



Universidad
de O'Higgins

Escuela de Ingeniería
Ingeniería Civil Geológica

**Geología y metalogénesis del Distrito Minero de Chancón, Región del Libertador General
Bernardo O'Higgins, Chile**

Arnaldo Olivares
Profesor guía: Santiago Tassara

Memoria para optar al título de Ingeniero Civil Geólogo

Rancagua, Chile
Enero 2024

A mi abuelo, quien ha sido mi guía en la incertidumbre y fortaleza en la debilidad. Este trabajo está dedicado a el

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mi profesor guía Santiago Tassara por depositar su confianza en mí durante las distintas etapas en que estuve realizando este trabajo, su disposición a enseñarme acerca de la geología económica y la importancia de esta ha sido un impacto en mi visión académica y profesional y me encuentro agradecido de poder haber realizado este trabajo bajo su tutela.

Quiero agradecer al cuerpo académico de la Universidad Austral de Chile y los compañeros de geología de esta universidad ya que con ellos pude realizar uno de los mejores terrenos en los que he tenido la oportunidad de participar, son grandes personas y me lleve mucho aprendizaje además de excelentes experiencias y buenas amistades.

Quiero agradecer a mis amigos a los que me referiré personalmente: Felipe, Fernando, Gianfranco, Nicolas Bustamante, Nicolas Urrutia, Natalia y Paloma. Haber compartido con ustedes mi vida universitaria siempre será uno de mis mejores recuerdos, estoy agradecido de contar con personas como ustedes en mi vida.

Finalmente, agradecer a mis padres, Lombardo y Gabriela por inculcarme los valores con los que hoy en día crezco como persona y profesional. A ustedes les agradezco el haberme dado la enseñanza de lo importante que es la educación y gracias a eso pude cumplir mis metas. Este trabajo también es para ustedes.

Índice

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Hipótesis.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
Ubicación y accesos.....	9
Antecedentes y margo geológico.....	10
Distrito minero de Chancón.....	10
Glosario de definiciones útiles.....	11
Trabajos previos.....	16
Marco geológico.....	17
Marco metodológico.....	21
Campañas en terreno.....	21
Descripción petrográfica de muestras de mano.....	23
Elaboración de cortes transparentes.....	23
Microscopía óptica.....	25
Resultados y discusiones.....	26
Geología estructural.....	26
Observaciones de terreno.....	28
Petrografía de muestras de mano y cortes transparentes.....	28
Eventos hidrotermales.....	32
Mecanismos de precipitación del oro.....	32
Temperatura y pH del Distrito Minero de Chancón.....	33
Conclusión.....	35
Referencias.....	36
Anexos.....	37

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de ubicación y acceso a la zona de estudio. El cuadrángulo rojo representa una zona del DMC sobre la cual se enfocara el presente trabajo.....	9
Figura 2: Mapa geológico del DMC (Munzenmayer, 2002, como se citó en Muñoz, 2017).....	10
Figura 3: Mapa de ubicación de los yacimientos metálicos del DMC.....	11
Figura 4: Esquema comparativo (no a escala) de los tipos de depósitos epitermales. El esquema muestra las distintas características que presentan los tipos de depósitos como los fluidos que dan origen al yacimiento, tipo de alteración presente, gases liberados, temperatura y pH involucrado. Extraído de (Camprubí, 2003).....	13
Figura 5: Principales dominios morfoestructurales entre los 32ª S y 35 S. Extraído de (Boyce, 2015).....	17
Figura 6: Mapa geomorfológico de la región del Libertador General Bernardo O´Higgins.....	18
Figura 7: Mapa geológico escala 1:12000. Basado en la geología del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua (Sernageomin, Geología del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua. Región del Libertador General Bernardo O´Higgins, 2009).....	20
Figura 8: Sitios visitados durante la segunda campaña de terreno en la zona de estudio.....	22
Figura 9: A: Sierra circular del laboratorio de Mecánica de Rocas. B: Muestra de roca cortada y sección tabular.....	24
Figura 10: Microscopio utilizado para realizar estudios de microscopía óptica.....	25
Figura 11: Mapa geológico–estructural del Distrito Minero de Chancón.....	26
Figura 12: Red estereográfica con los datos estructurales de las vetas.....	27
Figura 13: Red estereográfica representando las orientaciones principales de las vetas.....	27
Figura 15: Stockwork observado en superficie en el DMC.....	29
Figura 14: Veta mineralizada observada en superficie en el DMC.....	29
Figura 16: Texturas del cuarzo observadas. A: Cuarzo crustiforme observado en terreno con presencia de bandas ginguro. B: Cuarzo en peine observado en terreno. C: Bladed silica en muestra de mano.....	30
Figura 17: Fotos obtenidas en análisis microscópico. A: Cuarzo rompecabeza observado con microscopía de luz transmitida. B: Esfalerita con exsoluciones de calcopirita en contacto con galena. C: Calcopirita intercrecida con pirita subhedral. D: Carbonatos observados a nicoles cruzados. Qz, cuarzo; Gal, galena; Sph, esfalerita; Cpy, calcopirita; Py, pirita; Cb, carbonatos..	31
Figura 18: Muestra de roca mineralizada donde se aprecian las relaciones de corte y los eventos hidrotermales.....	32
Figura 19: Modificado de la tabla de alteraciones de Corbett y Leach (1998).....	34

Resumen

El Distrito Minero de Chancón es una zona que ha sido explotada hace al menos 60 años por oro, plata, cobre y zinc. Estos metales se albergan como elementos nativos o fases sulfuradas en yacimientos vetiformes aislados. A pesar de su historia de exploración, escasos estudios geológicos se centran en esta zona y en su mayoría se encuentran desactualizados. Entender la tipología del yacimiento mineral que caracteriza a los depósitos presentes en Chancón y como ocurren los minerales resulta de utilidad al momento de elaborar guías de exploración y explotación eficientes en el sector. Con el objetivo de determinar lo anteriormente mencionado y proveer nuevas perspectivas sobre los procesos geológicos que dan origen a la ocurrencia mineral se plantea una metodología basada en observaciones litológicas y estructurales de terreno, descripciones petrográficas de muestras de mano y microscopía.

Durante el presente trabajo se realizaron mediciones de orientación a las vetas mineralizadas, pudiendo así observar las orientaciones preferenciales que presentan las vetas en el distrito, además se pudo distinguir la mineralogía de mena (calcopirita, pirita, galena y esfalerita) y ganga (cuarzo, arcillas y minerales de alteración como goethita y jarosita), aspecto clave a la hora de determinar la tipología de un yacimiento, además se observaron relaciones de corte que permitieron elaborar una cronología de eventos hidrotermales. Finalmente, a través de observaciones texturales se logró determinar que el oro precipita principalmente por ebullición además de concluir que el fluido hidrotermal que dio origen a la mineralización se encuentra en un rango de temperatura bajo (200°–250°C) y con un pH neutro (6–7).

Palabras clave: geología económica, alteración hidrotermal, yacimiento epitermal de baja sulfuración, precipitación del oro, distrito minero de chancón.

Introducción

La producción de oro en Chile se da principalmente como subproducto de la minería del cobre y otros metales. Durante el año 2013, en Chile, la producción total de oro fue de 51 toneladas, de las cuales 31 toneladas provienen de la minería exclusiva del oro. Para el año 2022 la producción total fue de 31 toneladas, de las cuales 11 toneladas provienen de la minería exclusiva del oro, es decir, en los últimos años la minería de este metal ha presentado un declive del 39.6% en la producción total y la minería exclusiva del oro la cual aportaba un 60.4% de las reservas, para el año 2022 solo aportó un 35%.

Dentro de las principales regiones productoras de oro a nivel nacional se encuentra la región del Libertador General Bernardo O`Higgins, la cual es una de las que presenta menor tonelaje, siendo el 2021 el año con menor producción en los últimos 9 años (Sernageomin, Servicio Nacional de Geología y Minería, 2022). Es decir, la producción de oro en la región del Libertador General Bernardo O`Higgins ha visto un descenso en la producción aurífera.

El distrito minero de Chancón (DMC; figura 1) se encuentra en explotación hace al menos 60 años, según productores locales. Este sector alberga principalmente minas de oro, aunque también se explotan otros metales de interés como la plata, cobre y zinc. Aunque se han realizado algunos estudios puntuales enfocados en las características sistemáticas y genéticas de los yacimientos del DMC, estos son de naturaleza forense o se encuentran desactualizados.

En este contexto, entender los mecanismos genéticos del yacimiento y la distribución mineralógica es clave para elaborar guías de exploración y explotación más eficientes que permitan mitigar el declive que viene presentando la minería de oro en Chile y principalmente en la región del Libertador General Bernardo O`Higgins. Por esto, el presente trabajo busca aportar datos para entender la tipología del yacimiento presente en el DMC que en conjunto con una síntesis de información geológica permita proveer nuevas perspectivas para la elaboración de un modelo metalogénico actualizado.

Hipótesis

Las mineralizaciones presentes en el Distrito Minero Chancón (ocurrencias aisladas partes de un mismo sistema) tienen un origen hidrotermal, perteneciente a la tipología epitermal de baja sulfuración. Los fluidos mineralizadores se originan a partir de fuentes magmáticas mezcladas con una importante componente meteórica, y se caracterizan por temperaturas bajas y condiciones cercana a pH neutro. Los mecanismos de precipitación de oro estarían controlados principalmente por procesos de ebullición hidrotermal.

Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es constreñir la tipología de yacimiento que caracteriza a las mineralizaciones Distrito Minero Chancón y esclarecer los mecanismos genéticos del mismo.

Objetivos específicos

1. Estudiar y determinar las litologías, modos de ocurrencia, y paragénesis de mineralización y de alteración existentes mediante observaciones de terreno en muestras obtenidas en superficie e interior mina.
2. Establecer una cronología relativa de pulsos de mineralización mediante la observación de relaciones corte a escala de muestras de mano y microscopio.
3. Determinar los principales mecanismos de precipitación de oro a través de observaciones texturales.
4. Estimar las propiedades fisicoquímicas de los fluidos mineralizadores en función de las asociaciones minerales.

Ubicación y accesos

El DMC se encuentra ubicado en la comuna de Rancagua, 13 kilómetros al noroeste de esta ciudad, en el margen oriental de la cordillera de la Costa (ver definición en la página 18), a unos 850 m.s.n.m. Las coordenadas -34.0621893 y -70.8383917 corresponden a un punto central dentro de la zona de estudio, que ocupa un área de aproximadamente 16 km². Se accede al área de estudio desde la ciudad de Rancagua, debe dirigirse en dirección noroeste por Avenida Libertador Bernardo O`Higgins y posteriormente tomar la ruta H-210 en dirección hacia el norte durante 3.8 kilómetros. Posteriormente para acceder a la zona de estudio se debe tomar la ruta H-188 en dirección oeste durante 14 km. Por este acceso se llega a un camino no pavimentado, el cual puede continuarse caminando o en vehículo, para finalmente llegar a las distintas minas del DMC (figura 1).

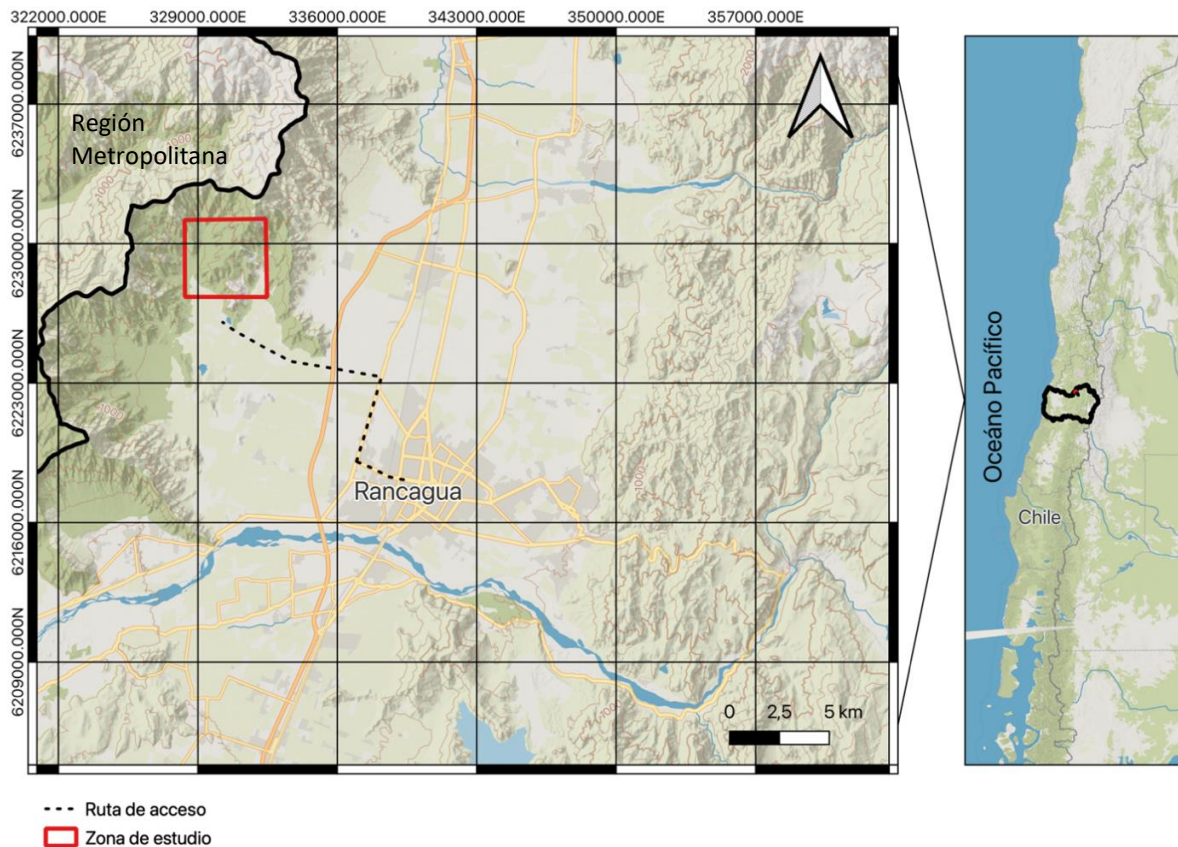


Figura 1: Mapa de ubicación y acceso a la zona de estudio. El cuadrángulo rojo representa una zona del DMC sobre la cual se enfocara el presente trabajo.

Antecedentes y margo geológico

Distrito minero de Chancón

El distrito minero de Chancón es una zona caracterizada por la pequeña minería. Esta localidad alberga al menos 44 sitios de extracción minera según SERNAGEOMIN, a la cuales en este trabajo nos referimos como las distintas mineralizaciones del distrito. Este distrito se emplaza en la cordillera de la costa donde predominan rocas de ambiente volcánico como lavas andesíticas y tobas dacíticas de la formación Las Chilcas. La mineralización se presenta en forma de vetas, cuyos minerales más abundantes son la calcopirita, pirita, galena, esfalerita y cuarzo. Las vetas han sido identificadas y asociadas a sistemas de fracturas con orientación N70°/80W, N10°/30E, N30°/50W, E-W, N-S, N70°E (Japan International Cooperation Agency; Metal Mining Agency of Japan, 1984).

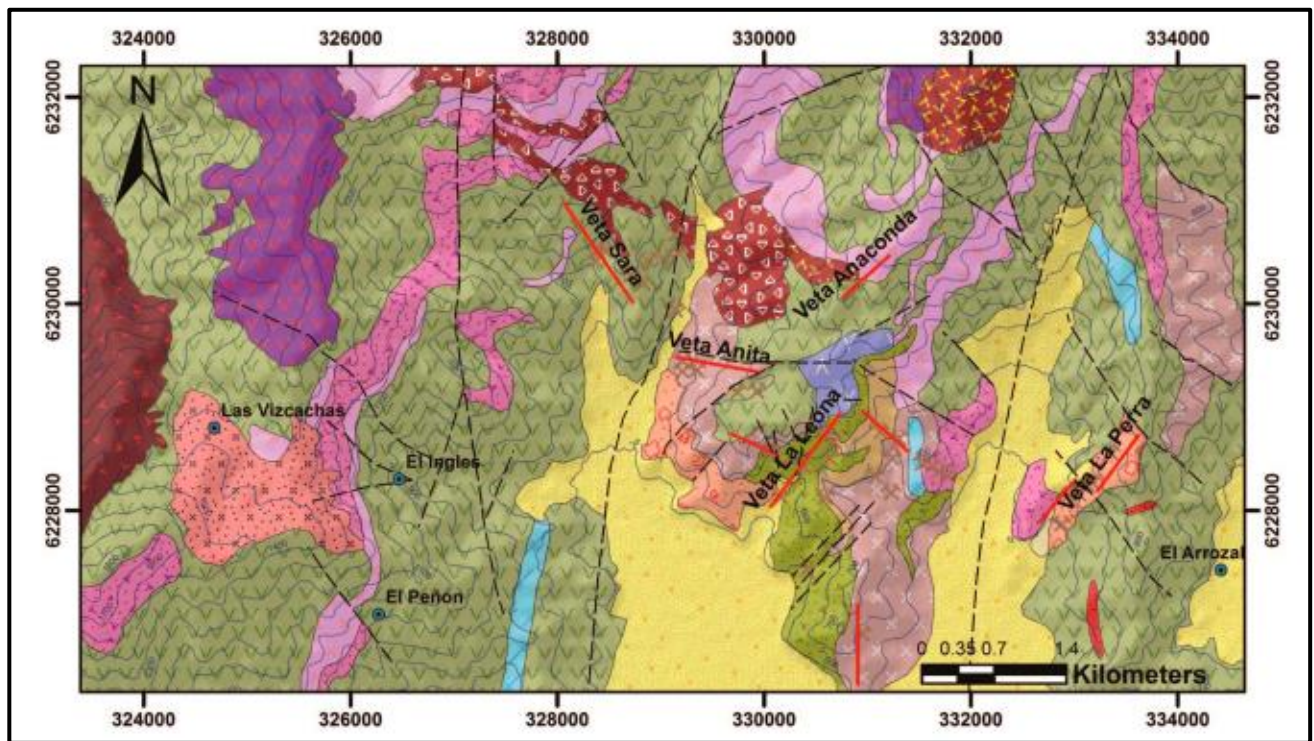


Figura 2: Mapa geológico del DMC (Munzenmayer, 2002, como se citó en Muñoz, 2017).

La ubicación de las 44 mineralizaciones del DMC se muestran en la figura 3. Según el Portal Geomin, actualmente en el DMC existen 44 yacimientos metálicos cuya ubicación es conocida y han sido mapeados.

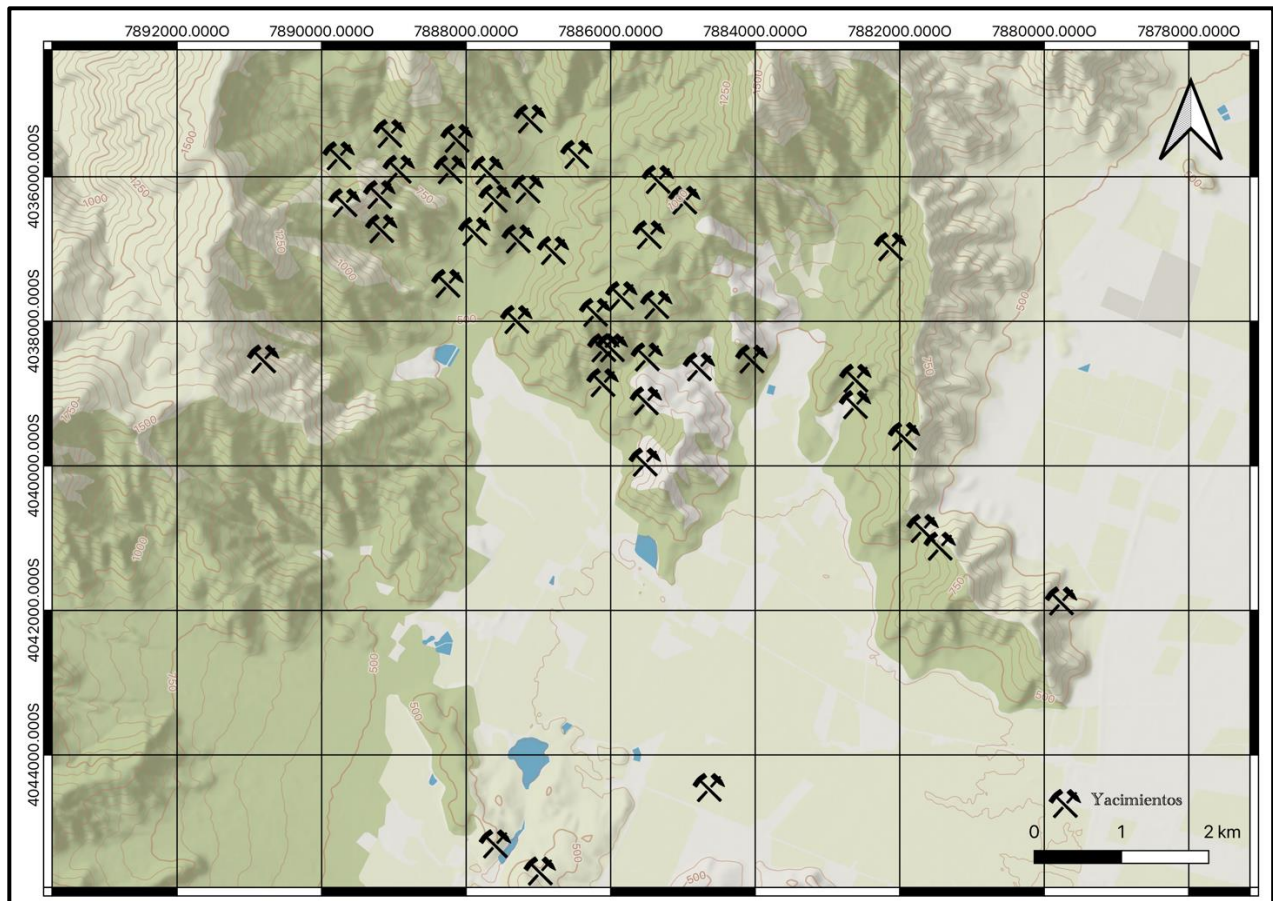


Figura 3: Mapa de ubicación de los yacimientos metálicos del DMC.

Glosario de definiciones útiles

Yacimiento Mineral: Un yacimiento mineral se define como una región de la corteza terrestre que contiene concentraciones naturales y anómalas de minerales metálicos o no metálicos los cuales tienen un valor económico asociado a su explotación (Ridley, 2013). Los yacimientos minerales a su vez se presentan distintas clasificaciones, estas pueden estar basadas en los ambientes tectónicos donde estos se encuentren, la roca caja hospedante o en base al mineral extraído (Cox & Singer, 1986). Existen otras clasificaciones que se relacionan directamente con la génesis de la mineralización del yacimiento mineral (Ridley, 2013). En esta última clasificación se encuentran los siguientes modelos de yacimientos minerales.

- Yacimientos de origen magmático: El enriquecimiento mineral resulta de procesos químicos y mineralógicos en los magmas.

- Yacimientos hidrotermales: La mineralización resulta de la precipitación de fluidos hidrotermales que circulan a través de rocas de la corteza terrestre.
- Yacimientos sedimentarios: La concentración mineral resulta de procesos mecánicos o químicos durante el tiempo de sedimentación.
- Regolito: El enriquecimiento mineral proviene de procesos de meteorización.

Depósito Epitermal: Los depósitos epitermales son un tipo de depósito hidrotermal, estos representan un porcentaje importante en la producción de metales base como el oro y la plata. Estos depósitos se dividen en epitermales de alta sulfuración (HS) y epitermales de baja sulfuración (LS), la diferencia entre estos radica en la naturaleza intrínseca del fluido mineralizador que da origen al depósito epitermal (Hedenquist, Arribas, & Gonzalez, 2000).

Los depósitos epitermales LS se forman a profundidades menores a 2 kilómetros, en un rango de temperatura que varía entre 150–250°C (Camprubí, 2003). Estos depósitos presentan una asociación de minerales cuarzo $\pm$ calcita $\pm$ adularia $\pm$ illita. Estos depósitos pueden ocurrir en cualquier entorno y pueden ser alojados en rocas del basamento. Las características más importantes de un depósito epitermal LS son: Su carácter típico de espacio abierto y relleno de vetillas, su diverso rango de texturas presentes, el patrón de alteración característico y la presencia de cuarzo en vetillas. La alteración hidrotermal presente en este tipo de depósitos es producida por fluidos con un pH neutro. La asociación mineral presente en los depósitos LS se compone por pirita, oro (comúnmente encontrado como electrum), calcopirita, esfalerita, galena, minerales de cuarzo, calcedonia, calcita, adularia e illita (Herrington, 2011).

Los depósitos epitermales HS se forman a profundidades menores a 2 kilómetros, en un rango de temperaturas que varía entre 100–320°C (Camprubí, 2003). Estos depósitos presentan una asociación de minerales cuarzo $\pm$ alunita $\pm$ pirofilita $\pm$ dickita $\pm$ caolinita. Estos depósitos tienden a ocurrir próximos a entornos volcánicos. Las características más importantes de un depósito epitermal HS son: Su carácter masivo y diseminado, su mineralogía (específicamente la presencia de enargita y alunita), y el patrón de alteración característico. Además, el cuarzo en vetillas es poco común en este tipo de depósitos, sin embargo, este se puede encontrar como cuarzo vuggy o como alteración de cuarzo masivo. La alteración hidrotermal presente en este

tipo de depósitos es producida por fluidos muy ácidos, y la zonación ocurre debido la neutralización progresiva del fluido. La asociación mineral presente en los depósitos HS se compone por piritita, enargita, calcopirita, tennantita, covelina y oro (Herrington, 2011).

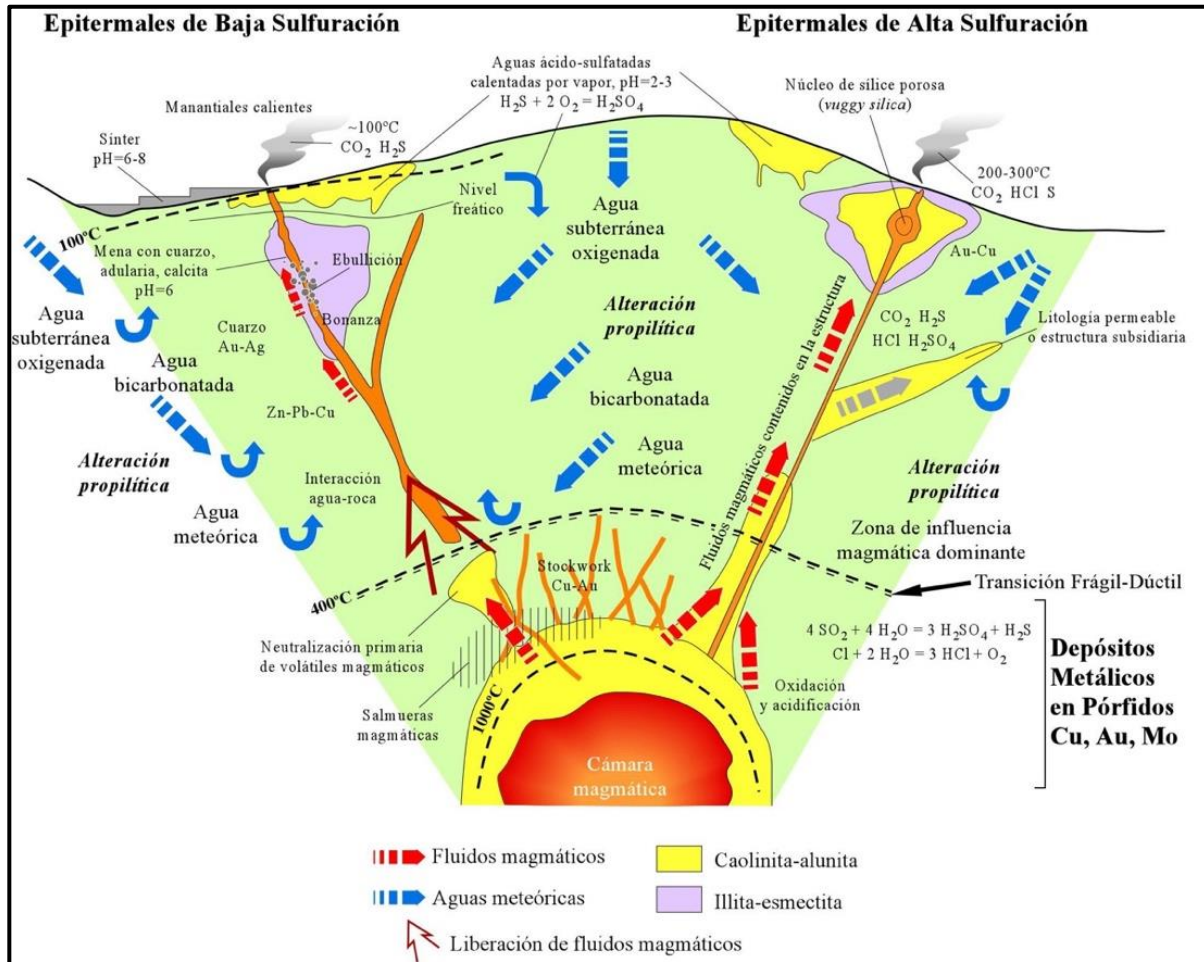


Figura 4: Esquema comparativo (no a escala) de los tipos de depósitos epitermales. El esquema muestra las distintas características que presentan los tipos de depósitos como los fluidos que dan origen al yacimiento, tipo de alteración presente, gases liberados, temperatura y pH involucrado. Extraído de (Camprubí, 2003).

Fluido hidrotermal: Los fluidos hidrotermales son soluciones acuosas a alta temperatura (100 a 800°C) que pueden provenir tanto de la superficie de la Tierra (aguas de lluvia, aguas oceánicas o aguas connatas) como también desde la profundidad (fluidos metamórficos o magmáticos) (Ridley, 2013). Estos fluidos son capaces de transportar elementos de interés económico como el Au y el Cu en complejos clorurados y/o sulfurados (Botcharnikov, 2010).

Alteración hidrotermal: Los fluidos hidrotermales que pasan a través de las rocas generan cambios químicos, mineralógicos y texturales, dichos cambios son definidos como la alteración hidrotermal. La alteración estará controlada por diversos factores como:

- Temperatura del fluido hidrotermal
- Presión
- Composición del fluido hidrotermal
- Composición de la roca caja previa a alteración
- Balance fluido hidrotermal/volumen de roca

Los tipos de depósitos hidrotermales tendrán distintas asociaciones minerales dependiendo del fluido mineralizador y alteración hidrotermal que dieron su origen.

Las alteraciones más comunes descritas por Corbett & Leach (1998) y Townley (2001) son:

- **Alteración potásica:** Principalmente compuesta por feldespato potásico y biotita, esta alteración contiene minerales accesorios como cuarzo, magnetita, sericita y clorita. Esta alteración es de alta temperatura (400° a 800°C) y se caracteriza por ser una alteración selectiva y penetrante.
- **Alteración propilítica:** Principalmente compuesta por la asociación clorita–epidota con o sin albita, calcita, pirita, esta alteración contiene minerales accesorios como cuarzo, magnetita o illita. Esta alteración varía gradualmente a medida que se acerca o aleja de la alteración potásica, cuando está en contacto con esta se encuentra una asociación mineral del tipo actinolita–biotita, mientras que se aleja de la alteración potásica y se acerca a la zona propilítica se encuentra la asociación mineral actinolita–epidota. Esta alteración se forma en rangos de pH de neutro a alcalino y temperaturas bajas (200°–250°C).
- **Albitización:** Se relaciona a alteración propilítica de alta temperatura. Es una alteración selectiva, que en general se observa reemplazando plagioclasas junto con actinolita.
- **Alteración cuarzo–sericita:** Principalmente compuesta por cuarzo y sericita, esta alteración contiene minerales accesorios como clorita, illita y pirita. Esta alteración se forma en rangos de pH entre 5 y 6 y a temperaturas sobre los 250°C.

- **Alteración argílica moderada:** Principalmente compuesta por arcillas y variable presencia de cuarzo. Esta alteración ocurre en rangos de pH entre 4 y 5. En temperaturas entre 150°–200°C se forma caolinita, sobre los 300°C se encuentra estable la pirofilita.
- **Alteración argílica avanzada:** Principalmente compuesta por cuarzo residual (*Vuggy Sílica*). Esta alteración presenta diversos minerales accesorios como alunita, jarosita, caolinita, pirofilita y pirita. Ocurre en un amplio rango de temperatura, pero a condiciones de pH entre 1 y 3.5.
- **Alteración calcosilicatada:** Principalmente compuesta por silicatos de calcio y magnesio que dependerán de la roca caja, además también puede presentar caliza o dolomita. Esta alteración ocurre en condiciones de pH de neutro a alcalino y en distintos rangos de temperatura.
- **Alteración tipo greisen:** Principalmente compuesta por muscovita de grano grueso, feldespato y cuarzo que puede tener presencia de topacio y turmalina. Esta alteración se asocia a fases pneumatolíticas en rocas graníticas, con temperaturas sobre los 250°C.

Veta, stockwork y brecha hidrotermal. La veta se define en base a las observaciones de campo como un cuerpo tabular, mineralizado y alterado que puede estar en contacto con fallas mientras que el stockwork es un enrejillado de vetillas de cuarzo. Por otra parte, la brecha hidrotermal es una textura generada cuando los fluidos hidrotermales se abren paso a través de la roca y generan fracturas en esta. Las brechas hidrotermales representan una textura de importancia en los sistemas epitermales ya que pueden albergar altas concentraciones de mineralización (Ridley, 2013).

Trabajos previos

En esta sección se revisa bibliografía de los últimos 35 años. Estudios realizados por la Japan International Cooperation Agency (JICA) y la Metal Mining Agency of Japan (MMAJ) en 1984 buscaron caracterizar los yacimientos minerales presentes en la zona, dando una descripción de las vetas, la alteración e identificación de los sistemas de fractura, además de presentar una descripción de las mineras que se encontraban operativas. Finalmente concluyen en que existen 6 sistemas de vetas, 2 principales: N70°/80W y N10°/30E y 4 sistemas de menor importancia: N30°/50W, E-W, N-S, N70°E. Además, se identifican variaciones en la ley del mineral en la veta denominada El Inglés y concluyen que la alteración principal en las rocas que se encuentran encajando los depósitos es silicificación.

Muñoz, en su memoria de título presentada en 2017, realizó una caracterización de los fluidos mineralizadores que dieron origen a la veta Leona haciendo uso de petrografía de inclusiones fluidas, además, los estudios geoquímicos realizados durante este trabajo permitieron demostrar la existencia de elementos críticos como el In, Te y Se.

Urzua, en su memoria de título en 2018, realizó una evaluación geomecánica de la mina La Flor, específicamente en el nivel 10 para asegurar la extracción de material sin perjudicar la estabilidad de la mina, utilizando ensayos de laboratorio que finalmente resultan como sustento de un modelo numérico en 3 dimensiones.

Flores, en su memoria de título en 2018, realizó una caracterización geológica y geotécnica de la mina La Palmera utilizando métodos de clasificación geotécnicos como RQD, RMR además de ensayos de laboratorio. En conjunto con la caracterización geotécnica, se realizó un levantamiento de información geológica en la mina, mapeando la litología presente en la mina, así como las alteraciones y la mineralización.

Marco geológico

Chile central cuenta con 3 dominios morfoestructurales, los cuales se extienden en franjas norte-sur. Dichos dominios son: Cordillera de la Costa, Depresión Central y Cordillera Principal (Brüggen, 1950).

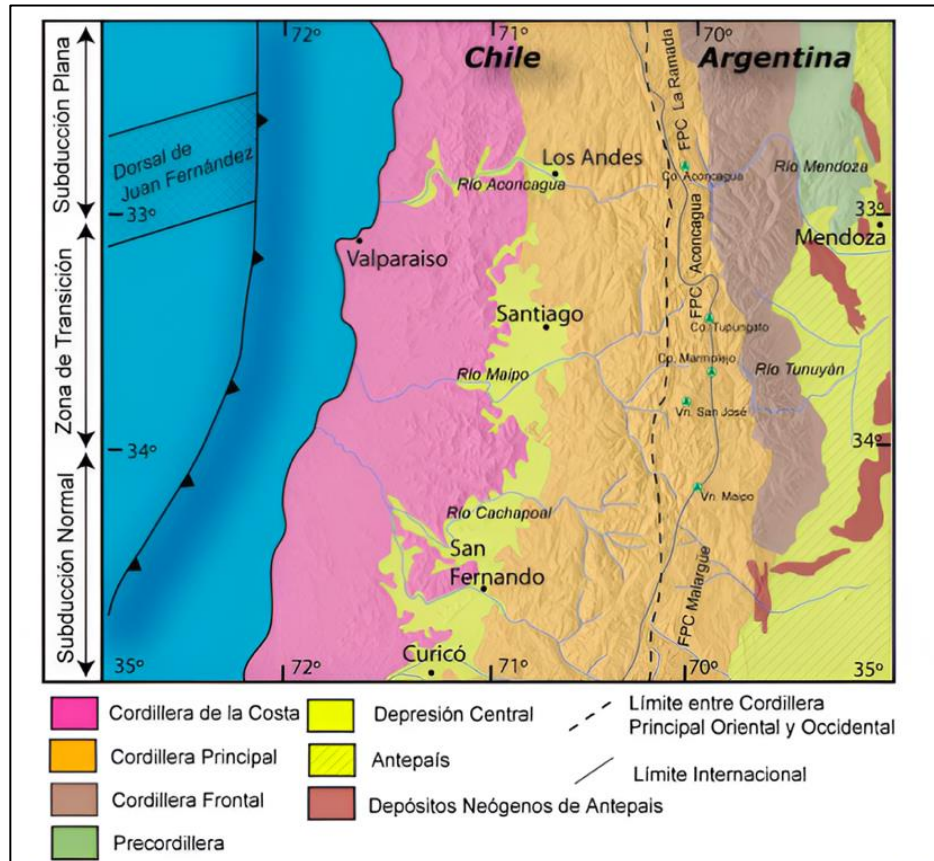


Figura 5: Principales dominios morfoestructurales entre los 32° S y 35° S. Extraído de (Boyce, 2015).

El margen occidental de Sudamérica corresponde a un ambiente de subducción, donde la placa oceánica (placa de Nazca) subduce por debajo de la placa continental (placa Sudamericana). Este margen de subducción tendría su origen en el Jurásico temprano (Mpodozis & Ramos, 2008).

Particularmente, en la sexta región, estos 3 dominios morfoestructurales se encuentran presentes (figura 6).

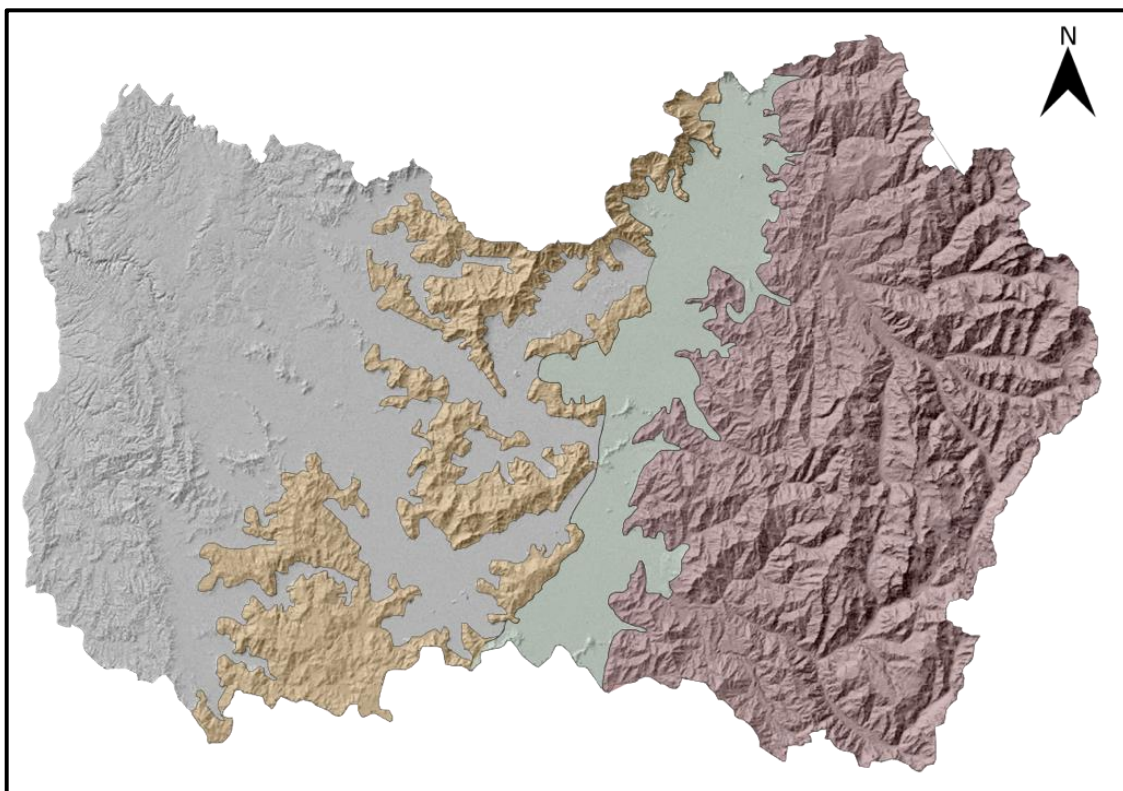


Figura 6: Mapa geomorfológico de la región del Libertador General Bernardo O´Higgins.

En el margen occidental resaltado en color amarillo se ubica la Cordillera de la Costa, seguido de la depresión o Valle Central resaltado en verde y finalmente al este se encuentra la Cordillera Principal resaltado en color rojo.

El DMC se encuentra ubicado en el borde oriental de la Cordillera de la Costa en Chile central. Esta se compone de rocas volcano-sedimentarias que van desde el cretácico superior al jurásico medio. En la zona se distinguen al menos 5 formaciones rocosas y cuerpos intrusivos.

Formación Lo Prado

Definida como una formación volcano-sedimentaria (Thomas, 1958). Esta se encuentra concordante con la Formación Veta Negra. Esta formación está compuesta de areniscas, conglomerados, bancos de areniscas con intercalación de lutitas, lavas y tobas, además, también se compone por brechas dacíticas y andesíticas.

Formación Lo Valle

Esta unidad es definida como una formación volcano-sedimentaria (Thomas, 1958). La potencia total es de aproximadamente 3500 metros y está compuesta por conglomerados y

areniscas, además de lavas andesíticas a riolíticas, ignimbritas y brechas con intercalaciones de tufitas y areniscas. Esta formación es cronológicamente equivalente a la formación Las Chilcas.

Formación Las Chilcas

Esta unidad aflora en el borde oriental de la Cordillera de la Costa. Ha sido definida por diversos autores, sin embargo, estudios recientes determinan que la formación Las Chilcas pueden dividirse en 4 miembros de base a techo (Boyce, 2015; Arias, 2019).

- Miembro Pitipeumo: Compuesto de areniscas, conglomerados, brechas y lavas andesíticas y dacíticas. En la base presenta intercalación de calizas, margas y calcarenitas.
- Miembro Tabón: Se compone de brechas sedimentarias y conglomerados masivos, con intercalaciones de fango y areniscas.
- Miembro Ñilhue: Compuesto de calizas y depósitos calcáreos.
- Miembro El Calvario: Se compone de brechas andesíticas, andesitas, conglomerados y brechas sedimentarias.

Formación Veta Negra

Esta unidad aflora en la parte central de la Cordillera de la Costa. Se divide en 2 miembros (Thomas, 1958).

- Miembro Purehue: Está compuesto de rocas volcánicas y sedimentarias, esencialmente areniscas rojas.
- Miembro Ocoa: Está compuesto de andesitas definidas como ocoítas.

Cuerpos intrusivos menores

- Complejo Plutónico Alhué Ksca: Cuerpo ígneo formado por intrusivos granitoides holocristalinos leucocráticos y cuerpos menores de dioritas y andesitas porfíricas. Este intrusivo corta desde la formación Lo Prado hasta la formación Lo Valle (Nasi & Thiele, 1982).
- Cuerpos Intrusivos: Presentan composición dacítica, diorítica y andesítica los cuales instruyen en la formación Lo Valle y Farellones (Munzenmayer, 2002).

Particularmente en la zona de estudio, se distinguen rocas de la formación Las Chilcas basándose en la carta geológica del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua. Región del

Libertador General Bernardo O´Higgins (Sernageomin, Geología del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua. Región del Libertador General Bernardo O`Higgins, 2009).

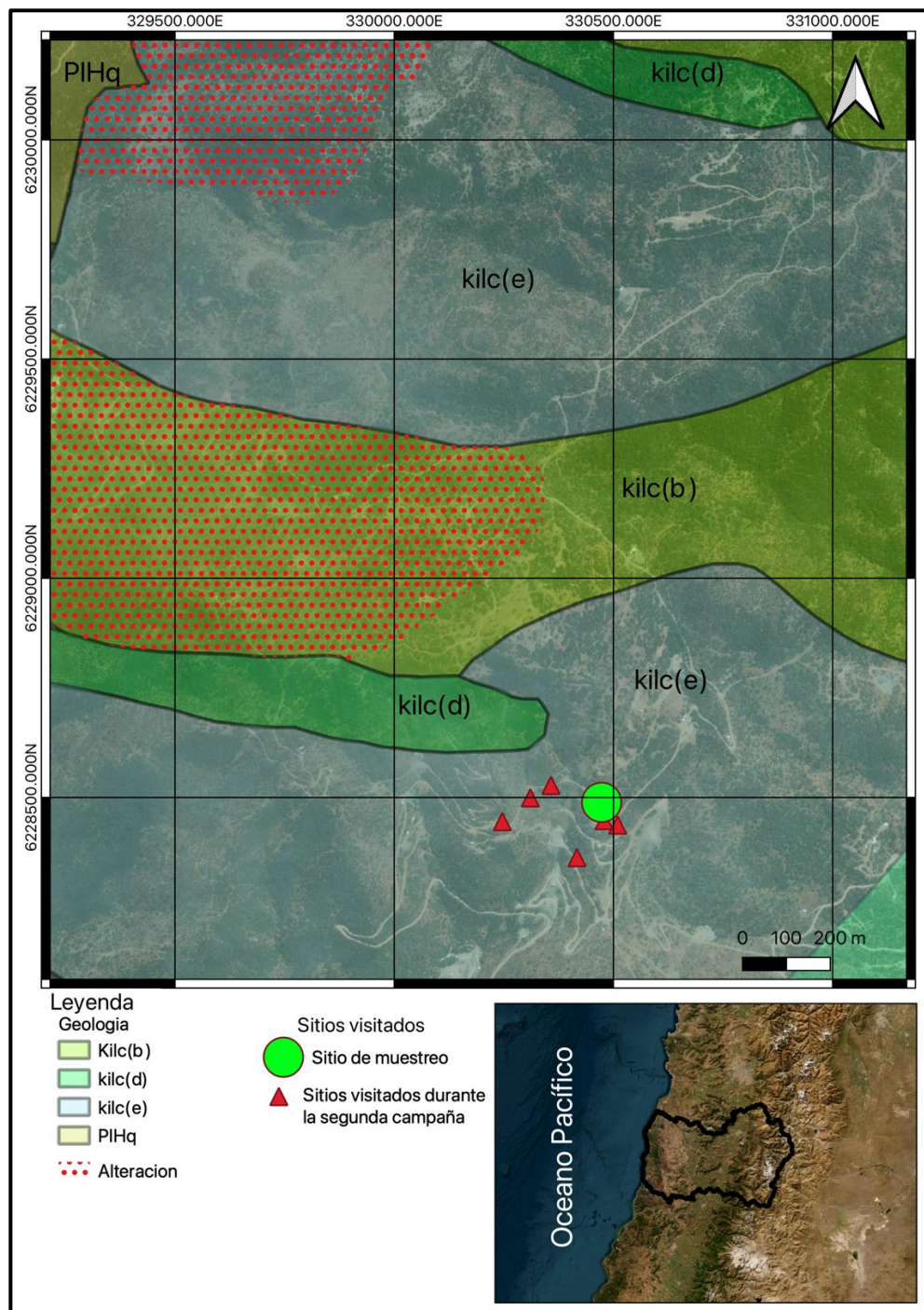


Figura 7: Mapa geológico escala 1:12000. Basado en la geología del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua (Sernageomin, Geología del área de Rancagua–San Vicente de Tagua Tagua. Región del Libertador General Bernardo O`Higgins, 2009).

- Kilc(e): Lavas andesíticas de textura porfídica y amigdaloides; con alteración a calcita, epidota entre otros.
- Kilc(b): Tobas con líticos subredondeados andesíticos y tobáceos, y tobas ricas en cristales de plagioclasa.
- Kilc(d): Domos subvolcánicos a extrusivos de rocas porfídicas con masa fundamental vítrea.
- PIHq: Depósitos ubicados a pie de ladera donde se forman conos de deyección.

La alteración presente en la zona no ha sido definida en la carta geológica utilizada.

Marco metodológico

Con el fin de determinar la tipología del yacimiento existente en el DMC se plantea una metodología de trabajo que consistió en 3 etapas.

- Campañas en terreno.
- Trabajo de gabinete: Petrografía de muestras de mano.
- Trabajo de gabinete: Análisis microscópico de cortes transparentes.

Campañas en terreno

El 26 de mayo del 2023, se llevó a cabo una visita por el día a la Escuela Mina Planta de la Universidad Adolfo Ibáñez. Durante esta visita, se realizó un logueo de sondajes que fueron realizados en la zona de estudio, con el objetivo de identificar la roca caja y los minerales presentes.

Posteriormente, el 27 de mayo del 2023, se llevó a cabo una visita por el día a la zona de estudio. Esta campaña tuvo por objetivo realizar un levantamiento de información geológica y visualizar expresiones minerales en superficie. Durante esta campaña se visitaron 7 sitios pertenecientes a la zona de estudio (figura 8) donde se levantó información acerca de la roca caja, la alteración presente en las rocas, texturas observadas y minerales presentes.

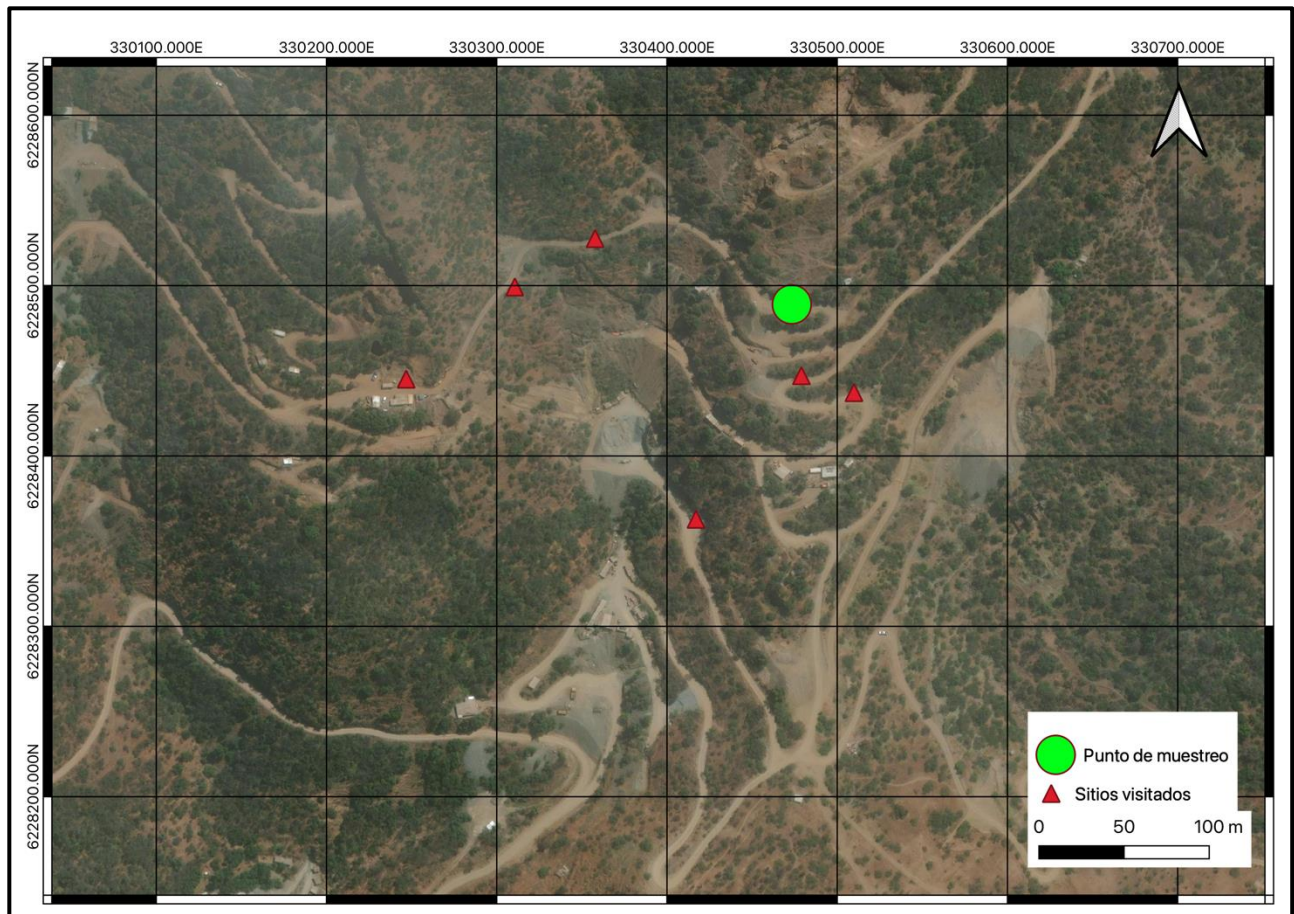


Figura 8: Sitios visitados durante la segunda campaña de terreno en la zona de estudio.

El sitio de muestreo corresponde a la mina La Sandra, en esta se tuvo acceso a muestras de interior mina y superficie. Los análisis petrográficos y microscópicos han sido realizados a estas muestras ya que son representativas de la mineralización presente en la zona de estudio.

Finalmente, en colaboración con el cuerpo académico de la Universidad Austral de Chile se llevó a cabo una tercera campaña de terreno realizada del 12 al 17 de octubre del 2023. Esta campaña tuvo por objetivo recopilar la mayor cantidad de datos geológicos de la zona, con un enfoque principal en la medición de vetas y vetillas.

Durante esta campaña se realizaron levantamientos en distintos puntos de interés. Los primeros días se enfocaron principalmente en levantar información sobre la roca caja, mineralización y texturas observadas, para esto se visitaron 7 sitios. Los días siguientes se enfocaron en levantar información estructural, tanto de diques observados y fallas, pero principalmente se realizaron mediciones de orientación a vetas observadas en sitios de extracción

minera. Finalmente, las actividades realizadas durante los últimos días se enfocaron en registrar información estructural de las vetas y vetillas mineralizadas.

Para las mediciones de orientación de las vetas se empleó una brújula tradicional identificando planos representativos. La veta suele estar visible en la parte superior de los sitios de extracción minera, es decir, en el techo de la mina. De manera similar, se efectuaron mediciones en las vetillas, aunque únicamente se tomaron medidas de aquellas que mostraban un control estructural.

Finalmente, se efectuaron un total de 57 mediciones de las cuales 31 corresponden a mediciones de veta, 17 de vetillas, 4 mediciones hechas a planos de falla, y finalmente las 5 mediciones restantes que corresponden a diques y orientaciones preferenciales del macizo rocoso. Además, se recolectaron muestras de mano para complementar la descripción petrográfica realizada a las muestras obtenidas en la segunda campaña de terreno.

Descripción petrográfica de muestras de mano

Las muestras obtenidas en las campañas de terreno posteriormente han sido descritas a mesoescala con el objetivo de identificar características distintivas de yacimientos epitermales de baja sulfuración, además de determinar las asociaciones minerales presentes y reconocer las texturas características de este tipo de depósitos minerales. Dentro de la descripción los parámetros evaluados son:

1. Color: Tonalidades observadas en la roca caja.
2. Mineralogía de alteración: Observación de minerales secundarios que son producto de la alteración supergena o tipo de alteración observada en muestra la muestra de mano.
3. Mineralogía de mena y ganga: Descripción de los minerales presentes y hábito cristalino.
4. Texturas observadas: Descripción macroscópica y microscópica de las texturas del cuarzo.

Elaboración de cortes transparentes

Una vez realizada la descripción petrográfica de las muestras de mano, se seleccionaron aquellas muestras que contenían estructuras o asociaciones minerales interesantes para seccionarlas con la sierra circular en el laboratorio de Mecánica de Rocas de la Universidad de

O`Higgins (figura 9.A). Una vez las muestras eran seccionadas estas se reducen a una sección tabular (figura 9.B), estas muestras de roca tabular fueron enviados al Instituto de Geología Económica Aplicada de la Universidad de Concepción para realizar los cortes transparentes.



Figura 9: A: Sierra circular del laboratorio de Mecánica de Rocas. B: Muestra de roca cortada y sección tabular.

Microscopía óptica

Se utilizó el modelo de microscopio Nikon Eclipse Ci POL para estudiar los cortes transparentes utilizando técnicas de luz transmitida y reflejada. Este modelo en particular cuenta con 5 objetivos, de los cuales se hizo uso del objetivo 10x para las observaciones en general y el objetivo 50x para visualizar con mayor detalle.

La descripción microscópica se evaluaron los siguientes parámetros:

- Presencia de cuarzo y/o carbonatos.
- Sulfuros presentes.
- Hábito de los sulfuros presentes.
- Presencia de oro.

Las fotos microscópicas de los cortes transparentes se obtuvieron con el software Nis de la empresa Nikon.



Figura 10: Microscopio utilizado para realizar estudios de microscopía óptica.

Resultados y discusiones

Geología estructural

Los datos medidos de la veta mineralizada han sido ploteados en un software de información geográfica con el objetivo de visualizar la información espacialmente.

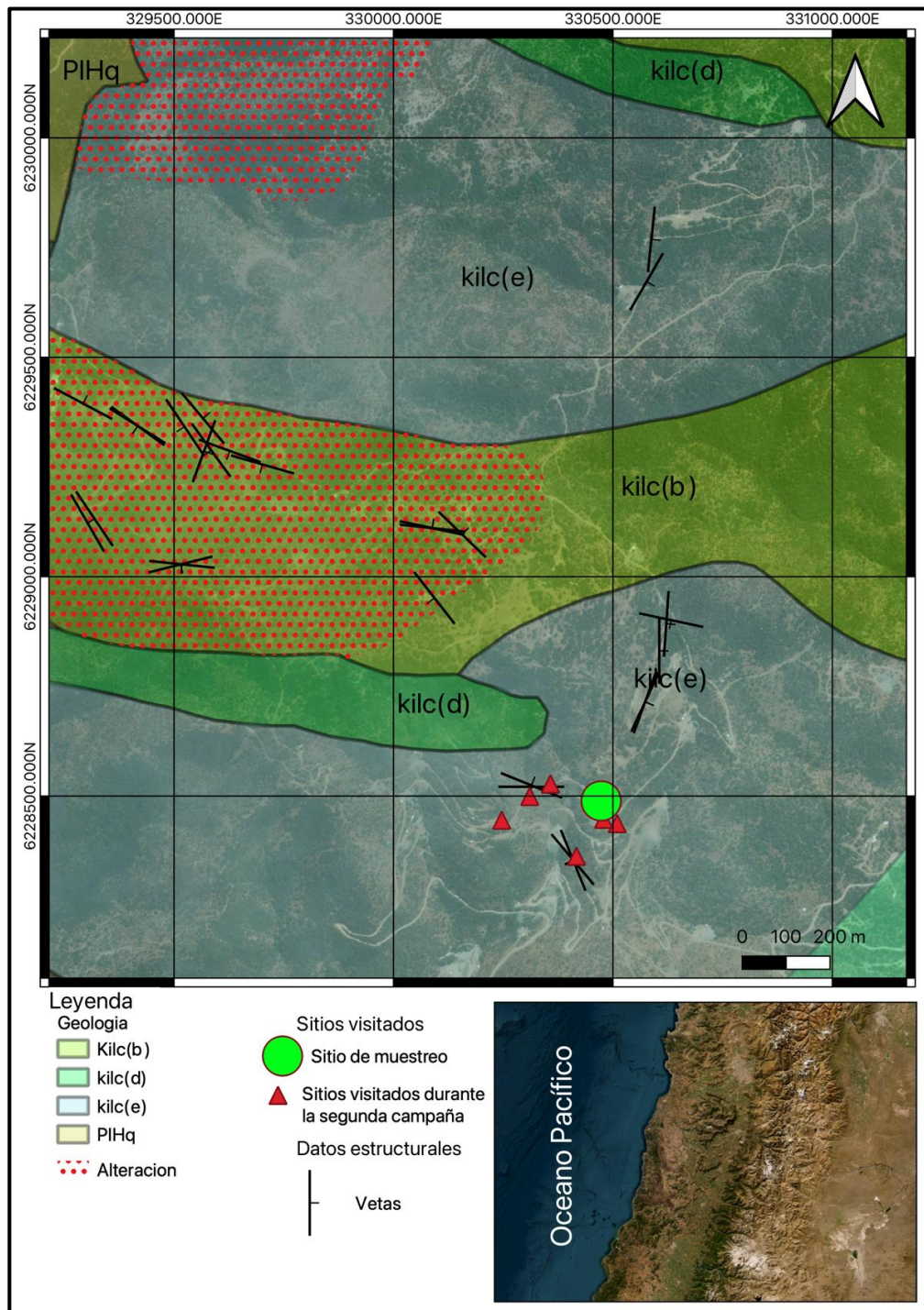


Figura 11: Mapa geológico-estructural del Distrito Minero de Chancón.

Los datos planteados espacialmente dan cuenta de ciertas orientaciones preferenciales de las vetas. Adicionalmente, los datos de vetas han sido plotados en el software Stereonet con el objetivo de visualizarlos en una red estereográfica.

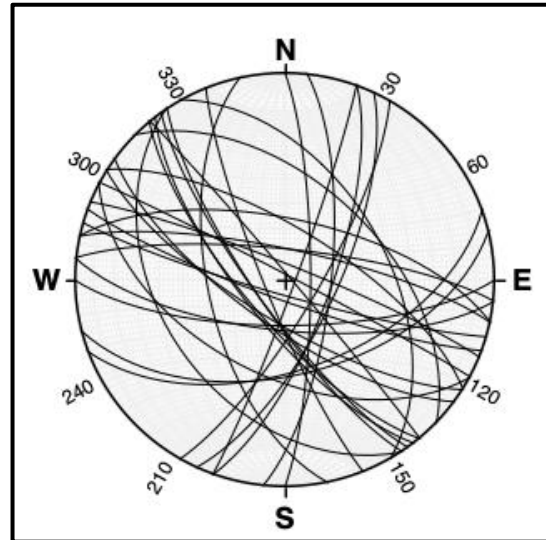


Figura 12: Red estereográfica con los datos estructurales de las vetas.

En base a lo obtenido en Stereonet con la totalidad de los datos, se aprecia que existe un control estructural ya que las vetas presentan direcciones preferenciales. Se han distinguido 3 orientaciones preferenciales principalmente. Se reconocen 2 sistemas de vetas con orientación NNE-SSW y NW-SE y un tercer sistema de vetas con orientación E-W.

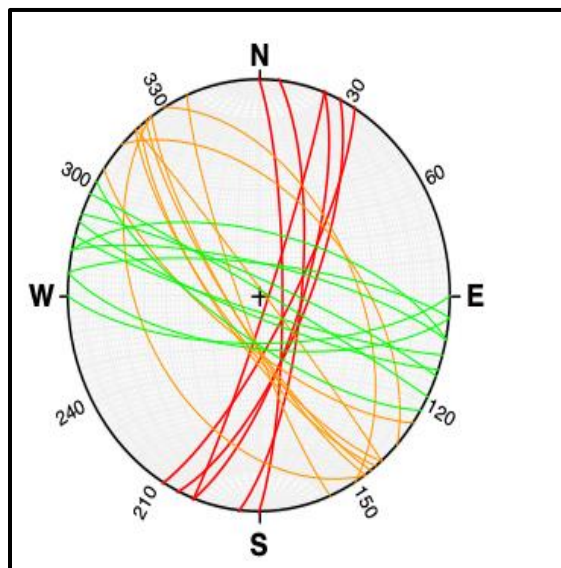


Figura 13: Red estereográfica representando las orientaciones principales de las vetas.

En el informe realizado por la Japan International Cooperation Agency en conjunto con la Metal Mining Agency of Japan (1984) destacan 6 sistemas principales de vetas. 2 de mayor importancia con orientación N70°–80°W y N10°–30°E. Por otra parte, se destacan 4 sistemas de menor importancia, con orientaciones: N30°–50°W; E–W; N–S y N70°E. Además, señalan que en general las vetas superan los 70°.

Estos datos son concordantes con los obtenidos en terreno, en donde la mayoría de vetas medidas en la zona de estudio superan los 70° de inclinación y se observan las direcciones preferenciales descritas en los trabajos previos hechos en la zona de estudio.

Observaciones de terreno

La roca caja identificada corresponde a una Andesita de color grisáceo donde se reconoce alteración propilítica tanto en la roca encajante como en la veta mineralizada, además, se observan minerales asociados a alteración supergena como la goethita, hematita, óxidos de cobre y óxidos de plata. En base a las observaciones en terreno se comprobó que las mineralizaciones en el DMC ocurren en vetas y stockwork. En específico, en la zona de estudio se observa generalmente un stockwork denso (figura 15) que aumenta en ocurrencia a medida que se aproxima a la veta mineralizada (figura 14). Las vetas tienen una potencia que varía desde 1 metro hasta los 2.50 metros y estas suelen ser más visibles en los techos de los túneles mineros.

Petrografía de muestras de mano y cortes transparentes

Las muestras permiten dilucidar las características mineralógicas presentes en la zona de estudio. Los minerales de mena más reconocidos son la calcopirita y la pirita, apareciendo de forma masiva y diseminada, en algunas muestras se reconoce con su habito cubico, además, se reconoce galena y esfalerita, ambos minerales suelen estar asociados, apareciendo juntos en vetillas aunque también aparecen de forma masiva y diseminada. En cuanto a los minerales de ganga se observa una alta presencia de carbonatos en las muestras, pero, el mineral de ganga más común corresponde al cuarzo, este se observa tanto en vetillas como de forma masiva, además, se reconocen texturas primarias como cuarzo en peine y crustiforme con bandas ginguro (figura 16.A y 16.B).

Otra textura reconocida en las muestras obtenidas de la zona de estudio es la *bladed silica* (figura 16.C), esta textura ha sido observada en zonas de ebullición, las cuales se relacionan directamente con mecanismos de precipitación de oro (Etoh, Isawa, Watanabe, Taguchi, & Sekine, 2002) y es una textura típica en yacimientos epitermales de baja sulfuración.



Figura 14: Veta mineralizada observada en superficie en el DMC.



Figura 15: Stockwork observado en superficie en el DMC.

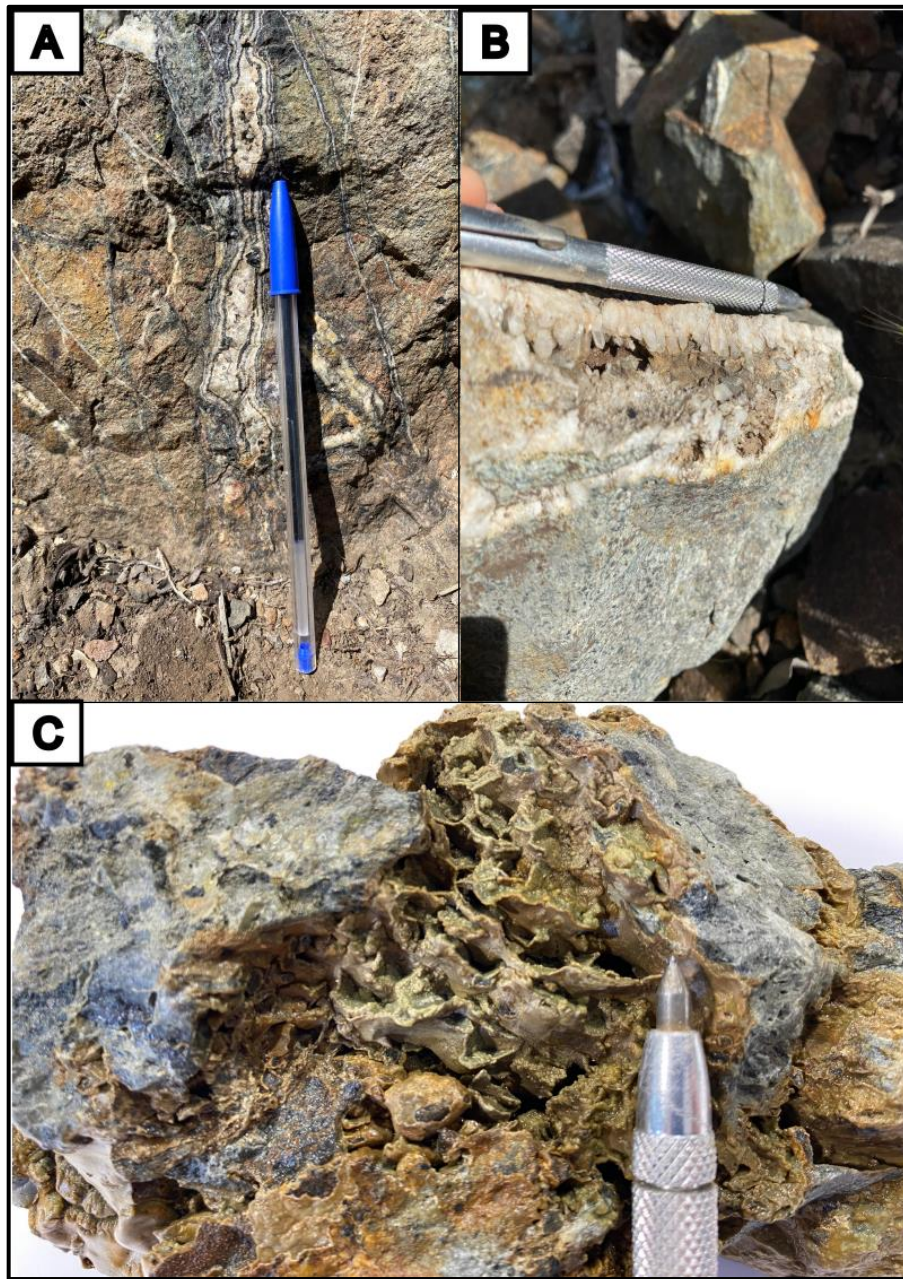


Figura 16: Texturas del cuarzo observadas. A: Cuarzo crustiforme observado en terreno con presencia de bandas ginguro. B: Cuarzo en peine observado en terreno. C: Bladed silica en muestra de mano.

Utilizando técnicas microscópicas de luz transmitida y reflejada se analizaron los cortes transparentes. En estos se observan los minerales de mena ya identificados en muestra de mano como la calcopirita y pirita, presentando un habito subhedral a anhedral, además, se observa galena con su clivaje en forma triangular y esfalerita con exsoluciones de calcopirita (figura 17.B).

En los cortes transparentes se observa una alta presencia de carbonatos, distinguiéndose a nicoles cruzados con sus típicas coloraciones rosáceas o pardas (figura 17.D). Además, se observa una alta presencia de cuarzo tanto masivo como cuarzo rompecabeza, siendo este último una textura de recrystalización (figura 17.A).

Durante los análisis microscópicos no se ha podido constatar la presencia de oro en las muestras, sin embargo, se asume que este se encuentra diseminado en el cuarzo, específicamente en las bandas ginguro tal como se evidencia en otros yacimientos epitermales de baja sulfuración (Mukaiyama, 1950).

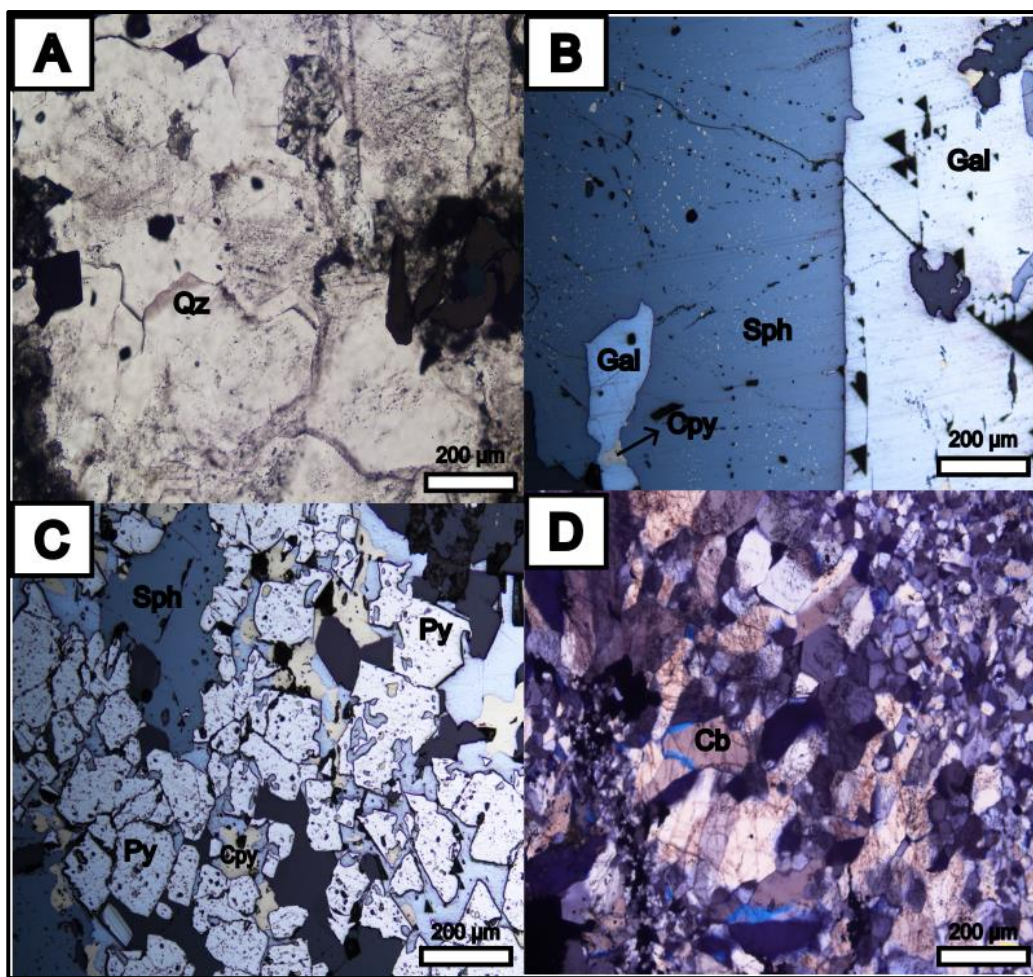


Figura 17: Fotos obtenidas en análisis microscópico. A: Cuarzo rompecabeza observado con microscopia de luz transmitida. B: Esfalerita con exsoluciones de calcopirita en contacto con galena. C: Calcopirita intercrecida con pirita subhedral. D: Carbonatos observados a nicoles cruzados. Qz, cuarzo; Gal, galena; Sph, esfalerita; Cpy, calcopirita; Py, pirita; Cb, carbonatos.

Eventos hidrotermales

Las descripciones petrográficas realizadas permiten crear una secuencia temporal de los eventos hidrotermales observando las relaciones de corte presentes en las muestras.

A modo de ejemplo, se observa en la muestra cortada (figura 18) una identificación de los diferentes eventos hidrotermales que dieron origen a la mineralización.

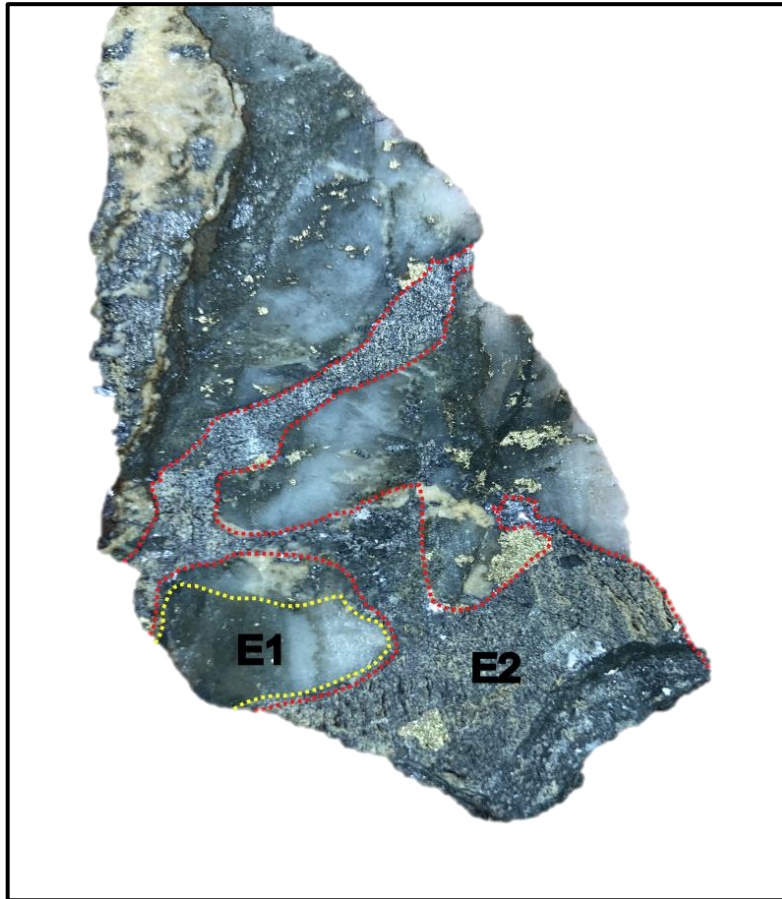


Figura 18: Muestra de roca mineralizada donde se aprecian las relaciones de corte y los eventos hidrotermales.

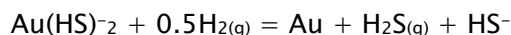
El evento hidrotermal 1 (E1) se distingue como un pulso que mineralizó cuarzo que contiene bandas ginguero. Posteriormente el E2 que se encuentra cortando al E1 es un pulso que mineralizó galena, esfalerita y calcopirita masiva.

Mecanismos de precipitación del oro

La presencia de las distintas texturas encontradas en el cuarzo dan cuenta de los cambios en las condiciones de los fluidos. La principal textura constatada para determinar que la precipitación del oro se produce por mecanismos de ebullición en el Distrito Minero de

Chancón es la textura *bladed silica* que es típica de ebullición en sistemas epitermales de baja sulfuración (Etoh, Isawa, Watanabe, Taguchi, & Sekine, 2002).

El mecanismo de precipitación del oro se produce durante la ebullición (Simmons & Browne, 2000) y está regido por la ecuación:



Por lo tanto, la pérdida de $\text{H}_2\text{S}_{(g)}$ hace que el oro precipite, desplazando la reacción hacia la derecha.

Temperatura y pH del Distrito Minero de Chancón

Las asociaciones minerales presentes en el DMC son típicas de un yacimiento epitermal de baja sulfuración (Camprubí, 2003) tal como se ha constatado en las muestras obtenidas en las campañas de terreno las cuales contienen minerales como calcopirita, pirita, galena y esfalerita. Además, las muestras estudiadas presentan alteración propilítica, esta alteración se forma en rangos de pH neutro–alcalinos y es estable a temperaturas bajas (200°–250°C), por lo tanto, los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización también se encontraban en un rango de temperaturas bajo, esto puede deberse a la mezcla con fluidos meteóricos como agua de lluvia, aunque el enfriamiento de los fluidos hidrotermales también puede deberse a que estos se encuentran alejados de la fuente de calor, lo que es una característica típica de depósitos epitermales de baja sulfuración.

En base a las características descritas, es posible determinar la temperatura y pH del fluido hidrotermal que dio origen a las mineralizaciones del distrito utilizando la tabla de alteraciones de Corbett y Leach (1998). En base a los análisis realizados, asociaciones minerales presentes, texturas observadas, condiciones de temperatura y pH del fluido hidrotermal, es posible determinar que el yacimiento mineral presente en el DMC corresponde a un depósito epitermal de baja sulfuración, cuyo fluido hidrotermal se encontraba en un rango de pH 6 a 7 y una temperatura que oscila entre los 200° a 250°C.



Conclusión

El propósito de esta investigación consistió en constreñir la tipología del yacimiento mineral ubicado en el Distrito Minero de Chancón a través de asociaciones minerales presentes en muestras de mano y las texturas observadas en el cuarzo.

Los datos medidos de las vetas mineralizadas durante las campañas de terreno al momento de ser plotados en un software de información geográfica constatan la existencia de un control estructural en la zona de estudio, observándose orientaciones preferenciales por donde los fluidos tienden a migrar.

Las observaciones en terreno en conjunto con la petrografía de muestras de mano y cortes transparentes permiten dilucidar un panorama general de la ocurrencia de las mineralizaciones en el DMC.

Durante este trabajo se evidenciaron al menos 2 eventos hidrotermales que dieron origen a las mineralizaciones. El primer evento caracterizado como un fluido con alto contenido de cuarzo y con presencia de bandas ginguro. Seguido de un segundo evento mineralizador de galena, pirita, calcopirita y esfalerita con presencia de carbonatos.

Las distintas texturas del cuarzo presentes tanto en muestras de mano como las texturas evidenciadas en terreno dan cuenta del mecanismo de precipitación de oro presente en el DMC, el cual es de tipo ebullición.

Si bien se realizaron análisis de microscopia óptica, no se pudo evidenciar en los cortes transparentes la presencia de oro nativo o electrum. En futuras investigaciones sería recomendable realizar cortes transparentes a muestras que presenten mineral de cuarzo con bandas ginguro para comprobar la presencia del oro o electrum en este mineral.

Las asociaciones minerales presentes y las alteraciones observadas permitieron determinar que el fluido hidrotermal que da origen a las mineralizaciones se encuentra en condiciones de pH neutro (6 a 7) y temperaturas bajas (200°-250°C).

Referencias

- Arias, L. (2019). *La Formación Las Chilcas en El Valle del Estero Los Ángeles (32°31'S), Chile Central: Evolución Sedimentaria y Estratigráfica e Implicancias Paleogeográficas Durante el Cretácico*.
- Botcharnikov, R. (2010). Solubility of Au in Cl- and S- bearing hydrous silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2396-2411.
- Boyce, D. (2015). *Modelo de Evolución Tectónica y Paleogeográfica del Margen Andino en Chile Central Durante el Cretácico Medio - Tardío: El Registro Estructural y Sedimentario en la Formación Las Chilcas*.
- Brüggen, J. (1950). *Fundamentos de la Geología de Chile*. Instituto Geografico Militar.
- Camprubí, A. (2003). Depósitos epitermales de alta y baja sulfuración: una tabla comparativa. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 10-18.
- Corbett, G., & Leach, T. (1998). *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*. Society of Economic Geologist.
- Cox, D., & Singer, D. (1986). *Mineral deposit models*. USGS.
- Dong, G., Morrison, G., & Jaireth, S. (1995). Quartz Textures in Epithermal Veins; Queensland- Clasificación, Origin, and Implication. *Economic Geology*, 1841-1856.
- Etoh, J., Isawa, E., Watanabe, K., Taguchi, S., & Sekine, R. (2002). Bladed Quartz and Its Relationship to Gold Mineralization in the Hishikari Low-Sulfidation Epithermal Gold Deposit, Japan. *Economic Geology*, 1841-1851.
- Flores, N. (2018). *Caracterización Geológica y Geotécnica en Pequeña Minería: Mina La Palmera, Distrito Minero Chancón, ENAMI*.
- Hedenquist, J., Arribas, A., & Gonzalez, E. (2000). Exploration for Epithermal Gold Deposits.
- Herrington, R. (2011). Geological Features and Genetic Models of Minerals Deposits. En P. Darling, *SME Mining Engineering Handbook* (págs. 83-104).
- Japan International Cooperation Agency; Metal Mining Agency of Japan. (1984). *Capítulo 2: Características de la mineralización y yacimientos del distrito minero Chancón*.
- Klohn, C. (1960). *Geología de la Cordillera de los Andes de Chile Central*.
- Mpodozis, C., & Ramos, V. (2008). Tectónica Jurásica en Argentina y Chile: Extensión, Subducción Oblicua, Rifting, Deriva y Colisiones? *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 491-497.
- Mukaiyama, H. (1950). On Some Gold-Silver Ores from the Sado Mine, Sada Island, Niigata Prefecture, Japan. *The Journal of the Geological Society of Japan*, 181-187.
- Munzenmayer, M. (2002). *Procesos de Mineralización y Alteración del Distrito Minero de Chancón*.
- Muñoz, B. (2017). *Documentos Sobre Inclusiones Fluidas II: Caracterización De Fluidos Asociados a Elementos Críticos De La Veta Leona en el Distrito Minero de Chancón, VI Región, Chile*
- Nasi, C., & Thiele, R. (1982). Estratigrafía del Jurásico y Cretácico de la Cordillera de la Costa, al Sur del Río Maipo, entre Melipilla y Laguna de Aculeo (Chile Central). *Revista Geológica de Chile*, 81-99.
- Ridley, J. (2013). *Ore Deposit Geology*. Cambridge University Press.
- Sernageomin. (2022). *Servicio Nacional de Geología y Minería*. Obtenido de sernageomin: https://www.sernageomin.cl/pdf/Anuario_2022_310523.pdf

- Sernageomin. (2009). *Geología del área de Rancagua-San Vicente de Tagua Tagua. Región del Libertador General Bernardo O'Higgins*.
- Simmons, S., & Browne, P. (2000). Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology*, 971-999.
- Thomas, H. (1958). *Geología de la Cordillera de la Costa entre el Valle de La Ligua y la Cuesta de Barriga*.
- Townley, B. (2001). Metalogénesis: Hidrotermalismo y Modelos de Yacimiento. *INGLOMAYOR*, 46.
- Urzúa, M. (2018). *Estudio de Estabilidad Nivel 10, Mina Subterránea La Flor, Distrito de Chancón*.

Anexos

Descripción detallada de muestras de mano

Muestra C1M1

Roca caja de color grisáceo claro, no se aprecia alteración. Se observa calcopirita diseminada y también está presente dentro de la galena, además se observa esfalerita y pirita. Presencia de vetillas de cuarzo y carbonatos en contacto con vetillas de galena.



Figura 1: Muestra C1M1.

Muestra C1M2

Roca caja de color grisáceo y tonos oscuros. Se observan tonos verdosos que se relacionan a alteración propilitica. La muestra contiene pirita y calcopirita diseminada, además, la muestra tiene mucha presencia de galena masiva en vetillas, luego también se aprecia un mineral rojizo

el cual podría corresponder a una hematización, la cual es cortada por una vetilla de cuarzo. Se observan cantidades abundantes de cuarzo, además de cuarzo en peine (“diente de perro”).



Figura 2: Muestra C1M2.

Muestra C1M3

Roca caja de color grisáceo y tonos verdosos, lo que podría corresponder a alteración propilitica. Se observa calcopirita masiva y pirita diseminada, además de mucha presencia de galena masiva y en veta. La muestra contiene cuarzo masivo y en veta en conjunto con carbonatos.



Figura 3: Muestra C1M3.

Muestra C1M4

Roca caja de color gris con tonos oscuros. La roca está fuertemente alterada y presenta óxidos de cobre y minerales de reemplazo como goethita-hematita. La muestra contiene calcopirita masiva y pirita diseminada, además se existe presencia de carbonatos.



Figura 4: Muestra C1M4.

Muestra C1M5

Roca caja de color grisáceo, está fuertemente alterada la muestra, se aprecian minerales de alteración como goethita. La muestra contiene una alta cantidad de pirita masiva y en menor cantidad calcopirita. La muestra tiene cristales de cuarzo bien formados y cuarzo en peine de menor tamaño.

Muestra C1M6

Roca caja de color grisáceo oscuro, no se aprecia alteración. La muestra presenta esencialmente minerales de galena y esfalerita en veta, además se aprecia en menor concentración cuarzo.

Muestra C1M7

La roca caja se distingue poco y se aprecia alterada. La muestra está compuesta casi en su totalidad por mineral de cuarzo, el cual está bien formado y de gran tamaño, en sectores de la muestra se puede ver cuarzo en peine.

Muestra C1M8

Roca caja de color grisáceo oscuro, no se aprecia alteración. La muestra contiene esfalerita, galena y calcopirita en veta, además hay presencia de calcopirita masiva.



Figura 8: Muestra C1M8.

Muestra C1M9

Roca caja de color grisáceo oscuro, se ven minerales de alteración como goethita y se ve una coloración verdosa que podría asociarse a coloración propilitica. La muestra contiene minerales de calcopirita y pirita masiva y diseminada, también se aprecia cuarzo masivo y cristales de cuarzo euhedrales, además de cuarzo en peine.

Muestra C1M10

Roca caja de color grisáceo oscuro y no se aprecia alteración. La muestra contiene calcopirita masiva, pirita diseminada y también se presenta galena en menor medida. La muestra presenta “vesículas” que se encuentran rellenas con sílice amorfa.

Muestra C1M11

Roca caja de color grisáceo y la roca presenta colores verdosos que podrían asociarse con alteración propilitica y minerales de alteración como goethita. La muestra contiene calcopirita masiva y arsenopirita diseminada, también se aprecia mineral de cuarzo alrededor de la calcopirita.

Muestra C1M12

Roca caja de color grisáceo oscuro, se aprecian minerales de alteración como arcillas y goethita. La muestra contiene pirita diseminada y cristales de cuarzo incrustados en los minerales de arcilla. En la muestra se aprecia calcita hojosa (bladed silica).



Figura 12: Muestra C1M12.

Muestra C1M13

Roca caja de color grisáceo y se aprecia una fuerte alteración con colores negros y rosáceos. La muestra contiene calcopirita diseminada y cuarzo masivo.

Cortes transparentes

Lamina C1M1

La lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y carbonatos que se aprecian a luz transmitida. Se aprecia calcopirita con un color amarillo pálido y un habito subhedral a anhedral,

además se distingue esfalerita con las típicas exsoluciones de calcopirita y reflejos internos. La pirita presente se distingue por tener un tono más blanquesino y presenta un habito euهدral a subهدral, en ocasiones se pueden observar agregados cúbicos.

Lamina C1M2

La lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y carbonatos. Se distingue esfalerita con exsoluciones de calcopirita, calcopirita y pirita con habito cubico en algunas secciones de la lamina.

Lamina C1M3

La lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y carbonatos. En la lamina se distingue galena con su clivaje característico en forma de triangulo. Además, se observa en la lamina galena deformada, de igual manera se distingue esfalerita, pirita y calcopirita ocurriendo juntos.

Lamina C1M4

La lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y carbonatos, estos últimos se encuentran presentes en vetillas y masivo. La lamina presenta calcopirita con habito cubico intercrecida con calcopirita, además, se observa pirita en vetillas de cuarzo.

Lamina C1M5

Lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y baja cantidad de carbonatos. En la lamina se observa calcopirita con halos de alteración y pirita altamente fracturada.

Lamina C1M6

Lamina cuenta con alta presencia de carbonatos y baja cantidad de cuarzo. La lamina presenta agregados de calcopirita.

Lamina C1M8

Lamina cuenta con alta presencia de cuarzo que en gran parte se observa en vetillas con contenido de carbonatos. Se distingue esfalerita con exsoluciones de calcopirita y adyacente a esta, se observa abundante galena, además, se distinguen agregados de pirita y calcopirita.

Lamina C1M10

Lamina cuenta con alta presencia de cuarzo y baja cantidad de carbonatos. Se observa una alta cantidad de calcopirita y galena.

En la mayoría de los cortes transparentes se observan diferentes sulfuros embebidos en una matriz de cuarzo y carbonatos. Estos últimos presentando una diversa coloración a nicols cruzados y apareciendo de forma masiva pero también en vetillas. Por otra parte, el cuarzo también aparece masivo, en vetillas y cuarzo rompecabezas.