapel se compone de dos miembros distintos: un miembro inferior lenticular sedimentario (Miembro El Espino), que abarca margas, calizas, areniscas y conglomerados con niveles locales de yeso; y un miembro superior de carácter volcánico-clástico sedimentario de color rojo-pardusco (Miembro Quelén), compuesto por lavas, piroclastitas, areniscas y conglomerados asociados.

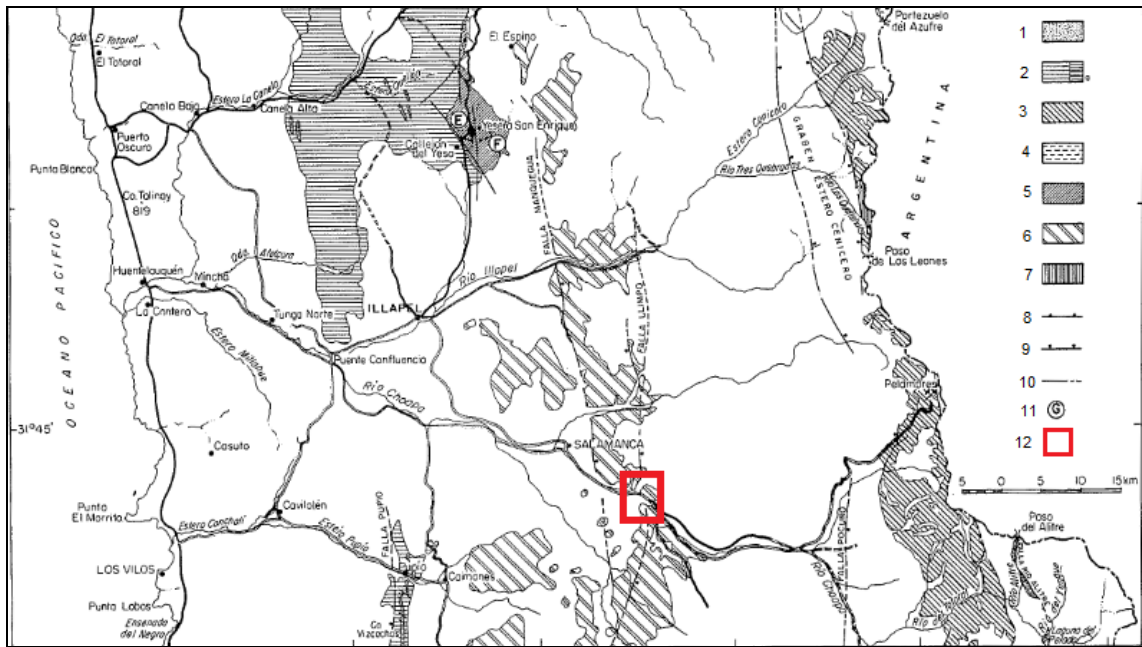


Figura 3.1. Extracto de la Hoja Illapel. Distribución de las unidades sedimentarias y volcánicas del Cretácico Interior. 1. Estratos Río Alitre (Neocomiano), 2. Formación Arqueros, a. Calizas (Neocomiano), 3. Formación Los Pelambres (Neocomiano), 4. Formación Río Tascadero (Berriasiano-Hauteriviano). Formación Quebrada Marquesa: 5 Miembro Ei Espino, 6 Miembro Quelén (Barremiano-Albiano), 7. Formación Pucalume, 8. Falla inversa, 9. Falla normal, 10. Falla probable y/o lineamiento, 11. Ubicación del perfil, 12. Área de estudio.

3.2 Miembro Quelén

El fragmento proporcionado representa aproximadamente el 95% de los afloramientos atribuidos a la Formación Quebrada Marquesa, abarcando una franja central a lo largo de la hoja geológica (Rivano y Sepulveda, 1991). Esta formación exhibe una sucesión de andesitas, brechas piroclásticas, volcarenitas y conglomerados de tonalidad roja, con estratos blanquecinos que evidencian una marcada estratificación (Rosales, 1988).

3.3 Superunidad Illapel

Esta unidad se caracteriza porque su mayor parte de afloramiento se encuentra alterada, meteorizada y cubierta por suelo agrícolas provocando que las unidades internas sean difíciles de dividirlas por eso se le llama Superunidad Illapel (Berg &

Charrier, 1987). Debido a ello se han separado solamente en dos unidades: Chalinga y Limáhuida.

3.4 Unidad Chalinga

Esta unidad geológica representa aproximadamente el 95% de la Superunidad Illapel y contiene una variedad de composiciones, desde diorita que contiene anfíbol y piroxeno hasta sienogranito que contiene anfíbol. Además, incluye diorita, granodiorita y monzodiorita (Rivano & Sepulveda, 1991).

La textura preponderante en esta unidad geológica se describe como hipidiomórfica equigranular, con granos que varían en tamaño desde fino a medio (0,5-2 mm), y en algunos casos, alcanzando incluso tamaños gruesos de hasta 6 mm.

En cuanto a sus propiedades cromática, el índice de color estándar de esta unidad varía ampliamente en el rango de 2 a 41 (Figura 3.2). Esta gama abarca desde rocas mesocráticas a hololeucocrática (Rivano y Sepúlveda, 1991).

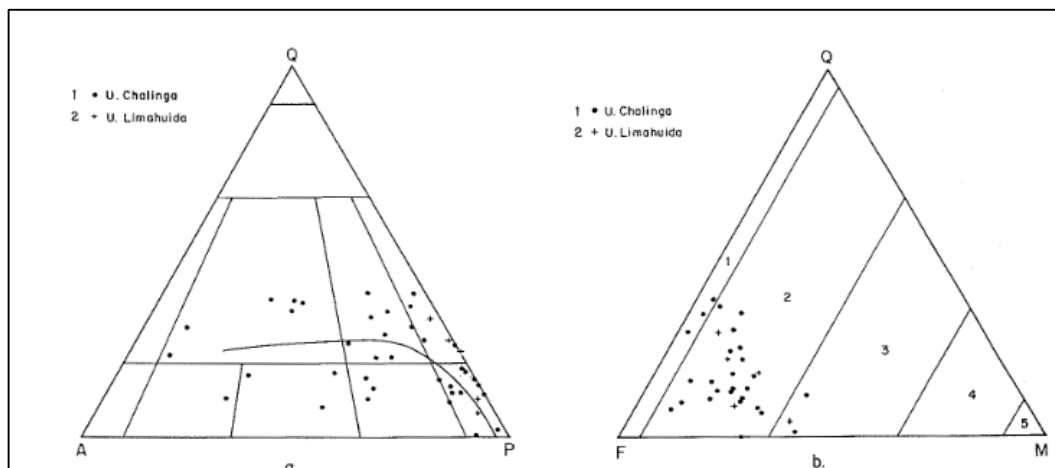


Figura 3.2. Índice de color de las rocas en la unidad Chalinga. Extraído de Rivano y Sepúlveda (1991).

4. CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

4.1 Trabajo pre terreno

Durante esta fase, se desarrollaron todas las actividades preliminares indispensables antes de emprender al trabajo de campo. Se realizó una investigación bibliográfica orientada a recopilar datos relevantes del área de estudio. Este proceso incluyó la búsqueda y adquisición de la carta geológica pertinente para la región en cuestión, específicamente la Carta Geológica Illapel, así como la búsqueda de información relacionada con la franja metalogénica del Cretácico y los diversos depósitos económicos asociados. Además, se revisaron investigaciones previas, con especial énfasis en los estudios realizados en la mina "El Espino", ubicada a unos 50 kilómetros al noreste de la mina La Leona, y en pequeñas explotaciones mineras cercanas. Esta revisión permitió identificar patrones geológicos y características específicas de la región, proporcionando un marco contextual esencial para comprender la génesis de los depósitos minerales.

Posteriormente, se utilizó el Software QGIS para recopilar y analizar información geoespacial. Este proceso incluyó la evaluación de variables clave y el análisis de tendencias geológicas, optimizando así las estrategias y técnicas que se implementarán en el campo. Además, se realizó un mapa de la propiedad minera con una escala 1:4.000 para el mapeo base. Todo ello se realiza con el objetivo de perfeccionar las estrategias y técnicas que se implementarán en el terreno, asegurando así un enfoque preciso y eficiente en las campañas geológicas.

4.2 Etapa de terreno

Se llevaron a cabo dos campañas de mapeo geológico en superficie de escala 1:4.000, cada una con una duración de 4 días, con el propósito de identificar la litología, alteraciones, mineralización en el sector, se tomó datos estructurales usando la notación

de la regla de la mano derecha, así como evaluar el potencial mínimo en el área de "El León".

La primera expedición de terreno tuvo lugar entre los días 21 y 24 de junio de 2023. Durante esta fase inicial, se realizó un mapeo todo el sector sur de la propiedad minera identificando minerales de mena, alteración, la roca caja de los cuerpos mineralizados, se midió datos estructurales, y se obtuvo muestras para análisis.

Además, dado que la extracción de minerales en la mina La Leona se clasifica como minería de pequeña escala, fue necesario limitar las áreas de interés económico para la extracción de minerales en tres sectores: El León, El Pato y Granero (Figura 4.1).

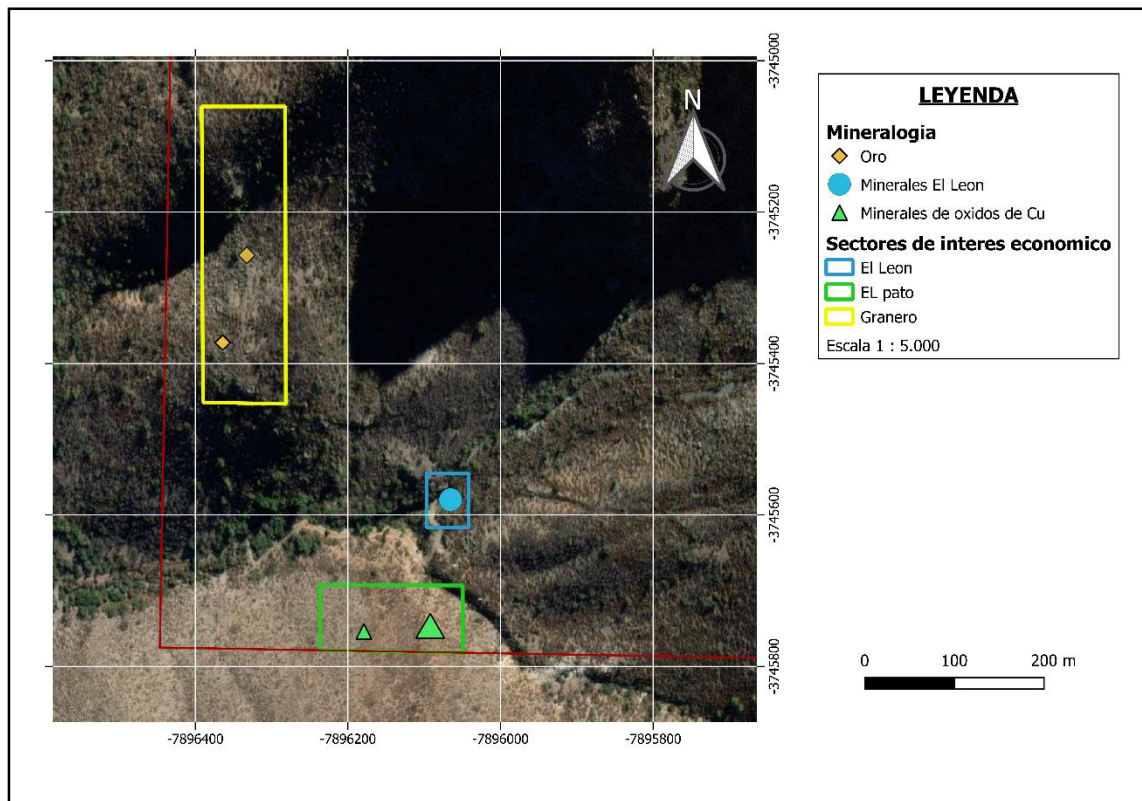


Figura 4.1. Mapa de sectores de interés económico en la mina La Leona, escala 1:5.000. Color amarillo: Zona el Granero; color celeste: Zona El León; color verde: Zona El Pato.

En el segundo trabajo de terreno, llevado a cabo entre los días 06 y 09 de septiembre del año 2023, se llevó a cabo una exploración del sector norte de la propiedad minera y el estudio enfocado en el área de El León. Se procedió a realizar

mediciones con una cinta topográfica del espesor aparente de la veta en el área designada. complementadas con la extracción de muestras representativas con el fin de someterlas a un análisis geoquímico que permitan evaluar la composición y viabilidad de los recursos presentes.

4.2.1 Sector El León

El sector El León tiene un área de 2.800 metros cuadrados ubicada en el punto central en la coordenada N:6472921,7; E:317271,7. En este sitio se encuentra un cuerpo vetiforme de interés económico, en el cual se han llevado a cabo operaciones de extracción de material a través de explosivos, con el fin de realizar un análisis más detallado del depósito mineral.

La estructura mineralizada se dividió en 4 segmentos, esta delimitación se llevó a cabo considerando la variabilidad en la intensidad de la alteración hidrotermal y la mineralización observada en la veta (descritos en el capítulo 5.7). Se realizó un muestreo mediante “Channel Sampling”, recolectándose una muestra de aproximadamente 5 kilogramos por segmento (Figura 4.2).



Figura 4.2. Extracción de muestra en el mediante el método *Channel Sampling*.

Se efectuaron mediciones del espesor aparente a lo largo de la veta (Figura 4.3) con el objetivo de calcular su volumen total. Para determinar el largo real de la veta, se utilizó el software QGIS en conjunto con fórmulas geométricas específicas. Además, se medirá la profundidad y también el espesor aparente de la veta, como base para la evaluación y estimación de la ley mínima del sector.

Se realizaron mediciones del espesor aparente a lo largo de la veta con el propósito de calcular el volumen total de la misma. Se obtuvieron un total de 15 datos de este parámetro (tabla 1). Para estimar el largo real de la veta, se empleó el software QGIS en combinación con fórmulas de trigonometría. Además, se asumió una profundidad mínima de 4 metros, que es el alcance visual observado en el terreno, para fines de evaluación y estimación del tonelaje mínimo del sector.

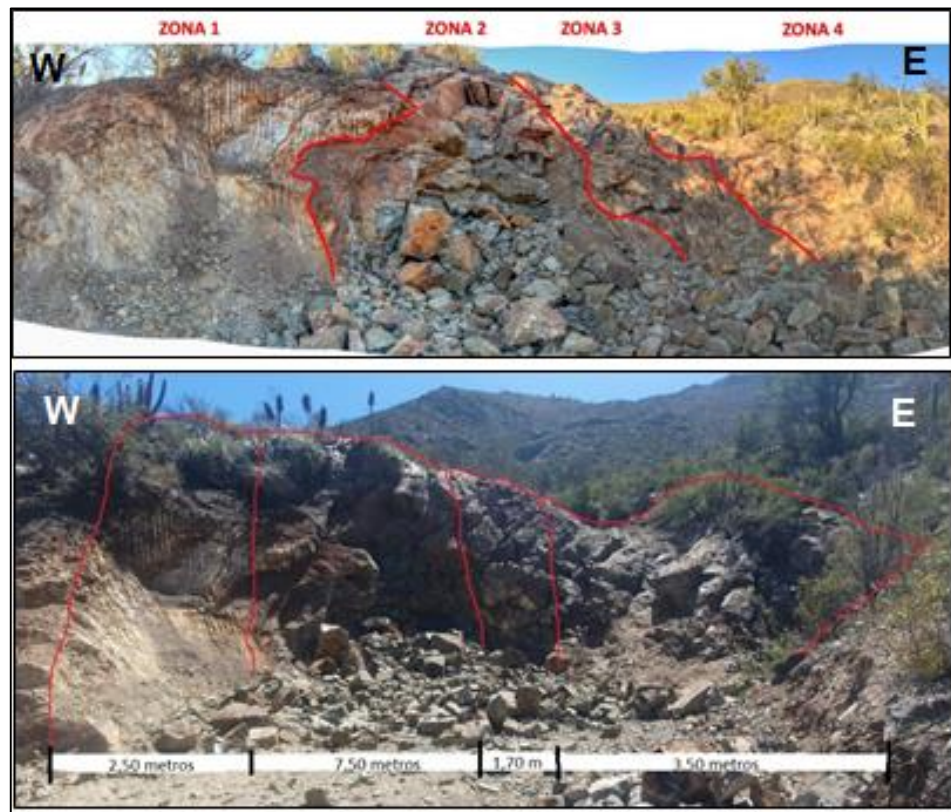


Figura 4.3. Frente de El León dividida en segmentos para análisis geológico y químico, mediciones corresponde del espesor real de la veta.

Tabla 4.1. Datos de mediciones de la veta en el sector El León

N°	espesor (m)
1	19.47
2	18.73
3	20.43
4	19.74
5	19.06
6	19.01
7	20.33
8	18.68
9	18.28
10	19.04
11	19.30
12	18.77
13	19.12
14	18.89
15	19.34
Promedio	19.21

4.3 Trabajo gabinete

Se llevó a cabo la descripción de las muestras macroscópicas, así como el procesamiento de los datos estructurales del terreno. Para el análisis de las características estructurales del sitio, se utilizó el software Dips 7.0, donde se ingresaron los datos estructurales recopilados, obteniendo como resultado el ploteo de las estructuras, las direcciones preferenciales y el diagrama de roseta.

Se digitalizó el mapa geológico de la mina a una escala de 1:4.000 utilizando el software QGIS como herramienta principal. Este mapa integra información derivada de muestras recolectadas, datos estructurales, observaciones directas en el terreno y coordenadas geográficas. El resultado permitió representar la litología, las alteraciones presentes y los minerales de interés económico identificados en el área de estudio.

Para estimar el potencial mínimo del sector "El León", se realizó un análisis químico a los minerales de cobre, oro y plata provenientes de las muestras recolectadas de los segmentos 1, 2, 3 y 4 (capítulo 8.3). Adicionalmente, se ejecutó un sondaje diamantino identificado como DHEL001 de 31 metros de longitud, orientado con un rumbo N87E e inclinación de 71°. A este sondaje se le aplicó un análisis químico por fluorescencia de rayos X en los intervalos 5,8–6,1 m, 10–11 m, 14–15 m, 21–22 m, 30–

31 m, así como en los segmentos 2 y 3 de la veta (tabla 5.5), con el objetivo de determinar la ley de mineral de Cu.

Posteriormente, a partir de las mediciones del espesor aparente y utilizando QGIS, se calcularon las dimensiones de la veta, lo que permitió estimar su volumen y tonelaje mínimo. Con la información de la ley de mineral y el tonelaje mínimo, se procedió al cálculo del potencial minero de la veta aplicando la fórmula correspondiente.

Potencial minimo (t)=Volumen mínimo (m³) ×Densidad veta(t/m³)×ley promedio

5. CAPÍTULO V. RESULTADOS

5.1 Unidades litológicas

5.1.1 Unidad Andesítica

Esta unidad está compuesta de andesita porfídica, cuyos rasgos texturales y mineralógicos varían espacialmente. Se definieron dos sectores principales: el sector Norte y el sector Sur, con características variables de Este a Oeste.

En el sector Norte es de tipo amigdaloidal (Figura 5.3), contiene fenocristales euhedrales de plagioclasa, de tamaño fino a medio (hasta 3 mm). Presenta una alta densidad de vesículas, cuyos diámetros rondan los 2 mm, rellenas por plagioclasas y epidota. El porcentaje de cristales corresponde a 30% de piroxenos y 70% de plagioclasa. La masa fundamental presenta un color verde grisáceo.

En el sector Sur, esta litología presenta textura porfídica, con ausencia de vesículas y amígdalas. Su mineralogía original corresponde a cristales de plagioclasa, y en menor cantidad anfíbol, con abundancia del 80% y 20%, respectivamente.



Figura 5.1. Brechas volcánicas andesíticas, presentan clastos cloritizados y masa fundamental de color marrón oscuro.

En la unidad se identificaron brechas volcánicas, cuyos clastos de composición andesítica se encuentran inmersos en una matriz soportada andesítica. La matriz presenta una masa fundamental de grano fino a medio de color marrón. Los clastos están compuestos por fragmentos de andesitas de tamaño centimétrico a decimétrico, los cuales exhiben formas angulosas. Los fragmentos pueden presentar tonalidades verdosas, pudiendo o no contener vesículas, con presencia de alteración clorítica moderada (Figura 5.1).

Tanto en los sectores Norte y Sur, se observa una diferenciación en las andesitas ubicadas al Este y al Oeste del área de estudio. En el sector este, las andesitas presentan una textura porfídica, con cristales de plagioclasa de grano medio a grueso. La matriz de estas rocas exhibe una textura afanítica con tonalidades oscuras, lo que sugiere una composición enriquecida en minerales máficos. Además, se encuentran cristales de plagioclasas alterando a epidota, junto con vetillas rellenas de epidota (Figura 5.2).

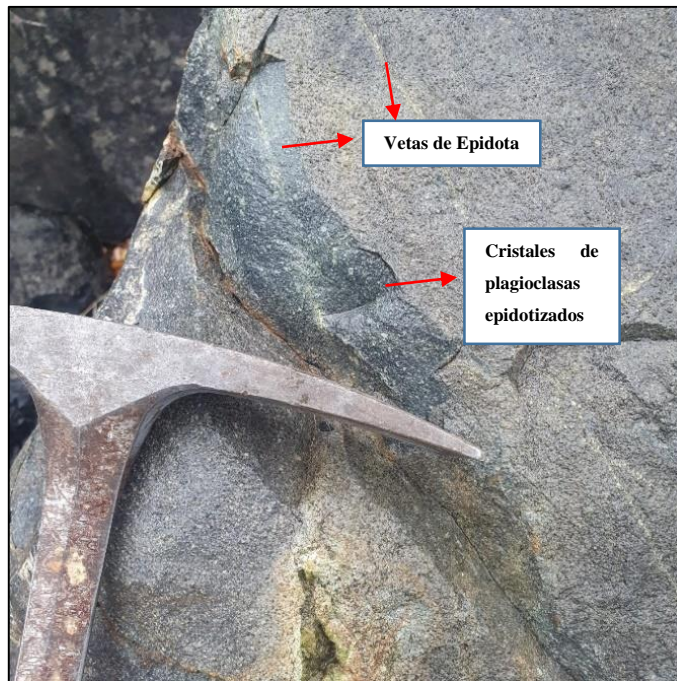


Figura 5.2. Muestra obtenida en la coordenada 317560 E, 6473561 N; de Andesita con matriz de composición máfica, los cristales de plagioclasa están alterando a epidota y son de grano medio a grueso.

Por otra parte, al Oeste las andesitas exhiben una textura porfídica caracterizada por la presencia de cristales de plagioclasas de tamaños de grano que varían entre fino a medio. Sin embargo, en la zona denominada El León, se observan amígdalas donde se deposita covelina (Figura 5.3). La matriz de la roca es afanita con colores claros.

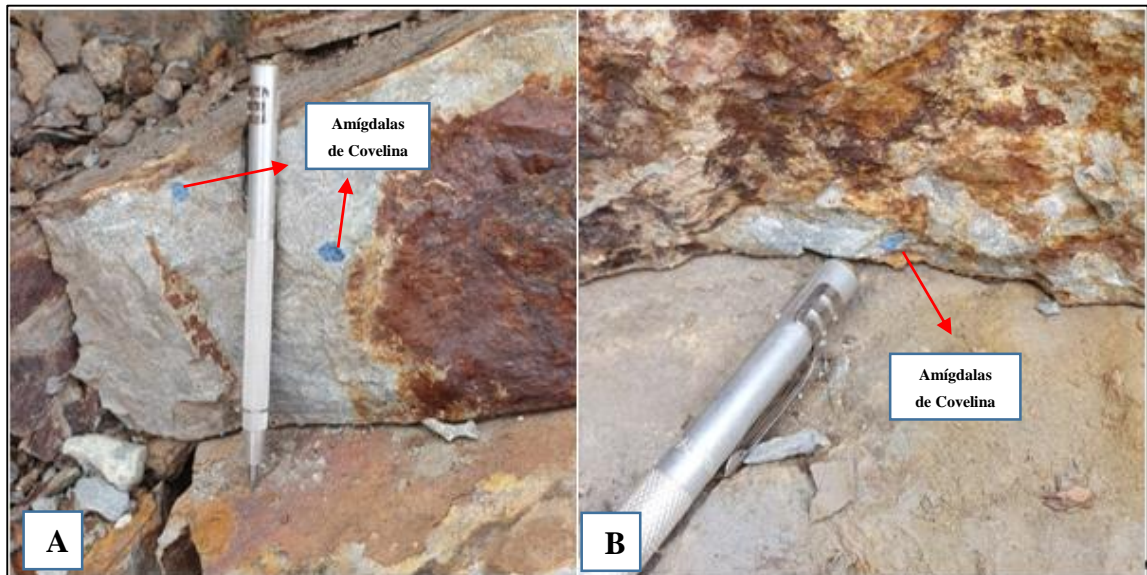


Figura 5.3. Amígdalas con relleno de covelina de tamaño milimétrico ubicadas en el sector “El León”.

5.2.2 Unidad Sienogranito

Esta unidad intrusiva, compuesta de sienogranito, está ubicada al este del yacimiento. Se caracteriza por tener una textura holocristalina, fanerítica, con cristales equigranulares de grano medio; posee 30% de cuarzo, 20% de plagioclasa y 50% de feldespato potásico, y tiene un índice de color leucocrático. Esta roca no presenta signos evidentes de alteración en su cuerpo principal; sin embargo, se observan fracturas rellenas con hematita y jarosita cerca del contacto con las andesitas hacia el sur, específicamente en el área de “El Pato” (Figura 5.4). Además, no se ha identificado la presencia de minerales de interés económico en esta unidad.

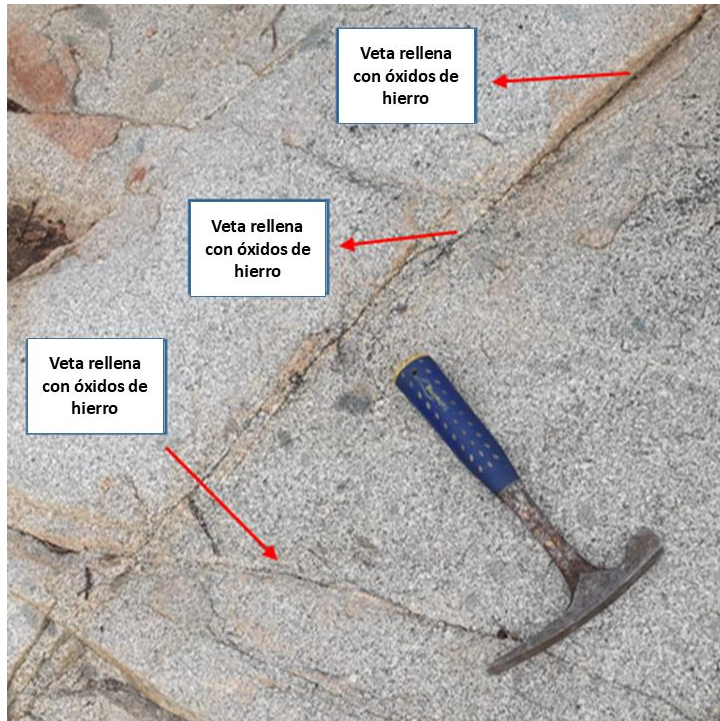


Figura 5.4. Sienogranito fracturado donde se hospedan óxidos de hierro.

5.2 Alteración hidrotermal

5.2.1 Clorita

La alteración a clorita se puede encontrar, en su mayor parte, alterando a las rocas andesíticas al sector oeste, aunque también en otras zonas, pero con una intensidad leve y asociada con epidota (Figura 5.17).

La alteración clorítica se manifiesta de tres formas distintas: afectando las plagioclasas de las andesitas, alterando a los ferromagnesianos de la masa fundamental de la roca, y rellenando algunas vetas.

Cuando se encuentra clorita reemplazando a las plagioclasas, esta se presenta con una intensidad leve a moderada, provocando que el cristal aun mantenga su hábito y que incluso coexista con cristales sin alterar en la roca. Asimismo, se observan fracturas secundarias rellenas con biotita alterada a clorita. Además, se identifican vetas de tipo D, que contienen pirita, calcopirita, cuarzo y carbonatos, rodeadas por halos de clorita (Figura 5.5a).

A la vez, existen zonas con una alteración intensa de clorita en el terreno de estudio. En estos casos, la roca experimenta una completa obliteración de su textura original (Figura 5.5b).

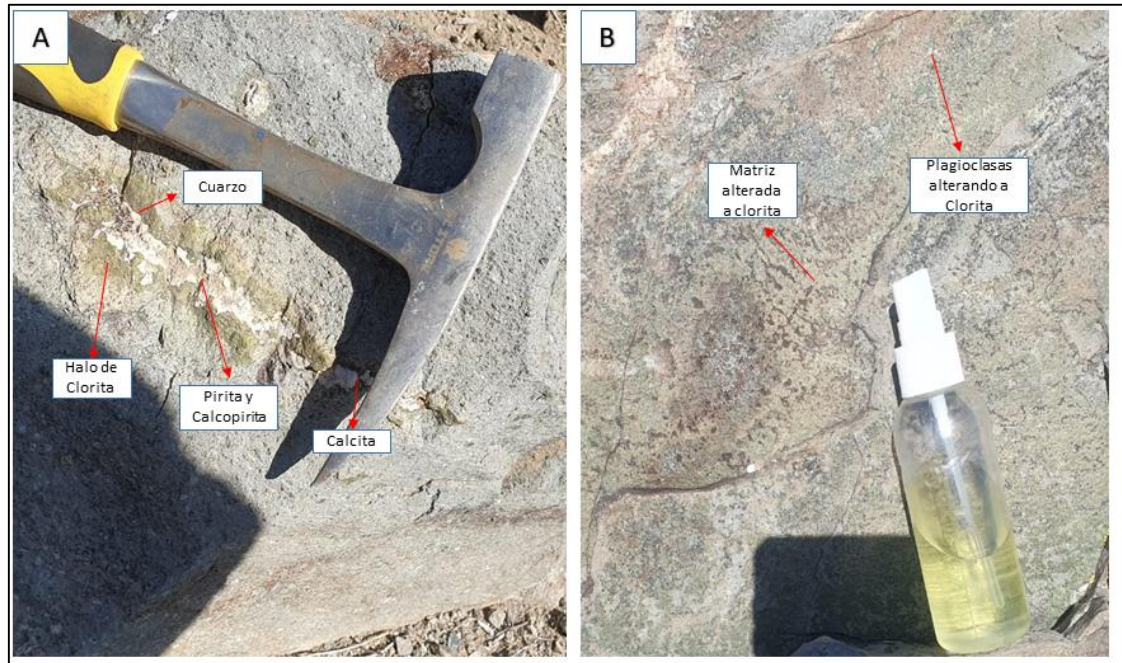


Figura 5.5. A: Vetilla de tipo D hospedada en andesita porfídica amigdaloidal; B: Andesita con alteración clorita con intensidad de media a avanzada.

5.2.2 Epidota

La alteración a epidota se distribuye principalmente en dos sectores, en el sur y alrededor de una falla dextral (Figura 5.17). La intensidad que se presenta la alteración epidota es de leve a media, alterando a las plagioclasas de la roca caja (Figura 5.2).

Alrededor de la falla con una disposición de 245/68, se concentra una zona significativa de alteración a epidota. La intensidad de la alteración es alta cerca de la fractura, disminuyendo gradualmente a medida que se aleja de ella (Figura 5.17).

También, se encuentran estructuras secundarias rellenas con epidota (Figura 5.6a), estas localizadas juntamente en la zona el León, donde se pueden observar pátinas de alteración (Figura 5.6b).

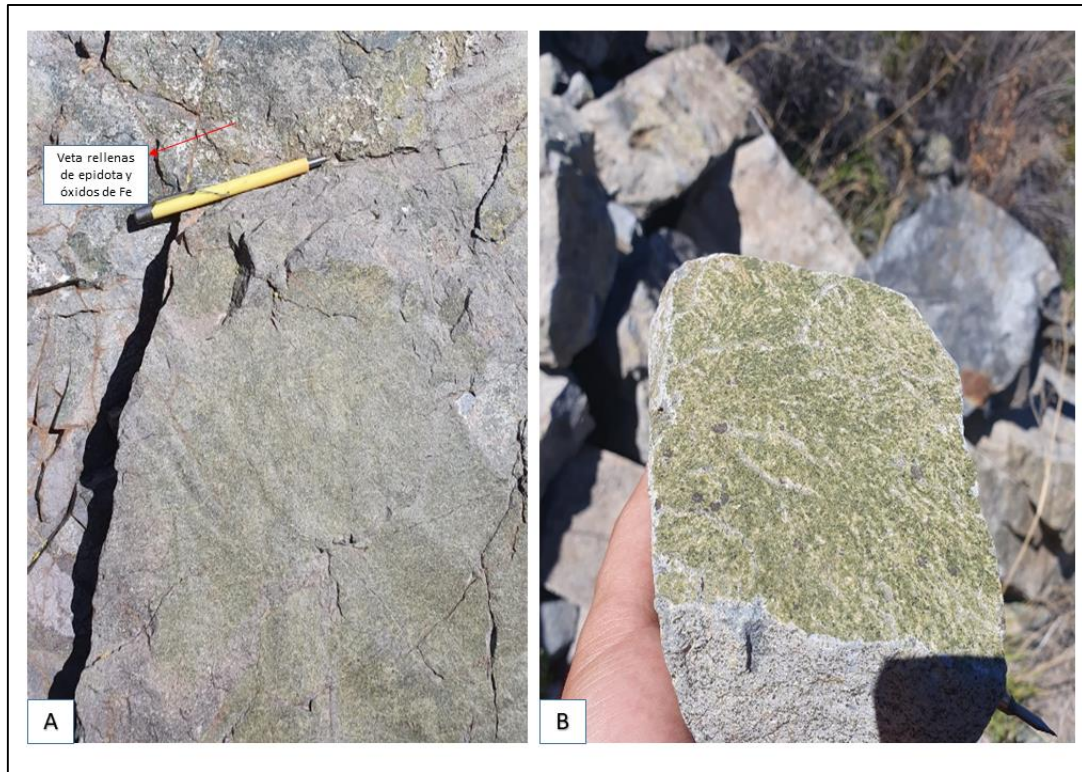


Figura 5.6. A: Andesita porfídica con alteración epidota con intensidad media a intensa, fracturas rellenas con epidota y óxidos de hierro menor. B: Planos de fractura donde se observa epidota.

5.3 Alteración supérgena

La alteración supérgena se expresa fundamentalmente como limonitas, las cuales presentan intensidades moderadas a intensas (Figura 5.17 y Figura 5.7), y generalmente se asocian espacialmente a las zonas mineralizadas.



Figura 5.7. Andesita obliterada por alteración de hematita y jarosita.

Asociadas a las limonitas, es posible observar pirritas diseminada. Esta asociación sugiere la ocurrencia de procesos significativos de oxidación y lixiviación en la zona, donde las pirritas se habrían oxidado a jarosita. Cabe de mencionar que junto con las jarositas se ha evidenciado una alteración argílica más intensa.

Además, se han identificado zonas ricas en hematita y goetita, donde se han encontrado magnetitas y sulfuros de cobre, tales como calcopirita y bornita (Figura 5.8).



Figura 5.8: Muestra EP003, extraída en la coordenada 317202E, 6472782N. Andesita porfídica con fenocristales de tamaño fino hasta de 1 milímetro. No hay presencia de vesículas. El grado de alteración es leve a moderado. Índice de color máfico 85%. La mineralogía de alteración se compone por: epidotas reemplazando plagioclasas; clorita reemplazando ferromagnesianos presentes en la masa fundamental; y hematitas y goetitas diseminadas en la roca. Presenta magnetismo en la roca a causa de magnetita diseminada en la roca. Mineral de mena presente: crisocola en pequeña proporción.

5.4 Estructuras

Estructuralmente, se identifican dos fallas en el depósito, así como tres vetas mineralizadas de espesores métricos con orientación NNW, diaclasas y otras estructuras menores. Además, se observa la presencia de un dique de microdiorita con una orientación 227/66.

Para un mayor análisis de las características estructurales del sitio, se empleó el software Dips 7.0. A través de este software, se evaluó el comportamiento de las estructuras geológicas, utilizando un conjunto de 40 datos recopilados (Figura 5.9) utilizando regla de la mano derecha.

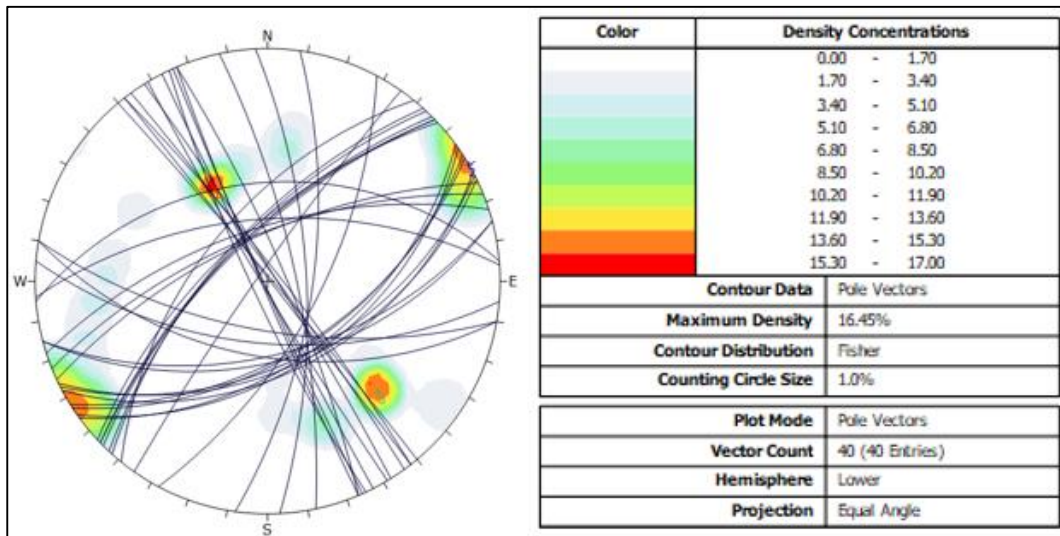


Figura 5.9. Ploteo de planos de las estructuras en la Leona, donde se puede observar las densidades de concentración de los datos.

Los resultados revelaron la existencia de tres direcciones preferenciales (tabla 5.1) en la zona estudiada (Figura 5.10a y b).

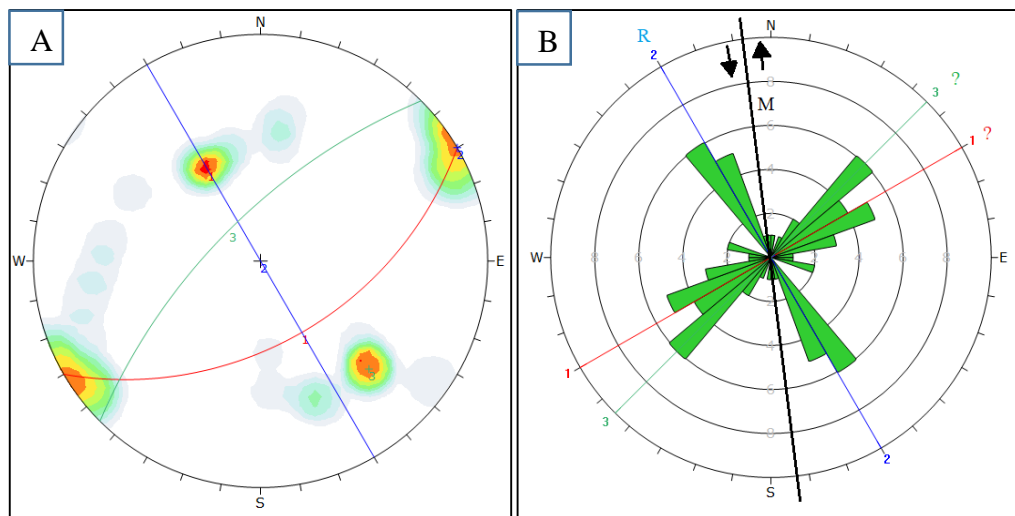


Figura 5.10. A: Ploteo de las direcciones con mayor concentración. B: Ploteo en Rosette, donde se observa las direcciones de concentraciones de los datos, la fractura principal (M) y planos de las tres direcciones preferenciales.

ID	strike (Mano derecha)	Dip	Criterio de Riedels
1	60	5	?
2	150	90	R
3	225	68	?

Tabla 5.1. Datos de las estructuras preferenciales en la mina.

5.4.1 Vetas Mineralizadas

En el área de estudio se identifican tres vetas mineralizadas (Figura 5.17) que presentan características distintivas. La primera nombrada “veta A”, la cual se abreviará v.a, cuya orientación preferencial es de 348/76, presenta una corrida de 1,1 kilómetros, con una potencia que oscila entre 30 y 65 metros. Esta veta posee una mineralización de oro, según relatos de pirquineros, aunque aún no se ha realizado un análisis certero para determinar su veracidad y viabilidad económica. En sector sur de la veta se encuentra crisocola (Figura 5.11) y en vetillas con orientación de 266/60. Está alojada en una roca de caja compuesta por andesita porfídica.



Figura 5.11. Muestra EP003, presenta grado de alteración media de epidota, hematita y goetita. La roca es de muy baja ley, y está asociada con crisocola.

La segunda nombrada “veta B”, la cual se abrevio v.b, con una dirección preferencial de 357/71, presenta una corrida de 220 metros, mostrando una potencia que varía entre 17 y 30 metros. A diferencia de la v.a, esta exhibe una mineralización más compleja, destacando la presencia de oro (según análisis geoquímico; Sección 8.3) y sulfuros de cobre, tales como calcopirita iridiscente, covelina diseminada, y ocasionalmente bornita, particularmente en el sector El León (Figura 5.12).

Por último, la tercera nombrada “veta C”, la cual se abreviará v.c, con una dirección preferencial de 8/68, se extiende a lo largo de una longitud de 310 metros, con una potencia que varía entre 20 y 45 metros. Aunque no se ha identificado afloramiento de mineralización en esta veta, se han observado indicadores geológicos significativos. La presencia de limonitas, que incluyen jarosita, hematita y goetita, indica procesos de alteración hidrotermal en la zona. Estos minerales son comúnmente asociados con la oxidación de sulfuros y pueden indicar la presencia de depósitos minerales en profundidad. La roca caja que alberga esta veta es andesita.

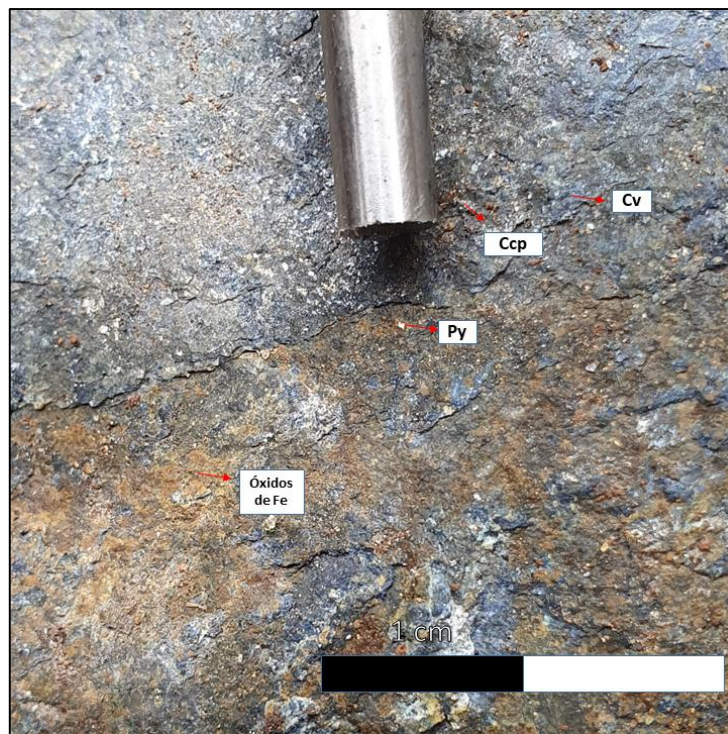


Figura 5.12. Veta B mineralizada asociada con covelina diseminada, calcopirita, pirita y óxidos de Fe. Cv: covelina. Ccp: calcopirita. Py: pirita.

5.4.2 Fallas

Dentro del yacimiento La Leona, se han identificado dos fallas significativas. La primera se desplaza NE con una actitud 245/68, afectando a la unidad de andesita, presenta indicadores sigmoidales exhibiendo un movimiento dextral en la fractura. Esta falla, de espesor decimétrico, presenta una alta alteración de epidota a lo largo de esta estructura (Figura 5.17), lo que podría indicar procesos de alteración hidrotermal asociados con la actividad tectónica.

Por otro lado, la segunda falla (Figura 5.14 b), se desplaza NW con una orientación de 155/82, se caracteriza por un movimiento sinistral e inverso. El rake medido es de 167 grados, indica un movimiento oblicuo a lo largo de la falla, y la orientación de las estrías es de 335/19, indicando la dirección en la que ocurrió el desplazamiento.

5.5 Sector Granero

El área en cuestión abarca 3,1 hectárea (Figura 4.1) y se localiza entre las coordenadas 316.985 E, 6.473.355 S; 317.079 E, 6.473.355 S; 317.079 E, 6.473.024 S; 316.985 E, 6.473.024 S. Esta secuencia de exploración y explotación está planificada para después del sector El Pato, ya que el enfoque principal se centra en el sector El León. Una de las características distintivas de este sitio es la presencia de v.a con una disposición de 355/75.

Se encuentra una litología principalmente compuesta por andesita porfídica, con abundantes cristales de hornblenda de hasta 2,3mm y plagioclasas de tamaño hasta 1,8 mm alterando a clorita. La masa fundamental exhibe una textura afanítica con una gama de colores melanocráticos, pero al norte es de color verdoso producto por la cloritización. El área se encuentra en su totalidad alterada por limonitas con una intensidad moderada.

A pesar de la ausencia de afloramientos de minerales de cobre, se ha identificado la presencia de oro mediante procesos de molienda y lixiviación del mineral utilizando

cianuro. No obstante, se requieren análisis químicos adicionales para una mayor certeza sobre la presencia y concentración de este metal en el área.

5.6 Sector El Pato

El sector El Pato, con una extensión de 1,18 hectáreas, se localiza en la parte más meridional de la mina, siendo su explotación planificada para una etapa posterior a la del sector El León. Esta secuencia de explotación se justifica por la necesidad de desarrollar infraestructura de acceso, como caminos, que facilite el trabajo en esta área. El sector El Pato atraviesa las vetas v.a y v.b (Figura 5.18).

El sector se caracteriza por una litología uniforme, dominada por andesitas porfídicas. Los cristales presentan formas subhedrales y anhedrales, con tamaños que alcanzan hasta 0,7 mm, principalmente compuestos por plagioclasas alteradas a epidota y albita. La masa fundamental muestra tonalidades verdosas debido a la presencia de biotita y magnetita proveniente de la veta v.b. Además, se observan vetillas rellenas de hematita, con cantidades menores de crisocola.

Se identifica la presencia de crisocola, la cual se encuentra alojada en la andesita porfídica de forma diseminada y en vetillas en cantidades menores que la hematita con orientación NW. Es notable destacar que esta misma mineralización se observa de manera similar en las vetas v.a y v.b, lo que indica una relación geológica entre estas estructuras y una continuidad en la mineralización a lo largo del sector El Pato. Este hallazgo resalta la importancia de considerar la interrelación entre las diferentes estructuras para una evaluación completa del potencial minero en el área.

5.7 Sector El León

El Sector El León abarca una prolongación de aproximadamente 2.800 metros cuadrados. Esta área es atravesada por la veta v.b, que es la principal portadora de minerales de mena.

La roca hospedante es una andesita con cristales de grano medio a fino de plagioclasas con masa fundamental afanítica, en sectores obliterada producto por la alteración supergógica.

Es relevante mencionar la presencia de familias de diaclasas, las cuales se observan en 3 direcciones preferenciales (Tabla 3).

ID	Direcciones preferenciales
Diaclasas 1	225/64
Diaclasas 2	55/62
Diaclasas 3	328/87

Tabla 5.2. Direcciones preferenciales de diaclasas ubicadas en el sector “El León”.

La medición del espesor de la v.b se llevó a cabo de manera perpendicular al buzamiento, por lo que se trata de un espesor real, midiendo un total de 13,20 metros (Figura 4.3). La altura del frente se estimó utilizando una escala de referencia obteniendo un valor de 4 metros. Por otra parte, para determinar el recorrido de la veta dentro del sector, se usó el Software QGIS, donde se llevaron a cabo mediciones a lo largo de la veta para estimar su longitud real. Se recopilaron 20 conjuntos de datos (Tabla 5.3). A partir de estos datos, se calculó un valor promedio, obteniendo una longitud estimada de 61,23 metros para la estructura.

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
largo (m)	61.45	61.32	61.03	61.27	61.31	61.19	61.30	61.03	60.97	61.56	61.22	61.34	61.19	61.24	61.11	61.20	61.33	60.95	61.27	61.28
Promedio	61.23																			

Tabla 5.3. Valores de mediciones longitudinales de v.b mediante QGIS, y promedio de los resultados obtenido.

5.7.1 Segmentos del sector El León

Se nos encomendó la tarea de segmentar v.b en cuatro secciones, con el objetivo de realizar un análisis detallado en el Sector El León. Esta división se efectuó considerando las diferencias en la mineralización, la alteración hidrotermal y las estructuras geológicas presentes.

Segmento N°1

En todo el segmento, se identifican limonitas (Hematita, Jarosita y Goetita) con una intensidad de alteraciones que varía de moderada a alta. Esta alteración muestra una predominancia particular entre las fracturas. Además, se observa alteración argílica con una intensidad que también oscila entre moderada e intensa (Figura 5.13). La mineralización predominante se caracteriza por la presencia de piritita diseminada, asociada a las alteraciones de limonita, principalmente con jarosita.

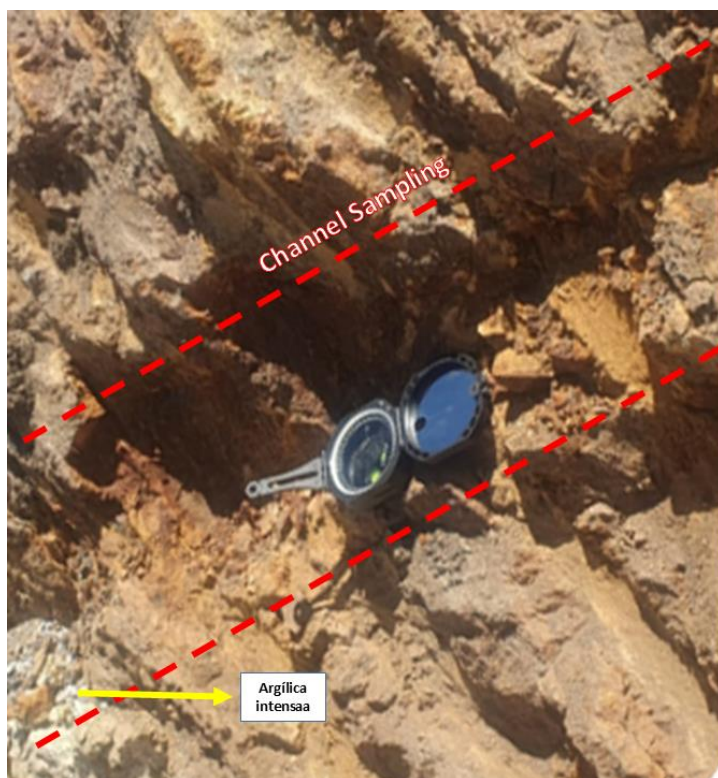


Figura 5.13. El segmento presenta un grado de alteración argílica pervasiva de y óxidos de Fe que obliteran totalmente la textura original de la roca. Líneas achuradas corresponden a la extracción de muestras mediante *Channel Sampling*.

Se observan dos vetas sinuosas, sub-paralelas, con una orientación 150/73. El material de relleno predominante en ambas vetas es principalmente hematita, con una ocurrencia leve de magnetita. El espesor de estas vetas varía en el rango de 3 a 5 centímetros.

Segmento N°2

Se ha identificado una alteración predominante en el yacimiento, la cual está mayormente compuesta por limonitas, destacando la presencia de hematita y goetitas, con una intensidad leve. Estas alteraciones muestran una estrecha relación con las vetas que prevalecen en el cuerpo del segmento.

Se han identificado varios minerales en el yacimiento. En primer lugar, se observa la presencia de covelina (Figura 5.14a) en todo el segmento, junto con pirita, la cual se encuentra diseminada tanto en la roca hospedante en cantidades reducidas como en las vetillas. Además, se ha identificado calcopirita diseminada en la roca caja, aunque en proporciones menores que la pirita, en una relación aproximada de 4:1. La calcopirita también se encuentra presente en las vetillas del yacimiento. En pequeñas cantidades se encuentra bornita diseminada en el cuerpo rocoso.

En este segmento, se ha identificado la presencia de magnetita, cuya abundancia se infiere por la alta intensidad de magnetismo observada.

Se ha identificado una falla con características potencialmente sinistral, evidenciando un plano de dirección de 155/82. Asimismo, se han observado indicadores de falla, en particular estrías, en el plano de la misma (Figura 5.14b). Estas estrías presentan una lineación de 335/19.

Se ha observado que las fracturas presentes en el yacimiento están rellenas de hematita, y en algunos casos, se pueden apreciar pátinas del mineral en cuestión (Figura 5.14c). Además, se han identificado vetillas milimétricas de en la misma zona (Figura 5.14d) rellenas con yeso.

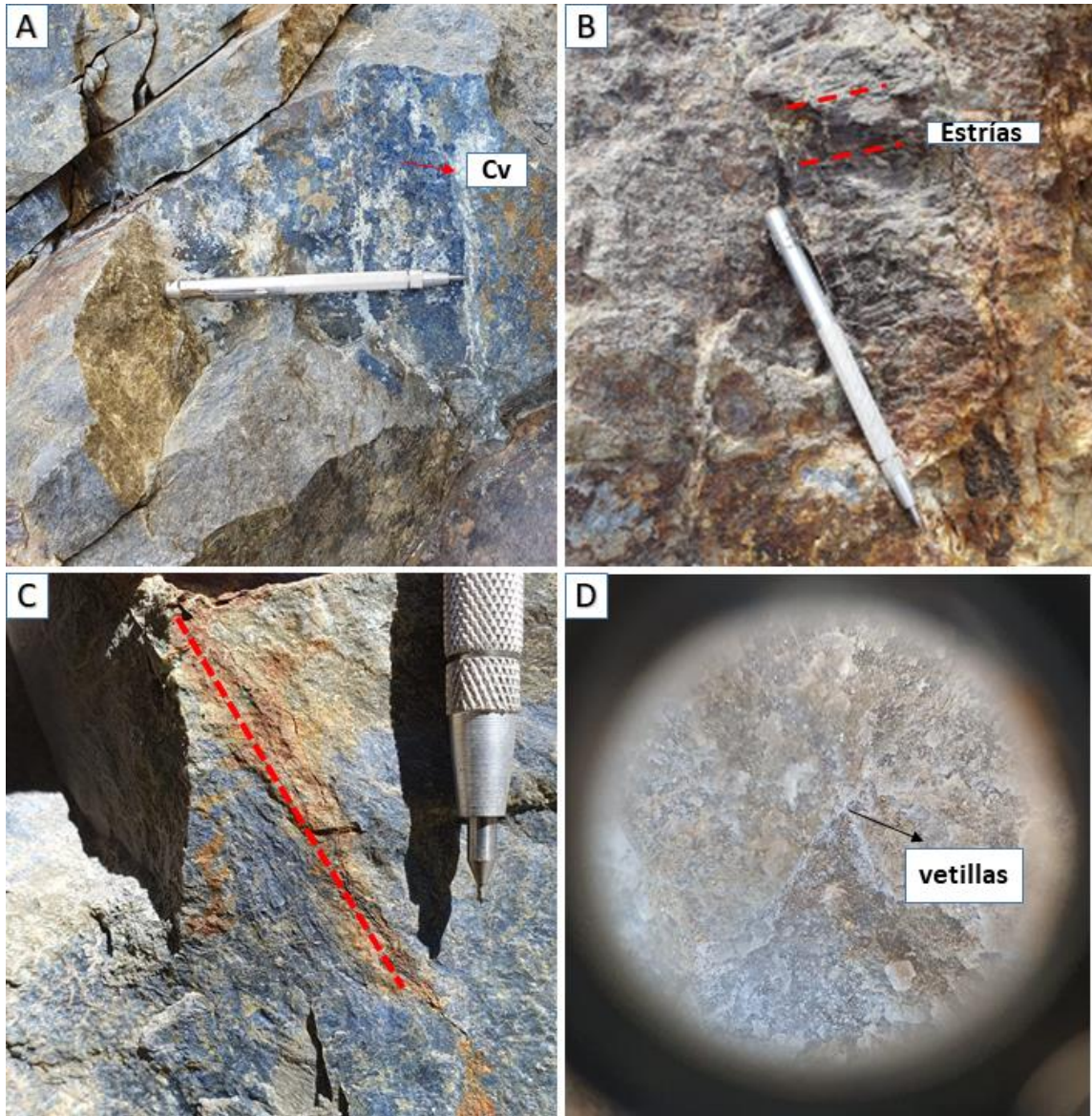


Figura 5.14. A: Mineral de covelina en el segmento. B: Estrías de fallas. C: Fractura con flujo hidrotermal. D: Vetillas rellenas con yeso.

Segmento N°3

La zona presenta una notable alteración a limonitas, las cuales se distribuyen ampliamente en la roca caja con una intensidad que varía de moderada a intensa. Asimismo, se ha identificado que la hematita, se manifiestan principalmente en forma de pátinas (Figura 5.3a).

Se ha observado la ocurrencia de pirita diseminada en la roca caja, caracterizada por tamaños hasta de 0,5 mm. Además, se han observado vetillas milimétricas de yeso con una frecuencia notable, con dimensiones que varían entre 1 y 3 milímetros (Figura 5.15). Destaca también la presencia de covelina, la cual se encuentra relleno las vesículas de la roca (Figura 5.3a) y, en menor proporción, relleno algunas de las vetillas observadas. En este segmento se puede notar que hay un magnetismo leve, señalando presencia de magnetita en menor cantidad.



Figura 5.15. Vetillas de yeso hospedada en andesita obliterada producto de la alteración.

Segmento N°4

En este sector se identifica una alteración a limonitas con una intensidad que varía de moderada a intensa. Además, en la zona central del segmento, se observa una alteración de epidota presente en una veta con un espesor que oscila entre 2 y 4 centímetros, mostrando una intensidad de media.

La mena en este segmento está compuesta por pirita diseminada en la andesita, estas se encuentran asociadas con las jarositas. Así mismo, se puede notar magnetismo muy leve, indicando que hay presencia de magnetita en muy poca proporción.

5.8 Sondaje

Se efectuó un sondaje de diamantina (DHEL001) en el sector de Él León. En un total de 31 m de perforación con diámetro HQ, con un manto 71° desde superficie, paralelamente a la veta.

A través del testigo se evidencia la presencia de andesitas con cristales de plagioclasas de tamaño granular medio a fino, en su mayoría obliterados por la alteración hidrotermal.

La alteración son óxidos de hierro en la parte superior, gran parte del trayecto magnetita y epidota débil (Figura 5.16C). En mineralización se evidencia covelina diseminada, asociada a bornita, calcopirita y pirita (Figura 5.16). Localmente, se tiene vetillas rellenas con yeso.

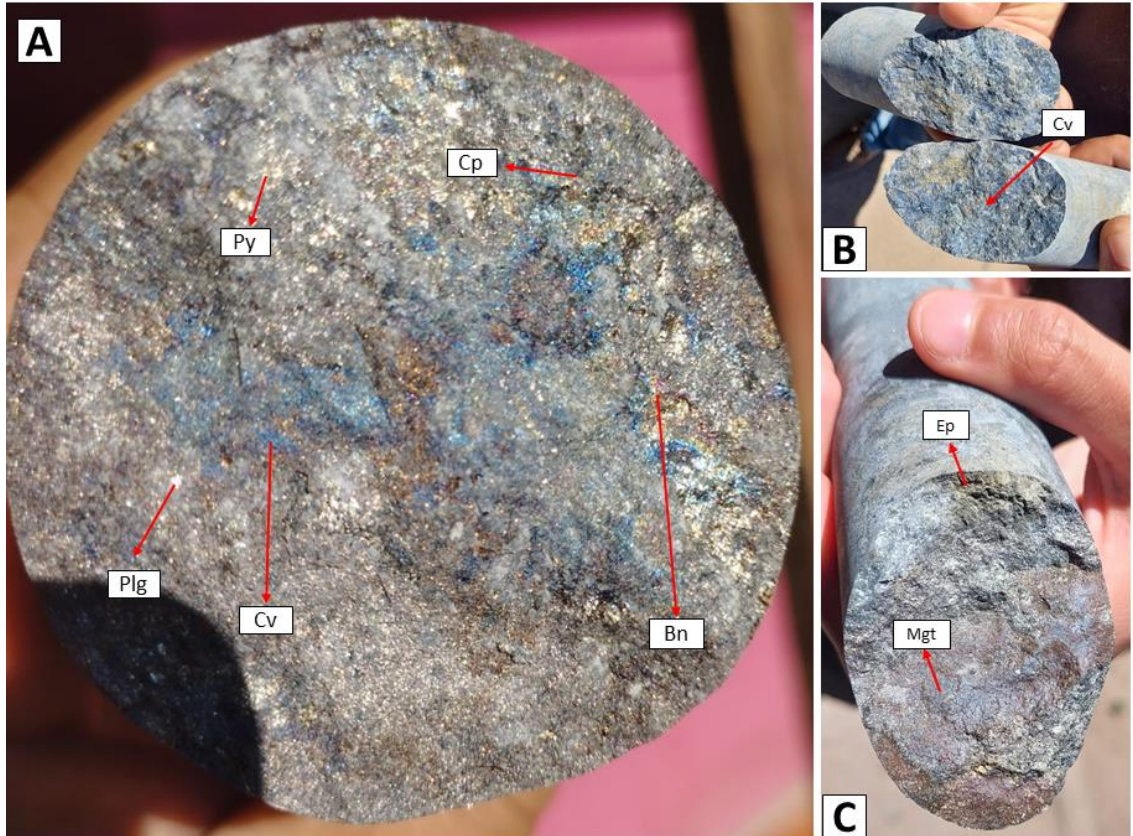


Figura 5.16 Muestras de sondaje DHEL001 en el sector El León. Bn: bornita. Cv: covelina. Cp: calcopirita. Ep: epidota. Mgt: magnetita. Plg: plagioclasa. Py: pirita.

5.9 Geoquímica del sector El León

Por medio el método de *Channel Sampling*, se recolectaron muestras representativas de la veta v.b, las cuales fueron posteriormente analizadas en conjunto en el laboratorio de minerales "Cynthia". Los resultados de estos análisis del sector (Anexo 8.3) revelaron una ley de oro de 2,50 partes por millón (ppm), una concentración de cobre total del 1,08%, y una ley de plata de 19,34 ppm.

Además, se realizó análisis químico mediante fluorescencia de rayos X (XRF) en los metrajés 10-11, 14-15, 21-22, 30-31 y en la zona 2 y 3 del frente de El León (tabla 5.5 y anexo 8.4). Con los resultados se identifica un promedio de cobre de 1,08%.

N°	Ident.	Prof. (m)	SCI Cu (%)
1	PB001	10-11	1.00
2	PB002	14-15	1.22
3	PB003	21-22	1.10
4	PB004	30-31	1.10
5	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	0.98
6	ZONA 2	Superficie	0.10
7	ZONA 3	Superficie	0.10

Tabla 5.5. Leyes de Cu del sondaje DHEL001 y de la zona 2 y 3 en la zona El León.

Se observa un contenido significativo de oro en los segmentos 2 y 3, con valores de 2,32 y 3,01 ppm, respectivamente. Por otro lado, se evidencia una alta concentración de sílice a lo largo de todo el trayecto, con un rango que varía entre 27,32 % y 28,42 %. El arsénico se encuentra presente entre los intervalos de 5,8 a 6,1 metros y de 14 a 22 metros. En cuanto a elementos de tierras raras, el único que se le realizó es el itrio, que refleja una ausencia.

5.10 Estimación del tonelaje mínimo del sector El León

Para determinar el tonelaje mínimo del sector (Abzalov, 2016; Moon, et al, 2006), es primordial tener el volumen de la veta, por ende, se considera las medidas de v.b. y los resultados mínimos obtenidos en la Sección 5.7, donde potencial real es: 13,20 metros; longitud real: 61,23 metros y profundidad: 31 metros. Este cálculo se lleva a cabo mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

Volumen mínimo de veta = potencia real x corrida real x profundidad mínima

$$\text{Volumen mínimo de veta} = 13,20 \text{ m} \times 61,23 \text{ m} \times 31 \text{ m}$$

$$\text{Volumen mínimo de veta} = 25.055 \text{ m}^3$$

Posteriormente, se procede al cálculo del tonelaje mínimo de la veta. Para ello, se toma en cuenta la densidad media de la roca, la cual es de 2,65 ton/m³, obteniendo así:

$$\text{Tonelaje mínimo de veta} = \text{densidad del suelo} \times \text{volumen de veta}$$

$$\text{Tonelaje mínimo de veta} = 2,65 \text{ ton/m}^3 \times 25.055 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\text{Tonelaje mínimo de veta} = 66.396 \text{ ton}$$

A continuación, en base al promedio de los resultados del análisis químico con XRF realizado en la zona se obtendrá el tonelaje mínimo del cobre:

$$\text{Tonelaje mínimo de Cu} = \text{Tonelaje de veta} \times \text{ley de Cu}$$

$$\text{Tonelaje mínimo de Cu} = 66.396 \text{ ton} \times 0.0108$$

$$\text{Tonelaje mínimo de Cu} = 717,08 \text{ ton}$$

En el análisis del sector, se ha podido estimar que existe una reserva potencial de cobre de aproximadamente 717,08 toneladas.

5.11 Mapa geológico

Finalmente se confeccionó un mapa a escala 1:4.000. Este mapa exhibe la litología, alteraciones y las zonas mineralizadas presentes en la propiedad (Figura 5.17). Se resaltaron algunas zonas mineralizadas específicas, las cuales fueron descritas en el anteriormente en el capítulo. Asimismo, se realizaron dos perfiles geológicos correspondientes a las secciones A-A' (Figura 5.18) y B-B' (Figura 5.19), con el propósito de representar gráficamente las tres vetas mineralizadas.

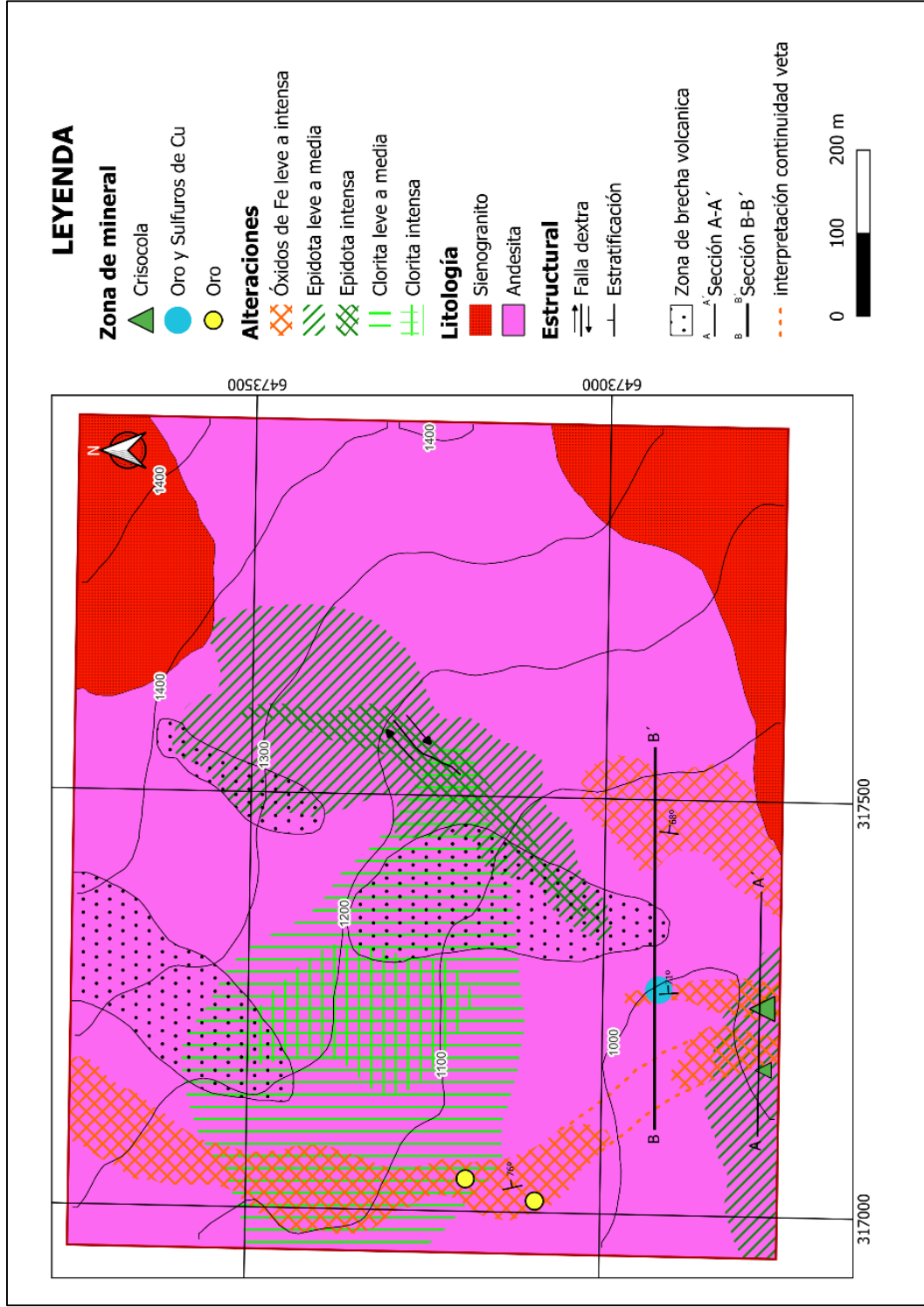


Figura 5.17 Mapa geológico de minera La Leona escala 1:4.000, donde presenta litología, alteración y minerales de mena.

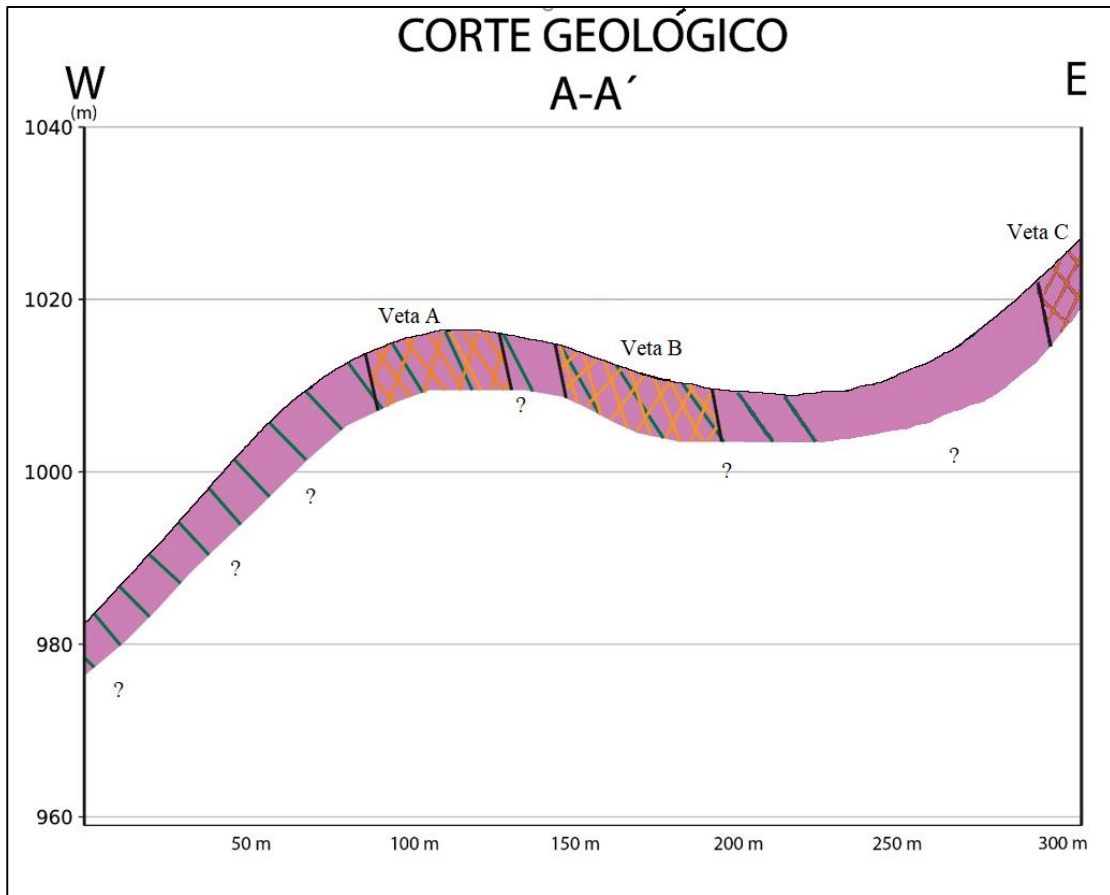


Figura 5.18 Sección A-A', veta A con inclinación aparente $75,5^\circ$ hacia el este, veta B con inclinación aparente 71° hacia el este y veta C con inclinación aparente $67,8^\circ$ hacia el este.

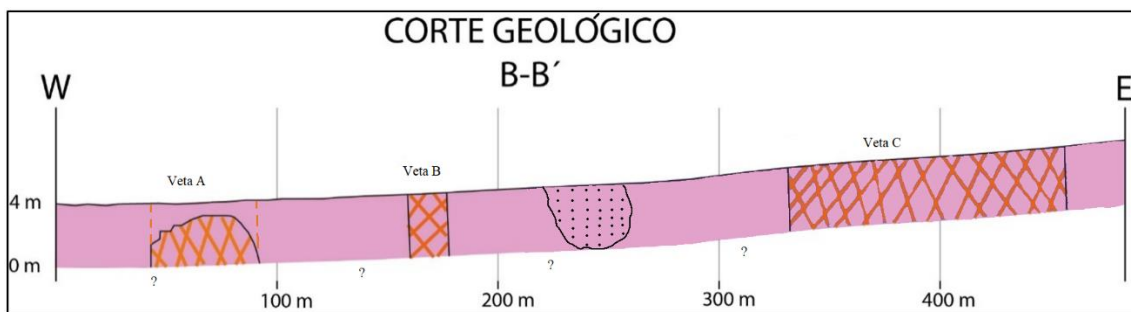


Figura 5.19 Sección B-B', veta B con inclinación aparente al este de 71° , veta C con inclinación aparente $67,8^\circ$ al este.

6. CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN

6.1 Comparación Bibliográfica

En Chile, los yacimientos tipo IOCG se localizan en la Franja metalogénica de la Cordillera de la Costa y asociados a la Falla de Atacama (Veloso et al., 2016). La presencia generalizada de estos depósitos en la región apunta que su formación está asociada con procesos magmáticos-hidrotermales relacionados con la subducción en un margen continental (Scheuber et al., 1999).

Muchas de las características observadas en la propiedad minera “La Leona” adapta a un modelo de IOCG dominado por magnetita (Figura 6.1) (Barra et al., 2017), entre ellas se encuentran un sistema hidrotermal que operan en un entorno tectónicamente activo (Groves et al., 2010; Hitzman et al., 1992), la presencia de rocas ricas en magnetita (Williams et al., 2005) y la mena principal corresponde a covelina, calcopirita, bornita, hematita, pirita (Corriveau, 2007; Groves et al., 2010). La formación de estos depósitos implica la interacción de fluidos hidrotermales ricos en hierro y otros metales con rocas huésped, lo que conduce a la precipitación de minerales en estructuras geológicas favorables, como zonas de falla, fracturas o estructuras de cúpulas magmáticas (Hitzman et al., 1992; Williams et al., 2005).

También, Barra y otros, (2017) propone que los IOCG transcurriría a IOA genéticamente. Con esto, existe la posibilidad de que en zonas más profundas se encuentren nuevos cuerpos mineralizados asociados a magnetita masiva. Sin embargo, a pesar de esta perspectiva, ninguna de las muestras analizadas mostró presencia de actinolita o apatito.

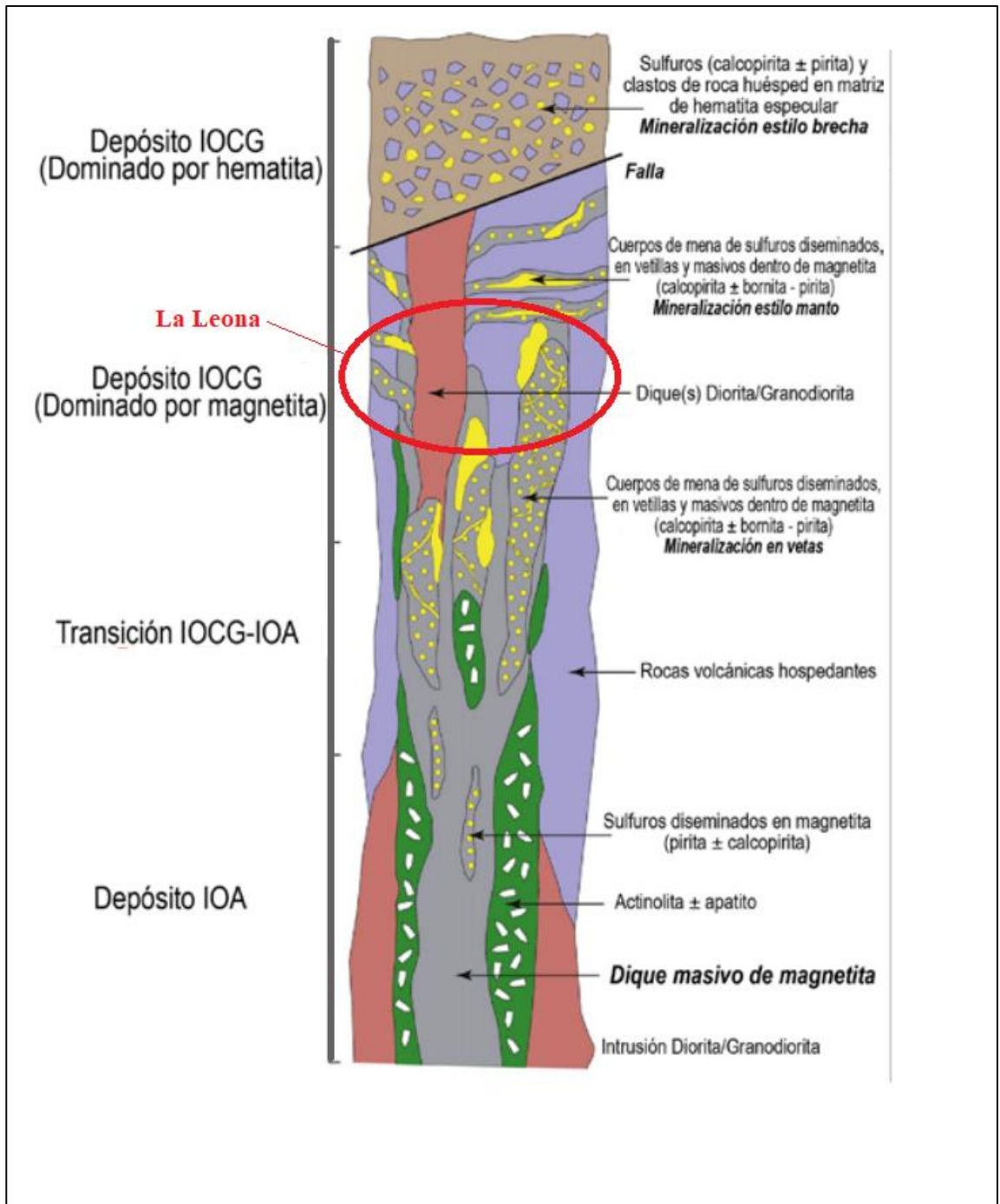


Figura 6.1. Modelo de zonación vertical de depósitos Tipo IOA a depósitos tipo IOCG propuesto por Barra y otros (2017).

6.2 Geología

En el área de estudio, se destaca la presencia predominante de roca volcánicas andesíticas pertenecientes al miembro Quelén (Rivano y Sepulveda, 1991). Además, la unidad de sienogranito perteneciente a la superunidad Illapel (Berg & Charrier, 1987), específicamente en la unidad Chalinga (Rivano & Sepulveda, 1991).

Las características observadas en las brechas volcánicas del área de estudio sugieren que podrían corresponder a una autobrecha andesítica. Este tipo de brechas, según las clasificaciones de Branney y Kokelaar (2002), se genera como resultado de la fragmentación autoclástica de flujos de lava viscosa, donde la fracturación ocurre in situ debido a procesos de enfriamiento y contracción térmica o por esfuerzos tectónicos locales. Asimismo, la alteración clorítica moderada en los clastos sugiere una interacción posterior con fluidos hidrotermales, posiblemente relacionados con el sistema volcánico subyacente. Estudios previos, como los de Smith y otros (2015), describen autobrechas asociadas con flujos de lava andesítica en ambientes volcánicos, donde la viscosidad de la lava y la interacción con estructuras locales favorecen la generación de este tipo de brechas.

En el yacimiento, la presencia de la alteración de óxidos de hierros (Figura 5.7) emerge como un indicador primordial que conduce a los minerales de interés económico (Leach, 2008). La magnetita, un mineral de hierro con propiedades magnéticas, parece haber sufrido alteraciones inducidas por procesos ambientales tales como la oxidación y la presencia de agua. Estos factores favorecen la transformación de la magnetita en hematita (Fe_2O_3) y goetita ($\text{FeO}(\text{OH})$), reflejando un proceso de alteración secundaria típico en ambientes oxidados (Banfield y Nealson, 1997).

Basados en la información recopilada en las tres vetas, es posible indicar que existe un sistema mineralizado con potencial económico significativo. Las direcciones de las vetas apuntan una posible conexión estructural entre ellas, lo que indica un claro control estructural de la mineralización. La presencia de oro en la primera veta, junto con los sulfuros de cobre y los óxidos de hierro en la segunda veta, demuestra la posibilidad de un depósito de tipo IOCG. La tercera veta, aunque aún no se ha

encontrado mineral de mena, presenta limonitas, lo que indica la posibilidad de la presencia de depósitos de óxidos de hierro. Además, la dirección y disposición espacial de las vetas, junto con la mineralización observada, indican que pueden estar asociadas con estructuras geológicas específicas, lo más probable con la falla Manquehua (Mpodozis & Cornejo, (2012).

6.3 Estructural

Los antecedentes estructurales estarían relacionados con los modelos de López (2006) donde indica que la mineralización se encuentra en vetas y fallas de rumbos con dirección N-NE, como sería en caso de v.a, v.b y v.c del yacimiento y posiblemente la falla con dirección 245, ya que se encontró epidota y magnetita lo que podría indicar que hubo un ascenso de fluidos hidrotermales. Por otra parte, Marquardt y otros (2009), plantea que las alteraciones hidrotermales junto a la mineralización están asociadas con fallas de rumbo NNW y NW que serían de segundo y de tercer orden, similar a la falla encontrada en la zona El León donde aquel sector se encontraría evidencias de alteraciones y minerales de mena. Estas fracturas serían parte de un sistema de falla de rumbo de primer orden de orientación NS con carácter sinistral.

Considerando lo anterior, el presente estudio propone un modelo de mineralización tipo IOCG para mina La Leona, asociada a la inversión del hemigraben, y a movimientos de rumbo mayores y a un régimen extensivo. Por otra parte, respondería a la incógnita de la tabla 5.1, donde las direcciones preferenciales 3 y posiblemente 1 pertenecerían al evento de inversión, donde existía una extensión emplazando flujos hidrotermales en aquellas fracturas.

Por otro lado, la segunda falla con una cinemática sinistral con componente inverso (Figura 5.14b). Según Mpodozis y Ramos (1990), esta configuración refleja una deformación tectónica con un componente compresivo, que resulta en el levantamiento y desplazamiento de bloques de roca. Es posible que este evento haya estado influenciado por procesos adicionales, como intrusiones magmáticas o actividad tectónica tardía en la región.

6.4 Zonaciones del yacimiento o modelo conceptual

Los datos recabados en terreno indican que las vetas mineralizadas tienen una actitud 357/71, y que hay una falla principal afectando al depósito, pero no controlando la mineralización. Esta corresponde a la falla de actitud 155/82, y cinemática sinistral. Hay otras familias de estructuras, pero es de menor envergadura y no controlaría de forma importante la mineralización salvo en la zona El Pato donde las crisocolas se encuentran en estas grietas.

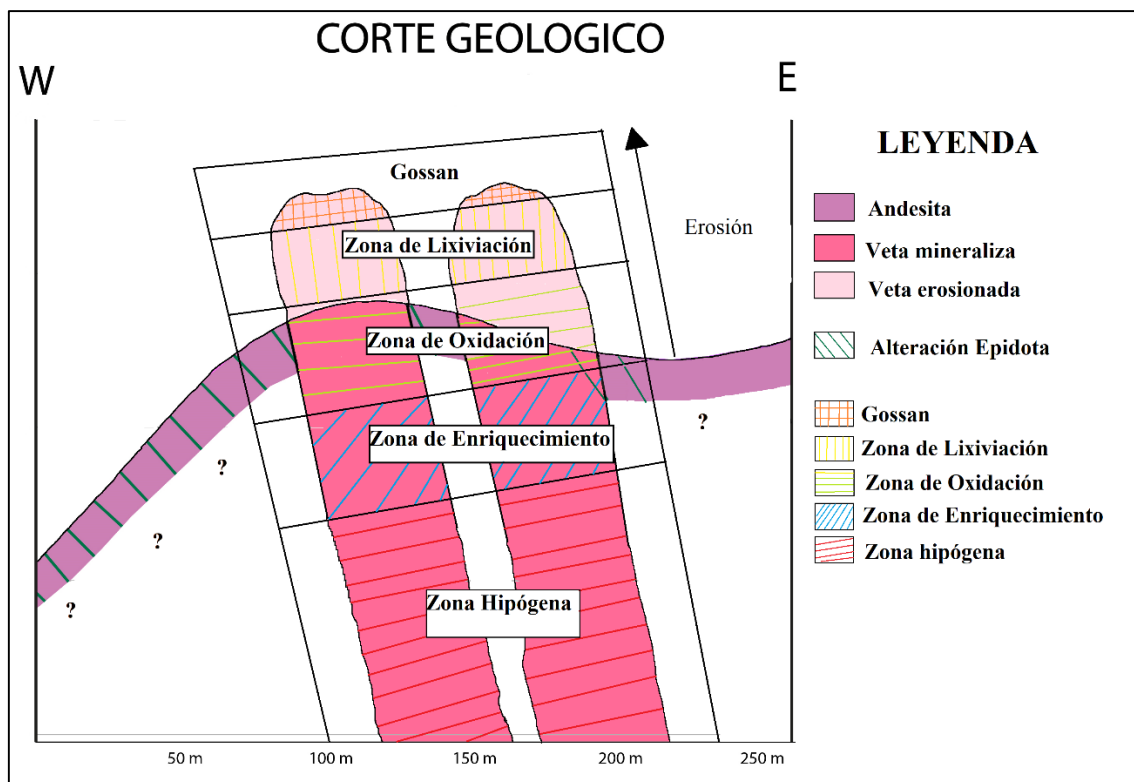


Figura 6.2. Modelo conceptual para la zona El Pato. Las zonas gossan y lixiviación se encuentran erosionadas en su totalidad, quedando solo niveles inferiores del perfil de enriquecimiento.

La mena está compuesta principalmente por sulfuros primarios y secundarios, incluyendo covelina, bornita y calcopirita. Estos minerales se emplazan en torno a la veta v.b mineralizadora, asociados a una abundante presencia de magnetita, hematita, goetita y jarosita. La morfología de los cuerpos mineralizados está controlada por las

características estructurales, así como por el grado de porosidad y permeabilidad de la roca de caja.

Por otro lado, existe una concentración de óxidos de cobre en superficie en v.a y v.b en la zona El Pato y es posible que haya habido desarrollo local de horizontes de enriquecimiento supérgeno, evidencia de esto es la presencia de covelina. Lo anterior podría significar que las vetas presentan un perfil enriquecimiento secundario donde las zonas lixiviadas y de enriquecimiento en hierro (*gossan*) fueron erosionadas, en parte, dejando las de oxidación y enriquecimiento secundario de cobre lo que se aprecia en El León y que, además, en profundidad podría haber cuerpos asociados a sulfuros hipógenos (Figura 6.2). Pese a lo anterior, el enriquecimiento sería solo local, y las zonas lixiviadas abarcarían gran extensión, esto podría deberse a la alta presencia de piritita en el yacimiento o a factores geomorfológicos que favorecen la percolación de fluidos. Por otra parte, no fue posible determinar la disposición de los cuerpos de mena a profundidad debido a la falta de información.

6.5 Geoquímica y potencial mínimo del oro

En el sector El León, se realizaron análisis químicos donde se puede ver que el oro presente en el segmento 2 y 3 son considerables, dando como promedio 2,67 ppm de Au. Cabe de destacar, que los intervalos 10-11 metros y 21-22 metros tienen un porcentaje cercano a 1ppm. (Tabla 6.1).

			SCI Au
N°	Ident.	Prof. (m)	(PPM)
1	PB001	10-11	0.98
2	PB002	14-15	0.90
3	PB003	21-22	1.01
4	PB004	30-31	<LOD
5	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	0.80
6	ZONA 2	Superficie	2.32
7	ZONA 3	Superficie	3.01

Tabla 6.1. Leyes de Au del sondaje DHEL001 y de la zona 2 y 3 en la zona El León.

Considerando la potencia (13,20 m), la corrida (61,23 m) y la profundidad (4 m) de v.b se calcula el volumen mínimo de la veta:

Volumen mínimo de veta = potencia real x corrida real x profundidad mínima

$$\text{Volumen mínimo de veta} = 13,20 \text{ m} \times 61,23 \text{ m} \times 4 \text{ m}$$

$$\text{Volumen mínimo de veta} = 3.232,9 \text{ m}^3$$

Ya con esto, se puede calcular el tonelaje mínimo del Au mediante el siguiente calculo:

Tonelaje mínimo de Au = Volumen mínimo de veta x densidad x ley de Au

$$\text{Tonelaje mínimo de Au} = 3.232,9 \text{ m}^3 \times 2,65 \text{ ton/m}^3 \times 0.00000267$$

$$\text{Tonelaje mínimo de Au} = 0,023 \text{ ton}$$

Con este resultado se puede deducir que el oro es un subproducto en La Leona. Que incluso como se encuentra en la parte más somera (0-4 metros de profundidad) de v.b se podría comercializar primeramente el Au.

A partir de este resultado, se deduce que el oro actúa como un subproducto en el depósito La Leona. Además, dado que se localiza principalmente en la porción más superficial (0-4 metros de profundidad) de la veta v.b, se podría considerar la posibilidad de comenzar la comercialización del oro antes que el cobre.

7. CAPÍTULO VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Vetas mineralizadas

Los resultados vetas sugieren que el yacimiento se ha emplazado como resultado de un proceso hidrotermal, donde los fluidos geotermales aprovecharon las fracturas y la permeabilidad de la roca para migrar y depositar minerales. Estas fracturas, que sirvieron como vías de transporte para los fluidos mineralizadores, probablemente se formaron en conjunto con la falla Manquehua, presente en la región, dado que comparten direcciones similares.

En conjunto, las tres vetas (Figura 7.1) muestran una variedad de características mineralógicas y estructurales que sugieren un potencial significativo para la exploración y la explotación del yacimiento. La información proporcionada sobre las direcciones de las vetas y las rocas de caja asociadas es fundamental para comprender la geología del área y puede guiar futuras actividades de exploración y desarrollo minero como se pretende en La Leona.

Dado este escenario geológico, sería crucial llevar a cabo una exploración adicional para comprender mejor la geometría y la extensión del sistema mineralizado. Esto podría incluir mapeo detallado, análisis geofísico, perforación adicional y pruebas metalúrgicas para determinar la calidad y la recuperación de los minerales presentes. Con una comprensión más completa de la geología y la mineralización, se podrían tomar decisiones informadas sobre el desarrollo y la explotación de los depósitos en la zona.

7.2 Potencial minero de Cu en la zona El León

Ya teniendo los tonelajes de la zona se puede calcular el ingreso mínimo por la extracción de los minerales, cabe de destacar que esto puede variar dependiendo de

diversos factores, tales como la tasa de valor del cobre y el precio del dólar. Por ende, los ingresos para El León serían:

Ingresos por cobre:

- Precio del cobre (06/12/2024): \$4,10 USD/ libra
- Toneladas de cobre: 717,08 toneladas

$$\text{Ingresos} = \text{Precio del Cu x libra a tonelada} \times \text{toneladas de Cu}$$

$$\text{Ingresos} = \$4,10 \times 2205 \times 717,08$$

$$\text{Ingresos} = \$6.482.761,7 \text{ usd}$$

Por lo tanto, el producto principal de la veta consiste en el cobre. Con este valor en mente, la viabilidad económica de la mina La Leona en el contexto de la pequeña minería parece prometedora. Sin embargo, la rentabilidad de la operación dependerá de la eficiencia en la extracción y el control de costos, así como de la capacidad para comercializar los minerales a un precio que permita recuperar la inversión y generar ganancias. Es esencial considerar también los gastos asociados con la gestión ambiental, el cumplimiento normativo y otros aspectos operativos que podrían impactar en el resultado final.

7.3 Campaña de sondajes

Sobre la base de los datos recopilados y los resultados obtenidos en esta investigación geológica, se recomienda llevar a cabo una campaña de sondaje en el yacimiento de la mina La Leona.

Como se dispone un capital cuyo valor alcanza para realizar cuatro sondajes, se tomará los lugares trascendentales para mejorar la comprensión del yacimiento, incluyendo la distribución de los minerales de interés, la variabilidad de las leyes, y la estructura geológica del área de El León y a su vez conseguir explorar su extensión y geometría con mayor precisión de las vetas a y c.

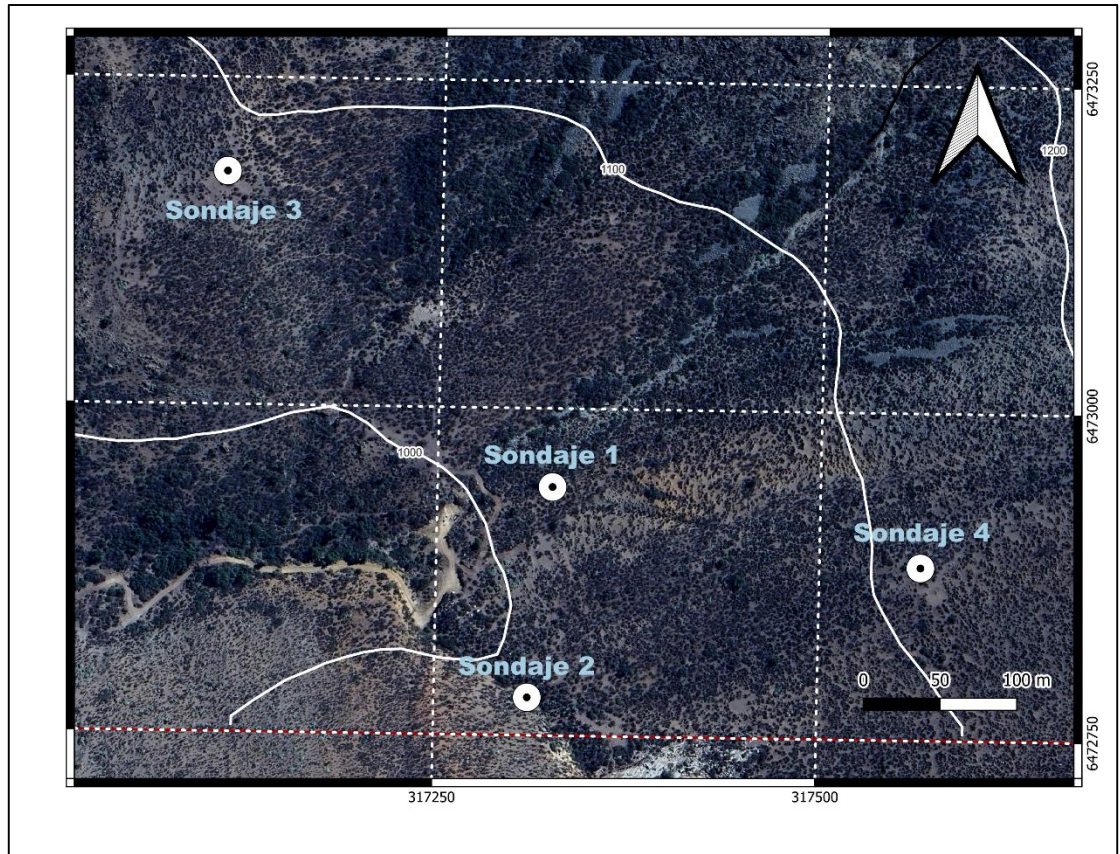


Figura 7.1. Mapa escala 1:2000. Con las ubicaciones de los sondajes que se recomienda a realizar en la mina La Leona. Círculos blancos con punto negro en el centro es la ubicación del sondaje.

Se planea dirigir los sondeos (Figura 7.1) en la dirección, inclinación y coordenadas especificadas en la *tabla 7.1*, con el objetivo de obtener información crucial sobre las características de los minerales en distintas zonas de interés, cabe mencionar que todos los sondajes estarán apuntando hacia el oeste, cortando las vetas v.a, v.b y v.c perpendicularmente y en una profundidad real de 20 metros. El primer sondaje se enfocará en proporcionar datos detallados sobre las leyes de v.b en el área de El León. En cuanto al segundo sondaje, se espera obtener información relevante sobre la profundidad, leyes y espesor de v.a y v.b en el área de El Pato. El tercer sondaje permitirá adquirir una comprensión más completa de la veta A en el sector Granero. Por último, el cuarto sondaje proporcionará detalles importantes sobre las leyes, espesor y profundidad de la veta C. La recopilación de estos datos nos permitirá estimar el potencial mínimo del depósito de La Leona.

SONDAJES	AZIMUT	INCLINACIÓN	COORDENADA
N°1	267°	19°	317325 E, 6472940 N
N°2	263°	17°	317311 E, 6472779 N
N°3	258°	14°	317109 E, 6473178 N
N°4	278°	22°	317566 E, 6472882 N

Tabla 7.1. Datos de los sondajes para futura campaña en la mina La Leona.

REFERENCIAS

- Abzalov, M. (2016). *Applied mining geology*. Springer International Publishing.
- Aguirre, L., & Egert, E. (1962). Estudio de las facies metamórficas en la zona de contacto entre el batolito de la costa y las rocas sedimentarias circundantes en Chile central. *Revista Geológica de Chile*, 9, 23–42.
- Allmendinger, R. W., Jordan, T. E., Kay, S. M., & Isacks, B. L. (2005). The evolution of the Altiplano-Puna plateau of the central Andes. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 33, 139-174.
- Arriagada Valdés, G. I. (2022). *Petrografía y Mineralogía de Mina el Olivo, Distrito Minero de Til-Til, Región Metropolitana: implicancias en su modelo genético* (Tesis de Magister). Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Químicas, Departamento Ciencias de la Tierra. Concepción.
- Banfield, J. F., & Nealson, K. H. (1997). *Geomicrobiology: Interactions between microbes and minerals*.
- Barra, F., Reich, M., Selby, D., Rojas, P., Simon, A., Salazar, E., Palma, G. (2017). Unraveling the origin of the Andean IOCG clan: A Re-Os isotope approach. *Ore Geology Reviews*, 81, 62-78.
- Barton, M. D., & Johnson, D. A. (1996). Evaporitic-source model for igneous-related Fe oxide-(REE-Cu-Au-U) mineralization. *Geology*, 24(3), 259-262.
- Branney, M. J., & Kokelaar, P. (2002). Pyroclastic density currents and the sedimentation of ignimbrites.
- Berg, K., & Charrier, R. (1987). Evidencias de la evolución tectónica de los Andes chilenos a partir de análisis estructurales y sedimentológicos. *Revista Geológica de Chile*
- Charrier, R., Pinto, L., Rodríguez, M. P., Hérial, G., & Rebolledo, S. (2007). Tectonostratigraphic evolution of the Andean Orogen in Chile. In Moreno, T., & Gibbons, W. (Eds.), *The Geology of Chile* (pp. 21-114). Geological Society, London.

- Comisión Geológica Internacional (IGC). (2022). "Informe sobre la geoquímica de depósitos IOCG." Boletín de la IGC, 18(1), 56-73.
- Corbett, DR y Leach, S. (1998). Clasificación de alteración: un nuevo enfoque para la clasificación de la alteración hidrotermal. *Geología económica*, 93(6), 1159-1174.
- Corbett, G.; Leach, T. 1998. Controls of hydrothermal alteration and mineralization. *Society of Economic Geologist*.
- Corriveau, L. (2007). Iron oxide copper-gold deposits: A Canadian perspective. *Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, 5, 307-339.
- González, C., et al. (2021). " Hydrothermal alterations in IOCG deposits: Solid magnetite and Na-Ca alterations." *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42(4), 189-205.
- Graña Morales, J. M., Macías Vázquez, F., Urrutia Mera, M. M., García Rodeja Gayoso, E. (1987). Procesos de oxidación de piritita en medios superficiales: potencial acidificante e interés para la recuperación de suelos de mina. *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe: Revista de xeoloxía galega e do hercínico peninsular*, 11, 131-145.
- Griem, W. (2020). *Vetas y vetiformes: Depósitos vetiformes: Vetos*. <https://www.geovirtual2.cl/depos/01veti001.htm>.
- 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. Santiago de Chile.
- Groves, D. I., Bierlein, F. P., Meinert, L. D., & Hitzman, M. W. (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*, 105(3), 641-654.
- Groves, D. I., & Foster, R. P. (1991). Syntectonic hydrothermal vein deposits and orogenic gold. *Economic Geology*, 86(6), 1421-1430.

- Groves, R. M., Fowler Jr., F. J., Couper, M. P., Lepkowski, J. M., Singer, E., & Tourangeau, R. (2010). *Survey Methodology*. Wiley.
- Hedenquist, J. W. (1996). Hydrothermal systems in volcanic arcs: Origin of and exploration for epithermal gold deposits. Genève, Suiza: Département de Minéralogie, Université de Genève.
- Hedenquist, J. W., & Lowenstern, J. B. (1994). The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370(6490), 519–527.
- Heinrich, C. A. (2005). The physical and chemical evolution of ore-forming hydrothermal systems: Nature's complexity unraveled in the laboratory. *Geology*, 33(9), 757–760.
- Hitzman, M. W., Oreskes, N., & Einaudi, M. T. (1992). Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxide (Cu-U-Au-REE) deposits. *Precambrian Research*, 58(1-4), 241-287.
- Jones, B., et al. (2020). "Mineralogía de mena en depósitos IOCG: Magnetita, hematita, calcopirita, bornita y calcosina." *Journal of Economic Geology*, 35(2), 67-82.
- Kesler, S. E., Wilkinson, B. H., & Kesler, T. (2007). Ore-forming processes in the evolution of the Earth's crust. Geological Society of America, Special Papers, 419.
- Leach, T.; Corbett, G. 2008. Fluid mixing as a mechanism for bonanza grade epithermal gold formation. Terry Leach Symposium, Australian Institute of Geoscientist.
- López - Orrego G., Van Treek G., Travisany V., Hitzman M., Nelson E., Richard M. (2006). Regional Alteration in the El Espino iron oxide copper gold district, coastal Cordillera of northern Chile: *Geological Society of America*, Abstracts with programs, v. 38, no. 7, p. 373.
- Lowell, J.D., y Guilbert, J.M. (1970). "Lateral and Vertical Alteration-Mineralization Zoning in Porphyry Ore Deposits." *International Geology Review*, 12(7), 781-807.
- Maksaev, V., y Zentilli, M. (1999). Fission track constraints on the timing of episodic magmatism and mineralization in the Andes of northern Chile. *Journal of South American Earth Sciences*, 12(4), 471–497.


- Maksaev, V., & Zentilli, M. (2002). "Andean metallogeny: New ideas from Chilean mineral deposits". *Geological Society of America Bulletin*, 114(12), 1–15.
- Maksajev, VI (2001). *Metalogénesis en la corteza terrestre*.
- Maksaev, Victor, Brian Townley, Carlos Palacios, y Francisco Camus. «Metallic ore deposits.» En *Geology of Chile*, editado por Teresa Moreno y Wes Gibbons, 179-1999. Londres: The Geological Society, 2007.
- Marquardt, M., Cembrano, J., Siña, A. & Garrido, I. 2009. IOCG-type deposits in north-central Chile: A case study and implications for exploration, XII Congreso Geológico Chileno, Santiago, 22-26 Noviembre.
- Moon, C. J., Whateley, M. K. G., & Evans, A. M. (2006). *Introduction to Mineral Exploration* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Mpodozis, C., & Cornejo, P. (2012). La evolución tectónica del margen andino de Chile: Un control en la mineralización. *Andean Geology*, 39(2), 104–128.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. A. (1990). The Andes of Chile and Argentina. In Ericksen, G. E., & Cañas Pinochet, M. *Tectonics of the Southern Central Andes* (pp. 59-90). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Nasi, C., Thiele, R., & Rivano, S. (1985). Evolución tectónica y magmática de los Andes de Chile Central durante el Mesozoico. *Revista Geológica de Chile*, 25(12), 43–60.
- Palacios M. C. (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* [Tesis de maestría, Universidad de Chile].
- Ramos, V.A. 2009. Anatomy and global context of the Andes: Main geologic features and the Andean orogenic cycle, *The geological Society of America, Memoir* 204.
- Richards, J. P. (2003). Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8), 1515-1533.
- Riedel, W. (1929). *Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen*. –Zentralblatt fuer Mineralogie, Geologie und Palaeontologie Stuttgart. 354-368 p.


- Rivano, S., Sepúlveda, P., & Thiele, R. (1993). Geología del Complejo Illapel y su relación con las unidades volcánicas y plutónicas del Cretácico de la región de Coquimbo, Chile. *Revista Geológica de Chile*, 20(2), 103–127.
- Rivano, S., & Sepúlveda, P. (1991). El batolito costero de Chile central: Antecedentes geológicos y edad. *Revista Geológica de Chile*, 18(2), 123–137.
- Scheuber, E.; González, G. 1999. Tectonics of the Jurassic-Early Cretaceous magmatic arc of the north Chilean Coastal Cordillera (22°-26°S): A story of crustal deformation along a convergent plate boundary. *Tectonics* 18 (5), 895-910.
- Sillitoe, R.H. (1992). "Sistemas de pórfido de cobre". *Geología económica* , 87
- Sillitoe, R. H. (2010). Iron oxide-copper-gold deposits: An Andean view. *Mineralium Deposita*, 45(3), 219-238.
- Sillitoe, R.H. (2010). "Porphyry Copper Systems." *Economic Geology*, 105(1), 3-41.
- Sillitoe, R.H. «Epochs of intrusion-related copper mineralization in the Andes.» *Journal of South American Earth Sciences* 1, nº 1 (1988): 89-108.
- Sillitoe, R. H., & Perelló, J. (2005). Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery. *Economic Geology*, 100th Anniversary Volume, 845–890.
- Smith, J., Johnson, P., & Brown, L. (2015). Tectonic evolution and magmatic processes in active continental margins.
- Smith, A., Jones, B., et al. (2019). " IOCG Deposits: Geological Characterization and Magmatic Associations." *Revista Geológica Internacional*, 25(3), 123-145.
- Stoll, W.C., 1965. Metallogenic provinces of South America. *Mining Magazine*, V. 112, pp. 22-33, 90-99.
- Thomas, C. W. (1967). Geología estructural y petrografía de la Cordillera de los Andes en Chile central. *Journal of Geology*, 75, 563–578.
- Veloso, F., Cuadra, D., Oyarzún, G., Espinoza, C., & Reyes, R. (2016). Depósitos tipo IOCG en Chile: Geología, mineralogía y geoquímica. *Revista Geológica de Chile*, 43(2), 145-167.

- Vergara, M., & Thomas, R. J. (1984). Caracterización petrológica y geocronología del magmatismo de la Formación Quebrada Marquesa en la región de Coquimbo. Boletín del Servicio Nacional de Geología y Minería
- Villela, D. & Cantallopts, J. (2016). Franjas metalogénicas de los Andes Centrales: blancos clave para la exploración minera. Revista Digital Cartógrafo.CL, 2016. https://cartografo.cl/?download_id=1449&smd_process_download=1.
- Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontboté, L., Haller, A., Mark, G., ... & Torrealba, V. A. (2005). Iron oxide copper-gold deposits: Geology, space-time distribution, and possible modes of origin. *Economic Geology*, 100, 371-405.

8. CAPÍTULO IX. ANEXOS


8.1 Ficha de muestras de mano

CODIGO: P-002	COORDENADA: 317543E, 6472778N
	<p>Siengranito fanerítica con fenocristales equigranular de tamaños 2 milímetros. Está compuesta por cristales de feldespatos potásicos, plagioclasas, cuarzo anfíbol y biotita. No presenta alteración en sus caras frescas. No presenta magnetismo. Su índice de color es leucocrática 15%.</p>


CODIGO: EL018	COORDENADA: 317282E, 6472942N
	<p>Andesita amigdaloidal porfídica, tiene fenocristales de tamaños cercanos a 1 mm. Presenta abundantes vesículas de diámetros que son cercanos a 1 mm, están rellenas por epidota y en menor cantidad plagioclasas. El grado de alteración es moderado compuesta por epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; y hematita diseminada en la roca. Presenta leve magnetismo a causa de la magnetita diseminada. No presenta minerales de mena a simple vista.</p>

CODIGO: A1	COORDENADA: 317552E, 6473578N
	<p>Autobrecha andesítica con clastos porfídicos amigdaloidal con textura seriada, y fenocristales de tamaños hasta 1 mm. y las vesículas un diámetro hasta 1mm rellenas de epidota y plagioclasas. La masa fundamental corresponde andesita porfídica amigdaloidal con fenocristales hasta 2 mm. y las vesículas hasta 1 mm de diámetro rellenas de plagioclasas y epidota. La alteración es leve a moderado con epidota reemplazando a plagioclasas; hematita relleno de fracturas y planos de debilidad. Presenta magnetismo leve. No hay presencia de minerales de mena.</p>


CODIGO: A2	COORDENADA: 317729E, 6473498N
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal. Contiene fenocristales de tamaños fino a medio de hasta 3 mm. Presenta gran cantidad de vesículas cuyos diámetros son cercanos a 2 mm rellenas por plagioclasas y epidota. El grado de alteración es leve a moderada compuesta por epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; clorita reemplazando a los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental. Presenta leve magnetismo a causa de la magnetita diseminada. No presenta minerales de mena.</p>

CODIGO: A4	COORDENADA: 317617E, 6473400N
	<p>Andesita porfídica amigdaloidal con textura glomeroporfídica, y fenocristales de tamaños fino a media de hasta 4 mm. Presenta gran porción de vesículas cuyos diámetros son cercanos a 1 mm rellenas por plagioclasas y epidota. El grado de alteración es leve a moderada compuesta por epidota reemplazando plagioclasas; epidota como relleno de vesículas; clorita reemplazando a los minerales ferromagnesianos de la masa fundamental. Presenta magnetismo a causa de la magnetita diseminada. No presenta minerales de mena.</p>

CODIGO: EL014	COORDENADA: 317262E, 6472907N
	<p>La muestra presenta una alteración intensa que oblitera la roca. La alteración es alta y se compone de hematitas y jarositas diseminadas en la roca; y enriquecimiento supérgeno. No presenta magnetismo. La roca es de buena ley, y está asociada a gran cantidad de sulfuros secundarios, específicamente de covelina; también tiene calcopirita en menor cantidad.</p>

CODIGO: GR004	COORDENADA: 317054E, 6473101N
	<p>La muestra presenta una gran cantidad de pirita diseminada hospedada en andesita porfídica con fenocristales de tamaño fino. La intensidad de alteración es moderada y son jarositas diseminadas. Presenta leve magnetismo. Mineral de mena presenta calcopirita diseminada, aunque en pequeña proporción de 3%.</p>

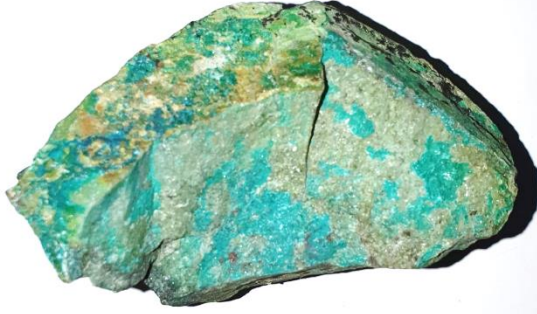
CODIGO: EL007	COORDENADA: 317269E, 6472919N
	<p>La muestra contiene una gran cantidad de minerales de hierro. Presenta pirita diseminada y en relleno de vetillas de espesores de hasta 1cm; puede presentar iridiscencia. Posee una gran cantidad de magnetismo producto de la magnetita diseminada en la roca. La alteración es hematita con intensidad leve. Mineral de mena se encuentra calcopirita y está asociada con la pirita, pero en menor cantidad.</p>

CODIGO: EL007	COORDENADA: 317268E, 6472908N
	<p>La muestra presenta un grado de alteración pervasivo que oblitera totalmente la textura original de la roca, aunque esta muestra fue extraída en El León. La alteración es alta, se compone de clorita y de alteración supérgena. No presenta magnetismo. La roca es de alta ley, y está asociada a gran cantidad de sulfuros asociados principalmente a covelina diseminada.</p>

CODIGO: EP008	COORDENADA: 317176E, 6472820N
	<p>La muestra tiene un grado de alteración alto de óxido de hierro. La alteración se compone de hematita y variedad de especularita que se presenta con hábito terroso, de color rojizo o con hábito hojoso, de color gris y brillo metálico. No presenta magnetismo.</p>

CODIGO: EL012

COORDENADA: 317265E, 6472756N



La muestra presenta un grado de alteración pervasivo que oblitera gran porción la textura original de la roca, aunque se observa que es una andesita porfídica. La alteración es alta y se compone de clorita reemplazando plagioclasa y masa fundamental de la roca. No presenta magnetismo. Minerales de mena presente: crisocola diseminada en gran proporción.

8.2 Tabla de datos estructurales

ID	Tipo	strike (derecha)	Dip
1	Falla	245	68
2	Falla	155	82
3	Dique	227	66
4	veta mineralizada	348	76
5	veta mineralizada	357	71
6	veta mineralizada	8	68
7	veta de Crs	266	60
8	veta de Qz	28	65
9	veta de Crs	270	64
10	veta de Crs	263	67
11	Diaclasa	226	69
12	Diaclasa	54	51
13	Diaclasa	62	47
14	Diaclasa	63	51
15	Diaclasa	225	68
16	Diaclasa	75	52
17	Diaclasa	324	86
18	Diaclasa	149	87
19	Diaclasa	153	88
20	Diaclasa	215	85
21	Diaclasa	64	49
22	Diaclasa	58	55
23	Diaclasa	223	67
24	Diaclasa	328	86
25	Diaclasa	57	54
26	Diaclasa	320	88
27	Diaclasa	322	89
28	Diaclasa	55	49
29	Diaclasa	222	66
30	Diaclasa	226	68
31	Diaclasa	219	58
32	Diaclasa	157	87
33	Diaclasa	156	88
34	Diaclasa	337	81
35	Diaclasa	322	84
36	Diaclasa	75	55
37	Diaclasa	95	60
38	Diaclasa	265	44
39	Diaclasa	100	54
40	Diaclasa	100	66

8.4 Análisis químico XRF del sondaje DHEL001

			SCI Sn	SCI Cd	SCI Pd	SCI Ag	SCI Mo	SCI Nb	SCI Zr	SCI Sr	SCI Rb	SCI Bi
N°	Ident.	Prof. (m)	(%)	(%)	(%)	(PPM)	(PPM)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	PB001	10-11	<LOD	<LOD	<LOD	19.22	2.01	<LOD	0.009	0.137	0.011	<LOD
2	PB002	14-15	<LOD	<LOD	<LOD	12.92	4.25	<LOD	0.011	0.133	0.011	<LOD
3	PB003	21-22	<LOD	<LOD	<LOD	13.03	3.37	<LOD	0.009	0.130	0.011	<LOD
4	PB004	30-31	<LOD	<LOD	<LOD	12.00	1.19	<LOD	0.039	0.737	0.007	<LOD
5	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	<LOD	<LOD	<LOD	19.02	1.74	<LOD	0.010	0.131	0.011	<LOD
6	ZONA 2	Superficie	<LOD	<LOD	<LOD	9.03	0.08	<LOD	0.010	0.125	0.011	<LOD
7	ZONA 3	Superficie	<LOD	<LOD	<LOD	10.44	0.32	<LOD	0.009	0.137	0.011	<LOD

			SCI As	SCI Se	SCI Au	SCI Pb	SCI W	SCI Zn	SCI Cu	SCI Ni	SCI Co	SCI Fe	SCI Mn
N°	Ident.	Prof. (m)	(PPM)	(%)	(PPM)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	PB001	10-11	<LOD	<LOD	0.98	<LOD	<LOD	0.009	1.00	<LOD	<LOD	1.349	0.003
2	PB002	14-15	2.50	<LOD	0.90	<LOD	<LOD	0.008	1.22	<LOD	<LOD	1.287	0.003
3	PB003	21-22	3.50	<LOD	1.01	<LOD	<LOD	0.011	1.10	<LOD	<LOD	1.297	<LOD
4	PB004	30-31	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.010	1.10	<LOD	<LOD	1.301	0.008
5	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	9.67	<LOD	0.80	<LOD	<LOD	0.010	0.98	<LOD	<LOD	0.958	<LOD
6	ZONA 2	Superficie	<LOD	<LOD	2.32	<LOD	<LOD	0.011	0.10	<LOD	<LOD	0.110	<LOD
7	ZONA 3	Superficie	<LOD	<LOD	3.01	<LOD	<LOD	0.010	0.10	<LOD	<LOD	1.249	<LOD

			SCI Cr	SCI V	SCI Ti	SCI Ca	SCI K	SCI Sb	SCI S	SCI Al	SCI Si	SCI Cl	SCI P	SCI Mg	SCI Y	SCI Hg
N°	Ident.	Prof. (m)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
1	PB001	10-11	<LOD	<LOD	0.345	1.372	1.471	<LOD	2.413	0.561	28.423	<LOD	0.183	<LOD	<LOD	<LOD
2	PB002	14-15	<LOD	<LOD	0.344	1.369	1.425	<LOD	2.277	0.410	27.972	<LOD	0.180	<LOD	<LOD	<LOD
3	PB003	21-22	<LOD	<LOD	0.361	1.555	1.596	<LOD	2.726	0.605	27.905	<LOD	0.204	<LOD	<LOD	<LOD
4	PB004	30-31	<LOD	<LOD	0.340	1.562	1.639	<LOD	2.784	0.522	28.216	<LOD	0.169	<LOD	<LOD	<LOD
5	5.8 - 6.1	5.8 - 6.1	<LOD	0.008	0.306	1.267	1.760	<LOD	2.553	0.481	28.372	<LOD	0.191	<LOD	<LOD	<LOD
6	ZONA 2	Superficie	<LOD	<LOD	0.299	1.310	1.522	<LOD	2.665	0.434	27.353	<LOD	0.220	<LOD	<LOD	<LOD
7	ZONA 3	Superficie	<LOD	<LOD	0.349	1.579	1.509	<LOD	2.840	0.178	27.323	<LOD	0.197	<LOD	<LOD	<LOD

8.5 Medición del largo de v.b en la zona de El León

